

**PROPAGAÇÃO DE GENÓTIPOS DE CANA DE AÇÚCAR POR  
MEIO DA TÉCNICA DE MUDAS PRÉ-BROTADAS**

**ANDREZA SOUSA CARMO**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY  
RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
JULHO - 2023**

PROPAGAÇÃO DE GENÓTIPOS DE CANA DE AÇÚCAR POR  
MEIO DA TÉCNICA DE MUDAS PRÉ-BROTADAS

**ANDREZA SOUSA CARMO**

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual  
do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das  
exigências para obtenção do título de Mestre em  
Produção Vegetal”

**Orientador: Prof.º D.Sc. Silvio de Jesus Freitas**

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

JULHO-2023

## FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

C287

Carmo, Andreza Sousa.

Propagação de genótipos de cana de açúcar por meio da técnica de mudas pré-brotadas / Andreza Sousa Carmo. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2023.

104 f. : il.

Inclui bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2023.

Orientador: Silvio de Jesus Freitas.

Coorientador: Willian Pereira,.

1. *Saccharum* spp.. 2. Mudas pré-brotadas. 3. Genótipos. 4. Tratamento térmico. 5. Qualidade de mudas. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

PROPAGAÇÃO DE GENÓTIPOS DE CANA DE AÇÚCAR POR  
MEIO DA TÉCNICA DE MUDAS PRÉ-BROTADAS

**ANDREZA SOUSA CARMO**

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual  
do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das  
exigências para obtenção do título de Mestre em  
Produção Vegetal”

Aprovada em 25 de julho de 2023.

Comissão Examinadora:

---

D.Sc. Rosenilda de Souza (D.Sc., Ciências) – UFSC

---

Prof. D.Sc. Fábio Cunha Coelho (D.Sc., Fitotecnia – Produção Vegetal) - UENF

---

D.Sc. Paulo César dos Santos (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

---

Prof. D. Sc. Silvio de Jesus Freitas (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF  
Orientador

*Dedico,*

*Aos meus pais, Valdirene Alves de Sousa e Donato da Silva Carmo pelos ensinamentos, conselhos, incentivos e apoio para que eu chegasse até a conclusão deste trabalho. Ao meu namorado Elezio Mourão por todo encorajamento, parceria, amor e compreensão. Aos meus irmãos Darley e Valdenilson e aos meus sobrinhos Gabriel e Iasmim por todo o carinho neste período.*

## **AGRADECIMENTOS**

Sou grata primeiramente a Deus, pela minha vida, e por nunca, nem mesmo por um segundo me abandonar, sempre me ajudando a ultrapassar as dificuldades encontradas durante este percurso, sem o amparo d'Ele eu jamais teria conseguido;

Aos meus pais, Donato Carmo e Valdirene de Sousa por todo apoio, incentivo e força, vocês são minha fortaleza e a razão de tudo. Aos meus irmãos Darley e Valdenilson e aos meus sobrinhos Gabriel e Iasmim por todo o carinho neste período;

Ao meu namorado Elezio Mourão, que foi meu companheiro, sempre me incentivando e acreditando no meu potencial, na maioria das vezes mais do que eu mesma, obrigada por todas as conversas sempre que eu estava desmotivada ou triste. Estendendo os agradecimentos à minha sogra Dona Crícia por todo incentivo e apoio prestados;

Ao Prof. D.Sc. Silvio Freitas, meu orientador, por todos ensinamentos e orientação durante este período da minha vida acadêmica;

Ao Pesquisador D.Sc. Willian Pereira, meu co-orientador, por todas as sugestões e disponibilidade do material propagativo para a execução do experimento;

Ao meu amigo Pesquisador D.Sc. David Pessanha, por todo apoio, sugestões, correções, paciência e ensinamentos ao longo do curso, especialmente durante a análise e interpretação estatística dos dados;

Ao meu amigo Wallace Bernardo por todo auxílio, contribuições e dedicação na avaliação dos dados fisiológicos. À minha amiga Anne Reis, por todo apoio durante as avaliações dos experimentos;

À minha amiga Rebeca Dorneles por toda parceria, trilhando todo este caminho fielmente ao meu lado ao longo do curso, assim como durante toda a execução e avaliação dos experimentos;

Ao Natan Breda, Lara, Cleber e “Zé Guilherme” pelo auxílio ao longo da condução dos experimentos;

Aos meus amigos Rebeca, David, Letícia, Anne, Natan, Laila, Mateus e Isis por toda amizade, carinho e companheirismo neste período longe de casa;

À banca examinadora pela disponibilidade e interesse na avaliação e contribuição para a melhoria deste trabalho;

Agradeço também à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, por ter me acolhido ao longo destes dois anos;

À UFRRJ campus Campos dos Goytacazes pela concessão dos materiais propagativos para o desenvolvimento dos experimentos;

A UENF pelo fomento à esta pesquisa;

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Aspectos gerais da cultura da cana de açúcar.....	4
2.2. Principais características morfológicas da planta.....	5
2.3. Importância econômica .....	6
2.4. Mudanças pré-brotadas (MPB) .....	7
2.5. Tratamento térmico .....	9
2.6. Melhoramento genético de cana de açúcar .....	9
2.7. Genótipos de cana de açúcar.....	11
3. TRABALHOS .....	12
3.1. Caracterização do crescimento inicial e caracteres fisiológicos de genótipos de cana de açúcar propagados por meio da técnica de mudas pré- brotadas.....	12
3.2. Efeito do tratamento térmico na emergência e desenvolvimento inicial de mudas pré-brotadas em diferentes genótipos de cana de açúcar .....	43
4. RESUMOS E CONCLUSÕES .....	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
APÊNDICES .....	84



## RESUMO

CARMO; Andreza Sousa; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Julho 2023; Propagação de genótipos de cana de açúcar por meio da técnica de mudas pré-brotadas; Orientador: Prof<sup>o</sup>. D.Sc. Silvio de Jesus Freitas; Co-orientador: Prof<sup>o</sup>. D.Sc. William Pereira.

A técnica de mudas pré-brotadas (MPB) visa à redução do volume de matéria prima destinada para propagação da cana de açúcar e maior qualidade fitossanitária do plantio. Para estudar a técnica de MPB, foram selecionados 10 genótipos de cana de açúcar sem informações disponíveis sobre o desempenho no MPB. O trabalho está apresentado em dois capítulos. No capítulo 1 objetivou-se caracterizar o crescimento inicial e fisiológico de mudas de dez genótipos de cana de açúcar produzidos pela técnica de MPB. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), com dez genótipos, com cinco repetições. No capítulo 2 objetivou-se avaliar o efeito do tratamento térmico sobre a emergência das gemas e desenvolvimento inicial de mudas pré-brotadas em diferentes genótipos de cana de açúcar. Os tratamentos foram distribuídos em um fatorial 2 x 10, sendo dois tratamentos térmicos (com e sem tratamento térmico) e dez genótipos, com delineamento experimental em DBC com quatro repetições. Foram avaliadas em ambos os capítulos: índice de velocidade de emergência, emergência (%), altura da planta (cm), diâmetro do coleto (mm), número de folhas, área foliar (cm<sup>2</sup>), massa seca da parte aérea (MSPA - g), comprimento radicular (CR - cm), diâmetro médio radicular (DMR - mm) volume radicular (VR - cm<sup>3</sup>), área superficial radicular (ASR - cm<sup>2</sup>), e massa seca de raízes (MSR - g),

massa seca total (MST – g), índice SPAD, rendimento quântico fotoquímico máximo do Fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), índice de desempenho fotossintético (PI), Índice de Reflectância de Antocianina (ARI), Índice de Reflectância de Carotenoides (CRI), Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de vegetação de diferença normalizada de clorofila (CNDVI). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando significativo, as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). No capítulo I, a cultivar C10 foi superior a cv. C4 para o diâmetro do coleto, área foliar, MSPA, MSR, MST, CR, ASR, bem como para o índice Spad, evidenciando melhor desempenho durante a fase experimental. O  $F_v/F_m$  e o PI não foram afetados. No capítulo 2 o tratamento térmico proporcionou incremento na emergência e no IVE das cultivares C4, C7 e C8. Não houve diferença entre genótipos em relação aos tratamentos adotados para as características: altura, diâmetro do coleto, área foliar, MSPA, MSR, CR, DMR, VR, ASR, índice SPAD e  $F_v/F_m$ . Conclui-se que: (1) O MPB mostrou-se viável para a propagação dos genótipos avaliados. Existe variação no desempenho dos genótipos propagados por meio da técnica de mudas pré-brotadas. (2) O tratamento térmico melhorou a emergência das gemas das cultivares C4, C7 e C8. Os minirrebolos submetidos ao tratamento térmico apresentaram maior uniformidade na emergência e índice de velocidade de emergência das plântulas. O tratamento térmico não promoveu efeitos deletérios para as características morfológicas das mudas. Pela eficácia, praticidade e homogeneidade sugere-se o uso do tratamento térmico dos minirrebolos para a propagação dos genótipos de cana de açúcar avaliados.

