

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

DIAGNOSE VISUAL E CRESCIMENTO DA CANA-ENERGIA (*Saccharum
spontaneum* L.) SOB DEFICIÊNCIA DE N, P, K, Ca e S

MARIANA CAVALCANTE CHAGAS
Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado
Coorientadora: MSc. Mariana Bomfim Soares

Jaboticabal - SP
1º semestre/2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

DIAGNOSE VISUAL E CRESCIMENTO DA CANA-ENERGIA (*Saccharum
spontaneum* L.) SOB DEFICIÊNCIA DE N, P, K, Ca e S

MARIANA CAVALCANTE CHAGAS
Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado
Coorientadora: MSc. Mariana Bomfim Soares

Trabalho apresentado à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP,
Campus de Jaboticabal, para graduação
em ENGENHARIA AGRONÔMICA.

Jaboticabal - SP
1º semestre/2021

C433d Chagas, Mariana Cavalcante
Diagnose visual e crescimento da cana-energia (*Saccharum spontaneum* L.)
sob deficiência de N, P, K, Ca e S / Mariana Cavalcante Chagas. --
Jaboticabal, 2021
32 p. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) -
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado
Coorientadora: MSc. Mariana Bomfim Soares

1. *Saccharum spontaneum* L.. 2. Macronutrientes. 3. Sintomas. I. Título.

DEPARTAMENTO: Ciências da Produção Agrícola

CERTIFICADO

TRABALHO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

TÍTULO: **DIAGNOSE VISUAL E CRESCIMENTO DA CANA-ENERGIA (*Saccharum spontaneum* L.) SOB DEFICIÊNCIA DE N, P, K, Ca e S**

ACADÊMICO: Mariana Cavalcante Chagas

CURSO: ENGENHARIA AGRONÔMICA

ORIENTADOR: Prof. Dr. Renato de Mello Prado

PERÍODO: Setembro/2020 À Maio/2021

Este trabalho é recomendado para compor a base de dados CAPELO. Sim Não

BANCA EXAMINADORA:

(Nomes)

(Assinaturas)

Presidente

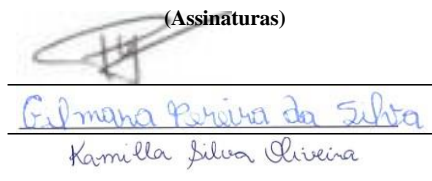
Prof. Dr. Renato de Mello Prado

Membro

Profa. Dra. Gilmara Pereira da Silva

Membro

Ma. Kamilla Silva Oliveira



Jaboticabal 10 / 05 / 2021

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 26 / 07 / 2021



Chefe do Departamento

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a Deus, por tudo o que tenho e tudo o que sou.

A minha família maravilhosa, em especial meus pais, Edilson e Margarida, por nunca terem duvidado de mim, por terem me acompanhado nesse desafio que foi a graduação, pelo amor incondicional, e por me mostrarem todos os dias o verdadeiro significado de família.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Renato de Mello Prado, pela oportunidade desse do experimento e pela orientação. A minha coorientadora, Mariana Bomfim Soares, por ter me acompanhado em cada etapa com muita atenção e paciência.

As meninas das repúblicas “As Coyotes” e “Ouro Fino” por terem me acolhido e dado forças durante a graduação, sem vocês não teria chegado até aqui.

A todas as amigadas que fiz em Jaboticabal por terem participado desse ciclo incrível comigo.

A todos os professores e funcionários da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias pelos aprendizados e dedicação.

DIAGNOSE VISUAL E CRESCIMENTO DA CANA-ENERGIA (*Saccharum spontaneum* L.) SOB DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE N, P, K, Ca e S

RESUMO - A cana-energia aparece como opção para produção mais eficiente de energia renovável por ser uma espécie semelhante a cana-de-açúcar, mas com maior produção de fibra, sendo mais rústica e mais adaptável a situações de estresse. Por conta desse auto potencial da cana-energia é importante conhecer suas maiores limitações nutricionais especialmente em relação aos macronutrientes. Com isso, o trabalho teve como objetivo descrever os sintomas visuais e o crescimento inicial da cana-energia sob deficiência de N, P, K, Ca e S. Para isso, foi feito um experimento em vasos em casa de vegetação da UNESP Campus de Jaboticabal, com seis tratamentos (completo e com deficiências individuais de N, P, K, Ca e S) dispostos em blocos casualizados, com cinco repetições. O fósforo foi o nutriente que mais limitou o crescimento da cana-energia, em sua ausência a altura e diâmetro foram as variáveis mais afetadas.

Palavras-chave: *Saccharum spontaneum* L., macronutrientes, sintomas, deficiência.

VISUAL DIAGNOSIS AND GROWTH OF ENERGY CANE (*Saccharum spontaneum* L.) UNDER N, P, K, Ca e S DEFICIENCY

SUMMARY - Energy cane appears as an option for more efficient production of renewable energy due to its higher fiber production and rusticity which makes this specie more adaptable to stressful conditions. In this sense, it is important to know about energy cane nutritional limitations, especially in the group of macronutrients. The objective of this work was evaluate the initial growth and the visual symptoms of energy cane under N, P, K, Ca and S deficiency. The experiment carried out in a greenhouse at UNESP-Jaboticabal Campus, with six treatments (complete and with individual deficiencies of N, P, K, Ca and S) arranged in randomized blocks, with five repetitions. Phosphorus was the nutrient that most limited the growth of energy cane. In its absence, height and diameter were the most affected variables.

Keywords: *Saccharum spontaneum* L., macronutrients, symptoms, deficiency.

