

CLEBER DE MORAIS HERVATIN

**ADUBAÇÃO FOLIAR ASSOCIADA À APLICAÇÃO DE MATURADOR NA
CANA-DE-AÇÚCAR EM INÍCIO DE SAFRA**

BOTUCATU

2018

CLEBER DE MORAIS HERVATIN

**ADUBAÇÃO FOLIAR ASSOCIADA À APLICAÇÃO DE MATURADOR NA
CANA-DE-AÇÚCAR EM INÍCIO DE SAFRA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Energia na Agricultura).

Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol

**Botucatu
2018**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

H577a	Hervatin, Cleber de Moraes, 1978- Adubação foliar associada à aplicação de maturador na cana-de-açúcar em início de safra / Cleber de Moraes Hervatin. - Botucatu: [s.n.], 2018 101 p.: fots. color., grafs., ils. color., tabs. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018 Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol Inclui bibliografia 1. Cana-de-açúcar - Adubação foliar. 2. Cana-de-açúcar - Maturação. 3. Açúcar - Produtividade. 4. Sacarose. I. Crusciol, Carlos Alexandre Costa. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.
-------	--

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

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

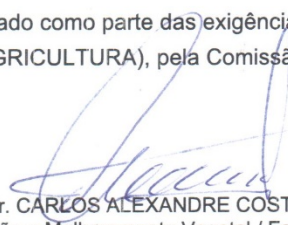
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ADUBAÇÃO FOLIAR ASSOCIADA A APLICAÇÃO DE MATURADOR NA CANA DE AÇÚCAR EM INÍCIO DE SAFRA

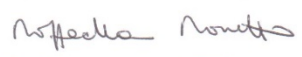
AUTOR: CLEBER DE MORAIS HERVATIN

ORIENTADOR: CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

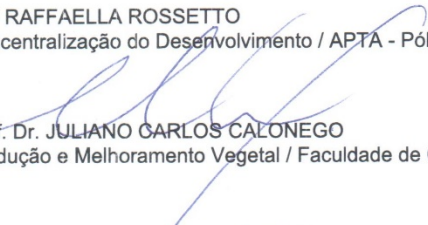
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Dr.ª RAFFAELLA ROSSETTO
Descentralização do Desenvolvimento / APTA - Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico do Centro Sul



Prof. Dr. JULIANO CARLOS CALONEGO
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP - Câmpus de Botucatu

Botucatu, 10 de dezembro de 2018

DEDICATÓRIA

À minha amada esposa, Simone, pelo apoio incondicional em todos os momentos, principalmente nos de incerteza, muito comuns para quem tenta trilhar novos caminhos.

Aos meus pais, Eduardo e Sandra, que me ensinaram o valor da família e o caminho da honestidade e persistência.

Aos meus avós, Antônio, Maria, José Pereira (in memoriam) e Elydia, por transmitirem ensinamentos preciosos e por fazerem parte da minha vida.

Sem vocês nenhuma conquista valeria a pena.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que sempre representou em minha vida.

À minha esposa, Simone Elisa Cabrioli Hervatin, por todo incentivo, apoio e paciência nesta etapa de minha vida.

Aos meus pais, Eduardo Hervatin e Sandra Regina de Moraes Hervatin, pelo apoio incondicional.

À minha segunda família, José Aparecido Cabrioli, Seide Maria Lira Cabrioli, Silvia Renata Cabrioli e José Vinicius Cabrioli, por me acolherem como filho e irmão.

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, pelas orientações, ensinamentos, paciência, amizade e exemplos éticos.

À Gabriela Ferraz de Siqueira, pelas orientações, amizade e companheirismo.

Ao meu compadre e amigo, Aníbal Pacheco de Almeida Prado pela parceria nas viagens e por fazer parte deste audacioso projeto.

Aos colaboradores do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal (Agricultura), Amanda Peres Vieira Bedette, Dorival de Arruda Pires, Eliane Gonçalves da Silva e Valeria Cristina R. Giandoni, pela disponibilidade, presteza e comprometimento.

Aos colaboradores da Biblioteca, principalmente a Maísa Coelho França por todo auxílio e orientação.

Aos amigos de pós-graduação, os quais deixo de citar nominalmente por graças a Deus, serem muitos, mas que tenho certeza de que sabem o quanto foram, são e sempre serão importantes para mim.

Aos grupos Coruripe, Biosev, Bunge, Raízen e São Martinho pela cessão das áreas agrícolas e a todos os colaboradores que nos apoiaram e contribuíram de forma fundamental e singular para o bom desenvolvimento deste estudo.

À banca avaliadora da Dissertação, pela solicitude em dispendar precioso tempo na leitura e na avaliação deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço a todos, que de alguma forma, contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho.

"Think Different"

"Isto é para os loucos.

Os desajustados.

Os rebeldes.

Os criadores de caso.

Os que são peças redondas nos buracos quadrados.

Os que veem as coisas de forma diferente.

Eles não gostam de regras.

E eles não têm nenhum respeito pelo status quo.

Você pode citá-los, discordar deles, glorificá-los ou difamá-los.

Mas a única coisa que você não pode fazer é ignorá-los.

Porque eles mudam as coisas.

Eles empurram a raça humana para frente.

Enquanto alguns os veem como loucos, nós vemos gênios.

Porque as pessoas que são loucas o suficiente para achar que podem mudar o mundo, são as que, de fato, mudam".

Escrito por Rob Siltanen e Ken Segall. Nota: Texto do comercial "To the crazy ones" da marca Apple de 1997. A citação foi usada na campanha publicitária "Think Different" da Apple, e marca o regresso de Steve Jobs à Apple.

*"Se almeja ser o que nunca foi,
obter algo que nunca teve,
faça o que nunca fez".*

Autor desconhecido.

RESUMO

O cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) possui grande importância no cenário socioeconômico brasileiro, por produzir energia elétrica através da cogeração proveniente da queima da palha da cana, etanol como fonte alternativa aos combustíveis derivados do petróleo e principalmente pela produção de açúcar para consumo interno e exportação, entre outros produtos e subprodutos. O consumo de açúcar frente ao aumento populacional global possui perspectivas de aumento, porém, nos últimos anos não se observou expansão de área, tampouco aumento de produtividade por hectare e nem aumento de açúcar por tonelada de cana. Mediante a este cenário, busca-se novas alternativas para incremento tanto em produtividade de cana por hectare como de açúcar por tonelada de cana. A presente pesquisa, teve por objetivo avaliar a eficácia da aplicação de um fertilizante foliar em cana-de-açúcar associado a maturador químico por meio de avaliações de teores nutricionais, biométricas e tecnológicas. Para tanto, foram instalados cinco experimentos em áreas com diferentes ambientes de produção, situados nos municípios de Indaiaporã, Luís Antônio, Pontal e Santa Maria da Serra, no estado de São Paulo, e no município de Iturama, em Minas Gerais, conduzidos de fevereiro a maio de 2017, em variedades de início de safra. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições. Os experimentos foram constituídos por 8 tratamentos: C - Controle (sem adubação foliar e maturador), F35 - Fertilizante foliar 35 DAC (dias antes da colheita), M35 - Maturador aos 35 DAC, FM35 - Fertilizante foliar + maturador aos 35 DAC, F80 - Fertilizante foliar aos 80 DAC, F80F35 - Fertilizante foliar aos 80 DAC e aos 35 DAC, F80M35 - Fertilizante foliar aos 80 DAC e maturador aos 35 DAC, F80FM35 - Fertilizante foliar aos 80 DAC e fertilizante foliar + maturador aos 35 DAC. O fertilizante foliar constituía-se de um complexo nutricional com N, K, Mg, S, B, Mn, Mo e Zn formulado em agente quelante EDTA. O maturador constituía-se do ingrediente ativo sulfometuron-methyl. De acordo com a média dos resultados obtidos em todos os experimentos, pode-se concluir que o efeito do tratamento com aplicação sequencial de fertilizante foliar F80F35, proporcionou aumento na produção, resultando em um ganho de 13 TCH, contra o tratamento controle. Para a variável PCC, a média dos resultados de todos os experimentos com aplicação de maturador incrementou ganhos de 0,7 a 1,0% e para a variável TAH o tratamento com aplicação

de fertilizante na primeira e na segunda época associado ao maturador F80FM35, perfez um ganho de 2,6 toneladas de açúcar por hectare.

Palavras-chave: Curavial®, Maturação, Adubação foliar, PCC, Produtividade de açúcar e Wuxal ATRiun®.

ABSTRACT

The cultivation of sugarcane (*Saccharum* spp.) is of great importance in the Brazilian socioeconomic scenario, for producing electricity through cogeneration from the burning of sugarcane straw, ethanol as an alternative source for petroleum-derived fuels and mainly for the production of sugar for domestic consumption and export, among other products and by-products. The consumption of sugar in the face of the global population increase has prospects of increase, however, in the last years no area expansion has been observed, neither increase of productivity per hectare nor increase of sugar per ton of sugarcane. Through this scenario, new alternatives are sought to increase both sugarcane productivity per hectare and sugar per tonne of cane. The present research had the objective of evaluating the effectiveness of the application of a foliar fertilizer in sugarcane associated to chemical ripener by means of foliar nutrient content evaluations, biometric and technological. Five experiments were carried out in areas with different production environments, located in the municipalities of Indiaporã, Luís Antônio, Pontal and Santa Maria da Serra, in the state of São Paulo, and in the municipality of Iturama, Minas Gerais, conducted in February to May 2017, in early-season varieties. The experimental design was a randomized block design with four replicates. The experiments were consisted of 8 treatments: Control (without foliar fertilizer and ripener), F35 - Foliar fertilizer 35 DAC (days before harvest), M35 - ripener at 35 DAC, FM35 - Foliar fertilizer + ripener at 35 DAC, F80 - Foliar fertilizer at 80 DAC, F80F35 - Foliar fertilizer at 80 DAC and at 35 DAC, F80M35 - Foliar fertilizer at 80 DAC and ripener at 35 DAC, F80FM35 - Foliar fertilizer at 80 DAC and foliar fertilizer + ripener at 35 DAC. The foliar fertilizer consisted of a nutritional complex with N, K, Mg, S, B, Mn, Mo and Zn formulated in EDTA chelating agent. The ripener consisted of the active ingredient sulfometuron-methyl. According to the average of the results obtained in all the experiments, it can be concluded that the effect of the treatment with sequential application of foliar fertilizer F80F35, provided an increase in the production, resulting in a gain of 13 TCH, against the control treatment. For the variable PCC, the average of the results of all experiments with ripener application increased gains from 0.7 to 1.0% and for TAH the treatment with fertilizer in the first application and in the second time associated with ripener F80FM35, achieved a gain of 2.6 tons of sugar per hectare.

Key words: Curavial, Ripening, Foliar fertilization, PCC, Sugar productivity and Wuxal ATRiun®.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1	Importância da cultura da cana-de-açúcar (<i>Saccharum spp.</i>)	20
2.2	Maturação da Cana-de-Açúcar.....	22
2.3	Maturadores químicos	24
2.4	Papel dos nutrientes na ativação enzimática	27
2.5	Adubação foliar	32
2.6	Fatores que afetam à eficiência da adubação foliar	39
2.6.1	Anatomia a absorção foliar	39
2.6.2	Fatores ambientais que afetam a absorção foliar	44
2.6.3	Fatores relacionados a qualidade do fertilizante foliar	45
2.6.3.1	Quelatos	49
3	MATERIAL E MÉTODOS	52
3.1	Caracterização das áreas experimentais	52
3.2	Características das variedades	52
3.3	Atributos químicos do solo e insumos utilizados nas áreas experimentais	54
3.4	Delineamento experimental e tratamentos	61
3.5	Característica do fertilizante foliar e do maturador químico	61
3.6	Instalação e condução dos experimentos	62
3.7	Variáveis avaliadas	65
3.7.1	Diagnose foliar	65
3.7.2	Biometria (comprimento, diâmetro, número de colmos por metro e produtividade de colmos)	66
3.7.3	Variáveis tecnológicas	69
3.8	Análise estatística	71
4	RESULTADOS	72
5	DISCUSSÃO	81
6	CONCLUSÕES	86
	REFERÊNCIAS	87

1 INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) possui grande importância no âmbito econômico do Brasil, pois, além de ser utilizada para a produção de açúcar para o consumo interno e exportação, é utilizada também para a produção de álcool, que representa uma alternativa como substituto de combustíveis derivados do petróleo, além de bagaço como fonte de alimento animal, palha para cogeração de energia, cachaça, rum, melão, rapadura, torta de filtro e vinhaça como fonte de nutrientes para adubação, entre outros produtos e subprodutos.

O setor sucroalcooleiro do Brasil, por alguns anos, alcançou safras recordes de cana-de-açúcar, porém, a partir da safra de 2010 até hoje, não se observou aumentos expressivos quanto a produção nacional, ou seja, o setor passa por uma estagnação em produção, devido ao baixo investimento do setor, baixa adesão de novas tecnologias e expansão em áreas com solos de pastos degradados e climas severos, sendo necessário a busca por novas alternativas de manejo, focando aumento de produtividade e qualidade de matéria prima (CONAB, 2016).

O manejo nutricional via adubação foliar, pode ser uma alternativa para contribuir com o aumento da produtividade, porém, vários fatores como a absorção foliar de nutrientes, variedade e tipo de planta, fase fenológica de crescimento, composição do fertilizante foliar, características dos nutrientes e fatores ambientais, como temperatura, iluminação e umidade, podem afetar no resultado esperado (FERNÁNDEZ; SOTIROPOULOS; BROWN, 2015).

Na fase fenológica de maior desenvolvimento da cultura, todos os fotossintatos produzidos no processo fotossintético são direcionados ao crescimento da planta. Quando as condições climáticas não são favoráveis ao crescimento, como fotoperíodo, baixa temperatura e pluviosidade, a maturação é estimulada, promovendo a redução da taxa de crescimento, direcionando os fotossintatos ao armazenamento nos vacúolos das células parenquimáticas.

Quando os fatores climáticos não são suficientes para induzir a maturação natural da cana-de-açúcar ou quando se almeja antecipar a maturação, é necessário a utilização dos maturadores químicos com intuito de retardar a taxa de crescimento estimulando o acúmulo de sacarose.

Os reguladores vegetais, denominados maturadores, são ferramentas importantes para antecipar e induzir o processo de maturação da cana promovendo

melhorias na qualidade da matéria prima. A eficiência agronômica dos maturadores depende da época de aplicação, das condições climáticas e do potencial genético da variedade.

A utilização de maturadores já é prática comum em início de safra e sua aplicação tem proporcionado maior flexibilidade no gerenciamento da colheita, extremamente relevante para o planejamento da produtividade da cultura, além de propiciar industrialização de matéria-prima de melhor qualidade. No entanto, os maturadores somente direcionam os fotossintatos produzidos ao seu armazenamento, porém, quem atua na síntese de sacarose são os nutrientes, que são responsáveis diretos e indiretos pela atividade de enzimas referentes ao processo.

Os nutrientes minerais interferem na atividade enzimática atuando como constituintes ou como cofatores destas, estimulando a catalisação de diversas reações químicas responsáveis, por exemplo, na fase fotoquímica da fotossíntese, ciclo de Calvin-Benson, ciclo do ácido cítrico, glicólise, respiração celular e muitas outras.

No processo de maturação, o papel dos nutrientes, idade da cana, temperatura, fotoperíodo e estresse hídrico são os principais fatores que influenciam a síntese e acumulação de sacarose. Portanto, pode-se supor que ao se estimular a planta por meio da utilização da fertilização foliar na fase que antecede a maturação ou maturação, proporcionará maior atividade enzimática, bem como, maior taxa fotossintética e consequentemente maior quantidade de sacarose, sendo esta destinada ao acúmulo, melhorando a qualidade da matéria prima, quanto ao crescimento, aumentando a quantidade de cana produzida.

O efeito da aplicação de fertilizantes foliares na fase pré-maturação e maturação, associado ou não a maturadores, ainda é desconhecido, sendo assim, estudos detalhados referentes a este tema, se fazem necessários.

Mediante ao exposto, supõe-se que a fertilização foliar de um complexo de macro e micronutrientes poderá proporcionar maior incremento em produtividade e qualidade de matéria prima, possuindo o trabalho as seguintes hipóteses:

- (i) A aplicação de fertilizantes foliares na fase pré-maturação e maturação pode aumentar a produção e concentração de sacarose.
- (ii) A utilização da adubação foliar em ambas as fases, pode proporcionar incremento em produtividade de colmos por ha.

(iii) Através da fertilização foliar espera-se aumento da produção em toneladas de colmo por hectare e sacarose por tonelada de colmos, consequentemente aumento em produção de açúcar por hectare.

(iv) A aplicação de maturador pode causar melhoria na qualidade da matéria prima por meio do incremento do PCC a ser entregue na Usina.

(v) A associação de fertilizante foliar e maturador tenderá a aumentar a produção de sacarose por tonelada de colmo e por hectare.

Portanto, o presente trabalho teve por objetivo estudar a eficiência da adubação foliar de um complexo nutricional associado à aplicação de maturador químico em início de safra, focando na melhoria dos aspectos tecnológicos e biométricos e suas implicações na qualidade e produtividade da cana-de-açúcar.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)

Atualmente o setor sucroalcooleiro do qual a cultura da cana-de-açúcar está inserida, localiza-se num cenário muito favorável devido à sua utilização para o fornecimento de matéria prima para produção de energia limpa e renovável, seja por meio da queima da palha para cogeração ou pela utilização do combustível etanol. Mesmo com a queimada da palha o balanço de carbono é positivo, pois durante a fotossíntese a cana fixa muito mais carbono do que emite durante a queimada (ROSSETTO, 2008). Ademais, de modo geral, há conscientização das pessoas em relação ao ambiente sobre os efeitos indesejáveis da utilização de combustíveis fósseis no balanço de carbono da atmosfera e aos efeitos desastrosos do aquecimento da superfície terrestre (CONAB, 2016).

A cadeia sucroenergética é um dos segmentos mais importantes do agronegócio brasileiro. O aumento na demanda por energia limpa e sustentável, melhorou a perspectiva econômica para o etanol combustível produzido da cana-de-açúcar, refletindo-se em investimentos e, conseqüentemente, maior geração de renda e emprego no segmento industrial desse setor (NEVES, 2014a).

O Brasil é o maior produtor de etanol de cana-de-açúcar do mundo, sendo o único país a possuir uma ampla frota de veículos bicomcombustíveis, contribuindo para que seu consumo superasse o de gasolina em veículos leves. Segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, mais de 86% dos veículos leves vendidos no Brasil, em 2015, possuíam motor *flex fuel* (ANFAVEA, 2016). Quanto ao açúcar, o Brasil é o maior produtor mundial e suas exportações seguem em ritmo crescente frente à demanda de países como Indonésia, Rússia, Índia e China (NEVES, 2014b).

A produção de cana-de-açúcar para a safra 2018/19 está estimada em 625,96 milhões de toneladas, uma redução de 1,2% em relação à safra anterior que foi de 633,26 milhões de toneladas. Com relação a produtividade média dos canaviais brasileiros, não houve muitas alterações. A estimativa da safra 2018/19 é de 72,6 t ha⁻¹, sendo que a safra anterior finalizou com 72,5 t ha⁻¹ (CONAB, 2018).

O consumo global de açúcar deve crescer de 181,2 milhões de toneladas em

2015 para 214,3 milhões de toneladas em 2024, perfazendo um aumento de 15,5% durante o período. A produção brasileira de etanol aumentará de 30,5 em 2015 para quase 42,5 bilhões de litros até 2024, sendo a maioria consumida internamente (OCDE, 2015). A demanda total por etanol deve subir de 29,7 em 2015 para quase 39 bilhões de litros até 2024, impulsionada pela exigência da mistura de etanol com gasolina e pela competição entre o etanol hidratado e a gasolina na bomba. Consequentemente, a produção brasileira de cana-de-açúcar deverá crescer de 665 milhões de toneladas (ano base 2015) para 884 milhões de toneladas, ou seja, 24,8% até 2024 (OCDE, 2015). Para isto a área cultivada deve aumentar a uma taxa anual de 2,7%, saindo de 8,7 milhões de hectares em 2015 para 11,5 milhões de hectares em 2024.

Mediante a todo este aumento de demanda de consumo de açúcar de 33,1 milhões de toneladas e 9,3 bilhões de litros de etanol até 2024, é indiscutível a importância destes para o mercado nacional e internacional e, mesmo com tantas incertezas sobre o preço da gasolina, a produção de etanol é referência mundial em relação às fontes renováveis de energia, e a utilização de combustíveis fósseis em vez de biocombustíveis seria um retrocesso nos aspectos ambiental, econômico e político (NEVES, 2014b).

De acordo com Waclawovsky et al. (2010), os três maiores países (Austrália, Colômbia e África do Sul) com radiação fotossinteticamente ativa semelhantes ao Brasil obtiveram produtividades comerciais médias de $84 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. A média da produtividade máxima comercial destes três países foi de $148 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e a máxima experimental e teórica foi de $212 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $381 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ respectivamente.

No Brasil, o rendimento máximo comercial relatado foi de $260 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em canas colhidas com 13 meses (Fazenda Agrovale, Bahia) e uma máxima experimental de $299 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ foram registrados (Fazenda Busato, Bom Jesus da Lapa, Bahia, RIDESA, comunicação pessoal), que já superam a média máxima relatada por Irvine (1983) de $202 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $250 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ respectivamente.

Várias instituições de pesquisa trabalham incansavelmente na busca por aumento em produtividade por hectare e mais açúcar por tonelada de cana com o desenvolvimento de novas variedades.

Mesmo diante de tamanha necessidade produtiva, e os esforços incansáveis das instituições de pesquisa e melhoramento, observa-se, no entanto, que a produção está muito aquém do potencial produtivo desta cultura, indicando que novas práticas

de manejo devem ser adotadas com a finalidade de aumentar a produtividade e a rentabilidade desta cultura.

2.2 Maturação da Cana-de-Açúcar

A maturação da cana-de-açúcar, consiste em direcionar grande parte dos fotossintatos produzidos na fase final de seu ciclo, que antes eram destinados ao crescimento, para o acúmulo nos vacúolos das células parenquimáticas (ALEXANDER, 1973). O processo de maturação é dependente de vários fatores como a nutrição, idade da cultura, temperatura, fotoperíodo, estresse hídrico, estágio fenológico e fisiológico da cana (GEMENTE et al., 1986; VIANA, 2007).

De acordo com Lucchesi (1995), o processo de maturação, bem como a qualidade da matéria-prima, é influenciado pela nutrição e adubação da cana-de-açúcar. Segundo Pawar et al. (2013), os nutrientes são os ativadores enzimáticos responsáveis pela síntese, transporte e armazenamento de sacarose na cana e o equilíbrio nutricional na fase final do ciclo da cultura, proporciona melhoria no processo fotossintético com incrementos tanto na produtividade quanto no acúmulo de sacarose.

O excesso de nitrogênio na fase final do ciclo da cana, causa atraso na maturação e consequentemente redução no teor de sacarose com relação a massa fresca, envolvendo hidratação e aumentando os níveis de açúcares redutores, sendo que estes efeitos são mais severos no início e final da safra, onde a pluviosidade e a temperatura são mais altas (CASTRO, 2016).

Alguns experimentos conduzidos no Havaí revelaram o efeito negativo da adubação tardia de N influenciando no acúmulo de sacarose pela cana-de-açúcar, devido ao estímulo de crescimento. Os maiores rendimentos em produtividade da cana, ocorrem quando aplicados doses mais altas de N na fase vegetativa (HUMBERT, 1974).

Os níveis mais altos de N estão quase sempre associados ao desenvolvimento vegetativo mais vigoroso e, consequentemente, com mais altos níveis de umidade. A experiência documentada do desenvolvimento de uma plantação irrigada do Havaí revela que é possível baixar a umidade da cana, mesmo na presença de altos níveis de N, forçando assim a maturação (ALEXANDER, 1973). Dados de Araújo et al.

(2016), corroboram os mencionados, informando que reduções significativas de irrigação, ocorrendo no período de 30 dias antes da colheita, melhoram a qualidade da matéria-prima da cana.

Segundo Moore e Botha (2014), o aumento da concentração de açúcares solúveis (brix), geralmente é associado a uma diminuição concomitante do teor de água. Muitas vezes um aumento no conteúdo de sacarose expresso em termos de massa fresca, pode ocorrer mesmo sem a deposição de sacarose adicional quando os colmos se desidratam, como resultado de um teor reduzido de água do solo.

Durante os primeiros meses do ano a cana de açúcar cresce e se desenvolve, principalmente em função do clima quente e úmido, o que é o oposto do processo de armazenamento de açúcar nos tecidos vegetais, que ocorre em um pequeno número de completos colmos alongados próximos da base da planta (CASTRO, 2016; DOOREMBOS; KASSAM, 1979). Acredita-se que a sacarose não é acumulada ao nível máximo, até que as plantas não apresentem altas condições restritivas contra o crescimento, ou seja, apresente estresse abiótico. Eventualmente, as pesquisas envolvendo a maturação das plantas de cana, ocorrem quando há um estresse proveniente de falta d'água e nitrogênio (ALEXANDER, 1973).

Um extrato da complexidade do processo de amadurecimento é oculta pelo modelo conceitual simples, que afirma que a porção de fotossíntese (C) que não é consumida no crescimento e na respiração de manutenção é armazenada como sacarose e não é facilmente removida (MOORE; BOTHA, 2014). Assim, quando a produção excede o consumo de C, a sacarose é armazenada. Isto implica que um fator de estresse que induz a maturação, teria um efeito maior sobre o consumo do que a produção de C.

