

ANIBAL PACHECO DE ALMEIDA PRADO FILHO

**APLICAÇÃO FOLIAR DE NUTRIENTES E HORMONIOS NA CANA-DE-AÇUCAR
EM INÍCIO DE SAFRA: PRODUÇÃO E QUALIDADE DA MATÉRIA PRIMA**

Botucatu

2019

ANIBAL PACHECO DE ALMEIDA PRADO FILHO

**APLICAÇÃO FOLIAR DE NUTRIENTES E HORMONIOS NA CANA-DE-AÇUCAR
EM INÍCIO DE SAFRA: PRODUÇÃO E QUALIDADE DA MATÉRIA PRIMA**

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

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol

Botucatu

2019

P896a

Prado Filho, Anibal Pacheco de Almeida

Aplicação foliar de nutrientes e hormônios na cana-de-açúcar em início de safra: produção e qualidade da matéria prima / Anibal Pacheco de Almeida Prado Filho. -- Botucatu, 2019
99 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Carlos Alexandre Costa Crusciol

1. Cana-de-açúcar - adubação foliar. 2. Hormônios vegetais.
3. Produção de açúcar. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: APLICAÇÃO FOLIAR DE NUTRIENTES E HORMÔNIOS NA CANA-DE-AÇÚCAR EM INÍCIO DE SAFRA: PRODUÇÃO E QUALIDADE DA MATÉRIA PRIMA

AUTOR: ANIBAL PACHECO DE ALMEIDA PRADO FILHO

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 Agronômicas de Botucatu


Prof.ª Dr.ª GABRIELA FERRAZ DE SIQUEIRA
Pós-Doutoranda - Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu


Dr. SÉRGIO GUSTAVO QUASSI DE CASTRO
. / Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol

Botucatu, 04 de dezembro de 2019

*Aos meus pais Anibal e Mariângela e à minha irmã Leticia,
vocês são a base de tudo.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, por tudo que proporcionou em minha vida e todas as graças alcançadas, pela sabedoria provida e por iluminar meu caminho nos momentos de dificuldade.

Aos meus pais, Anibal Pacheco de Almeida Prado e Mariângela Capraro Suriano de Almeida Prado, pelo incentivo e apoio incondicional a todo momento e por me ensinar os valores de uma família.

À minha namorada, Silvia Sanches, por todo apoio, companheirismo e paciência dedicada.

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol por tudo que me ensinou durante essa jornada, pela amizade e parceria, pelo tempo dedicado aos conselhos e por tanto contribuir nessa etapa da minha vida.

Ao grande amigo Cleber Hervatin, pela parceria e disposição na execução do trabalho e pelos ensinamentos.

Aos funcionários do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, em especial à Amanda Bedette e Eliane Gonçalves, por toda ajuda gentilmente disponibilizada.

Aos grupos Biosev, Bunge, Raízen e São Martinho, que disponibilizaram as áreas agrícolas para instalação dos experimentos, e a todos os colaboradores que tanto contribuíram para que esse projeto fosse realizado, em especial aos amigos Sebastião dos Santos Ribeiro (*in memoriam*), Aduino Biega, Marcos Chinaglia e Fabiano Macedo.

À banca avaliadora da Dissertação, pela solicitude em dispender 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.

Obrigado.

“A mente que se abre a uma nova ideia, jamais voltará ao seu formato original”

Albert Einstein.

RESUMO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo esta uma das principais culturas agrícolas cultivadas no país e de extrema importância para o cenário econômico nacional. Entretanto, ao longo das últimas safras, observou-se uma estagnação na produtividade média brasileira, consolidando-se muito abaixo do potencial genético produtivo das variedades aqui cultivadas. Diante disso, houve a necessidade de se desenvolver novas técnicas de manejo, visando aumentar os patamares de produtividade. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da nutrição via foliar no final do ciclo vegetativo, precedendo o estágio de maturação da cana-de-açúcar, bem como os efeitos dessa aplicação associada com reguladores vegetais visando aumento do teor de sacarose por tonelada de cana no início de safra. Para tanto, dois estudos foram conduzidos: i) aplicação de nutrientes associados ou não ao maturador no final do ciclo vegetativo e em pré-maturação; ii) associação entre hormônios vegetais, nutrientes e maturador aplicados em fase antecedente à maturação da cana-de-açúcar. Os experimentos foram instalados em quatro locais diferentes, situados nos municípios de Indaiaporã, Luis Antônio, Pontal e Santa Maria da Serra, todos localizados no estado de São Paulo, no período de fevereiro a maio de 2017, sendo repetidos nas mesmas localidades e época no ano de 2018. Foram avaliadas as variáveis biométricas, tecnológicas e teor nutricional foliar. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições e 8 tratamentos. Visando avaliar diferentes possibilidades de aplicação, foram definidos e padronizados para os dois trabalhos os seguintes tratamentos: C- Controle (sem nenhuma aplicação), F35 – Fertilizante foliar 35 DAC (dias antes da colheita), M35 – Maturador aos 35 DAC, FM35 – Fertilizante foliar + maturador aos 35 DAC, F90 – Fertilizante foliar aos 90 DAC, F90F35 – Fertilizante foliar aos 90 DAC e aos 35 DAC, F90M35 – Fertilizante foliar aos 90 DAC e maturador aos 35 DAC, F90FM35 - Fertilizante foliar aos 90 DAC e fertilizante foliar + maturador aos 35 DAC. Contudo, no segundo estudo, associado aos tratamentos com adubação foliar foi aplicado também hormônios vegetais. Os nutrientes aplicados foram N, S, Zn, Mn, Cu, B e Mo e os hormônios vegetais utilizados eram dos grupos das citocininas, giberelinas e auxinas. Em síntese, com os resultados obtidos dos dois experimentos nos dois anos de pesquisa, foi possível observar que a aplicação um complexo de nutrientes proporcionou incremento nas variáveis comprimento de

colmos, diâmetro, peso de colmos e conseqüentemente em toneladas de cana por hectare (TCH). Observou-se também efeito da nutrição foliar nas variáveis tecnológicas Pol, ATR e toneladas de pol por hectare (TPH), apresentando melhores resultados quando da associação dos nutrientes com o maturador, em comparação ao regulador vegetal aplicado isoladamente. Concluiu-se que a adubação foliar contribui com maior síntese de sacarose nos colmos e sua associação com a aplicação do maturador proporciona maior acúmulo de açúcar na planta, conseqüentemente resultando em ganhos de produtividade e qualidade da matéria prima.

Palavras-chave: *Saccharum spp.* Maturação. Adubação foliar. Produtividade de açúcar. Hormônios vegetais.

ABSTRACT

Brazil is the world's largest sugarcane producer and it has been one of the main agricultural crops grown in the country and it is extremely important for the national economic scenario. However, over the last harvest seasons the average Brazilian yield has been stagnated, consolidating far below the genetic potential yield of the main varieties grown here. Through this scenario, there was a need to develop new management techniques to increase the sugarcane crop yields. The present research had the objective of evaluate the effect of foliar application nutrition at the end of the growing stage, before the sugarcane maturation stage, as well as the effects of this application associated with ripener aiming to increase the sucrose content in sugarcane at the early season. Through this, two sub-projects were conducted: i) foliar application of nutrients associated or not to the ripener at the end of the growing stage and pre-maturation; ii) association between plant hormones, nutrients and ripener applied before sugarcane maturation. The experiments were carried out in four different locations, in the municipalities of Indaiaporã, Luis Antônio, Pontal and Santa Maria da Serra, all located in the state of São Paulo, from February to May 2017, being repeated in the same locations and time in the 2018 period. Biometric, technological and leaf nutritional content variables were evaluated. The experimental design was a randomized block design with four replications and 8 treatments. In order to evaluate different application possibilities, the following treatments were defined and standardized for both studies: C-Control (no application), F35 - 35 DBH (days before harvest) leaf fertilizer, M35 - 35 DBH maturation machine, FM35 - Leaf Fertilizer + 35 DBH Ripener, F90 - 90 DBH Leaf Fertilizer, F90F35 - 90 DBH and 35 DBH Leaf Fertilizer, F90M35 - 90 DBH Leaf Fertilizer and 35 DBH, F90FM35 - 90 DBH Leaf Fertilizer and Fertilizer leaf + maturation at 35 DBH. However, in the second study, associated with treatments with leaf fertilization, plant hormones were also applied. The applied nutrients were N, S, Zn, Mn, Cu, B and Mo and the plant hormones used were from cytokines, gibberellins and auxins groups. In summary, with the results obtained from the two experiments in the two years of research, it was possible to observe that the application of a nutrient complex provided an increase in the stem length, diameter, stem weight and consequently in tons of sugarcane per hectare (TCH) variables. It was also observed effect of leaf nutrition on the technological variables Pol, ATR and

tons of pol per hectare (TPH), presenting better results when the nutrients association with the ripener, compared to the plant regulator applied alone. It was concluded that foliar fertilization contributes to higher sucrose synthesis in the stalks and its association with the application of the ripener provides greater sugar accumulation in the plant, consequently resulting in productivity gains and raw material quality.

Key words: *Saccharum spp.* Ripening. Nutrient foliar application. Sugar yield. Hormones.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	17
Capítulo 1 – MATURADOR ASSOCIADO A NUTRIENTES EM CANA-DE-AÇÚCAR NO INÍCIO DE SAFRA.....	24
1.1 INTRODUÇÃO.....	26
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
1.2.1 Localização e caracterização das áreas	29
1.2.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	35
1.2.3 Instalação e condução dos experimentos.....	36
1.2.4 Variáveis analisadas	38
1.2.4.1 Diagnose foliar.....	38
1.2.4.2 Variáveis biométricas.....	39
1.2.4.3 Variáveis tecnológicas.....	40
1.2.5 Análises estatísticas.....	42
1.3 RESULTADOS.....	43
1.3.1 Diagnose foliar.....	43
1.3.2 Análises biométricas.....	46
1.3.3 Análises tecnológicas.....	47
1.4 DISCUSSÃO.....	49
1.5 CONCLUSÕES.....	53
REFERÊNCIAS.....	54
Capítulo 2 – HORMÔNIOS VEGETAIS ASSOCIADOS À ADUBAÇÃO FOLIAR NO CRESCIMENTO E MATURAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	59
2.1 INTRODUÇÃO.....	61
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	63
2.2.1 Localização e caracterização das áreas experimentais	63
2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	72
2.2.3 Instalação e condução dos experimentos.....	73
2.2.4 Variáveis analisadas.....	74
2.2.4.1 Diagnose foliar.....	74
2.2.4.2 Variáveis biométricas.....	75
2.2.4.3 Variáveis tecnológicas.....	77
2.2.5 Análises estatísticas.....	78
2.3 RESULTADOS.....	79
2.3.1 Diagnose foliar.....	79

2.3.2	Análises biométricas.....	81
2.3.3	Análises tecnológicas.....	83
2.4	DISCUSSÃO.....	85
2.5	CONCLUSÕES.....	88
	REFERÊNCIAS.....	89
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92
	REFERÊNCIAS.....	93
	ANEXO A – Características específicas das variedades utilizadas.....	96
	ANEXO B – Características específicas das variedades utilizadas.....	97
	ANEXO C – Insumos aplicados na implantação da cultura.....	98
	ANEXO D – Insumos aplicados na implantação da cultura.....	99

INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos anos, mesmo diante das dificuldades encontradas no cenário econômico brasileiro, o agronegócio vem se consolidando como um dos destaques da economia do país. Um dos segmentos de maior importância no setor é o cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), pois atua como matéria prima para produção de açúcar, etanol e energia, com significativa participação nas exportações e atendimento da demanda interna (MORAES, 2000). Além disso, as unidades de produção e processamento de cana-de-açúcar, tem buscado aumentar sua eficiência na geração de energia elétrica, contribuindo para aumento da oferta e redução dos custos, visando ampliar a sustentabilidade do setor (CONAB, 2019).

O setor sucroenergético apresenta importância também no aspecto social da economia brasileira, pois é responsável por gerar milhões de empregos diretos e indiretos (SIQUEIRA, 2014). Esses fatores, associados às condições edafoclimáticas adequadas para o desenvolvimento da cultura em grande parte do território brasileiro, e a crescente utilização de etanol como alternativa aos combustíveis de origem fóssil e demanda por políticas de sustentabilidade, fazem do país uma referência mundial na produção de cana-de-açúcar.

O Brasil é atualmente o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, na qual produziu na safra 2018/2019 aproximadamente 620,33 milhões de toneladas, apresentando redução de 2% em relação à safra anterior. Com relação a área colhida, houve uma diminuição de 1,6% em relação à safra 2017/2018, com um total de 8,59 milhões de hectare (CONAB, 2019).

A produtividade média da cana-de-açúcar na safra 2018/2019 foi de 72,2 t ha⁻¹, valor considerado baixo frente ao potencial genético e produtivo das variedades desenvolvidas (ORLANDO FILHO et al., 2001). Isso mostra que, embora o país seja referência na produção de cana-de-açúcar, o setor vem apresentando uma estagnação nos valores de produtividade onde, desde a safra 2009/2010, tem mantido valores próximos de 70 t ha⁻¹. Tal fato é decorrente de diversos fatores como a intensificação da colheita mecanizada a partir de 2009, onde as lavouras não estavam adequadamente sistematizadas para tal operação, ocasionando pisoteio e outros danos à cultura, bem como a crise econômica que obrigou o setor a reduzir investimentos em tecnologia de produção e tratamentos culturais, consequente

envelhecimento do canavial, além do clima adverso em algumas safras (CONAB, 2019).

Buscando recuperar a qualidade da lavoura e atingir elevados índices de produtividade, diversas pesquisas vêm sendo realizadas e novas práticas no manejo da cana-de-açúcar estão sendo testadas. Para isso, é imprescindível o conhecimento de todas as fases de desenvolvimento da cultura e, associados a novas técnicas de cultivo, é possível melhorar a produtividade e obter um produto de alta qualidade tecnológica.

Ao longo do ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar, a planta atravessa quatro estádios fenológicos, são eles: 1) brotação e emergência, 2) perfilhamento e estabelecimento da cultura, 3) período de máximo crescimento vegetativo e, por fim, 4) maturação (CÂMARA, 1993). Dentre esses, a fase de maturação da cultura tem significativa importância agrônômica e industrial, pois é o período onde ocorre a maior concentração do açúcar, possibilitando a industrialização de uma matéria prima de elevada qualidade (MUTTON, 1993).

Embora a síntese de sacarose ocorra durante todo o ciclo de desenvolvimento da planta, a maturação da cana-de-açúcar, por definição, consiste no processo fisiológico que compreende o transporte e acúmulo de sacarose nos colmos da planta, ocorrendo no sentido dos internódios basais para os internódios do ápice, até atingirem um teor comum entre eles (ALEXANDER, 1993). Essa diferença no acúmulo de sacarose em tecidos maduros (base) e imaturos (ápice) é decorrente da necessidade de crescimento dos mesmos. Em tecidos novos, a sacarose é convertida em hexoses e translocada para o citoplasma, onde são utilizadas para o crescimento da planta e, nos internódios maduros (base), o crescimento é nulo devido ao maior acúmulo de sacarose (TYMOWSKA-LALANNE; KREIS, 1998). Esta etapa pode ser definida a partir do momento em que a planta cessa seu desenvolvimento vegetativo, não utilizando mais os fotossintatos para o crescimento e alongamento celular e passa a acumular sacarose nos colmos.

Diversos fatores interferem no processo fisiológico de acúmulo de sacarose como: características genéticas das variedades cultivadas, balanço nutricional e condições climáticas (baixas temperaturas e disponibilidade hídrica), que reduzem o metabolismo de crescimento da planta e favorecem os processos de acúmulo de sacarose (MACHADO, 1987; CARDOZO et al., 2015).

A cana-de-açúcar é uma planta de metabolismo C4, cuja característica é a

afinidade da carboxilase do fosfoenolpiruvato com o CO₂ a ponto de saturar os níveis internos, permitindo assim a redução na abertura estomática, enquanto fixam CO₂ nas células da bainha do feixe vascular (CASTRO, 1992 apud FOLTRAN, 2013). Essa grande capacidade de fixação de CO₂, permite a planta apresentar alta eficiência fotossintética em temperaturas elevadas. Assim, o período de maior crescimento vegetativo da cultura ocorre sob alta intensidade luminosa, elevada temperatura e disponibilidade hídrica, condições que permitem maior formação de folhas, colmos e sistema radicular, devido à utilização dos fotoassimilados para o desenvolvimento da planta (HUMBERT, 1984; VIANA, 2007).

Em condições análogas ao crescimento vegetativo (baixas temperaturas e baixa disponibilidade hídrica), a planta interrompe seu crescimento e ocorre uma alteração em seu metabolismo, que direciona a sacarose sintetizada nas folhas para acúmulo no vacúolo das células parenquimáticas do colmo (ALEXANDER, 1973; DEUBER, 1978; ANDRADE; CARDOSO, 2004).

De acordo com Marin (2013), baixas temperaturas juntamente com baixa pluviosidade, intensificam o processo de maturação pois o estímulo ao crescimento é reduzido, como também relatado por Andrade (2006), que indica a redução da temperatura e precipitação como fenômenos essenciais para a maturação da cana-de-açúcar. Além disso, outros fatores exercem influência direta ou indireta na maturação, como radiação solar, amplitude térmica e características da variedade utilizada afetam processos fisiológicos da planta e seu desenvolvimento (MIOCQUE, 1992).

Para o adequado desenvolvimento da cana-de-açúcar, duas condições climáticas são necessárias: a primeira se refere a ocorrência de uma estação quente e úmida para garantir a germinação, crescimento de raízes, perfilhamento e o completo desenvolvimento vegetativo; a segunda é com baixas temperaturas e déficit hídrico visando estimular, através do estresse à planta, o processo fisiológico de maturação natural (CAPUTO et al., 2008).

Na região Centro-Sul do Brasil, uma das mais importantes na produção de cana-de-açúcar, a safra costuma se iniciar nos meses de março e abril, e terminar em novembro e dezembro, época que apresenta elevadas temperaturas e alta precipitação pluviométrica, condições estas que favorecem o crescimento vegetativo da planta em detrimento ao acúmulo de sacarose (CASTRO, 2016). Segundo Deuber (1988), as condições adequadas para estimular a maturação natural da

cana-de-açúcar, através da redução do crescimento vegetativo, ocorrem somente a partir de maio na região Sudeste do país. Diante disso, a utilização de maturadores químicos no início de safra se tornou uma prática frequentemente utilizada no cultivo da cana-de-açúcar, buscando antecipar a maturação da planta, promover melhorias na qualidade da matéria-prima otimizando resultados agroindustriais e auxiliando no planejamento de safra (CAPUTO et al., 2008).

Os maturadores, ou também conhecidos como reguladores vegetais, são definidos como substâncias das quais os efeitos fisiológicos são semelhantes aos de alguns hormônios conhecidos. São compostos químicos que modificam a morfologia e a fisiologia vegetal, provocando a paralisação e ou atraso do crescimento da planta, alterando seu metabolismo e direcionando os açúcares, principalmente a sacarose, sintetizados para o armazenamento nos colmos da planta (LEITE et al., 2011). Pertencentes a diferentes grupos químicos, que diferem quanto ao seu modo de ação, os maturadores atuam como inibidores ou retardadores de crescimento, sem paralisar o processo fotossintético, que continua ocorrendo na planta (CASTRO, 1992).

Existem diversos tipos de maturadores químicos para a cana-de-açúcar, e os principais são etil-trinexapac, sulfometuron-metil, bispiribaque-sódico, glifosato, entre outros (CAPUTO et al., 2008; LEITE, 2011). Os reguladores vegetais diferem entre si quanto ao modo de ação e o período de atividade do produto, podendo variar, de uma forma geral, de 15 a 60 dias de intervalo, sendo os de efeito mais acelerado variando entre 15 e 30 dias, e de efeito mais prolongado de 30 a 60 dias (RODRIGUES, 1995).

Dentre os maturadores mais utilizados como inibidor do crescimento, destaca-se o sulfometuron-metil por apresentar eficiência em acelerar o processo de maturação, influenciando no retardo do seu crescimento (CASTRO, 2016). As sulfoniluréias, grupo químico ao qual o sulfometuron-metil pertence, agem inibindo a síntese da enzima acetolactato sintetase (ALS), esta que é promotora da síntese de aminoácidos de cadeia ramificada como valina, leucina e isoleucina. Conseqüentemente, por inibir a formação de aminoácidos, compromete a síntese de proteínas essenciais à produção de novas células a partir dos substratos piruvato e α -cetobutarato (MARCHI; MARCHI; GUIMARÃES, 2008). A aplicação de sulfometuron-metil resultou em melhora da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, influenciando diretamente os teores de pol, pureza e reduzindo os ácidos

orgânicos do caldo (FERNANDES et al., 2002).

A maturação da cana-de-açúcar envolve um sistema metabólico que se inicia com a atividade fotossintética nos cloroplastos das células foliares, culminando com o acúmulo de carboidratos fotossintetizados, principalmente sacarose, nos colmos (Leite et al., 2010). Contudo, os maturadores químicos não atuam na síntese de sacarose e outros fotoassimilados, sendo responsáveis apenas por direcionar a sacarose já sintetizada para acúmulo nos tecidos de reserva.

A síntese de sacarose é influenciada pela ação dos nutrientes, que são responsáveis diretos e indiretos pela atividade de enzimas relacionadas no processo. Os nutrientes são importantes para a vida, pois atuam no metabolismo, seja como substrato (composto orgânico), como constituinte de enzimas ou como ativadores enzimáticos (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Conhecer as muitas funções metabólicas e estruturais dos nutrientes e suas exigências ao longo do ciclo da cultura, assim como a época de maior necessidade destes pelas plantas, pode facilitar o manejo e proporcionar melhorias na qualidade e produtividade da cultura (EPSTEIN; BLOOM, 2005; MARSCHNER, 2012).