ÍNDICE

RESUMO.....	ii
SUMMARY	iii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Cana-energia	4
2.2. Funções dos nutrientes.....	5
2.3. Diagnose visual.....	6
2.3.1 Nitrogênio (N).....	6
2.3.2 Fósforo (P)	6
2.3.3 Potássio (K).....	7
2.3.4 Cálcio (Ca).....	8
2.3.5 Enxofre (S)	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
4.1 Sintomas de deficiência nutricional em cana-energia.....	12
4.1.1 Deficiência de nitrogênio.....	12
4.1.2 Deficiência de fósforo.....	14
4.1.3 Deficiência de potássio	14
4.1.4 Deficiência de cálcio.....	15
4.1.5 Omissão de enxofre	16
4.2 Crescimento vegetativo da cana-energia	17
4.2.1 Altura	17
4.2.2 Diâmetro	18
4.2.3 Número de perfilhos	19
4.2.4 Área Foliar	19
5. CONCLUSÃO	22
6. LITERATURA CITADA	23

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) e de acordo com o terceiro levantamento da CONAB feito em dezembro de 2020 espera-se para a safra 2020/21 cerca de 665.105 mil toneladas de cana-de-açúcar, indicando aumento de 3,5% em comparação ao total produzido em 2019/20 (CONAB, 2020). A cana-de-açúcar é uma das matérias primas mais utilizadas para produção de biocombustível devido ao seu elevado potencial de acumular biomassa, além do bagaço apresentar alto teor de fibras para a produção de vapor e energia elétrica (GALBIATI, 2010).

Com a crescente demanda por fontes alternativas de energia além do petróleo, têm-se aumento no uso da biomassa como fonte renovável de energia, principalmente por essa renovação ocorrer em um curto intervalo de tempo, o que não acontece com as fontes fósseis. Nesse cenário é esperado maior demanda pela cana-energia, que é um genótipo obtido através de cruzamentos da cana-de-açúcar convencional, e que surge como alternativa para produção de energia devido sua maior rusticidade, maior produção de biomassa lignocelulósica e maior produtividade quando comparada a cana-de-açúcar convencional (ZHAO et al. 2017).

Dessa forma, existem diversas maneiras de aumentar a produtividade de uma cultura, entre elas está o fornecimento adequado de nutrientes, para suprir a demanda das plantas (TAIZ et al. 2017). De acordo com Malavolta (2008), do mesmo modo que a nutrição adequada auxilia a produção, uma nutrição inadequada pode provocar distúrbios nutricionais que se manifestam através de alterações no metabolismo das plantas e de sintomas visuais de deficiência. Inicialmente há uma lesão ou alteração no nível molecular, não se forma um composto, uma reação não se processa. Em seguida, há alterações celulares, no tecido e aparece o sintoma visível (MALAVOLTA, 2008).

Existem ferramentas, a exemplo da diagnose visual, que são utilizados para avaliar o estado nutricional das plantas, pois permitem identificar e caracterizar sintomas de deficiência ou toxicidade de algum nutriente (SOUZA et al., 2015). Os nutrientes absorvidos em maior quantidade pela cultura da cana-de açúcar convencional são nitrogênio e potássio (VITTI et al., 2005), em condições de baixas concentrações são

capazes de limitar o crescimento, diminuir a área foliar e afetar o processo fotossintético das plantas.

Plantas deficientes em N normalmente apresentam diminuição no crescimento e folhas estreitas devido a diminuição na área foliar (CHEN et al., 2018). Além disso, as folhas mais velhas apresentam clorose, pois o N é remobilizado para as folhas novas (MARSCHNER, 2012). Em plantas de cana-de-açúcar a omissão de P provocou redução severa no crescimento das plantas e o aparecimento de sintomas de deficiência desse elemento, caracterizados pelo retardamento no crescimento da parte aérea e folhas velhas pequenas e cloróticas (VALE et al., 2011). Isso pode ser justificado devido o P está ligado ao processo de transferência e armazenamento de energia na forma de ATP para ser utilizado em diversos processos metabólicos na planta (PRADO, 2020).

O K é um elemento que atua principalmente como ativador enzimático, participando dos processos de fotossíntese e respiração. Plantas cultivadas em ambientes com baixa concentração de K apresentam diminuição na fotossíntese e por isso, diminuem o crescimento, a exemplo da área foliar e remobilizam o K das folhas mais velhas para as folhas mais novas (HAFSI et al., 2014).

O Ca desempenha papel fundamental no crescimento, uma vez que se relaciona com a integridade estrutural e funcional das membranas e da parede celular. Quando existe omissão o crescimento é rapidamente reduzido (MALAVOLTA, 1980).

Nas plantas o S metabolizado é transformado em aminoácidos essenciais que formarão proteínas tornando o enxofre um elemento estrutural, além de atuar como grupo funcional, estando diretamente envolvido em reações metabólicas, logo, em situações de deficiência os sintomas se assemelham a deficiência de N, como a clorose, mas por conta da baixa mobilidade ocorre nas folhas mais novas (TAIZ et al., 2017; PEÇANHA et al. 2019)

Apesar da importância de ter registros dos sintomas de deficiência nutricional e dos efeitos das deficiências de macronutrientes no crescimento das plantas, ainda não existem relatos na literatura com esta temática na cana-energia. De forma inédita, o trabalho teve como objetivo descrever os sintomas de deficiência e avaliar o crescimento da cana-energia sob deficiência de N, P, K, Ca e S.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cana-energia

A cana-energia é uma planta que possui metabolismo C4, ou seja, sob condições de elevadas temperaturas e radiação solar, é mais eficiente do que as plantas de metabolismo C3, podendo acumular o dobro de biomassa por área foliar (SANTOS e DIOLA, 2015).

A cana-de-açúcar vem sendo utilizada como biomassa de alta produtividade para gerar combustível renovável na forma de etanol em uma sociedade que encara dificuldades com aumento no número de problemas ambientais devido à exploração e uso excessivo de recursos naturais (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). A biomassa então, pode ser conceituada como uma fonte energética obtida através da decomposição de material orgânico, como o bagaço da cana-de-açúcar. De acordo com Matsuoka et al. (2015), as plantas fibrosas possuem inúmeras vantagens, entre elas está a elevada capacidade de produzir biomassa.

