



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA
LARISSA BATISTA DA SILVA

CRESCIMENTO E ATIVIDADE DA UREASE EM CANA-DE-AÇÚCAR
ADUBADA COM NÍQUEL E NITROGÊNIO FOLIAR

Recife,
2023

LARISSA BATISTA DA SILVA

CRESCIMENTO E ATIVIDADE DA UREASE EM CANA-DE-AÇÚCAR
ADUBADA COM NÍQUEL E NITROGÊNIO FOLIAR

Equiparação do PIBIC apresentado ao curso de
Bacharelado em Agronomia da UFRPE.

Orientador (a):

Prof. Dr. Emídio Cantídio Almeida de Oliveira

Recife,

2023

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 A cultura da cana-de-açúcar	5
2.2 Manejo da adubação nitrogenada na cultura da cana-de-açúcar	6
2.3 Adubação foliar: Estratégia para aumento da eficiência do N-fertilizante	7
2.4 Níquel como elemento nutriente e seu papel na adubação foliar com ureia.....	9
3. OBJETIVOS	10
3.1 Geral.....	10
3.2 Específicos	10
4. METODOLOGIA	10
4.1 Implantação e condução experimental.....	10
4.2 Coleta de dados	14
4.2.1 Parâmetros avaliados	14
5. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	15
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
8. DIFICULDADES ENCONTRADAS	23
9. ATIVIDADES PARALELAS	23
10. REFERÊNCIAS	24

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, e nas últimas décadas sua produção mais que dobrou a fim de atender as demandas globais de bioenergia e alimento. A expansão em área de cultivo fez da cultura a principal consumidora de fertilizantes nitrogenados, e há uma grande preocupação com o uso racional desse insumo (GONZAGA et al., 2018). O nitrogênio (N) é importante na nutrição e fisiologia da cana-de-açúcar, e em solos com baixa reserva natural de N, o uso do N-fertilizante se torna necessário para maximizar a produção da cultura (FRANCO et al., 2011; MARIANO et al., 2017; VITTI et al., 2007).

Na cana-de-açúcar, a eficiência da adubação nitrogenada é baixa e variável ao longo dos ciclos de cultivo devido as transformações e perdas do N no solo, como ocorre nos processos de lixiviação, desnitrificação e volatilização. Além disso, o aporte de N para a planta por meio da mineralização da matéria orgânica no solo, absorção de compostos orgânicos, estoque na semente e fixação biológica de nitrogênio (FBN), podem reduzir a eficiência de uso da adubação nitrogenada via fertilizante mineral (PEREIRA et al., 2021; ZHANG et al., 2018; ZHU et al., 2015; SANTANA et al., 2020).

No ciclo de cana planta, a recuperação do N-fertilizante é inferior a 50%, a um aumento do custo de produção e impactos ambientais no manejo da cana-de-açúcar, uma vez que intensificam as rotas de perda de N (SILVA, 2019), que são potencialmente poluidoras (OTTO et al., 2016; PENATTI et al., 2013). Dessa forma, o adequado manejo com N nos sistemas de cultivo de cana-de-açúcar deve ser estudado para minimizar as perdas do nutriente nos canaviais (OLIVEIRA et al., 2018; SILVA, 2019).

A adoção de ferramentas de manejo, como a adubação foliar com N, tem potencial para aumentar a eficiência de uso do N-fertilizante, aumentar o teor e acúmulo do nutriente na planta. Isso porque na aplicação via folha o fertilizante não está sujeito às transformações e perdas que ocorrem no solo (FAGERIA et al., 2009; MA et al., 2019). A adubação foliar nitrogenada não substitui as aplicações do nutriente via solo, mas pode ser utilizada na complementação do N absorvido pelas raízes (CERQUEIRA et al., 2019; LEITE et al., 2020) e aumentar o rendimento das culturas.

Na adubação foliar com N, a ureia se destaca por apresentar alto grau de solubilidade e concentração de N, bem como rápida absorção foliar (TRIVELIN et al., 1988). Quando absorvida, a ureia é metabolizada pela enzima urease no citosol, formando

amônia (NH₃) e dióxido de carbono (CO₂). Após essa reação, o N oriundo da ureia é assimilado através da via das enzimas glutamina sintetase e glutamato sintase, compondo a estrutura de aminoácidos (TEZOTTO et al., 2012).

A atividade da urease é dependente da disponibilidade de níquel (Ni) na planta, uma vez que o nutriente é parte constituinte do sítio ativo desta enzima (WITTE, 2011; POLACCO et al., 2013). Em plantas deficientes de Ni há um acúmulo de ureia no tecido vegetal, o que pode causar toxidez e danos foliares (REUTER, 2005; WOOD, 2006). O fornecimento de Ni na adubação foliar com ureia pode reduzir a ocorrência de danos foliares por meio do estímulo da atividade da urease (KUTMAN; KUTMAN; CAKMAK, 2013), e disponibilizar o N. Uma vez disponível, esse N pode ser assimilado pela planta e contribuir para produção de biomassa (LUO et al., 2015; DEUNER et al., 2008; PEREIRA et al., 2020).

Diante da escassez de estudos sobre o papel fisiológico do Ni no metabolismo do nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar, o trabalho objetivou identificar a contribuição da aplicação foliar de Ni associada à ureia foliar, em complemento à adubação nitrogenada via solo, para o aumento da nutrição nitrogenada e desenvolvimento da cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) pertencente à família *Poaceae*, é uma planta semi-perene cultivada em regiões tropicais e subtropicais. As variedades atuais são híbridos interespecíficos que estão difundidos em uma ampla faixa de latitude, adaptando-se a diferentes condições edafoclimáticas (JADOSKI et al., 2010).

A cana-de-açúcar apresenta metabolismo C₄, o que lhe confere elevada taxa fotossintética e conseqüentemente, alta taxa de captação de CO₂ e eficiente conversão desse carbono em biomassa (SILVA, 2017). A cultura é amplamente utilizada como matéria prima na produção de açúcar e etanol (BORDONAL et al., 2018; LEAL et al., 2013) e é um importante recurso renovável na matriz energética brasileira. O atual modelo de produção busca atender à crescente demanda nacional e internacional na redução das emissões de gases de efeito estufa, de forma que o setor sucroalcooleiro seja

constantemente impulsionado por meio da inserção de políticas governamentais voltadas à sustentabilidade da produção (GRASSI; PEREIRA, 2019).

A cana-de-açúcar é uma cultura agrícola de destaque no agronegócio brasileiro. A safra brasileira de 2021/22 prevê uma produção de cana-de-açúcar de 568,4 milhões de toneladas, com uma estimativa de aumento de 4,6% na produtividade para a região Nordeste, resultando em uma produção de 43,7 milhões de toneladas de cana-de-açúcar (CONAB, 2021).

A diversificação na cadeia produtiva da cana-de-açúcar foi acompanhada de pesquisas para a seleção e introdução de novas variedades mais adaptadas aos diferentes ambientes de cultivo (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011). A RB867515, é a segunda variedade mais plantada em Pernambuco. A variedade apresenta um crescimento ereto, perfilhamento médio, bom desempenho em solos com fertilidade média, e elevados índices de produtividade de colmos e açúcar, e de qualidade agroindustrial (SIMÕES-NETO, 2009; RIDESA, 2021).

O ciclo produtivo da cana-de-açúcar pode durar em média até seis anos consecutivos, a partir de quando se faz necessário a renovação do canavial para a manutenção da produtividade (DINARDO-MIRANDA et al., 2010). Nos solos tropicais, os nutrientes são limitantes, e os estudos sobre o estado nutricional da planta, inclusive em relação a absorção e assimilação do nitrogênio são essenciais para garantir um melhor aproveitamento agrícola.

2.2 Manejo da adubação nitrogenada na cultura da cana-de-açúcar

O nitrogênio é o segundo elemento em ordem de extração pela cana-de-açúcar e é parte constituinte de aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, totalizando 1% da matéria seca total da planta (EPSTEIN; BLOOM, 2006; OLIVEIRA et al., 2010). A baixa disponibilidade de N compromete a atividade meristemática da parte aérea, resultando em menor perfilhamento e índice de área foliar na cana-de-açúcar (CHAVES, 2008).

Nas fases iniciais de desenvolvimento da cana-de-açúcar há intensa absorção de N pela planta, isso por que, o nitrogênio é o nutriente que mais contribui para o perfilhamento e crescimento do colmo (OLIVEIRA et al. 2007) aumentando a produtividade dos canaviais.

O fornecimento de N às plantas pode ocorrer pela mineralização da matéria orgânica no solo, pela fixação biológica de nitrogênio (FBN) ou pela deposição atmosférica (PEREIRA et al, 2021; ZHANG et al., 2018; WANG al, 2019). Em ambientes onde a reserva de N é baixa, a adubação nitrogenada promove maior desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar até a fase de pré-maturação dos colmos (SANTANA et al., 2020; TRIVELIN et al., 2002).

Em interação com o ambiente, o N passa por reações de oxirredução que resulta em diferentes rotas de perdas, como volatilização na forma de amônia, desnitrificação, imobilização na biomassa microbiana ou lixiviação. Essas perdas reduzem a disponibilidade do fertilizante nitrogenado em até 50% (OTTO et al., 2016), o que tem limitado o aproveitamento do N-fertilizante em 40% e 70% nos ciclos de cana planta e cana soca, respectivamente (FRANCO et al., 2011; VIEIRA-MEGDA et al., 2015).

Para reparar a quantidade de N perdido no sistema solo-planta-atmosfera e suprir a necessidade do nutriente na planta, há um aumento da oferta de N por meio aplicação de fertilizantes nitrogenados (ZHAO; LI; JAING, 2019). Contudo, elevar as doses de N na adubação, não reflete em uma maior produção de biomassa e produtividade da planta (BOSCHIERO et al., 2020; SILVA, 2019), e compromete a sustentabilidade da produção no setor agrícola (HOLST et al., 2012).

Diante disso, novas estratégias que aumentem a eficiência de uso do N-fertilizante nos canaviais brasileiros devem ser desenvolvidas, afim de reduzir o custo ambiental e financeiro da adubação nitrogenada (CANTARELLA et al., 2007; PENATTI et al., 2013).