Inman-Bamber (2004) afirma que, embora a cana-de-açúcar possa ser forçada a amadurecer quando relativamente jovem, por exemplo, por falta de água do solo, a maturação é usualmente associada ao curto período que antecede à colheita.

De acordo com pesquisas recentes realizadas por Souza et al. (2018), durante o ciclo de um ano da cultura da cana-de-açúcar, modificações fisiológicas e bioquímicas foram observadas ocorrendo a partir dos 6 meses de idade, indicando o início do acúmulo de sacarose, e dos 9 meses em diante, o acúmulo foi mais acentuado, chegando ao seu ápice aos 12 meses, onde a sacarose se acumula em praticamente todos os órgãos da planta.

Novas variedades têm sido desenvolvidas com intuito de incrementar o

armazenamento de açúcar, melhorando assim a qualidade da matéria-prima, e uma das principais características buscada para este incremento está ligada à fotossíntese, segundo Mattiello et al. (2015).

O processo de maturação na presença de baixa temperatura culminando com baixa pluviosidade é acentuado, pois, o estímulo ao crescimento é reduzido (MARIN, 2013). Magalhães (1987) cita a temperatura como um dos principais fatores que influenciam o processo de acúmulo de sacarose. Temperaturas elevadas propiciam o crescimento, enquanto baixas temperaturas retardam o crescimento, diminuindo o alongamento do internódio e estimulando o acúmulo de açúcar.

Segundo Deuber (1988), a indústria sucroalcooleira possui dependência da qualidade de matéria-prima produzida nos canaviais brasileiros, pois, é por meio desta que são medidos os rendimentos de açúcar, bem como demais custos inerentes a produção.

2.3 Maturadores químicos

A safra de cana-de-açúcar no Brasil na região sudeste, inicia-se geralmente em meados de março/abril, e se prolonga até novembro/dezembro, sendo que, tanto o início como o final de safra, coincidem com alta pluviosidade e alta temperatura, favorecendo assim, o pleno crescimento da cultura (CASTRO, 2016). Mediante o cenário climático apresentado, faz-se necessário a utilização de maturadores químicos cujo intuito é acelerar o acúmulo de sacarose, provendo uma matéria-prima de melhor qualidade à indústria (GHELLER; NASCIMENTO, 2001).

Os inibidores de crescimento ou reguladores de crescimento, como são denominados os maturadores químicos, têm alcançado grande atenção do setor sucroalcooleiro, pois, atuam no planejamento estratégico de colheita das usinas, reduzindo a taxa de crescimento e antecipando o teor de sacarose para o seu acúmulo, melhorando assim, a qualidade da matéria-prima para a indústria (CASTRO, 1999). Em meio de safra onde predomina outono/inverno chuvoso, também se faz necessário a utilização de maturadores para reduzir a taxa de crescimento e estimular o acúmulo de sacarose, bem como em final de safra, onde são utilizados para inibir a retomada de crescimento e reduzir a queda do teor de sacarose acumulado (LEITE (2009a).

No mercado brasileiro existem muitos diferentes tipos de maturadores químicos, alguns possuem modo de ação com efeito mais rápido do que outros, variando o período de ação num intervalo médio de 15 a 60 dias, sendo que os maturadores que possuem efeito mais rápido, variando entre 15 a 30 dias e os de efeito mais lento, entre 30 chegando até a 60 dias (RODRIGUES, 1995). A importância do conhecimento do modo de ação de cada maturador, proporciona um melhor planejamento de cada produto, bem como época mais adequada para cada modo de ação, evitando-se assim prejuízos no uso do manejo inadequado (CASTRO, 2016).

Segundo Castro (2016), um produto que tem ganhado atenção nacional como inibidor de crescimento é o sulfometuron-methyl, demonstrando ótima eficiência em acelerar o processo de maturação influenciando no retardo de seu crescimento.

O sulfometuron-methyl é absorvido via foliar para o interior da parede celular em meio ácido, podendo permanecer na forma neutra, facilitando assim seu carregamento no floema devido sua melhor permeabilidade. Já no floema, onde predomina o meio alcalino, ocorre o transporte via fluxo de massa pela característica de sua forma aniônica (RODRIGUES, 1995).

O maturador sulfometuron-methyl, pertence ao grupo químico das sulfoniluréias, reconhecido por ser muito promissor no mercado nacional de inibidores ou retardantes de crescimento em cana-de-açúcar, com modo de ação variando entre 50 a 60 dias (RODRIGUES, 1995). O modo de ação do sulfometuron-methyl não bloqueia a ação dos hormônios promotores de crescimento como auxina e giberelina, porém, possuem forte estímulo na síntese de etileno (RODRIGUES, 1995).

As sulfoniluréias atuam na inibição da síntese da enzima acetolactato sintetase (ALS), promotora da síntese dos aminoácidos como a valina, leucina e isoleucina. Sendo assim, afeta a síntese de aminoácidos, consequentemente a síntese de proteínas essenciais requeridas para produção de novas células, a partir dos substratos piruvato e α -cetobutarato (MARCHI; MARCHI; GUIMARÃES, 2008).

A enzima ALS é importante na síntese de aminoácidos, catalisando duas importantes reações, a condensação de moléculas de piruvato para formação de acetolactato e ou para formar a acetohidroxitartrato. Desta forma, a enzima possui dois nomes dependendo da reação, ALS e acetohidroxí ácido sintase (AHAS) (ROMAN et al., 2005).

Experimentos realizados em Piracicaba, na cultivar SP 70-1143, utilizando o sulfometuron-methyl apresentaram ótima performance reduzindo a taxa de

crescimento da cana, bem como, incrementando o teor de pol, influenciando positivamente na qualidade da cana (CASTRO et al., 1994).

Estudos comparativos de maturadores com solo úmido e seco, demonstraram efeito positivo aos 21 dias após a aplicação do sulfometuron-methyl com o solo úmido, bem como, melhoria nas características qualitativas, proporcionando antecipação de colheita em 15 dias quando comparado com o tratamento controle (ALMEIDA; LEITE; SOUZA, 2005). Os melhores resultados foram obtidos utilizando o tratamento com sulfometuron-methyl, consequentemente alcançando os maiores incrementos em pol, acelerando a maturação e antecipando a colheita (ALMEIDA; LEITE; SOUZA, 2005).

De acordo com Leite (2009b), nos anos que as condições climáticas eram favoráveis ao desenvolvimento, o desempenho do sulfometuron-methyl foi positivo, antecipando sua colheita frente ao controle em 23 dias, porém, sem efeito significativo em anos secos, cuja condição climática não favorecia o crescimento.

A utilização do sulfometuron-methyl causou redução na taxa de crescimento em comprimento da cana-de-açúcar, sem porventura causar a redução do diâmetro, forçando o direcionamento dos fotossintatos ao acúmulo, melhorando a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (LEITE; CRUSCIOL, 2008).

Em experimentos realizados comparando-se misturas de diferentes maturadores, incluindo sulfometuron-methyl com diferentes doses, evidenciou-se que a atividade das invertases ácida e neutra, enzimas envolvidas no processo de maturação, sofreram influência dos tratamentos, retardando o crescimento e propiciando maior acúmulo de fotossintatos pela cana-de-açúcar. (SIQUEIRA, 2009).

Segundo Siqueira (2014), avaliando a influência da utilização de boro juntamente com maturador sulfometuron-methyl, associado ou não, ambos anteciparam a colheita em cerca de 15 dias, aumentando o conteúdo de sacarose armazenado. Resultados semelhantes foram descritos por Bet (2015), que evidenciou o efeito positivo no incremento de ATR do maturador sulfometuron-methyl associado ou não aos complexos nutricionais.

Um dos primeiros experimentos científicos com pré-maturadores no Brasil, foi realizado por Crusciol et al. (2010), demonstrando efeito potencial de incremento em tonelada de cana por hectare e açúcar por tonelada de cana, estimulando novas pesquisas.

Experimentos realizados na Guatemala de 2012 a 2015, utilizando vários complexos nutricionais com e sem bio-estimulantes, de 40 a 70 dias antes dos

maturadores, resultaram em incrementos expressivos e consistentes, conferindo ganhos de 0,9 a 2,3 toneladas de açúcar por hectare (TAH), de acordo com Véliz (2015).

2.4 Papel dos nutrientes na ativação enzimática

O conhecimento das muitas funções metabólicas e estruturais dos nutrientes e suas exigências durante o ciclo da cultura, bem como à época de maior necessidade destes pelas plantas, podem facilitar o manejo e proporcionar melhorias na qualidade e produtividade da cultura (EPSTEIN; BLOOM, 2005; MARSCHNER, 2012).

Os nutrientes são importantes para a vida, pois desempenham funções importantes no metabolismo, seja como substrato (composto orgânico), seja como sistemas enzimáticos (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). De forma sucinta, tais funções podem ser classificadas da seguinte forma:

- (i) Estrutural: faz parte da estrutura de qualquer composto orgânico vital para a planta.
- (ii) Constituinte de enzima: faz parte de uma estrutura específica, grupo prostético/ativo de enzimas.
- (iii) Ativador enzimático: não faz parte da estrutura. Salienta-se que o nutriente, não só ativa, como também inibe sistemas enzimáticos, afetando a velocidade de muitas reações no metabolismo do vegetal (Quadro 1).

O nitrogênio (N) é participante do processo fotoquímico mais importante do planeta, atuando no complexo antena que juntamente com o Mg formam a clorofila que é oxidada na presença da luz produzindo a energia necessária para a fotossíntese (BUCHANAN; GRUISSEM; JONES, 2015). Também atua na base nitrogenada através da adenina, que associada a riboses e radicais fosfato formam o AMP, ADP e ATP. Constituinte de aspartato, alanina e enzimas de carboxilação como a ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (rubisco) e a fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPCase) (FAGAN et al., 2016; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Dentre os macronutrientes, o potássio (K) é o de maior requerimento pela cana-de-açúcar, ativando mais de 50 enzimas envolvidas na síntese de amido e sacarose, com funções importantes no crescimento, resistência a seca, pragas, doenças, previne o acamamento, aumenta a produtividade de colmos em quantidade e qualidade de matéria prima (MOORE; BOTHA, 2014; OTTO; VITTI; LUZ, 2010;).

Quadro 1 - Enzimas vegetais dependentes da ativação por nutrientes.

Enzima	Cofator enzimático	Enzima	Cofator enzimático
6—Fosfofrutoquinase	K	Isomerase de Fosfomanose	Zn
Aconitase	Fe	Lacase	Cu
Aldolase	Zn	Metionina	Mg = Mn, K, NH ₄ , Na
Aldolase de frutose biofosfato	K	NAD Desidrogenase isocítrica	Mn, Mg
Anidrase Carbônica	Zn	Nitrigenase	Fe
ATPase	K, Mg, Mn, Ca, Fe	Oxidase do ácido arcórbico	Cu
Carboxilase de ribulose difosfato	Cu, Mg	Oxidase do ácido indo acético	Mn
Carboxilase pirúvica	Zn, Mg	Oxidase do citocromo	Cu, Fe
Carboxilases	Mg	Peptidases	Zn
Catalase	Fe, Zn	Peroxidase	Fe
Citocromos a, a ₃ , b, b ₂ , b ₃ , b ₆ , c e f	Fe	Pirofosfatase	Mg
Cresolase tirosinase	Cu	Pirofosforilas de difosfato de uridina e glicose	Mg = Mn
Descarboxilase pirúvica	Mn, Mg	Pirofosforilase	Mg = Mn
Desidrogenase de aldeído	K	Piruvato carboxilase	Mg
Desidrogenase alcoólica	Zn	Plastocianina	Cu
Desidrogenase Glutâmica	Zn	Polifenol oxidase catecolase	Cu
Desidrogenase isocítrica	Co, Mn, Mg	Proteinases	Zn
Desidrogenase lática	Zn	Quinase pirúvica	K = Na, Mg = Mn, Zn
Desidrogenase succínica	Fe	Reductase da hidroxilamina	Fe
Diamino oxidase	Cu	Reductase de Nitrito	Fe
Diocarboxilase pirúvica	Mg = Mn	RNA Polimerase	Mg
Enolase	Zn, Mn, Mg, Co	Síntese da Glutathione (GSH)	Mg, Mn, K e KH ₄
Enzima málica	Mn	Síntese de glutamilo	Mn, Mg
Estelacianina	Cu	Sintetase de formil tetra hidrofolato	K
Ferredoxina	Fe	Sintetase de fosfopiruvato	Mg
Ferritina	Fe	Sintetase de Glutamil-cisteína	K
Fosfatases	Mg	Sintetase de NAD +	K
Fosfofrutoquinase	P, Mg	Sintetase de succinil — CoA	K
Fosfohidrogenases	Zn	Sintetase do amido	K
Frutose 1,6 bifosfatase	Mg	Sintetase do glutathione	K
Glutamil sintetase	Mn, Mg	Sintetase do glutathione GSH	Cu, K, Mg
Glutamil transferase	Mn, Mg	Sintetase do triptofano	Zn
Glutamina sintetase	Mg	Superóxido Dismutase	Cu, Zn, Fe, Mn
Hemoglobína (LegHb)	Fe	Tioquinase acética	K, Mg
Hexoquinase	Mg	Transferase de glutamilo	Mn, Mg
Hidrogenase	Fe	Umecianina	Cu

Fonte: Adaptado de Buchanan, Grissem e Jones (2015), Fagan et al. (2016), Malavolta (1980) e Marschner (2012).

O processo de abertura e fechamento dos estômatos, é controlado pela concentração de K, assim como o cloro (Cl) nas células guarda, que em deficiência provoca limitado controle sobre a perda de água das plantas (DECHEN; NACHTIGALL, 2007; CASTRO, 2016). Caso a planta apresente deficiência de K, ocorre influxo de água das células guarda, causando o fechamento dos estômatos,

impedindo a entrada de dióxido de carbono (CO_2), consequentemente menor taxa fotossintética, menor produção, acúmulo de biomassa e transporte de sacarose devido ao menor teor de água (FRANZÉ, 2010; MALAVOLTA, 1982; TAIZ; ZEIGER, 2004).

O K também é vital para a fotossíntese e possui alta contribuição para o potencial osmótico da planta. Atua na síntese de proteínas, como cofator da ativação de aminoácidos e indiretamente no suprimento de ATP (FAGAN et al., 2016; LUCCHESI, 2008). Na deficiência de K ocorre aumento na concentração de açúcares redutores, redução na síntese e transporte de proteínas, elevação da respiração celular e redução da ligação e transferência de RNA para os ribossomos (MARSCHNER, 2012). O excesso também é prejudicial, através do consumo de luxo ocorre aumento de cinzas no caldo, prejudicando a cristalização de açúcar.

O átomo central da molécula de clorofila é o magnésio (Mg), sendo este o principal substrato das ATPases, responsável pelo gradiente de pH no estroma dos cloroplastos, aumenta a atividade da RuBP carboxilase (ribulose 1,5 bisfosfato oxidase/carboxilase – Rubisco) melhorando assim a fotossíntese (GERENDÁS; FÜHRS, 2013). Promove a síntese de proteínas no ribossomo, pois é o elemento ponte de ligação de 2 sub-unidades deste órgão (MARSCHNER, 2012).

Na síntese de ATP atua como elemento de ligação entre a enzima e o substrato, também atua nas enzimas da fotossíntese, respiração celular e síntese de DNA e RNA (TAIZ; ZEIGER, 2004). O Mg participa na síntese e ativação de muitas outras enzimas, como glutatona, PEP-carboxilase e a frutose 1,6 bisfosfofrutocinase responsável pela síntese de amido e glicose e na exportação de triose fosfato no cloroplasto, atua também em pectatos da parede celular (BUCHANAN; GRUISSEM; JONES, 2015; CASTRO, 2016).

Segundo Wilson (1962), o enxofre (S) é componente estrutural de aminoácidos como a cistina e metionina, sendo assim atua na síntese de proteínas e produção de coenzimas. A produção de cistina e metionina é uma das mais importantes funções do enxofre, e também a nitrato redutase, sendo assim ligado ao metabolismo do N (CASTRO, 2016; PRADO et al., 2008; VITTI, 1988). É um nutriente essencial para a produção da clorofila, sendo que plantas com deficiência de S, apresentam baixa concentração de clorofila, consequentemente realizam menos fotossíntese e menos sacarose (MARSCHNER, 2012).

Entre os micronutrientes, o boro (B) é o que mais apresenta deficiência nos solos brasileiros, seguido pelo Zn, Cu, Fe e Mn (SILVA; FERREYRA, 1998; VALE; ARAUJO; VITTI, 2008).

Embora o B não participe diretamente da fotossíntese, ele atua como ativador enzimático de diversas enzimas, é constituinte de vários compostos, atua em diversos processos, como absorção iônica, síntese de lignina, celulose, ácidos nucleicos, metabolismo de RNA, respiração celular, metabolismo fenólico, metabolismo de ascorbato, integridade da membrana plasmática, metabolismo de AIA e proteínas (ALLEONI, CAMARGO e CASAGRANDE, 1998).

Segundo Dugger (1973), o transporte de açúcar é facilitado pela presença de B, pois causa a redução da resistência da membrana plasmática, além disso é indispensável para a síntese de uracila, precursora da uridina difosfato glicose (UDPG), sendo esta um dos precursores da sacarose.

Embora o B geralmente seja imóvel no floema, em espécies que o sorbitol é o principal açúcar, o boro é móvel (BROWN; HU, 1996). O efeito do B na translocação do açúcar é secundário, isso porque na falta do elemento, o transporte ficaria dificultado pela formação deficiente de pectatos da parede celular causando necrose do floema e menor transporte de carboidrato (NICHOLAS, 1961). A deficiência de B reduz a formação dos complexos açúcar-borato que facilita o transporte de sacarose dentro da planta (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012).

O cobre (Cu) é responsável pela transferência de elétrons entre o citocromo *b6f* e o fotossistema I através da plastocianina (CASTRO, 2016). Atua também como cofator enzimático de várias enzimas como superóxido dismutase (SOD), oxidase do ascorbato, polifenol oxidase, cresolase, catalase e tirosinase. Porém, as enzimas mais importantes no processo fotossintético são a SOD de Cu e Zn que faz a desintoxicação dos radicais superóxidos no cloroplasto, ou seja, das espécies reativa de oxigênio (EROS), transformando-as em peróxido de hidrogênio que são convertidas a água e gás oxigênio pela catalase, que são enzimas localizadas nos peroxissomos.

A lacase e a ascorbato oxidase são enzimas ativadas pelo Cu, responsáveis pela síntese de plastoquinonas, bem como a fenolase que sintetizam ligninas e alcalóides (BUCHANAN; GRUISSEM; JONES, 2015). Segundo Taiz e Zeiger (2004), além de todas estas enzimas, o Cu ainda possui atuação na respiração celular, regulação hormonal, fixação de N e efeito indireto no metabolismo secundário.

O ferro (Fe) é essencial para a síntese de cloroplastos, constituinte de vários sistemas redox atuando na ativação enzimática de citocromos, ferredoxinas e plastoquinonas, responsáveis pelo transporte de elétrons no aparato fotossintético (CASTRO, 2016). Outras enzimas como catalases e peroxidases, atuam na (dismutase) do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em água, sendo estes radicais superóxidos potencialmente nocivos às plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A deficiência de Fe causa uma redução na síntese de proteínas da cadeia de transporte de elétrons e também na Rubisco, conseqüentemente uma redução significativa na fotossíntese e produtividade é evidenciada (BRIAT; DUBOS; GAYMARD, 2015; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

A fotossíntese é extremamente dependente do Fe, pois atua nas hemoproteínas que possuem o grupamento heme do (complexo-Fe-porfirina) como grupo prostético e também a proteína Fe-S que também são atuantes na assimilação e fixação de N e S. (MOORE; BOTHA, 2014).

Segundo Taiz e Zeiger (2004), o manganês (Mn) desempenha papel fundamental na fotossíntese através da reação chamada fotólise, que é a fotoxidação da molécula de água, liberando elétrons no lúmen dos tilacóides e produzindo como subproduto o gás oxigênio. O Cl é importante nesta reação da fotólise, pois é responsável pela regulação da atividade redox do átomo de Mn no complexo da evolução do oxigênio, bem como, o cálcio (Ca) que atua como sinalizador da molécula de água, no local de ligação junto ao substrato, aumentando assim o rendimento quântico da fotoxidação (MARSCHNER, 2012).

A redutase do nitrito que auxilia na incorporação do N em esqueletos carbônicos e a superóxido dismutase também são ativados pelo Mn (PRADO et al., 2008).

A enzima polimerase do RNA, que é ativada pelo Mn, participa como componente estrutural de ribossomos, e na deficiência de Mn causa redução da síntese de proteínas e multiplicação celular (PRADO et al., 2008). Outro problema citado com a deficiência de Mn é quanto à quantidade reduzida de elétrons que é produzida, prejudicando a fotossíntese devido ao baixo fluxo destes, gerando menor produção de ATP e NAPH que seriam utilizados na fixação de CO_2 (BUCHANAN; GRUISSEM; JONES, 2015).

O molibdênio (Mo) é o nutriente com os menores níveis de requerimento pela planta. Atua como cofator em sistemas enzimáticos, e dentre suas funções principais, estão a participação na enzima nitrato redutase e na nitrogenase (CASTRO, 2016).

O zinco (Zn) é fundamental na captação de CO₂ da atmosfera, pois ativa a enzima anidrase carbônica (AC), que realiza a hidratação da molécula de CO₂ transformando-a em ácido carbônico (HCO₃) e posteriormente captada pela PEPCase nas células do mesófilo em espécies C₄. Caso a planta apresente deficiência de Zn, ocorre um declínio acentuado na atividade da AC, conseqüentemente menor captação e fixação de CO₂ e redução no metabolismo de carboidratos (FAGAN et al., 2016).

De acordo com Castro (2016), a produção do hormônio ácido indol-3-acético (AIA) responsável pelo crescimento e alongamento celular, sofre influência direta do Zn, pois este participa da síntese do aminoácido triptofano que é precursor do (AIA).

As espécies reativas de oxigênio (EROS) são formadas como subprodutos em processos metabólicos naturais, como a fotossíntese e a respiração celular, nos cloroplastos, mitocôndrias, peroxissomos e até em membranas plasmáticas. Embora as EROS não causem a senescência foliar, elas enviam sinais ativando processos de expressão gênica estimulando a morte celular programada. Sendo assim, a limpeza destas na célula são necessárias, sendo realizadas por agentes antioxidantes (catalase, superóxido dismutase, ascorbato peroxidase) que na fase de senescência, encontram-se em baixas concentrações enquanto as taxas de EROS estão elevadas (TAIZ; ZEIGER, 2004, MARSCHNER, 2012, CASTRO, 2016).

A utilização de um complexo nutricional com micronutrientes aplicado via foliar, proporciona incrementos em toneladas de cana por hectare e também em açúcar por tonelada de cana, conforme Vazquez e Sanchez (2010).

2.5 Adubação foliar

A adubação foliar tem sido foco constante nas pesquisas agrícolas nos últimos anos, por se tratar de uma aplicação localizada, sendo realizada no momento adequado, orientado para o tecido alvo, com volume limitado, gerando assim menor impacto ambiental (FERNÁNDEZ; EICHERT, 2009). Outros benefícios são destacados por Sekhon (2003), como menores taxas de aplicação, possui efeito imediato sobre a cultura, aplicação mais uniforme e devido a utilização de pequenas quantidades, não se acumulam em níveis nocivos.

A eficácia da adubação foliar foi evidenciada por muito tempo como duvidosa, isto incorreu devido à utilização errônea dos compostos nutricionais, bem como, pela qualidade duvidosa dos produtos disponíveis (ROSOLEM, 2002). Porém, novas tecnologias como adjuvantes, surfactantes, umectantes, quelantes, entre outros, foram desenvolvidas, melhorando assim, a eficácia da adubação foliar (FERNÁNDEZ; SOTIROPOULOS; BROWN, 2015).

Na cana-de-açúcar a modalidade de fertilização foliar, começou aproximadamente em meados de 1950, com experimentos conduzidos no centro de pesquisa Oahu Sugar Company. Em 1951, iniciaram-se as primeiras aplicações aéreas de adubações foliares em escala comercial e em 1952, a área ocupada já ultrapassava 8 mil hectares no Hawaii (HUMBERT, 1974).

Durante os anos de 1950 a 1952, utilizou-se aplicações de uréia com resultados promissores através do incremento tanto em produtividade quanto em qualidade da cana-de-açúcar, e observou-se que, aplicações realizadas de 5 a 6 meses antes da colheita, não afetavam a qualidade da cana (HUMBERT, 1974). De acordo com Rengel, Gil e Montaña (2011), a maior demanda do N é no período de maior crescimento da cana, ocorrendo, ao término deste período um decréscimo no teor de N na folha, causado provavelmente pelo declínio no suprimento de N e pela demanda do colmo. O resultado deste declínio segundo Moore e Botha (2014), promove menor conteúdo de N foliar, causando posteriormente redução da área foliar, menor interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, já que o N é um componente essencial da molécula de clorofila e consequentemente menor taxa fotossintética.

Segundo Rossi (2015), devido a maior demanda nutricional pelos tecidos mais jovens, principalmente no estágio fenológico avançado da cultura, a remobilização dos nutrientes é evidenciada, provocando senescência prematura, o que não ocorreria se esta necessidade fosse suprida como por exemplo, com aplicações de fertilizantes foliares.