## **ABSTRACT**

CARMO, Andreza Sousa; State University Of Northern Rio de Janeiro Darcy Ribeiro; July 2023; Propagation of sugarcane genotypes using the pre-sprouted seedling technique; Advisor: Prof<sup>o</sup>. D.Sc. Silvio de Jesus Freitas; Co-Advisor: Prof<sup>o</sup>. D.Sc. William Pereira.

The pre sprouted seedlings (PSS) technique aims to reduce the volume of raw material destined for the propagation of sugarcane and to improve the phytosanitary quality of the plantation. To study the PSS technique, 10 sugarcane genotypes with no available information on PSS performance were selected. The study is presented in two chapters. In chapter 1 the objective was to characterize the initial and physiological growth of seedlings of ten sugarcane genotypes produced by the MPB technique. The experimental design was in randomized blocks (DBC), with ten genotypes, with five replications. In chapter 2 the objective was to evaluate the effect of heat treatment on bud emergence and initial development of pre-sprouted seedlings in different genotypes of sugarcane. The treatments were distributed in a 2 x 10 factorial, with two heat treatments (with and without heat treatment) and ten genotypes, with an experimental design in DBC with four replications. The following were evaluated in both chapters: emergence speed index, emergence (%), plant height (cm), stem diameter (mm), number of leaves, leaf area (cm<sup>2</sup>), shoot dry mass (SDM - g), root length (RL - cm), mean root diameter (MRD - mm), root volume (RV - cm<sup>3</sup>), root surface area (RSA - cm<sup>2</sup>), and root dry mass (RDM - g), total dry mass (TDM – g), SPAD index, Photosystem

II maximum photochemical quantum yield ( $F_v/F_m$ ), photosynthetic performance index (PI), Anthocyanin Reflectance Index (ARI), Carotenoid Reflectance Index (CRI), Carotenoid Reflectance Index (CRI), Normalized Difference Vegetation (NDVI) and Chlorophyll Normalized Difference Vegetation Index (CNDVI). Data were submitted to analysis of variance and, when significant, means were compared using Tukey's test ( $p < 0.05$ ). In chapter I, cultivar C10 was superior to cv. C4 for diameter, leaf area, SDM, RDM, TDM, RL, RSA, as well as the Spad index, showing better performance during the experimental phase.  $F_v/F_m$  and PI were not affected. In chapter 2, the heat treatment provided an increase in emergence and emergence speed index of cultivars C4, C7 and C8. There was no difference in the behavior of the genotypes in relation to the treatments adopted for the traits: height, stem diameter, leaf area, SDM, RDM, RL, MRD, RV, RSA, SPAD index and  $F_v/F_m$ . It is concluded that: (1) Based on the morphological and physiological traits evaluated, PSS proved to be viable for the propagation of the evaluated genotypes. By analyzing the growth and physiological traits, there is variation in the performance of the genotypes propagated through the pre sprouted seedling technique. (2) Heat treatment improved bud emergence of cultivars C4, C7 and C8. The mini-gribbles subjected to heat treatment showed greater uniformity in emergence and seedling emergence speed index. The thermal treatment did not promote deleterious effects for the morphological traits of the seedlings. Due to its effectiveness, practicality and homogeneity, it is suggested the use of thermal treatment of mini-grinding wheels for the propagation of the evaluated sugarcane genotypes.

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de cana de açúcar (*Saccharum* spp.) no Brasil é de grande relevância para a economia nacional, gerando milhares de empregos, direto e indiretamente, por meio das agroindústrias que estão distribuídas por todas as regiões do país (Silva et al., 2021). A cultura é utilizada para a produção de açúcar, etanol e bioeletricidade, e exerce um papel fundamental na matriz energética do país (Bordonal et al., 2018).

O Brasil é o maior produtor de cana de açúcar, sendo, responsável por 40% da produção global, anualmente. Em segundo e terceiro lugar estão Índia e China com cerca de 18% e 6% da produção mundial, respectivamente (Atlasbig, 2021). A produtividade média nacional na safra 2022/23 foi de 73,6 t ha<sup>-1</sup>, 6,1% superior a 2021/22. Este aumento se deve, principalmente, às condições climáticas favoráveis na maioria das regiões produtivas do país, atrelado ao manejo adequado da lavoura (Conab, 2023). O estado de São Paulo é o maior produtor da cultura, seguido de Goiás e Minas Gerais. Com relação ao estado do Rio de Janeiro, o setor sucroalcooleiro estadual tem se transformado, elevando os rendimentos da cultura, pelo do uso de tecnologias nos processos produtivos e uso de materiais genéticos de melhor qualidade (Conab, 2022).

Nos últimos anos, a cana de açúcar tem se destacado no comércio exterior devido seu uso para produção de açúcar, álcool e cogeração de eletricidade, utilizando-se seus resíduos (Ramos, 2014). Com isso, a demanda pela matéria prima está cada vez mais elevada, sendo necessário o uso de

tecnologias para maximizar o potencial produtivo da cana de açúcar, garantindo aumentos na produtividade, com o mínimo de custos na produção (Figueiredo, 2022).

O melhoramento genético da cultura tem trabalhado na obtenção de híbridos mais produtivos, voltados para o setor açucareiro. Assim, para a cana de açúcar, tem sido desenvolvidos genótipos com características genéticas mais rústicas, com maior resistência a pragas e doenças, garantindo a segurança dos canaviais, bem como cultivares mais precoces (Carneiro, 2017; Dal-Bianco et al., 2012).

A *Saccharum* spp. é comercialmente propagada por secções do caule, o que demanda uma grande quantidade de matéria prima, atingindo valores superiores a 20 t ha<sup>-1</sup>, que poderiam estar sendo destinados à indústria. A grande quantidade de material propagativo se dá principalmente pela alta taxa de falhas no plantio diretamente no campo, induzido pela presença de gemas dormentes (Landell et al., 2012; Santos et al., 2020).

A técnica de mudas pré-brotadas (MPB) foi desenvolvida pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), visando à redução do volume de material vegetal utilizado para a produção de mudas, com a adoção de minirrebolos (ou mini toletes) que são pequenas frações de colmo (3 cm) contendo uma gema, garantindo a qualidade fitossanitária adquirida pela seleção e tratamento das gemas, conseqüentemente, incorporando ganhos produtivos, com canaviais mais homogêneos e uniformes. A técnica consiste na produção de mudas em viveiro a partir de minirrebolos até sua formação completa, em seguida as mudas são levadas a campo após a rustificação para o plantio individual (Landell et al., 2012; Kohler et al., 2022; Teixeira et al., 2020).

Durante a preparação dos minirrebolos é possível realizar procedimentos que garantem a qualidade fitossanitária dos propágulos, como o tratamento térmico, também conhecido como termoterapia (Landell et al., 2012). O tratamento térmico dos minirrebolos é uma prática utilizada no MPB para conferir proteção fitossanitária ao material propagativo. Para isso, utiliza-se o binômio tempo-temperatura, sendo mais comum a aplicação de 52° por 30 minutos (Copersucar, 1989), devido ao menor tempo de exposição das gemas a elevadas temperaturas e a possibilidade de tratar mais minirrebolos (Fernandes Júnior et al., 2010). Entretanto, a resposta quanto ao potencial de desenvolvimento das

gemas após o tratamento pode ser influenciada por características genéticas de cada cultivar (Benda, 1994).

A Rede interuniversitária para o desenvolvimento do setor sucroenergético – Ridesa lança continuamente genótipos de cana de açúcar no mercado (Oliveira, 2021a; Oliveira, 2021b), contudo, há a necessidade de estudos científicos para testar os efeitos da técnica de mudas pré-brotadas sobre o desempenho de diferentes cultivares e clones.

Em função disto, e atrelado a falta de informações sobre a aplicação desta técnica em cultivares comerciais e clones de cana de açúcar, além da necessidade de estudos que avaliem, individualmente, o efeito do tratamento térmico sob diferentes genótipos de *Saccharum* spp., torna-se fundamental o desenvolvimento de estudos nestas áreas de conhecimento.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Aspectos gerais da cultura da cana de açúcar

A cana de açúcar (*Saccharum* spp.) é uma gramínea semiperene da família *Poaceae*, pertencente ao gênero *Saccharum* (Cheavegatti-Gianotto et al., 2011). Originária do sudeste asiático, trata-se de uma planta típica de climas tropicais e subtropicais. Sua introdução no Brasil foi em 1532, a princípio, apenas para de extração de sacarose (Conab, 2015), até meados de 1970, quando a houve a então crise do petróleo. A partir desse período a produção de biocombustíveis obteve um aumento expressivo com a criação do Programa Nacional de Álcool – PROALCOOL, que objetivava a substituição de veículos movidos à gasolina por veículos movidos a álcool (Carvalho et al., 2013).