2.3 Adubação foliar: Estratégia para aumento da eficiência do N-fertilizante

A adubação foliar consiste na pulverização de uma solução contendo nutrientes e água na superfície das folhas. É uma alternativa para o fornecimento de nutrientes através da parte aérea da planta, com alto aproveitamento do N-fertilizante (BINDRABAN et al. 2015; NIU et al., 2021). Na adubação foliar, é necessário a compreensão dos fatores que determinam a eficácia dos fertilizantes foliares, a fim de garantir a possibilidade de respostas benéficas a planta (MOCELLIN, 2004).

A absorção foliar pode ocorrer através dos estômatos, tricomas e principalmente pela via cuticular (FERNÁNDEZ et al., 2017). A cutícula é uma camada externa

constituída de ceras, cutina e material polissacarídeo (HEREDIA, 2003), e que permite a penetração de íons, água e compostos hidrofílicos e lipofílicos (KERSTIENS, 2010). A composição cuticular pode variar com a idade da planta, com a espécie e com as condições ambientais, aumentando ou não a taxa de absorção dos nutrientes presentes na calda de aplicação (KARABOURNIOTIS; LIAKOPOULOS, 2005). Além disso, o desempenho de um nutriente absorvido via folha também pode ser modificado pelas propriedades físico-químicas dos fertilizantes e tecnologia de aplicação (FERNÁNDEZ; EICHERT, 2009; RIEDERER, 2006; BUENO et al., 2019).

A adubação foliar deve ser realizada em folhas jovens e metabolicamente ativas, que apresentam absorção foliar mais rápida em relação as folhas mais velhas (RUAN; GERENDÁS, 2015; TRIVELIN, 2000). A velocidade de absorção pode ser impulsionada pela adição de adjuvantes, que promovem a melhor distribuição do nutriente pulverizado na superfície das folhas, aumentando a superfície de contato da solução com a cutícula. Uma vez distribuído pela folha, o nutriente precisa ultrapassar a cutícula em direção ao interior da folha. As diferentes fontes fertilizantes apresentam diferentes velocidades de deslocamento na cutícula (FERNÁNDEZ; SOTIROPOULOS; BROWN, 2015).

Entre as fontes de N, a ureia é a mais indicada para uso na adubação foliar com N por possuir alta solubilidade em água e teor de N superior ao de outras fontes, variando entre 44% a 46% (URQUIAGA; MALAVOLTA, 2002). A ureia se destaca ainda por apresentar rápida absorção foliar (CASTRO, 2009). Trivelin et al. (1988) observaram em plantas de cana-de-açúcar que a absorção de mais de 50% do ¹⁵N-ureia aplicado via foliar ocorreu em 6 horas. Isso reduz o risco de danos pelo acúmulo de sais na superfície da folha, em relação as outras fontes de N (amoniacal e nítrica) (BOARETTO et al., 1999).

A adubação foliar pode complementar a adubação feita via solo (VEDOVATO; FINAMORE, 2016), sendo uma via de maior eficiência de uso do N-fertilizante. Assim, pode ser utilizada estrategicamente para corrigir as deficiências nutricionais em estádios fenológicos específicos da cultura, quando a adubação via solo se torna inviável (FAGERIA et al., 2009; TRIVELIN et al., 1988). O fornecimento de N via folha pode aumentar o teor do nutriente na planta, que pode ser convertido em biomassa e aumentar o rendimento da cultura (BENETT et al., 2011; CERQUEIRA et al., 2019; GONZÁLEZ et al., 2018).

2.4 Níquel como elemento nutriente e seu papel na adubação foliar com ureia

O níquel (Ni) é um elemento amplamente distribuído na Terra, correspondendo a cerca de 0,008% dos minerais da crosta terrestre (POONKOTHAI; VIJAYAVATHI, 2012). Sua disponibilidade no solo é dada em função do material de origem e pela intensidade de atividades antrópicas, como queima de combustível fóssil, emissão de veículos, fundição, resíduos de indústrias e a aplicação de fertilizantes. É um micronutriente de plantas, absorvido da solução do solo na forma de cátion bivalente (Ni^{2+}) (HARASIM, 2018; SHAHZAD et al., 2018).

O Ni atua nos processos fisiológicos da germinação de sementes, fotossíntese e crescimento vegetativo (BAI, 2006; SOBATI-NASAB; ALIREZALU; NORUZI, 2021), além de atuar na defesa vegetal contra estresses bióticos e abióticos (BARCELOS et al., 2018; MUHAMMAD et al., 2019). Em altas concentrações, o Ni pode interferir na dinâmica de outros nutrientes, interromper funções da membrana celular, além de contribuir na geração de espécies reativas de oxigênio (ROS) e, assim, inibir o crescimento da planta (YADAV, 2010; YUSUF et al., 2011).

A essencialidade do Ni foi estabelecida pela primeira vez por Dixon et al. (1975), e seu papel no metabolismo do nitrogênio tem sido evidenciado. Após absorção da ureia, o N só é assimilado quando ocorre a reação catalisada pela urease, e esse é o principal papel fisiológico atribuído a essa enzima nas plantas (WITTE, 2011). A hidrólise da ureia ocorre no citosol das células e é dependente da disponibilidade de níquel, que é elemento constituinte do sítio ativo da urease (POLACCO et al., 2013).

A suplementação com níquel pode aumentar o teor de N foliar em plantas adubadas com ureia (GERENDÁS; SATTELMACHER, 1997). Nessa condição, a disponibilidade do níquel para a atividade da urease é fundamental para o crescimento e desenvolvimento adequado das plantas (KHOSHGOFTARMANESH; HOSSEINI; AFYUNI, 2011). O níquel atua no metabolismo da ureia endógena e exógena, impedindo a acumulação de teores tóxicos de ureia no tecido vegetal, dando início à assimilação do N-ureia na planta (SHAHZAD et al., 2018). A partir da reação de hidrólise, o NH_4^+ produzido serve como substrato para a glutamina sintetase (GS), para formação de aminoácidos, a unidade básica de moléculas com funções metabólicas e estruturais nas plantas (FREITAS et al., 2019; BARCELOS et al., 2018).

O níquel é móvel na planta, o que evidencia uma rápida resposta na correção da deficiência de Ni por meio da adubação foliar (OLIVEIRA; LAVRES; VAN DER ENT, 2021). Na adubação foliar com ureia como uma alternativa de manejo no fornecimento de N para planta (FRANCO et al., 2011; OTTO et al., 2016; SANGPLUNG; ROSARIO, 2005), a adição de Ni na solução foliar pode estimular a urease, o que contribui para maior atividade fotossintética, o que se reflete no aumento da produção de biomassa das culturas (FREITAS et al., 2018; 2019; LAVRES et al., 2016). Além disso, o Ni reduz os teores e efeito deletério do acúmulo de ureia no tecido foliar (POLACCO; MAZZAFERA; TEZOTTO, 2013; KUTMAN, KUTMAN E CAKMAK, 2012)

Os efeitos da adubação foliar com Ni e ureia na cultura da cana-de-açúcar ainda não foram estudados, contudo, apresenta grande potencial de aumentar a assimilação e a eficiência de uso do N-ureia.

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

O trabalho objetivou identificar a contribuição da aplicação foliar de Ni associada à ureia foliar, em complemento à adubação nitrogenada via solo, para o aumento da nutrição nitrogenada e desenvolvimento da cana-de-açúcar, no ciclo de cana planta.

3.2 Específicos

- Avaliar a assimilação de N na cana-de-açúcar adubada com Ni e ureia foliar;
- Avaliar a produção de biomassa na cana-de-açúcar adubada com N-ureia e Ni foliar.

4. METODOLOGIA

4.1 Implantação e condução experimental

O estudo foi conduzido em casa de vegetação, localizada no Departamento de agronomia na Universidade Federal Rural de Pernambuco, situada no município de Recife – PE. A variedade RB867515 foi escolhida com base na sua representatividade na região Nordeste (RIDESA, 2021) e exigência elevada por nitrogênio (OLIVEIRA et al., 2016), o que pode favorecer a resposta à adubação foliar.

Os tratamentos foram dispostos em delineamento de blocos ao acaso e arranjo de tratamentos em fatorial (4 x 4), com 4 repetições, o que resultou em 64 parcelas

experimentais. As parcelas foram formadas por vasos de 0,050 m³, com dreno instalado ao fundo. A parte interna do vaso foi revestida com uma camada de 0,20 m de cascalho (brita n^o19) e preenchidas com 0,045 m³ (54 kg) de substrato arenoso, cuja granulometria e atributos químicos (Tabela 1) foram analisados de acordo com a metodologia descrita por Teixeira (2017).

Tabela 1 - Caracterização química e física do substrato arenoso utilizado no experimento realizado em casa de vegetação.

Atributos químicos	
pH _{H2O} (1:2,5)	5,15
M.O.S. (g dm ⁻¹)	2,94
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,31
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,19
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,04
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,02
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,56
P (mg dm ⁻³)	100,26
Fe ²⁺ (mg dm ⁻³)	52,14
Cu ²⁺ (mg dm ⁻³)	0,11
Mn ²⁺ (mg dm ⁻³)	0,06
Zn ²⁺ (mg dm ⁻³)	0,47
Ni ²⁺ (mg dm ⁻³)	0,42
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	3,47
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,56
CTCefetiva (cmol _c dm ⁻³)	1,12
CTCpotencial (cmol _c dm ⁻³)	4,03
V (%)	13,89
m (%)	50
Atributos físicos	
Areia total (g kg ⁻¹)	900
Areia grossa (g kg ⁻¹)	680
Areia fina (g kg ⁻¹)	220
Silte (g kg ⁻¹)	20
Argila (g kg ⁻¹)	80
Grupamento textural	Arenoso
Ds (g cm ⁻³)	1,63
Dp (g cm ⁻³)	2,55
PT (%)	36,07
θ _{cc} (cm ³ cm ⁻³)	0,16
θ _{pmp} (cm ³ cm ⁻³)	0,01

Ni: teor total; SB: soma de bases; m: saturação por alumínio; V: saturação de bases; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; PT: Porosidade total; θ_{cc}: umidade na capacidade de campo; θ_{pmp}: umidade no ponto de murcha permanente; CTC: capacidade de troca catiônica.