Experimentos de Sinclair e Horie (1989), demonstraram que as baixas concentrações de N nas folhas ocorreram devido ao efeito diluição do nutriente, mediante ao maior acúmulo de biomassa, maior crescimento da área foliar e consequentemente maior absorção de radiação solar. Os mesmos autores concluíram que para aumentar o acúmulo de biomassa era necessário o fornecimento foliar de N com objetivo de manter um ótimo teor de N na folha.

Com a utilização somente de uréia nas adubações foliares, verificou-se que eram frequentes o surgimento de deficiência de potássio (HUMBERT, 1974). Realizou-se então experimentos com cloreto de potássio visando manter o nível foliar acima de 2% do peso seco durante o ciclo da cultura, utilizando-se a metodologia de análises de planta e registro de desenvolvimento proposta por Clements (1945). A utilização de apenas uma aplicação de $3,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de cloreto de potássio (KCL), via adubação foliar, obteve resultados melhores do que a utilização de $36,5 \text{ kg ha}^{-1}$, aplicados no solo. Em experimentos semelhantes, porém, em solos deficientes em potássio, foram necessárias até 7 aplicações consecutivas para manter este nível nas folhas (HUMBERT, 1974).

Segundo Papadakis, Sotiropoulos e Therios (2007), devido a baixa translocação na planta de alguns nutrientes, o efeito da aplicação destes, fica restrito apenas aos tecidos aplicados, sendo assim, sugere-se reaplicações consecutivas sempre que ocorrer novos fluxos de crescimento. Gettier, Martens e Brumback (1985), estudando aplicações foliares em soja, verificaram a necessidade de 2 ou mais aplicações consecutivas para certos nutrientes dentro da estação de cultivo.

Aplicações consecutivas de fertilizantes são realizadas várias vezes durante o ciclo de diversas culturas, juntamente com defensivos e reguladores de crescimento, dependendo do propósito a que se destinam, com a ressalva de que sejam compatíveis, essas misturas trazem benefícios na redução da quantidade de aplicações, podendo apresentar efeito sinérgico de acordo com Alexander (1986).

A utilização de fertilizantes foliares em cana-de-açúcar, cujos compostos contém nitrato de potássio (KNO_3), foram testados como inibidores de crescimento substituindo os maturadores químicos, entretanto, os resultados eram inconsistentes, sendo estes dependentes das mudanças climáticas, apresentando incrementos de açúcar somente em períodos de estiagem, ou seja, com clima seco (CRUSCIOL; LEITE; SIQUEIRA, 2010; HARO et al., 2001; MOORE; BOTHA, 2014).

O fósforo é um nutriente de grande importância para a cana-de-açúcar, pois é requerido em diversas reações químicas e fundamental na ligação energética entre o ADP e o ATP, bem como na assimilação de CO_2 (CASTRO, 2016). Segundo Teixeira, Sousa e Korndörfer (2014), o acréscimo das doses de P_2O_5 incrementou a produção de colmos por hectare e o rendimento de açúcar por tonelada de colmos.

Experimentos desenvolvidos por Zambrosi e Mesquita (2016), com adubação foliar de fósforo, demonstraram resultados positivos tanto em aumento de matéria

seca da parte aérea e raízes, como em concentração interna nestes órgãos. Houve aumento na concentração de N, P, S e reduziu Mn, além disso, houve relação positiva nas concentrações P:N, P:Mg, P:S, P:Mn e Mg:Mn (ZAMBROSI; MESQUITA, 2016).

Estudos realizados com beterraba sacarina denotam resultados de adubação com Mg via solo muito inconsistentes para variáveis de produtividade e qualidade, diferente dos resultados avaliados com adubação foliar, que possuíam maior consistência e aumentos significativos de açúcar nas raízes, variando de 5% a 15% de incremento (GERENDÁS; FÜHRS, 2013)

Jelenic, Licina e Gajic, (1986), reportam resultado positivo em uvas de cultivar Riesling, com a adubação foliar utilizando Mg, B e Zn quelatizados com aumento na massa vegetativa no primeiro ano de 5,78% e no segundo ano com incremento de 2,85%, onde ocorreram aumentos significativos também no peso, comprimento, largura e espessura das bagas.

Estudos realizados com quatro variedades de cana-de-açúcar, utilizando aplicação foliar de cálcio, evidenciaram o atraso do florescimento da cana em até um mês e redução na intensidade de floração final em até 50%, devido a maior concentração de cálcio nos ápices vegetativos, causando uma redução de potássio (ENDRES et al., 2015).

Janro et al. (2002), estudando a cana-de-açúcar, observaram resultados significativos da utilização dos micronutrientes aplicados via foliar, aumentando altura da planta, comprimento, diâmetro, entrenós, tamanho dos entrenós e peso dos colmos, embora as mais altas taxas de B e Mn e as menores taxas de Zn e Cu, destacaram-se como os maiores resultados.

A eficácia da adubação foliar com micronutrientes, pode variar dependendo da espécie, idade, estágio fenológico bem como características dos produtos como sais, complexos ou quelatos (MARSCHNER 2012; WÓJCIK, 2004; ZHANG; BROWN, 1999).

O conteúdo de todos os nutrientes foliares, exceto silício, decrescem com a idade das plantas, tendo seu maior consumo e remobilização no período de maior crescimento, estabilizando gradualmente do meio para o final do período de maturação, remobilizando os nutrientes dos órgãos maduros para os mais jovens (AYRES, 1936; HUMBERT, 1974; MEDINA, 2013). Resultados de Martins et al. (2016), inferem que com a idade elevada das folhas ocorre a redução na concentração

dos pigmentos fotossintetizantes, bem como, acúmulo dos nutrientes Ca, S, Mg, B, Mn e Al e a remobilização de N, P, K, B, Cu, Fe e Zn.

Esta remobilização de nutrientes pode gerar a prematura senescência foliar, que pode ocorrer devido a vários fatores como por exemplo, níveis hormonais e taxa de crescimento causando expressão gênica diferencial, consequentemente promove a degradação de macromoléculas como pigmentos fotossintetizantes, lipídios, proteínas e ácidos nucleicos (MARSCHNER, 2012; MATTIELLO et al., 2015). Outros fatores são os estresses abióticos como seca, deficiência nutricional, radiação UV-B, ozônio, temperaturas extremas, excesso ou falta de luz e também por estresses bióticos como herbivoria, infecção por patógenos e ataque de pragas (FERNÁNDEZ; SOTIROPOULOS; BROWN, 2015; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Segundo Lira et al. (2017), a senescência foliar ou final da vida útil de uma folha, ocorre progressivamente através do catabolismo macromolecular do cloroplasto reduzindo a capacidade fotossintética. O incremento em produtividade, foi alcançado utilizando-se a estratégia de atrasar a senescência para estender a janela de tempo fotossinteticamente ativa da folha (LIRA et al., 2017).

A senescência foliar é parte importante da constante de renovação foliar, que é a substituição de folhas velhas por novas e é relatada por vários autores (IRVINE, 1983; MACHADO, 1981; MACHADO et al., 1982, 1983; WALDRON; GLASZIOU; BULL, 1967), que descrevem a existência de um balanço entre a emissão de novas folhas e a senescência destas, sendo na fase inicial do ciclo, maior a quantidade de emissão e menor de senescência. Na fase de maior crescimento, estabelece-se uma quantidade de folhas que varia de 7 a 10 entre emissões e senescências, porém, identifica-se uma longevidade foliar superior a 5 meses, e um aumento na área foliar em largura e comprimento. Na fase final do ciclo, devido ao baixo suprimento nutricional, a constante altera-se com duração foliar inferior, provoca maior senescência, induzindo maior renovação e sem aumentos significativos nas medidas do tamanho das folhas. É notório que, a fase de maior crescimento, coincide com a maior longevidade da folha, bem como maior produtividade da cana (BULL; GLASZIOU, 1975).

Em experimentos utilizando adubação foliar com macronutrientes e micronutrientes, observou-se que a senescência foi significativamente atrasada, elevando o potencial produtivo e qualitativo da cultura do trigo (BLANDINO; REYNERI, 2009). Aplicação de fosfato monopotássico (KH_2PO_4) na dosagem de 5 a 10 kg ha⁻¹,

obtiveram redução na taxa de senescência foliar e conseqüentemente houve incremento na produção de grãos de acordo com Benbella e Paulsen (1998). Os mesmos autores enfatizam que houve um melhor aproveitamento devido ao menor estresse e recomendam a utilização em áreas com ocorrência de secas e pressões ambientais de alta temperatura. Pesquisas voltadas para senescência foliar, são extremamente valiosas para obtenção de novas estratégias de manipulação da senescência para aplicação agrícola (ZHANG; ZHOU., 2012).

Segundo Thorne e Watson (1955) e Thorne (1986), adubações foliares de N, foram eficientes em retardar a senescência das folhas, aumentando a longevidade destas e sendo rotina nos experimentos realizados em Rothamsted, no ano de 1950.

Conforme descrito por Eibner (1986), existe uma correlação direta entre o estágio de desenvolvimento com a taxa de absorção foliar da planta, e descreve que a melhor oferta do nutriente é sempre no estágio de maior consumo deste pela planta. A cana-de-açúcar apresenta uma alta correlação entre a raiz e a parte aérea no estágio de maior crescimento, e tende a declinar com a idade da planta, reduzindo na fase de maturação. Na cana se observa uma quantidade extra e ociosa de raízes, que poderia ser aproveitada, aumentando-se esta correlação na fase de maturação (SMITH; INMAN-BAMBER; THORBURN, 2005).

Segundo Osaki et al. (1997) e Fageria e Moreira (2011), uma grande quantidade de nutrientes, especialmente N, é fornecida às folhas através das raízes, permitindo elevada taxa de fotossíntese durante a maturação. Com esta manutenção da taxa fotossintética, ocorre um aumento da produção, matéria seca e melhoria na absorção de nutrientes através da atividade das raízes que permanecem constantes durante a maturação, formando assim um ciclo.

O balanço nutricional na planta, favorece o transporte de nutrientes no xilema, a recirculação de potássio no floema e a inter-relação raiz-parte aérea, auxiliando a manutenção do crescimento radicular, na sinalização do ácido abscísico, na prevenção da deficiência de nutrientes ou estresses provenientes de salinidade, no crescimento e atividade estomática de células meristemáticas, folhas e brotos (Jeschke; Hartung, 2000).

Shereverya (1959; IKONEKO, 1959 apud HUMBERT, 1974), descrevem que a adubação foliar com potássio, aumentou o teor deste nutriente na parte aérea da planta em valores superiores aos aplicados, evidenciando o estímulo da absorção radicular de nutrientes, por meio do aumento no metabolismo da planta,

demonstrando uma inter-relação íntima entre os nutrientes aplicados na folha e nas raízes.

Segundo Eibner (1986), a absorção via radicular, é melhorada devido a utilização da adubação foliar. Experimentos realizados por Alston (1979), corroboram deixando evidente a influência da adubação foliar na participação da absorção de nutrientes via solo, e ou, a translocação para as partes aéreas das plantas, demonstrando aumento da concentração nos grãos e nas palhas de nitrogênio pelo suprimento foliar de fósforo. O rendimento quanto ao tamanho e ao número de grãos, foram influenciados pela adubação foliar realizada no final do ciclo (ALSTON, 1979).

Soluções contendo um único nutriente, aplicados via foliar, aumentam a quantidade absorvida do solo do mesmo elemento ou de outros (THORNE, 1954, 1955). Sempre que a absorção foliar estimulou a absorção radicular, houve incremento em peso seco, tanto na parte aérea quanto na raiz, denotando que a maior absorção radicular, ocorreu devido ao aumento da superfície absorvente do sistema radicular (THORNE, 1957).

A adubação foliar realizada em plantas de milho contendo N, Fe e Zn, causou aumento significativo da matéria seca da parte aérea, porém, isso não ocorreu proporcionalmente com as raízes segundo Jelenic, Licina e Gajic, (1986). Foi observado que a adubação foliar alterou a atividade radicular e gerou mudanças no pH próximo das raízes, causando exosmose e alta liberação de eletrólitos através das membranas das células radiculares, ou seja, liberação de um certo número de íons e exsudação de numerosos ácidos nas áreas próximas às raízes, estimulando processos ativos de desenvolvimento durante a nutrição da planta. Além disso, plantas submetidas à adubação foliar, por meio do metabolismo intenso e a alta atividade radicular, pode, de certa forma, apresentar efeito positivo à nutrição e ao suprimento de íons do meio ambiente (JELENIC, LICINA; GAJIC, 1986).

Segundo Rosolem (2002), a adubação foliar é dividida em:

- (i) Adubação foliar preventiva: o próprio nome elucida, prevê certos tipos de deficiência.
- (ii) Adubação foliar corretiva: vislumbra a correção de algumas deficiências.
- (iii) Adubação foliar substitutiva: busca-se substituir a adubação de solo.
- (iv) Adubação foliar complementar: é uma modalidade que busca complementar a adubação já realizada no solo.

(v) Adubação foliar suplementar: visa não só complementar a adubação de solo, mas incrementar uma maior produtividade, ou seja, explorar todo potencial genético da planta em questão.

Segundo Humbert (1974), as novas variedades de cana-de-açúcar exigem uma demanda maior de nutrientes, por possuírem um potencial significativamente maior de produtividade e qualidade, conseqüentemente, um manejo mais assertivo, balanceado e parcelado de nutrientes, para explorar todo potencial genético destas.

2.6 Fatores que afetam à eficiência da adubação foliar

2.6.1 Anatomia e absorção foliar

A superfície de uma folha tem como função principal, captar luz e CO_2 , para através da fotossíntese produzirem glicose e seu subproduto o oxigênio (O_2). Os estômatos são partes importantes deste processo, pois é, através de seus ostíolos, que entram o CO_2 e saem o O_2 e a água (H_2O) pelo processo de respiração celular (ALEXANDER, 1973; FRANKE, 1967; SINHA, 1999). Além destas importantes funções, há aproximadamente três séculos, foi relatado que as folhas também possuíam permeabilidade a absorção de água e nutrientes (FERNÁNDEZ; SOTIROPOULOS; BROWN, 2015; ROSOLEM, 2002).

No século XVII, já havia relatos de absorção de água pelas folhas, e no início do século XIX a absorção de nutrientes via foliar, segundo descrito por Gris em 1844, Mayer em 1874 e Böhm em 1877 (FERNÁNDEZ; EICHERT 2009).

Para a obtenção de resultados positivos por meio da utilização de aplicações foliares de nutrientes, é imprescindível o conhecimento da anatomia foliar e as barreiras pelas quais os nutrientes deverão ultrapassar para entrar no interior das folhas (FERNÁNDEZ; SOTIROPOULOS; BROWN, 2015).

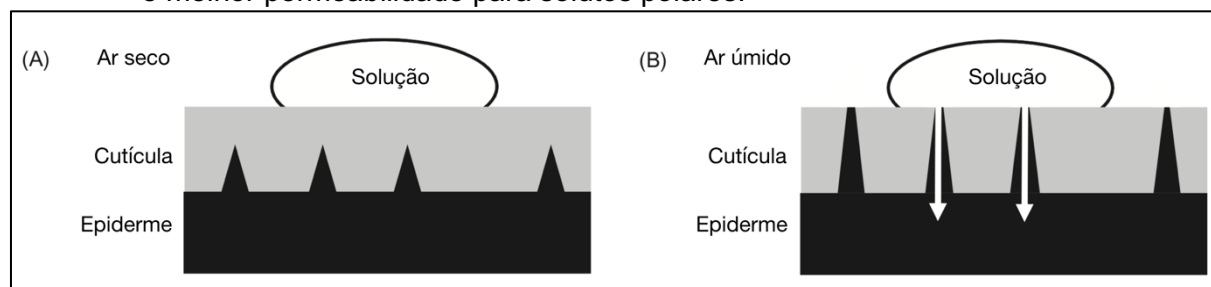
A folha possui diversas barreiras anatômicas, a entrada e saída de substâncias em seu interior, afetando a absorção foliar (KANNAN, 1980). Assim como em raízes velhas ou sob estresse hídrico, ocorre a formação de uma grossa camada de suberina aumentando a espessura da camada suberizada das raízes, evitando a perda de água, nas folhas o processo é semelhante, porém, a formação realizada é de cutina, principal componente da cutícula, formando uma camada hidrofóbica com

característica impermeabilizante, impedindo a movimentação de gases e solutos, total ou parcial, pelas camadas da folha (FAGAN et al., 2016; MATTIELLO et al., 2015).

Segundo Fagan et al., (2016), ao ultrapassar a barreira de absorção, a substância fica condicionada ao plasmalema e ao tonoplasto, daí por diante não há diferenças significativas entre as células radiculares e foliares.

Muitos avanços nas pesquisas dos mecanismos de absorção de nutrientes via foliar, tem ocorrido. Basicamente duas vias para os nutrientes entrarem no tecido da planta são consideradas: uma é através dos estômatos e outra é através dos poros hidrofílicos da cutícula, chamados de poros polares (Figura 1) (FAGAN et al., 2016; JEFFREE, 2006; WITTEWER; TEUBNER, 1959). Porém, toda absorção é cuticular, já que esta camada recobre toda superfície interna ou externa da epiderme, e as células do mesófilo especialmente células abaixo dos estômatos, que estão em contato com o oxigênio do ar (FRANKE, 1967; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; WITTEWER; TEUBNER, 1959).

Figura 1 - Demonstração da influência da umidade relativa do ar sobre a permeabilidade cuticular por meio da hidratação dos poros polares. (A) Umidade relativa baixa não é suficiente para hidratação adequada da cutícula exterior e a água suprida pela epiderme sorvida para cutícula inferior. (B) Com umidade relativa adequada, ou seja, ar úmido, ocorre hidratação cuticular formando poros para passagem da água e melhor permeabilidade para solutos polares.



Fonte: Adaptado de Marschner (2012).

A cutícula é uma camada hidrofóbica e em sua maioria é mais espessa na parte adaxial em comparação com a abaxial (ROSOLEM, 2002). A parte abaxial possui uma quantidade superior de estômatos e de poros polares e a espessura cuticular é geralmente mais delgada, conferindo uma estratégia interessante de aplicação direcionada de substâncias para este local (KANNAN, 1986; WÓJCIK, 2004).

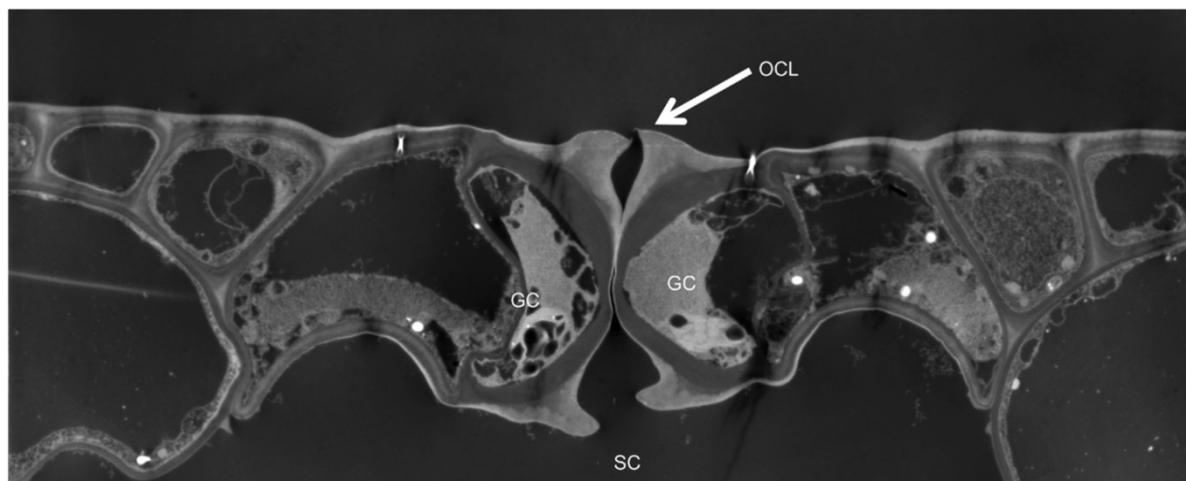
O revestimento cuticular da folha é de certa forma bastante variado, porém, predominantemente é constituído por cutina que são formadas por biopoliésteres insolúveis, que por sua vez, são formados por uma rede polimérica de ácidos graxos

com cadeia de C₁₆ e C₁₈ polihidroxiados reticulados por ligações éster, formados também por pectina, celulose, hemicelulose e cera constituída por compostos alifáticos (FERREIRA, 2005; HEREDIA-GUERRERO; BENÍTEZ; HEREDIA, 2008; HESS; FOY, 2000). A cera possui uma barreira hidrofóbica de impedimento à difusão de íons hidrofílicos, que por meio da utilização de adjuvantes, pode ser minimizado (KOCH; ENSIKAT, 2007).

Em sua constituição, a cutícula possui estrutura com compostos polares e hidrossolúveis (pectina e celulose), e compostos apolares e lipossolúveis (cutina e ceras). Sendo assim, a polaridade da cutícula afeta de maneira significativa a absorção de nutrientes (FAGAN et al., 2016; ROSOLEM, 2002).

A cutícula possui duas características importantes para entrada e saída de substâncias na folha, hidrorrepelência e hidrofília. A face mais externa da cutícula possui característica de hidrorrepelência, que é a propriedade que a superfície tem de não molhar, dependendo da afinidade do líquido com a superfície e da tensão superficial do líquido (HESS; FOY, 2000; JEFFREE, 2006; MARSCHNER, 2012; ROSOLEM, 2002). A face interna possui a característica de hidrofília, que é o processo inverso, é a capacidade de reter umidade, é proveniente dos pectatos, e quando umedecida, aumenta o volume das pectinas abrindo poros (Figura 2) pela cutícula facilitando a entrada e saída de substâncias polares e hidrossolúveis (FAGAN et al., 2016; MARSCHNER, 2012; ROSOLEM, 2002).

Figura 2 - Corte transversal da epiderme de uma folha de *Heliconia choconiana*. GC: célula guarda, OCL: borda cuticular externa, SC: cavidade subestomática. A cutícula pode ser identificada como uma camada de cor clara cobrindo as células epidérmicas, incluindo a GC.



Fonte: Marschner (2012).

A cutina é um dos principais componentes da cutícula, composta por ácidos graxos hidroxilados polimerizados (esterificados) e em seu interior estão os grupos hidroxila livre e (possivelmente) carboxila. Assim, há um balanço global hidrofílico / lipofílico na cutina. Pode estar presente na forma amorfa e lamelar. Formas fibrilares ou reticuladas também podem estar presentes e acredita-se que contenham polissacarídeos (HESS; FOY, 2000).

A superfície externa da cutícula é coberta com cera composta por lipídios hidrofóbicos integrados a biopolímeros (intracuticular), ou depositada na superfície (ceras epicuticulares). As ceras intracelulares limitam a troca de água e solutos pela planta (KOCH; ENSIKAT, 2007).

Nas últimas décadas, foram descobertos diferentes tipos de ceras epicuticulares, que devido as diferenças químicas, podem conferir aspereza à superfície foliar mais denominada de rugosidade, que por consequência prejudica a absorção de certos compostos, devido a sua aderência na superfície (KOCH; ENSIKAT, 2007).

As estruturas de ceras (epicuticulares) da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) são formadas por aldeídos poliméricos e são suficientemente grandes para serem vistas individualmente com uma poderosa lente ou microscópio de luz, e foram descritas com precisão por de Bary em 1871, mas na maioria das espécies, a estrutura da cera é visível apenas em o microscópio eletrônico (JEFFREE, 2006).

As pectinas são o próprio substrato das ceras e cutinas, substâncias hidrófilas que estão por toda a cutícula, porém, a maior concentração fica no interior da cutícula em contato com a parede externa da epiderme (Figura 2) (FAGAN et al., 2016).

A celulose compreende uma forma lamelar altamente hidrófila que é formada por cadeias longas, provenientes da condensação de glucose e localizam-se na parede externa da epiderme, juntamente com hemicelulose, ceras e outros compostos (ROSOLEM, 2002).

Na cutícula da folha, estão localizados os poros polares, que são poros ou canais finos citoplasmáticos revestidos por plasmodesmos. São prolongamentos do protoplasma que se projetam da parede externa das células epidérmicas conectando com o meio externo, possuindo como principal função a absorção de fertilizantes, reguladores e defensivos conforme demonstrado na Figura 1 (FRANKE, 1967; MARSCHNER, 2012). Quanto mais hidratada a cutícula, maior será a absorção

(MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Seu diâmetro é menor que 1 nm^{-1} e possui cargas negativas fixas, costumeiramente (ácidos poligalacturônicos), aumentando a permeabilidade de cátion e reduzindo a de ânions, devido a repulsão das cargas (TYREE, 1990).

Uma quantidade maior de poros polares, fica localizado abaixo das células guarda dos estômatos, na base dos tricomas e nas células epidérmicas que circundam os tricomas (MAIER-MAERCKER, 1979). Estima-se que na face abaxial das folhas, possuam aproximadamente 10^{10} poros polares por cm^2 (MARSCHNER, 1995).

A quantidade e densidade dos poros polares, é afetado por vários fatores, como estresse por temperatura elevada do ar, excesso de radiação solar, seca e infecções por patógenos (WÓJCIK, 2004).

O processo de absorção foliar via estômatos, tem levado a algumas controvérsias na literatura devido a pequena quantidade de estômatos na folha de 0,26 a 0,85% dependendo da espécie, por estarem em maior quantidade na face abaxial, por possuírem uma cutícula mais espessa no ostíolo e devido a limitação luminosa, promovendo o fechamento sem a presença da luz (FAGAN et al., 2016).