Os nutrientes influenciam o aumento da área foliar, elevada atividade fotossintética e mobilização de carboidratos de reserva, aumentando assim a força dos órgãos fonte. Contribuem também para o transporte da fonte para o dreno, através do carregamento de fotoassimilados no floema e seu descarregamento nos órgãos de reserva. Por fim, elevam a força do dreno, onde o tamanho e a quantidade de entrenós da cana-de-açúcar influenciam na produtividade de sacarose (MARSCHNER, 2012). Drenos com alta capacidade de armazenamento e ativos por um longo período tem o potencial de aumentar a atividade fotossintética em plantas de cana-de-açúcar através de mudanças na atividade de enzimas e na expressão genética (MCCORMICK et al., 2006).

Dessa forma, os nutrientes estão diretamente relacionados ao incremento de produtividade e qualidade da matéria-prima, pois melhoram o aparato fotossintético das plantas, permitindo o desenvolvimento dos órgãos fonte, como aumento da área foliar, retardam a senescência das folhas permitindo aumento da taxa fotossintética e sua manutenção por um período maior, síntese e transporte de fotoassimilados, crescimento e alongamento celular (MARSCHNER, 1995).

Os nutrientes regulam também a síntese e atuação de hormônios vegetais, ou fito-hormônios. Em condições de deficiência nutricional, o crescimento das plantas e

a produtividade é influenciada devido a alteração nas concentrações dos hormônios na planta. Os fitormônios desempenham um papel importante na regulação do crescimento e desenvolvimento de plantas influenciando, por exemplo, as relações fonte/dreno (MARSCHNER, 1995).

Os hormônios vegetais, são compostos orgânicos naturalmente produzidos na planta, contudo uma aplicação foliar dessas substâncias, ainda que em baixas quantidades, promovem ou inibem processos fisiológicos e morfológicos do vegetal, estimulando o crescimento e desenvolvimento vegetativo, em resposta a essas alterações no metabolismo (CASTRO; VIEIRA, 2001b; MONTANS, 2007). Outro fator de extrema importância dos fitormônios é sua função como substância transdutora, ou seja, através da percepção de estímulos ambientais, todas as partes da planta são informadas sobre a situação de outros órgãos por meio da síntese ou da mudança de concentração de um ou mais hormônios (COSTA, 2011).

Segundo Taiz e Zeiger (2004), oito grupos de substâncias são consideradas hormônios vegetais: auxinas, giberelinas, citocininas, etileno, ácido abscísico, brassinoesteróides, jasmonatos e salicilatos. Essas biomoléculas são responsáveis por diversos eventos no metabolismo das plantas, que vão desde a divisão celular no interior de um tecido até o alongamento do caule, floração, frutificação e maturação (VALOIS, 2000). Além disso, elas atuam controlando o metabolismo, o crescimento e a morfogênese de plantas superiores por meio de sinais transmitidos de uma parte a outra da planta, funcionando como mensageiros químicos e influenciando em muitas reações no desenvolvimento vegetativo (HARTMANN et al., 1988; TAIZ; ZEIGER, 2004

Dentre os fatores que afetam a síntese e acúmulo de sacarose, fica evidente a importância do papel desempenhado pelos nutrientes, atuando na ativação de enzimas envolvidas no processo, proporcionando melhoria na taxa fotossintética da planta e regulando e ativando a síntese de hormônios vegetais, bem como a relevância dos maturadores para a obtenção de uma matéria prima de elevada qualidade.

Nesse cenário, poucas são as pesquisas que comprovam a eficiência da aplicação de nutrientes via foliar na fase final do ciclo vegetativo e na maturação em cana-de-açúcar, visando melhorias em qualidade tecnológica e produtividade. Assim, o presente trabalho apresenta as seguintes hipóteses, a serem analisadas: a) manejo via foliar de nutrientes vegetais durante o crescimento e pré-maturação da

cana-de-açúcar proporciona aumento na produtividade. b) a associação entre maturador e adubação foliar e hormonal eleva a qualidade tecnológica da matéria prima, em comparação à aplicação exclusiva de maturador.

Para avaliar tais hipóteses, foram realizados dois trabalhos de pesquisa onde, em um experimento utilizou-se apenas um complexo de nutrientes e no segundo experimento foi utilizado um outro conjunto de nutrientes associados à aplicação de hormônios vegetais. Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar a eficácia da adoção de um complexo nutriente-hormonal associado ou não a um maturador na produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar colhida em início de safra.

CAPÍTULO 1 - MATURADOR ASSOCIADO A NUTRIENTES EM CANA-DE-AÇÚCAR NO INÍCIO DE SAFRA

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da nutrição via foliar no final do ciclo vegetativo e em fase de pré-maturação da cana-de-açúcar, visando aumento do teor de sacarose por tonelada de cana no início de safra. Os experimentos foram instalados em dois locais, situados nos municípios de Indiaporã e Luis Antônio, todos localizados no estado de São Paulo, no período de fevereiro a maio de 2017, sendo repetidos nas mesmas localidades e época no ano de 2018. Avaliou-se as variáveis biométricas, tecnológicas e teor nutricional foliar. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições e 8 tratamentos. Foram definidos os seguintes tratamentos: C-Control (sem nenhuma aplicação), F35 – Fertilizante foliar 35 DAC (dias antes da colheita), M35 – Maturador aos 35 DAC, FM35 – Fertilizante foliar + maturador aos 35 DAC, F90 – Fertilizante foliar aos 90 DAC, F90F35 – Fertilizante foliar aos 90 DAC e aos 35 DAC, F90M35 – Fertilizante foliar aos 90 DAC e maturador aos 35 DAC, F90FM35 - Fertilizante foliar aos 90 DAC e fertilizante foliar + maturador aos 35 DAC. Os nutrientes aplicados foram N, S, Zn, Mn, Cu, B e Mo. Em síntese, foi possível observar que a aplicação de um complexo de nutrientes proporcionou incremento nas variáveis comprimento de colmos, diâmetro, peso de colmos e conseqüentemente em toneladas de cana por hectare (TCH). Observou-se também efeito da nutrição foliar nas variáveis tecnológicas Pol, ATR e toneladas de pol por hectare (TPH), apresentando melhores resultados quando da associação dos nutrientes com o maturador, em comparação ao regulador vegetal aplicado isoladamente. Concluiu-se que a adubação foliar contribui com maior síntese de sacarose nos colmos e sua associação com a aplicação do maturador proporciona maior acúmulo de açúcar na planta, conseqüentemente resultando em ganhos de produtividade e qualidade da matéria prima.

Palavras-chave: *Saccharum spp.* Adubação foliar. Maturador. Pol. Produtividade do açúcar.

CHAPTER 1 - NUTRIENTS AND RIPPER IN SUGARCANE AT EARLY SEASON

ABSTRACT

The present research had the objective of evaluate the effect of foliar application nutrition at the end of the growing stage, before the sugarcane maturation stage, as well as the effects of this application associated with ripener aiming to increase the sucrose content in sugarcane at the early season. The experiments were carried out in two different locations, in the municipalities of Indiaporã and Luis Antônio, all located in the state of São Paulo, from February to May 2017, being repeated in the same locations and time in the 2018 period. Biometric, technological and leaf nutritional content variables were evaluated. The experimental design was a randomized block design with four replications and 8 treatments. In order to evaluate different application possibilities, the following treatments were defined: C-Control (no application), F35 - 35 DBH (days before harvest) leaf fertilizer, M35 - 35 DBH maturation machine, FM35 - Leaf Fertilizer + 35 DBH Ripener, F90 - 90 DBH Leaf Fertilizer, F90F35 - 90 DBH and 35 DBH Leaf Fertilizer, F90M35 - 90 DBH Leaf Fertilizer and 35 DBH, F90FM35 - 90 DBH Leaf Fertilizer and Fertilizer leaf + maturation at 35 DBH. The applied nutrients were N, S, Zn, Mn, Cu, B. In summary, with the results obtained from the two experiments in the two years of research, it was possible to observe that the application of a nutrient complex provided an increase in the stem length, diameter, stem weight and consequently in tons of sugarcane per hectare (TCH) variables. It was also observed effect of leaf nutrition on the technological variables Pol, ATR and tons of pol per hectare (TPH), presenting better results when the nutrients association with the ripener, compared to the plant regulator applied alone. It was concluded that foliar fertilization contributes to higher sucrose synthesis in the stalks and its association with the application of the ripener provides greater sugar accumulation in the plant, consequently resulting in productivity gains and raw material quality.

Key words: *Saccharum spp.* Foliar fertilization. Ripener. Pol. Sugar yield.

1.1 Introdução

O Brasil vem se consolidando como um dos principais países produtores de cana-de-açúcar do mundo. Impulsionado pela crescente demanda mundial por açúcar e etanol, dobrou sua área de cultivo da cultura, bem como sua produção (IBGE, 2015). Com o crescimento da área plantada e a evolução do setor, o Brasil consolidou-se como o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, chegando a produzir aproximadamente 600 milhões de toneladas por ano (CONAB, 2019). Entretanto, a produtividade média agrícola das últimas safras pouco tem evoluído, passando por um período de estagnação e com resultados aquém do potencial genético produtivo das variedades cultivadas no país.

Inúmeros fatores podem limitar a produção ao longo do ciclo da cultura e, ainda que tenha sido realizada uma adubação de plantio adequada no início do desenvolvimento da planta, um desequilíbrio nutricional na fase final do estágio de crescimento vegetativo precedendo a maturação pode reduzir a atividade fotossintética da planta e, conseqüentemente, diminuir a síntese de açúcares.

As diversas funções dos nutrientes nas plantas podem influenciar a taxa de fotossíntese líquida através da sua atuação como ativadores ou constituintes de enzimas que participam diretamente no processo fotossintético e, dessa forma, o fornecimento de um conjunto de macro e micronutrientes via foliar pode incrementar a eficiência fotossintética da planta e aumentar a síntese, transporte e acúmulo de sacarose (LEITE et al., 2015).

A nutrição foliar contribui para o aumento da produtividade melhorando as condições do aparato fotossintético resultante das funções dos nutrientes no metabolismo da planta. Dentre os macronutrientes, o conteúdo de nitrogênio (N) apresenta forte correlação com a capacidade fotossintética de uma folha, independente se a variação no nível foliar de N é resultante de diferenças entre espécies, idade das folhas, disponibilidade de nitrogênio no solo ou níveis de luz (CHAPIN et al., 1987; REICH, WALTERS E ELLSWORTH, 1997; PETERSON et al., 1999).

Constituinte de todos aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucleicos, nucleotídeos e poliamidas, o nitrogênio participa do processo fotoquímico, atuando no complexo “antena”, que captura a energia luminosa para oxidação da clorofila, produzindo energia necessária para a fotossíntese (BUCHANAN; GRUISSEM;

JONES, 2015). Além disso, o nitrogênio também integra estruturas de enzimas como a ribulose-1,5 bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) e a fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPCase), entre outras enzimas e pigmentos da fotossíntese, contribuindo no aumento da capacidade fotossintética quando em teores adequados na folha (GASTAL; LEMAIRE, 2002; LAWLOR, 2002; TAIZ; ZEIGER, 2004; FAGAN et al., 2016).

Assim como o nitrogênio, outros nutrientes participam direta ou indiretamente dos processos metabólicos relacionados à fotossíntese. O enxofre (S) atua no transporte fotossintético e respiratório de elétrons, por meio de agrupamentos Ferro-Enxofre (Fe-S), além de estarem presentes em sítios catalíticos de várias enzimas e coenzimas, como uréase e coenzima-A (EPSTEIN; BLOOM, 2005). Segundo Marschner (2012), o enxofre participa da estrutura e regulação de proteínas, é constituinte estrutural da metionina e em condições de desequilíbrio de S, as plantas apresentam baixa concentração de clorofila, resultando em menor taxa fotossintética e síntese de sacarose.

Os micronutrientes também desempenham papel importante no metabolismo das plantas, atuando como constituintes integrais de enzimas e outros compostos, ou como ativadores da atividade enzimática. O zinco (Zn) é exigido no sítio ativo de diversas enzimas como anidrase carbônica (AC), superóxido dismutase (SOD) e dehidrogenase do álcool (FRAÚSTO DA SILVA; WILLIAMS, 1991). O Zn ativa a anidrase carbônica, importante enzima no processo de captação e fixação de CO₂, através da hidratação desta molécula em ácido carbônico (HCO₃⁻), estimulando o metabolismo de carboidratos (FAGAN et al., 2016).

Outro micronutriente atuante no metabolismo é o Mn, o qual ativa mais de 35 enzimas (BURNELL, 1988; MARSCHNER, 2012), e também exerce papel importante no mecanismo de defesa, pois é constituinte integral da enzima superóxido dismutase (MnSOD), responsável pela conversão dos radicais oxigênio livres formados em peróxido de hidrogênio (H₂O₂), que será convertido em água (H₂O) e oxigênio (O₂) pela catalase ou peroxidases (ELSTNER, 1982; PRADO et al, 2008). O cobre (Cu) também influencia a atividade da superóxido dismutase (CuZnSOD), atuando como um cofator desta e de outras enzimas, além de estar associado à plastocianina, doador de elétrons no centro de reação fotossistema I. (CASTRO, 2016).

O Boro (B) atua na ativação de diversas enzimas, porém suas funções não são diretamente relacionadas ao processo fotossintético. Desempenha importante papel estrutural nas células, participando de processos como a síntese de lignina, celulose e integridade da membrana plasmática, e contribui também no transporte de carboidratos das folhas para outros órgãos (ORLANDO FILHO et al., 2001; PEREZ et al., 2007;).

O processamento industrial da cana-de-açúcar depende de uma matéria prima de alta qualidade tecnológica, ou seja, com elevado teor de sacarose nos colmos. Esse processo de acúmulo de sacarose nos colmos da planta, conhecido como maturação, ocorre de forma natural quando a planta altera seu metabolismo diante da condição de estresse ocasionada pela queda da temperatura, restrição hídrica e do fotoperíodo. Contudo, as condições climáticas em início de safra na região Sudeste do Brasil favorecem o crescimento vegetativo, pois apresentam elevadas temperaturas e alta disponibilidade hídrica. Dessa forma, a aplicação de reguladores vegetais permite induzir a maturação, disponibilizando ao complexo industrial cultivares produtivos e com maturação precoce (CASTRO, 2000a; CASTRO, 2000b).

Os maturadores são compostos químicos que alteram a morfologia e fisiologia da planta, promovendo incremento na qualidade da matéria prima, possibilitando retardar ou inibir o desenvolvimento vegetativo, elevar o teor de sacarose nos colmos, antecipar a maturação e aumentar a produtividade de colmos e açúcar, tornando-se fundamentais no manejo da cana-de-açúcar. (LAVANHOLI et al., 2002; ALMEIDA et al., 2003).

Por tudo isso, espera-se que a aplicação via foliar de um complexo de nutrientes proporcionará melhoria no metabolismo da fotossíntese e, conseqüentemente, incremento da síntese de sacarose pela planta. A utilização de um maturador associado a essa adubação foliar pode potencializar o acúmulo de sacarose nos colmos, resultando em maior produção e qualidade da matéria prima. Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da aplicação foliar de um complexo nutricional associado ou não a um maturador, na produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar colhida em início de safra.

1.2 Material e Métodos

1.2.1 Localização e caracterização das áreas experimentais

O presente projeto foi constituído por dois experimentos, localizados em duas áreas diferentes, estando localizadas nos municípios de Indiaporã/SP e Luis Antônio/SP. Os experimentos foram instalados em áreas comerciais, com um bom estande de plantas, que apresentavam índice de falhas de aproximadamente 5%, segundo metodologia proposta por STOLF (1986), o que as classificam como áreas de excelente qualidade do plantio e uniformidade.

As áreas experimentais foram definidas em acordo com a equipe técnica da respectiva usina, e as características referentes a localização, tipo de solo, clima e outros atributos encontram-se no Quadro 1. As variedades utilizadas nos respectivos trabalhos foram definidas de acordo com o manejo de colheita, onde buscou-se selecionar variedades de ciclo precoce e colheita no início de safra, suas características encontram-se no “Anexo A” deste trabalho.

Quadro 1 - Características das localidades e climas das áreas experimentais dos dois experimentos

Local*	Indiaporã-SP	Luis Antônio-SP
Latitude	19°53'42.0"S	21°33'03.2"S
Longitude	50°19'22.0"W	47°49'48.4"W
Altitude	432	606
Solo	Lve - Latossolo Verm. Distrófico	AQ - Neossolo Quartzarênico
Ambiente de produção	B	E
Temperatura média anual (°C)	23,1	21,2
Clima – Classif Köppen e Geiger	Aw	Cwa
Pluviosidade média anual (mm)	1196	1429
Variedade	IAC SP 5000	RB 85 5156
Espaçamento	1,5 m	1,5m
Corte	2º	2º
TCH Realizado 2017	104	112
TCH Realizado 2018	70	91

* Classificação climática Köppen e Geiger de acordo com Alvares et al. (2018), (°C) Grau Celsius, (mm) milímetro.

Visando calcular o balanço hídrico ao longo do ciclo da cultura nos anos que antecederam os experimentos, foram coletados dados de temperatura e pluviosidade nos anos de 2016 e 2017, respectivamente.

Figura 1 – Balanço hídrico anual durante o ciclo da cultura em Indiaporã/SP

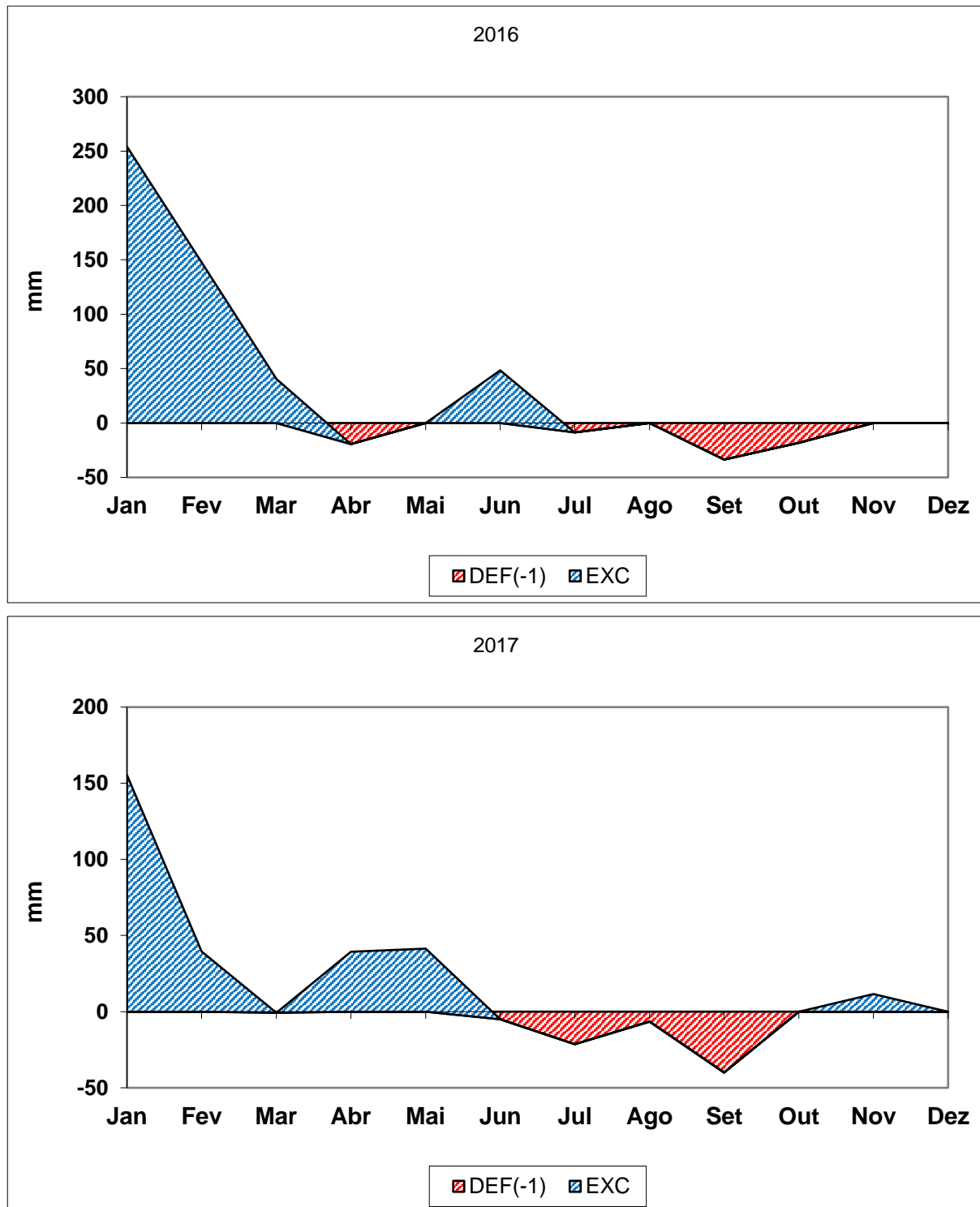
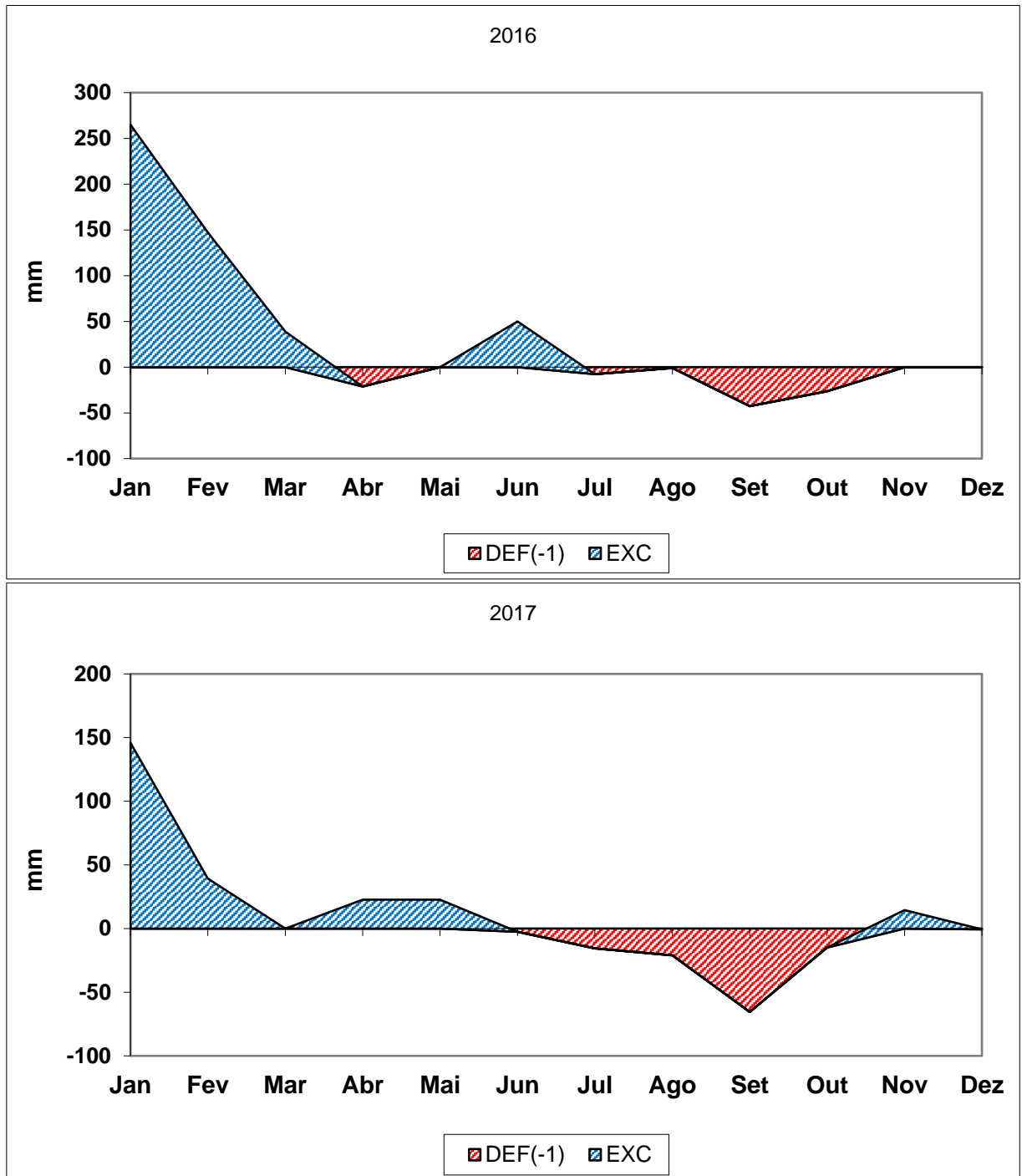