A cana-energia é um genótipo de cana-de-açúcar e surge como alternativa à procura de opções para a fragilidade apontada pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) de uma economia dependente de matéria prima (cana-de-açúcar) energética vinda de exportação. A cana-energia apresentou maior produtividade e maior índice de fibra quando comparada a cana-de-açúcar convencional (ZHAO et al. 2017).

Segundo Tew e Cobil (2008) nota-se duas divisões na cana-energia: Tipo I, caracterizado por ser mais próximo da cana-de-açúcar convencional, pois apresenta teor de sacarose semelhante e maior conteúdo de fibra; e Tipo II, caracterizada por apresentar teor de açúcar menor e maior proporção de fibras, em relação à cana convencional. Além disso, a cana-energia possui sistema radicular desenvolvido, com maior capacidade de formar rizoma. Essas características permitem que a planta explore mais o solo, melhorando a absorção de água e nutrientes e a competição natural (MATSUOKA et al. 2014).

2.2. Funções dos nutrientes

A produtividade agrícola pode ser impulsionada através do fornecimento adequado de nutrientes. Os nutrientes minerais, em geral são classificados como macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) ou micronutrientes (Fe, Zn, Mn, B, Cu, Mo, Ni), conforme suas concentrações relativas nos tecidos vegetais, e representam um fator limitante para o crescimento das culturas (TAIZ et al. 2017).

Entre os macronutrientes, o N, P e K são os exigidos em maior quantidade pelas plantas, enquanto o Ca, Mg e S são exigidos em quantidades menores (TAIZ et al. 2017) nas culturas de modo geral. Mas independente das quantidades exigidas por cada um eles precisam ser fornecidos na proporção adequada. Segundo Liebig (1803-1873), a produção é comprometida pelo nutriente que está em concentração abaixo do mínimo exigido pela cultura. Logo, para conhecer as proporções adequadas de nutrientes é importante realizar uma avaliação do estado nutricional das plantas, com intuito de tentar indicar o crescimento, desenvolvimento, produtividade e qualidade destas, através da identificação do elemento limitante (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Os macronutrientes em geral possuem função estrutural (participam da molécula de um ou mais compostos orgânicos da planta), constituinte de enzima (são casos particulares da função estrutural e referem-se a elementos, geralmente metais ou elementos de transição, que fazem parte do grupo prostético de enzimas e que são necessários para a atividade das mesmas), e ativadores enzimáticos (não participam do grupo prostético o elemento, dissociável da fração de enzima, é necessário à atividade da mesma) (MALAVOLTA, 1980). A deficiência está intimamente atrelada à função e mobilidade de cada nutriente na planta. Considerando os nutrientes moveis na planta, os sintomas de deficiência aparecem inicialmente nas folhas mais velhas, enquanto os nutrientes com baixa mobilidade na planta, os sintomas aparecem em folhas mais novas (TAIZ et al. 2017).

2.3. Diagnose visual

A diagnose visual é uma técnica utilizada a fim de avaliar a fertilidade do solo (VITTI, 2005). Se baseia na comparação visual de um aspecto (coloração, tamanho, forma) da amostra (planta, ramos, folhas) com o padrão. A amostra mais comum utilizada é a folha, pois é a que melhor reflete o estado nutricional da planta e por ser onde acontecem os principais processos metabólicos do vegetal. Se algum nutriente estiver em falta ou excesso haverá os sintomas visíveis típicos para cada elemento, dependendo da função que esse elemento exerce na planta (FAQUIN, 2002). Assim que os sintomas de deficiência nutricional são visualmente verificados, o rendimento da safra já está comprometido (VITTI, 2015).

2.3.1 Nitrogênio (N)

A maior parte do N é absorvido pelas plantas na forma de íons NH_4^+ (amônio) ou NO_3^- (nitrato). Uma vez absorvido, é incorporado as plantas na forma de aminoácidos. Conforme o suprimento de N aumenta, as proteínas sintetizadas com base nos aminoácidos estimulam o crescimento das folhas, aumentando assim a superfície fotossintética (DECHEN e NACHTIGAL, 2007).

O N está entre os elementos mais requeridos pelas plantas, e desempenha um papel central no metabolismo como constituinte de componentes celulares vegetais, como aminoácidos, ácidos nucléicos, proteínas, coenzimas e clorofila (MARSCHNER, 2012). Por isso, estudos apontam que a deficiência de N prejudica o crescimento e desenvolvimento vegetal, diminui o número de perfilhos, a área foliar, massa seca da parte aérea e da raiz (SILVA et al., 2016). Em condições de deficiência moderada de N há clorose (amarelecimento das folhas), sobretudo nas folhas mais velhas, por se tratar de um nutriente móvel na planta (VITTI, 2005). Com a deficiência o processo fotossintético é afetado de modo negativo pela relação direta com a clorofila, o que reduz a taxa fotossintética (MU, 2020).

2.3.2 Fósforo (P)

As plantas absorvem a maior parte do P na forma de ânion monovalente ortofosfato diácido (H_2PO_4^-) e, em menor extensão, como ânion bivalente ortofosfato ácido (HPO_4^{2-}). O pH do solo afeta muito a proporção dessas duas formas de P que podem

ser absorvidas pelas plantas. As plantas podem usar outras formas de P, mas em menores quantidades (DECHEN e NACHTIGAL, 2007).

A principal função do P na planta é armazenar e transferir energia na forma de ATP, para ser utilizado no metabolismo da planta (MALAVOLTA, 1980), o P também pode viabilizar a rápida formação e crescimento das raízes (DECHEN, NACHTIGALL, 2007). Em condições de deficiência desse nutriente, os sintomas aparecem nas folhas mais velhas, por se tratar de um elemento móvel, com perda de coloração, que evolui para um avermelhamento e morte prematura das folhas (VITTI, 2005). A omissão desse elemento afeta o desenvolvimento da planta através de redução na área foliar (FREDEEN, RAO, TERRY, 1989), ou seja, as folhas são mais finas, diminuição do diâmetro, altura, número de perfilhos e da produção de matéria seca (SILVA et al., 2016).