Segundo Eichert e Burkhardt (2001), menos de 10% da solução aplicada sobre as folhas são absorvidas via estômatos, havendo uma correlação direta entre a frequência das reaplicações, a quantidade de estômatos, o número de estômatos abertos e a quantidade absorvida de solutos iônicos que é consideravelmente superior mediante a estes fatores.

A maior taxa de penetração promovida pelos estômatos, pode ser devido à maior permeabilidade da cutícula peristomatal que cobre as células-guarda (MARSCHNER, 2012). Esta permeabilidade da cutícula, pode ter correlação com os locais onde há descontinuidade de deposição de cutina e cera, deixando aparente a matriz pectinácea altamente hidrofílica (FAGAN et al., 2016).

Dependendo da espécie e variedade no caso da cana-de-açúcar, os estômatos ficam em sua maioria na face abaxial das folhas, onde a incidência de pelos finos lignificados denominados de joçal é menor, minimizando o efeito deletério quanto a absorção de solutos via folha (CASTRO, 2016; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MOORE; BOTHA, 2014).

De acordo com Franke (1967), a entrada de íons segue uma ordem organizada, atravessando a cera cuticular, a cutícula, a parede celular e a membrana, podendo

deslocar-se via apoplasto ou ultrapassando a membrana e chegando ao simplasto onde posteriormente será destinado ao local de utilização.

A idade da folha influencia diretamente na absorção de solutos, folhas mais velhas possuem menor absorção de nutrientes, devido a estrutura cuticular mais espessa, menor mobilidade interna de nutrientes para outras partes da planta, redução potencial na abertura dos estômatos, estado fisiológico que pode limitar a disponibilidade de energia para absorção e assimilação e pela menor atividade metabólica (FERNÁNDEZ; SOTIROPOULOS; BROWN, 2015; KOCH; ENSIKAT, 2007; WÓJCIK, 2004).

O estado nutricional de plantas com baixa concentração de nutrientes, estimula maior taxa de absorção foliar quando comparadas com plantas bem nutridas (WÓJCIK, 2004).

2.6.2 Fatores ambientais que afetam a absorção foliar

Os fatores ambientais influenciam de maneira significativa a absorção foliar, como por exemplo, ângulo de contato, umidade do solo, umidade do ar, vento, exposição ao sol e temperatura (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Segundo Malavolta (1980), a folha representa o alvo da adubação foliar, pois, somente se obtém sucesso quando esta é molhada, sendo assim o ângulo de contato é fundamental para o êxito da aplicação. O uso dos agentes molhantes ou adesivos polioxialquilenos mono oleato a 0,1% e monolaureato a 0,01% com uréia, nas aplicações em macieira, proporcionaram resultados de incremento de absorção foliar em mais 100% (MALAVOLTA, 1980).

A espessura da cutícula e composição de ceras é consequência do ambiente predominante o qual a planta se desenvolveu. Estresses abióticos, como excesso de luz, sombreamentos, temperaturas elevadas ou muito baixas influenciam na quantidade de cera a ser depositada na cutícula (KOCH; ENSIKAT, 2007; WÓJCIK, 2004).

Segundo Fernández e Eichert (2009), as condições ambientais podem afetar a quantidade e a composição das ceras epicuticulares, podendo influenciar o desenvolvimento dos estômatos e tricomas. Consequentemente, afetam a taxa de penetração de solutos aplicados nas plantas, porém, dependem das condições particulares de cultivo.

A umidade representa um fator importante para a permeabilidade cuticular, e dois aspectos devem ser levados em conta, umidade do solo e umidade atmosférica (ROSOLEM, 2002).

A umidade atmosférica elevada, segundo Tukey e Marczynski (1984), aumenta a absorção de nutrientes aplicados sobre as folhas devido ao prolongamento do tempo de vida útil das gotículas. Caso a umidade esteja muito elevada, podem surgir problemas como lixiviação e sorção de nutrientes pela folha (ROSOLEM, 2002).

De acordo com Schönherr (2000), quando se eleva a umidade relativa de 50% para 90%, dobra-se a taxa de penetração de cloreto de cálcio (CaCl_2) em folhas de pereira, e a penetração é realizada via cuticular através dos poros aquosos.

Quando a umidade relativa do ar é muito baixa, ocorre repentina secagem da solução nutricional aplicada na folha, prejudicando a absorção e podendo causar a queima da folha devido a cristalização dos sais, que pode ser evitado com a utilização de umectante (ROSOLEM, 2002). Se combinar baixa umidade relativa do ar associada a ventos intensos, o que se observa é a secagem prematura das gotículas mesmo antes de serem depositadas na folha (FAGERIA, 2009).

A umidade relativa de 50-80%, segundo Van Goor (1973), resultou em aumento na penetração da membrana cuticular de frutos de maçã por Ca, maiores do que com umidades relativas saturadas, devido a diminuição da umidade do ar no período inicial da pulverização. Este aumento na absorção, pode ser explicado pela secagem da gota sobre a superfície da folha, aumentando a concentração de Ca, e elevando o gradiente de concentração para o processo de difusão. Mesmo com aumento de absorção inicial, com baixa umidade relativa, o resultado final da absorção de sais higroscópicos foi menor, recomendando-se reaplicações quando a umidade relativa estiver baixa.

A umidade do solo também influencia na eficiência da absorção foliar. Solos com umidade adequada, perfazem plantas bem hidratadas com cutículas hidratadas e como consequência, condições adequadas para melhor absorção (ROSOLEM, 2002).

2.6.3 Fatores relacionados à qualidade do fertilizante foliar

Vários fatores inerentes à qualidade do produto e da aplicação, afetam a absorção foliar, como por exemplo, pH da solução, concentração, raio iônico, raio de hidratação, massa molar, carga elétrica, solubilidade, tipos de nutrientes,

miscibilidade, interação dos íons acompanhantes e produtos surfactantes (FERNÁNDEZ; SOTIROPOULOS; BROWN, 2015; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; WITTWER; TEUBNER, 1959).

Estudos realizados com associações de fertilizantes complexados em quelatos com vários defensivos, demonstraram ótima miscibilidade, não apresentando interferência negativa no resultado final segundo Kovacs (1986).

De acordo com Fernández e Eichert (2009), o gradiente de concentração coordena a difusão de íon, ou seja, a primeira lei de Fick impera. A concentração de solutos no apoplasto epidérmico, depende da fisiologia da planta, do estado metabólico e da taxa de transporte interno (FERNÁNDEZ; EICHERT, 2009).

Quando aplicado uma solução contendo nutrientes sobre as folhas, invariavelmente a concentração sobre estas, será maior do que no interior da folha, conseqüentemente, é criado um gradiente de concentração favorecendo a absorção (FERNÁNDEZ; SOTIROPOULOS; BROWN, 2015).

Uma alternativa para se aumentar a concentração das soluções, é diminuir a vazão, atentando-se aos critérios de boas práticas de aplicação (MALAVOLTA, 1980). As taxas de absorção foliar em relação à taxa de concentração de solutos externos, ainda não estão totalmente elucidadas (FERNÁNDEZ; EICHERT, 2009).

Os fertilizantes foliares constituídos por sais, quelatos e ou complexos de nutrientes minerais, para serem melhores absorvidos e metabolizados pela planta, precisam possuir uma boa solubilidade, ou seja, uma boa capacidade de serem dissolvidos ou suspensos em uma solução, em sua maioria, água. O uso de aditivos pode melhorar esta característica, sempre levando em consideração o limite de concentração, prevalecendo a fase líquida (FERNÁNDEZ; SOTIROPOULOS; BROWN, 2015).

O tamanho das moléculas numa solução nutricional, pode influenciar na absorção foliar devido ao tamanho dos poros aquosos ou em um contínuo aquoso da cutícula. De acordo com Fernández, Sotiropoulos e Brown (2015), os raios desses poros foram mensurados por meio de estimativas indiretas em folhas e frutos de várias espécies e variaram entre 0,3 a 0,5 nm. Eichert e Goldbach (2008), fizeram o mesmo com folhas de café e o raio variou entre 2 a 2,4 nm, demonstrando ser de 4 a 8 vezes maior que os dados anteriores. O resultado de outros experimentos com diferentes solutos e membranas, revelaram que a cutícula possui permeabilidade seletiva de acordo com o tamanho (WÓJCIK, 2004). Moléculas com elevada massa molar possui

maior tamanho e são menos absorvidos, sendo o inverso verdadeiro, molécula com massa molar menor possui maior absorção (EICHERT; GOLDBACH, 2008).

A velocidade de difusão das moléculas é afetada diretamente pela hidratação e pelo raio iônico, segundo Fagan et al. (2016), quanto menor o raio iônico maior será a velocidade de difusão. Íons hidratados possuem velocidade de difusão menor quando comparados com íons não hidratados de mesmo diâmetro. Portanto, cátions com maior valência, difundem-se mais lentamente, porém, entre cátions de valência similar, o que estiver hidratado terá o maior diâmetro e menor difusão.

Segundo Marschner (2012), a velocidade de absorção de nutrientes pode ser influenciada pelo estado iônico interno, folhas supridas com um determinado nutriente tem menor velocidade de absorção deste, em plantas deficientes a velocidade de absorção é maior. A limitação de absorção em plantas deficientes pode ocorrer caso o tecido tenha sido danificado de forma irreversível. Rosolem (2002), descreve que vários fatores, como espécie da planta, íon acompanhante, dentre muitos outros fatores, influenciam a velocidade de absorção de nutrientes diluídos em água pela folha (Quadro 2).

De acordo com Fagan et al. (2016), existe uma classificação quanto a mobilidade dos íons que afetam a absorção foliar, são divididos em móveis (P, K, S e Cl), parcialmente móveis (Cu, Mn, Fe, Mo e Zn) e imóveis (Ca e Mg). Esta classificação de mobilidade se aplica a absorção e transporte para outras partes da planta.

Quadro 2 - Velocidade da absorção foliar de nutrientes.

Nutriente	Tempo para 50 % de absorção
Nitrogênio	1 ½ – 36 horas
Fósforo	16 horas – 15 dias
Potássio	10 horas – 4 dias
Cálcio	2 – 4 horas
Magnésio	10 – 24 horas
Enxofre	16 horas – 4 dias
Cloro	1 – 4 dias
Ferro	10 – 20 dias
Manganês	1 – 2 dias
Molibdênio	10 – 20 dias
Zinco	1 – 2 dias

Fonte: Adaptado de ROSOLEM (2002)

Propriedades físico-químicas relacionadas ao diâmetro iônico e ao raio de hidratação, são fundamentais para a compreensão da absorção, uma vez que, no processo de difusão, quanto maior o raio de hidratação de um íon, mais lento será sua difusão, ou seja, raio iônico menor se difunde mais rápido (FAGAN et al., 2016). Íons

de mesmo diâmetro, quando hidratados, são conseqüentemente mais lentos. Cátions com valência igual, com diâmetro iônico maior, decrescem a absorção (FRANKE, 1967).

As possíveis alterações no pH da superfície da folha, poderão alterar a capacidade de troca iônica devido a cutícula possuir característica polieletrólita (FERNÁNDEZ; SOTIROPOULOS; BROWN, 2015). O ponto isoelétrico da cutícula é em torno de pH 3 e quando possui pH superior, cargas negativas são carregadas na cutícula e nas paredes celulares (FERNÁNDEZ; EICHERT, 2009).

Segundo Zhang e Brown (1999), o pH de 3,5 proporcionou aumentos na taxa de absorção de Zn em folhas de pistache, enquanto que em pH 8,5 a taxa declinou. Os mesmos autores descrevem que o transporte passivo foi o mecanismo utilizado pela planta para realização da troca iônica e difusão.

Os nutrientes tanto na deficiência como no excesso, podem afetar o desenvolvimento da folha e a absorção subsequente, dependendo do estado iônico interno da folha, velocidade de absorção, nutriente aplicado e interação entre os íons (MALAVOLTA, 1980). Rosolem (2002) e Fageria (2001), destacam a importância do conhecimento sobre as interações para obtenção de resultados positivos com a adubação foliar (Quadro 3).

Quadro 3 - Interação entre os nutrientes que afetam a absorção.

Íon	Segundo íon presente	Efeito do segundo sobre o primeiro
Cu ⁺²	Ca ⁺²	Antagonismo
Mg ⁺²	K ⁺	Inibição competitiva
K ⁺	Ca ⁺² (alta concentração)	Inibição competitiva
SO ₄ ²⁻	SeO ₄ ²⁻	Inibição competitiva
MoO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Inibição competitiva
Zn ⁺²	Mg ⁺²	Inibição competitiva
Zn ⁺²	Cu ⁺²	Inibição competitiva
Fe ⁺²	Mn ²⁺	Inibição competitiva
Zn ⁺²	H ₂ PO ₄ ⁻	Inibição não competitiva
H ₂ PO ₄ ⁻	Mg ⁺²	Sinergismo
K ⁺	Ca ⁺² (baixa concentração)	Sinergismo
MoO ₄ ²⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	Sinergismo

Fonte: Adaptado de MALAVOLTA (1980).

Segundo Marschner (2012), a ocorrência da deficiência de Mg⁺² nas plantas, geralmente está associada ao excesso de K⁺ e Ca⁺² no solo, denotando interação entre estes íons, porém, o inverso não ocorre devido ao menor raio iônico do K⁺ ultrapassando mais rapidamente a membrana plasmática reduzindo a absorção dos íons divalentes, ou seja, inibição competitiva. No caso de Ca⁺² e Mg⁺² o efeito é

antagônico. Corroborando com esses resultados Rhodes, Miles e Hughes (2018), evidenciam que maiores quantidades de Ca^{+2} e Mg^{+2} , poderiam ser implementados para evitar esta interação. O rendimento da produção agrícola é um reflexo da importância do balanço nutricional tanto no solo como na planta (FAGERIA, 2001).

2.6.3.1 Quelatos

A palavra quelatos tem origem na palavra grega chele, que significa garra ou pinça, sugerindo assim o modo como os nutrientes ficam envoltos pelos quelatos (VITTI; QUEIROZ; QUINTINO, 2005). Em 1930 o EDTA (ácido etilenodiaminotetracético) foi desenvolvido criando uma nova classe de aminoácidos sintéticos e entre 1948 a 1954, foi caracterizado por titulações complexométricas por Schwarzenback, se tornando um dos mais utilizados quelatos deste século (CHEN; BARAK, 1982).

A quelatização é um processo pelo qual os nutrientes são recobertos por uma estrutura química de anel (quelato) que através de uma ligação coordenada, neutraliza ou até negativa a reatividade destes na solução (SEKHON, 2003; WÓJCIK, 2004).

A quelação é um processo bioquímico fundamental à vida. Um exemplo notório é a molécula de clorofila em plantas verdes que é a quelação de uma molécula de magnésio como íon central por quatro moléculas de porfirina, ou a hemoglobina, que é um quelato de ferro (FIEDOR, et al., 2008).

Os agentes quelantes podem ter uma estabilidade forte, intermédia ou fraca, dependendo da constante de estabilidade, que é a relação entre o quelato de metal, o metal livre e o agente quelante livre em uma solução em função do pH, em fórmula é o grau de afinidade de um determinado agente por um metal, sendo assim, quanto maior está constante, mais estável e forte será o quelato e maior a disponibilidade para a planta (CHEN; BARAK, 1982; SEKHON, 2003). A classificação dos quelatos quanto a força de complexação segundo Vitti, Queiroz e Quintino (2005), descrevem o EDTA e NTA como fortes, os Lignossulfonados, poliflavonóides, polifosfatos e aminoácidos como intermediários e os ácidos cítrico e ascórbico como fracos.

Karraker (1961), demonstrou que a constante de estabilidade de Mn-EDTA é de 13,56 enquanto que a constante de estabilidade de Mn-IDHA (agente quelante de ácido imidodissuccínico) e a de Mn-Citrato é de apenas 7,7 e 3,2 respectivamente corroborando com Vitti, Queiroz e Quintino (2005).

A adubação foliar atualmente conta com produtos com agentes quelantes, que tem como função principal proteger os nutrientes catiônicos (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cu^{+2} , Zn^{+2} , Fe^{+2} , Mn^{+2} e Co^{+2}) de interações com outros nutrientes na calda de aplicação e ou no solo, sendo assim, previnem a precipitação e insolubilização, formando complexos solúveis com cátions, no qual são retidos por forças iônicas, aumentando a entrada destes pelas ceras epicuticulares, facilitando a disponibilidade e transporte para as plantas (VITTI, QUEIROZ; QUINTINO, 2005; SEKHON, 2003; TAIZ; ZEIGER, 2004).

A estabilidade dos quelatos é extremamente importante principalmente em solos com alta capacidade de fixação. Um quelato estável e, portanto, eficaz, é aquele em que a taxa de substituição do metal quelado por outros catiões concorrentes no solo, por exemplo de Ca^{+2} , é muito baixo (KARRAKER, 1961; SEKHON, 2003).

Os quelatos sintéticos são particularmente usados em solos onde o risco de fixação de micronutrientes é particularmente alto, assim como em fertilizantes foliares para aumentar a absorção e translocação foliar e também para melhorar a compatibilidade com os defensivos agrícolas (CHEN; BARAK, 1982).

Vitti, Queiroz e Quintino (2005) salientam a importância agrônômica de um bom quelato, este deverá possuir algumas características como, boa solubilidade em água, compatibilidade com demais fertilizantes foliares e defensivos agrícolas, não ser fitotóxico, formar ligações estáveis em caldas de pulverização e bom poder acidificante de solução.

Os quelatos mais comuns são EDTA (ácido etilenodiamino tetracético), DTPA (ácido dietilenotriamino pentacético), EDDHA (ácido etilenodiamino hidroxifenilacético), lignossulfonados, ácido cítrico, ácido tartárico, aminoácidos, polihexoses (açúcares) e poliflavonóides (SEKHON, 2003; TAIZ; ZEIGER, 2004; VITTI, QUEIROZ; QUINTINO, 2005).

De acordo com Sekhon (2003), muitos benefícios são atribuídos a utilização de agentes quelantes, como por exemplo, a utilização de menores quantidades de nutrientes, por serem completamente assimiláveis pelas culturas, menor taxa de lixiviação, tanto do solo como das folhas, maior translocação no interior da planta e sem problemas de compatibilidade com defensivos agrícolas. Além disso, as fontes quelatadas de micronutrientes são mais eficientes em comparação com as fontes não quelatadas (FAGERIA; BALIGAR; CLARK, 2002; FAGERIA, 2009).

A utilização de quelatos com Fe, Zn e multiminerais, aplicados com intervalo de 15 dias parcelados em três vezes em plântulas de pereiras Williams (*Pyrus*

communis L.), Köksal, Dumanoğlu e Güneş (1999), obtiveram aumentos significativos no rendimento total de produtividade, e observaram uma redução no amarelecimento, escurecimento e a queda das folhas. Na média de três anos, os maiores teores de Fe (325,5 ppm), Zn (82,9 ppm), Cu (28,4 ppm) e Mn (66,5 ppm) nas folhas, foram obtidos pela utilização de quelatos com Fe, Zn, multiminerais e controle, respectivamente (KÖKSAL; DUMANOĞLU e GÜNEŞ, 1999).

De acordo com Ferrandon e Chamel (1988), mesmo a absorção de Fe, Mn e Zn aplicados em folhas, na forma de sal sulfato sendo maior do que na forma de quelatos de EDTA, a translocação dentro da planta foi muito maior de EDTA do que de sulfato.

Em condição de alta hidratação cuticular, ou seja, alta umidade relativa do ar, o Mn-EDTA atravessa a cutícula mais rapidamente do que o Zn-EDTA e quando comparados com óxidos e carbonatos, a taxa de penetração é ainda maior. Outro fator informado no estudo é a formação de cristais na superfície da folha pela utilização de foliares insolúveis como os carbonatos e óxidos, supõe-se que devido ao grande tamanho das moléculas de 20 a 100 microns, segundo Alexander e Hunsche (2016).

Abadia et al. (2002), descrevem que a utilização de quelatos de maneira geral não influencia no aumento de absorção, pelo contrário, possui uma taxa de absorção relativamente menor se comparado as formulações com sais inorgânicos. A absorção de Ca^{+2} do Ca-EDTA (ácido etilenodiamino tetracético) por frutos de maçã, foi inferior ao cloreto de cálcio segundo Beavers et al. (1994).

A eliminação completa da deficiência de ferro em plantas de pêssgo e uva, foram obtidos com a utilização de formulações quelatadas via solo e foliar. Assim, o efeito de quelatos na habilidade foliar de absorver nutrientes, aparentemente está relacionado a algumas propriedades do quelato, como tamanho das moléculas, grande no caso do quelato, peso molecular do complexo, constante de dissociação e estabilidade do complexo em variações de pH da solução (REED; LYONS; MCEACHERN, 1988; WÓJCIK, 2004).

De acordo com Rosolem (2002), a taxa de penetração do quelato EDTA é 1,4 vezes menor em comparação com o sal sulfato, porém, a taxa de translocação do EDTA é 1,5 vezes mais eficiente, resultando numa eficiência global do EDTA igual a 1,0, sendo assim, o EDTA possui uma taxa diferencial maior de translocação frente ao sulfato.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização das áreas experimentais

A pesquisa foi constituída de cinco experimentos conduzidos de fevereiro a maio de 2017, em canas colhidas em início de safra. Esses experimentos foram instalados em áreas comerciais, cujas informações estão contidas no Quadro 4.

Quadro 4 - Características das localidades e climas das áreas experimentais dos cinco experimentos. 2017.

Local*	Pontal-SP	Indiaporã-SP	Iturama-MG	Santa Maria da Serra-SP	Luís Antônio-SP
Latitude	21°02'06.0"S	19°53'42.0"S	19°50'29.3"S	22°34'18.8"S	21°33'03.2"S
Longitude	48°05'18.6"W	50°19'22.0"W	50°17'44.3"W	48°13'28.6"W	47°49'48.4"W
Altitude	508	432	393	508	606
Solo	LVd Latossolo Vermelho Distrófico	LVe Latossolo Vermelho Eutrófico	LVe Latossolo Vermelho Eutrófico	AQ Neossolo Quartzarênico	AQ Neossolo Quartzarênico
Ambiente de produção	C	B	B	E	E
Temperatura média anual (°C)	22,3	23,1	23,5	20,8	21,2
Clima - Classificação Köppen e Geiger	Aw	Aw	Aw	Cfa	Cwa
Pluviosidade média anual (mm)	1433	1196	1266	1270	1429
Variedade	RB 85 5453	IACSP 95 5000	RB96 6928	RB96 6928	RB 85 5156
Espaçamento	0,9 x 1,60	1,5	1,5	1,5 x 0,9	1,5
Data da última colheita / plantio	12/05/16	15/04/16	19/05/16	28/04/16	25/04/16
Data da colheita 2017	04/08/17	20/04/17	10/07/17	02/06/17	17/05/17
Corte	3°	2°	2°	1°	2°
TCH 2017	128	90	123	101	112
ATR 2017	151	103	109	133	132

* Classificação climática Köppen e Geiger de acordo com Alvares et al. (2018), (°C) Grau Celsius, (mm) milímetro. TCH – Tonelada de cana por hectare, ATR – Açúcar teórico recuperável.

3.2 Características das variedades

As variedades utilizadas em todos os experimentos tiveram sua escolha de acordo com a época de colheita, preconizando sempre o início de safra, e as principais

características de cada variedade estão descritas de acordo com Daros et al. (2010) e UDOP (2018) (Quadro 5). Mesmo a variedade IAC95 5000, apresentando característica de maturação média, optou-se pela escolha seguindo o critério de época de corte, coincidindo a época de corte à época de maturação precoce, preconizada nos experimentos.

Quadro 5 - Característica específica das variedades utilizadas nos cinco experimentos. 2017.

Local*	Pontal-SP	Indiaporã-SP	Iturama-MG	Santa Maria da Serra-SP	Luís Antônio-SP
Variedade	RB 85 5453	IACSP 95 5000	RB96 6928	RB 96 6928	RB 85 5156
Produtividade agrícola	Alta	Alta	Alta	Alta	Média
Colheita	Mai-Jun	Jun-Out	Abr-Mai	Abr-Mai	Abr-Mai
Perfilhamento Cana soca	Médio	Alto	Alto	Alto	Médio
Brotação da soca crua	Ótima	Boa	Boa	Boa	Ótima
Fechamento entre linhas	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
Velocidade de crescimento	Regular	Regular	Rápido	Rápido	Regular
Porte	Médio	Alto	Médio	Médio	Médio
Hábito de crescimento	Ereto	Ereto	Semi-decumbente	Semi-decumbente	Decumbente
Tombamento	Raro	Raro	Eventual	Eventual	Eventual
Florescimento	Frequente	Raro	Raro	Raro	Frequente
Chochamento	Médio	Raro	Ausente	Ausente	Pouco
Maturação	Precoce	Média	Precoce	Precoce	Precoce
Despalha	Normal	Normal	Fácil	Fácil	Média
PUI	Curto	Longo	Médio	Médio	Curto
Exigência em ambientes	Alta restrição	Média restrição	Média restrição	Média restrição	Baixa média
Teor de sacarose	Muito alto	Alto	Médio	Médio	Alto
Teor de fibra	Médio	Médio	Médio	Médio	Baixo
Carvão	Resistente	Resistente	Tolerante	Tolerante	Resistente
Ferrugem marrom	Resistente	Resistente	Tolerante	Tolerante	Resistente
Ferrugem alaranjada	Resistente	Resistente	Tolerante	Tolerante	Resistente
Escaldadura	Resistente	Resistente	Tolerante	Tolerante	Resistente
Mosaico	Resistente	Resistente	Tolerante	Tolerante	Resistente

* Dados da característica das variedades segundo Daros et al. (2010) e UDOP (2018). TCH – Tonelada de cana por hectare, ATR – Açúcar teórico recuperável.