Figura 2 – Balanço hídrico anual durante o ciclo da cultura em Luis Antonio/SP



Durante o período do experimento, foram registrados os dados de pluviosidade e temperatura média entre as datas de aplicação e avaliação, assim foram obtidos os valores médios durante o ciclo da cultura desde o plantio, esses valores encontram-se nos Quadros 2 e 3.

Quadro 2 - Precipitação pluvial no período de condução dos experimentos - 2017 e 2018

Período	Indiaporã/SP		Luis Antonio/SP	
	Precipitação Pluvial (mm)			
	2017	2018	2017	2018
Da última colheita até 1ª aplicação	1059	855	1148	784
Entre a 1ª e 2ª aplicação	174	141	205	124
Entre a 2ª aplicação até a colheita	93	43	81	61
Total	1326	1039	1434	969

Quadro 3 - Temperatura média no período de condução dos experimentos - 2017 e 2018

Período	Indiaporã/SP		Luis Antonio/SP	
	Temperatura média (C°)			
	2017	2018	2017	2018
Da última colheita até 1ª aplicação	23,2	24,1	21,5	21,9
Entre a 1ª e 2ª aplicação	23,9	23,2	21,0	22,4
Entre a 2ª aplicação até a colheita	21,3	22,4	19,3	21,8
Média	22,8	23,6	21,1	22,2

Em cada área experimental foi realizada a caracterização da fertilidade do solo (Quadro 4 e 5) por meio de amostragem em diferentes profundidades de acordo com a metodologia proposta por Raij et al (2001). As aplicações de insumos em cada área experimental antes do início do presente trabalho, visando controle de pragas, doenças, plantas invasoras e a adubação de plantio e tratos culturais foram realizadas de acordo com o manejo recomendado para a cultura. Os resultados das análises de fertilidade do solo, por local, encontram-se a seguir nos Quadros 4 e 5. Para análise interpretativa dos resultados foi utilizada a faixa de interpretação do teor de micronutrientes e macronutrientes do solo (Quadro 6) proposta por Otto et al., (2014).

Quadro 4 - Atributos químicos do solo, antes da instalação do experimento em Indiaporã/SP 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

*MO - Matéria orgânica, CTC - Capacidade de troca de cátions, SB - saturação por bases.

Quadro 5 - 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

*MO - Matéria orgânica, CTC - Capacidade de troca de cátions, SB - saturação por bases

Quadro 6 – Faixas de interpretação do teor de micro e macronutrientes no solo

Nível	M.O.	B	Zn	Cu	Fe	Mn
	g/kg			mg/dm ³		
Muito baixo	< 10	< 0,1	< 0,3	< 0,2	< 4	< 1,0
Baixo	11 - 15	0,2 - 0,3	0,4 - 0,8	0,3 - 0,5	5 - 8	1,1 - 2,5
Médio	16 - 22	0,4 - 0,6	0,9 - 1,2	0,6 - 0,8	9 - 12	2,6 - 5,0
Alto	23 - 30	0,6 - 1,0	1,3 - 3,0	0,9 - 1,5	13 - 30	5,1 - 10,0
Muito alto	> 31	> 1,0	> 3,1	> 1,6	> 31	> 11,0

	pH CaCl ₂	V	P resina	S	K	Ca	Mg
		%	mg/dm ³			mmol/dm ³	
Muito baixo	< 4,3	< 25	0 - 7	< 5	0 - 0,7	< 8	< 5
Baixo	4,4 - 5,0	25 - 40	8 - 15	6 - 10	0,8 - 1,5	9 - 15	6 - 8
Médio	5,1 - 5,5	41 - 55	15 - 25	11 - 15	1,6 - 2,3	16 - 25	9 - 12
Alto	5,6 - 6,0	56 - 70	26 - 40	15 - 30	2,4 - 3,0	26 - 40	13 - 16
Muito alto	> 6,0	> 71	> 41	> 31	> 3,1	> 41	> 17

1.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado para ambos experimentos foi em blocos casualizados com oito tratamentos em quatro repetições, totalizando 32 parcelas em cada experimento (Quadro 7).

As parcelas foram constituídas de 10 linhas de 10 metros de comprimento com espaçamento nas entrelinhas de 1,5 metros, considerando-se 02 linhas de bordadura e 08 linhas de área útil, desprezando-se 1 metro na extremidade de cada linha de plantas. Assim, cada parcela apresentou um tamanho total de 135 m² e área útil de 75 m².

Quadro 7 - 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
F90	Fertilizante foliar 90 DAC
F90F35	Fertilizante foliar 90 DAC e fertilizante foliar 35 DAC
F90M35	Fertilizante foliar 90 DAC e maturador 35 DAC
F90FM35	Fertilizante foliar 90 DAC e fertilizante foliar + maturador 35 DAC

*Fertilizante Foliar – g ha⁻¹ N = 1.248, K = 560, Mg = 60, S = 496, B = 160, Mn = 200, Mo = 40, Zn = 200 e Cu = 40; Maturador – Sulfometuron-Methyl 750 = 30 g i.a. ha⁻¹; Número médio em DAC – Dias Antes da Colheita

Nas parcelas onde foi realizado a adubação foliar, em cada aplicação foi utilizado um complexo nutricional pronto, representado pelos produtos comerciais descritos e contendo as seguintes quantidades de nutrientes: N = 1248 g ha⁻¹ (produto comercial N32[®]), S = 226 g ha⁻¹, Zn = 200 g ha⁻¹, B = 80 g ha⁻¹, Cu = 40 g ha⁻¹, Mn = 200 g ha⁻¹ e Mo = 40 g ha⁻¹ (produto comercial MS-Cana[®]), K = 560 g ha⁻¹, Mg = 60 g ha⁻¹, S = 270 g ha⁻¹ e B = 80 g ha⁻¹ (produto comercial Peso + ATR[®]).

Nos tratamentos onde foi realizada a aplicação de maturador químico, o produto utilizado foi o sulfometuron-metil 20 g i.a. ha⁻¹, do qual o nome comercial é Curavial[®]. As doses aplicadas foram determinadas seguindo recomendação técnica do fabricante.

1.2.3 Instalação e condução dos experimentos

Os dois experimentos foram realizados em cana soca (2º corte) em áreas comerciais cedidas pelas respectivas usinas. Os ensaios foram instalados por dois anos consecutivos (2017 e 2018), no mesmo período do ano (fevereiro a maio), nas mesmas localidades e seguindo a mesma sequência de parcelas nas áreas.

A aplicação do adubo foliar e do maturador ocorreu mediante a utilização de um equipamento costal pressurizado (CO₂). Utilizou-se uma única ponta, do tipo 1/4KLC-9 fieldjet de latão, acoplada a uma haste que possuía 2,6 metros de comprimento, possibilitando a aplicação simultânea e homogênea em quatro fileiras de plantas, que alcançava faixa de aplicação de 7,5 m (Figuras 1 e 2). A pressão de trabalho foi de 2,5 kgf cm² ou 35,6 PSI equivalente para a vazão média de 100 l ha⁻¹. Todas as aplicações foram realizadas em um único dia (Quadros 8 e 9).

Figura 3 – Visão geral da barra de aplicação e equipamento utilizado



Figura 4 – Visão da largura da faixa de aplicação

Foto: Anibal P. de A. Prado Filho

Quadro 8 – Datas da 1ª aplicação, 2ª aplicação e das avaliações biométricas, tecnológicas e coleta de folhas - 2017 e 2018

Plantio	Indiaporã/SP		Luis Antonio/SP	
	15/04/2016		25/04/2016	
	2017	2018	2017	2018
1ª Aplicação e 1ª coleta de dados e folhas	14/02/2017	06/02/2018	06/02/2017	02/02/2018
2ª Aplicação e 2ª coleta de dados e folhas	13/04/2017	03/04/2018	29/03/2017	02/04/2018
3ª Coleta de dados e folhas (colheita)	18/05/2017	07/05/2018	04/05/2017	03/05/2018

Quadro 9 – Descrição do período de intervalo entre as aplicações - 2017 e 2018

	Indiaporã/SP		Luis Antonio/SP	
	DAC*			
	2017	2018	2017	2018
1ª Aplicação	93	90	87	90
2ª Aplicação	35	34	36	31

*DAC – Dias antes da colheita.

1.2.4 Variáveis analisadas

1.2.4.1 Diagnose Foliar

Para as avaliações dos teores nutricionais foliares, previamente às aplicações, foram coletadas 20 folhas T.V.D (Top Visible Dewlap) ou folha +1 de acordo com sistema Kujiper (VAN DILLEWIJN, 1952), por parcela, retirando a nervura central e aproveitando somente o terço médio foliar (Figura 3). Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos sob baixa temperatura e, precedendo a análise, os materiais vegetais foram lavados e depositados em sacos de papel para secagem.

Após a secagem as amostras foram inseridas em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 65°C, por 72 horas, até atingirem peso constante e, na sequência, o material foi moído em moinho tipo Willey, em peneira com malha de 1 mm de diâmetro, para avaliação dos teores nutricionais dos macro e micronutrientes, conforme metodologia descrita por Malavolta (1997).

Figura 5 – Coleta de folhas para análise da diagnose foliar



Foto: Anibal P. de A. Prado Filho

1.2.4.2 Variáveis biométricas

Os critérios de avaliação de produtividade foram realizados através de análise biométrica de acordo com a metodologia proposta por Martins e Landell (1995). A primeira avaliação foi realizada durante instalação dos experimentos, como caracterização inicial da área, a segunda previamente à 2ª aplicação foliar e a última na colheita do experimento, totalizando três avaliações biométricas.

Para avaliação e obtenção dos dados referentes às variáveis comprimento, diâmetro e peso de colmos, foram coletados 20 colmos entre as duas linhas centrais de cada parcela, totalizando 10 colmos coletados em cada uma das linhas (Figura 4). As variáveis analisadas foram:

- a) Número de colmos por metro: foi realizada por meio da contagem da população em duas linhas centrais de 10 metros em cada parcela, totalizando a contagem em 20 metros lineares por parcela. Assim, para cálculo do valor de colmos por metro linear, dividiu-se a quantidade total contabilizada por 20.
- b) Altura de colmos: a determinação da altura de colmos foi realizada nos 20 colmos coletados das linhas centrais das parcelas, através da medição com trena graduada em centímetros, considerando a distância entre o ponto de corte no solo até a folha +1, segundo classificação de Kuijper (VAN DILLEWIJN, 1952).
- c) Diâmetro de colmos: a determinação foi efetuada no terceiro internódio da base para o ápice de cada um dos 20 colmos coletados, através da utilização de um paquímetro digital com a leitura realizada em milímetros.
- d) Peso de colmos: após a determinação dos valores de comprimento e diâmetro, os colmos coletados foram submetidos ao desponete na altura da gema apical e então amarrados, e efetuou-se a pesagem do feixe de cana com auxílio de uma balança digital. A partir do valor total de peso, dividiu-se o mesmo por 20 para obter o peso unitário de colmos.

Para o cálculo de estimativa da produtividade (TCH) era necessário obter um valor referente à densidade de colmos, para isso colocou-se água à um recipiente com volume conhecido e graduado, e adicionou-se uma porção de 10 colmos coletados aleatoriamente nas parcelas e, a partir do deslocamento de água, foi determinado a densidade. 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).

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

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

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 E é o espaçamento entre sulcos (m).

Figura 6 – Avaliações biométricas de comprimento e diâmetro de colmos



1.2.4.3 Variáveis tecnológicas

Para determinação das variáveis tecnológicas, foram utilizados os 20 colmos coletados para análises biométricas, já realizado o corte do ponteiro na altura da gema apical (Figura 5), e encaminhado para os laboratórios tecnológicos das respectivas usinas onde o trabalho foi desenvolvido. As análises tecnológicas foram realizadas conforme o Sistema de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose

(SPCTS) e atualizações semestrais do CONSECANA (CONSECANA, 2006). As determinações das variáveis seguiram metodologia proposta por Fernandes (2003), e são descritas a seguir:

a) Pol cana (%) ou *PCC*: representa a porcentagem aparente de sacarose contida numa solução de açúcares. A sacarose é o principal parâmetro de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar e refere-se ao açúcar diretamente cristalizável no processo de fabricação (FERNANDES, 2003). A pol pode ser obtida através da seguinte fórmula: $PCC (Pol \% Cana) = Pol \% Caldo * (1 - 0,01 * Fibra) * C$, onde a Pol % Caldo é a sacarose aparente no caldo (expressa em porcentagem) e determinada através de sacarímetro digital. O denominador C é o coeficiente de transformação da pol do caldo extraído em pol do caldo absoluto, e calculado pela seguinte equação: $C = 1,0313 - 0,00575 * Fibra$.

b) Pureza do caldo (%): expressa a porcentagem de sacarose (pol) contida nos sólidos solúveis (brix). Pode ser determinada através da fórmula: $P (Pureza) = (Pol \% caldo / Brix \% caldo) * 100$. Onde o Brix % caldo refere-se aos sólidos solúveis no caldo (expresso em porcentagem), determinado em refratômetro digital de leitura automática.

c) AR cana (%): os açúcares redutores (AR) atribuem-se aos monossacarídeos (glicose e frutose) contidos no caldo e expressos em porcentagem. Pode-se calcular o AR mediante a seguinte equação: $(AR \% cana) = AR \% caldo * (1 - 0,01 * Fibra) * C$, sendo o C o coeficiente descrito anteriormente. O AR % caldo é calculado pela fórmula: $AR \% caldo = 3,641 - 0,0343 * P$, onde P é a pureza do caldo representada em porcentagem.

d) Fibra cana (%): a fibra (%) é a matéria insolúvel em água contida na cana. No Sistema de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose (PCTS) a fibra é estimada em função do peso do bagaço úmido ou bolo úmido (PBU) da prensa hidráulica, conforme determinado no Ato 13/83, de 21/04/1983 – IAA, citado por MUTTON (1984) e atualizações do CONSECANA.

d) Açúcar total recuperável (ATR): o ATR da cana é calculado mediante o conhecimento do pol (PCC) e dos açúcares redutores da cana (AR), através da seguinte equação: $ATR = (PCC * 9,5263) + (AR * 9,05)$.

e) Produtividade de açúcar (TPH): para obtenção da produtividade de açúcar por hectare, expressa em toneladas de pol hectare⁻¹ (TPH), foi realizado a multiplicação dos valores de TCH (t ha⁻¹) pelos valores de pol (%), e o resultado dividido por 100.

Figura 7 – Colmos coletados e amarrados para envio ao laboratório e realização das análises tecnológicas



Foto: Anibal P. de A. Prado Filho

1.2.5 Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância, obtida utilizando-se o software estatístico AgroEstat (BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W., 2009). Foi realizado uma análise conjunta dos dados, ou seja, considerando os experimentos como um fator. Dessa forma, os fatores utilizados para análise estatística foram: bloco, tratamentos (controle, F35, M35, FM35, F90, F90F35, F90M35 E F90FM35), experimentos (locais) e interação tratamento x experimentos. Para os fatores tratamentos, experimentos e interação, os dados foram submetidos à comparação de médias pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

1.3 Resultados

1.3.1 Diagnose foliar

A análise de variância demonstrou influência dos tratamentos somente para o N, no ano de 2017, e para Mg e S em 2018 (Tabela 1).

Tabela 1 – Teores médios foliares de macronutrientes em função da adubação foliar

	N (g kg⁻¹)	P (g kg⁻¹)	K (g kg⁻¹)	Ca (g kg⁻¹)	Mg (g kg⁻¹)	S (g kg⁻¹)
Tratamentos	2017					
C	11,50 c	1,21 ab	12,58 a	2,54 ab	1,18 a	1,20 a
F35	12,10 bc	1,32 a	13,11 a	2,45 ab	1,20 a	1,16 a
M35	11,80 bc	1,25 ab	12,98 a	2,70 a	1,33 a	1,23 a
FM35	12,00 bc	1,13 ab	12,81 a	2,52 ab	1,16 a	1,33 a
F90	12,41 bc	1,15 ab	13,66 a	2,16 b	1,18 a	1,16 a
F90F35	13,95 a	1,30 a	11,80 a	2,59 a	1,37 a	1,11 a
F90M35	12,97 ab	1,26 ab	13,08 a	2,65 a	1,62 a	1,10 a
F90FM35	12,64 bc	1,10 b	11,97 a	2,30 ab	1,37 a	1,25 a
Local						
Indiaporã	10,53 b	1,13 b	13,46 a	2,16 b	0,89 b	1,18 a
Luis Antonio	14,31 a	1,30 a	12,04 b	2,82 a	1,71 a	1,21 a
Fonte de Variação	Probabilidade de F					
Blocos	0,2621	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,5621
Tratamentos (T)	0,0268	0,2032	0,5924	0,1607	0,5024	0,6403
Local (L)	<0,0001	0,0049	0,0202	0,0001	0,0002	0,6380
Interação T x L	0,7637	0,2295	0,3721	0,9459	0,1709	0,7954
Tratamentos	2018					
C	9,08 ab	1,19 a	11,81 a	2,04 a	0,90 b	1,26 a
F35	9,75 ab	1,08 a	12,27 a	1,90 a	0,92 b	1,10 a
M35	8,60 b	1,06 a	11,63 a	1,99 a	0,89 b	1,11 a
FM35	8,83 ab	1,08 a	11,36 a	1,97 a	0,92 b	1,21 a
F90	9,48 ab	1,14 a	12,13 a	2,19 a	1,15 a	1,15 a
F90F35	8,82 ab	1,08 a	12,60 a	1,89 a	0,95 b	1,24 a
F90M35	9,35 ab	1,12 a	13,37 a	1,89 a	0,90 b	0,91 b
F90FM35	10,07 a	1,17 a	12,63 a	2,10 a	0,92 b	1,11 a
Local						
Indiaporã	8,94 a	1,13 a	11,50 b	2,21 a	1,00 a	1,24 a
Luis Antonio	9,56 a	1,11 a	12,95 a	1,78 b	0,88 b	1,03 b
Fonte de Variação	Probabilidade de F					
Blocos	0,0003	0,1885	0,0802	0,0015	0,0011	0,0338
Tratamentos (T)	0,3066	0,8952	0,4782	0,8162	0,0594	0,0312
Local (L)	0,0724	0,7432	0,0142	0,0059	0,0085	0,0007
Interação T x L	0,2793	0,0334	0,1300	0,1151	0,8257	0,8227

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade

No ano de 2017, os teores de N e P encontravam-se abaixo dos limites mínimos considerados adequados para a cultura da cana-de-açúcar (Tabela 2) segundo Raij et al (1997). Em 2018, além de N e P, o Mg também apresentou valores abaixo da faixa ideal recomendada.

