



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**  
**CAMPUS IV**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE AGRÁRIAS E EXATAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**PAULO CÁSSIO ALVES LINHARES**

**MAGNÉSIO FOLIAR NA FISIOLOGIA DO CRESCIMENTO DE**  
**VARIETADES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CONDIÇÕES DE SALINIDADE**

**CATOLÉ DO ROCHA, PB**

**2024**

PAULO CÁSSIO ALVES LINHARES

**MAGNÉSIO FOLIAR NA FISIOLOGIA DO CRESCIMENTO DE  
VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CONDIÇÕES DE SALINIDADE**

Trabalho de conclusão de curso (Artigo) apresentado a coordenação do Curso de Agronomia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Agronomia.

**Área de concentração:** Fisiologia de Plantas Cultivadas

**Orientador:** Prof. Dr. Francisco Vanies da Silva Sá

CATOLÉ DO ROCHA, PB

2024

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto em versão impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que, na reprodução, figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

L755m Linhares, Paulo Cássio Alves.

Magnésio foliar na fisiologia do crescimento de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade [manuscrito] / Paulo Cássio Alves Linhares. - 2024.

38 f. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Humanas e Agrárias, 2024.

"Orientação : Prof. Dr. Francisco Vanies da Silva Sá, Departamento de Agrárias e Exatas - CCHA".

1. Cloreto de sódio. 2. Fotossíntese. 3. Saccharum spp. 4. Mg-ATP.  
I. Título

21. ed. CDD 571.2

PAULO CÁSSIO ALVES LINHARES

**MAGNÉSIO FOLIAR NA FISIOLOGIA DO CRESCIMENTO DE  
VARIEDADES DE CANA-DE-AÇUCAR EM CONDIÇÕES DE SALINIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Agronomia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Aprovada em: 21/11/2024.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Francisco Vanies da Silva Sá** (\*\*\*.547.234-\*\*), em **12/12/2024 15:16:46** com chave **3fbaea5cb8b511ef90011a1c3150b54b**.
- **Kelina Bernardo Silva** (\*\*\*.920.734-\*\*), em **12/12/2024 16:41:47** com chave **1fc0140ab8c111efa6c41a1c3150b54b**.
- **Lays Klécia Silva Lins** (\*\*\*.676.704-\*\*), em **12/12/2024 18:20:15** com chave **e19350c6b8ce11ef8efc06adb0a3afce**.

Documento emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse [https://suap.uepb.edu.br/comum/autenticar\\_documento/](https://suap.uepb.edu.br/comum/autenticar_documento/) e informe os dados a seguir.

**Tipo de Documento:** Termo de Aprovação de Projeto Final

**Data da Emissão:** 12/12/2024

**Código de Autenticação:** 6e56ce



## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha noiva, Rayane Nunes Gomes, por todo seu companheirismo, incentivo, amor e carinho.

## EPÍGRAFE

*“A experiência é um troféu composto por todas as armas que nos feriram.”*

Marco Aurélio

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Temperaturas mínima (T min), média (T med) e máxima (T max), e umidade relativa do ar, do interior da casa de vegetação, durante o período experimental.....	14
<b>Figura 2.</b>	Esquema dos tratamentos e condução experimental.....	15
<b>Figura 3.</b>	Altura do colmo (AC, A e B) e diâmetro do colmo (DC, B e C), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar.....	18
<b>Figura 4.</b>	Número de folhas verdes (NFV, A e B) e área foliar (AF, B e C), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar.....	19
<b>Figura 5.</b>	Assimilação líquida de CO <sub>2</sub> (A, A e B), condutância estomática ( <i>gs</i> , C e D) e transpiração ( <i>E</i> , E e F), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar.....	21
<b>Figura 6.</b>	Eficiências do uso da água (EUA, A), intrínseca do uso da água (EUAI, B), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar.....	23
<b>Figura 7.</b>	Temperatura foliar (T <sub>f</sub> , A e B) e déficit de pressão de vapor (VPD, C e D), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar.....	24
<b>Figura 8.</b>	Representação das variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar.....	25

## LISTA DE FIGURAS DOS APÊNDICES

- APÊNDICE A** - Corte (1) e plantio (2) dos toletes, transplântio para os vasos (3, 4 e 5) e mudas na casa de vegetação (6), de variedades de cana-de-açúcar..... 33
- APÊNDICE B** - Preparo da solução de Mg a  $10 \text{ mL L}^{-1}$  (1), primeira e segunda aplicação do Mg nas plantas (2 e 3), pesagem do NaCl (4), preparo e homogeneização da solução salina a  $5,5 \text{ dS m}^{-1}$  (5), conferência da condutividade elétrica da solução salina (6), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar..... 34
- APÊNDICE C** - Fertirrigação (1), irrigação (2), aferição da altura do colmo (3), diâmetro do colmo (4), comprimento da folha (5) e análise de trocas gasosas (6), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar..... 35

## LISTA DE TABELAS DOS APÊNDICES

- APÊNDICE D -** Teste de homogeneidade das variâncias (Levene e Bartlett) e normalidade dos dados (Shapiro-Wilk), para altura do colmo (AC), diâmetro do colmo (DC), número de folhas verdes (NFV), área foliar (AF), assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), condutância estomática (*g<sub>s</sub>*), transpiração (*E*), eficiência do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EUAI), temperatura foliar (Tf) e déficit de pressão de vapor (VPD), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar 36
- APÊNDICE E -** Teste de homogeneidade das variâncias (Levene e Bartlett) e normalidade dos dados (Shapiro-Wilk), após transformação dos dados, área foliar (AF), assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), condutância estomática (*g<sub>s</sub>*), transpiração (*E*) e temperatura foliar (Tf), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar 37
- APÊNDICE F -** Valores de F para altura do colmo (AC), diâmetro do colmo (DC), número de folhas verdes (NFV), área foliar (AF), assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), condutância estomática (*g<sub>s</sub>*), transpiração (*E*), eficiência do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EUAI), temperatura foliar (Tf) e déficit de pressão de vapor (VPD), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar..... 38

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	13
<b>2.1 Local do experimento</b> .....	13
<b>2.2 Delineamento experimental e tratamentos</b> .....	14
<b>2.3 Condução experimental</b> .....	14
<b>2.4 Características analisadas</b> .....	16
2.4.1 <i>Crescimento das plantas</i> .....	16
2.4.2 <i>Trocas gasosas</i> .....	17
<b>2.5 Análise estatística</b> .....	17
<b>3 RESULTADOS</b> .....	17
<b>3.1 Crescimento de variedades suplementadas com magnésio e sob salinidade</b> .....	17
<b>3.2 Magnésio foliar nas trocas gasosas de variedades sob salinidade</b> .....	20
<b>4 DISCUSSÃO</b> .....	26
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	28
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	29
<b>APÊNDICES</b> .....	32

## MAGNÉSIO FOLIAR NA FISIOLOGIA DO CRESCIMENTO DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CONDIÇÕES DE SALINIDADE

### FOLIAR MAGNESIUM IN THE PHYSIOLOGY OF GROWTH OF SUGARCANE VARIETIES UNDER SALINITY CONDITIONS

Paulo Cássio Alves Linhares\*  
Francisco Vanies da Silva Sá\*\*

#### RESUMO

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) tem importância no agronegócio mundial, sendo sua produção afetada pela salinidade da água de irrigação. No entanto, o magnésio (Mg) pode ser utilizado para atenuar seus efeitos, por ser ativador enzimático no metabolismo fotossintético. Foi testada a hipótese de que o Mg foliar pode mitigar os efeitos da salinidade no crescimento e trocas gasosas de variedades de cana-de-açúcar. Assim, objetivou-se analisar o crescimento e atividade fotossintética de plantas de variedades de cana-de-açúcar suplementadas com Mg foliar sob salinidade. Realizou-se uma pesquisa em casa de vegetação, em delineamento de blocos casualizados, esquema fatorial 2x3, com quatro repetições. O primeiro fator foram duas variedades de cana-de-açúcar (V1= Caiana Verde e V2 = Caiana Roxa), e o segundo, três tratamentos de salinidade e Mg foliar: S1 = 0,5 dS m<sup>-1</sup>, S2= 5,5 dS m<sup>-1</sup> e S3= 5,5 dS m<sup>-1</sup> + Mg foliar. Nos tratamentos com salinidade utilizou-se água salina (NaCl) e para o Mg foliar foi utilizado o produto comercial FORPLANT® (10 mL L<sup>-1</sup>). Avaliaram-se: altura do colmo (AC, cm), diâmetro do colmo (DC, mm), número de folhas verdes (NFV); área foliar (AF, cm<sup>2</sup>), assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A, μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), condutância estomática (gs, mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e transpiração (E, mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>); eficiências do uso da água (EUA, μmol mmol<sup>-1</sup>), eficiência intrínseca do uso da água (EUAI, μmol mol<sup>-1</sup>), temperatura foliar (Tf, °C) e déficit de pressão de vapor (VPD, kPa). Realizou-se uma análise de variância (Teste F, p≤0,05) e um teste de médias (Tukey, p≤0,05). Houve interação significativa entre os fatores testados apenas para EUA e EUAI. Para a AC a V2 apresentou o maior valor (22,80 cm), e para o NFV, a V1 que apresentou o maior valor (4). O S3 apresentou A= 20,35 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>; gs= 0,075 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e E= 2,60 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, diferindo significativamente do S2. Para o VPD, o S2 apresentou o maior valor (3,55 kPa), diferindo significativamente de S3 (VPD de 3,36 kPa). A V1 apresentou EUA e EUAI em S3, semelhante ao S1. Já para V2, os maiores valores de EUA (8,78 μmol mmol<sup>-1</sup>) e EUAI (313,95 μmol mol<sup>-1</sup>), foram em S3. Em S2 e S3, a melhor variedade foi a V2. Portanto, a salinidade da água de irrigação afetou o crescimento das plantas de cana-de-açúcar, de forma que o magnésio não atenuou seus efeitos. Plantas de cana-de-açúcar suplementadas com magnésio foliar apresentaram maior atividade fotossintética em condições de salinidade. A cana Caiana Roxa suplementada com magnésio foliar apresenta maior eficiência do uso da água sob salinidade.