3.3 Atributos químicos do solo e insumos utilizados nas áreas experimentais

A descrição das características de todos os experimentos quanto as análises químicas dos solos, bem como os insumos utilizados em cada área experimental são detalhados por local nos Quadros 6 a 15.

Quadro 6 - Atributos químicos do solo, antes da instalação do experimento em Luís Antônio-SP. 2017.

Propriedades*	Profundidade (cm)				
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
pH (CaCl ₂)	5,4	5,5	5,4	4,6	4,5
MO (g dm ⁻³)	20	10	7	7	5
P (mg dm ⁻³)	30	8	9	3	2
S (mg dm ⁻³)	10	3	7	22	40
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	0	0	0	3	3
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	12	12	14	17	17
K (mmol _c dm ⁻³)	1,21	0,46	0,35	0,15	0,22
Ca ⁺² (mmol _c dm ⁻³)	31	13	12	11	12
Mg ⁺² (mmol _c dm ⁻³)	15	6	6	2	2
SB (mmol _c dm ⁻³)	47	19	18	13	14
CTC (mmol _c dm ⁻³)	59	32	32	30	31
V (%)	79	61	58	44	46
Ca/CTC (%)	52	41	38	37	39
Mg/CTC (%)	25	19,3	18,5	6	6,3
K/CTC (%)	2	1,5	1,1	0,5	0,7
H + Al/CTC (%)	21	39	42	56	54
m (%)	0	0	0	19	15
B (mg dm ⁻³)	0,31	0,19	0,15	0,19	0,2
Cu (mg dm ⁻³)	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1
Fe (mg dm ⁻³)	22	15	8	6	5
Mn (mg dm ⁻³)	0,6	0,2	0,2	0,2	0,2
Zn (mg dm ⁻³)	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1

Determinações químicas segundo Raij et al. (2001). *MO - Matéria orgânica, CTC - Capacidade de troca de cátions, SB - saturação por bases.

Quadro 7 - Insumos aplicados no ano de 2016 no experimento em Luís Antônio – SP.

Insumo*	Data	Quantidade
Herbicidas		
Msma 790 g l ⁻¹	11/01/16	0,20 l
Imazapique 700 g kg ⁻¹	11/01/16	0,04 kg
Glifosato 400,80 g kg ⁻¹	11/01/16	0,30 l
Mesotriona 480 g l ⁻¹	11/01/16	0,10 l
Tebutiurum 500 g l ⁻¹	12/05/16	2,18 l
Hexazinona 800 g kg ⁻¹	12/05/16	0,31 kg
Glifosato 400,80 g kg ⁻¹	17/08/16	0,06 l
Hexazinona 250 g l ⁻¹	17/08/16	0,02 l
Inseticidas		
Sulfluramida 3 g kg ⁻¹	01/07/16	0,05 kg
Adubos e Corretivos		
Gesso Agrícola	24/05/16	0,48 t
Adubo Orgânico de Aves	24/05/16	3,49 t
Calcário Dolomítico 32,0%	24/05/16	0,99 t
Torta de Filtro	24/05/16	15,20 t
Fertilizante Nitrato de Amônia 32.01.00	24/05/16	0,16 t
Calcário Dolomítico 32,0%	15/07/16	2,13 t
Fertilizante NPK 22.00.18	27/10/16	0,15 t

*Ingredientes ativos, concentrações, unidade e quantidades utilizadas nas áreas experimentais.

Quadro 8 - Atributos químicos do solo, antes da instalação do experimento em Santa Maria da Serra - SP. 2017.

Propriedades*	Profundidade (cm)				
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
pH (CaCl ₂)	5,4	5,2	4,6	4,3	4,3
MO (g dm ⁻³)	24	13	8	6	6
P (mg dm ⁻³)	184	6	2	2	3
S (mg dm ⁻³)	17	34	43	63	82
Al ⁺³ (mmol _c dm ⁻³)	0	1	6	9	8
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	14	19	23	23	19
K (mmol _c dm ⁻³)	5,61	2,28	1,33	0,91	0,91
Ca ⁺² (mmol _c dm ⁻³)	59	28	8	12	13
Mg ⁺² (mmol _c dm ⁻³)	12	6	3	2	2
SB (mmol _c dm ⁻³)	77	36	12	15	16
CTC (mmol _c dm ⁻³)	90	55	35	38	34
V (%)	85	66	35	39	46
Ca/CTC (%)	66	51	22	32	38
Mg/CTC (%)	13,3	11,3	9,7	4,6	5,2
K/CTC (%)	6,2	4,2	3,8	2,4	2,7
H + Al/CTC (%)	15	34	65	61	54
m (%)	0	3	34	37	34
B (mg dm ⁻³)	0,27	0,11	0,14	0,13	0,17
Cu (mg dm ⁻³)	0,4	0,1	0,1	0,2	0,1
Fe (mg dm ⁻³)	33	31	24	11	9
Mn (mg dm ⁻³)	1	0,4	0,4	0,2	0,5
Zn (mg dm ⁻³)	0,9	0,1	0,1	0,2	0,3

Determinações químicas segundo Raij et al. (2001). *MO - Matéria orgânica, CTC - Capacidade de troca de cátions, SB - saturação por bases.

Quadro 9 - Insumos aplicados no ano de 2016 no experimento em Santa Maria da Serra - SP.

Insumo*	Data	Quantidade
Herbicidas		
Sulfentrazone 500 g l ⁻¹	10/05/16	1,47 l
Clomazona 800 g l ⁻¹	10/05/16	1,35 l
Tebutiurum 500 g l ⁻¹	16/09/16	1,28 l
2,4-D 806 g l ⁻¹	16/09/16	1,48 l
Diclosulam 840 g kg ⁻¹	16/09/16	0,08 kg
Inseticidas		
Carbofurano 350 g l ⁻¹	26/04/16	6,00 l
Azoxistrobina 200 g l ⁻¹	26/04/16	0,25 l
Fipronil 600 g kg ⁻¹	25/04/16	0,33 l
Carbofurano 350 g l ⁻¹	27/04/16	6,00 l
Azoxistrobina 200 g l ⁻¹	27/04/16	0,25 l
Fipronil 600 g kg ⁻¹	26/04/16	0,33 l
Adubos e Corretivos		
Calcário Dolomítico PRNT8	20/04/16	1,53 t
Torta de filtro	28/04/16	30,00 t

*Ingredientes ativos, concentrações, unidade e quantidades utilizadas nas áreas experimentais.

Quadro 10 - Atributos químicos do solo, antes da instalação do experimento em Pontal - SP, Brasil. 2017.

Propriedades*	Profundidade (cm)				
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
pH (CaCl ₂)	5,7	5,7	5,4	5,1	4,9
MO (g dm ⁻³)	31	20	17	14	13
P (mg dm ⁻³)	23	3	4	4	4
S (mg dm ⁻³)	77	101	116	134	183
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	0	0	0	0	0
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	19	19	21	19	21
K (mmol _c dm ⁻³)	14,02	7,85	3,94	1,83	1,67
Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	53	22	12	10	6
Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	18	10	6	4	4
SB (mmol _c dm ⁻³)	84	40	22	17	11
CTC (mmol _c dm ⁻³)	103	58	42	36	32
V (%)	82	68	51	47	35
Ca/CTC (%)	51	38	28	29	18
Mg/CTC (%)	17	17	14	12	13
K/CTC (%)	13,6	13,4	9,3	5,1	5,2
H + Al/CTC (%)	18	32	49	53	65
m (%)	0	0	0	0	0
B (mg dm ⁻³)	0,31	0,15	0,11	0,11	0,11
Cu (mg dm ⁻³)	2,2	2	1,3	1	0,8
Fe (mg dm ⁻³)	14	10	5	5	4
Mn (mg dm ⁻³)	4,8	2,8	1,3	0,8	0,7
Zn (mg dm ⁻³)	0,5	0,1	0,1	0,2	0,3

Determinações químicas segundo Raij et al. (2001). *MO - Matéria orgânica, CTC - Índice de saturação, SB - saturação por bases.

Quadro 11 - Insumos aplicados no ano de 2016 no experimento em Pontal - SP.

Insumo*	Data	Quantidade
Herbicida		
Triflumuron 480 g l ⁻¹	28/01/16	0,08 l
Isoxaflutol 750 g kg ⁻¹	08/02/16	0,16 kg
Glifosato 648 g l ⁻¹	08/02/16	4,68 l
Trinexapac-Ethyl 250 g l ⁻¹	16/04/16	0,80 l
Sulfentrazona 500 g l ⁻¹	30/06/16	1,00 l
Clomazona 500 g l ⁻¹	30/06/16	1,50 l
Sulfentrazona 500 g l ⁻¹	30/06/16	1,64 l
Clomazona 800 g l ⁻¹	30/06/16	1,28 l
Hexazinona 132 g kg ⁻¹ + Diuron 468 g kg ⁻¹	30/06/16	1,50 l
MSMA 720 g l ⁻¹	30/06/16	1,00 l
Hexazinone 132 g kg ⁻¹	20/10/16	2,50 kg
Msma 720 g l ⁻¹	20/10/16	1,50 l
Inseticida		
Etiprole 200 g l ⁻¹	20/10/16	2,00 l
Etiprole 200 g l ⁻¹	20/10/16	2,00 l
Clorantraniliprole 350 g l ⁻¹	20/10/16	0,06 kg
Clorantraniliprole 350 g l ⁻¹	16/12/16	0,06 kg
Controle Biológico		
Cotesia flavipes	11/02/16	6,00 copos
Adubos e Corretivos		
Torta de filtro	02/07/16	20,00 t
Torta de filtro	02/07/16	15,64 t
Fertilizante NPK 32.00.00	16/12/16	3,00 t
Fertilizante NPK 32.00.00	16/12/16	27,00 kg

*Ingredientes ativos, concentrações, unidade e quantidades utilizadas nas áreas experimentais.

Quadro 12 - Atributos químicos do solo, antes da instalação do experimento em Indiaporã - SP, Brasil. 2017.

Propriedades*	Profundidade (cm)				
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
pH (CaCl ₂)	5,3	5,2	4,9	4,9	4,5
MO (g dm ⁻³)	35	16	8	8	6
P (mg dm ⁻³)	31	54	7	5	7
S (mg dm ⁻³)	55	41	46	26	12
Al ⁺³ (mmol _c dm ⁻³)	0	0	2	2	2
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	23	19	16	15	17
K (mmol _c dm ⁻³)	2,62	0,89	0,18	0,23	0,27
Ca ⁺² (mmol _c dm ⁻³)	40	21	9	6	5
Mg ⁺² (mmol _c dm ⁻³)	17	9	6	4	4
SB (mmol _c dm ⁻³)	59	31	15	10	9
CTC (mmol _c dm ⁻³)	82	50	31	25	26
V (%)	72	62	49	40	35
Ca/CTC (%)	49	42	30	23	19
Mg/CTC (%)	20	19	18	17	15
K/CTC (%)	3,2	1,8	0,6	0,9	1
H + Al/CTC (%)	28	38	51	60	65
m (%)	0	0	11	17	17
B (mg dm ⁻³)	0,68	0,55	0,29	0,3	0,17
Cu (mg dm ⁻³)	3,7	3,2	1,9	1,9	1,5
Fe (mg dm ⁻³)	90	26	8	5	4
Mn (mg dm ⁻³)	24,9	12,3	4,86	3,71	3,86
Zn (mg dm ⁻³)	0,7	0,3	0,2	0,1	0,1

Determinações químicas segundo Raij et al. (2001). *MO - Matéria orgânica, CTC - Capacidade de troca de cátions, SB - saturação por bases.

Quadro 13 - Insumos aplicados no ano de 2016 no experimento em Indiaporã - SP.

Insumo*	Data	Quantidade
Herbicida		
Sulfentrazone 500 g l ⁻¹	20/05/16	1,20 l
Picloran 26,7 g l ⁻¹ 2,4-D 433,7 g l ⁻¹	13/09/16	0,20 l
Glifosato 480 g l ⁻¹	13/09/16	0,80 kg
Diuron 468 g kg ⁻¹ Hexazinona 132 g kg ⁻¹	20/05/16	0,50 kg
Clomazona 360 g l ⁻¹	20/05/16	2,60 l
Sulfometuron-methyl 750 g kg ⁻¹	10/03/16	0,02 kg
Óleo mineral 630 g l ⁻¹	13/09/16	0,11 l
Inseticida		
Clorantniliprole 350 g l ⁻¹	20/10/16	0,06 kg
Tiametoxam 750 g l ⁻¹	10/05/16	0,34 kg
Controle Biológico		
Cotesia flavipes	15/02/16	8,00 copos
Adubos e Corretivos		
Fertilizante NPK 18.04.24	10/05/16	0,70 t
Calcário Dolomítico	10/05/16	0,52 t
Gesso agrícola	10/05/16	0,52 t

*Ingredientes ativos, concentrações, unidade e quantidades utilizadas nas áreas experimentais.

Quadro 14 - Atributos químicos do solo, antes da instalação do experimento em Iturama - MG, Brasil. 2017.

Propriedades*	Profundidade (cm)				
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
pH (CaCl ₂)	5,6	5,2	4,6	4,7	4,6
MO (g dm ⁻³)	21	21	13	10	10
P (mg dm ⁻³)	36	58	7	5	4
S (mg dm ⁻³)	68	50	20	192	169
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	0	0	2	2	1
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	17	18	21	20	16
K (mmol _c dm ⁻³)	8,79	7,36	3,88	4,45	3,32
Ca ⁺² (mmol _c dm ⁻³)	34	23	5	4	3
Mg ⁺² (mmol _c dm ⁻³)	9	10	4	3	2
SB (mmol _c dm ⁻³)	52	40	12	11	9
CTC (mmol _c dm ⁻³)	69	58	33	31	24
V (%)	75	68	38	34	35
Ca/CTC (%)	49	39	15	12	13
Mg/CTC (%)	13	17	11	8	8
K/CTC (%)	12,7	12,7	11,8	14,5	13,6
H + Al/CTC (%)	25	32	62	66	65
m (%)	0	0	13	15	13
B (mg dm ⁻³)	0,25	0,21	0,12	0,12	0,09
Cu (mg dm ⁻³)	2,9	1,7	0,9	0,7	0,5
Fe (mg dm ⁻³)	23	19	6	2	3
Mn (mg dm ⁻³)	10,3	6,29	2,49	1,86	1,11
Zn (mg dm ⁻³)	0,6	0,5	0,1	0,1	0,1

Determinações químicas segundo Raij et al. (2001). *MO - Matéria orgânica, CTC - Capacidade de troca de cátions, SB - saturação por bases.

Quadro 15 - Insumos aplicados no ano de 2016 no experimento em Iturama - MG.

Insumo*	Data	Quantidade
Herbicida		
Etefom 720 g l ⁻¹	05/02/16	0,66 l
Glifosato 698 g l ⁻¹	05/02/16	3,15 l
Picloran 26,7 g l ⁻¹ 2,4-D 433,7 g l ⁻¹	04/04/16	0,50 l
Isoxaflutol 750 g kg ⁻¹	04/04/16	0,12 kg
Imazapic 700 g kg ⁻¹	04/04/16	0,24 kg
Tebutiuron 500 g l ⁻¹	19/08/16	1,80 l
Flumioxazin 500 g l ⁻¹	19/08/16	0,30 kg
Inseticida		
Imidacloprid 700 g l ⁻¹	12/03/16	1,50 kg
Clorantraniliprole 350 g l ⁻¹	29/11/16	0,06 kg
Etiprole 200 g l ⁻¹	29/11/16	2,00 l
Triflumuron 480 g l ⁻¹	05/12/16	0,08 l
Adubos e Corretivos		
Fertilizante foliar NPK 32-00-00	25/07/16	3,00 l

*Ingredientes ativos, concentrações, unidade e quantidades utilizadas nas áreas experimentais.

3.4 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos e suas respectivas siglas estão descritos no Quadro 16.

As parcelas foram constituídas de 10 linhas com 10 metros de comprimento, estando os espaçamentos entrelinhas descritos no Quadro 4, considerando-se 02 linhas de bordadura e 08 linhas de área útil.

Quadro 16 - Descrição dos tratamentos por meio de siglas.

Sigla	Produto*
C	Controle (sem fertilizante foliar e maturador)
F35	Fertilizante foliar 35 DAC
M35	Maturador 35 DAC
FM35	Fertilizante foliar + maturador 35 DAC
F80	Fertilizante foliar 80 DAC
F80F35	Fertilizante foliar 80 DAC e fertilizante foliar 35 DAC
F80M35	Fertilizante foliar 80 DAC e maturador 35 DAC
F80FM35	Fertilizante foliar 80 DAC e fertilizante foliar + maturador 35 DAC

*Fertilizante Foliar – g l⁻¹ N = 90,52, K = 290,88, Mg = 35,04, S = 80,30, B = 12,26, Mn = 12,26, Mo = 0,28, Zn = 15,18 e 7,4% de Agente Quelante EDTA a uma densidade de 1,46 g cm³ a 20° C; Maturador – Sulfometuron-Methyl 750 = 30 g i.a. ha⁻¹; Número médio em DAC – Dias Antes da Colheita.

3.5 Característica do fertilizante foliar e do maturador químico

Em cada aplicação foram utilizadas as seguintes quantidades de nutrientes em g l⁻¹: N = 90,52, K = 290,88, Mg = 35,04, S = 80,30, B = 12,26, Cu = 4,08, Mn = 12,26, Mo = 0,28, Zn = 15,18, formulado em 7,4% de agente quelante EDTA cuja densidade é de 1,46 g cm³ a 20° C. Para atingir estas quantidades de nutrientes em g l⁻¹, utilizou-se 2 l p.c. ha⁻¹ do complexo nutricional (Wuxal ATRIun®). O produto (Wuxal ATRIun®) continha em sua formulação características de suspensão, regulador de pH, antievaporante, umectante, espalhante e adesivo.

Para os tratamentos com aplicação de maturador, utilizou-se o produto químico sulfometuron-methyl 15 g i.a. ha⁻¹, cujo produto comercial utilizado foi o maturador Curavial® (20 g p.c. ha⁻¹). Foi utilizado também o produto adjuvante Startec®, sendo somente associado ao maturador Curavial®, cuja composição química é ácido fosfórico, uréia, aminoácidos, goma xantana, corante e agente quelante EDTA tetrasódico. A dosagem utilizada foi de 0,60 ml para cada 100 litros de água.

3.6 Instalação e condução dos experimentos

A aplicação do fertilizante foliar e do maturador ocorreu mediante a utilização de um equipamento costal pressurizado (CO_2). Utilizou-se uma única ponta, do tipo 1/4KLC-9 fieldjet de latão, acoplada a uma haste que possuía 2,6 m de comprimento, possibilitando a aplicação simultânea e homogênea em quatro fileiras de plantas (Figura 3 e 4), que alcançava faixa de aplicação de 7,5 m. A pressão de trabalho foi de $2,5 \text{ kgf cm}^{-2}$ ou 35,6 PSI equivalente para a vazão média de 100 l ha^{-1} (Figura 5). Todas as aplicações foram realizadas em um único dia.

Figura 3 - Visão geral do comprimento da barra e da distância de aplicação.

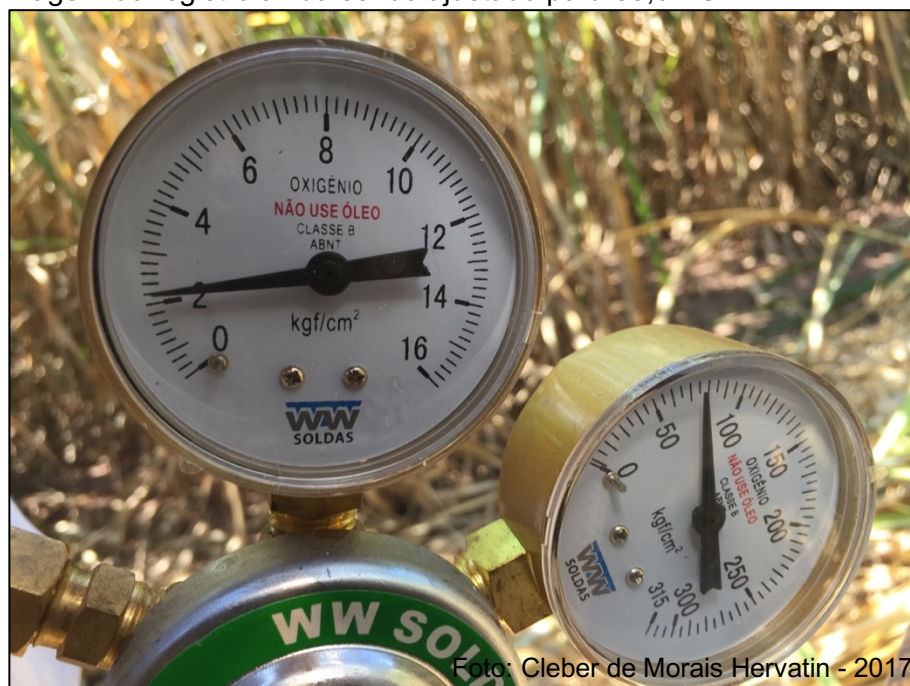


Foto: Cleber de Moraes Hervatin - 2017

Figura 4 - Visão geral abaixo da ponta mostrando a homogeneidade da aplicação.



Figura 5 - Imagem do registro ainda sendo ajustado para 35,6 PSI.



As informações referentes às épocas das aplicações, coletas dos dados e amostragens estão contidas no Quadro 17, e o período de intervalo entre as aplicações e colheita no Quadro 18.

Quadro 17 - Época de instalação e 1º aplicação, 2º aplicação e colheita. Análises biométrica e tecnológicas.

Local	1º Aplicação e coleta dos dados biométricos, foliares e tecnológicos	2º Aplicação e coleta dos dados biométricos, foliares e tecnológicos	Colheita e coleta dos dados biométricos, foliares e tecnológicos
Luís Antônio - SP	21/02/2017	29/03/2017	04/05/2017
Santa Maria da Serra - SP	15/02/2017	06/04/2017	16/05/2017
Pontal - SP	23/02/2017	02/05/2017	01/06/2017
Indiaporã - SP	01/03/2017	13/04/2017	18/05/2017
Iturama - MG	02/03/2017	20/04/2017	19/05/2017

Quadro 18 - Descrição do período de intervalo entre as aplicações.

Local	DAC*	
	1º Aplicação	2º Aplicação
Luís Antônio - SP	72	36
Santa Maria da Serra - SP	90	40
Pontal - SP	98	30
Indiaporã - SP	78	35
Iturama - MG	78	29

*DAC – Dias antes da Colheita.

Durante a condução dos experimentos foram coletados os dados de precipitação pluvial e temperatura média (Quadro 19 e 20).

Quadro 19 - Precipitação pluvial no período de condução dos experimentos.

Local/Época	Precipitação pluvial			Total
	Do plantio/colheita até a 1º aplicação	Tempo entre a 1º e a 2º aplicação	Tempo entre a 2º aplicação até a colheita	
Luís Antônio - SP	1148	205	81	1434
Santa Maria da Serra - SP	1235	161	192	1588
Pontal - SP	1201	208	62	1471
Indiaporã - SP	1059	174	93	1326
Iturama - MG	1045	310	139	1494

Quadro 20 - Temperatura média no período de condução dos experimentos.

Local/Época	Temperatura média (C°)			Média
	Do plantio/colheita até a 1º aplicação	Tempo entre a 1º e a 2º aplicação	Tempo entre a 2º aplicação até a colheita	
Luís Antônio - SP	21,5	21,0	19,3	21,1
Santa Maria da Serra - SP	21,0	23,4	21,2	21,3
Pontal - SP	22,3	23,2	22,7	22,6
Indiaporã - SP	23,2	23,9	21,3	23,1
Iturama - MG	23,2	24,5	22,7	23,4

3.7 Variáveis avaliadas

Foram avaliadas as variáveis: teores foliares, biométricos e tecnológicos. A coleta dos materiais seguiu os critérios de boas práticas de amostragem quanto à população representativa de material, forma correta de coleta, horário de amostragem, equipamento correto para amostragem e análise, tempo para realização da análise das amostras e correta metodologia científica para avaliação (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MARTINS; LANDELL, 1995).

3.7.1 Diagnose foliar

Para as avaliações das variáveis de diagnose foliar foram coletadas 20 folhas denominadas de TVD (Top Visible Dewlap) ou folha +1, de acordo com Kuijper (VAN DILLEWIJN, 1952), descartando-se o ponteiro e a base da folha, utilizando-se somente o terço médio foliar. Após a coleta das folhas, estas foram envoltas em papel toalha e acondicionadas em sacos plásticos com as devidas marcações dos tratamentos e levadas no prazo máximo de dois dias ao laboratório, onde foram devidamente lavadas em água corrente e acondicionadas em sacos de papel kraft (Figura 6).

Figura 6 - Feixes com 10 colmos amarrados e etiquetados e amostras de folhas acondicionadas em sacos plásticos previamente marcados com os correspondentes tratamentos, épocas e Usina.



Foto: Cleber de Moraes Hervatin - 2017

Os materiais vegetais foram lavados e após a lavagem depositados em papel toalha para absorção do excesso de água e secagem.