Em 1888, foi estabelecido por holandeses um programa de melhoramento por meio de cruzamentos interespecíficos entre as espécies *Saccharum officinarum* - cana nobre, e *Saccharum spontaneum* - cana selvagem, com o intuito de acrescentar resistência a doenças e boa capacidade de perfilhamento da *Saccharum spontaneum* na *Saccharum officinarum* (Stevenson, 1965), seguidamente foram feitas sequências de retrocruzamentos, processo denominado de nobilização.

Por mais de um século, a *Saccharum spontaneum* desempenhou um papel significativo para o melhoramento genético por meio de cultivares modernos, nos quais resultam de cana de açúcar *S. officinarum* e *S. spontaneum*. O gene com alto teor de fibras é proveniente da *S. officinarum* enquanto o gene de resistência vêm de *S. spontaneum* (Bakker, 1999; Li et al., 2022).



Atualmente, grande parte dos híbridos de cana de açúcar utilizados comercialmente são oriundos de cruzamentos entre as espécies *Saccharum spontaneum* e *Saccharum officinarum*, que por meio da nobilitação gerou plantas com elevado acúmulo de sacarose e baixo teor de fibra, o que torna os colmos mais macios, facilitando a extração do caldo nas usinas, além de apresentarem maior resistência a pragas e doenças (Berding e Roach, 1987; Cheavegatti-Gianotto et al., 2011; Mitsuzono, 2018).

## 2.2. Principais características morfológicas da planta

A cana de açúcar é uma planta alógama, pertencente à família *Poaceae* (Daniels e Roach, 1987), seu ciclo varia entre 12 a 18 meses, apresentando elevado perfilhamento na fase inicial (Matsuoka e Stolf, 2012).

Dentre as características da planta, apresenta inflorescências em forma de panícula aberta, também conhecida como bandeira ou flecha (Mozambani et al., 2006). O desenvolvimento do caule ocorre por meio dos colmos, bainhas abertas e folhas com lâminas de sílica. Possui hábito de crescimento ereto e levemente decumbente no estágio inicial, seguidamente ocorre a seleção de perfilhos por meio de auto sombreamento. A altura da planta pode ser afetada, de acordo com cada genótipo, por condições como baixa disponibilidade hídrica, baixas temperaturas e/ou florescimento (Diola e Santos, 2010).

Trata-se de uma planta  $C_4$ , na qual possui atividade de enzimas-chave (PEP carboxilase, NADP malato desidrogenase e piruvato ortofato dicinase), ou seja, apresenta elevada conversão de luminosidade em energia química, podendo acumular o dobro de biomassa que uma planta  $C_3$  em condições climáticas com alta irradiância e baixa disponibilidade de água (Alencar, 2012). É considerada uma planta de alta eficiência na assimilação e manutenção do  $CO_2$  (Marafon, 2012).

O desenvolvimento da cana de açúcar está dividido em quatro estádios: Brotação e estabelecimento (1) – é uma fase lenta e que depende da umidade do solo e da viabilidade das gemas, demora em torno de 20 a 30 dias. Perfilhamento (2) – tem início próximo aos 40 dias após o plantio e podendo durar até os 120 dias. Crescimento dos colmos e estágio vegetativo (3) – ocorre entre os 120 dias após o plantio até 270 dias de cultivo, nesta fase ocorre o acúmulo de até 75% de massa seca total. Maturação dos colmos (4) – esta fase pode iniciar entre 270

dias até 360 dias após o plantio e tem seis meses de duração, é quando ocorre o acúmulo de sacarose e redução nas taxas de crescimento da planta (Diola e Santos, 2010).

Quanto ao ciclo de cultivo da cana de açúcar, existem dois tipos, nos quais estão relacionados à forma de plantio. “Cana planta”, quando o plantio é feito a partir de mudas e “cana soca”, quando a cana rebrota após a colheita (Carvalho, 2009).

### **2.3. Importância econômica**

A cana de açúcar é uma cultura muito importante para a economia de muitos países em função da sua relevância como fonte alimentar e na produção bioenergética (Rabelo et al., 2020). A matéria prima é utilizada para extração de sacarose (Zhou, 2013), fonte de biocombustível, fertilizantes, compostos e papel (Rabelo et al., 2020; Scortecci et al., 2012; Surendran et al., 2016) e geração de bioeletricidade através de resíduos (Aguiar et al., 2021; Corrêa, 2021; Lago et al., 2012).

Mundialmente, é a principal matéria prima utilizada para produção de açúcar, com contribuição estimada em torno de 80 % (Yang et al., 2021), e a segunda matéria prima mais utilizada na produção de etanol, atrás somente do milho (Conab, 2021). De acordo com dados da FAO (2020), a produção mundial em 2018 foi de 1.907.024.730 (t), deste valor, cerca de 93% são cultivados nos continentes Americano e Asiático.

No Brasil, cerca de 90% da produção do país está centrada na região centro-sul, com destaque para os estados de São Paulo, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, como os maiores produtores (Conab, 2020). Para o estado do Rio de Janeiro a estimativa é de que haja um incremento de 19,8% na produção para a safra 2022/23 (Conab, 2022). As regiões norte e noroeste do estado concentram a maior parte da produção, no qual grande parte desta é voltada para a produção de álcool e açúcar (IBGE, 2020). O incremento na produção se dá pelas melhorias de produção do setor sucroenergético estadual, como renovação das lavouras com materiais mais produtivos, o que lhes confere altos rendimentos (Conab, 2021). No entanto, a produção média estadual (mil t) ainda é baixa em relação aos demais estados produtivos, com apenas 1.833,4 na safra 2021/22.

#### **2.4. Mudas pré-brotadas (MPB)**

A cana de açúcar é uma planta que apresenta reprodução sexuada e capacidade de perfilhamento, no entanto, o florescimento das panículas de cana de açúcar é indesejável para o plantio comercial, ocorrendo normalmente apenas em campos experimentais para formação e teste de novos híbridos por meio do cruzamento (Mitsuzono, 2018).

A propagação assexuada ou vegetativa é mais utilizada em cultivos comerciais, para garantir a uniformidade de produção (Hasner et al., 2019; Landell et al., 2012). A disseminação da cana de açúcar é feita comumente utilizando-se colmos com cerca de 3 a 4 gemas, denominados toletes, sendo que cada gema presente no tolete tem a capacidade de desenvolver uma nova planta. Todavia, é uma técnica demorada e de alto custo, já que se utiliza um grande volume de cana que poderia ser destinado à indústria, atingindo níveis superiores a 20 t ha<sup>-1</sup> em plantio mecanizado (Landell et al., 2012; Otto et al., 2022). Com a adoção do plantio mecanizado surgiram falhas nos canaviais, ocasionado, principalmente, por condições desfavoráveis, nas quais a gema se torna inativa, e não ocorre o desenvolvimento da plântula (Pinto et al., 2016; Van Dillewijn, 1952). Assim, com o intuito de solucionar este problema, se utiliza uma quantidade de matéria prima excessiva.

Uma nova forma propagativa da cultura vem sendo aprimorada, o cultivo de cana de açúcar utilizando-se mudas pré-brotadas (MPB) - desenvolvido pelo Programa Cana do Instituto Agrônomo – IAC (Campinas-SP). Esta técnica, também denominada de “gema a gema”, proporciona a redução do volume de matéria prima necessário para o plantio, já que apresenta elevada taxa de multiplicação, bem como uniformidade e sanidade ao plantio devido à possibilidade de seleção de gemas sem deteriorações e livre de agentes patogênicos (Landell et al., 2012). Ademais, esse sistema também garante redução do número de falhas no plantio, menor compactação do solo, devido ao uso de maquinários menores, maior produtividade, que pode ser até 40% superior ao cultivo tradicional, e diminuição dos custos para produção de mudas (Afonso, 2017; Brito, 2019; Jain et al., 2010).

O método de propagação de MPB consiste no cultivo em viveiro a partir de uma pequena parte do colmo (uma gema) denominado mini tolete ou minirrebolo, até a formação completa da muda, que é levada a campo e plantada

individualmente (Teixeira et al., 2020). Durante a preparação dos minirrebolos é possível realizar procedimentos que conferem qualidade fitossanitária aos propágulos, como tratamento térmico e roguing. O sistema de MPB está organizado em seis estádios de desenvolvimento, como descrito por Landell et al. (2012) (Quadro 1):

Quadro 1. Descrição do processo de produção de mudas pré-brotadas

<b>Estádios</b>	<b>Processo</b>	<b>Descrição</b>
<b>Estádio 1</b>	Retirada dos colmos, corte e preparo dos minirrebolos	Despalha e individualização das gemas
<b>Estádio 2</b>	Tratamento das gemas (térmico e/ou químico)	Controle fitossanitário de proteção dos minirrebolos
<b>Estádio 3</b>	Brotação	Plantio dos minirrebolos em caixas plásticas com uso de substrato.
<b>Estádio 4</b>	Individualização ou repicagem	Mudança das plantas após a brotação para tubetes
<b>Estádio 5</b>	Aclimação fase 1	Aclimação em casa de vegetação por um período de vinte e um dias - Ocorre a primeira poda foliar
<b>Estádio 6</b>	Aclimação fase 2	Ocorre em bancadas a pleno sol - processo de rustificação (são feitas 3 podas ao longo de 21 dias)

Fonte: Landell et al. (2012).