**Palavras-chave:** cloreto de sódio; fotossíntese; *Saccharum* spp; Mg-ATP.

#### ABSTRACT

Sugarcane (*Saccharum* spp) cultivation is important in global agribusiness, and its production is affected by the salinity of irrigation water. However, magnesium (Mg) can be used to mitigate its effects, as it is an enzyme activator in photosynthetic metabolism.

\*Licenciado em Ciências Agrárias, Mestre em Fitotecnia e Doutor em Fisiologia Vegetal.  
paulo.uepb.ca@gmail.com / paulo.linhares@aluno.uepb.edu.br

\*\*Agrônomo, Mestre em Manejo de Solo e Água e Doutor em Engenharia Agrícola e em Fitotecnia.  
vanies\_agronomia@hotmail.com / vanies@servidor.uepb.edu.br

The hypothesis that foliar Mg can mitigate the effects of salinity on the growth and gas exchange of sugarcane varieties was tested. Thus, the objective was to analyze the growth and photosynthetic activity of sugarcane varieties supplemented with foliar Mg under salinity. A study was carried out in a greenhouse, in a randomized block design, 2x3 factorial scheme, with four replications. The first factor was two sugarcane varieties (V1 = Caiana Verde and V2 = Caiana Roxa), and the second, three salinity and foliar Mg treatments: S1 = 0.5 dS m<sup>-1</sup>, S2 = 5.5 dS m<sup>-1</sup> and S3 = 5.5 dS m<sup>-1</sup> + foliar Mg. In the salinity treatments, saline water (NaCl) was used and for foliar Mg, the commercial product FORPLANT® (10 mL L<sup>-1</sup>) was used. The following were evaluated: stem height (SH, cm), stem diameter (SD, mm), number of green leaves (NGL); leaf area (LA, cm<sup>2</sup>), net CO<sub>2</sub> assimilation (*A*, μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), stomatal conductance (*g<sub>s</sub>*, mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) and transpiration (*E*, mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), water use efficiency (WUE, μmol mmol<sup>-1</sup>), intrinsic water use efficiency (WUE<sub>i</sub>, μmol mol<sup>-1</sup>), leaf temperature (T<sub>f</sub>, °C) and vapor pressure deficit (VPD, kPa). An analysis of variance (F test, *p* ≤ 0.05) and a test of means (Tukey, *p* ≤ 0.05) were performed. There was a significant interaction between the factors tested only for WUE and WUE<sub>i</sub>. For SH, V2 presented the highest value (22.80 cm), and for NGL, V1 presented the highest value (4). S3 presented *A* = 20.35 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>; *g<sub>s</sub>* = 0.075 mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> and *E* = 2.60 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, differing significantly from S2. For VPD, S2 presented the highest value (3.55 kPa), differing significantly from S3 (VPD of 3.36 kPa). V1 presented WUE and WUE<sub>i</sub> in S3, similar to S1. For V2, the highest WUE (8.78 μmol mmol<sup>-1</sup>) and WUE<sub>i</sub> (313.95 μmol mol<sup>-1</sup>) values were in S3. In S2 and S3, the best variety was V2. Therefore, the salinity of the irrigation water affected the growth of sugarcane plants, so that magnesium did not attenuate its effects. Sugarcane plants supplemented with foliar magnesium showed greater photosynthetic activity under salinity conditions. Caiana Roxa sugarcane supplemented with foliar magnesium shows greater water use efficiency under salinity.

**Keywords:** sodium chloride; photosynthesis; *Saccharum* spp; Mg-ATP.

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma *commodity* de grande importância mundial, fundamental na alimentação humana e na produção do etanol, além do seu potencial na produção de energia renovável (SIMÕES et al., 2022; SILVA et al., 2022). Sua produção no Brasil na safra 2023/24 foi de 713,2 milhões de toneladas, com um rendimento médio de 85.580 Kg ha<sup>-1</sup>, com uma área colhida de 38,73 milhões de toneladas de cana e uma produtividade de 63.959 Kg ha<sup>-1</sup> na região Nordeste do país (CONAB, 2024).

Neste contexto, para alcançar essa produção, é necessário o fornecimento e manejo adequado dos fatores de produção, como água, radiação fotossinteticamente ativa e nutrientes. Dentre estes, a água é um dos mais importantes, desempenhando várias funções no metabolismo, crescimento e desenvolvimento vegetal. Assim, é necessário o fornecimento adequado de água para as plantas, não apenas em quantidade como em

qualidade. O manejo inadequado da irrigação e nutrientes minerais no solo, assim como o uso de água salobras, pode aumentar os níveis de sais, como sódio e cloreto, na solução do solo, prejudicando o desempenho produtivo das plantas (RICHARDS, 1954; LIANG et al., 2018; QUEIROZ et al., 2023).

O crescimento e desenvolvimento vegetal é diretamente afetado pela salinidade da água de irrigação. Isso acontece devido ao excesso de sais na solução do solo reduzir o potencial osmótico, deixando menos água disponível no sistema radicular das plantas (RICHARDS, 1954), comprometendo a assimilação dos nutrientes minerais (MARSCHNER, 2012; PEREIRA et al., 2023). Com isso, o estresse salino pode causar uma série de efeitos deletérios nas plantas de cana-de-açúcar, como danos no aparato fotossintético das plantas, comprometendo a sanidade dos fotossistemas, pigmentação, redução das trocas gasosas, diminuição do turgor celular, causando menor produção e translocação de açúcares, reduzindo o crescimento e desenvolvimento vegetal (KASIRAJAN et al., 2021; SIMÕES et al., 2021; SILVA et al., 2022).

Plantas de cana-de-açúcar apresentam uma tolerância à salinidade com condutividade elétrica (CE) da solução do solo de 1,7 a 2,3 dS m<sup>-1</sup> (RAJ et al., 2016), sendo que, ultrapassando esse limiar da CE, causam os efeitos negativos no crescimento das plantas (SIMÕES et al., 2021; SILVA et al., 2022). Porém, essas plantas podem apresentar diferentes mecanismos de adaptação e tolerância à salinidade, variando conforme a variedade e características genéticas (CHICONATO et al., 2019; SIMÕES et al., 2019). Dessa forma, as plantas podem reduzir a absorção de Na<sup>+</sup>, favorecendo uma maior absorção de K<sup>+</sup> e/ou fazendo a compartimentalização do Na<sup>+</sup> nos vacúolos ou através de sua exclusão para o apoplasto (AHMAD et al., 2012; ASSAHA et al., 2017).

Práticas agrícolas podem ser utilizadas para a mitigação dos efeitos da salinidade da água de irrigação no crescimento e desenvolvimento vegetal e estimular maior tolerância a esse estresse abiótico. Dentre elas, está a suplementação foliar com o magnésio (Mg), que é o elemento mineral essencial ao metabolismo vegetal. Além de ser o elemento central da molécula de clorofila, está relacionado com a atividade fotossintética das plantas, por ser cofator enzimático, como o composto Mg-ATP, atuando nas trocas gasosas (CAKMAK; HENGELER; MARSCHNER, 1994; HERMANS et al., 2004; PRADO, 2021). Esse processo acontece devido ao Mg ser ativador de enzimas, como a Ribulose-1,5-Bisfosfato Carboxilase/Oxigenase (RuBisCO), fazendo também sua regulação, atuando no bombeamento de prótons e produção de energia, importantes para

a produção e translocação de sacarose, mantendo a relação fonte-dreno (PARRY et al., 2008; GEIGER, 2011).

Portanto, a hipótese que o Mg foliar pode atenuar os efeitos da salinidade no crescimento e trocas gasosas de duas variedades de cana-de-açúcar, por ser cofator de enzimas da fotossíntese, foi testada. Objetivou-se avaliar o crescimento e atividade fotossintética de plantas de variedades de cana-de-açúcar suplementadas com Mg foliar sob salinidade.