Tabela 2 – Teores médios foliares de macronutrientes em função da adubação foliar e da aplicação de maturador em cana-de-açúcar

Cultura	Teores foliares					
	Macronutrientes (g/kg)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	18 - 25	1,5 - 3,0	10 - 16	2,0 - 5,0	1,0 - 2,5	1,2 - 2,0
Cana-de-açúcar	Micronutrientes (mg/kg)					
	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	5 - 15	5 - 15	40 - 250	25 - 100	0,5 - 2,0	10 - 30

Também foi possível observar efeito do local (L) nos teores de N, P, K, Ca e Mg, no ano de 2017, e nos teores de N, K, Ca, Mg e S, no ano de 2018, respectivamente (Tabela 1).

No ano de 2017, quanto ao teor de N foliar, o tratamento que proporcionou o melhor resultado foi o F90F35 (fertilizante foliar 90 DAC + fertilizante foliar 35 DAC) com 13,95 g kg⁻¹, onde foi realizado duas aplicações foliares de um complexo de nutrientes (Tabela 1), superando em 2,45 g kg⁻¹ o tratamento C (controle), que resultou no menor valor de N foliar. Sobre os teores de Ca, os resultados proporcionados pelos tratamentos foram semelhantes aos do nitrogênio, embora o menor valor apresentado tenha sido resultante do tratamento F90 (fertilizante foliar 90 DAC) com 2,16 g kg⁻¹. Não houve diferença significativa entre os tratamentos para os teores foliares de K, Mg e S em 2017 (Tabela 1).

No segundo ano de pesquisa, o tratamento que resultou no maior valor de N foi o F90FM35 (fertilizante foliar 90 DAC + fertilizante foliar e maturador 35 DAC) com 10,07 g kg⁻¹, e o menor resultado apresentado foi ocasionado pelo tratamento M35 (maturador 35 DAC) com 8,60 g kg⁻¹. Para os nutrientes P, K e Ca não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 1).

Sobre os teores de micronutrientes (Tabela 3), houve efeito do local (L) no teor de Fe, Zn, Mn e B, no primeiro ano de pesquisa. Em 2018, os experimentos influenciaram apenas em Fe, Mn e B. Com relação aos teores recomendados para a

cultura (Tabela 2), apenas o Cu, em 2017, estava abaixo da faixa ideal (5-15 mg/kg), embora em 2018 tenha apresentado um teor médio superior. Não se observou efeito dos tratamentos nos teores dos micronutrientes, nos dois anos de pesquisa (Tabela 3).

Tabela 3 - Teores médios foliares de micronutrientes em função da adubação foliar e da aplicação de maturador em cana-de-açúcar

	Fe (mg kg⁻¹)	Cu (mg kg⁻¹)	Zn (mg kg⁻¹)	Mn (mg kg⁻¹)	B (mg kg⁻¹)
Tratamentos	2017				
C	86,93 ab	6,11 a	15,30 a	60,57 a	9,61 a
F35	71,12 bc	3,85 a	15,82 a	54,37 a	9,77 a
M35	81,32 abc	3,96 a	15,67 a	57,67 a	9,69 a
FM35	79,31 abc	3,90 a	16,58 a	60,77 a	10,74 a
F90	63,25 c	3,57 a	15,52 a	56,68 a	10,55 a
F90F35	80,55 abc	4,13 a	16,05 a	60,63 a	9,82 a
F90M35	86,63 ab	4,39 a	16,50 a	65,47 a	9,73 a
F90FM35	95,48 a	4,83 a	16,12 a	65,28 a	10,58 a
Local					
Indiaporã	75,19 b	4,13 a	13,26 b	78,05 a	8,12 b
Luis Antonio	85,96 a	4,56 a	18,64 a	42,30 b	12,00 a
Fonte de Variação	Probabilidade de F				
Blocos	0,0429	0,4490	0,0519	0,4390	0,0130
Tratamentos (T)	0,1302	0,7042	0,9595	0,4355	0,6848
Local (L)	0,0477	0,5656	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Interação T x L	0,8603	0,4051	0,1855	0,9293	0,6739
Tratamentos	2018				
C	100,64 a	5,58 a	12,28 a	47,12 a	12,17 a
F35	96,29 a	5,12 a	15,03 a	54,29 a	13,29 a
M35	96,34 a	4,12 a	11,46 a	43,99 a	12,27 a
FM35	90,73 a	5,54 a	14,82 a	52,41 a	11,39 a
F90	91,71 a	4,88 a	12,31 a	51,11 a	13,93 a
F90F35	93,32 a	4,51 a	14,18 a	49,70 a	11,69 a
F90M35	93,96 a	4,29 a	12,66 a	52,04 a	11,30 a
F90FM35	91,81 a	5,50 a	14,84 a	46,39 a	12,19 a
Local					
Indiaporã	78,40 b	5,19 a	12,93 a	69,95 a	14,44 a
Luis Antonio	110,30 a	4,69 a	13,98 a	29,31 b	10,11 b
Fonte de Variação	Probabilidade de F				
Blocos	0,2598	<0,0001	0,1341	0,4455	0,0045
Tratamentos (T)	0,9789	0,2361	0,5996	0,4282	0,6067
Local (L)	0,0006	0,1520	0,3796	<0,0001	0,0005
Interação T x L	0,5880	0,4915	0,2977	0,9801	0,0527

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade

1.3.2 Análises biométricas

Tabela 4 – Altura, diâmetro, peso, número e produção de colmos (TCH) de cana-de-açúcar em resposta à adubação foliar e aplicação de maturador

	Nº Colmos (colmos m ⁻¹)	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	Peso de Colmos (kg)	TCH (t ha ⁻¹)
Tratamentos					
2017					
C	11,1 a	241 e	28,84 e	1,51 f	115 f
F35	11,1 a	246 cd	29,23 d	1,58 de	120 de
M35	11,0 a	240 e	28,75 e	1,49 f	114 f
FM35	11,0 a	244 d	29,21 d	1,57 e	119 e
F90	11,1 a	249 bc	29,44 bc	1,62 bc	124 bc
F90F35	11,1 a	252 a	29,62 ab	1,66 a	127 a
F90M35	11,0 a	247 bcd	29,32 cd	1,60 cd	122 cd
F90FM35	11,0 a	250 ab	29,63 a	1,65 ab	125 ab
1ª Avaliação*	11,2	214	26,22	1,10	84
Local					
Indiaporã	9,0 b	251 a	31,66 a	1,59 a	121 a
Luis Antonio	13,1 a	242 b	26,85 b	1,58 a	120 a
Fonte de Variação					
Probabilidade de F					
Blocos	0,3277	0,9598	0,7784	0,8999	0,9074
Tratamentos (T)	0,7612	0,0003	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Local (L)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,4113	0,4137
Interação T x L	0,4286	1,0000	0,9998	1,0000	1,0000
Tratamentos					
2018					
C	10,6 a	208 cd	27,14 e	1,11 d	84 d
F35	10,6 a	210 bc	27,52 bc	1,15 bc	88 bc
M35	11,0 a	204 d	27,19 de	1,09 d	83 d
FM35	11,0 a	210 bc	27,38 cd	1,14 c	87 c
F90	10,7 a	213 ab	27,54 bc	1,17 b	89 b
F90F35	10,9 a	217 a	27,78 a	1,21 a	92 a
F90M35	10,9 a	210 bc	27,68 ab	1,17 b	89 b
F90FM35	10,7 a	216 a	27,68 ab	1,20 a	91 a
1ª Avaliação*	11,0	174	26,52	0,92	67
Local					
Indiaporã	9,3 b	217 a	28,38 a	1,04 b	79 b
Luis Antonio	12,3 a	205 b	26,60 b	1,27 a	97 a
Fonte de Variação					
Probabilidade de F					
Blocos	0,2761	0,7581	0,2599	0,6376	0,6421
Tratamentos (T)	0,8646	0,0056	0,0021	0,0002	0,0002
Local (L)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Interação T x L	0,3133	0,9998	0,9999	1,0000	1,0000

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade.

*1ª avaliação: Biometria inicial para caracterização da área, valores de referência no início do experimento.

Sobre as análises biométricas, a análise conjunta de dados aponta que houve efeito dos tratamentos (T) sobre as variáveis altura, diâmetro, peso de colmos e produção (TCH), nos dois anos de experimento (Tabela 4). É possível observar que, em média, os valores resultantes dos tratamentos que receberam uma aplicação nutricional antecipadamente (F90, F90F35, F90M35 e F90FM35), para as variáveis altura, diâmetro, peso e TCH, são maiores que àqueles apresentados pelos tratamentos que receberam apenas uma adubação foliar (F35 e FM35) e também os tratamentos C e M35, que não receberam nenhuma adubação (Tabela 4).

Analisando os resultados obtidos nota-se que, nos dois anos de experimentação, os tratamentos dos quais os resultados se destacaram para quase todas as variáveis, exceto para número de colmos, foram àqueles que receberam duas aplicações do complexo de nutrientes via foliar (F90F35 e F90FM35). Com relação à variável de produção de colmos ha^{-1} (TCH) e peso de colmos (Tabela 4), em 2017, o maior resultado obtido foi através do tratamento F90F35, com 127 toneladas ha^{-1} e 1,66 kg, respectivamente. Isso demonstrou um incremento de 12 toneladas ha^{-1} e 0,15 kg em comparação ao tratamento C. O mesmo comportamento foi observado em 2018, onde o tratamento F90F35 proporcionou o maior resultado em TCH e peso de colmos, com 92 toneladas ha^{-1} e 1,21 kg, respectivamente.

1.3.3 Análises tecnológicas

Segundo a análise de variância dos dados obtidos das avaliações tecnológicas (Tabela 5), observou-se efeito dos tratamentos (T) nas variáveis pol, ATR e TPH (toneladas de pol por hectare), no ano de 2017. Em 2018, os tratamentos (T) influenciaram apenas as variáveis pol, ATR e TPH. Também é possível observar que as variáveis pol, ATR e TPH foram influenciadas pelos locais (L), no ano de 2017. No ano seguinte, houve influência dos locais (L) sobre todas as variáveis (fibra, pureza, AR, pol, ATR e TPH).

Analisando os dados da variável AR, é possível observar que os resultados são inversamente proporcionais aos resultados de Pureza, pol e ATR, onde os tratamentos que receberam aplicação do maturador sulfometuron-metil, apresentaram os menores valores para AR e, conseqüentemente, superiores para Pureza, pol e ATR (Tabela 5).

Tabela 5 – Fibra, pureza, AR, pol, ATR e TPH em resposta à adubação foliar e aplicação de maturador em cana-de-açúcar

	Fibra (%)	Pureza (%)	AR (%)	Pol (%)	ATR (kg ton cana⁻¹)	TPH (t pol⁻¹)
Tratamentos						
2017						
C	11,4 a	86,8 c	0,57 a	13,8 d	138 e	15,8 e
F35	11,5 a	87,5 bc	0,54 ab	14,3 bc	141 cd	17,3 cd
M35	11,4 a	88,8 ab	0,51 b	14,8 a	146 a	16,9 d
FM35	11,1 a	87,8 abc	0,54 ab	14,6 ab	144 b	17,4 c
F90	11,3 a	88,3 abc	0,52 ab	14,5 bc	143 bc	17,9 b
F90F35	11,1 a	88,4 abc	0,52 ab	14,2 c	140 d	18,0 b
F90M35	11,3 a	88,9 ab	0,51 b	14,9 a	146 a	18,1 b
F90FM35	10,9 a	89,5 a	0,49 b	14,9 a	146 a	18,7 a
Local						
Indiaporã	11,4 a	88,0 a	0,53 a	14,0 b	138 b	16,9 b
Luis Antonio	11,1 a	88,5 a	0,52 a	15,0 a	148 a	18,1 a
Fonte de Variação						
Probabilidade de F						
Blocos	0,0145	0,4019	0,3323	0,4405	0,8783	0,8179
Tratamentos (T)	0,6402	0,1674	0,1699	0,0005	0,0002	<0,0001
Local (L)	0,0611	0,2335	0,2715	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Interação T x L	0,1226	0,2189	0,2903	0,8208	1,0000	0,9999
Tratamentos						
2018						
C	12,7 a	88,9 a	0,50 a	15,5 d	152 e	13,1 e
F35	12,4 a	88,8 a	0,50 a	15,7 cd	154 d	13,8 d
M35	12,6 a	88,4 a	0,51 a	16,0 ab	157 bc	13,3 e
FM35	12,6 a	89,3 a	0,49 a	16,1 ab	157 bc	14,0 d
F90	12,0 a	88,7 a	0,50 a	15,9 bc	156 cd	14,2 cd
F90F35	12,4 a	88,6 a	0,50 a	15,9 bc	156 cd	14,7 ab
F90M35	12,1 a	88,7 a	0,51 a	16,2 a	158 ab	14,4 bc
F90FM35	11,9 a	88,8 a	0,50 a	16,2 a	159 a	14,8 a
Local						
Indiaporã	12,8 a	87,9 b	0,52 a	15,5 b	152 b	12,3 b
Luis Antonio	11,9 b	89,7 a	0,48 b	16,3 a	160 a	15,8 a
Fonte de Variação						
Probabilidade de F						
Blocos	0,4097	0,0702	0,1799	0,2088	0,6028	0,8237
Tratamentos (T)	0,3812	0,8630	0,9183	0,0029	0,0006	<0,0001
Local (L)	0,0028	0,0002	0,0017	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Interação T x L	0,1152	0,3757	0,2317	0,9650	1,0000	1,0000

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade.

Sobre as variáveis pol e ATR (Tabela 5), destaca-se os resultados dos tratamentos que receberam a aplicação do maturador (F90FM35, F90M35, FM35 e M35), nos dois anos consecutivos de pesquisa e, desses tratamentos, os maiores valores foram àqueles que receberam nutrição foliar antecipadamente (F90FM35 e F90M35). A aplicação de nutrientes promoveu ganhos de pol, pureza e ATR, quando comparados com o tratamento C, porém, com resultados inferiores aos tratamentos com adição de maturador, associado ou não a adubação foliar (Tabela 5).

A variável tecnológica TPH (toneladas de pol hectare⁻¹) é influenciada pelos valores obtidos das análises biométricas de produção (TCH) e pelos resultados de pol gerados pelas análises tecnológicas, assim, destaca-se o resultado do tratamento F90FM35, nos dois anos de experimentação, com 18,7 e 14,8 toneladas de pol ha⁻¹ em 2017 e 2018, respectivamente (Tabela 5). Esses resultados demonstram um ganho de 2,9 toneladas em comparação ao tratamento C, em 2017 e, em 2018, um incremento de 1,7 toneladas de pol ha⁻¹.

1.4 Discussão

Analisando os resultados obtidos da avaliação de diagnose foliar de macro e micronutrientes (Tabelas 1 e 3), foi possível constatar que não houve diferença significativa entre os tratamentos para a maioria dos nutrientes avaliados, apenas ocorrendo para N, P, Ca e Fe em 2017 e N, Mg e S em 2018. Os valores médios obtidos em cada local ficaram abaixo ou, quando dentro, muito próximos dos limites inferiores dos teores adequados para a cultura da cana-de-açúcar segundo Spironello et al. (1997).

De acordo com Orlando Filho e Zambello Junior (1983), diversos fatores podem interferir nos resultados de análises foliares, principalmente a época de amostragem. Malavolta et al. (1997) recomendam a coleta da folha +3 ou +1, 4 meses após a emergência da cultura, já Spironello et al. (1997), Reis Jr e Monnerat (2002) e McCray et al. (2006) recomendam a amostragem no período de maior desenvolvimento vegetativo da cultura. Dessa forma os resultados encontrados podem ser justificados devido à época de coleta das folhas, que ocorreram na fase final do ciclo de desenvolvimento e início da fase de maturação, diferentemente do recomendado na literatura citada.

Segundo Rengel, Gil e Montaña (2011), existe uma elevada demanda por nutrientes no período que antecede a fase de maturação da cultura, provocando assim uma redução nos teores nutricionais foliares encontrados. No segundo ano de pesquisa, os valores médios dos locais foram menores que em 2017, o que pode ser justificado pela redução no volume de precipitação ocorrido em 2018, possivelmente reduzindo a absorção de nutrientes pelas folhas (Tabelas 1 e 3).

Com relação aos resultados das análises biométricas (Tabela 4), em 2017 todos os tratamentos que receberam uma adubação foliar antecipada (F90, F90F35, F90M35 e F90FM35), com finalidade de crescimento vegetativo, apresentaram resultados superiores aos tratamentos dos quais o fornecimento de nutrientes ocorreu apenas no fim da fase de desenvolvimento vegetativo (F35 e FM35), bem como àqueles que não receberam nutrição foliar (C e M35). Esses resultados podem ser observados nas variáveis altura, diâmetro, peso de colmos e TCH, e a mesma tendência de resultados ocorreu no ano de 2018, embora os valores proporcionados foram menores, devido às condições climáticas adversas ao crescimento da planta (redução da disponibilidade hídrica e da temperatura). Esses resultados comprovam o efeito positivo dessa primeira aplicação de nutrientes via foliar, ainda que em menores quantidades, resultante da atuação dos nutrientes a nível celular, permitindo a manutenção da taxa fotossintética elevada e direcionando os fotossintatos ao crescimento vegetativo (Tabela 4).

Segundo Rossi (2015), o fornecimento de nutrientes via foliar permite que as folhas mais velhas da planta se mantenham metabolicamente ativas por um período prolongado e, conseqüentemente, mais produtivas. Lira et al. (2017) afirmam que o aumento em produtividade foi resultante da manutenção da taxa fotossintética ativa da folha, estendendo a vida útil da folha e retardando a senescência foliar, o que pode ter contribuído para promover o incremento nas variáveis de produção.

Comparando-se os tratamentos que receberam apenas uma aplicação foliar de nutrientes (F35 e FM35) com o tratamento Controle, fica evidente o efeito da nutrição no desenvolvimento da planta, resultando em aumento na altura, diâmetro, peso de colmos e, conseqüentemente, maior produtividade por hectare (TCH) e, embora a associação com o maturador (FM35) promova um incremento menor em produtividade ao se comparar com a adubação foliar exclusiva (F35), esse ganho é superior ao resultado obtido com o tratamento Controle.

Analisando o efeito da aplicação do maturador associado ou não ao adubo foliar, observou-se que a aplicação unicamente do maturador promove uma inibição do crescimento da planta, resultando em menores valores das variáveis biométricas em comparação ao tratamento Controle (Tabela 4). Contudo, quando da sua associação com a nutrição foliar, ocorreu um incremento na produção recorrente do efeito dos nutrientes e promoveu melhoria nas variáveis tecnológicas (Tabela 5).

Ao realizar uma comparação entre o tratamento Controle e M35, é possível notar que os valores de altura, peso de colmos e TCH, nos dois anos de pesquisa, foram inferiores para o tratamento M35, confirmando o efeito de inibidor de crescimento do maturador (Tabela 4), embora os resultados sobre as variáveis tecnológicas pol e ATR foram superiores (Tabela 5). O mesmo ocorreu em comparação entre os tratamentos F35 e FM35, F90 e F90M35, F90F35 e F90FM35, que diferem entre si pela presença ou não do maturador. Em todos esses cenários, o tratamento no qual foi aplicado o regulador vegetal associado à nutrição proporcionou valores levemente inferiores àqueles onde foi aplicado apenas a nutrição foliar para as variáveis comprimento de colmos, peso de colmos e TCH, porém essa associação se mostrou benéfica ao se analisar os resultados de produtividade de açúcar ha^{-1} (TPH). Entretanto, os valores obtidos com os tratamentos onde associou-se maturador e nutrição foliar, foram superiores comparados ao tratamento somente com maturador (M35), confirmando o benefício da nutrição para ganhos de produtividade e do maturador para qualidade tecnológica. Segundo Rizzard et al. (2004), o sulfometuron metil age inibindo a síntese da enzima acetolactato sintase, na rota de síntese de aminoácidos como valina, leucina e isoleucina, interferindo na síntese proteica, balanço hormonal e na síntese de DNA, resultando na paralisação do crescimento, justificando assim os resultados observados.

Embora tenha ocasionado inibição do crescimento da planta, o maturador não interferiu no diâmetro dos colmos. Isso foi observado também por Leite e Crusciol (2008), onde notaram que o sulfometuron metil causou redução no crescimento, em comprimento dos colmos, porém sem provocar redução no diâmetro, forçando o direcionamento da sacarose ao acúmulo, melhorando a qualidade tecnológica da planta.

Analisando as variáveis tecnológicas (Tabela 5), os resultados dos teores de Fibra (%) não apresentaram diferença significativa, mesmo sob aplicação do

maturador, nos dois anos de experimentos, assim como Galdiano (2008), Leite et al. (2009c), Castro et al. (2002) e Caputo et al. (2008), não observaram alterações significativas no teor de fibra mediante aplicação de maturadores.

Sobre a variável tecnológica Pureza (%) (Tabela 4), observou-se diferença significativa entre os tratamentos apenas no primeiro ano de pesquisa. Os tratamentos que proporcionaram os maiores valores foram F90FM35, F90M35 e M35, demonstrando o efeito da aplicação do maturador e sua importância para entrega de uma matéria prima com elevada qualidade tecnológica. Fernandes et al. (2002) também observaram maiores valores de pureza após aplicação de sulfometuron metil. Em 2018, a redução da precipitação pluviométrica e da temperatura proporcionaram condições que favoreceram a maturação natural da cana-de-açúcar, dessa forma contribuiu-se para aumento dos teores de pureza e mesmo sob aplicação de nutrientes e maturador, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Segundo Stupiello (2000), no período de maturação, o acúmulo de sacarose eleva os teores de pureza devido ao incremento dos açúcares em relação aos sólidos solúveis.

Assim como observado nos resultados da variável pureza, os tratamentos que proporcionaram os menores resultados para açúcares redutores (AR), foram F90M35, F90FM35 e M35 (Tabela 4), mostrando a eficácia do uso do maturador no acúmulo de sacarose, onde a redução dos valores de AR indicam um incremento de açúcar nos colmos.