O uso do sistema de MPB pode ser adotado, além dos viveiros primários e secundários, em áreas de replantio de talhões para corrigir falhas de outros métodos e replantio de cana soca (Xavier et al., 2014). O cultivo de MPB preconiza a produção de mudas a partir de uma pequena fração do colmo com a quantidade de reserva reduzida, embora o conteúdo de reserva seja fundamental na fase inicial da produção de mudas (Dingre et al., 2021; Landell et al., 2012; Teixeira et al., 2022). No entanto, esta técnica ainda é relativamente recente, sendo necessários mais estudos sobre o desenvolvimento dessas mudas,

especialmente para as cultivares de ampla utilização no mercado, visto que as informações de como os mesmos se desenvolvem quando submetidos à técnica de MPB ainda são escassas.

## **2.5. Tratamento térmico**

Um dos entraves da produção de cana de açúcar é a questão fitossanitária. Dentre as diversas doenças que atacam a cultura, o raquitismo-da-soqueira é uma das mais importantes, com capacidade de causar grandes danos na produtividade. Portanto, o controle desta doença, por meio de produtos fitossanitários, eleva o custo de produção da cultura (De Marco et al., 2016; Oliveira, M. 2021).

A adoção da técnica de termoterapia se torna uma alternativa viável. Nesta técnica, os minirrebolos são imersos em água quente por tempo determinado, com o intuito de eliminar patógenos presente no material, sem causar injúrias nas gemas que possam comprometer o desenvolvimento da muda. As combinações de temperatura/tempo mais usuais são: 52°C por 30 minutos ou 50°C por 2 horas, sendo a primeira mais recomendada por expor a gema à alta temperatura por um período mais curto (Copersucar, 1989; Damann Jr. e Benda, 1983; De Marco et al., 2016; Fernandes Júnior et al., 2010).

A termoterapia é capaz de garantir a qualidade fitossanitária do material propagativo, uma vez que é eficiente na eliminação dos fitopatógenos (Ferreira et al., 2008). No entanto, é possível que a temperatura elevada afete o desenvolvimento inicial das gemas no sistema de mudas pré-brotadas.

Os efeitos da termoterapia sobre a brotação das gemas são variáveis de acordo com o genótipo das cultivares. A resposta ao tratamento térmico é influenciada por características genéticas, as quais podem determinar o grau de resistência ou susceptibilidade à técnica, portanto, sendo necessária a avaliação individual dos genótipos (Benda, 1994; Urashima e Grachet, 2012).

## **2.6. Melhoramento genético de cana de açúcar**

A produção inicial da cultura da cana de açúcar no Brasil ocorreu em localidades com condições edafoclimáticas mais propícias ao seu desenvolvimento. No entanto, atualmente, os avanços tecnológicos têm contribuído significativamente para a ampliação produtiva da cultura através do

desenvolvimento de variedades com maior capacidade adaptativa às diferentes condições climáticas e de solos de outras regiões produtoras (De Carvalho e Furtado, 2013).

A cana de açúcar é a segunda maior commodity do agronegócio brasileiro, com cerca de 10 milhões de ha em área plantada (Fao, 2020). Para alcançar tais resultados, em grande parte têm-se a contribuição dos programas de melhoramento genético, com o desenvolvimento de variedades mais adaptadas às condições de clima e solo, e mais resistentes a pragas e doenças (Tairum, 2020).

O setor de inovações da cultura no país é representado predominantemente pelas instituições: Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA) – Variedades RB, na qual tem parceria com dez Universidades Federais além de vínculos com os setores público e privado, Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) – Variedades CTC, e Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) – Variedades IAC (Barbosa et al., 2012; Daros et al., 2015; De Carvalho e Furtado, 2013; Gazaffi et al., 2016).

Toda a fase de melhoramento até a liberação comercial de uma cultivar é um período longo e muito oneroso, normalmente esse processo delonga em torno de 10 a 15 anos. Neste período, são realizadas diversas etapas para a seleção das características desejáveis, por meio da avaliação de locais e cortes variados (Landell, 2010; Matsuoka et al., 1999).

O sucesso de um programa de melhoramento pode ser influenciado por fatores como: escolha dos genitores, precisão ao instalar os experimentos, escolha dos caracteres e época de avaliação adequada. Ademais, as características consideradas no decorrer da seleção estão de acordo com as necessidades de mercado da cultura (Carneiro, 2017). Dentre as quais comumente destacam-se: teores de sólidos solúveis (BRIX), sacarose, e fibras, número e diâmetro dos colmos, resistência ao acamamento, e florescimento (Gazaffi et al., 2010).

Em suma, são inúmeras as contribuições do melhoramento genético para a cultura da cana de açúcar, podendo destacar: desenvolvimento de cultivares rústicas para regiões com condições adversas, resistência genética a doenças, expansão do período de colheita devido às cultivares com diferentes épocas de

maturação, precocidade e diversidade genética dos canaviais, garantindo maior segurança genética dos canaviais (Carneiro, 2017; Dal-Bianco et al., 2012).

## **2.7. Genótipos de cana de açúcar**

O melhoramento da cana de açúcar desenvolve e seleciona genótipos superiores provenientes principalmente de variedades progenitoras nacionais (Barbosa et al., 2005; Barbosa, 2001), o que possibilita que a cultura mantenha um bom desempenho na demanda de matéria prima para o setor sucroalcooleiro (Prado et al., 2010). Tais genótipos possuem características de interesse para o setor canavieiro, e são submetidos a avaliações constantes para conhecer seu desempenho e fazer recomendações para cultivos comerciais (Melo et al., 2006; Teixeira et al., 2011).

Genótipo adequado é aquele em que possui características que conferem alta capacidade produtiva, características estas que estão relacionadas com a produtividade de colmos por área e teor de sacarose. Portanto, tais características são influenciadas por diâmetro, comprimento e densidade de colmos, bem como número de colmos por área. Outro fator relevante para o estabelecimento da cultura é a qualidade das mudas (dos Santos et al., 2021; Santos, 2008). A resposta destes mecanismos está relacionada com o perfil genético de cada cultivar (Silva, 2021), sendo importante identificar os genótipos que apresentam características de tolerância a diferentes condições de manejos.

### **3. TRABALHOS**

#### **3.1. CARACTERIZAÇÃO DO CRESCIMENTO INICIAL E CARACTERES FISIOLÓGICOS DE GENÓTIPOS DE CANA DE AÇÚCAR PROPAGADOS POR MEIO DA TÉCNICA DE MUDAS PRÉ-BROTADAS**

##### **RESUMO**

A técnica de mudas pré-brotadas (MPB) é uma alternativa para reduzir os custos, e a matéria prima necessária para o plantio de cana de açúcar, garantindo também plantios mais saudáveis e uniformes. Contudo, são necessários estudos sobre o desempenho da ampla gama de genótipos de cana de açúcar que são desenvolvidos e lançados frequentemente no mercado. Diante disso, objetivou-se caracterizar o crescimento inicial e fisiológico de mudas de dez genótipos de cana de açúcar produzidos pela técnica de mudas pré-brotadas. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, constituído por dez genótipos (RB867515 (C1), RB975375 (C2), RB005014 (C3), RB015935 (C4), RB036066 (C5), RB006995 (C6), RB108519 (C7), RB011549 (C8), RB988082 (C9) e RB041443 (C10)), com cinco repetições. Foram avaliadas as seguintes características morfológicas: índice de velocidade de emergência e porcentagem de emergência, altura da planta (cm), diâmetro do coleto (mm), número de folhas por planta, área foliar (cm<sup>2</sup>), massa seca da parte aérea (MSPA - g), massa seca de raízes (MSR - g), massa seca total (MST - g), comprimento radicular (CR -



cm), volume radicular (VR - cm<sup>3</sup>), diâmetro médio radicular (DMR - mm), área superficial radicular (ASR - cm<sup>2</sup>). As características fisiológicas estimadas foram: índice SPAD, rendimento quântico fotoquímico máximo do Fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), índice de desempenho fotossintético (PI), Índice de Reflectância de Antocianina (ARI), Índice de Reflectância de Carotenoides (CRI), Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de vegetação de diferença normalizada de clorofila (CNDVI). Os dados obtidos foram testados quanto à normalidade e homogeneidade de variâncias e submetidos à análise de variância e, quando significativo, as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). A cultivar C10 foi superior a cv. C4 para o diâmetro, área foliar, MSPA, MSR, MST, CR, ASR, bem como para o índice Spad, evidenciando estar mais apta, morfológicamente, a ser levada a condições de campo. Considerando os dez genótipos estudados, o  $F_v/F_m$  e o PI não foram afetados, indicando que as condições de cultivo durante a produção de mudas pré brotadas foram adequadas. A cultivar C8 apresentou-se superior a C2 quanto aos índices de ARI e CNDVI. Com base nas características morfológicas e fisiológicas avaliadas, o MPB mostrou-se viável para a propagação dos genótipos avaliados. Pela análise das características de crescimento e fisiológicas, existe variação no desempenho dos genótipos propagados por meio da técnica de mudas pré-brotadas. De acordo com as condições experimentais, foi possível identificar as cultivares C5 e C10 com maior potencial para serem utilizadas para a produção de mudas pré-brotadas, possibilitando assim boas perspectivas para a melhoria da eficiência produtiva. São necessárias mais pesquisas sobre o desempenho dos genótipos de cana de açúcar propagados por meio do MPB, avaliando o desempenho a campo.