A correção do solo foi realizada com base em curva de incubação para elevar os teores de cálcio e magnésio e saturação por bases para 60% e manter uma relação de Ca:Mg de 2,6, como exigido pela cultura (OLIVEIRA et al., 2010). O plantio ocorreu 30

dias após a calagem, utilizando quatro colmos-sementes com 0,05 m de comprimento, cada um com uma gema viável. Os colmos foram distribuídos em dois sulcos de 0,15 m de profundidade, posteriormente cobertos com o substrato arenoso retirado para abertura do sulco. A umidade na superfície foi mantida com regas diárias com 0,4 L de água deionizada até a emergência das plantas, que ocorreu sete dias após o plantio (DAP).

Após a emergência, a umidade foi monitorada por meio de amostragem do substrato, duas vezes na semana, em 10 vasos escolhidos aleatoriamente na profundidade de 0,20 m. A amostragem foi feita em latas que posteriormente foram secas em estufa (105°) por 24h para obtenção da umidade na base de massa. Até 60 DAP, a umidade foi mantida na capacidade de pote de 40% ($\theta_m = 21,35\%$), e mantida a 60% da capacidade de pote, a partir do 60 DAP. Durante a condução experimental, o volume drenado dos vasos foi coletado e adicionado novamente aos vasos, completando o volume de água aplicado nas irrigações. As regas foram feitas diariamente, e duas vezes na semana eram substituídas pela solução nutritiva, mantendo o volume de água da irrigação. Esse volume foi estimado com base na curva característica de retenção de água no solo. Cada vaso recebeu 110 dm³ de água até o final do ciclo de 120 dias.

Após a emergência das plantas, os nutrientes foram fornecidos (exceto Ni) via solução nutritiva proposta por Arnon e Hoagland (1950), duas vezes por semana. A primeira aplicação ocorreu 15 dias após a emergência. As soluções nutritivas forneceram 210 mg L⁻¹ de N, 31 mg L⁻¹ de P, 234,6 mg L⁻¹ de K, 200,6 mg L⁻¹ de Ca, 48,6 mg L⁻¹ de Mg, 64,2 mg L⁻¹ de S, 500 µg L⁻¹ de B, 20 µg L⁻¹ de Cu, 648 µg L⁻¹ de Cl, 5022 µg L⁻¹ de Fe, 502 µg L⁻¹ de Mn, 50 µg L⁻¹ de Zn. As fontes de N utilizadas foram ureia (46% - 2,5 mL L⁻¹ vaso⁻¹ de CH₄N₂O) e nitrato de cálcio (67% - 5,0 mL L⁻¹ vaso⁻¹ de Ca(NO₃)₂). As fontes de nutrientes foram reagentes pro-análise (P.A.). A solução nutritiva final apresentou pH 6,8 e CE de 2,18 mS cm⁻¹.

A partir dos 60 DAP, a ureia foi removida da solução e o N foi fornecido apenas na forma de Ca(NO₃)₂ (7,5 mL L⁻¹ vaso⁻¹). Não houve alteração da CE da solução nutritiva. Nesse período, o N foi aplicado três vezes na semana, a fim de garantir o fornecimento de 4,0 g de N vaso⁻¹ (SILVA, 2020) até cessar o fornecimento de N via solução. Para isso, o N (4,5 mL L⁻¹ vaso⁻¹ de Ca(NO₃)₂ a (1 mol L⁻¹) foi adicionada à água de irrigação uma vez na semana, com intervalo de um dia entre as aplicações padrão de solução nutritiva.

Aos 70 DAP, as plantas de menor desenvolvimento foram removidas por meio de corte rente ao solo, mantendo duas plantas por vaso até o final do ciclo de avaliação. O N foi removido da solução nutritiva aos 90 DAP, durante 15 dias até a aplicação foliar dos tratamentos que foi realizada aos 105 DAP.

Os tratamentos consistiram em doses foliares de N sem e com Ni (Tabela 2), utilizando as fontes ureia ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$, reagente P.A.) enriquecida (2% de átomos de ^{15}N) e cloreto de Ni hexahidratado ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, reagente P.A.).

Tabela 2 - Descrição dos tratamentos aplicados na cana-de-açúcar conduzidas em substrato arenoso em casa de vegetação

	N no solo (g vaso ⁻¹)	Foliar	
		Ni (mmol L ⁻¹)	N (%)
T1		0,0	0,0
T2		5,68	0,0
T3		11,36	0,0
T4		22,72	0,0
T5		0,0	7
T6		5,68	7
T7		11,36	7
T8		22,72	7
T9	4,0	0,0	14
T10		5,68	14
T11		11,36	14
T12		22,72	14
T13		0,0	29
T14		5,68	29
T15		11,36	29
T16		22,72	29

As soluções de aplicação foliar foram preparadas com água deionizada, mantendo a concentração de cada nutriente para calda de 150 L ha⁻¹. As concentrações (m/v) e doses correspondentes de ureia foram de 0% (0 kg ha⁻¹ de N), 7% (5,0 kg ha⁻¹ de N), 14% (10 kg ha⁻¹ de N) e 29% (20 kg ha⁻¹ de N). A dose de 20 kg ha⁻¹ de N foi definida com base no risco de queima foliar (ANDRADE, 2021). As concentrações e doses de Ni aplicado via foliar foram de 0,0 mmol L⁻¹ (0 g ha⁻¹), 5,68 mmol L⁻¹ (50 g ha⁻¹), 11,36 mmol L⁻¹ (100 g ha⁻¹), 22,72 mmol L⁻¹ (200 g ha⁻¹). A dose mínima de Ni foi definida com base no estudo de Kutman, Kutman e Cakman (2013) na cultura do trigo, e a dose máxima de Ni com base na dose ótima de Ni definida para a cultura da soja (BARCELOS et al., 2018). As doses foram estabelecidas mantendo a proporção de reduções de 50% da dose máxima.

As soluções foram aplicadas no final da tarde (16h), utilizando borrifadores manuais para pulverizar as três folhas mais jovens e completamente expandidas (folhas +1, +2 e +3), aplicando 01 mL de cada solução-tratamento. Para melhor distribuição da solução nas folhas foi adicionado uma gota do adjuvante Disperse© por solução de 50 mL. As plantas do tratamento controle (sem Ni e N) receberam somente água e adjuvante. A F+1 de cada planta foi identificada com cordão de algodão. No dia posterior à aplicação, as plantas foram hidratadas com água deionizada utilizando um borrifador manual, a fim de evitar a formação de sais na superfície da folha e favorecer a absorção dos nutrientes (LEITE et al., 2020).

4.2 Coleta de dados

4.2.1 Parâmetros avaliados

As coletas ocorreram em dois momentos, indicadas como Tempo 1 e Tempo 2. As folhas coletadas foram lavadas com água deionizada, a fim de retirar da superfície foliar o resíduo do fertilizante que não foi absorvido pela folha, seguidas de secagem com papel toalha.

Tempo 1. A coleta foi realizada 64h após a aplicação foliar em uma das plantas de cada vaso. O terço médio da folha +1 foi dividido em duas partes, sem a nervura central. Metade do terço médio foi envolta em papel alumínio e acondicionada em nitrogênio líquido e armazenadas em ultrafreezer (-80°C) até para posterior análise bioquímica. A segunda metade do terço médio foi direcionada para estufa de secagem com circulação forçada de ar a 65°C, até atingir peso constante. O material seco foi processado em moinho de facas e o material moído utilizado em posterior avaliação nutricional.

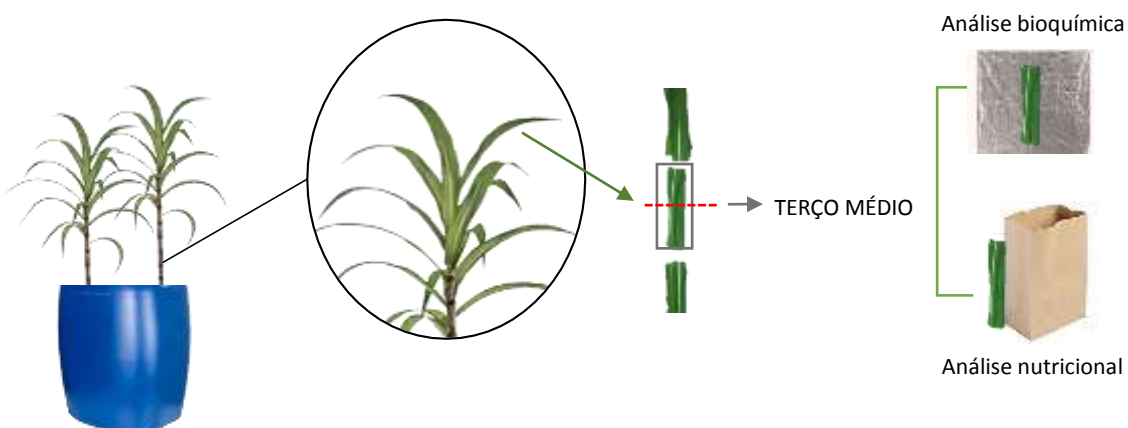


Figura 1. Coleta foliar da folha +1 no tempo 1.

Tempo 2. A coleta foi realizada sete dias após a aplicação foliar, utilizando a segunda planta de cada vaso para amostragem. As plantas foram removidas realizando corte rente ao solo e foram pesadas (peso úmido) e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, até atingir peso constante, e pesadas (peso seco) novamente para obtenção da massa seca total (MST), expressa em g por vaso⁻¹.

Teor de clorofila (ICF) e fluorescência da clorofila a

Na folha +1 foram avaliados o teor de clorofila (ICF) e fluorescência da clorofila a, utilizando clorofilômetro Flaker e fluorômetro digital portátil, respectivamente, 64h e sete dias após aplicação foliar. Aos 07 DAAF, a fluorescência foi medida também na folha zero (sem tratamento foliar).

Análise nutricional

A análise de N (g kg⁻¹) foi avaliada nos componentes foliares e no colmo, por meio de digestão sulfúrica, seguida de destilação em destilador Kjeldahl e titulação com solução diluída de HCl (EMBRAPA, 2009).

5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram avaliados quanto aos critérios de normalidade e homocedasticidade e submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$) e regressão linear. Os dados foram submetidos ao teste fatorial 4 x 4 e os efeitos isolados ou da interação entre a adubação com N e Ni, quando significativos, terão as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e submetidas à análise de regressão, selecionando o modelo pelo coeficiente de determinação (r^2) e significância dos parâmetros ($p \leq 0,05$), e cujo comportamento representa o fenômeno estudado.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros biométricos

Não houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os tratamentos para as variáveis biométricas (altura de plantas, altura e diâmetro dos entrenós da folha +1, +2, +3 que receberam tratamento) e biomassa seca da parte aérea na cana planta avaliada aos 120 DAP (Tabela 3).