Quanto às variáveis pol (%) e ATR (Tabela 4), de maneira geral, pode-se observar que os maiores valores resultaram dos tratamentos onde foi aplicado o maturador, nos dois anos de experimentação, comprovando sua eficiência em direcionar a sacarose sintetizada pelas folhas para o acúmulo nos colmos. Analisando os tratamentos nos quais o maturador foi associado, ou não, à aplicação de nutrientes e realizando uma comparação entre os tratamentos C e M35, também entre F35 e FM35, F90 e F90M35 e por fim F90F35 e F90FM35, observa-se que a presença do maturador promove incremento nos valores de pol e ATR e potencializa o direcionamento da sacarose para acúmulo nos colmos quando aplicado em associação com o complexo nutricional, assim, os tratamentos que proporcionaram maiores valores foram F90FM35, F90M35 e M35. A utilização na primeira época do fertilizante foliar e na segunda época associado ou não ao maturador, evidenciou

efeito potencial no incremento de pol, pureza e ATR, maiores do que a utilização isolada do maturador, corroborando com os dados de Leite (2010) e Siqueira (2014).

A análise dos resultados de produtividade de açúcar (TPH) permite observar que o maior valor obtido foi do tratamento F90FM35, nos dois anos de trabalho (Tabela 4). Todavia, os resultados proporcionados pelos tratamentos F90M35 e F90F35 foram próximos em valores. Por ser uma variável dependente da produtividade de colmos (TCH) e teor de pol, esses resultados evidenciam o efeito da adubação foliar, promovendo o incremento na síntese e capacidade de armazenamento de sacarose, conforme descrito por Lingle et al. (2009), através da atuação dos nutrientes na ativação de enzimas relacionadas ao processo fotossintético resultando em ganhos de comprimento e peso, bem como a importância da utilização do maturador que altera o metabolismo da planta, direcionando a sacarose para acúmulo nos tecidos de reserva.

1.5 Conclusões

Os tratamentos com uma aplicação foliar de nutrientes realizada em média 90 dias antes da colheita e posteriormente uma segunda aplicação com 35 dias antes da colheita proporcionaram incremento nas variáveis biométricas comprimento, diâmetro e peso de colmos, conseqüentemente em TCH.

A aplicação de um complexo de nutrientes previamente à fase de maturação, associado ou não ao maturador, não interfere na eficiência do regulador vegetal.

Em início de safra, a aplicação de maturador proporciona os melhores resultados nas variáveis tecnológicas pureza, pol e ATR, independente do manejo nutricional utilizado na cultura da cana-de-açúcar.

A associação dos nutrientes aplicados via foliar com o maturador promove incremento na produção e qualidade da matéria prima, resultando em maiores produtividades de açúcar, obtendo ganhos de até 2,9 t ha⁻¹.

Referências

- ALMEIDA, J.C.V. et al. Eficiência agrônômica de sulfometuron methyl como maturador na cultura da cana-de-açúcar. **STAB**, v.21, n.3, p.36-37, 2003.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Software AgroEstat**: Sistema de análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, Brasil, 2009.
- BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry and molecular biology fo plants**. 2nd ed. West Sussex, John Wiley & Sons, 2015. 1280 p.
- BURNELL, James N.. The Biochemistry of Manganese in Plants. **Manganese In Soils And Plants**, [s.l.], p.125-137, 1988. Springer Netherlands.
- CAPUTO, M.M.; BEAUCLAIR, E.G.F.; SILVA, M.A.; PIEDADE, S.M.S. Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, São Paulo, v. 67, p. 15-23, 2008.
- CASTRO, P.R.C. Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISILOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2000a, Piracicaba. Anais... Piracicaba: STAB, 2000a. 9p. 1 CD-room.
- CASTRO, P.R.C. Utilização de reguladores vegetais no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISILOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2000b, Piracicaba. Anais... Piracicaba: STAB, 2000b. 10p. 1 CD-room
- CASTRO, P.R.C.; ZAMBON, S.; SANSÍDOLO, M.A.; BELTRAME, J.A.; NOGUEIRA, M.C.S. Ação comparada de Ethrel, Fuzilade e glifosato, em duas épocas de aplicação, na maturação e produtividade da cana-de-açúcar, variedade SP 70-1143. **Rev. de Agric. (Piracicaba)**, v.77, n.1, p.23-38, 2002.
- CASTRO, P. R. C. **Fisiologia aplicada à cana-de-açúcar**. Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2016. 208 p.
- CHAPIN, F. S. III; BLOOM, A. J.; FIELD, C. B.; WARING, R. H., Plant responses to multiple environmental factors. **Bioscience** 37, p. 49-57, 1987.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira Cana-de-Açúcar Safra 2017/2018, primeiro levantamento, maio/2019**. Brasília, 2019. 66 p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/>>. Acesso em: 27 junho 2019.
- CONSECANA. **Manual de instruções**. 5. ed. Piracicaba: Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, 2006. 111 p.
- ELSTNER, Erich F.. Oxygen Activation and Oxygen Toxicity. **Annual Review Of Plant Physiology**, München, v. 33, p.73-96, jun. 1982.

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.

FERNANDES, A.C.; STUPIELLO, J.P.; UCHOA, P.E. de A. Utilização do Curavial para melhoria da qualidade da cana-de-açúcar. **STAB**, v.20, n.4, p.43-46, 2002.

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

FRAUSTO DA SILVA, J. J. R.; WILLIAMS, R. J. P., The biological chemistry of the elements: The inorganic chemistry of life. **Clarendon Press**, Oxford, 1991.

GALDIANO, L.C. **Qualidade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) submetida à aplicação de maturadores químicos**. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, SP, 2008. 45p.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G., N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. **Journal of Experimental Botany** 53, p. 789-799, 2002.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2015**. [S.I.]: IBGE, 2015. Disponível em: . Acesso em: 4 mar. 2019

LAVANHOLI, M.G.D.P. et al. Aplicação de Ethephon e Imazapyr em cana-de-açúcar em diferentes épocas e sua influência no florescimento, acidez do caldo e teores de açúcares nos colmos – variedade SP70-1143. **STAB**, v.20, v.5, p.42-45, 2002.

LAWLOR, D. W., Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: Mechanisms are the key to understanding production systems. **Journal of Experimental Botany** 53, p. 773-787, 2002.

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.; CRUSCIOL, C.A.C.; SILVA, M.A.; VENTURINI FILHO, W.G. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores em meio de safra. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.2, p.527-534, 2009c.

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 Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010

LEITE, G. H. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; SIQUEIRA, G. F.; SILVA, M. A. Atividade das enzimas invertases e acúmulo de sacarose em cana-de-açúcar sob efeito do nitrato de potássio, etefon e etil-trinexapac, **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n.10, p. 1788-1794, 2015.

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.

MALAVOLTA, E.; **Avaliação do estado nutricional das plantas -princípios e aplicações**. Piracicaba, Potafos, 1997. 319p.

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.

McCRAVY, J.M.; EZENWA, I.V.; RICE, R.W.; LANG, T.A. **Sugarcane Plant Nutrient Diagnosis**. <http://edis.ifas.ufl.edu/sc075> (18 fevereiro 2010). Publicação original: SS-AGR-128 2006 disponível em PDF: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/SC/SC07500.pdf>

MUTTON, M.J.R. **Efeitos da queima, manejo e armazenamento sobre as características tecnológicas dos colmos de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1984. 95 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO, JR., E. **Diagnose foliar**. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.) Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba: IAA-PLANALSUCAR, 1983.p.125-152.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETTO, R.; CASAGRANDE, A. A. Cana-de-açúcar. p. 355-373. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B van; ABREU, C. A. (Ed.) Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura. Jaboticabal: CNPQ/Fapesp/Potafós, 2001. 600 p.

OTTO, R. et al. **Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar**. R. Bras. Ci. Solo, 34:1137-1145, 2010

PEREZ, J.; EIGENBRODE, S. D.; HILJE, L.; TRIPEPI, R. R.; AGUILAR, M. E.; MESEN, F. Use of grafting to prevent *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) damage to new world meliaceae species. **Neotropical Entomology**, v.39, n.4, p.618-625, 2007.

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

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2ª ed. Instituto Agrônomo de Campinas -IAC.Campinas. 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

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

REICH, Peter B.; WALTERS, Michael B.; ELLLSWORTH, David S.. From tropics to tundra: Global convergence in plant functioning. **Pnas**, Stanford, v. 25, n. 94, p.13730-13734, 9 dez. 1997.

REIS JR, R.A. & MONNERAT, P.H. Diagnose nutricional da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 367-372, 2002

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.

RIZZARD, M.A.; VARGAS, L.; ROMAN, E.S.; KISSMANN, K. Aspectos gerais do manejo e controle de plantas daninhas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E.S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2004. p.105-144.

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.

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.

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.

STOLF, R. Metodologia de avaliação de falhas nas linhas de cana-de-açúcar. STAB, Piracicaba, v.4, n.6, p.22-36, jul./ago.1986.

STUPIELLO, J. P. Pureza da cana e seu impacto no processamento. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 18, n. 3, 12 p., 2000

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.
VAN DILLEWIJN, C. **Botany of sugar cane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371p.

CAPÍTULO 2 - HORMÔNIOS VEGETAIS ASSOCIADOS À ADUBAÇÃO FOLIAR NO CRESCIMENTO E MATURAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da nutrição via foliar associada à aplicação de hormônios no final do ciclo vegetativo e em fase de pré-maturação da cana-de-açúcar, visando aumento do teor de sacarose por tonelada de cana no início de safra. Os experimentos foram instalados em três locais diferentes, situados nos municípios de Luis Antônio, Pontal e Santa Maria da Serra, todos localizados no estado de São Paulo, no período de fevereiro a maio de 2017, sendo repetidos nas mesmas localidades e época no ano de 2018. Avaliou-se as variáveis biométricas, tecnológicas e teor nutricional foliar. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições e 8 tratamentos. Foram definidos os seguintes tratamentos: C-Controle (sem nenhuma aplicação), F35 – Fertilizante foliar 35 DAC (dias antes da colheita), M35 – Maturador aos 35 DAC, FM35 – Fertilizante foliar + maturador aos 35 DAC, F90 – Fertilizante foliar aos 90 DAC, F90F35 – Fertilizante foliar aos 90 DAC e aos 35 DAC, F90M35 – Fertilizante foliar aos 90 DAC e maturador aos 35 DAC, F90FM35 - Fertilizante foliar aos 90 DAC e fertilizante foliar + maturador aos 35 DAC. Os nutrientes aplicados foram N, S, Zn, Mn, Cu, B e Mo e os hormônios eram dos grupos das auxinas, citocininas e giberelinas. Em síntese, foi possível observar que a aplicação um complexo de nutrientes e hormônios proporcionou incremento nas variáveis comprimento de colmos, diâmetro, peso de colmos e conseqüentemente em toneladas de cana por hectare (TCH). Observou-se também efeito da nutrição foliar nas variáveis tecnológicas Pol, ATR e toneladas de pol por hectare (TPH), apresentando melhores resultados quando da associação dos nutrientes com o maturador, em comparação ao regulador vegetal aplicado isoladamente. Concluiu-se que a adubação foliar contribui com maior síntese de sacarose nos colmos e sua associação com a aplicação do maturador proporciona maior acúmulo de açúcar na planta, conseqüentemente resultando em ganhos de produtividade e qualidade da matéria prima.

Palavras-chave: cana-de-açúcar. *saccharum spp.* Hormônios. adubação foliar. sacarose.

CHAPTER 2 – FOLIAR FERTILIZATION ASSOCIATED WITH HORMONES IN SUGARCANE GROW AND RIPENING

SUMMARY

The present research had the objective of evaluate the effect of foliar application nutrition associated with hormones at the end of the growing stage, before the sugarcane maturation stage, as well as the effects of this application associated with ripener aiming to increase the sucrose content in sugarcane at the early season. The experiments were carried out in three different locations, in the municipalities of Luis Antônio, Pontal and Santa Maria da Serra, all located in São Paulo state, from February to May 2017, being repeated in the same locations and time in the 2018 period. Biometric, technological and leaf nutritional content variables were evaluated. The experimental design was a randomized block design with four replications and 8 treatments. In order to evaluate different application possibilities, the following treatments were defined: C-Control (no application), F35 - 35 DBH (days before harvest) leaf fertilizer, M35 - 35 DBH maturation machine, FM35 - Leaf Fertilizer + 35 DBH Ripener, F90 - 90 DBH Leaf Fertilizer, F90F35 - 90 DBH and 35 DBH Leaf Fertilizer, F90M35 - 90 DBH Leaf Fertilizer and 35 DBH, F90FM35 - 90 DBH Leaf Fertilizer and Fertilizer leaf + maturation at 35 DBH. The applied nutrients were N, S, Zn, Mn, Cu, B and the plant hormones used were from cytokines, gibberellins and auxins groups. In summary, with the results obtained from the two experiments in the two years of research, it was possible to observe that the application of a nutrient complex provided an increase in the stem length, diameter, stem weight and consequently in tons of sugarcane per hectare (TCH) variables. It was also observed effect of leaf nutrition on the technological variables Pol, ATR and tons of pol per hectare (TPH), presenting better results when the nutrients association with the ripener, compared to the plant regulator applied alone. It was concluded that foliar fertilization contributes to higher sucrose synthesis in the stalks and its association with the application of the ripener provides greater sugar accumulation in the plant, consequently resulting in productivity gains and raw material quality.

Key words: sugarcane, *saccharum spp.*, hormones, foliar fertilization, sucrose.

2.1 Introdução

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, sendo esta uma das principais culturas agrícolas no país, com uma área cultivada de aproximadamente 9 milhões de hectares, o que representa 32% da área cultivada no mundo (FAO, 2018).

A produção de cana-de-açúcar no Brasil realizada na última safra 2018/2019, foi de 620,33 milhões de toneladas (CONAB, 2019). Estimativas indicam que será necessário produzir aproximadamente 945 milhões de toneladas por safra, para atender à crescente demanda mundial de açúcar e etanol até 2030 (EPE, 2018). Contudo, para atingir tais níveis de produção, o setor sucroenergético necessita aumentar a produtividade média de cana-de-açúcar, que vem passando por um período de estabilidade ao longo dos últimos anos, com resultados próximos a 75 t ha⁻¹, valores considerados baixos frente ao potencial produtivo da cultura, que pode alcançar patamares de 150 t ha⁻¹ (OLIVEIRA et al., 2001).

Diante da necessidade de elevar a produtividade média do setor, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas buscando novas práticas no manejo da cultura. Visando contribuir com o crescimento da produtividade, o fornecimento de estimulantes vegetais (hormônios) e nutrientes pode ser uma alternativa viável para se obter ganhos de produção e qualidade da matéria prima. Essas substâncias aplicadas via foliar promovem alteração nos processos metabólicos e estruturais, resultando em incrementos no teor de sacarose, precocidade da maturação e aumento de produtividade das culturas (MARTINS; CASTRO, 1999; CAPUTO et al., 2007).

Os hormônios vegetais, também conhecidos como estimulantes, bioestimulantes ou fito-hormônios, são eficientes quando aplicados em doses reduzidas, favorecendo o crescimento e o desenvolvimento da planta, mesmo sob condições ambientais adversas (CASILLAS et al., 1986). Os hormônios atuam na síntese de proteínas, enzimas e outras substâncias que vão atuar diretamente na resposta das plantas à sua aplicação (RODRIGUES, 1995). Ao ocorrer a percepção do estímulo hormonal, altera-se a atividade de enzimas específicas e processos metabólicos, resultando em células fisiológica e morfologicamente diferentes, onde os hormônios aliados à fatores ambientais, interagem para criar órgãos ou alterações metabólicas diferentes (SALISBURY; ROSS, 2012).

As auxinas, giberelinas e citocininas são hormônios promotores do desenvolvimento, com suas funções ligadas ao crescimento vegetativo. A principal auxina existente é o ácido indolil-3-acético (AIA), embora existam outras como ácido indol-3-butírico (IBA), entre outras (RODRIGUES; LEITE, 2004). Este grupo de hormônios atua na indução do alongamento e divisão celular das regiões subapicais, pois estão envolvidas na incorporação de materiais na parede celular através do aumento da sua plasticidade (TAIZ; ZEIGER, 2004).

As giberelinas atuam no crescimento, no desenvolvimento reprodutivo, influenciam a transição do estado juvenil para maduro e no comprimento dos internódios, área foliar e acúmulo de matéria seca (STEFANINI et al., 2002). Em cana-de-açúcar, quando aplicadas via foliar, as giberelinas contribuem com o aumento da síntese de sacarose e retardam a senescência das folhas (CAMILI, 2007). Assim como as auxinas e giberelinas, as funções das citocininas estão relacionadas à divisão, alongamento e diferenciação celular, mobilização de nutrientes, retardamento da senescência de folhas, além de atuar na síntese de proteínas, inibe a formação de radicais livres e a degradação da clorofila, contribuindo com a síntese de carboidratos (CASTRO; VIEIRA, 2001b; COLL et al., 2001; DAVIES, 2004).

A ação dos hormônios vegetais e suas devidas funções nas plantas, podem ser influenciadas por diversos fatores, dentre eles, a disponibilidade de nutrientes, ou seja, a adubação adequada é fundamental para obtenção de maiores resultados (ORLANDO FILHO, 1993). Os macros e micronutrientes desempenham funções importantes no crescimento vegetativo, atuando como ativadores ou constituintes de enzimas que participam do processo fotossintético, influenciando positivamente a taxa de fotossíntese líquida e conseqüentemente aumentando a síntese, transporte e acúmulo de sacarose (LEITE et al., 2015).

O nitrogênio (N) atua diretamente na capacidade fotossintética da folha, também é constituinte de todos aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos e integra estruturas de enzimas como a ribulose-1,5-bifosfato carboxilase (Rubisco), entre outras enzimas que contribuem no aumento da fotossíntese (FAGAN et al., 2016; TAIZ; ZEIGER, 2004; GASTAL; LEMAIRE, 2002). Assim como o nitrogênio, os micronutrientes exercem funções específicas como ativadores enzimáticos nos processos relacionados a síntese de sacarose.

Embora o manejo da cultura com aplicação foliar de bioestimulantes e nutrientes no final do ciclo vegetativo possa incrementar a produção de cana-de-açúcar, deve-se buscar uma matéria prima rica em sacarose para tornar viável seu cultivo. Para isso, a aplicação de maturadores se tornou indispensável quando se busca produtividade de açúcar, resultante de sua função em alterar o metabolismo da planta, paralisando seu crescimento vegetativo e induzindo a translocação e armazenamento dos açúcares sintetizados, principalmente a sacarose, nos colmos das plantas, oferecendo para a indústria uma matéria prima de qualidade (ALMEIDA; LEITE; SOUZA, 2005; CAPUTO et al., 2008).

Por tudo isso, espera-se que a aplicação via foliar de hormônios vegetais associados a um complexo de nutrientes proporcionará melhoria no metabolismo da fotossíntese e, conseqüentemente, incremento na produção e síntese de sacarose pela planta. A utilização de um maturador conjuntamente a essa aplicação de hormônios e nutrientes, pode potencializar o acúmulo de sacarose nos colmos, resultando em maior produção e qualidade da matéria prima. Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito do fornecimento de hormônios vegetais associados a nutrientes via foliar, e seus efeitos associados ao maturador em pré-colheita da cana-de-açúcar, na qualidade tecnológica e produtividade de colmos.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Localização e caracterização das áreas experimentais

O presente trabalho foi constituído por três campos experimentais, localizadas nos municípios de Luis Antônio/SP, Pontal/SP e Santa Maria da Serra/SP. Os experimentos foram instalados em áreas comerciais de cana-de-açúcar, com um bom estande de plantas, que apresentavam índice de falhas de 6%, segundo metodologia proposta por STOLF (1986) que considera falha um espaço a partir de 0,50m na linha. Essa porcentagem de falhas das áreas as classifica como áreas de excelente qualidade de plantio e uniformidade. As áreas experimentais foram definidas em acordo com a equipe técnica da respectiva usina, e as características referentes a localização, tipo de solo, clima e outros atributos encontram-se no Quadro 1.

As variedades utilizadas nos respectivos trabalhos foram definidas de acordo com o manejo de colheita, onde buscou-se selecionar variedades de ciclo precoce e colheita no início de safra, suas características encontram-se no “Anexo B” deste trabalho.

Quadro 1 - Características das localidades e climas das áreas dos três experimentos

Local*	Luís Antônio-SP	Pontal-SP	Sta. Maria da Serra-SP
Latitude	21°33'03.2"S	21°02'06.0"S	22°34'18.8"S
Longitude	47°49'48.4"W	48°05'18.6"W	48°13'28.6"W
Altitude	606	508	492
Solo	AQ Neossolo Quartzarênico	LVd Latossolo Vermelho Eutrófico	AQ Neossolo Quartzarênico
Ambiente de produção	E	C	E
Temperatura média anual (°C)	21,2	22,3	20,8
Clima - Classificação Köppen e Geiger	Cwa	Aw	Cfa
Pluviosidade média anual (mm)	1429	1433	1270
Variedade	RB 85 5156	RB 85 5453	RB 96 6928
Espaçamento (m)	1,50	0,9 x 1,50	0,9 x 1,50
Corte	2º	3º	1º
TCH Realizado 2017	112	128	120
TCH Realizado 2018	91	102	101

* Classificação climática Köppen e Geiger de acordo com Alvares et al. (2018), (°C) Grau Celsius, (mm) milímetro.

Visando calcular o balanço hídrico ao longo do ciclo da cultura nos anos que antecederam os experimentos, foram coletados dados de temperatura e pluviosidade nos anos de 2016 e 2017, respectivamente.