2.3.3 Potássio (K)

As plantas absorvem K da solução do solo na forma de íons (K^+). Ao contrário do N e P, o K não forma compostos orgânicos nas plantas. Sua principal função está fundamentalmente atrelada a muitos processos metabólicos (DECHEN e NACHTIGAL, 2007).

O K exerce função de ativador enzimático, participando da abertura e fechamento de estômatos e do processo fotossintético. Em situações de deficiência ocorre a redução da fotossíntese e o aumento da respiração da planta, reduzindo a acumulação de carboidrato, o que gera redução na taxa de crescimento e produção, como a quantidade de açúcar na cana, clorose marginal nas folhas mais velhas seguida por necrose, e manchas avermelhadas no limbo foliar. Plantas com deficiência crescem lentamente, com sistema radicular mal desenvolvido, colmos frágeis, menor número de perfilhos (DECHEN, MACHTIGALL, 2007; MENGEL, 2001; BUCHELT, 2020) além da diminuição de área foliar que induz menor produção de matéria seca da raiz e do caule (SILVA, et al 2016).

2.3.4 Cálcio (Ca)

O Ca é absorvido pelas plantas na forma de cátions Ca^{2+} . O Ca absorvido é transportado no xilema e parcialmente no floema. Após ser transportado para as folhas, o Ca fica imóvel (DECHEN e NACHTIGAL, 2007).

O Ca é fundamental no crescimento das plantas, divisão e alongamento celular, está relacionado com a integridade estrutural e funcional das membranas e da parede celular. Sua deficiência retarda o crescimento, e é notada com morte celular resultante da desorganização de funções críticas como a permeabilidade seletiva da membrana, a não operação de funções de sinalização em que o cálcio opera como mensageiro (MALAVOLTA, 1980; SOUZA et al, 2015; MENGEL et al. 2001). Um sintoma comum da deficiência é pequeno crescimento das raízes (DECHEN e NACHTIGAL, 2007), diminuição na altura, área foliar, diâmetro, número de perfilhos e produção de matéria seca (ALMEIDA et al, 2017).

2.3.5 Enxofre (S)

O S é absorvido principalmente pelas plantas na forma de SO_4^{2-} na forma inorgânica e, em seguida, reduzido e incorporado em compostos orgânicos. Quando o S é reciclado, ele retorna ao solo na forma orgânica, é mineralizado sob a ação de microrganismos e, então, utilizado pelas plantas superiores (DECHEN e NACHTIGAL, 2007).

O S atua na planta como constituinte de enzimas, podendo ser encontrado em aminoácidos, como cistina, cisteína e metionina, que então formarão proteínas, tornando o S um elemento estrutural. São observadas altas concentrações de proteínas nas folhas, especialmente nos cloroplastos, que irão conseqüentemente, conter maiores teores de enxofre orgânico (HAWKESFORD 2012; PEÇANHA, 2019).

Diversos sintomas de deficiência de S se assemelham aos da deficiência de nitrogênio, como a clorose (MACCRAY, 2006; VITTI, 2005), e redução na taxa de crescimento, com o broto sendo mais afetado do que a raiz (MENGEL et al., 2001). Contudo os sintomas de deficiência, deferente do nitrogênio, aparecem em folhas novas, por se tratar de um nutriente pouco móvel na planta (TAIZ et al., 2017).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal, SP no período entre junho a novembro de 2020, utilizando a cana-energia (*Saccharum spontaneum L*), variedade Vignis X2 (tipo II), por ser considerada melhor para produção biomassa. A temperatura e umidade no interior da casa de vegetação foram registradas com um termohigrômetro

Para obtenção do material vegetal, mini toletes de 3 a 5 cm (com finalidade de reduzir a reserva energética), com uma gema (Figura 1), foram plantados em vasos de 1,7 dm³ preenchidos com areia lavada, que foi previamente descontaminada com solução de ácido clorídrico 0,1% e água deionizada (Figura 2). Os vasos foram irrigados diariamente com água deionizada, até a formação das mudas.



Figura 1. Mini toletes de 3 a 5 cm, contendo uma gema.



Figura 2. Plantio de mini tolete em vaso.

Foi realizado corte de uniformização em todas as plantas aos 18 dias após a brotação, quando as mudas apresentavam um par de folhas completamente expandidas com intuito de padronizar o experimento. O corte foi feito aos 10 cm de altura após a brotação, a partir da primeira folha completamente expandida, considerando da base para o ápice da planta, (Figura 3). Nesse período, foi iniciado o fornecimento de solução nutritiva de Hoagland & Arnon. Inicialmente, a solução foi diluída a 25% da concentração padrão e passados 10 dias, a diluição foi aumentada para 50%, que foi mantida até o final do experimento. As soluções nutritivas foram preparadas com água deionizada com alteração na fonte de ferro para Fe-EDDHA e sua concentração para $180\mu\text{molL}^{-1}$ de Fe, conforme indicado por Cavalcante et al. (2016). O pH da solução foi mantido entre 5,5 a 6,0 utilizando solução de HCl ou NaOH, ambos a 1%.



Figura 3. Corte feito a 10 cm com a finalidade de padronizar o experimento.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com seis tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram compostos por seis soluções nutritivas: completa de Hoagland & Arnon (1950) e as deficiências individuais de N ($1,5 \text{ mmol L}^{-1}$ de NH_4NO_3 , fonte de N), P ($0,15 \text{ mmol L}^{-1}$ de KH_2PO_4 , fonte de P) K, Ca e S.