Após a secagem as amostras foram inseridas em sacos de papel perfurados e colocadas em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 65°C, por 72 horas, e na sequência, a moagem do material foi realizada em moinho tipo Willey, em peneira com malha de 1 mm de diâmetro, para avaliação dos teores nutricionais conforme metodologia descrita por Malavolta (1997).

3.7.2 Biometria (comprimento, diâmetro, número de colmos por metro e produtividade de colmos)

Os critérios de avaliação de produtividade foram realizados através de biometria de acordo com a metodologia proposta por Martins e Landell (1995), na instalação dos experimentos, ou seja, na 1ª primeira aplicação, na 2ª aplicação e na colheita do experimento (Quadro 17).

As avaliações biométricas ocorreram seguindo os seguintes critérios:

- Densidade de colmos: foi realizada utilizando dois colmos industrializáveis por tratamento, retirado um internódio médio do terço inferior, do terço mediano e do terço superior de cada colmo e realizado a pesagem da matéria fresca, onde se obteve o valor da massa.

Após estes procedimentos as amostras de internódios foram inseridas em um becker de 1 litro, e preenchidos com água até completar o volume total. Ao ser retirado os internódios do becker, é obtido a medida do volume.

O cálculo para a densidade de colmos é a diferença entre a massa e volume conforme equação a seguir:

$$d = \frac{m}{v}$$

Como não foi observado efeito sobre a densidade de colmos entre os tratamentos e os valores médios muito próximos a 1, manteve-se a densidade de colmo igual a 1 conforme expressão matemática proposta por Martins e Landell (1995).

- Espaçamento entre linhas: é a distância entre as linhas de ruas de cana, sendo que para Luís Antônio, Indiaporã e Iturama os espaçamentos foram de 1,5 m entre as linhas. Para Pontal e Santa Maria da Serra os espaçamentos utilizados foram duplos, sendo para Pontal 0,9 x 1,60 m e para Santa Maria da Serra 0,9 x 1,5 m entre linhas, perfazendo 1,25 e 1,20 m os valores utilizados na equação de TCH, sendo estes valores proveniente da equação da somatória das duas linhas divididas por 2.

- Número de colmos por metro linear: foram mensurados pela contagem de três linhas centrais de cada parcela, contando somente os colmos propícios à industrialização.

- Comprimento de colmos: foi obtido o tamanho médio de colmos pela contagem de uma unidade experimental representada por 10 colmos industrializáveis por parcela, entre o ponto de corte e a folha +1 de acordo Kuijper (VAN DILLEWIJN, 1952), utilizando-se uma trena graduada para as medições do comprimento (Figura 7).

Figura 7 - Medidas sendo realizadas com trena graduada em cm.



- Diâmetro de colmos: foram medidos, utilizando-se um paquímetro digital modelo nove54 de 150 mm de leitura, no terceiro internódio de baixo para cima do terço inferior de uma unidade experimental constituída por 10 colmos industrializáveis (Figura 8).

Figura 8 - Visão do equipamento paquímetro digital de marca nove54 e sua utilização nas análises.



A partir destes dados, e considerando a densidade do colmo igual a 1, foi possível estimar a produtividade, expressa em toneladas de colmos por hectare (TCH), utilizando-se a expressão matemática conforme Martins e Landell (1995).

$$TCH = \frac{d^2 \times C \times H \times (0,007854)}{E}$$

Onde d^2 é o diâmetro de colmos (cm), C é o número de colmos por metro linear, H comprimento médio de colmos (cm), E é o espaçamento entre sulcos (m) e a constante (0,007854).

- Peso de colmos: foi avaliado o peso das amostras de 10 colmos, sendo estes passados pelo desponte no ponto de quebra, foram amarrados juntos perfazendo um único feixe por parcela, etiquetado e pesado utilizando uma balança digital. Posteriormente estes dados foram divididos por 10 para obtenção do peso unitário de colmos.

3.7.3 Variáveis tecnológicas

As análises tecnológicas realizadas para avaliar a qualidade da matéria prima, como pol cana (PCC), pureza do caldo (PUR), fibra cana (F), açúcares redutores (AR) e açúcares teóricos redutores (ATR), foram determinadas segundo metodologia de Fernandes (2003).

A coleta das amostras para realização das análises tecnológicas foram constituídas de 10 colmos, sendo os mesmos coletados para as análises biométricas, sendo estas submetidas ao desponte na altura do ponto de quebra, ou na altura da gema apical e encaminhados para o laboratório tecnológico das usinas (Figura 6), sendo realizadas as determinações tecnológicas conforme o Sistema de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose (SPCTS) e atualizações semestrais da CONSECANA (CONSECANA, 2006).

Os cálculos e a descrição das variáveis tecnológicas analisadas estão detalhados a seguir:

O Pol cana (%) ou *PCC* foi calculado mediante a equação:

$$PCC = Pol\%CE * (1 - 0,01 * Fibra) * C$$

Onde a *Pol%CE* ou pol % caldo é a sacarose aparente no caldo (expressa em porcentagem) e determinada pelo equipamento automático de sacarímetro digital. O denominador *C* é o coeficiente de transformação da pol do caldo extraído do pol do caldo absoluto expresso na equação seguinte:

$$C = 1,0313 - 0,00575 * Fibra$$

A Pureza do caldo (%) ou *P* foi calculado mediante a equação:

$$P (Pureza) = (Pol \% caldo / Brix \% caldo) * 100$$

Onde o Brix % caldo refere-se aos sólidos solúveis no caldo (expresso em porcentagem) sendo determinado em refratômetro digital de leitura automática.

Os açúcares redutores da cana (%) ou AR cana (%) foram calculados mediante a equação:

$$ARC (AR \% cana) = AR \% caldo * (1 - 0,01 * Fibra) * C,$$

Onde o *AR % caldo* são os açúcares redutores no caldo, ou seja, monossacarídeos (Glicose e frutose) contidos no caldo (representado em porcentagem). O *AR % caldo* foi calculado mediante a equação:

$$AR \% caldo = 3,641 - 0,0343 * P$$

Onde *P* é a pureza do caldo representada em porcentagem.

A ATR açúcar total recuperável da cana foi calculada mediante o conhecimento do *PCC* e os açúcares redutores da cana *AR* mediante a seguinte equação:

$$ATR = (PCC * 9,5263) + (AR * 9,05)$$

A Fibra cana (%) foi determinada pelo peso do bagaço úmido ou bolo úmido (PBU) pelo método da prensa hidráulica, conforme determinado no Ato 13/83, de 21/04/1983 – IAA, citado por MUTTON (1984) e atualizações do CONSECANA.

A produção de açúcar (TAH - tonelada de açúcar por hectare) foi calculado mediante a seguinte equação:

$$TAH = (TCH * PCC) / 100$$

3.8 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste t (LSD) a 10% de probabilidade utilizando-se o software SISVAR (FERREIRA, 2008).

4 RESULTADOS

Analisando os dados dos teores foliares, constatou-se que não houve efeito dos tratamentos em todas as áreas experimentais (Tabela 1 e 2). Os teores de N, S e Cu, em todos os locais, P, Ca, Mg, B e Mn, para Pontal, P e B, para Indiaporã, Ca e Mg, para Iturama, Mg, para Santa Maria da Serra, e P, para Luís Antônio, estavam abaixo das faixas consideradas adequadas por Spironello, et al. (1997). Entretanto, os teores de K, em Pontal, estavam acima da faixa adequada.

Tabela 1 - Teores médios de macronutrientes foliares em função da adubação foliar e da aplicação de maturador em cana-de-açúcar e probabilidade de F. 2017.

Local*	Pontal - SP	Indiaporã - SP	Iturama - MG	Santa Maria da Serra - SP	Luís Antônio - SP
Variedade	RB 85-5453	IACSP 95-5000	RB 96-6928	RB 96-6928	RB 85-5156
Época (DAC)*	98 - 30	78 - 35	78 - 29	90 - 40	72 - 36
			N (g kg⁻¹)		
Média	9,97	10,71	15,32	12,23	14,46
Probabilidade de F	0,3566	0,5239	0,1265	0,1435	0,3423
			P (g kg⁻¹)		
Média	0,93	1,26	2,16	1,51	1,24
Probabilidade de F	0,1611	0,5734	0,2139	0,2204	0,1179
			K (g kg⁻¹)		
Média	18,4	13,1	12,18	11,73	11,41
Probabilidade de F	0,1486	0,6835	0,1972	0,4282	0,7147
			Ca (g kg⁻¹)		
Média	1,55	2,5	1,85	2,18	2,69
Probabilidade de F	0,7137	0,4524	0,1121	0,2019	0,1161
			Mg (g kg⁻¹)		
Média	0,7	1,05	0,85	0,83	1,56
Probabilidade de F	0,127	0,1302	0,1216	0,4729	0,1731
			S (g kg⁻¹)		
Média	1,44	1,12	1,18	1,06	0,95
Probabilidade de F	0,5234	0,2026	0,2342	0,1247	0,2704

*DAC – Dias antes da colheita. Faixa de teores foliares de nutrientes considerados adequados como referência (Spironello, 1997) (g kg): N – 18-25, P – 1,5-3,0, K – 10-16, Ca – 2,0-8,0, Mg – 1,0-3,0 e S – 1,5-3,0.

Tabela 2 - Teores médios de micronutrientes foliares em função da adubação foliar e da aplicação de maturador em cana-de-açúcar e probabilidade de F. 2017.

Local*	Pontal - SP	Indiaporã - SP	Iturama - MG	Santa Maria da Serra - SP	Luís Antônio - SP
Variedade	RB 85-5453	IACSP 95-5000	RB 96-6928	RB 96-6928	RB 85-5156
Época (DAC)	98 - 30	78 - 35	78 - 29	90 - 40	72 - 36
B (mg kg⁻¹)					
Média	9,52	9,45	11,75	11,81	10,89
Probabilidade de F	0,1365	0,2993	0,2112	0,5928	0,8453
Cu (mg kg⁻¹)					
Média	2,34	4,72	5,6	3,8	4,7
Probabilidade de F	0,3971	0,1445	0,1317	0,1537	0,1372
Fe (mg kg⁻¹)					
Média	130,26	71,73	65,88	81,98	62,96
Probabilidade de F	0,1421	0,6817	0,3494	0,5236	0,1431
Mn (mg kg⁻¹)					
Média	23,32	86,21	41,82	30,28	45,8
Probabilidade de F	0,2306	0,2269	0,2301	0,3178	0,4317
Zn (mg kg⁻¹)					
Média	13,21	14,58	18,9	27,97	16,92
Probabilidade de F	0,9395	0,1857	0,1182	0,1334	0,7526

*DAC – Dias antes da colheita. Faixa de teores foliares de nutrientes considerados adequados como referência (Spironello, 1997) (mg kg): B – 10-30, Cu – 6-15, Fe – 40-250, Mn – 25-250 e Zn – 10-50.

Quanto as variáveis biométricas, constatou-se que não houve efeito dos tratamentos sobre o diâmetro e número de colmos (Tabela 3).

Tabela 3 – Diâmetro médio e número médio de colmos em função da adubação foliar e da aplicação de maturador em cana-de-açúcar e probabilidade de F. 2017.

Local*	Pontal - SP	Indiaporã - SP	Iturama - MG	Santa Maria da Serra - SP	Luís Antônio - SP	Média
Variedade	RB 85-5453	IACSP 95-5000	RB 96-6928	RB 96-6928	RB 85-5156	
Época (DAC)	98 - 30	78 - 35	78 - 29	90 - 40	72 - 36	80 - 35
Diâmetro (mm)						
Média	30,07	31,43	25,35	26,60	27,03	28,07
Probabilidade de F	0,0901	0,3858	0,5892	0,8343	0,1304	0,1108
Número de Colmos (colmos m⁻¹)						
Média	11,26	12,70	14,93	9,50	13,16	12,31
Probabilidade de F	0,3963	0,7781	0,4554	0,3986	0,1787	0,8743

*DAC – Dias antes da colheita.

O comprimento de colmos foi influenciado pelos tratamentos nos 5 locais. Observa-se que em todos os tratamentos onde houve aplicação do fertilizante foliar, os valores foram maiores. Os menores valores foram constatados no tratamento com a aplicação exclusiva de maturador (Tabela 4).

Tabela 4 - Comprimento, peso de colmos e produção de colmos (TCH) em função da adubação foliar e da aplicação de maturador em cana-de-açúcar. Local, variedade, época de aplicação em dias antes da colheita (DAC) e probabilidade de F. 2017.

Local	Pontal - SP	Indiaporã - SP	Iturama - MG	Santa Maria da Serra - SP	Luís Antônio - SP	Média
Variedade	RB	IACSP	RB	RB	RB	
Época (DAC)	85-5453	95-5000	96-6928	96-6928	85-5156	
	98 - 30	78 - 35	78 - 29	90 - 40	72 - 36	80 - 35
Tratamentos*	Comprimento (cm)					
C	228 c	247 ef	281 d	285 c	241 bc	256 e
F35	232 abc	252 cde	283 cd	295 b	243 b	261 c
M35	222 d	244 f	267 e	277 d	236 c	249 f
FM35	230 bc	249 def	285 bcd	289 c	241 bc	259 d
F80	234 ab	255 abc	289 bc	297 ab	246 ab	264 b
F80F35	236 a	259 a	295 a	300 a	250 a	268 a
F80M35	233 ab	253 bcd	288 bc	295 b	241 bc	262 c
F80FM35	235 a	258 ab	291 ab	299 ab	245 ab	266 b
Probabilidade de F	0,0006	0,0010	<0,0001	<0,0001	0,0512	<0,0001
	Peso Colmos (kg)					
C	1,70 c	1,91 cd	1,63 cd	1,41 cd	1,47 c	1,63 cd
F35	1,78 b	1,99 b	1,72 bc	1,47 bc	1,60 ab	1,70 bc
M35	1,68 c	1,89 d	1,57 d	1,38 d	1,44 d	1,59 d
FM35	1,74 bc	1,99 b	1,65 cd	1,45 bcd	1,52 bc	1,68 c
F80	1,88 ab	2,08 ab	1,75 b	1,51 b	1,63 ab	1,78 ab
F80F35	1,92 a	2,16 a	1,80 a	1,57 a	1,66 a	1,82 a
F80M35	1,88 ab	2,06 ab	1,75 b	1,49 b	1,61 ab	1,76 b
F80FM35	1,90 a	2,12 a	1,77 ab	1,53 ab	1,64 ab	1,80 ab
Probabilidade de F	0,0791	<0,0001	0,0185	<0,0001	0,0177	0,0056
	TCH (t ha⁻¹)					
C	129 c	115 cd	127 de	109 cd	115 cd	119 d
F35	136 b	118 bcd	131 bcd	114 abc	122 ab	124 c
M35	128 c	114 d	124 e	107 d	114 d	117 d
FM35	135 b	117 bcd	130 cde	112 bcd	121 bc	123 c
F80	143 a	123 ab	135 abc	117 ab	125 ab	129 b
F80F35	147 a	126 a	139 a	119 a	128 a	132 a
F80M35	144 a	121 abc	134 abc	116 ab	123 ab	128 b
F80FM35	146 a	125 a	137 ab	118 a	126 ab	130 ab
Probabilidade de F	<0,0001	0,0240	0,0096	0,0128	0,0141	<0,0001

*C = Controle, F80 = Fertilizante foliar 80 DAC, F35 = Fertilizante foliar 35 DAC, M35 = Maturador 35 DAC e FM35 = Fertilizante foliar e Maturador 35 DAC. Médias seguidas de letras iguais, não diferem entre si pelo teste *t* (LSD) a 10% de probabilidade.

Analisando a média dos dados de comprimento dos cinco experimentos, com maior incremento no tratamento F80F35, onde ocorreu um aumento em comparação ao tratamento C em 12 centímetros, sendo o tratamento M35 o menor, retardando o crescimento em 7 centímetros a menos que o tratamento C.

Observa-se que quando a utilização do sulfometuron-methyl é realizado associado ao fertilizante foliar, promoveu crescimento superior ao controle, demonstrando que a associação influencia positivamente o crescimento, refletindo em incremento na produção final de colmos por hectare.

Ao separarmos os tratamentos onde foi realizado somente uma única aplicação em comparação com o tratamento controle, o maior incremento em comprimento para a média dos resultados foi o tratamento F80 com 8 cm a mais.

A média de todos os tratamentos que receberam adubação foliar na primeira época, obtiveram resultados variando entre 1 a 7 cm superior ao tratamento onde recebeu somente a segunda aplicação de fertilizante foliar para a variável comprimento. Tanto para as variáveis peso de colmo quanto TCH (Tabela 4), os resultados médios dos experimentos foram semelhantes, o tratamento F80F35 foi o mais responsivo em crescimento incrementando 0,19 kg e 13 t ha⁻¹ respectivamente.

A média de resultados dos tratamentos com a utilização do sulfometuron-methyl evidenciou menor crescimento quanto as variáveis comprimento, peso de colmo e TCH perfazendo -7 cm, -0,04 kg e -2 t ha⁻¹ respectivamente quando comparado ao tratamento C. Da mesma forma o tratamento com aplicação de fertilizante foliar na primeira época seguido da aplicação do sulfometuron-methyl na segunda época, resultou em menor peso de colmo, comprimento e TCH em comparação com os demais tratamentos com aplicação de fertilizante foliar na primeira época, porém, mesmo assim o resultado final foi sempre maior do que o tratamento com sulfometuron-methyl isolado.

Os resultados médios dos tratamentos onde houve a aplicação do maturador sulfometuron-methyl perfizeram os maiores resultados para os teores de PCC, pureza e ATR (Tabela 5 e 6), não apresentando diferenças significativas com adição ou não do fertilizante foliar para as variáveis PCC e pureza, tanto na primeira quanto na segunda época, porém com diferença significativa em ATR, enfatizando a melhoria no planejamento de colheita, na antecipação da maturação e na qualidade tecnológica para a indústria quando da utilização do maturador.

A adição de fertilizantes foliares promoveram incrementos de ganhos de PCC, pureza e ATR, quando comparados com o tratamento C para as médias dos experimentos, porém, com resultados inferiores aos tratamentos com adição de maturador, associado ou não a adubação foliar.

Para a localidade de Iturama-MG os resultados de PCC, pureza e ATR foram os menores dentre todos os demais experimentos enquanto que o AR foi o maior denotando potencial de crescimento e desfavorecendo o processo de maturação, ou seja, o acúmulo de sacarose nos tecidos parenquimáticos de armazenamento (Tabela 5).

Tabela 5 - PCC, pureza e fibra em função da adubação foliar e da aplicação de maturador em cana-de-açúcar. Local, variedade, época de aplicação em dias antes da colheita (DAC) e probabilidade de F. 2017.

Local	Pontal - SP	Indiaporã - SP	Iturama - MG	Santa Maria da Serra - SP	Luís Antônio - SP	Média
Variedade	RB	IACSP	RB	RB	RB	
	85-5453	95-5000	96-6928	96-6928	85-5156	
Época (DAC)	98 - 30	78 - 35	78 - 29	90 - 40	72 - 36	80 - 35
Tratamentos*	PCC (%)					
C	14,0 d	13,1 d	10,8 d	14,2 b	14,5 c	13,3 d
F35	14,5 abcd	13,6 c	11,1 c	14,4 ab	14,9 b	13,7 c
M35	14,9 ab	14,3 a	11,8 ab	14,7 a	15,3 a	14,2 b
FM35	14,6 abc	14,2 a	11,7 b	14,6 a	15,2 a	14,0 b
F80	14,4 bcd	13,9 b	11,2 c	14,4 ab	15,1 b	13,8 c
F80F35	14,3 cd	13,3 cd	11,1 c	14,4 ab	15,0 b	13,6 c
F80M35	14,9 ab	14,4 a	12,0 a	14,8 a	15,3 a	14,3 a
F80FM35	15,0 a	14,3 a	11,8 ab	14,6 a	15,3 a	14,2 a
Probabilidade de F	0,0739	<0,0001	<0,0001	0,0269	0,0710	<0,0001
	Pureza caldo (%)					
C	88 b	86 d	83 c	87 a	88 a	86 b
F35	89 a	87 cd	84 bc	87 a	88 a	87 ab
M35	89 a	89 a	86 a	88 a	89 a	88 a
FM35	88 ab	87 bc	86 a	88 a	89 a	88 a
F80	88 ab	87 bcd	84 b	87 a	89 a	87 ab
F80F35	89 a	87 cd	84 b	87 a	89 a	87 ab
F80M35	89 a	88 ab	86 a	88 a	88 a	88 a
F80FM35	89 a	88 ab	86 a	87 a	89 a	88 a
Probabilidade de F	0,0983	0,0161	0,0008	0,2012	0,1227	0,0811
	Fibra cana (%)					
C	11,2 a	11,1 c	11,7 a	11,7 b	11,1 a	11,3 a
F35	11,0 a	11,0 c	11,6 a	11,4 bc	10,7 a	11,1 a
M35	11,2 a	11,3 bc	11,7 a	11,1 c	10,6 a	11,2 a
FM35	11,0 a	11,7 ab	11,7 a	11,4 bc	10,7 a	11,3 a
F80	11,0 a	11,2 c	11,6 a	11,5 bc	10,8 a	11,2 a
F80F35	11,5 a	11,8 a	11,5 a	11,6 bc	10,7 a	11,4 a
F80M35	11,3 a	11,1 c	11,7 a	12,3 a	11,0 a	11,4 a
F80FM35	12,0 a	11,1 c	11,7 a	11,6 bc	11,0 a	11,5 a
Probabilidade de F	0,3642	0,0052	0,4249	0,0271	0,6198	0,1659

*C = Controle, F80 = Fertilizante foliar 80 DAC, F35 = Fertilizante foliar 35 DAC, M35 = Maturador 35 DAC e FM35 = Fertilizante foliar e Maturador 35 DAC. Médias seguidas de letras iguais, não diferem entre si pelo teste *t* (LSD) a 10% de probabilidade.

Quanto ao teor de fibra da cana-de-açúcar (Tabela 5), observa-se que as médias dos tratamentos não houve influência das aplicações sobre o efeito nos tratamentos, porém, destacou-se teores superiores em comparação com todos os demais tratamentos para o tratamento F80F35, do experimento localizado em Indiaporã e o tratamento F80M35 de Santa Maria da Serra. Embora a maioria dos teores de fibra dos experimentos encontravam-se dentro da faixa de valores adequados, segundo Ripoli e Ripoli, (2004), ou seja, entre 11 a 13%, para a localidade de Luís Antônio os teores dos tratamentos F35, M35, FM35, F80 e F80F35, destacaram-se inferiores a 11% (Tabela 5).

Os resultados de AR das médias dos cinco experimentos denotam claramente que é inversamente proporcional aos resultados de PCC, pureza e ATR, sendo os maiores os resultados de AR, os menores de PCC, pureza e ATR. Nos tratamentos onde foram utilizados maturador, houve decréscimo nos resultados de valor da AR, o que repercute significativamente na maior síntese de frutose e glicose em sacarose (Tabela 6).

Para a variável TAH os maiores valores para as médias dos experimentos foram F80, F80F35, F80M35 e F80FM35, denotando influência significativa da aplicação do fertilizante foliar na primeira época, onde os resultados alcançados foram de 17,8, 18,0, 18,3 e 18,5 respectivamente (Tabela 6). Os quatro tratamentos que receberam adubação foliar na primeira época perfizeram maiores resultados contra os que receberam somente na segunda época, com destaque para o tratamento F80FM35 onde seu efeito foi expressivo em todos os experimentos.

Analisando os resultados comparativos de TAH (Figura 9), observa-se que para os tratamentos com aplicação única, seja nutricional na primeira ou segunda época, seja maturador isolado ou associado ao complexo nutricional na segunda época, o resultado maior e mais expressivo foi o tratamento F80 perfazendo 17,8 TAH, onde o efeito do fertilizante foliar agiu por um período mais extenso de tempo, de 72 a 98 DAC.

A diferença média dos resultados entre os tratamentos realizados somente na segunda época (Figura 10), denota que, quando aplicado o complexo nutricional na mesma época do maturador, houve ganho menor de PCC, porém, houve incremento em 5 TCH maior que o controle, perfazendo 1,2 TAH.

No tratamento com utilização do maturador isolado, proporcionou aumentou em 0,9% de PCC por tonelada de cana, porém, como era esperado, retardou o

crescimento, devido ao estímulo causado no acúmulo, sendo assim per fez 0,8 TAH (Figura 10).

Tabela 6 - AR, ATR E TAH em função da adubação foliar e da aplicação de maturador em cana-de-açúcar. Local, variedade, época de aplicação em dias antes da colheita (DAC) e probabilidade de F. 2017.