Figura 1 – Balanço hídrico anual durante o ciclo da cultura em Luis Antonio/SP

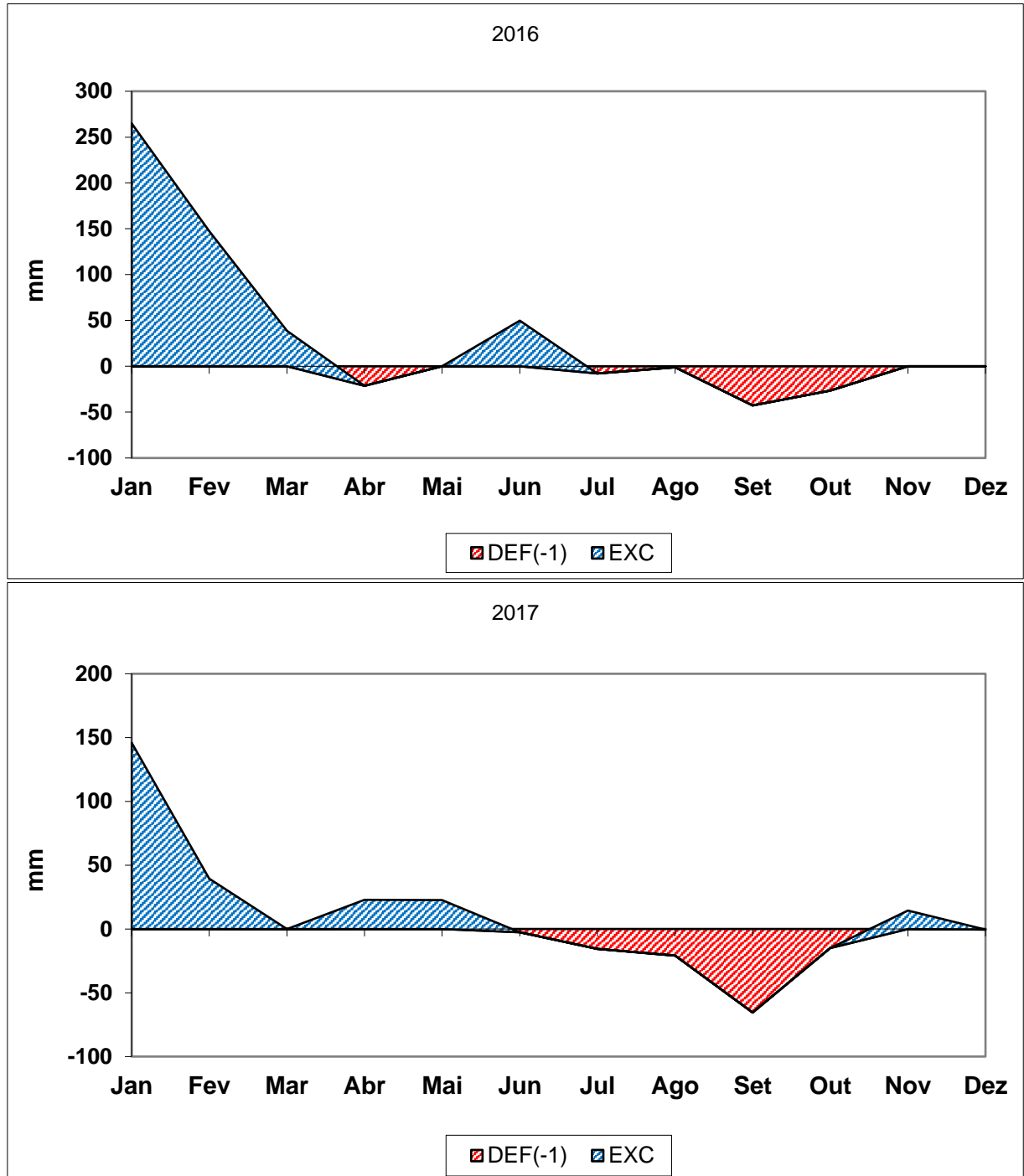


Figura 2 – Balanço hídrico anual durante o ciclo da cultura em Pontal/SP

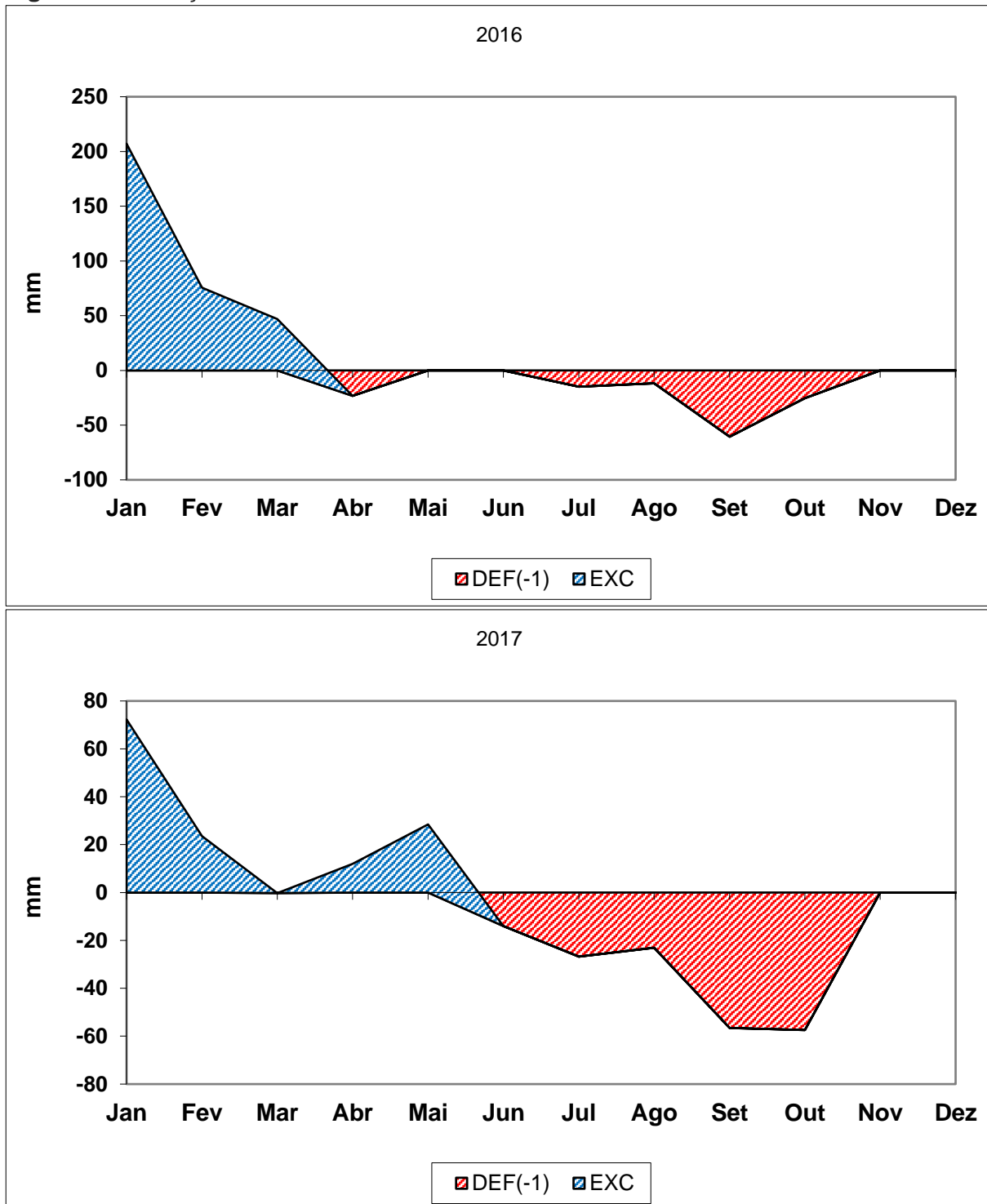
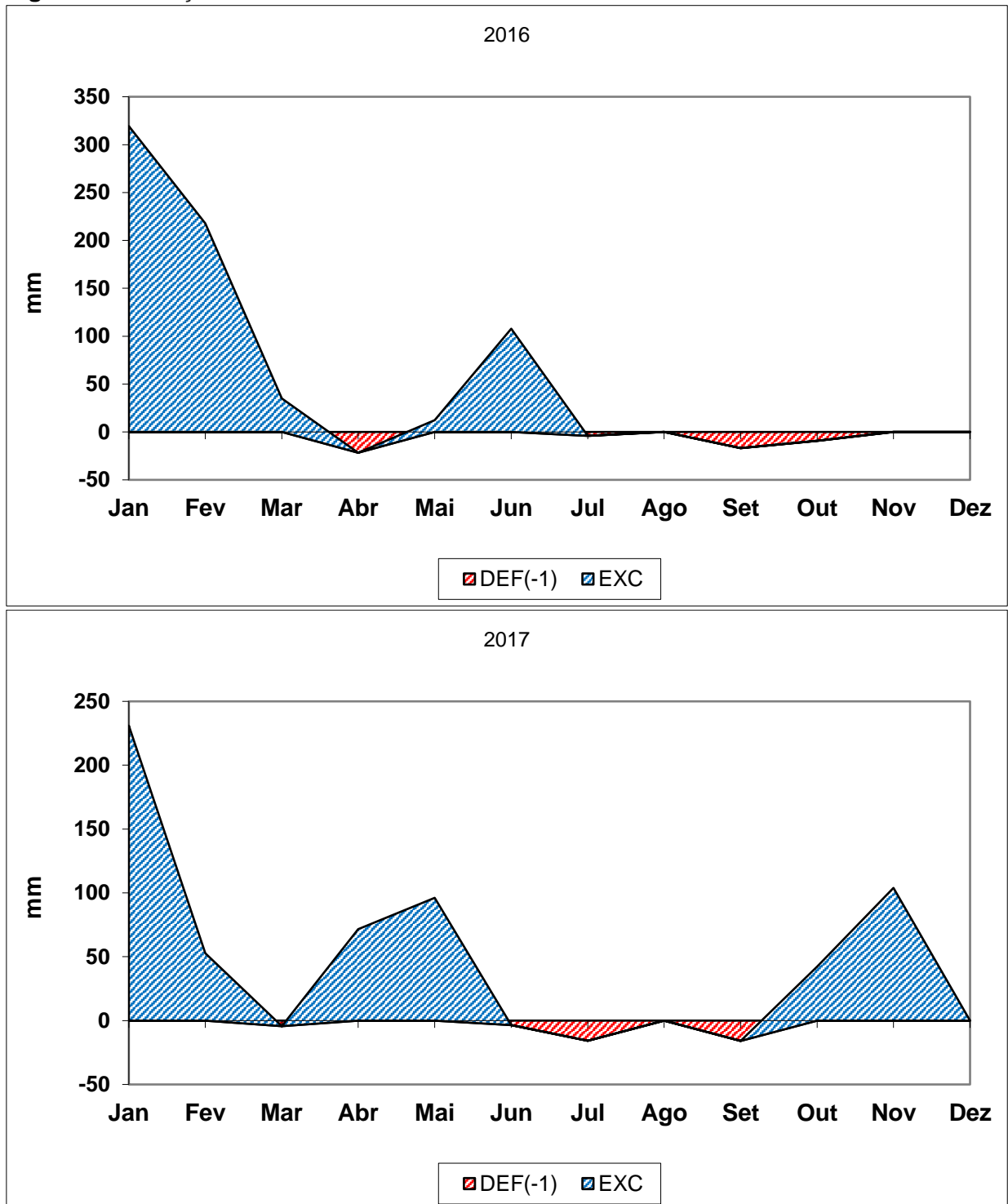


Figura 3 - Balanço hídrico anual durante o ciclo da cultura em Santa Maria da Serra/SP



Durante o período do experimento, foram registrados os dados de pluviosidade e temperatura média entre as datas de aplicação e avaliação, assim foram obtidos os valores médios durante o ciclo da cultura desde o plantio, esses dados encontram-se nos Quadros 2 e 3.

Quadro 2 - Precipitação pluvial no período de condução dos experimentos - 2017 e 2018

Período	Luis Antônio/SP		Pontal/SP		Santa Maria da Serra/SP	
	Precipitação Pluvial (mm)					
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Da última colheita até 1ª aplicação	1148	784	1201	948	1235	1062
Entre a 1ª e 2ª aplicação	205	124	220	99	161	104
Entre a 2ª aplicação até a colheita	81	61	62	25	192	37
Total	1434	969	1483	1072	1588	1203

Quadro 3 - Temperatura média no período de condução dos experimentos - 2017 e 2018

Período	Luis Antonio/SP		Pontal/SP		Santa Maria da Serra/SP	
	Temperatura média (C°)					
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Da última colheita até 1ª aplicação	21,5	21,9	22,1	22,0	21,2	23,1
Entre a 1ª e 2ª aplicação	21,0	22,4	21,8	21,9	22,4	22,2
Entre a 2ª aplicação até a colheita	19,3	21,8	21,1	22,2	20,6	22,6
Média	21,1	22,2	22,0	22,6	21,7	22,7

Em cada área experimental foi realizada a caracterização da fertilidade do solo (Quadros 4, 5 e 6) por meio de amostragem em diferentes profundidades de acordo com a metodologia proposta por Raji et al (2001). As aplicações de insumos em cada área experimental antes do início do presente trabalho, visando controle de pragas, doenças, plantas invasoras, adubação de plantio e tratos culturais foram realizadas de acordo com o manejo recomendado para a cultura da cana-de-açúcar. Os resultados das análises de fertilidade do solo, por local, encontram-se a seguir nos Quadros 5, 6 e 7. Para análise interpretativa dos resultados foi utilizada a faixa de interpretação do teor de micronutrientes e macronutrientes do solo (Quadro 7) proposta por Otto et al., (2014).

Quadro 4 - 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 5 - Atributos químicos do solo, antes da instalação do experimento em Pontal – SP, 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 Rajj et al. (2001). *MO - Matéria orgânica, CTC - Índice de saturação, SB - saturação por bases.

Quadro 6 - 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 7 – Faixas de interpretação do teor de micro e macronutrientes no solo

Nível	M.O.	B	Zn	Cu	Fe	Mn
	g/kg			mg/dm ³		
Muito baixo	< 10	< 0,1	< 0,3	< 0,2	< 4	< 1,0
Baixo	11 - 15	0,2 - 0,3	0,4 - 0,8	0,3 - 0,5	5 - 8	1,1 - 2,5
Médio	16 - 22	0,4 - 0,6	0,9 - 1,2	0,6 - 0,8	9 - 12	2,6 - 5,0
Alto	23 - 30	0,6 - 1,0	1,3 - 3,0	0,9 - 1,5	13 - 30	5,1 - 10,0
Muito alto	> 31	> 1,0	> 3,1	> 1,6	> 31	> 11,0

	pH CaCl ₂	V	P resina	S	K	Ca	Mg
		%	mg/dm ³			mmol/dm ³	
Muito baixo	< 4,3	< 25	0 - 7	< 5	0 - 0,7	< 8	< 5
Baixo	4,4 - 5,0	25 - 40	8 - 15	6 - 10	0,8 - 1,5	9 - 15	6 - 8
Médio	5,1 - 5,5	41 - 55	15 - 25	11 - 15	1,6 - 2,3	16 - 25	9 - 12
Alto	5,6 - 6,0	56 - 70	26 - 40	15 - 30	2,4 - 3,0	26 - 40	13 - 16
Muito alto	> 6,0	> 71	> 41	> 31	> 3,1	> 41	> 17

2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado para os três experimentos foi em blocos casualizados com oito tratamentos em quatro repetições, totalizando 32 parcelas em cada experimento. Os tratamentos estão exemplificados e suas descrições e respectivas siglas encontram-se no Quadro 8.

As parcelas foram constituídas de 10 linhas de 10 metros de comprimento com espaçamento nas entrelinhas de 1,5 metros em Luis Antônio e 0,90m x 1,50m em Pontal e Santa Maria da Serra, considerando-se 02 linhas de bordadura e 08 linhas de área útil, desprezando-se 1 metro na extremidade de cada linha de plantas. Assim, cada parcela apresentou um tamanho total de 135 m² e área útil de 75 m².

Quadro 8 - Descrição dos tratamentos por meio de siglas.

Sigla	Produto*
C	Controle (sem fertilizante foliar e maturador)
FH35	Fertilizante foliar + Hormônio 35 DAC
M35	Maturador 35 DAC
FHM35	Fertilizante foliar + Hormônios + maturador 35 DAC
FH90	Fertilizante foliar + Hormônios 90 DAC
FH90FH35	Fertilizante foliar + Hormônios 90 DAC e fertilizante foliar + Hormônio 35 DAC
FH90M35	Fertilizante foliar + Hormônios 90 DAC e maturador 35 DAC
FH90FHM35	Fertilizante foliar + Hormônios 90 DAC e fertilizante foliar + Hormônios + maturador 35 DAC

*Fertilizante Foliar – g ha⁻¹ N = 65,5, B = 52,4, Mo = 0,19, Zn = 59,0, Cu = 2,23; Hormônios: 0,5 lt/ha = (cinetina) 0,09 g/l; (ácido giberélico) 0,05 g/l; (ácido 4-indol-3-ilbutírico) 0,05 g/l; Maturador – Sulfometuron-Methyl 750 = 30 g i.a. ha⁻¹; Número médio em DAC – Dias Antes da Colheita.

Em cada aplicação do adubo foliar, o fornecimento dos nutrientes se deu através do produto comercial Mover[®], que apresenta em sua composição a seguinte quantidade dos respectivos nutrientes, em g ha⁻¹: N = 65,5, B = 52,4, Cu = 2,22, Mo = 0,19 e Zn = 58,9.

Para a aplicação dos hormônios vegetais, utilizou-se o produto Stimulate[®], composto por ácido 4-indol-3-ilbutílico (0,05 g L⁻¹), ácido giberélico (0,05 g L⁻¹) e cinetina (0,09 g L⁻¹). Nos tratamentos onde foi realizada a aplicação do maturador, o produto utilizado foi o sulfometuron-metil 20 g i.a. ha⁻¹, do qual o nome comercial é Curavial[®]. As doses aplicadas foram determinadas seguindo recomendação técnica do fabricante.

2.2.3 Instalação e condução dos experimentos

Os ensaios foram instalados por dois anos consecutivos (2017 e 2018), no mesmo período do ano (fevereiro a maio), com a primeira aplicação ocorrendo no início de fevereiro e a segunda aplicação sendo realizada na primeira semana de abril. As avaliações biométricas, tecnológicas e coleta de folhas para diagnose foliar foram realizadas na mesma data das aplicações, e a terceira e última avaliação foi realizada no início de maio (Quadros 9 e 10). Os campos experimentais foram conduzidos nos dois anos, nas mesmas localidades e seguindo a mesma sequência de parcelas nas áreas.

A aplicação do adubo foliar, hormônios e maturador ocorreu mediante a utilização de um equipamento costal pressurizado (CO₂) (Figura 1). 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, que alcançava faixa de aplicação de 7,5 m. A pressão de trabalho foi de 2,5 kgf cm² ou 35,6 PSI equivalente para a vazão média de 100 l ha⁻¹. Todas as aplicações foram realizadas em um único dia.

Figura 4 – Visão geral da aplicação e equipamento utilizado



Quadro 9 – Datas da 1ª aplicação, 2ª aplicação e avaliações biométricas, tecnológicas e coleta de folhas – 2017 e 2018

Plantio	Luis Antonio/SP		Pontal/SP		Sta. Maria da Serra/SP	
	25/04/2016		12/05/2016		28/04/2016	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
1ª Av.* e 1ª Aplicação	06/02/2017	02/02/2018	27/02/2017	06/02/2018	15/02/2017	16/02/2018
2ª Av.* e 2ª Aplicação	29/03/2017	02/04/2018	02/05/2017	03/04/2018	12/04/2017	12/04/2018
3ª Avaliação*	04/05/2017	03/05/2018	01/06/2017	10/05/2018	16/05/2017	16/05/2018

*Avaliação: Coleta de dados e folhas para análise foliar

Quadro 10 – Descrição do período de intervalo entre as aplicações – 2017 e 2018.

	Luis Antonio/SP		Pontal/SP		Sta. Maria da Serra/SP	
	DAC*					
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
1ª Aplicação	87	90	94	93	90	89
2ª Aplicação	36	31	30	37	34	34

*DAC – dias antes da colheita

2.2.4 Variáveis analisadas

2.2.4.1 Diagnose Foliar

Para as avaliações dos teores nutricionais foliares, antes das aplicações e das análises biométricas, foram coletadas 20 folhas de cana-de-açúcar por parcela, sempre coletando a primeira folha da haste, conhecida como TVD (Top Visible Dewlap) ou folha +1 de acordo com sistema Kuijper (VAN DILLEWIJN, 1952), aproveitando-se somente o terço médio foliar, descartando-se o ponteiro e a base da folha. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos sob baixa temperatura e, precedendo a análise, os materiais vegetais foram lavados e depositados em sacos de papel para secagem.

Após a secagem as amostras foram inseridas em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 65°C, por 72 horas, até atingirem peso constante e, na sequência, o material foi moído em moinho tipo Willey, em peneira com malha de 1 mm de diâmetro, para avaliação dos teores nutricionais dos macro e micronutrientes, conforme metodologia descrita por Malavolta (1997).

Figura 5 – Coleta de material para diagnose foliar



2.2.4.2 Variáveis biométricas

As análises biométricas foram realizadas de acordo com a metodologia proposta por Martins e Landell (1995). Foram realizadas três avaliações, a primeira ocorreu na instalação dos experimentos, ou seja, na mesma data da primeira aplicação, a segunda foi realizada 60 dias após a primeira juntamente com a 2ª aplicação e última na colheita do experimento, em média 35 dias após a 2ª avaliação/aplicação.