## ABSTRACT

The technique of pre-sprouted seedlings (PSS) is an alternative to reduce costs and the raw material needed for planting sugarcane, also ensuring healthier and more uniform plantings. However, studies on the performance of the wide range of sugarcane genotypes that are frequently developed and launched on the Market are needed. Therefore, the aim was to characterize the initial and physiological growth of seedlings of ten sugarcane genotypes produced by the pre-sprouted seedling technique. The experimental design was in randomized blocks, consisting of ten genotypes (RB867515 (C1), RB975375 (C2), RB005014 (C3), RB015935 (C4), RB036066 (C5), RB006995 (C6), RB108519 (C7), RB011549 (C8), RB988082 (C9) and RB041443 (C10)), with five replicates. The following morphological characteristics were evaluated: emergence speed index and emergence percentage, plant height (cm), stem diameter (mm), number of leaves per plant, leaf area (cm<sup>2</sup>), shoot dry mass (SDM- g), root dry mass (RDM - g), total dry mass (TDM – g), root length (RL - cm), root volume (RV - cm<sup>3</sup>), mean root diameter (MRD - mm), root surface area (RSA - cm<sup>2</sup>). The estimated physiological characteristics were: SPAD index, Photosystem II maximum photochemical quantum yield ( $F_v/F_m$ ), photosynthetic performance index (PI), Anthocyanin Reflectance Index (ARI), Carotenoid Reflectance Index (CRI), Carotenoid Reflectance Index (CRI), Normalized Difference Vegetation (NDVI) and Chlorophyll Normalized Difference Vegetation Index (CNDVI). The data obtained were tested for normality and homogeneity of variances and submitted to analysis of variance and, when significant, means were compared using Tukey's test ( $p < 0.05$ ). Cultivar C10 was superior to cv. C4 for the diameter, leaf area, SDM, RDM, TDM, RL, RSA, as well as for the Spad index, showing that it is more apt, morphologically, to be taken to field conditions. Considering the ten studied genotypes,  $F_v/F_m$  and PI were not affected, indicating that the cultivation conditions during the production of pre-sprouted seedlings were adequate. Cultivar C8 was superior to C2 in terms of ARI and CNDVI. Based on the evaluated morphological and physiological characteristics, PSS proved to be viable for the propagation of the evaluated genotypes. By analyzing the growth and physiological

characteristics, there is variation in the performance of the genotypes propagated through the pre-sprouted seedling technique. According to the experimental conditions, it was possible to identify the C5 and C10 cultivars with the greatest potential to be used for the production of pre-sprouted seedlings, thus providing good prospects for improving production efficiency. More research is needed on the performance of sugarcane genotypes propagated through PSS, evaluating performance in the field.

## INTRODUÇÃO

A cana de açúcar, *Saccharum* spp. é uma cultura industrial de suma importância em função da sua produção em regiões tropicais e subtropicais em todo o mundo (Zulu et al., 2019). O Brasil é o maior produtor mundial, sendo responsável por 40% da produção por ano (Atlasbig, 2021) e se destaca por ser o maior produtor de açúcar e etanol provenientes da cana de açúcar (Conab, 2021).

O setor de melhoramento genético da cana tem viabilizado aumentos no rendimento no Brasil, com o desenvolvimento de genótipos, considerando que cerca de 50% dos ganhos produtivos do setor esteja relacionado com a constante substituição dos materiais genéticos por outros cada vez mais produtivos (Oliveira, 2021). O desenvolvimento de genótipos com base nos interesses econômicos e nas necessidades humanas transformou a cultura em uma das mais avançadas quanto ao grau de melhoramento genético, tendo cultivares híbridas com predominância nas áreas de cultivos (Bezerra et al., 2018).

A expansão do setor sucroalcooleiro é benéfica para a economia nacional, embora alguns fatores produtivos precisem ser abordados para que ocorram mudanças no manejo da lavoura (de Souza et al., 2022), redução de custos de produção, melhoria na eficiência produtiva e aumento da produtividade (da Silva Gírio et al., 2019).

O método de plantio tradicional, praticado comercialmente em larga escala, utiliza de dois a três rebolos ou toletes  $m^{-1}$ . Os rebolos possuem tamanho variando de 30 a 50 cm, e representam cerca de 20% do custo de produção, o que torna o método oneroso (Landell et al., 2012; Ripoli e Ripoli 2004), devido à grande quantidade de matéria prima destinada a propagação.

A técnica de mudas pré-brotadas (MPB), proposta por Landell et al. (2012), vem promovendo maior eficiência para o plantio de cana de açúcar, podendo substituir o plantio convencional por meio de propágulos, pelo plantio usando mudas pré-brotadas. As mudas pré-brotadas são produzidas em viveiros a partir de gemas individualizadas (minirrebolos com tamanho de 3 cm). Essas mudas são posteriormente plantadas individualmente a campo, reduzindo o uso de matéria prima necessário para a propagação em até 20 vezes (Stolf et al.,

2016; Teixeira et al., 2020), promovendo assim a redução de custos de produção (Fluminhan e Fluminhan, 2020; Moraes et al., 2018).

A técnica de MPB propõe um rigoroso tratamento fitossanitário e homogeneização dos minirrebolos (Silva et al., 2023), garantindo o uso de gemas mais saudáveis, favorecendo a maior sobrevivência, visando garantir uniformidade e sanidade dos canaviais a longo prazo (Bordonal et al., 2018; De Oliveira e Urashima, 2018; Dos Santos et al., 2019). Entretanto, pelo fato da MPB ser uma técnica relativamente nova, faz-se necessário conhecer o desempenho deste sistema, considerando diferentes cultivares, as quais podem ter suas características fotossintéticas e de rendimento afetadas (Barbieri et al., 2015; Cruz et al., 2021), pela dependência do teor de água e reservas de uma pequena fração do colmo (Silva et al., 2023) na fase inicial de desenvolvimento das mudas.

Diante do constante desenvolvimento de genótipos pelo setor sucroalcooleiro nacional, nota-se a escassez de estudos a respeito do desempenho dos mesmos quando propagados sob a técnica de mudas pré-brotadas. A partir disso, foram selecionados para este estudo os seguintes genótipos: RB867515 (lançado em 1998, é amplamente utilizada no MPB), RB036066 e RB988082 (lançado em 2015), RB975375, RB005014, RB015935, RB108519, RB011549, e RB041443 (lançados em 2021), e RB006995 (clone).

Assim, o objetivo deste estudo foi caracterizar o crescimento inicial e as características fisiológicas de mudas de dez genótipos de cana de açúcar produzidos pela técnica de mudas pré-brotadas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização da área

O experimento foi conduzido na casa de vegetação da Unidade de Apoio à Pesquisa (UAP), da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), localizada nas coordenadas: latitude 21°19'23" (S) e longitude 41°19'41" (W), no município de Campos dos Goytacazes - RJ. De acordo com a classificação de Köppen o clima é do tipo Aw, sendo tropical úmido com verão chuvoso e inverno seco, a precipitação média anual é de 1.023 mm, o período chuvoso da região se concentra entre os meses de outubro a março, e período seco entre junho e setembro (Alvares et al., 2013; Gama-Rodrigues et al., 2008).

O experimento foi conduzido por 60 dias, de setembro a novembro de 2022, em casa de vegetação coberta com sombrite de 50%. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar da casa de vegetação foram monitorados durante todo o período experimental com o auxílio do Data Logger - modelo RHT10 (Extech Instruments)(Figura 1).

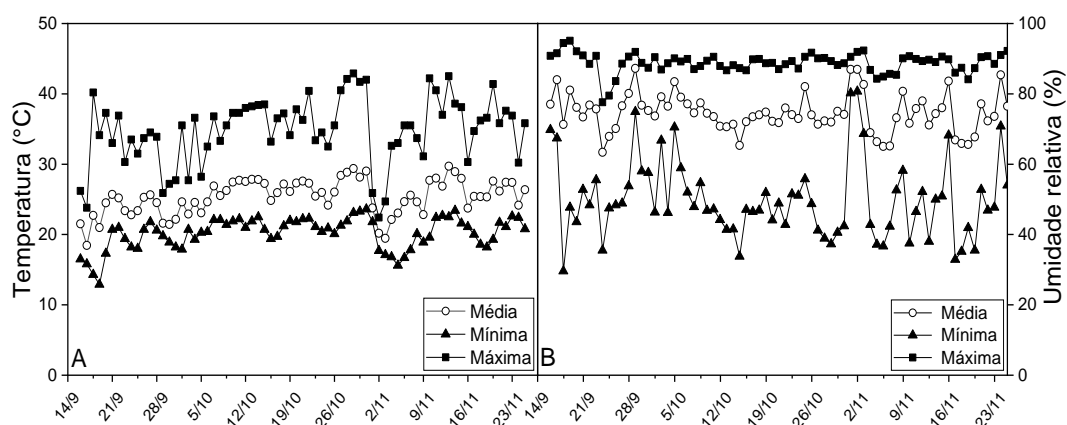


Figura 1. Variação de temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) entre os meses de setembro a novembro de 2022 em casa de vegetação na Unidade de Apoio a Pesquisa da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.

### Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido em duas etapas: I – emergência de gemas em caixas e II – desenvolvimento em tubetes. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), com dez tratamentos (10 genótipos) e cinco repetições. Cada parcela experimental foi composta por 15 minirrebolos (contendo uma gema cada) na primeira etapa e 6 plântulas na segunda etapa.

### Obtenção e preparação do material propagativo

Os propágulos utilizados para a produção de mudas pré-brotadas (MPB) foram obtidos do Banco de Germoplasma do Programa de Melhoramento Genético da Cana de açúcar da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético. Foram utilizados colmos de cana planta de 10 genótipos, com 15 meses de idade, cultivados nas dependências do campo experimental da Usina Alcon – Conceição da Barra/ES. Os genótipos, devidamente identificados foram: RB867515 (C1), RB975375 (C2), RB005014 (C3), RB015935 (C4), RB036066 (C5), RB006995 (C6), RB108519 (C7), RB011549 (C8), RB988082 (C9) e RB041443 (C10).

A preparação dos minirrebolos foi conduzida de acordo com o protocolo básico de mudas pré-brotadas, descrito por Landell et al. (2012). O corte e preparação do material propagativo foram realizados com o auxílio de uma “guilhotina” devidamente desinfestada. Os minirrebolos foram cortados com o tamanho de três centímetros (cm) e retirados do terço médio e terço superior do colmo. Após o corte do material, os minirrebolos passaram por uma seleção, sendo eliminados os colmos e gemas danificados ou com sintomas de pragas e doenças. Os minirrebolos foram acondicionados em sacos de ráfia e posteriormente submetidos a tratamento térmico por 30 minutos a 52°C, em banho Maria com agitação interna (Modelo 500-3D).

### Implantação e condução do experimento

Para a etapa I, o plantio dos minirrebolos foi feito em caixas plásticas com dimensões de 40 cm x 28 cm x 15 cm, preenchidas com 6L do substrato comercial Basaplant Florestal®, que é composto por cascas de pinus, fibra de coco, turfa fibrosa e vermiculita. Foram utilizadas 5 caixas por bloco, cada uma

contendo 2 cultivares (15 minirrebolos/genótipo). As caixas foram divididas ao meio com auxílio de placas de PVC para eliminar a ocorrência de interferência entre genótipos.

Após a emergência das gemas, etapa I, as plântulas foram individualizadas aos 15 dias após o plantio (DAP), quando foram retiradas 6 plântulas de cada parcela e transplantadas para tubetes de 290 cm<sup>3</sup>, onde permaneceram por 45 dias (etapa II).

A adubação foi fornecida na etapa II, de acordo com as recomendações da AGEITEC, em que se deve fornecer de 100 a 150 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 80 a 150 kg/ha de K<sub>2</sub>O e 30 a 60 kg/ha de N (Rossetto; Santiago, 2022). Utilizou-se os fertilizantes solúveis Krista Map (12-61-0) e Kristalon (06-12-36), com os cálculos devidamente adaptados para as condições experimentais.

Foi realizada a irrigação por aspersão, feita oito vezes por dia com duração de 1 minuto cada, cada aspensor possui vazão de 1L/minuto. Aos 25 dias após o transplante (DAT) foi feita a poda das folhas com objetivo de evitar perdas de água (Landell et al., 2012).

#### Características morfológicas

A emergência das gemas foi avaliada diariamente durante 30 dias, a qual foi considerada o rompimento da plântula de 2 cm acima do solo, para a obtenção da porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência (IVE).

A porcentagem de emergência foi calculada com base na fórmula proposta nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009):

$$G = \frac{NG \times 100}{NT}$$

Em que:

NG = número de gemas emergidas;

NT = número de gemas colocadas para germinar.

Além disso, o índice de velocidade de emergência (IVE) foi calculado conforme fórmula proposta por Maguire (1962):

$$IVE = \sum \frac{NG_i}{T_i}$$

Em que:



NG<sub>i</sub> = número de gemas emergidas no dia *i*;

T<sub>i</sub> = tempo, em dias, após o plantio, para a emergência.

As características morfológicas avaliadas ao final do experimento foram: altura da planta (cm) com o auxílio de uma régua graduada medindo da base do perfilho primário até a inserção da folha mais velha, o diâmetro do coleto (mm) a dois centímetros acima do substrato com um paquímetro digital, a contagem do número de folhas, e a área foliar, na qual foi estimada a partir de um medidor de bancada modelo LI - 3100 LICOR (Lincoln, NE, USA). Para isso, foram utilizadas três plantas de cada parcela experimental.

Para as avaliações de massa seca, as raízes foram separadas da parte aérea e lavadas em água corrente. Posteriormente, as amostras de raízes e parte aérea foram acondicionados em sacos de papel e levados à estufa de circulação de ar forçado para secagem, com temperatura  $70 \pm 2^\circ\text{C}$  por 48 horas. Em seguida, as amostras foram pesadas em balança de precisão 0,0001 g para a obtenção da massa seca radicular (MSR, em g) e de parte aérea (MSPA, em g).

#### Características morfológicas da raiz

Para as características morfológicas de raiz, as raízes previamente lavadas foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidos em geladeira com temperatura de aproximadamente  $4^\circ\text{C}$ , para conservação até o momento das avaliações.

As raízes foram escaneadas utilizando-se o Scanner EPSON Expression 10000XL. Para isto, utilizou-se a cubeta com dimensões de 200 mm x 300 mm, previamente preenchida com água, onde as raízes foram distribuídas cuidadosamente. A determinação das variáveis comprimento da raiz (CR, em cm), volume radicular (VR, em  $\text{cm}^3$ ), diâmetro médio radicular (DMR, em mm) e área superficial radicular (ASR, em  $\text{cm}^2$ ) foi efetuada por meio do *software* WinRhizo.

#### Características fisiológicas

As avaliações fisiológicas foram realizadas ao final do experimento, no período da manhã, das 08:00 às 10:00 horas. Para as avaliações fisiológicas, foram utilizadas três plantas de cada parcela experimental, exceto a fluorescência da clorofila, em que foi determinada em duas plantas por parcela. Selecionou-se a segunda folha mais velha para as medições, evitando-se nervuras e as

extremidades da folha. O índice de verde (Spad) foi estimado por meio do medidor portátil de clorofila modelo SPAD – 502 “Soil Plant Analyser Development” (Minolta Company, Japan).

A refletância espectral da folha foi determinada usando o Espectrômetro de Folha Miniatura CI-710/720 (CID-Bioscience, Camas, Washington, EUA) no final do experimento. Medidas de refletância espectral ( $\rho$ ) foram realizadas de comprimentos de onda de 400 nm a 1000 nm, e os índices: Índice de refletância de antocianina (ARI), Índice de refletância de carotenoides (CRI), Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de vegetação de diferença normalizada de clorofila (CNDVI) foram obtidos por meio do software acoplado ao sistema (SpectraSnapp, Versão 1.1.3.150).

Quanto à fluorescência da clorofila, as medições foram realizadas em folhas pré-adaptadas ao escuro durante 30 minutos com auxílio de pinças hansatech, visando manter os centros de reação em estado oxidativo. O rendimento quântico fotoquímico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), e o índice de desempenho fotossintético (PI) foram estimados por meio do fluorímetro não modulado, modelo Pocket PEA (Plant Efficiency Analyser, Hansatech, Inglaterra).

#### Análises estatísticas

Os dados obtidos foram testados quanto à normalidade e homogeneidade de variâncias para verificar se atendiam as pressuposições da análise de variância (ANOVA). Os valores de MSPA não atenderam aos pressupostos, sendo então transformados ( $1/\sqrt{x}$ ). Cumpridos os pressupostos, os dados foram submetidos à ANOVA e, quando significativo, as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software R® (R Core Team, 2020).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os genótipos avaliados apresentaram diferenças significativas na porcentagem de emergência das gemas dos minirrebolos (Figura 2A), em que a cultivar C5 ( $80\pm 4,71$  %) foi superior as cultivares C1 ( $37,33\pm 6,86$ ), C2 ( $45,33\pm 8,54$ ) e ao clone C6 ( $45,33\pm 3,89$ ) (%). Resultados superiores foram encontrados por De Sousa et al. (2020), analisando a cultivar CTC 9001, com a idade aproximada de 11 meses, em que obteve emergência variando de 80,83 a 96,66 %. A menor porcentagem de emergência encontrada no presente trabalho, pode estar relacionada à idade dos colmos utilizados no experimento (15 meses). Gemas mais velhas possuem tempo de formação mais longo, com isso uma barreira natural é formada contra a desidratação dos tecidos por meio da maior deposição de lignina, podendo causar redução na taxa de brotação por exigir maior gasto energético para romper a camada lignificada (De Sousa et al., 2020; Freire et al., 2014).