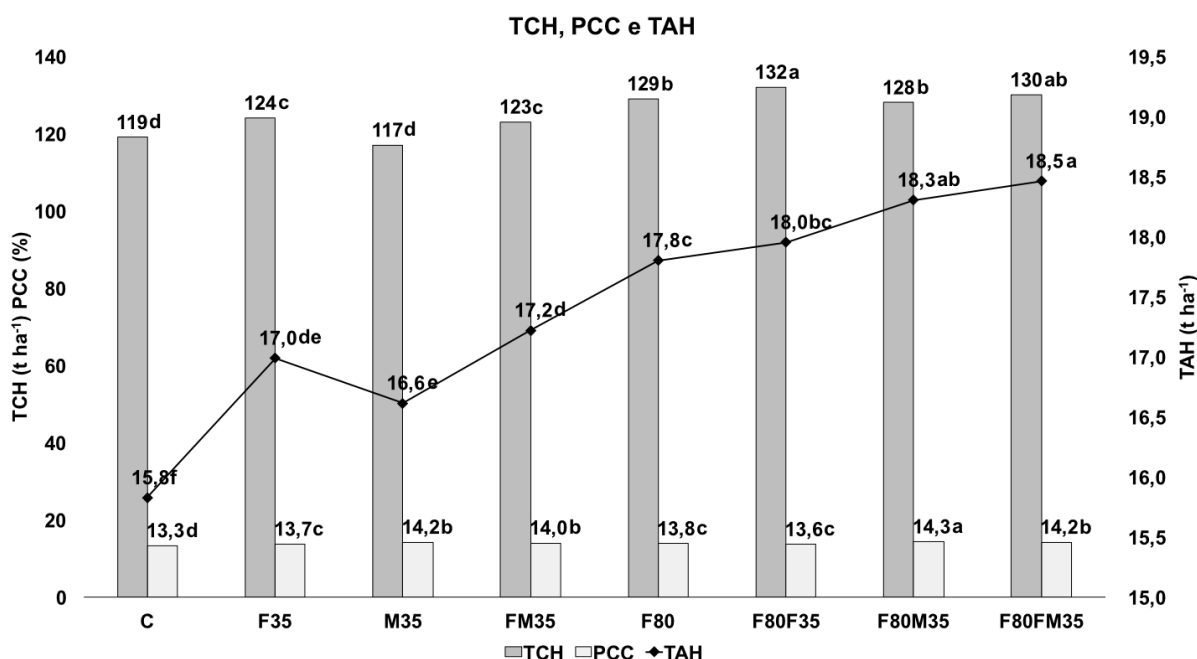
Local	Pontal - SP	Indiaporã - SP	Iturama - MG	Santa Maria da Serra - SP	Luís Antônio - SP	Média
Variedade	RB	IACSP	RB	RB	RB	
Época (DAC)	85-5453 98 - 30	95-5000 78 - 35	96-6928 78 - 29	96-6928 90 - 40	85-5156 72 - 36	80 - 35
Tratamentos*	AR cana (%)					
C	0,55 a	0,57 a	0,67 a	0,56 a	0,54 a	0,58 a
F35	0,51 bc	0,56 ab	0,64 ab	0,55 ab	0,53 ab	0,56 ab
M35	0,51 bc	0,52 d	0,60 c	0,54 ab	0,52 b	0,54 b
FM35	0,52 abc	0,54 bcd	0,60 c	0,54 ab	0,50 c	0,54 b
F80	0,53 ab	0,55 abc	0,63 b	0,56 a	0,51 bc	0,56 ab
F80F35	0,50 c	0,56 ab	0,63 b	0,55 ab	0,52 b	0,56 ab
F80M35	0,51 bc	0,53 cd	0,60 c	0,51 b	0,52 b	0,54 b
F80FM35	0,51 bc	0,53 cd	0,60 c	0,55 ab	0,52 b	0,54 b
Probabilidade de F	0,0815	0,0172	0,0010	0,0173	0,0276	0,0505
	ATR (Kg t⁻¹)					
C	138 d	130 d	109 d	140 c	143 b	132 d
F35	143 abcd	134 c	111 cd	142 abc	147 ab	136 c
M35	147 ab	141 a	118 ab	145 a	150 ab	140 ab
FM35	144 abc	140 a	116 b	144 ab	150 ab	139 b
F80	142 bcd	137 b	113 c	143 abc	148 ab	137 c
F80F35	141 cd	132 cd	111 c	142 bc	148 ab	135 c
F80M35	146 ab	142 a	118 a	145 a	151 a	141 a
F80FM35	147 a	141 a	116 ab	144 ab	150 ab	140 ab
Probabilidade de F	0,0734	<0,0001	<0,0001	0,0263	0,0949	<0,0001
	TAH (t ha⁻¹)					
C	18,1 e	15,1 e	13,8 d	15,4 d	16,7 c	15,8 f
F35	19,8 cd	16,0 d	14,6 cd	16,5 abc	18,2 ab	17,0 de
M35	19,0 de	16,3 cd	14,6 c	15,8 cb	17,3 bc	16,6 e
FM35	19,7 cd	16,6 bcd	15,1 bc	16,3 bcd	18,4 ab	17,2 d
F80	20,6 bc	17,1 abc	15,1 bc	17,0 ab	18,8 a	17,8 c
F80F35	21,0 ab	16,8 bcd	15,5 ab	17,1 ab	19,2 a	18,0 bc
F80M35	21,4 ab	17,5 ab	16,0 a	17,1 ab	18,9 a	18,3 ab
F80FM35	21,8 a	17,9 a	16,2 a	17,3 a	19,3 a	18,5 a
Probabilidade de F	<0,0001	0,0009	0,0006	0,0275	0,0228	<0,0001

*C = Controle, F80 = Fertilizante foliar 80 DAC, F35 = Fertilizante foliar 35 DAC, M35 = Maturador 35 DAC e FM35 = Fertilizante foliar e Maturador 35 DAC. Médias seguidas de letras iguais, não diferem entre si pelo teste *t* (LSD) a 10% de probabilidade.

Quando associado o complexo nutricional ao maturador, não ocorreu a redução no crescimento, pelo contrario, obteve-se ganho de 4 TCH maior que o tratamento C, mantendo praticamente o mesmo ganho do maturador isolado 0,7% de PCC por tonelada de cana, havendo aumento de 1,4 TAH (Figura 10).

Ao utilizar o fertilizante foliar antes da fase de maturação, os ganhos de TCH são mais expressivos, perfazendo 10, 13, 9 e 11 t ha⁻¹ para os tratamentos F80, F80F35, F80M35 e F80FM35 e os ganhos de PCC 0,5, 0,3, 1,0 e 0,9% respectivamente, resultado em um ganho de TAH de 2,0, 2,1, 2,5 e 2,6.

Figura 9 - Gráfico comparativo da média de todos os experimentos referentes ao TCH, PCC e TAH em função da adubação foliar e da aplicação de maturador em cana-de-açúcar. 2017.



*C = Controle, F80 = Fertilizante foliar 80 DAC (Dias Antes da Colheita), F35 = Fertilizante foliar 35 DAC, M35 = Maturador 35 DAC e FM35 = Fertilizante foliar e Maturador 35 DAC. Médias seguidas de letras iguais, não diferem entre si pelo teste *t* (LSD) a 10% de probabilidade.

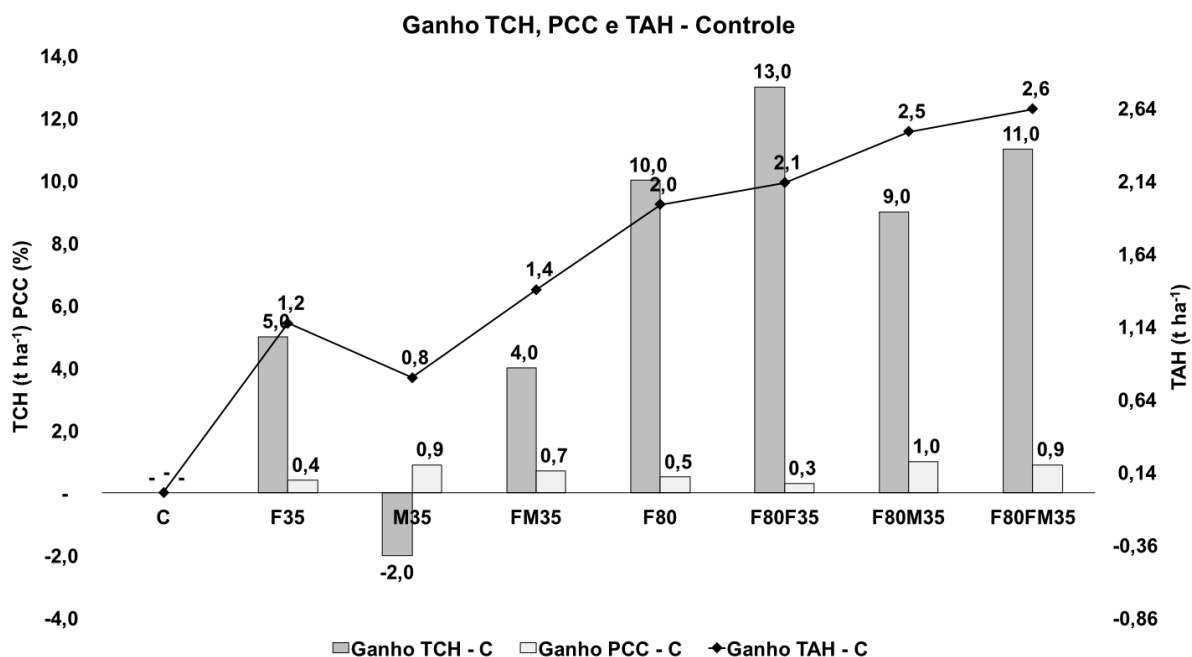
Quando realizado a aplicação do complexo nutricional isolado somente na primeira época, estimula-se o crescimento repercutindo em ganho médio dos experimentos em 10 TCH e incrementa-se 0,5% de PCC, ao realizar duas aplicações nutricionais, sendo uma em média 80 DAC e outra em média 35 DAC, estimula-se ainda mais o crescimento, repercutindo em ganhos de 13 TCH e 0,3% de PCC, perfazendo 2,0 e 2,1 TAH respectivamente.

Quando utilizado o complexo nutricional na primeira época, e na segunda aplicação utilizado somente o sulfometuron-metil, resultou em ganhos médios de 9 TCH e 1,0% de PCC, ambos com efeito superior em comparação com a utilização isolada do maturador perfazendo 2,5 TAH, e quando utilizado o complexo nutricional em média 80 DAC e na sequência repetido aos 35 DAC associado ao maturador, os ganhos são ainda mais expressivos resultando em 2,6 TAH.

Observa-se ganhos de a utilização do fertilizante foliar antecedendo a fase de maturação em comparação com a fase de maturação de 0,8 a 1,4 TAH.

Ao observarmos os resultados médios dos experimentos para os fatores TCH, PCC e TAH em diferença de ganhos comparativos (Figura 10), é possível notar que embora o resultado de TCH tenham sido mais expressivo para o tratamento F80F35 e o resultado de PCC para o tratamento F80M35, para a soma dos resultados que expressa a quantidade de PCC por hectare, os maiores resultados foram os tratamentos com fertilizante foliar na primeira época e na segunda associado ao maturador perfazendo um ganho médio de 2,6 TAH.

Figura 10 - Gráfico comparativo da média dos ganhos de todos os experimentos referentes ao (TCH), (PCC) e (TAH) em função da adubação foliar e da aplicação de maturador em cana-de-açúcar. 2017.



*C = Controle, F80 = Fertilizante foliar 80 DAC (Dias Antes da Colheita), F35 = Fertilizante foliar 35 DAC, M35 = Maturador 35 DAC e FM35 = Fertilizante foliar e Maturador 35 DAC.

5 DISCUSSÃO

Analisando os resultados de teores nutricionais foliares, não se observou alteração significativa, mesmo após realizadas as aplicações de nutrientes via foliar, este efeito pode ter ocorrido devido a pequena quantidade de nutrientes aplicada e muito provavelmente devido ao efeito diluição (JARRELL; BEVERLY, 1981).

Um dos prováveis motivos para os resultados não apresentarem efeito sobre os teores foliares foi a folha amostrada, pois sempre na coleta amostrou-se a folha +1 ou TVD (Top Visible Dewlap) de acordo Kuijper (VAN DILLEWIJN, 1952), baseado na metodologia de coleta de amostras proposta por Spironello, et al. (1997), onde a fase ideal de coleta é a de maior desenvolvimento vegetativo da cultura, o que não ocorreu nos experimentos, pois a coleta ocorreu na fase final do ciclo da cultura. O período mínimo entre as aplicações e a coleta das amostras foi de 29 dias, ou seja, a folha coletada tinha grande probabilidade de não ser a mesma que recebeu a aplicação do tratamento.

Uma folha fotossinteticamente ativa segundo Machado et al. (1982, 1983), pode durar de 1 a 5 meses dependendo do clima, estagio fenológico e idade da planta. No Havaí o período de duração de folhas de cana-de-açúcar era de 60 a 75 dias segundo Van Dillewijn (1952). De acordo com Rengel, Gil e Montaña (2011), o período de maior crescimento que precede a fase de maturação, possui alta demanda por nutrientes, causando decréscimo nos teores nutricionais foliares, favorecendo a senescência prematura e estimulando a emergência de novas folhas devido a constante de renovação foliar.

Mediante aos aspectos fenológicos e as condições climáticas favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, todos os tratamentos, tanto com fertilização foliar ou maturador receberam estímulo a emissão de novas folhas, porém, nos tratamentos que receberam adubação foliar na primeira época, de acordo com os resultados de comprimento, peso e TCH, infere-se a emissão de novas folhas em maior intensidade, repercutindo em cutículas mais delgadas, com menos ceras e barreiras de impedimento à entrada de substâncias, conferindo os resultados positivos de TCH adquiridos (FERNÁNDEZ; SOTIROPOULOS; BROWN, 2015).

Tais resultados corroboram com Papadakis, Sotiropoulos e Therios (2007), que sugerem reaplicações consecutivas sempre que novas folhas recém-expandidas surgirem, visando o suprimento nutricional destas devido a baixa translocação

nutricional interna nas plantas de certos nutrientes, embora, este tipo de fertilização foliar seja difícil de ser empregada na cultura da cana-de-açúcar, devido a seu porte e a própria modalidade de aplicação.

Nas folhas mais velhas a demanda nutricional é suprida em tratamentos com adubação foliar, permanecendo esta por um período maior de tempo metabolicamente ativa e por consequência produtiva por mais tempo (Rossi, 2015).

De acordo com os resultados biométricos e tecnológicos, a idade das folhas dos tratamentos F80, F80F35, F80M35 e F80FM35 que receberam aplicação do complexo nutricional na primeira época, favoreceram a absorção e translocação dos produtos aplicados nas folhas na segunda época, devido a presença de folhas mais jovens estimuladas pelo aumento no metabolismo proporcionado pela adubação foliar, incrementando para estas novas folhas um estado metabólico e fisiológico mais ativo, com camadas mais delgadas de ceras e cutinas, conferindo maior permeabilidade à entrada de substâncias (FERNÁNDEZ; SOTIROPOULOS; BROWN, 2015; KOCH; ENSIKAT, 2007; MARSCHNER, 2012; MATTIELLO et al., 2015; WÓJCIK, 2004).

Segundo Lira et al. (2017), a estratégia de incremento em produtividade usada foi o de estender a vida útil da folha e consequentemente a manutenção da taxa fotossinteticamente ativa da folha, retardando a senescência foliar. Estudos realizados por Blandino e Reyneri (2009), com adubação foliar de macro e micronutrientes reduziram significativamente o período de senescência foliar elevando-se o potencial produtivo e qualitativo. Benbella e Paulsen (1998) utilizando P na forma de KH_2PO_4 também reduziram a senescência foliar e aumentaram o potencial produtivo.

Conforme observado, os teores foliares de nutrientes estavam em sua maioria abaixo do teor adequado, e quando dentro dos teores adequados, muito próximos a linha inferior da faixa adequada segundo Spironello, et al. (1997). Segundo Wójcik (2004) a taxa de absorção é favorecida quando as folhas apresentam baixas concentrações de nutrientes, devido ao gradiente de concentração, corroborando com os resultados alcançados.

Embora não observado efeito dos tratamentos sobre o diâmetro, segundo Janro (2002), a adubação foliar proporciona incrementos tanto no comprimento quanto no diâmetro, tamanho de entrenós e peso de colmos. Porém, segundo Leite e Crusciol (2008), onde houve a utilização de sulfometuron-methyl, provocou aumento no acúmulo de fotossintatos e melhoria na qualidade da matéria prima, causado pelo

redirecionamento de sacarose proveniente da redução no crescimento, sendo assim o fator alterado foi o comprimento e não o diâmetro.

Os resultados positivos do efeito dos elementos minerais quanto aos fatores biométricos e tecnológicos, nos tratamentos com adubação foliar, está relacionado também com a qualidade do produto utilizado (ROSOLEM, 2002). A tecnologia da formulação contida no produto Wuxal ATRIun® possuía características de suspensão, possibilitando rápida dispersão e baixa decantação na calda de pulverização, ação de regulador de pH, antievaporante, umectante, espalhante e adesivo conferindo maior vida útil da gota, menor deriva, menor evaporação, menor lixiviação e escorrimento e os nutrientes catiônicos eram quelatizados com agente quelante EDTA, evitando a aderência das cargas dos poros hidrofílicos da cutícula e nas paredes celulares, conferindo maior permeabilidade e translocação (FAGERIA; BALIGAR; CLARK, 2002; FAGERIA, 2009; FERNANDEZ; SOTIROPOULOS; BROW, 2015; MALAVOLTA, 1980; ROSOLEM, 2002; SEKHON, 2003).

Em todos os tratamentos onde se realizou adubação foliar na primeira época, foram observados que os resultados biométricos de comprimento, peso e TCH, foram superiores àqueles não tratados, devido ao estímulo no crescimento proporcionado pelo efeito nutricional em função do clima propício ao desenvolvimento da cultura. De acordo com Eibner (1986) existe uma inter-relação direta entre os nutrientes aplicados nas folhas e a absorção radicular, o que explicaria estes resultados positivos. De acordo com Alston (1979), mesmo a adubação foliar em final de ciclo, proporciona resultados interessantes quanto ao incremento de produtividade e qualidade. Um dos fatores influenciados é o estímulo ao crescimento radicular segundo Thorne, (1954, 1955), e também descritos com maior detalhamento por Jelenic, Licina e Gajic, (1986), que observaram alteração no pH próximo às raízes provenientes da exsudação de ácidos e eletrólitos, estimulando a atividade metabólica da planta e a absorção de nutrientes via radicular.

Este fato foi constatado por Shereverya (1959; IKONEKO, 1959 apud HUMBERT, 1974), após a realização da fertilização foliar com K, observou-se teores foliares muito acima daqueles aplicados, evidenciando o aumento no metabolismo da planta bem como estimulando a absorção via radicular.

As análises dos resultados dos tratamentos com o uso do maturador sulfometuron-methyl associado ou não ao fertilizante foliar, revelaram ser os superiores para as variáveis de PCC, pureza e ATR e inversamente proporcional a

AR, corroborando com resultados já alcançados em outros experimentos (CASTRO, 2016; GHELLER; NASCIMENTO, 2001; SIQUEIRA, 2014). Observou-se que na utilização do maturador em associação ao complexo nutricional, a redução na taxa de crescimento foi menos acentuada, repercutindo em menor ganho em qualidade, demonstrando ter uma inter-relação direta entre o crescimento e o acúmulo, como descrito por Castro (1999) e Moore e Botha (2014).

A utilização do fertilizante foliar na primeira época e na segunda época associado ou não ao maturador, evidenciou efeito potencial no incremento de PCC, pureza e ATR, maiores do que a utilização isolada do maturado, corroborando com os dados de Leite (2010) e Siqueira (2014). O clima quente e úmido favoreceu os resultados do sulfometuron-methyl antecipando o acúmulo de sacarose e melhorando a qualidade da matéria prima, o que não se observa segundo Leite (2009b) em anos secos, devido as condições climáticas desfavoráveis, ao crescimento e consequentemente favoráveis a antecipação e acúmulo de sacarose.

De acordo com os resultados médio dos tratamentos quanto a fibra, a maioria estava dentro da faixa adequada segundo Ripoli e Ripoli, (2004), e não resultaram em diferença significativa, entretanto, somente para a localidade de Luíz Antônio, observou-se que os valores estavam abaixo da taxa considerada adequada.

Analizando os dados referentes aos resultados médios de TAH, observou-se efeito dos tratamentos, destacando os maiores valores para os tratamentos F80, F80F35, F80M35 e F80FM35, evidenciando que adubação foliar na primeira época foi eficaz no incremento de TAH, perfazendo resultados maiores do que os tratamentos aplicados somente na segunda época.

Estes dados evidenciam que a anatomia do colmo sofreu alteração, aumentando não só em tamanho e peso, mas aumentando também a capacidade de armazenamento de sacarose, como já descrito por Lingle et al. (2009). Segundo Tejera et al. (2007) estudando três cultivares, a mais produtiva além de maior espaço nas células parenquimáticas, também se observou maior área foliar, maior taxa de interceptação luminosa, maior taxa de assimilação líquida e maior particionamento de C, devido a redução na respiração celular. O tamanho dos internódios influenciou diretamente nas variáveis TCH, PCC e consequentemente no TAH, e isso é evidenciado quando plantas sujeitas à temperaturas elevadas reduzem o tamanho dos entrenós, devido ao estresse provocado, resultando em menor peso e teor de sacarose armazenado (BONNETT; HEWITT; GLASSOP, 2006).

Conforme mencionado anteriormente, se o tamanho dos internódios e tamanho da folha, influenciam no resultado final de TAH, e se analisarmos uma única aplicação de fertilizante foliar, podemos concluir que a média dos tratamentos F80 foi o mais responsivo com incremento de 2,0 TAH, devido ao maior tempo que os nutrientes estiveram agindo na planta, consequentemente com ganhos mais expressivos tanto em TCH e PCC, como em TAH confirmando os resultados de Raposo Junior, Gomes Neto e Sacramento, (2013).

Ao observarmos os resultados dos tratamentos com maturador, podemos auferir que quando associado ao fertilizante foliar, independente da época, apresentam os maiores ganhos para a variável PCC, corroborando com os resultados de Siqueira (2014).

Em síntese, ao analisarmos os resultados de TAH individuais por localidade, pode-se concluir que o tratamento mais responsivo é o F80FM35 em todas as localidades, e o parcelamento nutricional via fertilização foliar, refletem em incrementos tanto em produtividade em toneladas de cana por hectare, quanto em PCC por tonelada de cana (HUMBERT, 1974; ALEXANDER, 1973; ALEXANDER, 1986).

6 CONCLUSÕES

a) A utilização do fertilizante foliar antes da fase de maturação, proporcionou resultados superiores para as variáveis biométricas sendo estes, de 6 a 12 cm de comprimento, peso por colmo de 0,13 a 0,19 kg e de 9 a 13 TCH na média dos experimentos.

b) O tratamento com duas aplicações de fertilizante foliar consecutivas, sendo a primeira em média 80 DAC e a segunda em média 35 DAC resultou em incremento de 13 TCH para a média dos experimentos.

c) Em todos os tratamentos com a utilização do maturador, houve aumentos de 0,7 a 1,0% de PCC, 2% de pureza e 7 a 9 kg de ATR por tonelada de cana e inversamente proporcional ao AR com 0,04% inferior ao controle.

d) Os maiores resultados em TAH foram quando associados o maturador ao fertilizante foliar promovendo um ganho superior ao maturador isolado de 0,6 a 1,8 TAH.

e) A aplicação do fertilizante foliar realizado na primeira e na segunda época associado ao maturador, conferiu incremento de 2,6 TAH para a média de todos os experimentos.

REFERÊNCIAS

- ABADIA, J. et al. Correction of iron chlorosis by foliar sprays. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 594, p.115-121, nov. 2002.
- ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. **Agricultura tropical**: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. 1º ed. Brasília - DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 1, 1337 p.
- ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE J. C. Isotermas de Langmuir e de Freundlich na descrição da adsorção de boro em solos altamente interperizados. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, n. 3, p. 379-387, 1998.
- ALEXANDER, A. Optimum timing of foliar nutrient sprays. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOLIAR FERTILIZATION, 1., 1985, Berlin. **Foliar Fertilization**... Dordrech: Martinus Nijhoff Publishers, 1986. v. 1, p. 44-60.
- ALEXANDER, A.; HUNSCHE, M. Influence of formulation on the cuticular penetration and on spray deposit properties of manganese and zinc foliar fertilizers. **Agronomy**, Basel, v. 6, n. 3, p. 39-49, jun. 2016.
- ALEXANDER, A. G. **Sugarcane physiology**: a comprehensive study of the Saccharum source-to-sink system. Amsterdam: Elsevier, 1973. 725 p.
- ALMEIDA, J. C. V.; LEITE, C. R. F.; SOUZA, J. R. P. Efeitos de maturadores nas características tecnológicas da cana-de-açúcar com e sem estresse hídrico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 4, p.441-447, out. 2005. Disponível em: <http://www.uel.br/proppg/portal/pages/arquivos/pesquisa/semina/pdf/semina_26_4_19_1.pdf>. Acesso em: 09 set. 2018.
- ALSTON, A. M. Effects of soil water content and foliar fertilization with nitrogen and phosphorus in late season on the yield and composition of wheat. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 30, n. 4, p. 577-585, 1979.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2018. Disponível em: <https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil>. Acesso em: 23 jun. 2018.
- ARAÚJO, R. et al. Variation in the sugar yield in response to drying-off of sugarcane before harvest and the occurrence of low air temperatures. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 1, p.118-127, 8 jan. 2016.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES - ANFAVEA. **Anuário da indústria automobilística brasileira**. São Paulo, 2016. 152 p. Disponível em: <<http://www.virapagina.com.br/anfavea2016/files/assets/basic-html/page-l.html#>>>. Acesso em: 8 ago. 2018.

AYRES, A. S. Effect of age upon the absorption of mineral nutrients by sugar cane under field condition. **American Society Agronomy**, Madison, v. 2, n. 28, p. 871-886, 1936.