Para avaliação e obtenção dos dados referentes às variáveis comprimento, diâmetro e peso de colmos, foram coletados 20 colmos entre as duas linhas centrais de cada parcela, totalizando 10 colmos coletados em cada uma das linhas. As variáveis analisadas foram:

- a) Número de colmos por metro: foi realizada por meio da contagem da população em duas linhas centrais de 10 metros em cada parcela, totalizando a contagem em 20 metros lineares por parcela. Assim, para cálculo do valor de colmos por metro linear, dividiu-se a quantidade total contabilizada por 20.
- b) Altura de colmos: a determinação da altura de colmos foi realizada nos 20 colmos coletados das linhas centrais das parcelas, através da medição com trena graduada em centímetros, considerando a distância entre o ponto de corte no solo até a folha +1, segundo classificação de Kuijper (VAN DILLEWIJN, 1952).

c) Diâmetro de colmos: a determinação foi efetuada no terceiro internódio da base para o ápice de cada um dos 20 colmos coletados, através da utilização de um paquímetro digital com a leitura realizada em milímetros.

d) Peso de colmos: após a determinação dos valores de comprimento e diâmetro, os colmos coletados foram submetidos ao desponte na altura da gema apical e então amarrados, e efetuou-se a pesagem do feixe de cana com auxílio de uma balança digital. A partir do valor total de peso, dividiu-se o mesmo por 20 para obter o peso unitário de colmos.

Para o cálculo de estimativa da produtividade (TCH) era necessário obter um valor referente à densidade de colmos, para isso colocou-se água à um recipiente com volume conhecido e graduado, e adicionou-se uma porção de 10 colmos coletados aleatoriamente nas parcelas e, a partir do deslocamento de água, foi determinado a densidade. 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).

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

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

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 E é o espaçamento entre sulcos (m).

Figura 6 – Aferição de altura de plantas – análises biométricas



2.2.4.3 Variáveis tecnológicas

Para determinação das variáveis tecnológicas, foram utilizados os 20 colmos coletados para análises biométricas, já realizado o corte do ponteiro na altura da gema apical, e encaminhado para os laboratórios tecnológicos das respectivas usinas onde o trabalho foi desenvolvido. As análises tecnológicas foram realizadas conforme o Sistema de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose (SPCTS) e atualizações semestrais do CONSECANA. As determinações das variáveis seguiram metodologia proposta por Fernandes (2003), e são descritas a seguir:

a) Pol cana (%) ou *PCC*: representa a porcentagem aparente de sacarose contida numa solução de açúcares. A sacarose é o principal parâmetro de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar e refere-se ao açúcar diretamente cristalizável no processo de fabricação (FERNANDES, 2003). A pol pode ser obtida através da seguinte fórmula: $PCC (Pol \% Cana) = Pol \% Caldo * (1 - 0,01 * Fibra) * C$, onde a Pol % Caldo é a sacarose aparente no caldo (expressa em porcentagem) e determinada através de sacarímetro digital. O denominador C é o coeficiente de transformação da pol do caldo extraído em pol do caldo absoluto, e calculado pela seguinte equação: $C = 1,0313 - 0,00575 * Fibra$.

b) Pureza do caldo (%): expressa a porcentagem de sacarose (pol) contida nos sólidos solúveis (brix). Pode ser determinada através da fórmula: P (Pureza) = $(Pol \% \text{ caldo} / Brix \% \text{ caldo}) * 100$. Onde o Brix % caldo refere-se aos sólidos solúveis no caldo (expresso em porcentagem), determinado em refratômetro digital de leitura automática.

c) AR cana (%): os açúcares redutores (AR) atribuem-se aos monossacarídeos (glicose e frutose) contidos no caldo e expressos em porcentagem. Pode-se calcular o AR mediante a seguinte equação: $(AR \% \text{ cana}) = AR \% \text{ caldo} * (1 - 0,01 * Fibra) * C$, sendo o C o coeficiente descrito anteriormente. O AR % caldo é calculado pela fórmula: $AR \% \text{ caldo} = 3,641 - 0,0343 * P$, onde P é a pureza do caldo representada em porcentagem.

d) Fibra cana (%): a fibra (%) é a matéria insolúvel em água contida na cana. No Sistema de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose (PCTS) a fibra é estimada em função do peso do bagaço úmido ou bolo úmido (PBU) da prensa hidráulica, conforme determinado no Ato 13/83, de 21/04/1983 – IAA, citado por MUTTON (1984) e atualizações do CONSECANA.

d) Açúcar total recuperável (ATR): o ATR da cana é calculado mediante o conhecimento do pol (PCC) e dos açúcares redutores da cana (AR), através da seguinte equação: $ATR = (PCC * 9,5263) + (AR * 9,05)$.

e) Produtividade de açúcar (TPH): para obtenção da produtividade de açúcar por hectare, expressa em toneladas de pol hectare⁻¹ (TPH), foi realizado a multiplicação dos valores de TCH (t ha⁻¹) pelos valores de pol (%), e o resultado dividido por 100.

2.2.5 Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância, obtida utilizando-se o software estatístico AGROESTAT (BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W., 2009). Foi realizado uma análise conjunta dos dados, ou seja, considerando os experimentos como um fator. Dessa forma, os fatores utilizados para análise estatística foram: bloco, tratamentos (controle, F35, M35, FM35, F90, F90F35, F90M35 E F90FM35), experimentos (locais) e interação tratamento x experimentos. Para os fatores tratamentos, experimentos e interação, os dados foram submetidos à comparação de médias pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade.

2.3 Resultados

2.3.1 Diagnose foliar

Tabela 1 – Teores médios foliares de macronutrientes em função da adubação foliar, hormônios e aplicação de maturador em cana-de-açúcar no início de safra

	N (g kg⁻¹)	P (g kg⁻¹)	K (g kg⁻¹)	Ca (g kg⁻¹)	Mg (g kg⁻¹)	S (g kg⁻¹)
Tratamentos						
2017						
C	13,03 a	1,36 ab	12,88 a	1,91 b	1,05 a	1,04 b
FH35	12,43 a	1,42 a	13,27 a	2,14 ab	1,00 a	1,07 ab
M35	11,99 a	1,26 c	13,72 a	2,25 ab	0,94 a	1,12 ab
FHM35	12,70 a	1,26 c	13,66 a	2,18 ab	0,93 a	1,15 a
FH90	11,80 a	1,36 ab	14,27 a	2,04 ab	0,94 a	1,08 ab
FH90FH35	12,57 a	1,38 ab	14,04 a	1,98 b	0,93 a	1,07 ab
FH90M35	13,60 a	1,36 ab	13,17 a	2,41 a	0,99 a	1,13 ab
FH90FHM35	13,31 a	1,34 b	13,14 a	2,26 ab	1,00 a	1,08 ab
Local						
Luis Antonio	13,90 a	1,25 b	11,94 b	2,61 a	1,49 a	0,98 b
Pontal	10,02 b	0,96 c	17,69 a	1,66 c	0,65 c	1,36 a
Sta. Maria da Serra	14,10 a	1,82 a	10,92 c	2,18 b	0,78 b	0,94 b
Fonte de Variação						
Probabilidade de F						
Blocos	<0,0001	0,0476	0,0005	<0,0001	<0,0001	0,0338
Tratamentos (T)	0,5562	0,0033	0,4111	0,2532	0,4225	0,3430
Local (L)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Interação T x L	0,6452	0,8971	0,1854	0,2042	0,5526	0,4865
Tratamentos						
2018						
C	10,73 a	1,23 a	11,90 c	2,15 abc	0,98 ab	1,08 a
FH35	10,38 a	1,22 a	12,71 abc	1,99 bc	1,04 ab	1,12 a
M35	10,43 a	1,23 a	13,07 ab	2,12 abc	1,10 a	1,17 a
FHM35	10,67 a	1,33 a	12,28 bc	2,32 a	1,05 ab	1,21 a
FH90	9,80 a	1,25 a	12,16 bc	1,94 c	0,93 b	1,18 a
FH90FH35	9,79 a	1,26 a	13,54 a	2,09 abc	1,02 ab	1,10 a
FH90M35	9,98 a	1,24 a	12,54 bc	2,16 abc	0,98 ab	1,07 a
FH90FHM35	10,34 a	1,27 a	12,56 bc	2,24 ab	1,04 ab	1,17 a
Local						
Luis Antonio	10,42 a	1,17 b	11,85 b	1,80 b	1,10 a	0,98 b
Pontal	9,84 a	1,16 b	14,22 a	1,75 b	1,00 b	1,42 a
Sta. Maria da Serra	10,53 a	1,43 a	11,72 b	2,83 a	0,97 b	1,01 b
Fonte de Variação						
Probabilidade de F						
Blocos	<0,0001	0,0011	<0,0001	0,0017	0,0079	0,0138
Tratamentos (T)	0,6162	0,6796	0,0387	0,1209	0,2056	0,4220
Local (L)	0,1529	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0095	<0,0001
Interação T x L	0,3104	0,1577	0,7878	0,8768	0,9618	0,7995

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade.

Tabela 2 – Teores médios foliares de micronutrientes em função da adubação foliar, hormônios e da aplicação de maturador em cana-de-açúcar

	Fe (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)
Tratamentos			2017		
C	83,57 a	3,35 b	17,25 ab	32,14 a	11,18 a
FH35	75,89 a	4,12 a	16,26 ab	27,30 a	10,91 a
M35	80,77 a	3,71 ab	14,56 b	30,03 a	11,67 a
FHM35	85,46 a	3,76 ab	33,05 a	33,83 a	11,95 a
FH90	87,73 a	3,61 ab	25,14 ab	33,65 a	11,50 a
FH90FH35	76,88 a	3,66 ab	17,68 ab	29,27 a	11,02 a
FH90M35	89,13 a	3,71 ab	20,05 ab	31,26 a	11,41 a
FH90FHM35	77,00 a	3,86 ab	21,97 ab	33,82 a	11,36 a
Local					
Luis Antonio	62,78 b	3,88 a	17,25 b	43,99 a	11,79 a
Pontal	112,89 a	3,36 b	14,83 b	21,18 c	10,31 b
Sta. Maria da Serra	70,49 b	3,94 a	30,15 a	29,07 b	12,03 a
Fonte de Variação			Probabilidade de F		
Blocos	0,5790	<0,0001	0,0045	0,0022	<0,0001
Tratamentos (T)	0,8828	0,2418	0,4834	0,4171	0,9799
Local (L)	<0,0001	0,0036	0,0243	<0,0001	0,0419
Interação T x L	0,1870	0,5700	0,0410	0,1530	0,2840
Tratamentos			2018		
C	112,06 ab	4,51 ab	13,85 b	52,30 a	13,16 b
FH35	129,39 a	5,00 ab	16,92 ab	48,51 a	13,84 b
M35	122,46 ab	3,98 b	14,93 ab	54,57 a	13,47 b
FHM35	101,41 b	5,78 a	18,53 a	55,07 a	15,76 a
FH90	124,10 ab	4,29 b	13,57 b	48,21 a	12,42 b
FH90FH35	107,61 ab	4,07 b	18,02 ab	50,22 a	13,50 b
FH90M35	103,25 b	4,92 ab	13,94 b	48,49 a	13,10 b
FH90FHM35	120,46 ab	5,00 ab	16,54 ab	61,40 a	14,10 ab
Local					
Luis Antonio	108,91 b	4,59 ab	14,35 b	29,62 c	11,05 c
Pontal	134,48 a	4,11 b	14,49 b	48,85 b	16,10 a
Sta. Maria da Serra	101,89 b	5,39 a	18,52 a	78,57 a	13,85 b
Fonte de Variação			Probabilidade de F		
Blocos	0,0149	0,0005	0,1481	0,6674	0,0041
Tratamentos (T)	0,2236	0,1826	0,1764	0,8240	0,0428
Local (L)	0,0012	0,0181	0,0089	<0,0001	<0,0001
Interação T x L	0,3490	0,1282	0,0323	0,3799	0,4503

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade.

Analisando os teores foliares de macronutrientes (Tabela 1), somente para o P, em 2017, é que houve diferença entre os tratamentos aplicados. Já no segundo ano de pesquisa, foi observado efeito dos tratamentos apenas para K (Tabela 1). Contudo, nota-se que ocorreu efeito dos locais (L) sobre todos os nutrientes, nos dois anos de pesquisa, mostrando diferença entre as áreas experimentais.

Considerando os teores nutricionais adequados para a cultura da cana-de-açúcar, segundo Raji et al. (1997), é possível observar que, em ambos os anos de experimentação, os teores de N, P e S encontravam-se abaixo dos teores mínimos recomendados, mantendo o padrão observado mesmo com a adubação foliar.

Com relação ao resultado da diagnose foliar de micronutrientes (Tabela 2), a análise de variância mostra que, em 2017, não houve efeito dos tratamentos sobre os teores de micronutrientes. Em 2018, somente o B apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Semelhante aos resultados de macronutrientes, ocorreu efeito dos locais (L) em todos os micronutrientes, nos dois anos de estudo (Tabela 2). Analisando a recomendação adequada de teores de micronutrientes para a cultura (Tabela 3), apenas o Cu apresentou teores abaixo da faixa ideal, nos dois anos de pesquisa.

Tabela 3 – Teores médios foliares de macronutrientes em função da adubação foliar e da aplicação de maturador em cana-de-açúcar

Cultura	Teores foliares					
	Macronutrientes (g/kg)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	18 - 25	1,5 - 3,0	10 - 16	2,0 - 5,0	1,0 - 2,5	1,2 - 2,0
Cana-de-açúcar	Micronutrientes (mg/kg)					
	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	5 - 15	5 - 15	40 - 250	25 - 100	0,5 - 2,0	10 - 30

2.3.2 Análises biométricas

Analisando os resultados das avaliações biométricas (Tabela 4), a análise conjunta de dados nos mostra que as variáveis altura, diâmetro, peso de colmos e, conseqüentemente, TCH foram influenciadas pelos tratamentos (T), nos dois anos de pesquisa.

Tabela 4 – Número de colmos, comprimento, diâmetro, peso e produção de colmos (TCH) de cana-de-açúcar em resposta à aplicação foliar de nutrientes, hormônios e maturador

	Nº Colmos (colmos m⁻¹)	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	Peso de Colmos (kg)	TCH (t ha⁻¹)
2017					
Tratamentos					
C	10,9 a	247 d	27,41 d	1,54 e	117 e
FH35	10,5 a	255 bc	27,78 bcd	1,63 cd	124 cd
M35	10,6 a	244 d	27,50 d	1,52 e	116 e
FHM35	11,2 a	252 c	27,64 cd	1,59 d	121 d
FH90	11,0 a	259 ab	28,03 abc	1,68 ab	128 b
FH90FH35	10,6 a	262 a	28,29 a	1,74 a	133 a
FH90M35	10,6 a	256 bc	28,13 ab	1,67 bc	128 bc
FH90FHM35	10,8 a	261 a	28,23 a	1,72 ab	131 ab
1ª Avaliação*	10,7	185	26,32	1,05	80
Local					
Luis Antonio	13,4 a	242 b	26,90 c	1,59 c	121 c
Pontal	10,7 b	232 c	30,15 a	1,83 a	140 a
Sta. Maria da Serra	8,6 c	280 a	27,45 b	1,73 b	132 b
Fonte de Variação			Probabilidade de F		
Blocos	<0,0001	0,4905	0,2352	0,1038	0,1115
Tratamentos (T)	0,7680	<0,0001	0,0016	<0,0001	<0,0001
Local (L)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Interação T x L	0,0009	1,0000	0,9079	0,9993	0,9993
2018					
Tratamentos					
C	9,92 a	236 cd	27,11 cd	1,41 ef	107 ef
FH35	10,1 a	243 b	27,15 cd	1,45 cd	111 cd
M35	10,1 a	233 d	27,07 d	1,39 f	106 f
FHM35	10,2 a	239 bc	27,17 bcd	1,43 de	109 de
FH90	10,1 a	242 b	27,53 ab	1,49 bc	113 bc
FH90FH35	10,1 a	250 a	27,47 abc	1,53 a	117 a
FH90M35	10,1 a	243 b	27,33 abcd	1,47 cd	112 cd
FH90FHM35	10,1 a	244 b	27,63 a	1,51 ab	115 ab
1ª Avaliação*	10,2	196	26,44	1,11	85
Local					
Luis Antonio	12,3 a	203 c	26,64 b	1,26 c	96 c
Pontal	9,31 b	240 b	27,84 a	1,38 b	106 b
Sta. Maria da Serra	8,2 c	280 a	26,57 c	1,48 a	113 a
Fonte de Variação			Probabilidade de F		
Blocos	0,2830	0,0484	0,1568	0,0554	0,0490
Tratamentos (T)	0,9908	0,0003	0,0410	<0,0001	<0,0001
Local (L)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Interação T x L	0,3081	0,9996	0,9885	1,0000	1,0000

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade.

*Biometria inicial para caracterização da área, valores de referência no início do experimento.

Nota-se também que os tratamentos que proporcionaram os melhores resultados para as variáveis altura, diâmetro e peso de colmos foram FH90FH35 e FH90FHM35, onde ocorreram duas aplicações do complexo nutricional e hormônios vegetais. Conseqüentemente, em 2017, esses tratamentos (FH90FH35 e FH90FHM35) proporcionaram os melhores resultados em TCH com 133 e 131 toneladas de cana ha^{-1} (Tabela 4), superando o tratamento Controle em 16 e 14 toneladas, respectivamente, demonstrando o efeito positivo da adubação foliar e hormonal no incremento de produção. Em 2018, a mesma tendência de resultados foi observada, onde os tratamentos FH90FH35 e FH90FHM35 resultaram nos maiores valores de TCH, com 117 e 115 toneladas de cana ha^{-1} , apresentando ganhos de 10 e 8 toneladas, respectivamente, sobre o tratamento Controle (107 t ha^{-1}). Entretanto, os valores foram inferiores devido ao menor volume pluviométrico ocorrido no segundo ano de pesquisa, que pode ter influenciado no desenvolvimento da planta.

2.3.3 Análises tecnológicas

Sobre as variáveis tecnológicas (Tabela 5), é possível observar que houve efeito dos tratamentos (T) em todas as variáveis analisadas (fibra, pureza, AR, pol e ATR), nos dois anos de experimento. Com relação às variáveis pol e ATR (Tabela 5), os tratamentos que ocasionaram maiores resultados foram M35, FHM35, FH90M35 e FH90FHM35, os quais receberam aplicação do maturador. Esse comportamento pode ser observado nos dois anos de pesquisa e, entre esses tratamentos destacam-se aqueles que receberam a nutrição foliar associada aos hormônios vegetais com 90 DAC (dias antes da colheita), FH90M35 e FH90FHM35, com valores de ATR de 147 e 148, respectivamente, em 2017 e 153 no ano de 2018. Assim como ocorreu com as variáveis biométricas, as análises tecnológicas mostraram efeito do clima sobre os resultados onde, em 2018, com redução da pluviosidade e condições favoráveis a maturação natural, os valores de ATR foram superiores aos observados em 2017 (Tabela 5).

A variável TPH é resultado do produto da multiplicação entre os valores obtidos entre as variáveis TCH e pol, dessa forma é possível afirmar que o tratamento FH90FHM35 resultou nos maiores valores em toneladas de pol por

hectare, em 2017 e 2018, com 19,6 e 17,8 toneladas de pol ha⁻¹(Tabela 5), respectivamente.

Tabela 5 – Fibra, pureza, AR, pol, ATR e TPH de cana-de-açúcar em resposta à aplicação foliar de nutrientes, hormônios e maturador

Fatores	Fibra (%)	Pureza (%)	AR (%)	Pol (%)	ATR (kg ton cana ⁻¹)	TPH (t pol ⁻¹)
Tratamentos						
2017						
C	11,3 bc	87,1 d	0,56 a	14,1 c	140 d	16,5 e
FH35	11,1 cd	87,6 bcd	0,55 ab	14,6 b	145 b	18,1 c
M35	11,2 bcd	88,4 ab	0,52 bc	15,1 a	148 a	17,5 d
FHM35	11,4 ab	88,4 ab	0,52 bc	15,0 a	148 a	18,2 c
FH90	11,6 a	88,5 ab	0,51 c	14,7 b	144 bc	18,8 b
FH90FH35	11,3 bc	87,3 cd	0,56 a	14,4 b	142 c	19,1 ab
FH90M35	11,4 abc	89,0 a	0,50 c	15,0 a	147 a	19,1 ab
FH90FHM35	10,9 d	88,3 abc	0,53 abc	15,0 a	148 a	19,6 a
Local						
Luis Antonio	11,1 b	88,1 a	0,53 a	15,0 a	148 a	18,2 b
Pontal	11,1 b	88,3 a	0,52 a	14,6 b	144 b	20,4 a
Sta. Maria da Serra	11,6 a	87,8 a	0,53 a	14,6 b	144 b	16,5 c
Fonte de Variação						
Probabilidade de F						
Blocos	0,6120	0,8896	0,8226	0,5707	0,5923	0,0395
Tratamentos (T)	0,0109	0,0162	0,0160	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Experimentos (E)	<0,0001	0,3087	0,5506	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Interação T x E	0,6550	0,6126	0,5285	0,9175	1,0000	0,9978
Tratamentos						
2018						
C	12,0 ab	86,3 abc	0,58 abc	14,8 c	146 e	15,8 f
FH35	12,4 a	85,3 c	0,60 ab	14,8 c	147 e	16,3 de
M35	12,0 ab	86,7 a	0,56 c	15,4 a	152 ab	16,2 e
FHM35	12,1 ab	86,5 ab	0,57 bc	15,3 a	151 bc	16,7 d
FH90	11,8 b	85,4 bc	0,60 a	15,1 b	150 cd	17,0 c
FH90FH35	11,8 b	85,9 abc	0,59 abc	15,0 b	149 d	17,5 ab
FH90M35	12,0 ab	86,9 a	0,56 c	15,5 a	153 a	17,2 bc
FH90FHM35	11,8 b	86,6 a	0,57 c	15,5 a	153 a	17,8 a
Local						
Luis Antonio	12,3 a	90,1 a	0,46 c	16,4 a	161 a	15,8 b
Pontal	11,5 b	86,1 b	0,59 b	14,2 c	141 c	15,0 c
Sta. Maria da Serra	12,1 a	82,4 c	0,69 a	14,9 b	148 b	19,6 a
Fonte de Variação						
Probabilidade de F						
Blocos	0,4422	0,0522	0,0231	0,1789	0,0403	0,2300
Tratamentos (T)	0,2522	0,0587	0,0488	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Experimentos (E)	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Interação T x E	0,1683	0,2047	0,2254	0,9961	1,0000	1,0000

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste *t* (LSD) a 5% de probabilidade.