Para o índice de velocidade de emergência (IVE) nota-se que a cultivar C10 ( $0,78\pm 0,05$ ) foi superior aos genótipos C1, C2 e C6 ( $0,33\pm 0,06$ ;  $0,44\pm 0,10$  e  $0,46\pm 0,04$ ; respectivamente) (Figura 2B). Resultados semelhantes foram reportados por Silva et al. (2018), analisando IVE por 44DAP em duas cultivares RB que obtiveram IVE com valores mínimo e máximo de 0,075 e 0,65, respectivamente, e Reis de Oliveira (2019), que obteve IVE equivalente a 0,68 (30 DAP) para gemas provenientes da parte superior do colmo da cultivar CTC 4 com idade de 14 meses.

A capacidade de emergência impacta diretamente nos custos de produção (Baracat Neto et al., 2017; Casagrande, 1991), dado que reflete em um bom estabelecimento da muda (Silva et al., 2004), na baixa taxa de mortalidade, e conseqüentemente proporciona menores perdas de insumos e economia de mão de obra (Reis de Oliveira, 2019).

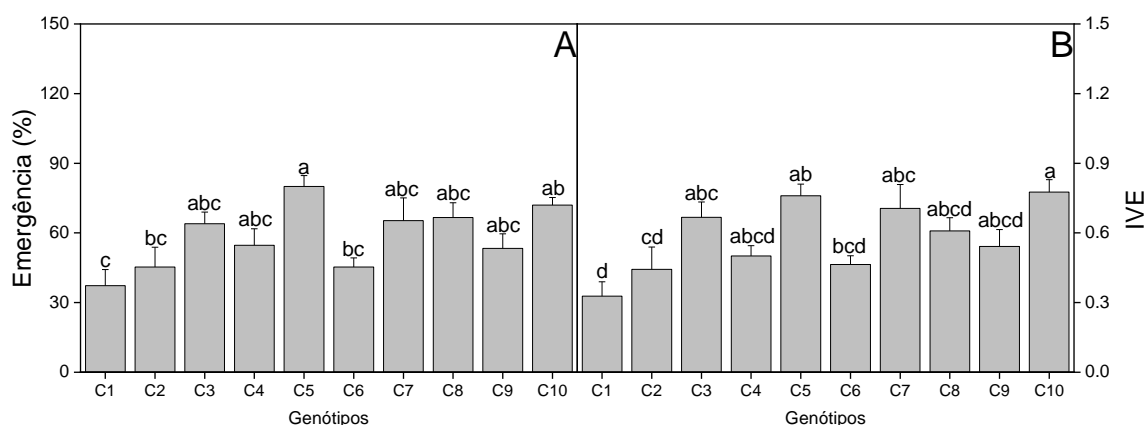


Figura 2. Porcentagem de emergência (A) e índice de velocidade de emergência - IVE (B) de 10 genótipos (C1: RB867515; C2: RB975375; C3: RB005014; C4: RB015935; C5: RB036066; C6: RB006995; C7: RB108519; C8: RB011549; C9: RB988082; C10: RB041443) propagados por meio do método de mudas de pré-brotadas. As letras diferentes entre os genótipos indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As colunas representam os valores médios de cinco repetições, e as barras representam o desvio padrão.

### Características morfológicas

Para a altura da planta observou-se que as cultivares C1 ( $9,87 \pm 0,26$  cm) e C5 ( $10,67 \pm 0,47$  cm) foram superiores a cv. C3 ( $6,9 \pm 0,29$  cm) (Figura 3A), enquanto os demais genótipos não diferiram estatisticamente. Valores superiores foram reportados por Brito (2022) analisando a cultivar RB867515, em que o tratamento controle obteve altura média de 11,49 cm.

Com relação ao diâmetro do coleto, as cultivares C5 ( $4,74 \pm 0,21$ ) e C10 ( $4,87 \pm 0,16$ ) (mm) mostraram-se superiores as cvs. C3 ( $3,12 \pm 0,15$ ) e C4 ( $3,83 \pm 0,18$ ) (mm) (Figura 3B). A cultivar C3 com o menor diâmetro, diferiu da maioria das cultivares analisadas, exceto quando comparada a cv. C4. As plantas com maior diâmetro do coleto possuem maior tendência à sobrevivência, pela maior capacidade de formação e crescimento de novas raízes (Taiz e Zeiger, 2013), bem como pela maior resistência ao tombamento das plantas a campo (de Sousa et al., 2020; Lima e dos Santos, 2022), que é provocado, principalmente, pela ocorrência de ventos fortes (Barboza, 2016). À vista disso, genótipos com maiores diâmetros são mais desejáveis para o município de Campos dos Goytacazes, visto que a região Norte Fluminense apresenta alta incidência de ventos ao longo do ano (Santos e Júnior, 2018; Pereira et al., 2022).

Para o número de folhas, a cv. C10 ( $5,33 \pm 0,16$ ) foi superior a cv. C9 com  $4,33 \pm 0,16$  folhas por planta (Figura 3C). Com relação aos demais genótipos, não houve diferença estatística. Resultados inferiores foram encontrados por Silva et al. (2021), avaliando a cv. CTC 4 com diferentes doses de AIB, observaram número médio de folhas de 4,44, bem como os dados encontrados por Franco et al. (2020) para a cv. RB867515, onde o número médio de folhas foi de 4,54. O número de folhas está fortemente associado à capacidade de interceptação luminosa do dossel (Wu et al., 2023). A maior emissão de folhas pode garantir maior vantagem competitiva às mudas em condições de campo, pois promove a capacidade fotossintética e conseqüentemente favorece a produção de fotoassimilados direcionados ao crescimento vegetal (Pessarakli, 2021).

Em relação à área foliar, os genótipos C5 ( $39,97 \pm 4,21$ ), C6 ( $44,55 \pm 3,27$ ) e C10 ( $47,87 \pm 4,73$ ) (em  $\text{cm}^2$ ) foram superiores quando comparados ao C4, que obteve média de  $15,21 \pm 1,19$  ( $\text{cm}^2$ ) (Figura 3D). De Figueirêdo et al. (2020), encontraram valores aproximados em mudas pré-brotadas da cv. CTC 4 conduzidas em vasos em função de diferentes comprimentos de entrenós acima e abaixo da gema, em que a área foliar variou entre 16,01 e 40,03 ( $\text{cm}^2$ ) (61DAP) dentre os tratamentos avaliados. A redução da área foliar afeta a capacidade de conversão de energia luminosa em energia química da planta (Reis et al., 2013), provocando acentuada redução na produção de biomassa (Sales et al., 2023). Portanto, os resultados indicam que os genótipos C5, C6 e C10 podem apresentar performance e produtividade superiores após o plantio a campo, quando comparadas ao C4.