No início do ciclo, a demanda de N pela planta pode ter sido suprida pelo N contido no colmo-semente (JADOSKI, 2010) e pelo fornecimento de N na forma de nitrato de

cálcio $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ via solução nutritiva, até 90 DAP. A cana-de-açúcar é uma planta eficiente em aproveitar o N contido no solo (GAVA et al., 2007), e a absorção de nutrientes pela cultura é pequena na fase de brotação e estabelecimento das raízes, aumentando significativamente após esse período (VITTI et al., 2007). Durante o fornecimento de N via solução nutritiva, o nutriente pode ter sido utilizado pela planta em processos de divisão, diferenciação e alongamento celular, contribuindo para o perfilhamento e crescimento da planta (AUDE, 1993; MU; CHEN, 2021).

Como a solução era coletada no drenado e repostada na fertirrigação, pode ter formado um estoque de N no substrato, que ficou nutrindo a cana após a retirada de N da solução.

Tabela 3 - Análise de variância da altura de planta e biometria dos entrenós das folhas +1, +2 e +3 aos sete dias após aplicação foliar

Fonte de variação	Teste F							
	ALT	DIAM COMP		DIAM COMP		DIAM COMP		MSPA
		Folha +1		Folha +2		Folha +3		
Bloco	0,87 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,59 ^{ns}	1,04 ^{ns}	2,63 ^{ns}	2,06 ^{ns}
Ni	0,45 ^{ns}	1,27 ^{ns}	1,51 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,04 ^{ns}
N	0,99 ^{ns}	1,63 ^{ns}	1,43 ^{ns}	0,55 ^{ns}	1,31 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,47 ^{ns}	1,17 ^{ns}
Ni*N	0,66 ^{ns}	1,71 ^{ns}	1,68 ^{ns}	1,86 ^{ns}	1,08 ^{ns}	1,07 ^{ns}	0,67 ^{ns}	1,20 ^{ns}
CV (%)	9,3	4,8	15,8	9,8	20,3	27,5	13,5	11,9

DIAM: diâmetro do entrenó. COMP: comprimento do entrenó. Significância do teste F: ^{ns} não significativo; ^{**} significativo a 5%, ^{***} 1%.

A carência de N pela cana planta durante o período que o nutriente foi cessado no solo, ocorreu entre o perfilhamento e o crescimento da parte aérea, normalmente entre 40 a 270 DAP (JADOSKI et al., 2010). Esse período foi caracterizado pela alta demanda de N na planta (SILVEIRA E CROCOMO, 1990), indicando o momento ideal para complementação foliar com N. No estudo, as plantas haviam iniciado a formação de colmos. Contudo, o intervalo de sete dias entre a aplicação foliar e a colheita, no manejo nutricional adotado, provavelmente não foi suficiente para que se observasse os efeitos dos tratamentos no crescimento e massa seca total da planta. Andrade (2021) ao estudar o fornecimento de N-ureia via solo e foliar na cana-de-açúcar, relatou que os tratamentos não influenciaram a biomassa total da parte aérea, e que os efeitos da adubação no acúmulo de biomassa só foram observados nos compartimentos de folha aos 194 DAP.

Trivelin et al. (1988) demonstraram que absorção do N-ureia via foliar ocorre rapidamente, e que cerca de 5% do N absorvido foi translocado para as raízes quatro dias após a adubação. Apesar da ureia apresentar potencial de aumento na recuperação de N

na planta, nesse estudo o aporte do N-ureia via foliar não interferiu na conversão do nutriente em biomassa dentro do período avaliado para os diferentes manejos (Figura 2).

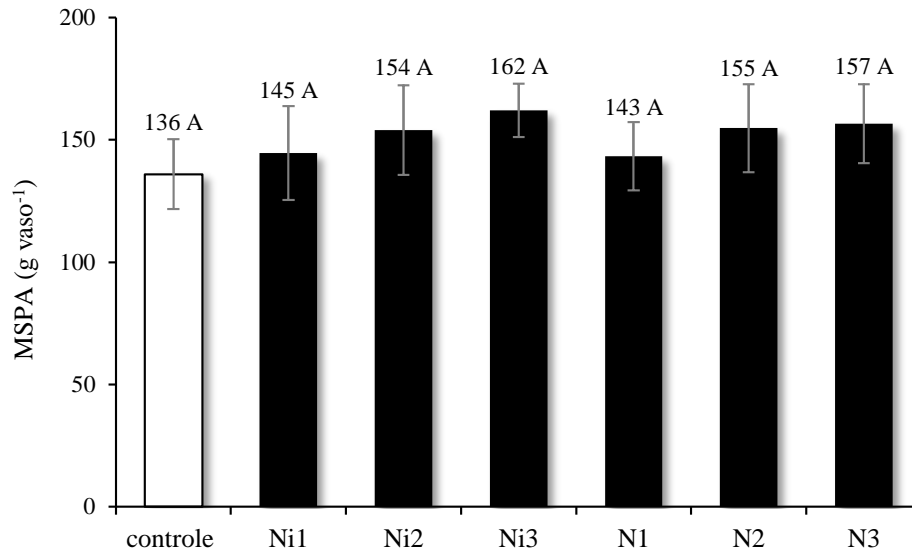


Figura 2 – Biomassa total da cana-de-açúcar cultivada sob adubação com ureia e Ni via foliar. Médias seguidas de uma mesma letra maiúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A aplicação foliar resultou em diferentes intensidades de danos na superfície foliar (Figura 2). Esses danos podem ter ocorrido devido ao mal desempenho do dispersante na distribuição da solução na superfície foliar e ao microclima da casa de vegetação característico de alta temperatura e baixa umidade que também contribuiu para evaporação da água contida na solução, causando a concentração de sal e danos ao longo do limbo foliar.



Figura 1 – Variação na intensidade de dano entre parcelas com mesmo tratamento.

A diminuição da área foliar pode ter afetado a eficiência fotossintética da planta e, conseqüentemente reduzido compostos de carbono que compõem a biomassa vegetal. Isso porque as folhas são órgãos responsáveis por aproximadamente 90% da massa seca acumulada nas plantas (HERMANN; CÂMARA 1999), e o estresse abiótico causado pela aplicação foliar explica a ausência de resposta da planta na produção de matéria seca.

O efeito positivo da nutrição de Ni no rendimento de plantas adubadas com ureia tem sido relatado por vários pesquisadores (GHEIBI et al., 2009; KHOSHGOFTARMANESH; HOSSEINI; AFYUNI, 2011). Outras contribuições pela adição de Ni podem, portanto, intensificar processos fisiológicos e o metabolismo do N na planta. Os estímulos as atividades enzimáticas, o aumento da eficiência fotossintética, teor de aminoácidos totais e acúmulo de N, são efeitos benéficos citados na literatura em plantas nutridas com Ni (BARCELOS et al., 2017; 2018; HOSSEINI; KHOSHGOFTARMANESH, 2013).

Teor de N na folha +1

A adição N e Ni contribuiu para o aumento do teor de N na planta. Mediante a significância estatística, os dados foram submetidos à análise de regressão com ajuste quadrático e índice de correlação entre 0,75 e 0,85 (Figura 3). O comportamento das retas foi linear e demonstrou que com o aumento das doses de N, a adição de níquel aumentou os teores de nitrogênio na planta inteira (Gráfico 1). A ação conjunta dos fatores pode ser explicada pela essencialidade do níquel no estímulo da enzima urease que resultou em um aumento da hidrólise da ureia (KUTMAN; KUTMAN; CAKMAK, 2013), acompanhado pelo aumento das doses de N nas soluções aplicadas.

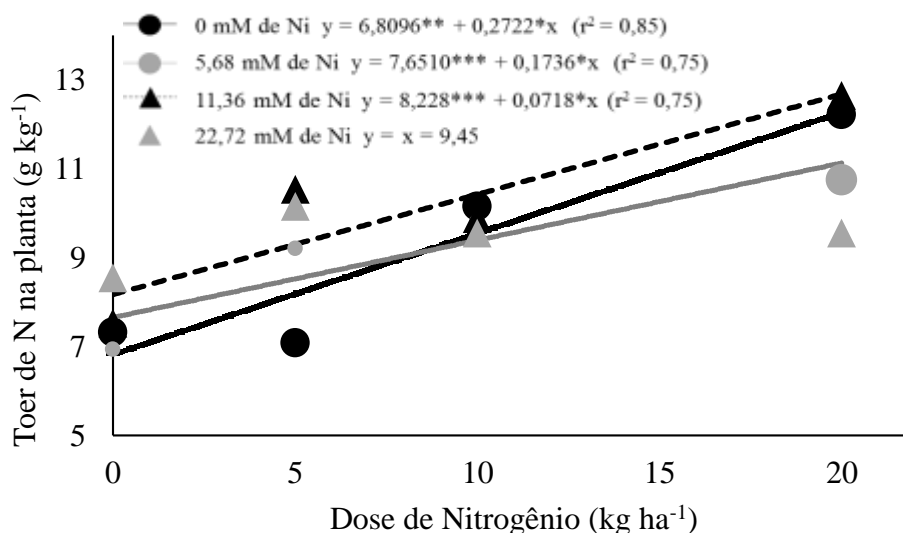


Figura 3 – Teor de N total da cana-de-açúcar cultivada sob adubação com uréia e Ni via foliar. Significância do teste F: significativo a **5%.

Índices de Clorofila

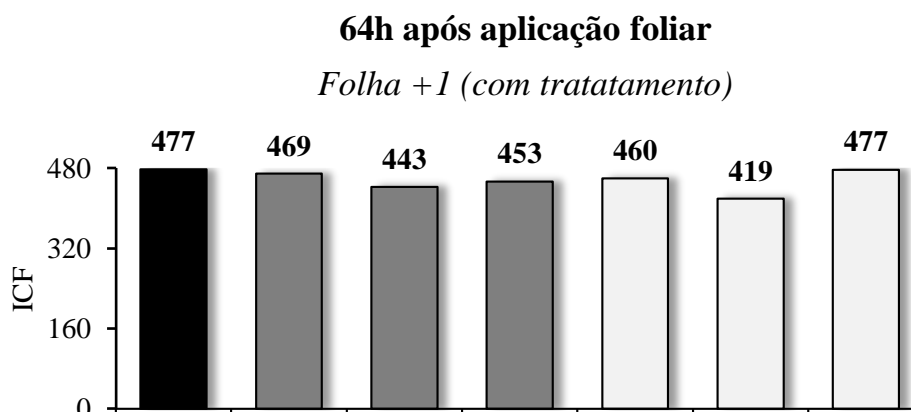
Os tratamentos não influenciaram o teor de clorofila total da planta avaliada 64h e aos sete dias após a aplicação foliar (Tabela 4).