2.4 Discussão

A análise de macro e micronutrientes nas folhas (Tabela 1 e 2) mostrou que apenas os nutrientes P, Ca, S, Cu e Zn apresentaram diferença estatística significativa entre os tratamentos no ano de 2017 e, no segundo ano, somente K, Ca, Fe, Cu e Zn. Dessa forma, é possível observar que os tratamentos não influenciaram nos teores foliares de todos os nutrientes. De maneira geral, segundo os teores adequados recomendados para a cultura da cana-de-açúcar proposto por Spironello et al. (1997), apenas os teores de K, Fe, Zn e B estavam dentro da faixa adequada e, no ano de 2018, apenas K, Fe, Zn, Mn e B. Esses resultados podem ter sido influenciados pelo efeito diluição, onde o crescimento estimulado da planta provoca diluição nas concentrações dos nutrientes (JARREL; BEVERLY, 1981; MISHRA; KURCHANIA, 2001).

A época de coleta das folhas também pode ter afetado os resultados, pois foi realizada no final do ciclo da cultura, já precedendo a fase de maturação, e recomenda-se a coleta para diagnose foliar aos 4 meses após a brotação ou no período de máximo desenvolvimento vegetativo (MALAVOLTA et al., 1997; REIS JR E MONNERAT, 2002; McCRAY et al. 2006).

Analisando as variáveis biométricas (Tabela 4) de modo geral, é possível observar que os tratamentos constituídos de uma primeira aplicação foliar de nutrientes e hormônios (FH90, FH90FH35, FH90M35 e FH90FHM35), aos 90 DAC, proporcionaram resultados maiores para as variáveis de produção (altura, diâmetro, peso de colmos e TCH) nos dois anos de pesquisa, em comparação aos tratamentos que constituíam-se de apenas uma aplicação foliar aos 35 DAC (FH35 e FHM35).

Os resultados positivos da adubação foliar juntamente com a aplicação de hormônios vegetais nas variáveis biométricas podem estar relacionados com a atividade de alguns reguladores vegetais presentes na solução aplicada. Segundo Rodrigues (1995), as auxinas promovem o crescimento da célula pelo aumento da extensibilidade da parede celular e, juntamente com as citocininas, promovem a divisão e a diferenciação celular, controlando a atividade de proteínas específicas. Tem sido proposto que os nutrientes atuam na ativação de enzimas relacionadas à síntese de açúcares e aminoácidos e, associados a fito-hormônios, apresentam efeitos importantes no processo de sinalização em plantas (FORDE, 2002; OKA-

KIRA; KAWAGUCHI, 2006; SAKAKIBARA, 2006). Resultados positivos da aplicação de hormônios vegetais também foram observados por Rosseto et al., (2007a), e Costa (2007) cita que a aplicação de auxina, citocinina e giberelina promoveram incremento de produtividade de colmos em diversas variedades de cana-de-açúcar.

Sobre os tratamentos onde foi aplicado o maturador isolado, os resultados biométricos de altura e peso de colmos, mostram valores inferiores aos obtidos com o tratamento Controle, nos dois anos de experimentos (Tabela 4). Entretanto, esses resultados são compensados nas variáveis tecnológicas (pureza, pol e ATR), onde o maturador direciona os fotoassimilados para acúmulo e consequente melhoria na qualidade da matéria prima. Comparando-se o tratamento Controle com M35, nota-se uma diferença de 3 cm nos valores de altura de colmos, nos dois anos de experimento. A mesma tendência de resultados ocorreu entre os tratamentos FH35 e FHM35, FH90 e FH90M35, e entre FH90FH35 e FH90FHM35, que diferem entre si pela presença do maturador. Dessa forma fica evidente o efeito inibidor de crescimento do sulfometuron metil, também observado por Leite e Crusciol (2008) e Siqueira (2009).

Quando ocorre a associação do maturador aos nutrientes e fito-hormônios, é possível observar um incremento nos valores das variáveis altura e peso de colmos, influenciando diretamente o resultado de produtividade (TCH), nos dois anos de pesquisa (Tabela 4), mostrando que essa associação é benéfica ao crescimento da planta, através do resultado da ação dos nutrientes na síntese de sacarose e, também, na melhora da qualidade tecnológica através da eficiência do maturador em estimular o acúmulo dos açúcares no colmo da planta. Assim como observado por Lingle et al. (2009), os ganhos obtidos em altura e peso mostram que ocorreu uma alteração na anatomia dos colmos, não somente em variáveis de crescimento, mas aumentando também a capacidade de armazenamento de sacarose.

Observando os resultados das análises tecnológicas (Tabela 5), quanto à variável fibra, em 2017, os resultados apresentam diferença significativa entre os tratamentos, com destaque para FH90, FHM35 e FH90M35. Esse incremento no teor de fibra resultante da aplicação de maturadores já foi observado por Leite et al., (2009b), Viana et al., (2008) e Castro et al., (2001). Existe uma correlação negativa entre o teor de fibras e açúcar, principalmente em variedades precoces, que apresentam elevados teores de sacarose e redução no teor de fibra (LEITE et al., 2009; BARBOSA, 2007). Em 2018, não houve influência dos tratamentos (T) nos

resultados de fibra (Tabela 5), porém é possível observar que os valores estão dentro dos teores recomendados para a indústria, entre 11% e 13% (RIPOLI; RIPOLI, 2004).

Sobre a variável pureza, nos dois anos de experimentos, observa-se efeito dos tratamentos (T) nos resultados, e os tratamentos FH90M35, FH90FHM35, FHM35 e M35, apresentaram os melhores resultados (Tabela 5), corroborando com os dados observados por Leite et al., (2009); Fernandes et al., (2002); Castro et al., (2002; Romero et al (2000), onde houve incremento da pureza como resultado da aplicação do sulfometuron metil.

Para o teor de açúcares redutores (AR), os resultados proporcionados pelos tratamentos apresentaram diferença significativa entre si (Tabela 5), nos dois anos de pesquisa, ocorrendo um decréscimo nos valores resultantes dos tratamentos onde foi realizada a aplicação do maturador, indicando incremento de sacarose nos colmos. Por isso, esses resultados são inversamente proporcionais aos valores de pol (Tabela 5), onde o tratamento controle apresentou o menor valor, resultante de menor síntese de frutose e glicose em sacarose, acarretando aumento do teor de AR na planta.

Com relação as variáveis pol e ATR (Tabela 5), de maneira geral, pode-se observar que os maiores valores foram proporcionados pelos tratamentos onde realizou-se aplicação do maturador, nos dois anos de pesquisa, comprovando sua eficiência em direcionar a sacarose sintetizada para acúmulo nos colmos da planta. Analisando os tratamentos nos quais o maturador foi associado, ou não, à aplicação foliar de nutrientes e hormônios, comparando-se os tratamentos C e M35, FHH35 e FHM35, FH90 e FH90M35, e FH90FH35 e FH90FHM35, nota-se incremento nos valores de pol e ATR, onde foi aplicado o maturador, potencializando o acúmulo de sacarose quando aplicado em conjunto com os nutrientes e hormônios. Assim, os maiores valores obtidos de ATR são resultantes dos tratamentos FH90FHM35, FH90M35, FHM35 e M35 em 2017 e, em 2018, FH90FHM35 e FH90M35 (Tabela 5). Esses resultados demonstram o efeito do maturador em alterar o metabolismo da planta visando o acúmulo de sacarose nos colmos, permitindo o manejo da colheita mesmo em condições climáticas favoráveis ao crescimento vegetativo. Diversos trabalhos têm revelado a eficiente ação do Sulfometuron metil em antecipar a colheita da cana-de-açúcar em relação ao controle, mesmo sob condições climáticas

favoráveis ao desenvolvimento vegetativo da planta (CONSTANTIN et al., 2000; ALMEIDA et al., 2003; CAPUTO et al., 2008).

Analisando os resultados de produtividade de açúcar (TPH), é possível observar que o maior valor obtido resultou do tratamento FH90FHM35 (Tabela 5), atingindo 19,6 t pol ha⁻¹ em 2017 e 17,8 t pol ha⁻¹ no segundo ano de experimento, seguido pelo tratamento FH90M35. Todos os tratamentos proporcionaram ganho nos resultados em TPH em relação ao tratamento Controle, com destaque para o tratamento FH90FHM35 que apresentou ganho de 3,1 t pol ha⁻¹ e 2,0 t pol ha⁻¹ em 2017 e 2018, respectivamente.

A variável TPH é dependente dos valores de produtividade (TCH) e pol, dessa forma, como é possível observar na Tabela 4, houve efeito dos tratamentos nos valores de TCH, bem como nota-se na Tabela 5 o efeito dos tratamentos nos valores de pol. Assim, fica evidente a importância da aplicação dos nutrientes e hormônios vegetais para incrementos em produção, bem como a importância do maturador para a melhora da qualidade da matéria prima.

2.5 Conclusões

A aplicação foliar de nutrientes e hormônios, em média aos 90 dias antes da colheita (DAC) e posteriormente aos 35 DAC, aumentou o comprimento, o diâmetro, o peso de colmos e, conseqüentemente, a produtividade de colmos.

O fornecimento de nutrientes e hormônios, via foliar, na fase de maturação, não interfere na eficácia do maturador.

Em início de safra, a aplicação de maturador proporciona melhor qualidade de matéria prima, independente da aplicação foliar de nutrientes e hormônios.

A aplicação foliar de nutrientes e hormônios na fase vegetativa, bem como este manejo associado ao maturador, proporcionou as maiores produtividades de açúcar, com ganhos de até 3,1 t ha⁻¹.

Referências

- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Software AgroEstat**: Sistema de análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, Brasil, 2009.
- CAMILI, E.C. **Ação de bioreguladores na brotação, produção e algumas características físico-químicas de uva do cultivar superior Seedless**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 2007. 206p. Tese de Doutorado em Agronomia.
- CASTRO, P.R.C.; VIEIRA, E.L. Ação de bioestimulante na germinação de sementes, vigor das plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.23, n.2, p.222-228, 2001b.
- COLL, J.B.; RODRIGO, G.N.; GARCIA, B.S. et al. **Fisiologia vegetal**. Madrid: Ediciones Pirâmide, 2001. 662p.
- CONSECANA. **Manual de instruções**. 5. ed. Piracicaba: Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, 2006. 111 p.
- COSTA, A. G. F. **Manejo Fisiológico da cana-de-açúcar**. Stoller do Brasil. Semana da agronomia. Ilha Solteira, 2007. CD-ROM
- COSTA, N.L., DAROS, E. e MORAES, A. Utilização de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **PUBVET**, Londrina, V. 5, N. 22, Ed. 169, Art. 1137, 2011.
- 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.
- DAVIES, P.J. Plant hormones: biosynthesis, signal transduction, action. Dordrecht: **Kluwer Academic Publishers**, 2004. 750p
- FAGAN, E. B. et al. **Fisiologia vegetal: metabolismo e nutrição mineral**. São Paulo: Andrei, 2016. 305 p.
- FORDE, B. G. Local and long-range signaling pathways regulating plant responses to nitrate. **Annual Review of Plant Biology**, v.53, p. 203-224, 2002.

HERVATIN, C. M. **Adução foliar associada à aplicação de maturador na cana-de-açúcar em início de safra**. 2018. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na agricultura) – FCA Unesp – Botucatu, SP, 2018.

JARRELL, W. M.; BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Adv. Agron.**, v. 34, p. 197-224, 1981.

LARA, M.E.B.; GARCIA, M.G.; FATIMA, T.; EHNEB, R.; LEE, T.K.; PROELS, R.; TANNER, W.; ROITSCH, T.; Extracellular invertase is an essential component of cytokinin mediated delay of senescence. **The Plant Cell**, Rockville, v.16; p1276-1287, 2004.

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.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 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 Agrônomo**, 1995. 14 p.

McCRAVY, J.M.; EZENWA, I.V.; RICE, R.W.; LANG, T.A. **Sugarcane Plant Nutrient Diagnosis**. <http://edis.ifas.ufl.edu/sc075> (18 fevereiro 2010). Publicação original: SS-AGR-128 2006 disponível em PDF: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/SC/SC07500.pdf>

MISHRA, J. S; KURCHANIA, S. P Nutrient content in mustard and associated weeds as influenced by nitrogen levels, planting geometry and weed control methods. **Indian J. Plant Physiol.**, v. 6, n. 4, p. 386-389, 2001.

OKA-KIRA, E.; KAWAGUCHI, M. Long-distance signaling to control root nodule number. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 9, p. 496-502, 2006.

REIS JR, R.A. & MONNERAT, P.H. Diagnose nutricional da cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 367-372, 2002.

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

ROITSCH, T; EHNESS, R.; Regulation of source/sink relations by cytokinins. **Journal of Plant Growth Regulations**. Netherlands, v.32; p 359-367, 2000.

ROSSETTO, R. et al. Efeito de biorregulador e de fertilizantes aplicados no plantio da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 11., 2007, Gramado, RS. **Resumo...** Gramado: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 2007.

SAKAKIBARA, H. Cytokinins: activity, biosynthesis, and translocation. **Annual Review of Plant Biology**, v. 57, p. 431-449, 2006.

SALISBURY, F.B. E ROSS, C.W. (2012) - **Fisiologia das plantas**. 4ed. Editora Cengage Learning. São Paulo, 774p.

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

STEFANINI, M.B.; RODRIGUES, S.D.; MING, L.C. Ação de fitorreguladores no crescimento da erva-cidreira-brasileira. **Horticultura Brasileira**, v.20, n. 1, p.18-23, 2002.

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

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

VENTURINI FILHO, W.G.; NOGUEIRA, A.M.P. **Aguardente de cana**. Apostila, 2005. Disponível em:
<<http://dgta.fca.unesp.br/docentes/waldemar/aguardente/Aguardente.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

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

ZHAO, Z.; ANDERSEN, S.V.; LJUNG, K.; DOLEZAL, K.; MIOTK, A.; SCHULTHEISS, S. J.; LOHMANN, J.U; Hormonal control of the shoot stem-cell niche. **Nature**. V. 45, p. 1089-1092, 2010.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adubação foliar com macro e micronutrientes, bem como a aplicação de hormônios e reguladores vegetais, na fase final do ciclo vegetativo e em pré-maturação de cana-de-açúcar se mostrou uma alternativa interessante do ponto de vista agrônomo, resultando em ganhos de produtividade.

Os resultados apresentados no presente trabalho reforçam a importância da utilização dos maturadores em início de safra, independente do manejo nutricional utilizado.

A associação da aplicação foliar de nutrientes e hormônios vegetais, em conjunto com aplicação do maturador, apresentou os maiores resultados quanto as variáveis de produção e qualidade da matéria prima, evidenciando a atuação dos nutrientes na síntese de sacarose e dos maturadores em direcionar os açúcares sintetizados para acúmulo nos órgãos de armazenamento da planta.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, A. G. **Sugarcane physiology**: a comprehensive study of the Saccharum source-to-sink system. Amsterdam: Elsevier, 1973. 725 p
- ANDRADE, L.A. de B. Cultura da cana-de-açúcar. In: CARDOSO, M. das G. (Ed.). **Produção de aguardente de cana-de-açúcar**. 2. ed. rev. eamp. Lavras: UFLA, 2006. cap.1, p.25-67.
- ANDRADE, A.L.B.; CARDOSO, M.B. **Cultura da cana-de-açúcar**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004.
- CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ/FEALQ, 1993. 242p.
- CAPUTO, M.M., BEAUCLAIR, E.G.F., SILVA, M.A. & PIEDADE, S.M.S. (2008). Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, 67, 15-23. <http://dx.doi.org/10.1590/S000687052008000100002>
- CARDOZO, N.P.; SENTELHAS, P.C.; PANOSSO, A.R.; PALHARES, A.; IDE, B.Y. Modeling sugarcane ripening as a function of accumulated rainfall in Southern Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, n. 12, p. 1913-1925, 2015.
- CASTRO, P. R. C. Fisiologia da cana-de-açúcar. In: ENCONTRO DE CANA-DE-AÇÚCAR, **Anais...** São Paulo, 1992. p. 5-8.
- CASTRO, P. R. C. **Fisiologia aplicada à cana-de-açúcar**. Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 2016. 208 p.
- CASTRO, P.R.C.; VIEIRA, E.L. Ação de bioestimulante na germinação de sementes, vigor das plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.23, n.2, p.222-228, 2001b.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira Cana-de-Açúcar Safra 2018/2019, quarto levantamento, abril/2019**. Brasília, 2018. 66 p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/>>. Acesso em: 10 abril 2019.
- COSTA, N.L., DAROS, E. e MORAES, A. **Utilização de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar (Saccharum officinarum L.)**. PUBVET, Londrina, V. 5, N. 22, Ed. 169, Art. 1137, 2011.
- 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.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2005. 380 p

FERNANDES, A.C.; STUPIELLO, J.P.; UCHOA, P.E. de A. Utilização do Curavial para melhoria da qualidade da cana-de-açúcar. **STAB**, v.20, n.4, p.43-46, 2002.

FOLTRAN, G. F. **Aplicação foliar de Silício associado ou não a maturadores em cana-de-açúcar (Saccharum spp.)**. Tese (Doutorado em Agricultura) -Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

HARTMANN, H.T.; KOFRANEK, A.M.; RUBATZKY, V.E. et al. **Plant science: growth, development and utilization of cultivated plants**. New Jersey: Regents Prentice Hall, 2.ed. 1988, 674p.

HUMBERT, R.P. **El cultivo de la caña-de-azúcar**. 6. ed. México: Continental, 1984. 719p.

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., CRUSCIOL, A.C. & SILVA, M.A. Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar após aplicação de reguladores vegetais em meio de safra. **Semina: Ciências Agrárias**, 32, 129-138, 2011. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n1p129>

MCCORMICK, A.J., CRAMER, M.D. & WATT, D.A. (2006). Sink strength regulates photosynthesis in sugarcane. *New Phytologist*, 171, 759-770. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01785.x>

MACHADO, E.C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar In: PARANHOS, S.B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, cap. 1, p. 56-87.

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

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.

MIOCQUE, J. Fenômenos que alteram a fotossíntese da cana. **Stab – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 10, n. 6, p. p 36-38. 1992

- MONTANS, F.M. **Inoculação e aplicação de regulador vegetal na cultura do amendoim cultivado em dois solos de diferentes texturas**. Marília: Universidade de Marília, 2007, 55p. Dissertação de Mestrado em Fitotecnia.
- MORAES, M.A.F.D. **A desregulamentação do setor sucroalcooleiro do Brasil**. Americana - SP, 238 p., 2000.
- MUTTON, M.A. **Modo de ação do sal de isopropilamina de N-(fosfonometil) glicina (glifosate) e efeito maturador na cana-de-açúcar**. In: SEMINÁRIO ROUNDUP EFEITO MATURADOR, 1. 1993, Gurujá. Anais... p. 47-60.
- ORLANDO FILHO, J.; ROSSETO, R.; CASAGRANDE, A.A. Cana-de-açúcar. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. VAN; ABREU, C.A. (Ed). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq; Fapesp; Potafos: 355-368, 2001.
- RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 1995. 99 p.
- 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.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p
- TYMOWSKA-LALANE, Z.; KREIS, M. **The plant invertases: physiology, biochemistry and molecular biology**. Adv. Bot. Res., v.28, p.71-117, 1998
- VALOIS, A.C.C. Cultura de tecidos vegetais. In: CID, L.P.B. **Introdução aos hormônios vegetais**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2000. p.7-18.
- 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

**ANEXO A - Características específicas das variedades utilizadas nos dois experimentos em
Indiaporã e Luís Antônio (2017 e 2018)**

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

* Dados da característica das variedades segundo Daros et al. (2010) e UDOP (2018).

ANEXO B – Características específicas das variedades utilizadas nas três áreas experimentais

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

* Dados da característica das variedades segundo Daros et al. (2010) e UDOP (2018).

**ANEXO C – Insumos aplicados na implantação da cultura da cana-de-açúcar
no ano de 2016 no campo experimental em Indiaporã e Luis Antonio**

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
Diurom 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		
Clorantraniliprole 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
Luis Antonio/SP		
Herbicidas		
Imazapique 700 g kg ⁻¹	11/01/16	0,04 kg
Glifosato 400,80 g kg ⁻¹	11/01/16	0,30 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
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

ANEXO D – Insumos aplicados no ano de 2016 no campo experimental em Pontal e Santa Maria da Serra/SP

Pontal		
Insumo*	Data	Quantidade
Herbicida		
Triflururon 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
Sulfentrazone 500 g l ⁻¹	30/06/16	1,00 l
Hexazinona 132 g kg ⁻¹ + Diuron 468 g kg ⁻¹	30/06/16	1,50 l
Inseticida		
Etiprole 200 g l ⁻¹	20/10/16	2,00 l
Clorantraniliprole 350 g l ⁻¹	16/12/16	0,06 kg
Controle Biológico		
Cotesia flavipes	11/02/16	6,00 copos
Aubos 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
Santa Maria da Serra		
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
Aubos 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.