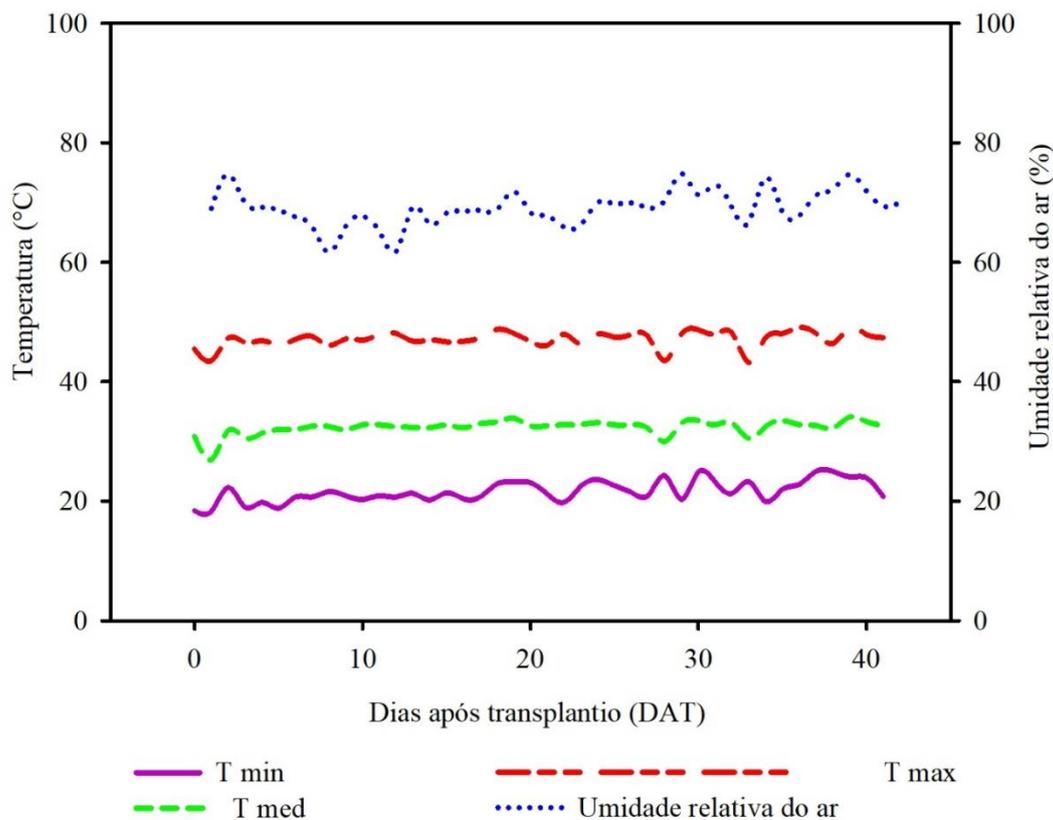
## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Local do experimento**

A pesquisa foi conduzida em casa de vegetação, entre os meses de setembro a outubro de 2024, na Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Centro de Ciências Humanas e Agrárias (CCHA), Campus IV, no município paraibano de Catolé do Rocha, que apresenta a seguinte localização geográfica: 6°20'38" de latitude sul, 37°44'48" a oeste do meridiano de Greenwich e altitude de 275 m. Esta região tem como tipo climático o BSh, que é muito seco, com a estação chuvosa no verão estendendo-se até o outono, conforme a classificação de Köppen (FIGUEREDO et al., 2024).

No período de condução experimental, foram registrados os dados de temperatura e umidade relativa do ar, do interior da casa de vegetação, com o uso de um termohigrômetro digital com *datalogger* modelo RC-51H Elitech®, Brasil. Os valores médios para as temperaturas mínima, média e máxima, e umidade relativa do ar, foram respectivamente de: 21,63 °C; 32,35 °C; 47,14 °C e 69,14% (Figura 1).

**Figura 1.** Temperaturas mínima (T min), média (T med) e máxima (T max), e umidade relativa do ar, do interior da casa de vegetação, durante o período experimental.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

## 2.2 Delineamento experimental e tratamentos

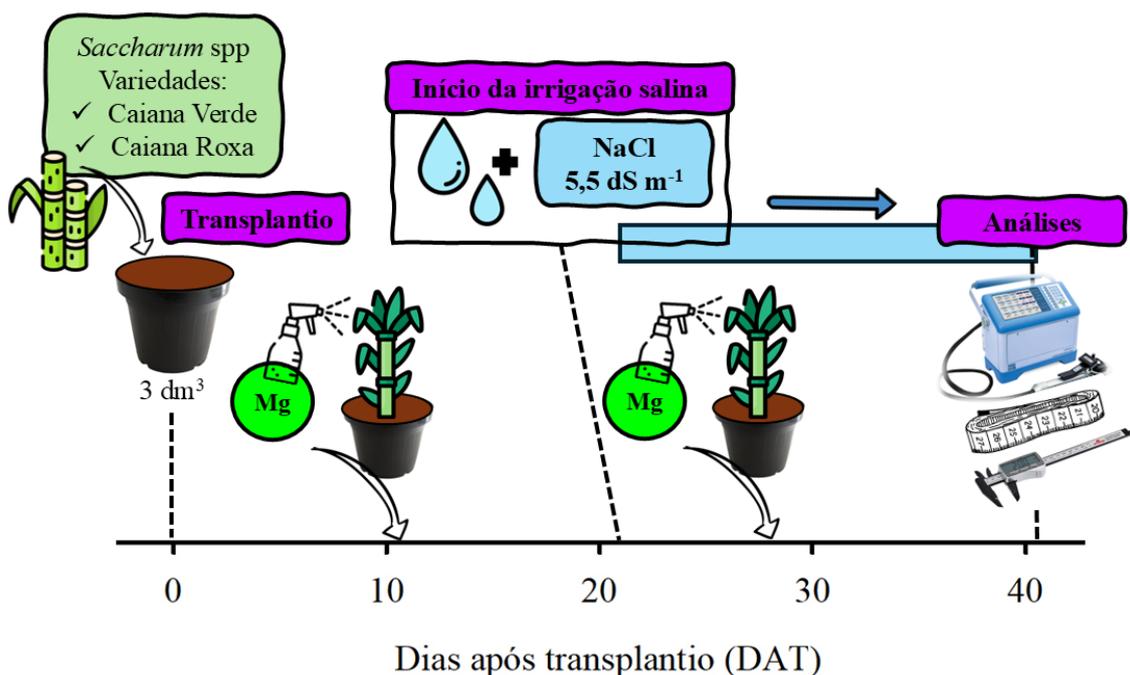
O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados, sob esquema fatorial 2 x 3, com 4 repetições, totalizando 6 tratamentos e 24 unidades experimentais, sendo correspondente a uma planta de cana-de-açúcar cada. O primeiro fator foram duas variedades de cana-de-açúcar (V1= Caiana Verde e V2 = Caiana Roxa), enquanto que, o segundo, foram três tratamentos de salinidade e aplicação de Mg foliar: S1 = 0,5 dS m<sup>-1</sup>, S2 = 5,5 dS m<sup>-1</sup> e S3 = 5,5 dS m<sup>-1</sup> + Mg foliar.

## 2.3 Condução experimental

Foi utilizado um solo de textura franco argilo arenosa e misturado com areia, na proporção 2:1 (V/V). Partes vegetativas (colmos) das variedades de cana-de-açúcar foram adquiridas de um produtor da agricultura familiar, da cidade de Brejo do Cruz, PB. Os colmos foram cortados em toletes (uma gema cada) e plantados em um canteiro

(APÊNDICE A1 e 2), no dia 08 de agosto de 2024, no viveiro de produção de mudas do CCHA. Realizou-se a irrigação do canteiro durante a fase de produção de mudas, com água de um poço raso, utilizando um regador manual. O transplântio das mudas das variedades de cana-de-açúcar para os vasos de 3 dm<sup>3</sup> (Apêndice A3 - 6), foi realizado no dia 10 de setembro de 2024, quando apresentavam três folhas totalmente expandidas (Figura 2).

**Figura 2.** Esquema dos tratamentos e condução experimental.



**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024.

Realizou-se uma fertirrigação no solo (APÊNDICE C1), aos três dias após o transplântio (DAT), conforme as recomendações de Novais, Neves e Barros (1991), para vasos em cultivo protegido. Foi aplicado 25 mg de N, 63 mg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 37 mg de K<sub>2</sub>O, 14 mg de Ca, 9 mg de Mg e 15 mg SO<sup>4-</sup> por dm<sup>-3</sup> de solo, utilizando como fonte: fosfato monoamônico (MAP), nitrato de cálcio (CaNO<sub>3</sub><sup>-</sup>), cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>.2(H<sub>2</sub>O)), sulfato de magnésio (MgSO<sub>4</sub>), sulfato de potássio (KSO<sub>4</sub>) e cloreto de potássio (KCl).

Para o tratamento de adubação foliar, foi utilizado o produto comercial FORPLANT<sup>®</sup>, com densidade de 1,30 g mL<sup>-1</sup> e contendo 8% de Mg. A solução de Mg foi preparada na concentração 10 mL L<sup>-1</sup> (APÊNDICE B, 1), aplicadas com borrifador manual com capacidade para 50 mL, realizadas em duas aplicações (APÊNDICE B1 e 2), de 7,5 e 10 mL por planta (SÁ et al., 2015), aos 11° e 27° DAT, respectivamente

(Figura 2). No momento da aplicação do Mg, as plantas correspondentes a este tratamento foram retiradas dos blocos e agrupadas em local distante dos demais tratamentos, para evitar contato com o produto aplicado (APÊNDICE B2 e 3).

A água de baixa salinidade usada para a irrigação foi obtida de um poço raso, com condutividade elétrica de  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$  (CAVALCANTE et al., 2020). Para a obtenção da água de alta salinidade ( $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) foi utilizado o NaCl, preparando uma solução estoque em um recipiente com capacidade para 90 L (APÊNDICE B4-5). Foi utilizado um condutivímetro digital portátil (Akso Ak51, Akso Produtos Eletrônicos, Brasil), para conferir a condutividade elétrica ( $CE_a$ ) da solução (APÊNDICE B6).

A irrigação foi realizada diariamente, de forma manual, utilizando um copo plástico de 250 mL (APÊNDICE C2), de acordo com cada tratamento de água, deixando o solo em capacidade de campo (CC). Foi realizada irrigação com água salina à  $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ , dos 14 aos 21 DAT, como forma de aclimatação das plantas ao estresse salino, sendo que, com a água de alta salinidade ( $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) foi iniciada aos 22 DAT (Figura 2).

## 2.4 Características analisadas

Para verificar o efeito dos tratamentos nas plantas das variedades de cana-de-açúcar, foram analisadas características de crescimento e trocas gasosas.