Tabela 4 - Análise de variância das medidas de índice de clorofila total (Índice Falker) em folhas de cana-de-açúcar.

Fonte de variação	Teste F		
	64h após aplicação	Sete dias após aplicação foliar	
	Folha +1	Folha +1 (com tratamento)	Folha zero (sem tratamento)
Bloco	0,92 ^{ns}	1,91 ^{ns}	1,72 ^{ns}
Ni	1,81 ^{ns}	1,13 ^{ns}	1,43 ^{ns}
N	1,19 ^{ns}	1,12 ^{ns}	2,28 ^{ns}
Ni*N	1,17 ^{ns}	0,39 ^{ns}	1,08 ^{ns}
CV (%)	8,9	12,32	16,29

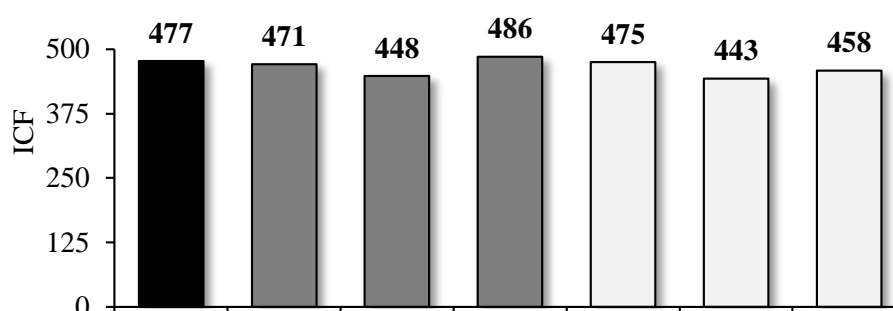
Significância do teste F: ^{ns}não significativo; significativo a **5%, ***1%.

Existe uma correlação positiva da concentração de clorofila com os teores de nitrogênio disponível (PRADO, 2008). Essa relação não foi observada no presente estudo (Figura 4), indicando que o N absorvido provavelmente foi utilizado para produção de outras estruturas na planta e não para formação de clorofila. Devido a isso, os danos foliares dentro de sete dias após a aplicação foliar, não afetaram os teores de clorofila na planta.



Sete dias após aplicação foliar

Folha +1 (com tratamento)



Folha zero (sem tratamento)

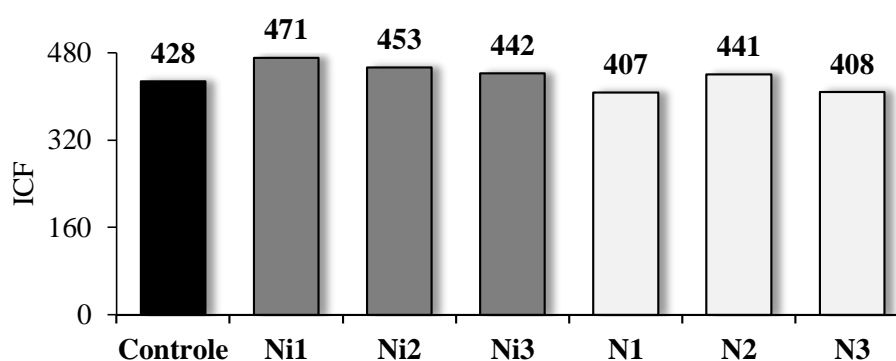


Figura 4 - Índice Falker de clorofila total (ICF) medido na folha +1 e folha zero (folha que não recebeu tratamento imediatamente acima da folha +1) após sete dias da aplicação foliar. Não houve diferença entre os tratamentos. Ni1, Ni2 e Ni3: doses crescentes de níquel. N1, N2 e N3: doses crescentes de nitrogênio.

Fluorescência da clorofila a

A aplicação de Ni modificou as variáveis obtidas pela fluorescência da clorofila a, somente 64h após a aplicação foliar (Tabela 5).

Tabela 5 - Análise de variância das medidas com fluorescência da clorofila na folha +1 após 64 horas da aplicação foliar

Fonte de variação	Teste F			
	F0	¹ Fv/F0	Fv/Fm	φEo
Bloco	1,46 ^{ns}	3,97 ^{**}	2,67 [*]	1,81 ^{ns}
Ni	4,59 ^{***}	3,86 ^{**}	4,24 ^{**}	3,79 ^{**}
N	0,30 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,69 ^{ns}
Ni*N	1,29 ^{ns}	1,33 ^{ns}	1,27 ^{ns}	1,40 ^{ns}
CV (%)	14,7	9,7	9,97	13,6

F0: fluorescência inicial. Fv/F0: rendimento quântico variável. Fv/Fm: rendimento quântico máximo. φEo: rendimento quântico do transporte de elétrons. ¹Transformação em raiz cúbica. Significância do teste F: ^{ns}não significativo; significativo a ^{**}5%, ^{***}1%.

Nesse tempo de avaliação, as doses Ni2 (11,36 mM) e Ni3 (22,72 mM) afetaram o aparato fotossintético da planta (Figura 5). Essas duas doses promoveram um aumento da fluorescência

inicial (F0), indicando dano e inativação dos centros de reações do Fotossistema 2 (FSII) (BAKER e ROSENQVST, 2004; MEHTA et al., 2010). Como consequência, houve redução do rendimento quântico variável (Fv/F0) que indica a baixa eficiência no uso da radiação fotoquímica e, conseqüentemente, na assimilação de carbono pelas plantas (TESTER; BACIC, 2005). O rendimento quântico máximo (Fv/Fm) é altamente sensível a indicação do desempenho fotossintético da planta (KALAJI; GUO, 2008). Assim, a diminuição nos valores dessa variável indica a inibição da atividade fotoquímica, que neste caso foi causado pelo aumento das doses de Ni (Figura 5).

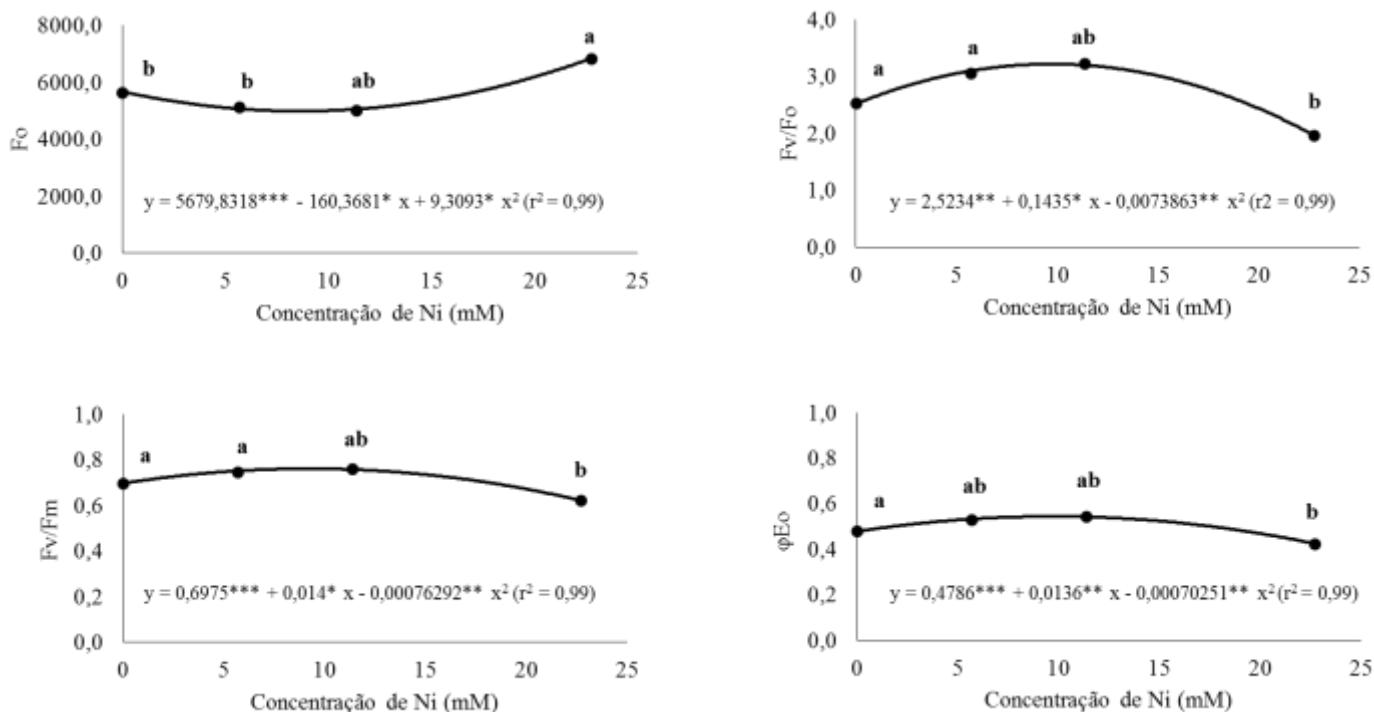


Figura 5 - Parâmetros de fluorescência da clorofila a na folha +1, após 64h da aplicação foliar. F0: fluorescência inicial. Fv/F0: rendimento quântico variável. Fv/Fm: rendimento quântico máximo. φEo: rendimento quântico do transporte de elétrons.

O rendimento quântico do transporte de elétrons (φEo), que mede a eficiência do transporte de elétrons por unidade de energia fotoquímica armazenada nos aceptores finais do PSII, diminuiu com as três doses de Ni aplicadas. Essa diminuição do φEo resulta em uma sobra energética no centro de reação que indica a necessidade de dissipação de energia, seja por fluorescência, seja por dissipação de calor. Uma vez não dissipada, o excesso de energia pode resultar na formação de espécies reativas de oxigênio que comprometem os processos fisiológicos na planta (NISHIYAMA et al., 2011).