As plantas de cada tratamentos foram inicialmente avaliadas visualmente para diagnosticar a presença de sintomas característicos da deficiência de nutrientes e quando estes se tornaram visíveis. As plantas foram avaliadas quanto à altura, utilizando uma régua; diâmetro, com paquímetro digital; número de perfilhos e área foliar, usando o medidor de área foliar (LI-3100, LICOR, Lincoln., NE, USA).

Posteriormente, o material vegetal foi seco em estufa de circulação forçada a $65^\circ \pm 5^\circ \text{ C}$ e passado em moinho tipo Willey para determinação dos teores de N, P e S na parte aérea seguindo a metodologia descrita por Bataglia et al., (1983). Por conta da pandemia, não foi possível realizar a determinação dos teores de K e Ca.

Os dados de crescimento foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p \leq 0.05$), e as médias comparadas pelo teste t de student a 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico AgroEstat® (BARBOSA & MALDONATO JÚNIOR, 2015).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Sintomas de deficiência nutricional em cana-energia

As plantas submetidas aos tratamentos com deficiência nutricional demonstraram através de sintomas visuais que os níveis dos nutrientes na parte aérea estavam abaixo do necessário para o seu crescimento.

4.1.1 Deficiência de nitrogênio

A deficiência de N começou a mostrar sintomas 51 dias após o início do experimento. Diminuiu em 54,8% o teor desse nutriente na parte aérea das plantas, em relação as plantas sob suficiência nutricional (Tabela 1). Nas plantas deficientes em N inicialmente as folhas mais velhas apresentaram clorose, enquanto a folha mais nova ainda apresentava coloração semelhante ao tratamento completo, indicando uma deficiência moderada (Figura 4). Os sintomas evoluíram e a deficiência caminhou de moderada a severa. As folhas mais velhas apresentaram clorose intensa e necrose da ponta para a base da folha (Figura 5).

Tabela 1. Teor de N, P e S (g kg^{-1}) na parte aérea da cana-energia (*Saccharum spontaneum* L.) cultivada em solução nutritiva completa e sob deficiência individual de N, P e S.

Solução Nutritiva	N	P	S
Completa	21,98	2,30	2,88
Nutriente omitido	9,94	0,50	0,10

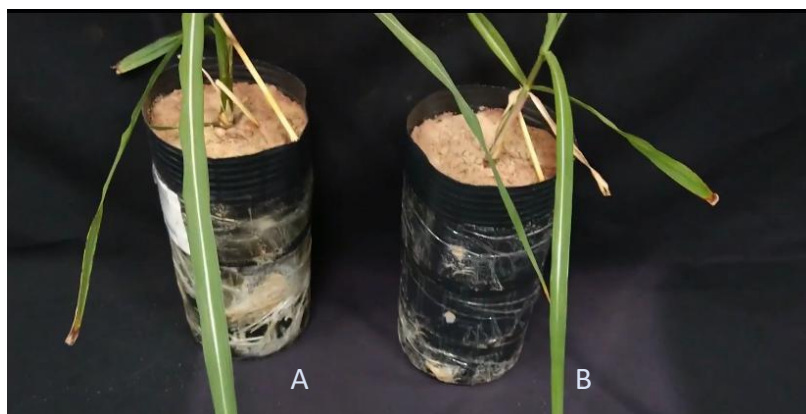


Figura 4. Comparação entre a planta que recebeu tratamento completo (A) com a planta com omissão de N (B). Existe clorose na folha mais velha indicando deficiência moderada.



Figura 5. Deficiência severa de nitrogênio, a clorose é intensa e a necrose espalha-se da ponta para a base da folha.

A deficiência também se mostrou visível nas folhas mais novas e nos perfilhos, que estavam mais claros em relação as plantas do tratamento completo, assim como observado em plantas de oliveira (SOUZA et al., 2019) e crotalária (SILVA et al., 2016). Os sintomas de deficiência de N apresentam comportamentos esperados, devido esse nutriente ser componente de ácido nucleicos e proteínas (SOUZA et al., 2019). Além disso, o N faz parte da molécula de clorofila e a perda de coloração verde nas plantas está diretamente associada com a diminuição na produção desse pigmento (SOUZA et al., 2019).

4.1.2 Deficiência de fósforo

Nas plantas cultivadas sob deficiência de P houve redução de 78,2% no teor desse elemento na parte aérea, comparado as plantas do tratamento completo (Tabela 1). Os efeitos da deficiência ficaram evidentes após 56 dias do início do experimento, com o aparecimento de sintomas inicialmente nas folhas mais velhas, por se tratar de um elemento de alta mobilidade na planta. As folhas apresentaram perda de coloração verde e menor desenvolvimento (Figura 6), o que pode ser justificado devido o P estar relacionado com a expansão da área foliar (RODRÍGUES et al., 1998).



Figura 6. Deficiência demonstrada através da comparação entre a folha da planta que recebeu tratamento completo (A), com a folha da planta com omissão de P (B).

4.1.3 Deficiência de potássio

Os sintomas de deficiência de K apareceram 116 dias do início do experimento, inicialmente nas folhas mais velhas, na forma de clorose nas bordas, evoluindo em alguns pontos para necrose. Além disso, foi constatado a presença de manchas avermelhadas no limbo foliar, e que também foram observados por Vale et al. (2011) em cana-de-açúcar. Neste estágio de desenvolvimento das plantas, a deficiência ainda foi considerada moderada, pois ainda não havia sintomas nas folhas mais novas e nos perfilhos (Figura 7).



Figura 7. Deficiência de K, folha mais velha com clorose nas bordas, que em alguns pontos progrediu para necrose, e presença de manchas avermelhadas no limbo foliar.

4.1.4 Deficiência de cálcio

Ao contrário do observado em outros macronutrientes, o cálcio tem baixa mobilidade na planta e por isso, os primeiros sintomas de deficiência apareceram nas folhas novas. Foi observado a presença de manchas esbranquiçadas e necróticas no limbo foliar, e necrose na margem (Figura 8), além de deformações das folhas (Figura 9) após 136 dias do início do experimento, caracterizando sintomas comuns a deficiência de Ca, assim, como observado por Souza et al. (2015) em plantas de amoreira preta. As manchas acontecem por conta da putrecina, um composto fitotóxico.