### 2.4.1 Crescimento das plantas

Realizou-se uma análise biométrica aos 38 DAT (Figura 2), considerando a altura do colmo (AC, cm), utilizando uma fita métrica (APÊNDICE C3); o diâmetro do colmo (DC, mm), com uso de um paquímetro digital (APÊNDICE C4); número de folhas verdes (NFV, un.), através da contagem das folhas com cerca de 20% da área foliar na cor verde (HERMANN; CÂMARA, 1999); e a área foliar (AF,  $\text{cm}^2$ ), que foi determinada através do método das dimensões lineares, pelo comprimento e a maior largura das folhas (APÊNDICE C5), multiplicando-se por um fator de correção de 0,75 (HERMANN; CÂMARA, 1999), utilizando a fita métrica, conforme a seguinte equação (1):

$$AF = C * L * 0,75 * (N + 2) \quad \text{eq. 1}$$

Sendo que:

AF= Área foliar ( $\text{cm}^2$ )

C= Comprimento da folha (cm);

L= Largura máxima da folha (cm).

N= Número de folhas verdes (un.)

#### 2.4.2 Trocas gasosas

As trocas gasosas das plantas de cana-de-açúcar foram avaliadas aos 41 DAT, entre 6h00 e 10h00, (Figura 2). Essas análises foram realizadas na folha +2, totalmente expandida de cada planta, fazendo por bloco, com um tempo médio de 3 minutos por planta, com um analisador de gases por infravermelho de fluxo aberto (IRGA) (CIRAS-3, PP System, Amesbury, MA, EUA) [APÊNDICE C6]. Para isso, adotou-se o controle de temperatura a 25 °C, irradiação de 1200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e vazão de ar de 400  $\text{mL min}^{-1}$  no nível atmosférico de  $\text{CO}_2$ , para obtenção da assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpiração ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); e temperatura foliar ( $T_f$ , °C) e déficit de pressão de vapor (VPD, kPa). Com esses dados, foram quantificadas a eficiência do uso da água (EUA,  $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ ) e eficiência intrínseca do uso da água (EUAI,  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) (FERNANDES et al., 2022).

### 2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos a testes de homogeneidade das variâncias (Levene e Bartlett,  $p \geq 0,05$ ) e normalidade (Shapiro-Wilk,  $p \geq 0,05$ ), para verificar se seguem distribuição normal, utilizando o pacote *car* (FOX; WEISBERG, 2019), na plataforma R, versão 4.4.1. Para os dados que não apresentaram distribuição normal ( $AF$ ,  $A$ ,  $g_s$ ,  $E$  e  $T_f$ ) foram feitas transformações ( $\log(x)$  e  $\sqrt{x}$ ) dos mesmos, sendo posteriormente, realizadas as mesmas análises descritas anteriormente. Após isso, realizou-se uma análise de variância (Teste F,  $p \leq 0,05$ ) e as médias foram comparadas utilizando o teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ), com auxílio do *software* estatístico SISVAR<sup>®</sup>, versão 5.8 (FERREIRA, 2019).

## 3 RESULTADOS

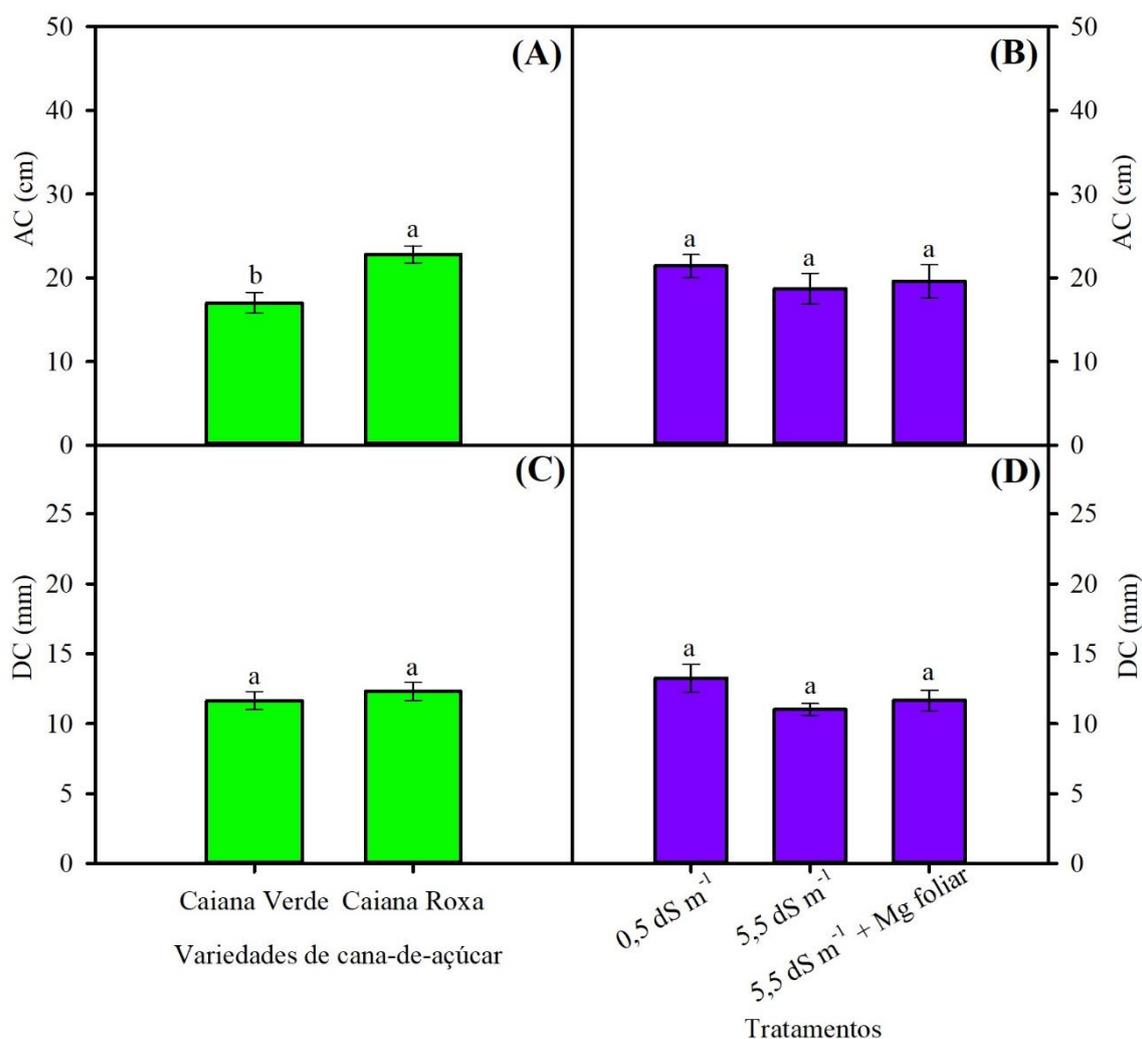
### 3.1 Crescimento de variedades suplementadas com magnésio e sob salinidade

Os dados de crescimento apresentaram homogeneidade das variâncias e seguiram distribuição normal, exceto para a  $AF$  (APÊNDICE D). Para essa característica, foi

realizada transformação ( $\log(x)$ ) nos dados observados (APÊNDICE E), em que apresentou homogeneidade e normalidade, para posterior realização da análise de variância e teste de médias (APÊNDICE F).

Não foi verificada interação significativa entre as variedades de cana-de-açúcar e, os tratamentos de salinidade e aplicação de Mg foliar, para as características de crescimento analisadas (APÊNDICE F). Analisando os efeitos isolados, não houve diferença significativa entre as variedades de cana-de-açúcar testadas para o DC, que apresentou um valor médio de 11,98 mm (Figura 3B).

**Figura 3.** Altura do colmo (AC, A e B) e diâmetro do colmo (DC, B e C), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar. Médias com mesma letra não diferem entre si (Tukey,  $p \leq 0,05$ ). As barras representam o erro padrão da média.