Dessa forma, avaliando este último parâmetro, fica evidente que o aumento das doses de Ni afetou a fotossíntese da planta. Contudo, esse efeito não permaneceu aos sete dias após a

aplicação foliar, nem na folha que recebeu tratamento, nem folha zero, que não recebeu tratamento (Tabela 6) indicando uma recuperação do aparato fotossintético da planta.

Tabela 6 - Análise de variância das medidas com fluorescência da clorofila na folha +1 e folha zero aos sete dias após a aplicação foliar.

Fonte de variação	Teste F			
	Folha +1 (com tratamento)			
	F0	¹ Fv/F0	Fv/Fm	φEo
Bloco	0,16 ^{ns}	4,01 ^{ns}	2,39 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Ni	0,79 ^{ns}	3,46 ^{ns}	2,13 ^{ns}	1,20 ^{ns}
N	0,38 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Ni*N	0,52 ^{ns}	3,38 ^{ns}	2,02 ^{ns}	1,43 ^{ns}
CV (%)	17,5	17,1	1,9	5,13
Fonte de variação	Folha zero (sem tratamento)			
	F0	Fv/F0	Fv/Fm	φEo
	Bloco	3,89 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,40 ^{ns}
Ni	0,70 ^{ns}	1,61 ^{ns}	1,51 ^{ns}	2,51 ^{ns}
N	0,75 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,64 ^{ns}	1,30 ^{ns}
Ni*N	0,46 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,27 ^{ns}	1,63 ^{ns}
CV (%)	14,3	14,1	4,14	4,1

F0: fluorescência inicial. Fv/F0: rendimento quântico variável. Fv/Fm: rendimento quântico máximo. φEo: rendimento quântico do transporte de elétrons. ¹Transformação em raiz cúbica. Significância do teste F: ^{ns}não significativo; significativo a **5%, ***1%.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adubação foliar nitrogenada com ou sem Ni não incrementou no crescimento e biomassa total da parte aérea da RB867515, quando avaliada sete dias após a aplicação foliar.

A ausência de resposta significativa na altura da planta, diâmetro e altura de entrenó e massa seca total entre os diferentes manejos pode estar relacionado ao tempo reduzido entre a aplicação foliar e a coleta dos dados.

A adubação com Ni e ureia foliar aumenta os teores de nitrogênio na planta mas não aumenta o índice de clorofila total da cana planta quando avaliada 64h e aos sete dias após a aplicação foliar.

A adubação com Ni afeta o aparato fotossintético da planta quando avaliada 64h após a aplicação foliar, contudo, aos 07 DAAF os tratamentos não modificaram a

fluorescência da clorofila a na folha +1 e folha zero, o que indica recuperação da eficiência fotossintética. Dessa forma, a dose foliar de 5,68 mM de Ni apresentou melhor desempenho considerando eficiência fotossintética. Concentrações superiores a 11,36 mM de Ni resultam em danos necróticos e no aparato fotossintético da cana-de-açúcar.

8. DIFICULDADES ENCONTRADAS

A implantação do experimento não foi realizada na data prevista, devido ao atraso na chegada dos insumos no contexto de pandemia da Covid 19. Isso impossibilitou a realização de todas as análises previstas para este relatório final em relação ao cronograma enviado.

Parte das análises (análises bioquímicas) foram adiadas em virtude de atraso no recebimento do recurso financeiro para custeio e atraso no envio de reagentes, de forma que não foram possíveis de serem realizadas dentro do cronograma previsto.

Durante a condução experimental, o surgimento de ácaros e pulgões na cana-de-açúcar foi uma dificuldade encontrada, sendo necessário o tratamento fitossanitário em resposta ao ataque dessas pragas sugadoras.

O manejo com solução nutritiva foi algo novo e demandou um nível maior de atenção na preparação e calibração das quantidades aplicadas.

Avaliação estatística por regressão requereu aprofundamento do conhecimento e uso de programas para gerar as curvas.

9. ATIVIDADES PARALELAS

Acompanhamento e auxílio de análises laboratoriais e atividades de campo desenvolvidas por mestrandos, doutorandos e graduandos do Grupo de pesquisa e extensão em nutrição de plantas, adubação e fertilidade do solo (GNAF), que permite integrar conhecimentos de manejo da cultura e atividades de pesquisa.

Participação em eventos relacionadas à ciência do solo e nutrição de plantas:

- III Simpósio de Fertilizantes fluídos (16/03/2021 a 18/01/2021);
- VI Simpósio Mineiro de Ciência do Solo (08/06/2021 a 10/06/2021);
- VI Reunião Nordestina de Ciência do Solo (01/12/2020 a 02/12/2020).

10. REFERÊNCIAS

- AUDE, M. I. D. S. Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade. **Ciência rural**, v. 23, p. 241-248, 1993.
- ANDRADE, J. J. **Eficiência da adubação nitrogenada foliar na cana-de-açúcar**. Recife: UFRPE, 2021. p. 74. Dissertação – Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- AMBROSANO, E. J.; WUTKE, E. B.; AMBROSANO, G. M. B.; BULISANI, E. A.; BORTOLETTO, N.; MARTINHS, A. L. M.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; SORDI, G. de. Efeito do nitrogênio no cultivo de feijão irrigado no inverno. **Sci. agric.** vol. 53 n. 2-3- Piracicaba May/Dec. 1996.
- BAI, C. **Insights into the nutritional physiology of nickel**. In: **XXVII International Horticultural Congress-IHC: International Symposium on Enhancing Economic and Environmental 772**. 2006. p. 365-368, 2006.
- BAKER, N.R.; ROSENQVST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.55, p.1607-1621, 2004
- BARCELOS, J. P. Q.; OSÓRIO, C. R. W. de S.; LEAL, A. J. F.; ALVES, C. Z.; SANTOS, E. F.; REIS, H. P. G.; REIS, A. R. Effects of foliar nickel (Ni) application on mineral nutrition status, urease activity and physiological quality of soybean seeds. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 2, p. 184-192, 2017.
- BARCELOS, J. P. Q.; REIS, H. P. G.; GODOY, C. V.; GRATÃO, P. L.; FURLANI JUNIOR, E.; PUTTI, F. F.; CAMPOS, M.; REIS, A. R. Impact of foliar nickel application on urease activity, antioxidant metabolism and control of powdery mildew (*Microsphaera diffusa*) in soybean plants. **Plant Pathology**, v. 67, p. 1502-1513, 2018.
- BASTOS, A. **Aproveitamento de nitrogênio (15n) da ureia pela cana-de-açúcar irrigada**. Rio Verde-Goiás, 2017. Dissertação (Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Goiás, 2017
- BENNETT, C. G.; BUZETTI, S.; SILVA, K. S.; TEXIRA-FILHO, M. C. M.; GARCIA, C. M. P.; MAESTRELO, P. R. Produtividade e desenvolvimento da cana-planta e soca

- em função de doses e fontes de manganês. **Revista Brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v.35, p.1661-1668, 2011.
- BINDRABAN, P.S.; DIMKPA, C.; NAGARAJAN, L.; ROY, A.; RABBINGE, R. (2015) Revisiting fertilisers and fertilisation strategies for improved nutrient uptake by plants. **Biol Fertil Soils** 51:897–911.
- BOARETTO, A. E.; SANTOS NETO, P.; MUROAKA, T.; OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O. Fertilização foliar de nitrogênio para laranjeira em estágio de formação. **Scientiae Agrícola**, 1999.
- BORDONAL, R. de O.; CARVALHO, J. L.N.; LAL, R.; FIGUEIREDO, E. B. de; OLIVEIRA, B. G. de; LA SCALA JR, N. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 38, n. 13, p. 1-13, 2018.
- BUENO, A.; ALFRHAN, A.; ARAND, K.; BURGHARDT, M.; DEINIGER, A. C.; HEDRICH, R.; LEIDE, J.; SEUFERT, P.; STAIGER, S.; REIDERER, M. Effects of temperature on the cuticular transpiration barrier of two desert plants with water-spender and water-saver strategies, **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 70, n.5, p.1613- 1625, 2019.
- CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R. Fertilizers for sugarcane. In: Sugarcane bioethanol — R&D for Productivity and Sustainability., 2014. Cortez, LAB (Ed.). São Paulo: Edgard Blücher, p. 405-422.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. **Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed.). Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p.355- 412.**
- CASTRO, P. R. C. **Princípios da adubação foliar**. v. 1. s/n. p. 1-42. Jaboticabal, Funesp, 2009.
- CERQUEIRA, G.; SANTOS, M. C.; MARCHIORI, P. E. R.; SILVEIRA, N. M.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R. V. Leaf nitrogen supply improves sugarcane photosynthesis under low temperature. **Photosynthetica**, Praga, v. 57, n. 1, p. 18-26, 2019

CHAVES, M. L. (2008). **Manejo do nitrogênio em canaviais**. Federal University of Lavras, Lavras, MG.

CHEAVEGATTI-GIANOTTO, A.; ABREU, H. M. C.; FILHO, P. A.; BESPALHOK, J. C.; BURNGUIST, W. L.; CRESTE, S.; CIERO, L.; FERRO, J. A.; OLIVEIRA, A. V. F.; FILGUEIRA, T. S.; SÁ, M. F. G.; GUSSO, E. C.; HOFFMAN, H. P.; LANDEL, M. G. A.; MATSUKA, N. M.; REINACH, S. M.; REINACH, F. C.; ROMANO, E.; SILVA, W. J.; FILHO, M. C. S., ULIAN, E. C. Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): A Reference Study for the Regulation of Genetically Modified Cultivars in Brazil. **Tropical Plant Biology**, Nova York v. 4, n. 1, p. 62-89, 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Portal de Informações Agropecuárias. 3º Levantamento – Safra 2021/22. Boletim de Safra de Cana-de-açúcar. Novembro 2021. Disponível em: <file:///C:/Users/junior/Downloads/E-book_BoletimZdeZSafrasZcana_3ZlevZ2021-compactadoZ1%20(2).pdf> Acessado em: Janeiro de 2022

DEUNER, S.; NASCIMENTO, R. DO; FERREIRA, L. S.; BADINELLI, P. G.; KERBER, R. S. Adubação foliar e via solo de nitrogênio em plantas de milho em fase inicial de desenvolvimento. **Ciênc. Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1359-1365, set/out., 2008.

DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. **Cana-de-açúcar. Campinas**: Instituto Agrônômico, 2010. 882p.

DIXON, N. E.; GAZZOLA, C.; BLAKELEY, R. L.; ZERNER, B. Jack bean urease (EC 3.5.1.5) a metalloenzyme: simple biological role for nickel. **Journal of the American Chemical Society**, v. 97, n. 14, p. 4131-4133, 1975.

DOURADO NETO, D.; POWLSON, D.; ABU BAKAR, R.; BACCHI, O.O.S.; BASANTA, M.V.; THI CONG, P.; KEERTHISINGHE, S.; ISMAILI, M.; RAHMAN, S.M.; REICHARDT, K.; SAFWAT, M.S.A.; SANGAKKARA, R.; TIMM, L.C.; WANG, J.Y.; ZAGAL, E.; VAN KESSEL, C. Recuperações multitemporadas de nitrogênio orgânico e inorgânico-15 em sistemas de cultivo tropical. *Solo Sci Soc Am J* 74:139-152, 2010.

EICHERT, T. Foliar Nutrient Uptake – of Myths and Legends. **Acta Horticultura**, 984, ISHS, 2013.

- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. P. **Nutrição mineral das plantas: Princípios e perspectivas.** Londrina. editora planta, 2006.
- FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P.; MOREIRA, A.; GUIMARÃES, C. M. Foliar Fertilization of crop plants. **Journal of plant nutrition**, Filadélfia, v.32, p.1044-1064, 2009.
- FERNÁNDEZ, V.; BAHAMONDE, H. A.; PINA, J. J. P.; PERLEFRÍN, E. G.; KNAPIK, D. S.; GIL, L.; GOLDBACH, H. E.; EICHERT, T. Physico-chemical properties of plant cuticles and their functional and ecological significance. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 68, n.19, p.5293-5306, 2017.
- FERNÁNDEZ, V.; EICHERT, T. Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: current State of knowledge and perspectives of foliar fertilization. **Plant Science**, Limerick, v.28, p.36-68, 2009.
- FERNÁNDEZ, V.; SOTIROPOULOS, T.; BROWN, P. **Adubação foliar: fundamentos científicos e técnicas de campo.** São Paulo: Abisolo, 2015.
- FORTES, C.; TRIVELIN, .C.O.; VITTIA.C.; FERREIRA, D.A.; FRANCO, H.C.J.; OTTO R. 2011. Recuperação de nitrogênio (15N) por cana-de-açúcar de resíduos de culturas anteriores e fertilização da ureia sob um sistema de lavoura mínimo. **Sugar Tech** 13: 42– 46.
- FRANCO, H.C.J.; OTTO, R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, E.C.A.; TRIVELIN, P.C.O. Nitrogênio na cana-de-açúcar derivado de fertilizantes em condições brasileiras de campo. **Field Crops Res** 121:29-41, 2011.
- FREITAS, D. S.; RODAK, B. W.; CARNEIRO, M. A. C.; GUILHERME, L. R. G. How does Ni 40 fertilization affect a responsive soybean genotype? A dose study. **Plant and Soil**, v. 44, n. 1, p. 567- 41 586, 2019.
- GERENDÁS, J.; SATTELMACHER, B. Significance of Ni supply for growth, urease activity and the concentrations of urea, amino acids and mineral nutrients of urea-grown plants. **Plant and Soil**, v. 190, n. 1, p. 153-162, 1997.
- GONZAGA, L. C.; CARVALHO, J. L. N.; OLIVEIRA, B. G. de; SOARES, J. R.; CANTARELLA, H. Crop residue removal and nitrification inhibitor application as

- strategies to mitigate N₂O emissions in sugarcane fields. **Biomass and Bioenergy**, v. 199, p. 206-216, 2018.
- GONZÁLEZ, B. Z.; REYES, A. F.; GUTIÉRREZ, A. M.; CALDERÓN, A. E.; ROBLEDO, M. T. Production of corn hybrids with stabilized urea and foliar nutrition. **Revista Mexicana Ciencias Agrícolas**, v. 9, n. 6, Texcoco, 2018.
- GRASSI, M. C. B.; PEREIRA, G. A. G. Energy-cane and RenovaBio: Brazilian vectors to boost the development of biofuels. **Industrial Crops and Products**, v. 129, p. 201-205, 2019.
- HARASIM, P. 2018. Nickel resources and sources. In **Nickel in soils and plants**, ed. C. Tsadilas, J. Rinklebe, and M. Selim, 87–104. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- HEREDIA, A. Biophysical and biochemical characteristics of cutin, a plant barrier biopolymer. **Biochimica Et Biophysica Acta-General Subjects**, v. 1620, p. 1-7, 2003.
- HERMANN, E.R. & G.M.S. Câmara. 1999. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. *Revista da STAB*, 17: 32-34.
- HOLST, J.; BRACKIN, R.; ROBINSON, N.; LAKSHMANAN, P.; SCHNUDT, S. Soluble inorganic and organic nitrogen in two Australian soils under sugar cane cultivation. **Agriculture, Ecosystems e Environment**, v.155, p.16-26, 2012.
- JADOSKI, C. J.; TOPPA, E. V. B.; JULIANETTI, A.; HULSHOF, T.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Physiology development in the vegetative stage of sugarcane. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v. 3, n. 2, p. 177-185, 2010.
- KALAJI, M. H.; GUO, P. **Chlorophyll fluorescence: a useful tool in barley plant breeding programs**. In: SANCHEZ, A.; GUTIERREZ, S. J. (Eds.) *Photochemistry Research Progress*, New York: Nova Publishers, 2008, p. 439–463
- KARABOURNIOTIS, G.; LIAKOPOULOS, G. Phenolic compounds in plant cuticles: Physiological and ecophysiological aspects. **Advances in Plant Physiology**, v. 8, p. 33-47, 2005.
- KERSTIENS, G. Plant cuticle. In: **Encyclopedia of life sciences**. John Wiley & Sons, 2010.

KUTMAN, B. Y.; KUTMAN, U. B.; ÇAKMAK, I. Nickel-enriched seed and externally supplied nickel improve growth and alleviate foliar urea damage in soybean. **Plant and Soil**, v. 363, n. 1, p. 61-75, 2012.

KHOSHGOFTARMANESH, A. H.; HOSSEINI, F.; AFYUNI, M. Nickel supplementation effect on the growth, urease activity and urea and nitrate concentrations in lettuce supplied with different nitrogen sources. **Scientia horticulturae**, v. 130, n. 2, p. 381-385, 2011.

LAVRES, J.; CASTRO FRANCO, G. C.; CÂMARA, G. M. de S. Soybean seed treatment with 3 nickel improves biological nitrogen fixation and urease activity. **Frontiers in Environmental Science**, v. 4, p. 37, 2016.

LEAL, M.R.L.V.; WALTER, A.S.; SEABRA, J.E.A. Sugarcane as an energy source. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 3, p. 17-26, 2013.

LEITE, J. M.; ARACHICHIGE, P. S. P.; CIAMPITTI, I. A.; HETTIARACICI, G. M.; MAURMANN, L.; TRIVELIN, P. C. O.; PRASAD, P.V.; SUNOJ, S. B. J. Co-addition of humic substances and humic acids with urea enhances foliar nitrogen use efficiency in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Heliyon**, v. 6, n. 10, p. e05100, 2020.

LUO, Z.; KONG, X.; DAI, J.; DONG, H. Soil plus foliar nitrogen application increases cotton growth and salinity tolerance. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 38, p. 443–455, 2015.

MA, C.; BAN, T.; YU, H.; LI, Q.; LI, X.; JIANG, W.; XIE, J. Urea addition promotes the metabolism and utilization of nitrogen in Cucumber. **Agronomy**, Bogotá v.9, n.262, p.2-17, 2019.

MARIANO, E.; OTTO, RAFAEL.; MONTEZANO, Z. F.; CANTARELA, H. & TRIVELIN, P. C. O. Soil nitrogen availability index as predictors of sugarcane nitrogen requirements. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 89, p. 25-37, 2017.

MEGDA, M.X.; MARIANO, L. J.M.; FRANCO, H.C.J.; VITTI A.C.; MEGDA, M.M.; Khan, S.A.; MULVANEY, R.L.; TRIVELIN, P.C.O. 2015. Contribuição do nitrogênio fertilizante para o nitrogênio total extraído pela cana-de-açúcar nas condições do campo brasileiro. **O Nutr. Ciclismo Agroecosyst**. 101: 241– 257.

MEHTA, P.; JAJOO, A.; MATHUR, S.; BHARTI, S. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on photosystem II in wheat leaves. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 1, p. 16–20, 2010.

MISKOWIEC, P.; OLECH, Z. Searching for the correlation between the activity of urease and the content of nickel in the soil samples: The role of metal speciation. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. Short Communicatin. p. 1-8, 2020.

MOCELLIN, R. S. **Princípios da adubação foliar. Coletânea de dados e revisão bibliográfica**. Canoas/RS: Omega Fertilizantes, 83p, 2004.

MU, X.; CHEN, Y. The physiological response of photosynthesis to nitrogen deficiency. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 158, p. 76-82, 2021.

MUHAMMAD, U. H.; MUHAMMAD, U. C.; IMRAN K.; MUHAMMAD, B. C.; MUHAMMAD A.; MUHAMMAD N.; ABID A.; MUHAMMAD A. U. K.; TAHIR A. K. Nickel toxicity in plants: reasons, toxic effects, tolerance mechanisms, and remediation possibilities—a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 13, p. 12673-12688, 2019.

NISHIYAMA, Y.; SULEYMAN, I. A.; MURATA, N. Protein synthesis is the primary target of reactive oxygen species in the photoinhibition of photosystem II. **Physiologia Plantarum**, v.142, n. 1, p.35-46, 2011

NIU, J.; LIU, C.; HUANG, M.; LIU, K.; YAN, D. Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, p. 104-118, 2021.

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

OLIVEIRA, J. B.; LAVRES, J.; VAN DER ENT, A. In Situ Analysis of Nickel Uptake from Foliar Application in Pecan Using Instrumental μ XRF Analysis. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, p. 1-9, 2021.