Figura 8. Folhas novas com sintomas de deficiência de Ca, apresentando manchas esbranquiçadas no limbo e necrose na margem.

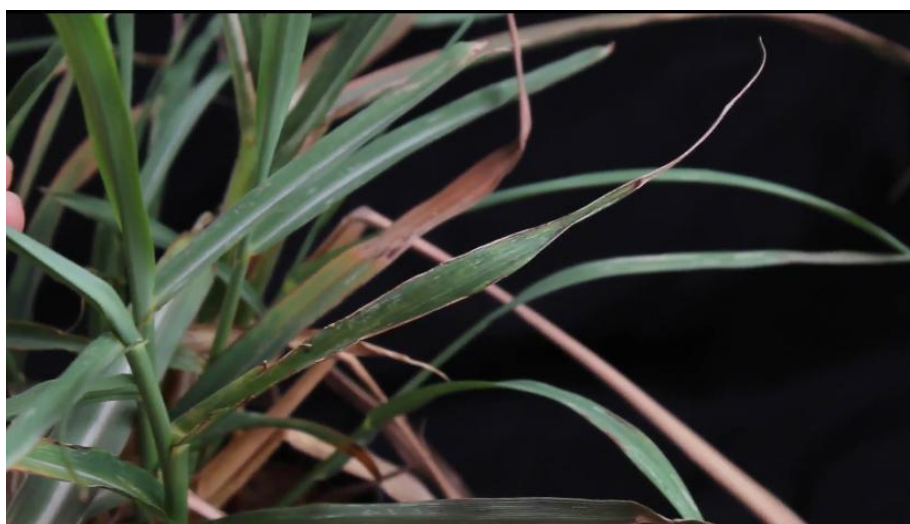


Figura 9. Folha com deficiência de Ca, apresenta forma irregular.

4.1.5 Omissão de enxofre

Os sintomas da deficiência visual no tratamento com omissão de S apareceram nas folhas mais novas após 71 dias do início do experimento, devido à baixa mobilidade do nutriente na planta, através de clorose (Figura 10), sintoma também observado por Daflon et al. (2014) em coentro e Avalhaes et al. (2009) em capim-elefante.



Figura 10. Aspecto visual das plantas cultivadas em solução nutritiva completa (A), e sob com omissão de S (B).

4.2 Crescimento vegetativo da cana-energia

As variáveis de crescimento (altura, diâmetro, área foliar, e número de perfilhos) foram avaliadas com a finalidade de demonstrar os efeitos da deficiência de N, P, K, Ca e S no crescimento da cana-energia.

4.2.1 Altura

As plantas deficientes em N, P, Ca e S apresentaram diminuição na altura em relação as plantas do tratamento completo. Entretanto, esse resultado não foi observado nas plantas deficientes em K, que não diferiram do tratamento completo e das demais omissões. Além disso, observou-se que nos tratamentos deficientes em P, S, N, Ca e K a altura das plantas foram 14,7; 14,5; 13,2; 11,5 e 7,9% respectivamente inferior quando comparadas as plantas do tratamento completo (Figura 11).

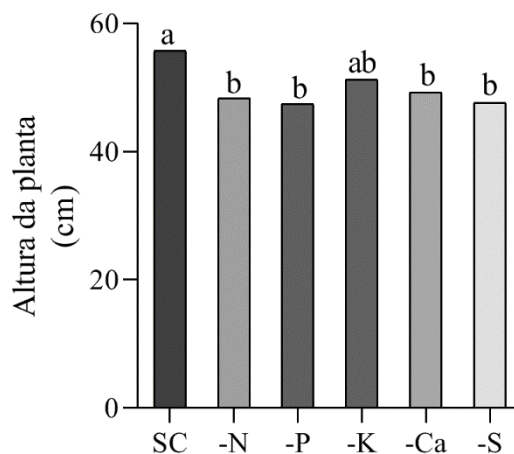


Figura 11. Altura das plantas de cana energia cultivadas sob solução nutritiva completa (SC) e na deficiência de N, P, K, Ca e S. Letras distintas diferem significativamente pelo teste T de student a 5% de probabilidade.

4.2.2 Diâmetro

De acordo com os resultados do diâmetro do caule, as plantas deficientes em N, Ca e S não diferiram do tratamento completo. Por outro lado, a deficiência de P foi a que mais limitou o diâmetro das plantas de cana-energia, apresentando os menores resultados, em relação aos demais tratamentos, sem diferir da deficiência de K. Foi observado diminuição de 11,3; 9,2; 2,3; 2 e 0,4% no diâmetro das plantas sob deficiência de P, K, S, Ca e N em relação ao tratamento completo, respectivamente (Figura 12).

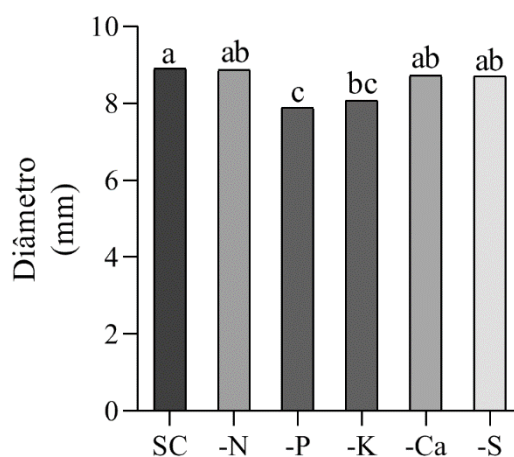


Figura 12. Diâmetro das plantas de cana energia cultivadas sob solução nutritiva completa (SC) e na deficiência de N, P, K, Ca e S. Letras distintas diferem significativamente pelo teste T de student a 5% de probabilidade.