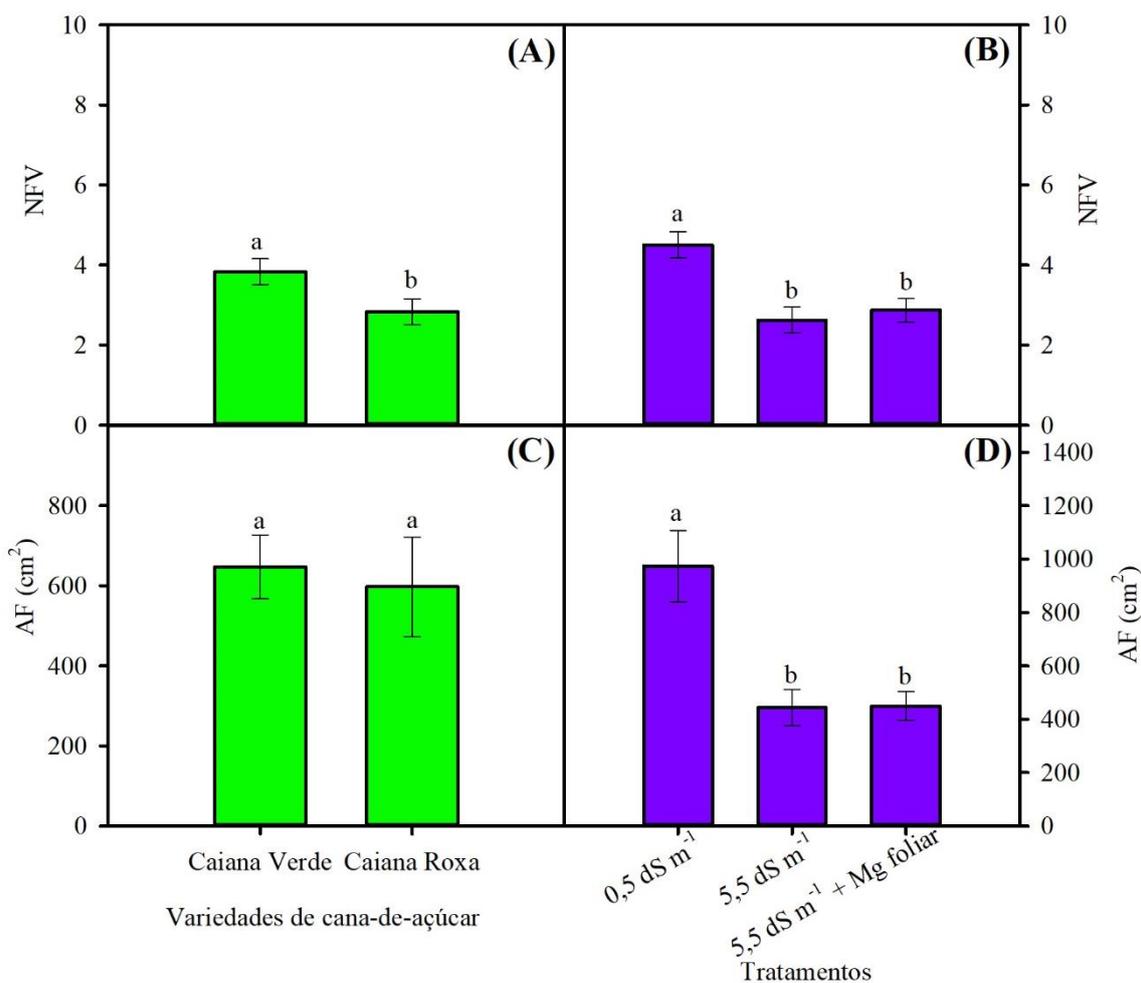


**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024.

Já para a AC, a Caiana Roxa apresentou o maior valor (22,80 cm), diferindo significativamente da Caiana Verde, que apresentou uma redução de 25,39% (Figura 3A). Para salinidade da água de irrigação e Mg foliar, não houve diferença significativa entre os tratamentos para a AC e o DC, apresentando os valores médios de 19,90 cm e 11,98 mm (Figura 3B e D).

Para a AF não houve diferença significativa entre as variedades de cana-de-açúcar, apresentando uma média de 622,53 cm<sup>2</sup> (Figura 4C). Já para o NFV, a Caiana Verde que apresentou o maior valor (4), diferindo significativamente da Caiana Roxa, onde essa apresentou uma redução de 26,12%, nessa característica (Figura 4A).

**Figura 4.** Número de folhas verdes (NFV, A e B) e área foliar (AF, B e C), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar. Médias com mesma letra não diferem entre si (Tukey,  $p \leq 0,05$ ). As barras representam o erro padrão da média.



**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024.

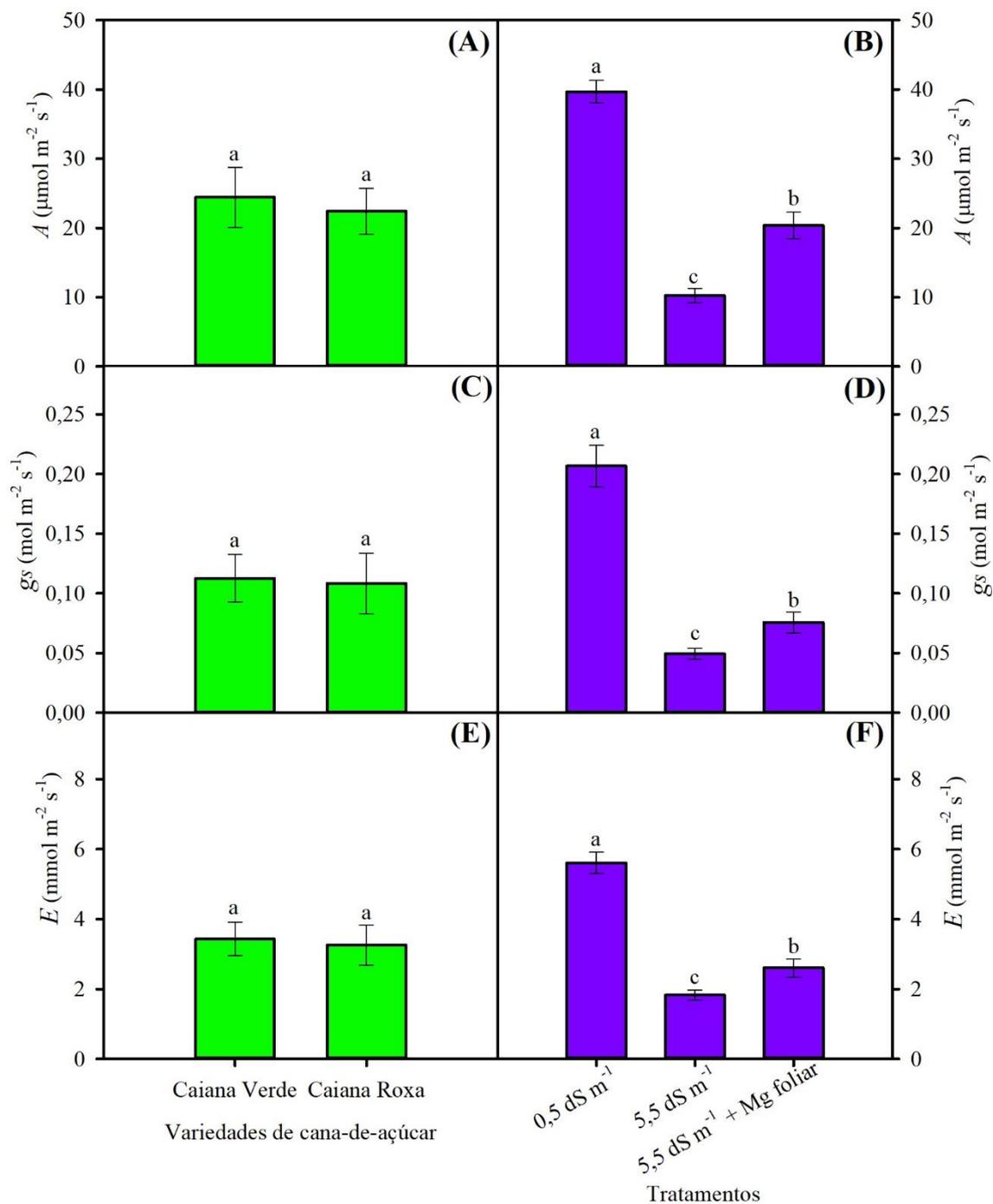
Para salinidade e Mg foliar, houve redução significativa com o tratamento de salinidade, no NFV e na AF, em  $5,5 \text{ dS m}^{-1}$  e  $5,5 \text{ dS m}^{-1} + \text{Mg foliar}$ , onde esses tratamentos foram semelhantes entre si (Figura 4B e D). Porém, na salinidade  $5,5 \text{ dS m}^{-1} + \text{Mg foliar}$ , houve uma menor redução do NFV (36,22%), quando comparado com o tratamento  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ , enquanto, na salinidade  $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ , essa redução foi de 41,78%.

### 3.2 Magnésio foliar nas trocas gasosas de variedades sob salinidade

Para os dados de trocas gasosas, as características de  $A$ ,  $g_s$ ,  $E$  e  $T_f$  não apresentaram homogeneidade das variâncias e não seguiram distribuição normal (APÊNDICE D), diferente de EUA, EUAi e VPD, que apresentaram homogeneidade e distribuição normal. Com isso, foi realizada transformações ( $\log(x)$  e  $\sqrt{x}$ ) nos dados observados, para  $A$ ,  $g_s$ ,  $E$  e  $T_f$  (APÊNDICE E), em que, apresentaram homogeneidade e normalidade, para realização da análise de variância e teste de médias (APÊNDICE F).

Em relação as características de trocas gasosas, foi verificada interação significativa entre os fatores testados, apenas para EUA e EUAi (APÊNDICE F). Analisando os efeitos isolados não houve diferença significativa entre as variedades de cana-de-açúcar para as características de trocas gasosas testadas, apresentando os valores médios de:  $A = 23,42 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ;  $g_s = 0,11 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e  $E = 3,34 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente (Figura 5A, C e E).

**Figura 5.** Assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A, A e B), condutância estomática (*g<sub>s</sub>*, C e D) e transpiração (*E*, E e F), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar. Médias com mesma letra não diferem entre si (Tukey,  $p \leq 0,05$ ). As barras representam o erro padrão da média.