OLIVEIRA, M. W.; NASCIF, C.; Silva, V. S. G.; OLIVEIRA, T. B. A.; RODRIGUES T. C.; GAMA, K. F. V.; OLIVEIRA, G. C. B. Biomass yield, nutritional status and

industrial quality of sugarcane as a function of nitrogen and potassium fertilization. **Australian journal of crop science**, Brisbane, Austrália, v.12, n.5, p.834-840. 2018.

OLIVEIRA, M.W.; F.M. FREIRE, G.A.R.; MACEDO, J.J. Ferreira. 2007. Nutrição Mineral e Adubação da cana-de-açúcar. **Informe agropecuário, Belo Horizonte**, v.28, n.239, p.30-43.

OLIVEIRA, R. I.; MEDEIROS, M. R. F. A. de; FREIRE, C. S.; FREIRE, F. J. F.; SIMÕES NETO, 13 D. E.; OLIVEIRA, E. C. A. de. Nutrient partitioning and nutritional requirement in sugarcane. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 1, p. 69-75, 2016.

Otto R, Castro SAQ, Mariano E, Castro SGQ, Franco HCJ, Trivelin PCO (2016) Eficiência de uso de nitrogênio para a produção de cana-de-açúcar-biocombustível: o que vem a seguir? **Bio Energy Res.** 9:1272-1289.

OTTO, R.; MULVANEY, R.L.; KHAN, S.A.; TRIVELIN, P.C.O. (2013) Quantificando a mineralização do nitrogênio do solo para melhorar o manejo de nitrogênio de fertilizantes da cana-de-açúcar. **Solos Férteis Biol.** 49:893-904.

PENATTI, C. P. (2013). **Adubação da cana-de-açúcar - 30 anos de experiência** (1st ed., pp. 54-83). Brazil, SP: Editora Ottoni.

PEREIRA, W.; OLIVEIRA, R. P.; PEREIRA, A.; SOUSA, J. S.; SCHULTZ, N.; URQUIAGA, S.; REIS, V. M. Nitrogen acquisition and ¹⁵N-fertiliser recovery efficiency of sugarcane cultivar RB92579 inoculated with five diazotrophs. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 119, p. 37-50, 2021.

POLACCO, J. C.; MAZZAFERA, P.; TEZOTTO, T. Opinion–nickel and urease in plants: still many knowledge gaps. **Plant Science**, v. 199, p. 79-90, 2013.

POLACCO, J. C.; MAZZAFERA, P.; TEZOTTO, T. Opinion–nickel and urease in plants: still many knowledge gaps. **Plant Science**, v. 199, p. 79-90, 2013.

POONKOTHAI, M. V. B. S.; VIJAYAVATHI, B. S. Nickel as an essential element and a toxicant. **International Journal of Environmental Sciences**, v. 1, n. 4, p. 285-288, 2012.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. 8. ed. São Paulo: Ed. da UNESP, 2008.

- RUTER, J. M. Effect of nickel applications for the control of mouse ear disorder on river birch. **Hort Science**. 23,17-20. 2005.
- RIDESA - Rede Interuniversitária para o desenvolvimento do Setor Sucroenergético. Censo varietal Brasil 2017/18. Disponível em:< <https://www.ridesa.com.br/censo-varietal>>. Acesso em Janeiro de 2022.
- RIEDERER, M.; FRIEDMANN, A. Transport of lipophilic non-electrolytes across the cuticle. In: Riederer, M.; Muller, C. (Ed.). **Biology of the plant cuticle**. v. 23. Oxford: Blackwell Publishing, 2006. p. 250-279.
- ROBINSON, N.; BRACKIN, R.; VINALL, K.; SOPER, F.; HOLST, J.; GAMAGE, H.; PAUNGFOO-LONHIENNE, C.; RENNENBERG, H.; LAKSHMANAM, P.; SCHMIDT, S. Nitrate paradigm does not hold up for sugarcane. **Plos One**. v. 6, n. 4, e19045, 2011.
- RUAN, J.; GEREDÁS, J. Absorption of foliar-applied urea 15 50 N and the impact of low nitrogen, 51 potassium, magnesium and sulfur nutritional status in tea (*Camellia sinensis* L.) plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 61, p. 653-663, 2015. <https://doi.org/10.1080/00380768.2015.1027134>
- SANGPLUNG, N.; ROSARIO, E. L. Response of sugarcane to foliar application of urea. **The Philippine Journal of Crop Science**, v. 3, n. 2, p. 103-109, 2005.
- SANTANA, A. C. A.; OLIVEIRA, E. C. A.; SILVA, V. S. G.; SANTOS, R. L.; SILVA, M. S.; FREIRE, F. J. Critical nitrogen dilution curves and productivity assessments for plant cane. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.24, n.4, p.244-251, 2020.
- SHAHZAD, B.; TANVEER, M.; REHMAN, A.; CHEEMA, A.; FAHAD, S.; REHMAN, S.; SHARMA, A. Nickel; whether toxic or essential for plants and environment - A review. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 132, p. 641-651, 2018.
- SILVA, J. A. da. The importance of the wild cane *Saccharum spontaneum* for bioenergy genetic 49 breeding. **Sugar Tech**, v. 19, p. 1-13, 2017.
- SILVA, A. M. S. **Eficiência do manejo da adubação nitrogenada na cana soca cultivada em solo arenoso da região do Nordeste do Brasil**. Recife, 2019. 107 Tese

(Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

SILVEIRA, J.A.G.; CROCOMO, O.J. 1990. Assimilação de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em presença de elevado nível de nitrogênio e de vinhaça no solo. *Bras. J. Plant Physiol.* 2, 7–15.

SIMÕES-NETO, D. E. S. Variedades de Cana-de-açúcar no estado de Pernambuco contribuição do melhoramento clássico da RIDESA-UFRPE. **Anais da academia Pernambucana de ciências agrônômica**, Recife, v.5 e 6 p.125-146, 2008-2009.

SOBATI-NASAB, Z.; ALIREZALU, A.; NORUZI, P. Effect of foliar application of nickel on physiological and phytochemical characteristics of pot marigold (*Calendula officinalis*). **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 3, p. 100108, 2021.

TEIXEIRA, P. C. Manual de métodos de análise de solo. eds. téc. Paulo Cesar Teixeira [et al.], 3. ed. rev. e ampl. – Embrapa Informação Tecnológica. 573 p. Brasília, DF: 2017.

TESTER, M.; BACIC, A. (2005) - Abiotic stress tolerance in grasses. From model plants to crop plants. **Plant Physiology**, vol. 137, n. 1, p. 791-793.

TEZOTTO, T.; FAVARIN, J. L.; AZEVEDO, R. A.; ALLEONI, L. R. F.; MAZZAFERA, P. Coffee is highly tolerant to cadmium, nickel and zinc: plant and soil nutritional status, metal distribution and bean yield. **Field Crops Research**, v. 125, p. 24-34, 2012.

TRIVELIN, P. C. O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar: Três casos estudados com uso do traçador ¹⁵N**. 2000. 175f. Livre docência (Isótopos Estáveis) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

TRIVELIN, P. C. O.; CARVALHO, J. G.; SILVA, A. L.; PRIMAVESI, A. C. P. A.; CAMACHO, E.; EIMORI, I. E.; GUILHERME, M. R. Adubação foliar de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): Absorção e translocação de ureia – ¹⁵N. **Energia Nuclear na Agricultura**, Piracicaba, v. 9, n. 2, p. 52-65, 1988.

TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W.; GAVA, G. J. C.; SARRIÉS, G.A. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo

arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 637-646, 2002.

URQUIAGA, S. MALAVOLTA, E. URÉIA: UM ADUBO ORGÂNICO DE POTENCIAL PARA A AGRICULTURA ORGÂNICA. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.19, n.2, p.333-339, 2002.

VEDOVATO, J.; FINAMORE, W. ADUBAÇÃO FOLIAR NA CULTURA DO MILHO SAFRINHA. **A Revista Eletrônica da Faculdade de Ciências Exatas e da Terra Produção/construção e tecnologia**, v. 5, n. 8, 2016.

VIEIRA-MEGDA, M. X. **Eficiência agrônômica da adubação de soqueira de cana-de-açúcar com cloreto de amônio**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

VIEIRA-MEGDA, M. X.; MARIANO, E.; LEITE, J. M.; FRANCO, H. C. J.; VITTI, A. C.; MEGDA, M. M.; TRIVELIN, P. C. O. Contribution of fertilizer nitrogen to the total nitrogen extracted by sugarcane under Brazilian field conditions. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 101, n. 2, p. 241-257, 2015.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; PENATTI, C. P.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E.; FRANCO, H. C. J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 249-256, 2007.

WANG, W.; XU, W.; WEN, Z.; WANG, D.; WANG, S.; ZHANG, Z.; ZHAO, Y.; LUI, X. Characteristics of Atmospheric Reactive Nitrogen Deposition in Nyingchi City. **Nature**, Londres, v.9, 2019

WITTE, C. P. Urea metabolismo in plants. **Plant Science**, Limerick, v. 180, n. 3, p. 431-438, 2011.

WOOD, B. Correcting micronutrient deficiency using metal hyperaccumulators: Alyssum Momass as a natural product for nickel deficiency correction. **HortScience**. 41,1231-1234. 2006.

YADAV, S. K. 2010. Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatin in heavy metal stress tolerance of plants. **South African Journal of Botany** 76:167–79.

YUSUF, M., Q. Fariduddin, S. Hayat, and A. Ahmad. 2011. Nickel: An overview of uptake, essentiality and toxicity in plants. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology** 86:1–17.

ZHANG Y.; DING, H.; ZHENG, X.; CAI, Z.; MISSELBROOK, T.; CARSWELL, A.; MULLER, C.; ZHANG, J. Soil N transformation mechanisms can effectively conserve N in soil under saturated conditions compared to unsaturated conditions in subtropical China, Dordrecht, **Biology and Fertility of Soils**, v.54, p.495–507, 2018.

ZHAO, H.; LI, X.; JAING, Y. Response of nitrogen losses to excessive nitrogen fertilizer application in intensive greenhouse vegetable production. **Sustainability**, Basileía, v. 11, p. 1513, 2019.

ZHU, J.; HE, N.; WANG, Q.; YUAN, G.; WEN, D.; YU, G.; JIA, Y. The composition, spatial patterns, and influencing factors of atmospheric wet nitrogen deposition in Chinese terrestrial ecosystems. **Science of the total environment**, Amsterdam, v.511, p.777-785, 2015.