4.2.3 Número de perfilhos

Verificou-se que em todos os tratamentos com deficiência nutricional as plantas produziram menos perfilhos quando comparadas as do tratamento completo. Entretanto, as plantas sob deficiência de N, P, K e S apresentaram os menores resultados, diferindo das plantas sem Ca e do tratamento completo. Assim, para a variável número de perfilhos os nutrientes limitantes foram $P > N > K = S > Ca$, com diminuição em 50,9; 43,1; 36,4; 36,4 e 18,1 % (Figura 13).

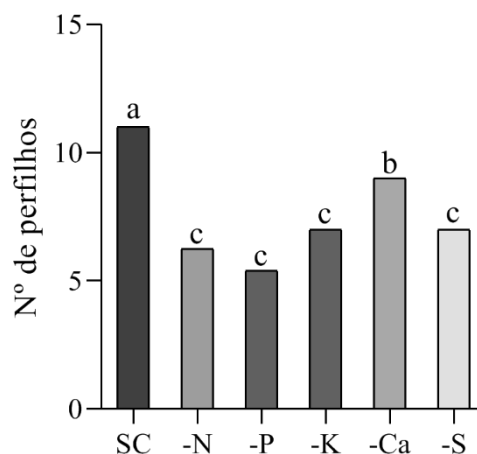


Figura 13. Número de perfilhos nas plantas de cana energia cultivadas sob solução nutritiva completa (SC) e na deficiência de N, P, K, Ca e S. Letras distintas diferem significativamente pelo teste T de student a 5% de probabilidade.

4.2.4 Área Foliar

Na análise da área foliar foi onde houve, em geral, maior diferença entre os tratamentos nutricionais. As plantas do tratamento completo apresentaram as maiores médias seguido da deficiência de Ca, que diminuiu 12,58% da área foliar em relação ao tratamento completo e diferiu dos demais tratamentos. As deficiências de S e K apresentaram resultados similares e 48% e 49,5% inferior as plantas do tratamento completo. Além disso, as deficiências de P e N foram os tratamentos que causaram maior restrição na área foliar da cana energia. Diante disso, para a variável área foliar os nutrientes mais limitantes foram $P > N > K > S > Ca$ (Figura 14).

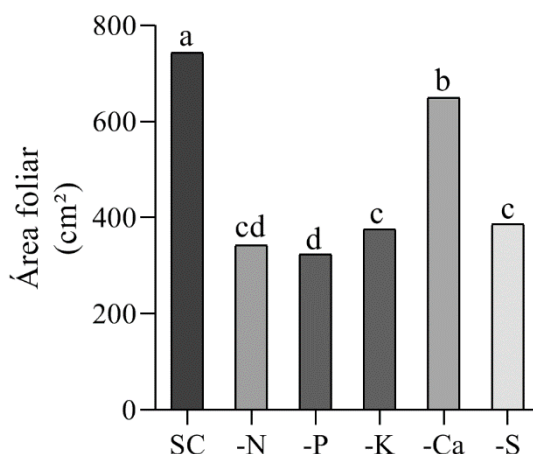


Figura 14. Área foliar das plantas de cana energia cultivadas sob solução nutritiva completa (SC) e na deficiência de N, P, K, Ca e S. Letras distintas diferem significativamente pelo teste T de student a 5% de probabilidade.

De modo geral, o fósforo foi o nutriente que mais limitou o crescimento das plantas de cana-energia pois as plantas desse tratamento apresentaram maior comprometimento das variáveis de altura, diâmetro, e número de perfilhos. O P produz, armazena e transfere energia na forma de ATP. Essa energia será utilizada em diversos processos importantes, desde o transporte de solutos através das membranas celulares, passando pela ação mecânica da infiltração das raízes no solo, até a absorção ativa de nutrientes (PRADO, 2020). Devido a essa grande importância do P nos processos metabólicos da planta quando o nutriente está em falta há uma limitação expressiva no crescimento como observado em plantas deficientes desse nutriente.

O nitrogênio foi limitante principalmente para o número de perfilhos e área foliar, uma vez que o N participa de processos fisiológicos vitais para o ciclo de vida das plantas, sua privação compromete a síntese de proteínas e ácidos nucleicos, afetando processos como o de absorção iônica, de fotossíntese, e de respiração (MARSCHNER, 2012; PRADO, 2020).

Apesar das plantas de cana-de-açúcar serem consideradas exigentes em K, de modo geral, esse nutriente não foi o que mais limitou o crescimento da cana-energia, provavelmente isso está relacionado a reserva de K presente no mini tolete, esse resultado também foi observado por Vale et al. (2011) na cultura da cana.

O cálcio não foi tão prejudicial ao crescimento da planta no experimento, sua deficiência foi mais perceptível na diagnose visual. O Ca é importante para estabilidade

da membrana, integridade estrutural e a absorção seletiva de íons (PRADO, 2020). Logo, o resultado de sua deficiência está mais relacionado a padrões visuais do que variantes de crescimento, no experimento a folha teve sua integridade estrutural afetada, ficando com aspecto irregular.

O enxofre está entre os elementos mais limitantes para altura e diâmetro da planta, resultado também observado por Maia et al. (2014) em plantas de pinhão-mansão. Essa limitação é associada a participação do S nos aminoácidos essenciais, e sua deficiência dificulta a síntese de proteínas e açúcares.

5. CONCLUSÃO

O estudo mostrou que o P foi o elemento que mais limitou o crescimento inicial da cana-energia, por ter prejudicado a altura, diâmetro e perfilhamento das plantas, que são variáveis importantes para obter maior produtividade.

Os sintomas de deficiência observados foram semelhantes aos já vistos em outros experimentos citados na literatura.

6. LITERATURA CITADA

ALMEIDA, T. et al. Development and nutrition of soybeans with macronutrients deficiencies. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2017.