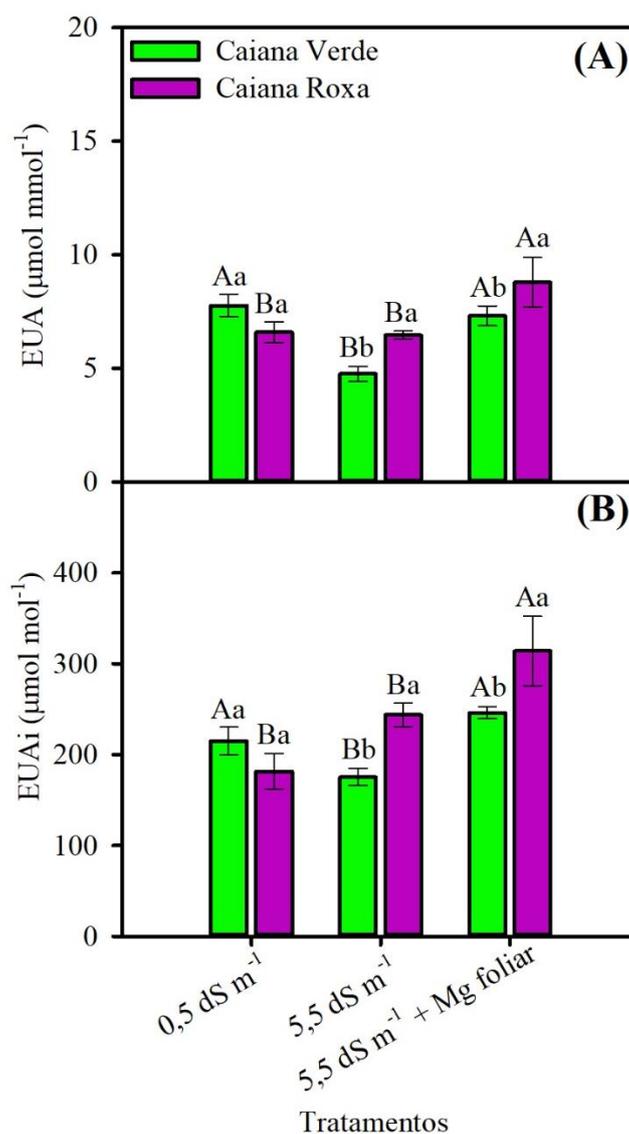


**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024.

Já para os tratamentos de salinidade e Mg foliar, os maiores valores foram do tratamento  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ , com  $A= 39,69 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ;  $g_s= 0,21 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e  $E= 5,60 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente (Figura 5B, D e F). Em salinidade  $5,5 \text{ dS m}^{-1} + \text{Mg foliar}$ , foram observados valores maiores, com  $A= 20,35 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ;  $g_s= 0,075 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e  $E= 2,60 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , diferindo significativamente quando em salinidade  $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ . Na salinidade  $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ , houve reduções de 49,63% para  $A$ , 34,67% em  $g_s$  e 30,00% na  $E$ , quando comparadas à salinidade  $5,5 \text{ dS m}^{-1} + \text{Mg foliar}$ .

Fazendo o desdobramento da interação para EUA e EUAi, dos tratamentos de salinidade e Mg em cada variedade, a Caiana Verde apresentou EUA e EUAi em  $5,5 \text{ dS m}^{-1} + \text{Mg foliar}$ , semelhante ao tratamento  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 6A e B). Já para Caiana Roxa, os maiores valores de EUA ( $8,78 \mu\text{mol mmol}^{-1}$ ) e EUAi ( $313,95 \mu\text{mol mol}^{-1}$ ), foram em  $5,5 \text{ dS m}^{-1} + \text{Mg foliar}$ , diferindo dos demais, que foram semelhantes entre si. Comparando as variedades em cada tratamento de salinidade e Mg foliar, no tratamento  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$  não houve diferença significativa entre elas, para EUA e EUAi. Porém, em salinidade  $5,5 \text{ dS m}^{-1}$  e  $5,5 \text{ dS m}^{-1} + \text{Mg foliar}$ , a melhor variedade foi a Caiana Roxa (Figura 6A e B).

**Figura 6.** Eficiências do uso da água (EUA, A), intrínseca do uso da água (EUAI, B), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar. Letras maiúsculas comparam os tratamentos de salinidade e Mg foliar dentro de cada variedade, e minúsculas comparam as variedades em cada tratamento de salinidade e Mg foliar. Médias com mesma letra não diferem entre si (Tukey,  $p \leq 0,05$ ). As barras representam o erro padrão da média.

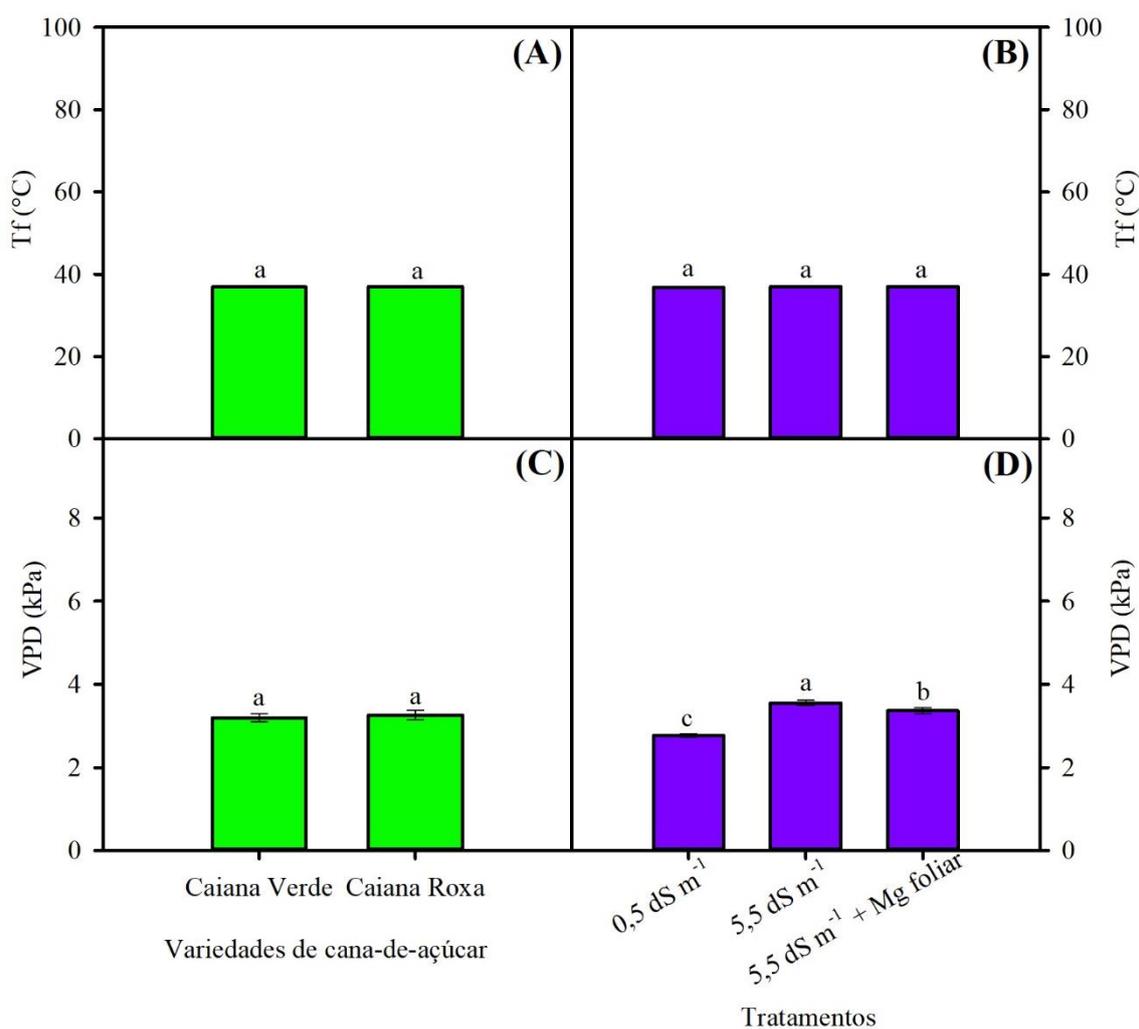


**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024.

Não houve diferença significativa entre as variedades para Tf e VPD, apresentando os valores médios de: Tf = 36,93 °C e VPD = 3,23 kPa, respectivamente (Figura 7A e C). Para os tratamentos de salinidade e Mg foliar, não houve diferença significativa entre os tratamentos para a Tf, obtendo o valor médio de 36,93°C (Figura 7B). Já para o VPD, as plantas em salinidade 5,5 dS m<sup>-1</sup> que apresentaram o maior valor

(3,55 kPa), diferindo significativamente de 5,5 dS m<sup>-1</sup> + Mg foliar (Figura 7D), que apresentou um VPD de 3,36 kPa, e essa, diferiu da 0,5 dS m<sup>-1</sup>, que apresentou o menor valor de VPD (2,76 kPa).

**Figura 7.** Temperatura foliar (Tf, A e B) e déficit de pressão de vapor (VPD, C e D), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar. Médias com mesma letra não diferem entre si (Tukey,  $p \leq 0,05$ ). As barras representam o erro padrão da média.



**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024.

Portanto, o Mg promoveu a manutenção de folhas mais verdes, além de uma maior atividade fotossintética das plantas de cana-de-açúcar em condições de salinidade e plantas com folhas mais arqueadas, retardando a senescência foliar (Figura 8).

**Figura 8.** Representação das variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar.



**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024.

## 4 DISCUSSÃO

Nossos resultados mostram que a salinidade da água de irrigação afetou o crescimento das plantas de variedades de cana-de-açúcar, não sendo possível a atenuação de seus efeitos nas características de crescimento vegetal. Isso acontece devido a esse estresse abiótico afetar o crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar, por ser uma cultura moderadamente tolerante à salinidade, apresentando diferentes mecanismos de tolerância conforme a variedade (RAJ et al., 2016; SINGH; SENGAR, 2020). No entanto, nossos resultados de trocas gasosas comprovam que o Mg pode ser um atenuador desse estresse, sendo importante para a atividade fotossintética das plantas, para manutenção da produção e translocação de açúcares, favorecendo a relação fonte-dreno nessas condições limitantes (HERMANS et al., 2004; PRADO, 2021; SILVA et al., 2022).