BEAVERS, W. B. et al. Calcium source affects calcium content, firmness, and degree of injury of apples during storage. **HortScience**, Alexandria, v. 29, n. 12, p. 1520-1523, 1994.

BENBELLA, M.; PAULSEN, G. M. Efficacy of treatments for delaying senescence of wheat leaves: II. Senescence and grain yield under field conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, p. 332-338. 1998.

BET, J. A. **Indutores de maturação e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar**. 2015. 112 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia e Engenharia de Alimentos)-Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015.

BLANDINO, M.; REYNERI, A. Effect of fungicide and foliar fertilizer application to winter wheat at anthesis on flag leaf senescence, grain yield, flour bread-making quality and DON contamination. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 30, n. 4, p. 275-282, maio 2009.

BONNETT, G. D.; HEWITT, M. L.; GLASSOP, D. Effects of high temperature on the growth and composition of sugarcane internodes. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 57, n. 10, p. 1087-1095, 2006.

BRIAT, J.; DUBOS, C.; GAYMARD, F. Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 20, n. 1, p. 33-40, jan. 2015.

BROWN, P. H.; HU, H. Phloem mobility of boron is species dependent: evidence for phloem mobility in sorbitol-rich species. **Annals of Botany**, Oxford, v. 77, p. 497-505, 1996.

BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry and molecular biology of plants**. 2nd ed. West Sussex, John Wiley & Sons, 2015. 1280 p.

BULL, T. A.; GLASZIOU, K. T. Sugar cane. In: Evans, L. T. (Ed.). **Crop Physiology: Some Case Histories**. Cambridge: Cambridge University Press, 1975. p. 51-72.

CASTRO, P. R. C. et al. Ação comparada de maturadores em dois cultivares de cana-de-açúcar. **Álcool & Açúcar**, São Paulo, n. 73, p. 36-39, 1994.

CASTRO, P. R. C. Maturadores químicos em cana-de-açúcar. **Saccharum**, Piracicaba, v. 1, p. 12-16, 1999.

CASTRO, P. R. C. **Fisiologia aplicada à cana-de-açúcar**. Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2016. 208 p.

CHEN, Y.; BARAK, P. Iron nutrition of plants in calcareous soils. **Advances in Agronomy**, Maryland Heights, p. 217-240, 1982.

CLEMENTS, H. F.; MORINGUCHI, S. The crop-log for use in sugar-cane production. Report University Hawaii Agricultural Station, Hawaii, p. 34-40, 1945.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira Cana-de-Açúcar Safra 2016/2017, segundo levantamento, agosto/2016**. Brasília, 2016. 72 p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/>>. Acesso em: 16 dezembro 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira Cana-de-Açúcar Safra 2016/2017, primeiro levantamento, maio/2018**. Brasília, 2018. 66 p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/>>. Acesso em: 27 junho 2018.

CONSECANA. **Manual de instruções**. 5. ed. Piracicaba: Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo, 2006. 111 p.

CRUSCIOL, C. A. C.; LEITE, G. H. P.; SIQUEIRA, G. F. Uso de maturadores com ou sem mistura. In: CRUSCIOL, C. A. C. et al. (Ed.). **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: FEPAF, 2010. p. 93-102.

DAROS, E. et al. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba: Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor, 2010. Disponível em: <<https://www.ridesa.com.br/variedades?lightbox=dataitem-ivvjh9l81>>. Acesso em: 13 set. 2018.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS/UFV, 2007. p. 92-132.

DEUBER, R. Maturação da cana-de-açúcar na região Sudeste do Brasil. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., 1988, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Copersucar, 1988. p. 33-40.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212 p.

DUGGER, W. M. Functional aspects of Boron in Plants. **Advances in Chemistry**, New York, v. 1, n. 1, p. 112-129, jun. 1973.

EIBNER, R. Important for productivity of modern plant cultivation. In: first international symposium on foliar fertilization, 1., 1985, Berlin. **Foliar Fertilization**. Dordrech: Martinus Nijhoff Publishers, 1986. v. 1, p. 3 - 13.

EICHERT, T.; BURKHARDT, J. Quantification of stomatal uptake of ionic solutes using a new model system. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 52, n. 357, p. 771-781, abr. 2001.

EICHERT, T.; GOLDBACH, H. E. Equivalent pore radii of hydrophilic foliar uptake routes in stomatous and astomatous leaf surfaces – further evidence for a stomatal pathway. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 132, n. 4, p. 491-502, abr. 2008.

ENDRES, L. et al. Foliar Applications of Calcium Reduce and Delay Sugarcane Flowering. **Bioenergy Research**, New York, v. 9, n. 1, p. 98-108, ago. 2015.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2005. 380 p.

FAGAN, E. B. et al. **Fisiologia vegetal: metabolismo e nutrição mineral**. São Paulo: Andrei, 2016. 305 p.

FAGERIA, N. K. et al. Foliar Fertilization of Crop Plants. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 32, n. 6, p. 1044-1064, maio 2009.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. Micronutrients in Crop Production. **Advances in Agronomy**, Maryland Heights, v. 77, n. 1, p. 185-268, 2002.

FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A. The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. **Advances in Agronomy**, Maryland Heights, v. 110, n. 1, p. 251-331, 2011.

FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 24, n. 8, p.1269-1290, jul. 2001.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. Piracicaba: STAB, 2003. 240p.

FERNÁNDEZ, V.; EICHERT, T. Uptake of Hydrophilic Solutes Through Plant Leaves: Current State of Knowledge and Perspectives of Foliar Fertilization. **Critical Reviews in Plant Sciences**, London, v. 28, n. 1/2, p.36-68, 19 mar, 2009.

FERNÁNDEZ, V.; SOTIROPOULOS, T.; BROWN, P. **Adubação foliar: fundamentos científicos e técnicas de campo**. São Paulo: Abisol, 2015. 150 p.

FERRANDON, M.; CHAMEL, A. R. Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn and Zn supplied in organic and inorganic form. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 11, n. 3, p. 247-263, mar. 1988.

FERREIRA, D.F. SISVAR: A program for statistical analysis and teaching. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008.

FERREIRA, E. A. **Anatomia quantitativa, micromorfologia e sensibilidade a herbicida em genótipos de cana-de-açúcar**. 2005. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia e Botânica)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

FIEDOR, L. et al. Understanding chlorophylls: Central magnesium ion and phytyl as structural determinants. **Biochimica Et Biophysica Acta - Bioenergetics**, Amsterdam, v. 1777, n. 12, p. 1491-1500, dez. 2008.

FRANKE, W. Mechanisms of foliar penetration of solutions. **Annual Review of Plant Physiology**, Rockville, v. 18, n. 1, p. 281-300, jun. 1967.

FRANZÉ, R. V. **Qualidade tecnológica e teores de nutrientes da cana-de-açúcar sob efeito de maturadores**. 2010. 53 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

GEMENTE, A. C. et al. Planejamento agrícola. In: BRUGNARO, C.; SBRAGIA, R. **Gerência agrícola em destilarias de álcool**. 2. ed. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1986. p. 29-83.

GERENDÁS, J.; FÜHRS, H. The significance of magnesium for crop quality. **Plant and Soil**, London, v. 368, n. 1/2, p. 101-128, jan. 2013.

GETTIER, S. W.; MARTENS, D. C.; BRUMBACK, T. B. Timing of foliar manganese application for correction of manganese deficiency in soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 77, n. 4, p. 627-630, 1985.

GHELLER, A. C. A.; NASCIMENTO, R. Resultados da aplicação de maturadores vegetais em cana-de-açúcar, variedades RB72454 e RB 835486 na região de Araras, SP. 4ª Jornada Científica e IX Congresso de Iniciação Científica da Ufscar. 2001, São Carlos. **Resumos**. Araras: Ufscar, 2001.

HARO, M. et al. Aplicación de madurantes en canteros con riesgo por cultivos colindantes. **Sugar Journal**, New Orleans, v. 64, n. 10, p. 12-21, 2001.

HEREDIA-GUERRERO, J. A.; BENÍTEZ, J. J.; HEREDIA, A. Self-assembled polyhydroxy fatty acids vesicles: a mechanism for plant cutin synthesis. **Bioessays**, Ames, v. 30, n. 3, p. 273-277, 2008.

HESS, F. D.; FOY, C. L. Interaction of surfactants with plant cuticles. **Weed Technology**, Cambridge, v. 14, n. 4, p. 807-813, out. 2000.

HUMBERT, H. P. **El cultivo de la caña de azúcar**. Mexico: Elsevier, 1974. 719 p.

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

IRVINE, J. E. Sugarcane. In Symposium on Potential Productivity of Field Crops Under Different Environments, 1., Los Baños Laguna, **Potential Productivity of Field Crops Under Different Environments**. Los Baños Laguna: International Rice Research Institute, 1983. p. 361 - 381.

JANRO, G. H. et al. Effect of foliar application of micro nutrients on the growth traits of sugarcane variety Cp-65/357. **Asian Journal of Plant Sciences**, Dubai, v. 1, n. 4, p. 462-463, abr. 2002.

JARRELL, W. M.; BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, Maryland Heights, v. 34, n. 1, p. 197-224, 1981.

JESCHKE, W. D.; HARTUNG, W. Root-shoot interactions in mineral nutrition. **Plant and Soil**, Würzburg, v. 226, p. 57-69, 2000.

JEFFREE, C. E. The fine structure of the plant cuticle: cuticle structure and phylogeny. In: RIEDERER, M.; MÜLLER, C. **Biology of the plant cuticle**. 23th ed. Würzburg: Blackwell Publishing Ltd, 2006. Chap. 2, p. 11-125.

JELENIC, D. B.; LICINA, V.; GAJIC, B. Improving the nutritional status of plants by Mg, B and Zn foliar fertilization with the plant growth bio-regulator. In: first international symposium on foliar fertilization, 1., 1985, Berlin. **Foliar Fertilization**. Dordrech: Martinus Nijhoff Publishers, 1986. v. 1, p. 453 - 483.

KANNAN, S. Mechanisms of foliar uptake of plant nutrients: Accomplishments and prospects. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 2, n. 6, p. 717-735, jan. 1980.

KANNAN, S.; CHARNEL, A. Foliar absorption and transport of inorganic nutrients. **Critical Reviews in Plant Sciences**, London, v. 4, n. 4, p. 341-375, jan. 1986.

KARRAKER, R. H. **Stability constants of some rare-earth-metal chelates**. 1961. 111 f. Dissertação (Mestrado em Science and Technology)-Iowa State University, Iowa, 1961.

KOCH, K.; ENSIKAT, H. The hydrophobic coatings of plant surfaces: epicuticular wax crystals and their morphologies, crystallinity and molecular self-assembly. **Micron**, Bonn, v. 39, n. 7, p. 759-772, out. 2007.

KÖKSAL, A. I.; DUMANOĞLU, H.; GÜNEŞ, N. T. The Effects of Different Amino Acid Chelate Foliar Fertilizers on Yield, Fruit Quality, Shoot Growth and Fe, Zn, Cu, Mn Content of Leaves in Williams Pear Cultivar (*Pyrus communis* L.). **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 23, n. 1, p. 651-658, 1999.

KOVACS, G. The importance of environmental, plant and spray characteristics for a foliar nutrition program to be successful. In: first international symposium on foliar fertilization, 1., 1985, Berlin. **Foliar Fertilization**. Dordrech: Martinus Nijhoff Publishers, 1986. v. 1, p. 26-43.

LANDELL, M. et al. **Melhoramento genético e manejo varietal em cana-de-açúcar: histórico, variabilidade, seleção, obtenção de cultivares, conceitos de manejo varietal e principais cultivares**. 2013. Disponível em: <http://www.infobibos.com/cursocana/alunos/aulas/Aula8/Aula8_Melhoramento2013.pdf>.

LEITE, G. H. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Reguladores vegetais no desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 8, p. 995-1001, ago. 2008.

LEITE, G. H. P. et al. Reguladores vegetais e atividade de invertases em cana-de-açúcar em meio de safra. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 718-725, jun. 2009a.

LEITE, G. H. P. et al. Qualidade tecnológica, produtividade e margem de contribuição agrícola da cana-de-açúcar em função da aplicação de reguladores vegetais no início da safra. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 726-732, jun. 2009b.

LEITE, G. H. P. **Maturadores associados à boro e silício aplicados via foliar em cana-de-açúcar (saccharum spp.)**. 2010. 326 p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

LINGLE, S. E. et al. Recurrent selection for sucrose content has altered growth and sugar accumulation in sugarcane. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 113, n. 3, p.306-311, set. 2009.

LIRA, B. S. et al. Manipulation of a Senescence-Associated Gene Improves Fleshy Fruit Yield. **Plant Physiology**, Rockville, v. 175, n. 1, p. 77-91, jul. 2017.

LUCCHESI, A. A. Processos fisiológicos da cultura da cana-de-açúcar (Saccharum spp). **Boletim técnico ESALQ/ CENA**, Piracicaba, v. 7, p. 1-50, 1995.

LUCCHESI, A.A. Cana-de-açúcar. In: CASTRO, P. R. C. **Manual de fisiologia vegetal: fisiologia dos cultivos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2008. 864 p.

MACHADO, E. C. **Um modelo matemático-fisiológico para simular o acúmulo de matéria seca na cultura de cana-de-açúcar (Saccharum spp.)**. 1981. 115 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal)—Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1981.

MACHADO, E. C. et al. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 17, n. 9, p. 1323-1329, 1982.

MACHADO, E. C. et al. Análise de crescimento de duas variedades de cana-de-açúcar com e sem irrigação. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE LATINO-AMERICANA DE FISILOGIA VEGETAL, 9., 1983, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: UFV, 1983.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Potafós, 1987. p. 113-118.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar**. São Paulo: Ultrafértil, 1982. Boletim Técnico.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional**

das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

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

MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S.; GUIMARÃES, T. G. Herbicidas: mecanismos de ação e uso. **Documentos / Embrapa Cerrado**: 227, Planaltina, v. 1, n. 227, p.1-36, 2008.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 232-239, 2013.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Londres: Academic Press, 1995. 887 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Londres: Academic Press, 2012. 651 p.

MARTINS, A. L. M.; LANDELL, M. G. A. Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana-de-açúcar utilizados no programa Cana IAC. Pindorama: **Instituto Agrônômico**, 1995. 14 p.

MARTINS, M. T. B. et al. Characterization of sugarcane (*Saccharum* spp.) leaf senescence: implications for biofuel production. **Biotechnology for Biofuels**, London, v. 9, n. 1, p. 1-17, jul. 2016.

MATTIELLO, L. et al. Physiological and transcriptional analyses of developmental stages along sugarcane leaf. **Bmc Plant Biology**, London, v. 15, n. 1, p. 1-21, dez. 2015.

MAIER-MAERCKER, U. Peristomatal transpiration and stomatal movement: A controversial view iv. Ion accumulation by peristomatal transpiration. **Zeitschrift Für Pflanzenphysiologie**, München, v. 91, n. 3, p. 239-254, mar. 1979.

MEDINA, N. H. et al. Dynamic distribution of potassium in sugarcane. **Journal of Environmental Radioactivity**, London, v. 126, p. 172-175, dez. 2013.

MOORE, P. H.; BOTHA, F. C. **Sugarcane**: physiology, biochemistry, and functional biology. Ames: Wiley & Sons, 2014. 765 p.

NEVES, Marcos Fava. Mais econômico e renovável, etanol conquista os consumidores brasileiros: .. In: NEVES, Marcos Fava. **Caminhos da Cana**. Sertãozinho: Canaoeste, 2014. Cap. 4. p. 27-28.

NEVES, Marcos Fava. 10 questões sobre o futuro do etanol.: .. In: NEVES, Marcos Fava. **Caminhos da Cana**. Sertãozinho: Canaoeste, 2014. Cap. 4. p. 138-140.

NICHOLAS, D. J. D. Minor mineral nutrients. **Annual Review of Plant Physiology**, Rockville, v. 12, n. 1, p. 63-90, jun. 1961.

OCDE; FAO. **OCDE-FAO Agricultural Outlook 2015-2024**. Paris: OCDE Publishing, 2015. 54 p.

OSAKI, M. et al. A root-shoot interaction hypothesis for high productivity of field crops. **Soil Science and Plant Nutrition**, Valdivia, v. 43, n. 1, p. 1079-1084, jan. 1997.

OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 34, p. 1137-1145, 2010.

PAPADAKIS, I. E.; SOTIROPOULOS, T. E.; THERIOS, I. N. Mobility of Iron and Manganese within Two Citrus Genotypes after Foliar Applications of Iron Sulfate and Manganese Sulfate. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 30, n. 9, p.1385-1396, 3 set. 2007.

PAWAR, M. W.; JOSHI, S. S.; AMODKAR, V. T. Effect of foliar application of phosphorus and micronutrients on enzyme activities and juice quality in sugar cane. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 5, n. 3, p. 161-165, set. 2003.

PRADO, R. M. et al. **Nutrição de plantas: diagnose foliar em grandes culturas**. Jaboticabal: Editora UNESP, 2008. 301 p.

RAIJ, B. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RAPOSO JUNIOR, J. L.; GOMES NETO, J. A.; SACRAMENTO, L. V. S. Evaluation of different foliar fertilizers on the crop production of sugarcane. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 36, n. 3, p. 459-469, mar. 2013.

REED, D. W.; LYONS, C. G.; MCEACHERN, G. R. Field evaluation of inorganic and chelated iron fertilizers as foliar sprays and soil application. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 11, n. 6/11, p.1369-1378, jun. 1988.

RENGEL, M.; GIL, F.; MONTAÑO, J. Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en caña de azúcar. I. Macronutrientes. **Bioagro**, Chorobobo, v. 3, n. 21, p. 43-50, 2011.

RHODES, R.; MILES, N.; HUGHES, J. C. Interactions between potassium, calcium and magnesium in sugarcane grown on two contrasting soils in South Africa. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 223, p. 1-11, jun. 2018.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Barros & Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302 p.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 1995. 99 p.

ROMAN, E. S. et al. **Como funcionam os herbicidas**: da biologia à aplicação. Passo Fundo: Gráfica Editora Berthier, 2005. 152 p.

ROSOLEM, C. A. **Recomendação e aplicação de nutrientes via foliar**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 98 p. Disponível em: http://www.dcs.ufla.br/site/_adm/upload/file/pdf/Prof_Faquin/Recomendacao%20e%20aplicacao%20de%20nutrientes%20VIA%20FOLIAR%20Parte%201%20.pdf. Acesso em: 19 jun. 2018.

ROSSI, M.; BERMUDEZ, L.; CARRARI, F. Crop yield: challenges from a metabolic perspective. **Current Opinion in Plant Biology**, Oxford, v. 25, p. 79-89, jun. 2015.

ROSSETTO, R. A cana-de-açúcar e a questão ambiental: Qualidade do ar atmosférico - o álcool e a queimada. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-Açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. Cap. 1, p. 874.

SEKHON, B. S. Chelates for micronutrient nutrition among crops. **Resonance**, Ludhiana, n. 8, p. 46-53, jul. 2003.

SCHÖNHERR, J. Calcium chloride penetrates plant cuticles via aqueous pores. **Planta**, Sarstedt, v. 212, n. 1, p. 112-118, dez. 2000.

SIQUEIRA, G. F. **Eficácia da mistura de glifosato a outros maturadores na cana-de-açúcar (Saccharum spp.)**. Dissertação (Mestrado em Agricultura)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

SIQUEIRA, G. F. **Aplicação de boro e maturadores na pré-colheita da cana-de-açúcar em início e final de safra**. Tese (Doutorado em Agricultura)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

SINCLAIR, T. R.; HORIE, T. Leaf Nitrogen, Photosynthesis, and Crop Radiation Use Efficiency: A Review. **Crop Science**, Madison, v. 29, n. 1, p. 90-98, 1989.

SINHA, N. Leaf development in angiosperms. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, n. 1, p. 419-446, jun. 1999.

SMITH, D. M.; INMAN-BAMBER, N. G.; THORBURN, P. J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n. 2/3, p. 169-183, jun. 2005.

SOUZA, A. P. et al. Diurnal variation in gas exchange and nonstructural carbohydrates throughout sugarcane development. **Functional Plant Biology**, Clayton, v. 45, n. 8, p. 865-877, 2018.

SPIRONELLO et al. Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. **Boletim 100**, Campinas, p.1-285, 1997. Bi-anual.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TEIXEIRA, W. G.; SOUSA R. T. X; KORNDÖRFER, G. H. Resposta da cana-de-açúcar a doses de fósforo fornecidas por fertilizante organomineral. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1729-1736, dec. 2014.

TEJERA, N. A. et al. Comparative analysis of physiological characteristics and yield components in sugarcane cultivars. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 102, n. 1, p. 64-72, abr. 2007.

THORNE, G. N. Absorption of nitrogen, phosphorus, and potassium from nutrient sprays by leaves. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 5, n. 1, p. 37-48, 1954.

THORNE, G. N. Interactions of nitrogen, phosphorus, and potassium supplied in leaf sprays or in fertilizer added to the soil. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 6, n. 16, p. 20-42, 1955.

THORNE, G. N. The Effect of Applying a Nutrient in Leaf Sprays on the Absorption of the Same Nutrient by the Roots. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 8, n. 3, p. 401-412, 1957.

THORNE, G. N. Confessions of a narrow-minded applied biologist, or why do interdisciplinary research? **Annals of Applied Biology**, West Sussex, v. 108, n. 1, p. 205-217, 1986.

THORNE, G. N.; WATSON, D. J. The effect on yield and leaf area of wheat of applying nitrogen as a top-dressing in April or in sprays at ear emergence. **The Journal of Agricultural Science**, Harpenden, v. 46, n. 4, p. 449-456, nov. 1955.

TUKEY, J. H. B.; MARCZYNSKI, S. Foliar nutrition: old ideas rediscovered. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 145, p. 205-212, mar. 1984.

TYREE, M. T.; SCHERBATSKOY, T. D.; TABOR, C. A. Leaf cuticles behave as asymmetric membranes: evidence from the measurement of diffusion potentials. **Plant Physiology**, Rockville, v. 92, n. 1, p. 103-109, jan, 1990.

UNIÃO DO PRODUTORES DE BIOENERGIA - UDOP. Instituto Agronômico de Campinas. **Características Agronômicas das Variedades IAC**. 2018. Disponível em: <http://www.udop.com.br/index.php?item=variedades_iac>. Acesso em: 10 set. 2018.

VALE, F.; ARAUJO, M. A. G.; VITTI, G. C. Avaliação do estado nutricional dos micronutrientes em áreas com cana-de-açúcar. In: FERTBIO, 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2008. 1 CD-ROM.

VAZQUEZ, G. H.; SANCHEZ, A. C. Formas de aplicação de micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar. **Nucleus**, Ituverava, v. 7, n. 1, p. 267-276, abr. 2010.

VAN DILLEWIJN, C. **Botany of sugar cane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371p.

VAN GOOR, B. J. Penetration of surface-applied Ca into apple fruit. **Journal of Horticultural Science**, Bengaluru, v. 48, n. 3, p. 261-270, jan. 1973.

VÉLIZ, J. G. E. et al. **Uso de Bio-estimulantes antes da Aplicação de Maturadores em Cana-de-açúcar na Guatemala**. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/280317922_Aplicacao_de_biostimulantes_antes_da_aplicacao_de_maturadores_em_cana-de-acucar_na_Guatemala>. Acesso em: 02 fev. 2018.

VIANA, R.S. **Aplicação de maturadores químicos no final de safra, associado à eliminação de soqueira em área de reforma do canavial**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

VITTI, G. C. **Avaliação e interpretação do enxofre do solo e da planta**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 37 p.

VITTI, G. C.; QUEIROZ, F. E. C.; QUINTINO, T. A. Micronutrientes na cana-de-açúcar: mitos e realidades. **Potafós**, Piracicaba, v. 2, p. 1-39, 2005. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Anais_Godofredo_Cesar_Vitti_000fizug9hp02wyiv802hvm3j0am3m2k.pdf>. Acesso em: 12 set, 2018.

WACLAWOVSKY, A. J. et al. Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content. **Plant Biotechnology Journal**, West Sussex, v. 8, n. 3, p. 263-276, abr. 2010.

WALDRON, J. C.; GLASZIOU, K. T.; BULL, T. A. The physiology of sugar cane. IX. Factors affecting photosynthesis and sugar storage. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 20, p. 1043-1052, 1967.

WILSON, L. G. Metabolism of sulfate reduction. **Annual Review of Physiology**, Palo Alto, v. 13, p. 201-224, 1962.

WITTEWER, S. H.; TEUBNER F. G. Foliar absorption of mineral nutrients: mechanisms and factors affecting absorption. **Annual Review of Physiology**, Palo Alto, v. 10, p. 13-30, 1959.

WÓJCIK, P. Uptake of mineral nutrients from foliar fertilization - review. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, Skierniewice, v. 12, p. 201-218, 2004

ZAMBROSI, F. C. B.; MESQUITA, G. L. Foliar phosphorus application enhances nutrient balance and growth of phosphorus deficient sugarcane. **Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics**, Kassel, v. 2, n. 117, p. 203-210, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/309033367_Foliar_phosphorus_application_enhances_nutrient_balance_and_growth_of_phosphorus_deficient_sugarcane>. Acesso em: 12 maio 2018.

ZHANG, H.; ZHOU, C. Signal transduction in leaf senescence. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 82, n. 6, p. 539-545, out. 2012.

ZHANG, Q.; BROWN, P. H. The Mechanism of Foliar Zinc Absorption in Pistachio and Walnut. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 3, n. 124, p. 312-317, fev. 1999.