AVALHAES, C. et al. Omissão de macronutrientes no crescimento e no estado nutricional de capim-elefante (cv. Mott) cultivado em solução nutritiva. *Scientia Agraria*, v. 10, 2009.

BATAGLIA, O. C., FURLANI, A. M. C., TEIXEIRA, J. P. F, FURLANI, P. R., GALLO, J. R. Método de análises químicas de plantas. IAC. Campinas, São Paulo, 1983.

BUCHELT, A. C. et al. Silicon Contribution Via Nutrient Solution in Forage Plants to Mitigate Nitrogen, Potassium, Calcium, Magnesium, and Sulfur Deficiency. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 20, 2020.

CAVALCANTE, V. et al. Growth and nutritional efficiency of watermelon plants grown under macronutrient deficiencies. *HortScience*, v. 54, n. 4, 2019.

CHEN, C. T.; LEE, C. L.; YEH, D. M. Effects of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, or magnesium deficiency on growth and photosynthesis of *Eustoma*. *HortScience*, v. 53, n. 6, 2018.

CONAB, Acompanhamento da Safra Brasileira – Cana-de-açúcar. Companhia Nacional de Abastecimento, v.7. 2020.

DAFLON, D. et al. Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes e boro em coentro. *Horticultura brasileira*, v. 32, n. 1, p. 28-34, 2014.

DECHEN, A.; NACHTIGALL, G. Elementos requeridos à nutrição de plantas. Embrapa Uva e Vinho-Capítulo em livro científico (ALICE), 2007.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Nutrição mineral de plantas princípios e perspectivas. Maria Edna Tenório Nunes (Trad.): Londrina, 2006.

FAQUIN, Valdemar. Diagnose do estado nutricional das plantas. Lavras: UFLA/FAEPE, v. 1, 2002.

FREDEEN, A. L.; RAO, I. M.; TERRY, N. Influence of phosphorus nutrition on growth and carbon partitioning in Glycine max. *Plant physiology*, 1989.

GALBIATI, J. K.; GALLO, C. A.; LAVANHOLI, M. G. D. P. Produção de energia elétrica a partir da queima do bagaço da cana de açúcar. *Nucleus: revista científica da Fundação Educacional de Ituverava, Ituverava*, v. 7, 2010.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. *Estudos avançados*, 2007.

HAFSI, C.; DEBEZ, A.; ABDELLY, C. Potassium deficiency in plants: effects and signaling cascades. *Acta Physiologiae Plantarum*, v. 36, n. 5, 2014.

HAWKESFORD, M. et al. Functions of macronutrients. In: *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, 2012.

JENSEN, J.; EPIPHANIO, J. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

MACCRAY, J.M.; EZENWA, I.V.; RICE, R.W.; LANG, T.A. Sugarcane plant nutrient diagnosis. *Sugarcane Handbook*, v.1, 2006.

MAIA, J. et al. Omissão de nutrientes em plantas de pinhão-mansão cultivadas em solução nutritiva. *Revista Ceres*, v. 61, n. 5, 2014.

MALAVOLTA, E. et al. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

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

MALAVOLTA, E. O futuro da nutrição de plantas o futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agronômicos. SP: Ipni, 2008.

MARSCHNER, P. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press, 2012.

MATSUOKA, S.; KENNEDY, A. J.; SANTOS, E. G.D.; TOMAZELA, A. L. et al. *Energy cane: its concept, development, characteristics, and prospects*. 2014.

- MATSOUKA, S. et al. Sugarcane bioenergy. In: Sugarcane, 2015
- MENGEL, K. et al., Principles of plant nutrition, Springer, Dordrecht, 2001.
- MU, X.; CHEN, Y. The physiological response of photosynthesis to nitrogen deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2020.
- PEÇANHA, D.; Freitas, M.; Vieira, M.; Lima, T.; Gonçalves, Y. Characterization of deficiency symptoms and mineral nutrient content in *Acmella oleracea* cultivated under macronutrient and boron omissions. *Journal of Plant Nutrition*, 2019.
- PRADO, R. M. Nutrição de plantas. 2ed edn, Jaboticabal, SP, 2020.
- RODRÍGUES, D.; KELTJENS, W. G.; GOUDRIAAN, J. Plant leaf area expansion and assimilate production in wheat (*Triticum aestivum* L.) growth under low phosphorus conditions. *Plant Soil*, The Hague, v. 200, n. 2, p. 227-240, 1998.
- SANTOS, F.; DIOLA, V. Chapter 2-Physiology. Santos., A. Borem & C. Caldas (Eds), Sugarcane: agricultural production, bioenergy and ethanol, 2015.
- SILVA, G. et al. Growth, nutrient accumulation and nutritional efficiency of sunn hemp in function of nutrient omission. *African Journal of Agricultural Research*, 2016.
- SOUZA, F. de et al. Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes, boro e ferro e composição mineral de amoreira-preta. *Pesqui. Agropecu. Trop.*, Goiânia, v. 45, n. 2, 2015.
- SOUZA, F et al. Visual symptoms and nutritional deficiencies in olive plants subjected to nutrient deprivation, 2019.
- TAIZ, L. et al. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TEW, T. L.; COBIL, R. M. "Genetic improvement of sugarcane (*Saccharum* spp.) as an energy crop," in *Genetic Improvement of Bioenergy Crops*, W. Vermerris, Springer, 2008.

VALE, D. et al. Omissão de macronutrientes na nutrição e no crescimento da cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 6, 2011.

VITTI, G.; OTTO, R.; FERREIRA, L. R. P. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar. Bebedouro, SP: [sn], 2005.

VITTI, G.; LUZ, P.; ALTRAN, W. Nutrition and fertilization. In: *Sugarcane*, 2015.

ZHAO, D; IREY, M; LABORDE, C.; CHEN-JIAN, H. Identifying physiological and yield-related traits in sugarcane and energy cane. *Crop Ecology & Physiology*, v. 109, 2017.