Pesquisas mostram que a salinidade reduz o crescimento e desenvolvimento de plantas de cana-de-açúcar (KASIRAJAN et al., 2021; SIMÕES et al., 2021; SIMÕES et al., 2022; SILVA et al., 2022), sendo resultados semelhantes aos apresentados nesta pesquisa. Porém, as plantas de cana-de-açúcar em salinidade de  $5,5 \text{ dS m}^{-1}$  apresentaram AC e DC similares às plantas sob  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ . Apesar da elevada salinidade no solo, elas mantiveram o crescimento e desenvolvimento do colmo, que é uma característica fundamental em termos de produção, para o acúmulo de açúcares (MARCHIORI et al., 2017; SIMÕES et al., 2019).

Em relação às características morfológicas de crescimento das variedades de cana-de-açúcar, a Caiana Verde apresentou maior NFV e menor AC, em relação à Caiana Roxa, que obteve resultados contrários para essas características. Isso se deve as diferentes respostas das plantas de variedades de cana-de-açúcar ao ambiente, que estão sendo cultivadas, expressando variação em sua morfologia para adaptação, podendo responder de forma diferente aos estresses abióticos (KASIRAJAN et al., 2021; SIMÕES et al., 2021).

Quando em condições de elevada salinidade ( $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) e aplicação de Mg foliar, as plantas de cana-de-açúcar apresentaram uma tendência de manutenção do NFV, que é uma característica importante para a atividade fotossintética da planta. Esta resposta pode estar relacionada ao estímulo de maior produção de clorofila pelas plantas suplementadas com Mg, que é o elemento central da molécula de clorofila, além de cofator de enzimas da fotossíntese, através da formação do composto Mg-ATP (CAKMAK; HENGELER; MARSCHNER et al., 1994; HERMANS et al., 2004; PRADO, 2021).

Plantas com maior número de folhas verdes podem apresentar maior atividade fotossintética, podendo ser mais tolerantes à estresses (SIMÕES et al., 2022; SILVA et al., 2022). Dessa forma, foi observado nessa pesquisa, que a suplementação com o Mg favoreceu à  $A$ ,  $g_s$  e  $E$  em condições salinas de  $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ , que reflete em maior produção de trioses-fosfato e energia, em forma de Adenosina Trifosfato (ATP), para o metabolismo energético, favorecendo o crescimento e desenvolvimento das plantas nessas condições de estresse (PARRY et al., 2008; SIMÕES et al., 2019; XIE et al., 2021).

O Mg foliar estimulou a manutenção da EUA e EUAi nas plantas da cana Caiana Verde, além de aumentar essas características, na Caiana Roxa, quando em condições de  $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ , sendo superiores às plantas em  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ . Assim, o Mg promoveu maior adaptabilidade das plantas de cana-de-açúcar ao estresse salino, fazendo um melhor controle da abertura estomática, para continuar sua fixação de  $\text{CO}_2$  e mantendo a economia no uso de água, que é um fator limitante ao crescimento vegetal (CABRAL et al., 2013; SILVA et al., 2021; SILVA et al., 2022). Dessa forma, por ser atuante na atividade fotossintética das plantas, o Mg está diretamente relacionado com o crescimento e desenvolvimento vegetal (CAKMAK; HENGELER; MARSCHNER et al., 1994; HERMANS et al., 2004; GEIGER, 2011).

A redução do VPD nas plantas de cana-de-açúcar sob estresse salino ( $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) e que receberam a suplementação com o Mg foliar, está relacionado com a maior  $A$  e  $g_s$  dessas plantas nessas condições (GRANTZ; MOOREJ; ZEIGER 1987; SHIRKE; PATHRE, 2004). O Mg estimula a atividade fotossintética das plantas, para a produção de carboidratos, promovendo maior bombeamento de prótons ( $\text{H}^+$ ) e translocação de sacarose para o dreno (HERMANS et al., 2004; GEIGER, 2011).

Portanto, o Mg foi eficiente para promover a mitigação do estresse salino nas trocas gasosas das plantas de cana-de-açúcar. Isso aconteceu devido suas funções no metabolismo de assimilação de  $\text{CO}_2$ , por atuar como ativador e na regulação da enzima Ribulose-1,5-Bisfosfato Carboxilase/Oxigenase (RuBisCO), fundamental para o crescimento vegetal (ROBINSON; PORTIS Jr. et al., 1988; PARRY et al., 2008). Com isso, a suplementação com o Mg foliar torna-se uma prática viável para estimular a atividade fotossintética das plantas para tolerância ao estresse salino, sendo uma alternativa ao produtor, principalmente em regiões que apresentam fonte de água salina.

## 5 CONCLUSÕES

A salinidade da água de irrigação afetou o crescimento das plantas de cana-de-açúcar, de forma que o magnésio não atenuou seus efeitos.

Plantas de cana-de-açúcar suplementadas com magnésio foliar apresentaram maior atividade fotossintética em condições de salinidade.

A cana Caiana Roxa suplementada com magnésio foliar apresenta maior eficiência do uso água em condições de salinidade.

O magnésio foi eficiente para mitigar os efeitos da salinidade nas trocas gasosas de plantas de cana-de-açúcar.

## REFERÊNCIAS

- AHMAD, K. et al. Evaluation and characterization of genetic variation in maize (*Zea mays* L.) for salinity tolerance. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 49, p.521-526, 2012.
- ASSAHA, D. V. M. et al. The role of Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> transporters in salt stress adaptation in glycophytes. **Frontiers in Physiology**, v. 8, 2017.
- CABRAL, O. M. R. et al. Fluxes of CO<sub>2</sub> above a sugarcane plantation in Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 182-183, p. 54-66, 2013.
- CAKMAK, I.; HENGELER, C.; MARSCHNER, H. Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency. **Journal of Experimental Botany**, v. 45, n. 9, p. 1245-1250, 1994.
- CAVALCANTE, S. S. et al. Variabilidade temporal do teor de sais da água de irrigação na Escola Agrotécnica do Cajueiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 16477-16485, 2020.
- CHICONATO, D. A. et al. Adaptation of sugarcane plants to saline soil. **Environmental and Experimental Botany**, v.162, p. 201-211, 2019.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar**. Tabela de dados - Produção de cana-de-açúcar e subprodutos. Boletim - Cana-de-açúcar, 2º levantamento - 2024/25. Disponível em:< <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana>> Acessado em: 10 de setembro de 2024.
- FERNANDES, C. S. et al. A fonte adequada de nitrogênio para abobrinha italiana sob condições de estresse salino. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 22, p. 560-570, 2022.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4 [S.l.], p. 529-535, 2019.
- FIGUEREDO, G. M. et al. Variability of temperature, rainfall and reference evaporation of Catolé do Rocha-PB municipality, semi-arid region of Brazil. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos**, v. 7, n.14, p. 1-13, 2024.
- FOX, J.; WEISBERG, S. **An {R} companion to applied regression, third edition**. Thousand Oaks CA: Sage. 2019. Disponível em: <<https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>>. Acessado em 25 de outubro de 2024.
- GEIGER, D. Plant sucrose transporters from a biophysical point of view. **Molecular Plant**, v. 4, n. 3, p. 395-406, 2011.

- GRANTZ, D. A.; MOOREJ, P. H.; ZEIGER, E. Stomatal responses to light and humidity in sugarcane: prediction of daily time courses and identification of potential selection criteria. **Plant, Cell and Environment**, v. 10, n. 3, p. 197-204, 1987.
- HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar da cana-de-açúcar. **STAB**, v. 17, n. 5, 1999.
- HERMANS, C. et al. Physiological characterization of magnesium deficiency in sugar beet: acclimation to low magnesium differentially affects photosystems I and II. **Planta**, v. 220, n. 2, p. 344-355, 2004.
- KASIRAJAN, L. et al. Gene expression studies of *Saccharum spontaneum*, a wild relative of sugarcane in response to salinity stress. **Biotechnology and Applied Biochemistry**, v. 68, n. 2, p. 288-296, 2021.
- LIANG, W. et al. Plant salt-tolerance mechanism: a review. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 495, n. 1, p. 286-291, 2018.
- MARCHIORI, P. E. R. et al. Physiological Plasticity Is Important for Maintaining Sugarcane Growth under Water Deficit. **Frontiers in Plant Science**, v. 8:2148, 2017.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. third ed. Academic Press, London, 2012.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. **Ensaio em ambiente controlado**. In: OLIVEIRA, A. J. (ed.) Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília: Embrapa-SEA, 1991. p. 189-253.
- PARRY, M. A. J. et al. Rubisco regulation: a role for inhibitors. **Journal of Experimental Botany**, v. 59, n. 7, p. 1569-1580, 2008.
- PEREIRA, K. T. O. et al. Discontinuous hydration cycles with elicitors improve germination, growth, osmoprotectant, and salt stress tolerance in *Zea mays* L. **Agriculture**, v. 13, n. 964, p. 1-14, 2023.
- PRADO, M. R. **Magnesium**. In: Mineral nutrition of tropical plants. Springer, page: 165-174, 2021.
- QUEIROZ, G. C. M. et al. Growth, solute accumulation, and ion distribution in sweet sorghum under salt and drought stresses in a Brazilian Potiguar Semiarid área. **Agriculture**, v. 13, n. 803, p. 1-22, 2023.
- RAJ, G. H. et al. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. INCTsal, 2016.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: Department of Agriculture, USDA. 1954. 160p. (Agricultural Handbook 60).

ROBINSON, S. P.; PORTIS Jr, A. R. Release of the nocturnal inhibitor, carboxyarabinitol-1-phosphate from ribulose bisphosphate carboxylase/oxygenase by Rubisco activase. **FEBS Letters**, v. 233, n. 2, p. 413-416, 1988.

SÁ, F. V. S. et al. Influence of silicon in papaya plant growth. **Científica**, v. 43, p.77-83, 2015.

SHIRKE, P. A.; PATHRE, U. V. Influence of leaf-to-air vapour pressure deficit (VPD) on the biochemistry and physiology of photosynthesis in *Prosopis juliflora*. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 405, p. 2111-2120, 2004.

SILVA, A. A. et al. Genotypic variation of sugarcane for salinity tolerance: morphological and physiological responses. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 46, n. e000122, p. 1-12, 2022.

SILVA, A. A. et al. Potassium supplementation promotes osmotic adjustment and increases water use efficiency in sugarcane under water deficit. **Sugar Tech**, v. 23, n. 5, p. 1075-1084, 2021.

SIMÕES, W. L. et al. Characterization and and gas exchange in accessions of *Saccharum* complex under salinity in the Sub-middle São Francisco, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 3, p.163-167, 2021.

SIMÕES, W. L. et al. Hysiological and biochemical responses of sugarcane varieties to salt stress. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 4, p. 1069-1076, 2019.

SIMÕES, W. L. et al. Impacts of saline stress on the physiology of *Saccharum* complex genotypes. **Journal of Agronomy Crop Science**, v. 208, n. 1, 120-126, 2022.

SINGH, R.; SENGAR, R. S. Effect of salinity stress on morphological and yield attributes of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) genotypes. **International Journal of Chemical Studies**, v. 8, n. 5, p. 2312-2316, 2020.

XIE, K. et al. Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants. **The Crop Journal**, v. 9, p. 249-256, 2021.

## **APÊNDICES**

**APÊNDICE A** - Corte (1) e plantio (2) dos toletes, transplântio para os vasos (3, 4 e 5) e mudas na casa de vegetação (6), de variedades de cana-de-açúcar.

(1)



(2)



(3)



(4)



(5)



(6)



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

**APÊNDICE B** - Preparo da solução de Mg a  $10 \text{ mL L}^{-1}$  (1), primeira e segunda aplicação do Mg nas plantas (2 e 3), pesagem do NaCl (4), preparo e homogeneização da solução salina a  $5,5 \text{ dS m}^{-1}$  (5), conferência da condutividade elétrica da solução salina (6), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar.



(1)



(2)



(3)



(4)



(5)



(6)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

**APÊNDICE C** - Fertirrigação (1), irrigação (2), aferição da altura do colmo (3), diâmetro do colmo (4), comprimento da folha (5) e análise de trocas gasosas (6), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar.



(1)



(2)



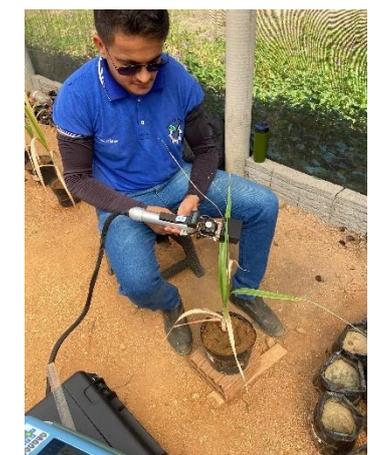
(3)



(4)



(5)



(6)

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024.

**APÊNDICE D** - Teste de homogeneidade das variâncias (Levene e Bartlett) e normalidade dos dados (Shapiro-Wilk), para altura do colmo (AC), diâmetro do colmo (DC), número de folhas verdes (NFV), área foliar (AF), assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), eficiência do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EUAI), temperatura foliar (Tf) e déficit de pressão de vapor (VPD), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar.

Característica	Levene	Bartlett	Shapiro-Wilk
	Valor de <i>p</i>		
AC	0,796	2,044	0,943
	0,566	0,843	0,189
DC	0,896	8,121	0,929
	0,504	0,150	0,093
NFV	0,400	1,472	0,942
	0,842	0,916	0,178
AF	2,331	8,989	0,889
	0,085	0,109	<b>0,012</b>
A	2,072	3,466	0,912
	0,116	0,628	<b>0,040</b>
<i>gs</i>	0,583	13,202	0,846
	0,713	<b>0,021</b>	<b>0,002</b>
<i>E</i>	0,519	5,915	0,894
	0,758	0,314	<b>0,016</b>
EUA	4,658	9,149	0,958
	<b>0,007</b>	0,103	0,409
EUAI	2,555	10,145	0,924
	0,065	0,071	0,070
Tf	0,801	4,583	0,916
	0,563	0,469	<b>0,047</b>
VPD	0,889	3,550	0,930
	0,508	0,616	0,097

\*Valor de *p* < **0,05 (Em negrito)** = dados que não apresentam homogeneidade das variâncias/não seguem distribuição normal.

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024.

**APÊNDICE E** - Teste de homogeneidade das variâncias (Levene e Bartlett) e normalidade dos dados (Shapiro-Wilk), após transformação dos dados, área foliar (AF), assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*) e temperatura foliar (Tf), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar.

Característica	Transformação utilizada	Levene	Bartlett	Shapiro-Wilk
		----- Valor de <i>p</i> -----		
AF	log( <i>x</i> )	0,924	4,806	0,984
		0,488	0,440	0,960
A	log( <i>x</i> )	1,474	7,919	0,945
		0,247	0,161	0,212
<i>gs</i>	log( <i>x</i> )	0,496	3,829	0,939
		0,775	0,574	0,152
<i>E</i>	log( <i>x</i> )	1,075	5,318	0,948
		0,407	0,378	0,243
Tf	$\sqrt{x}$	0,942	4,681	0,919
		0,478	0,456	0,056

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024.

**APÊNDICE F** - Valores de F para altura do colmo (AC), diâmetro do colmo (DC), número de folhas verdes (NFV), área foliar (AF), assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), eficiência do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EUA<sub>i</sub>), temperatura foliar (T<sub>f</sub>) e déficit de pressão de vapor (VPD), de variedades de cana-de-açúcar em condições de salinidade da água de irrigação e aplicação de magnésio foliar.

FV	GL	AC	DC	NFV	AF
Bloco	3	0,860 <sup>ns</sup>	1,164 <sup>ns</sup>	0,943 <sup>ns</sup>	1,157 <sup>ns</sup>
Variedades (V)	1	11,748 <sup>**</sup>	0,569 <sup>ns</sup>	10,189 <sup>**</sup>	1,101 <sup>ns</sup>
Tratamentos (T)	2	0,903 <sup>ns</sup>	2,268 <sup>ns</sup>	14,080 <sup>**</sup>	8,621 <sup>**</sup>
V x T	2	0,323 <sup>ns</sup>	0,529 <sup>ns</sup>	0,212 <sup>ns</sup>	0,140 <sup>ns</sup>
CV (%)		20,76	17,95	23,02	
FV	GL	A	<i>gs</i>	<i>E</i>	EUA
Bloco	3	1,060 <sup>ns</sup>	0,487 <sup>ns</sup>	0,212 <sup>ns</sup>	3,447 <sup>*</sup>
Variedades (V)	1	0,003 <sup>ns</sup>	1,074 <sup>ns</sup>	0,996 <sup>ns</sup>	2,836 <sup>ns</sup>
Tratamentos (T)	2	61,663 <sup>**</sup>	49,604 <sup>**</sup>	39,224 <sup>**</sup>	12,936 <sup>**</sup>
V x T	2	1,404 <sup>ns</sup>	0,748 <sup>ns</sup>	0,595 <sup>ns</sup>	5,425 <sup>*</sup>
CV (%)		8,43	12,34	24,68	13,98
FV	GL	EUA <sub>i</sub>	T <sub>f</sub>	VPD	
Bloco	3	2,272 <sup>ns</sup>	0,914 <sup>ns</sup>	6,881 <sup>**</sup>	
Variedades (V)	1	5,443 <sup>*</sup>	0,097 <sup>ns</sup>	1,485 <sup>ns</sup>	
Tratamentos (T)	2	12,118 <sup>**</sup>	0,202 <sup>ns</sup>	87,101 <sup>**</sup>	
V x T	2	5,345 <sup>*</sup>	2,121 <sup>ns</sup>	1,141 <sup>ns</sup>	
CV (%)		15,71	0,86	3,84	

FV = Fonte de variação; CV= coeficiente de variação; <sup>ns</sup> = não significativo, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup> = significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2024.

## AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida e, conceder saúde e forças de superação, para seguir firme na busca dos meus objetivos.

A minha noiva, Rayane Nunes Gomes, por todo o apoio, incentivo, companheirismo, parceria, conselhos, carinho e amor incondicional.

A minha mãe Damiana Alves, meu pai Francisco Francimar, meus irmãos Kaio Vinícius, Maria José e Tássio José, assim como, meus sobrinhos Ana Cecília e José Felipe, por todo o apoio, acreditar em mim e amor. Aos demais familiares que sempre torcem pelo meu sucesso.

A Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Centro de Ciências Humanas e Agrárias (CCHA), Departamento de Agrárias e Exatas (DAE), Campus IV, por toda a estrutura e oportunidade de cursar Agronomia e trabalhar como professor substituto, e ser pesquisador no Pós-doutorado Júnior (PDJ).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa do PDJ, Chamada CNPq Nº 32/2023, Processo: 173348/2023-8.

A todos os professores do DAE pelos ensinamentos, apoio e amizade de colegas de trabalho e funcionários da instituição.

Ao meu orientador e supervisor do PDJ, Prof. Dr. Francisco Vanies, pelos ensinamentos, conselhos e acreditar em mim.

A banca examinadora, pelas contribuições e sugestões de melhorias no meu trabalho de conclusão de curso.

Ao Grupo de Inovação e Pesquisa em Agricultura Irrigada (GIPAI), pela oportunidade e apoio na condução da pesquisa.

Aos colegas e amigos do GIPAI pela amizade, descontração e oportunidade de aprendizado com eles.

Aos colegas e amigos do curso de Agronomia.

**Muito obrigado!**