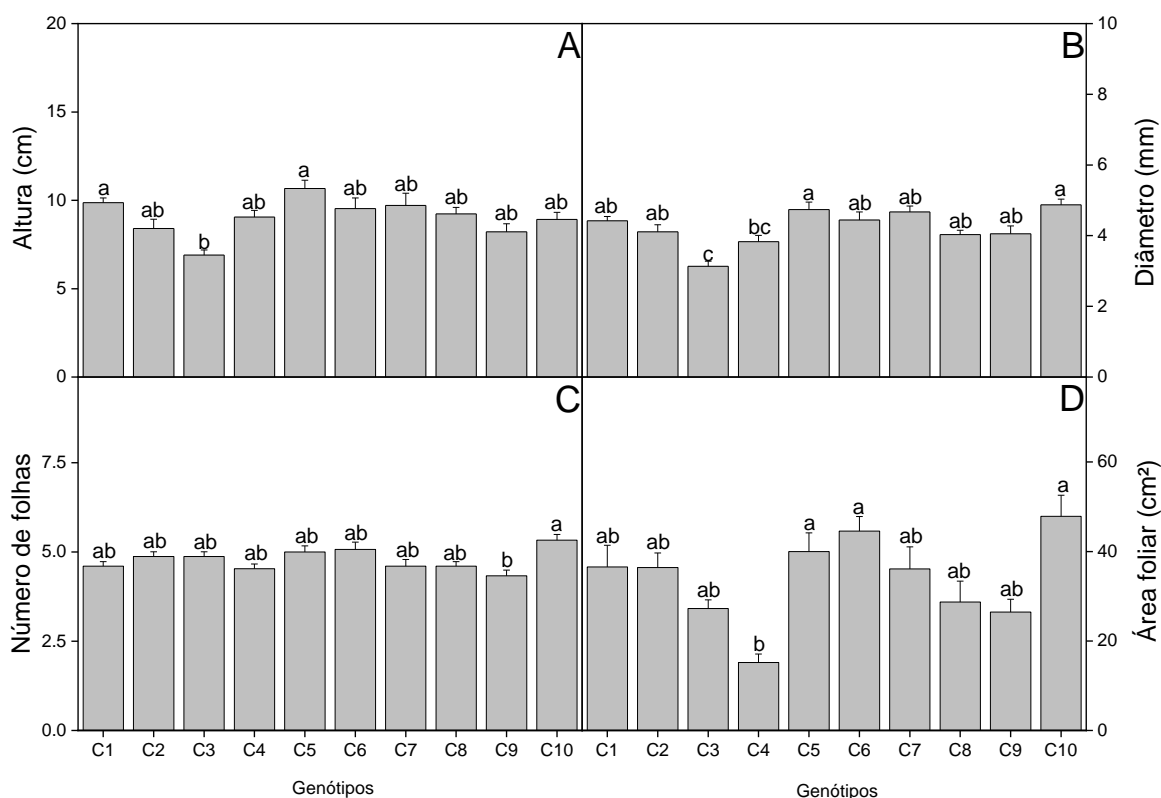


Figura 3. Altura da planta (A), Diâmetro do coleto (B), Número de folhas (C) e Área foliar (D) de 10 genótipos (C1: RB867515; C2: RB975375; C3: RB005014; C4: RB015935; C5: RB036066; C6: RB006995; C7: RB108519; C8: RB011549; C9: RB988082; C10: RB041443) propagados por meio do método de mudas de pré-brotadas. As letras diferentes entre os genótipos indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As colunas representam os valores médios de cinco repetições, e as barras representam o desvio padrão.

Para a MSPA, as cultivares C5 ( $1,07 \pm 0,10$ ) e C10 ( $1,07 \pm 0,07$ ) (g) foram superiores as cv. C3 ( $0,57 \pm 0,03$ ), C4 ( $0,60 \pm 0,04$ ) e C9 ( $0,67 \pm 0,05$ ) (g) (Figura 4A). Para a MSR os resultados mostraram que a cv. C10 ( $0,48 \pm 0,025$  g) foi superior as cultivares C2 ( $0,35 \pm 0,035$ ) e C4 ( $0,28 \pm 0,018$ ) (g) (Figura 4B).

De Oliveira (2021), avaliando as cv. RB867515 e RB108519 (62DAP) encontrou maior valor de MSPA (1,38 e 1,03 em g) e menor valor de MSR (0,28 e 0,12 em g), que os resultados descritos no presente trabalho, para ambas as cultivares, respectivamente.

Com relação a MST, assim como observado em MSPA, a cultivar C10 com média de  $1,55 \pm 0,097$  g apresentou-se estatisticamente superior a C3 ( $0,97 \pm 0,012$ ) e C4 ( $0,88 \pm 0,08$ ) (g) (Figura 4C).

Analisando as características de MSPA, MSR e MST, ressalta-se que a cultivar C10 se sobressaiu quando comparada a cultivar C4. As características morfológicas da cana de açúcar são utilizadas para a seleção das melhores cultivares (Rocha et al., 2023), em que o aumento destes parâmetros possibilita o desenvolvimento de plantas mais robustas, favorecendo o desenvolvimento e estabelecimento da cultura no campo (Ferreira et al., 2019).

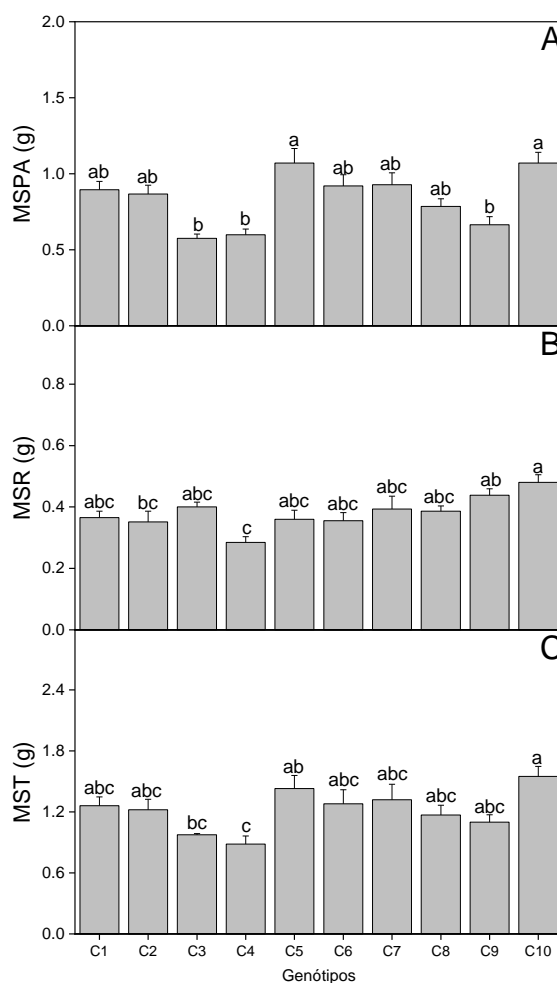


Figura 4. Massa seca da parte aérea (A) e Massa seca da raiz (B) e Massa seca total (C) de 10 genótipos RB (C1: RB867515; C2: RB975375; C3: RB005014; C4: RB015935; C5: RB036066; C6: RB006995; C7: RB108519; C8: RB011549; C9: RB988082; C10: RB041443) propagados por meio do método de mudas de pré-brotadas. As letras diferentes entre os genótipos indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As colunas representam os valores médios de cinco repetições, e as barras representam o desvio padrão.

### Características morfológicas da raiz

Para o comprimento radicular (CR), as cultivares C9 ( $3.457 \pm 139$ ) e C10 ( $3.540 \pm 162$ ) (cm) foram superiores a C2 ( $2.056 \pm 155$ ), C3 ( $2.394 \pm 149$ ) e C4 ( $2.428 \pm 141$ ) (cm) (Figura 5A). Resultados superiores foram encontrados por Civiero et al. (2016), avaliando mudas pré-brotadas da cultivar RB867515 (10 meses de idade) produzida em vasos de 10L com diferentes bioestimulantes, onde o tratamento controle (sem bioestimulante) obteve CR de 5.420 (cm) (60DAP). No entanto, resultados inferiores foram obtidos por Arnt et al. (2018), para a cv. CTC 24, propagadas em copos de 500ml avaliando os efeitos de dois fertilizantes, em três concentrações, na promoção de desenvolvimento inicial de minirrebolos de cana de açúcar coletadas do ápice, terço médio e base de plantas de cana de açúcar, onde a média geral do CR dos tratamentos foi de 1.001 (cm) (50DAP).

Com relação à área superficial radicular (ASR), as cultivares C2 ( $217 \pm 15,8$  cm<sup>2</sup>) e C4 ( $222 \pm 13,1$  cm<sup>2</sup>) (Figura 5C) obtiveram médias inferiores às cvs. C9 ( $307 \pm 13,3$  cm<sup>2</sup>) e C10 ( $318 \pm 15$  cm<sup>2</sup>). Nota-se que o menor valor encontrado no presente experimento foi superior aos reportados Silva et al. (2021) ao testar diferentes doses de AIB em minirrebolos de cana de açúcar, em que verificou que as doses de AIB não afetaram o enraizamento, e obteve valor médio de ASR de 142,17 (cm<sup>2</sup>).

Quanto ao diâmetro médio de raiz (DMR), a cultivar C3 ( $0,35 \pm 0,011$  mm) obteve valor superior à maioria dos genótipos avaliados (Figura 5B), exceto quando comparada a cv. C2 ( $0,34 \pm 0,012$  mm). Não houve diferença estatística entre os genótipos para o volume radicular (VR), com valor médio equivalente a  $1,98 \pm 0,07$  cm<sup>3</sup> (Figura 5D). Esses resultados corroboram com os obtidos por Khruengpat et al. (2018), em estudo com produção de mudas de três cultivares comerciais de cana de açúcar (KK3, LK92-11 e K88-92) na Tailândia, verificaram que as três cultivares não diferiram quanto ao VR, no entanto, DMR apresentou uma variação entre as cultivares, onde a cultivar K88-92 foi inferior às cvs. KK3 e LK92-11 para as mudas derivadas das porções inferior e média do colmo.

A expansão do sistema radicular favorece a absorção de água do solo, promovendo a produção de biomassa (Wu et al., 2022). Os parâmetros morfológicos radiculares (CR, DMR, VR e ASR) são fundamentais para avaliar a adaptabilidade da planta a condições limitantes, uma vez que o aumento destes



favorece a arquitetura radicular e sua plasticidade em condições adversas. O incremento no CR e ASR determinam a área do solo a ser explorada para a aquisição de água e nutrientes, estando estes correlacionados com o aumento DMR (Bouma et al., 2000; Dos Santos et al., 2019; Smith e de Smet, 2012; Koevoets et al., 2016).

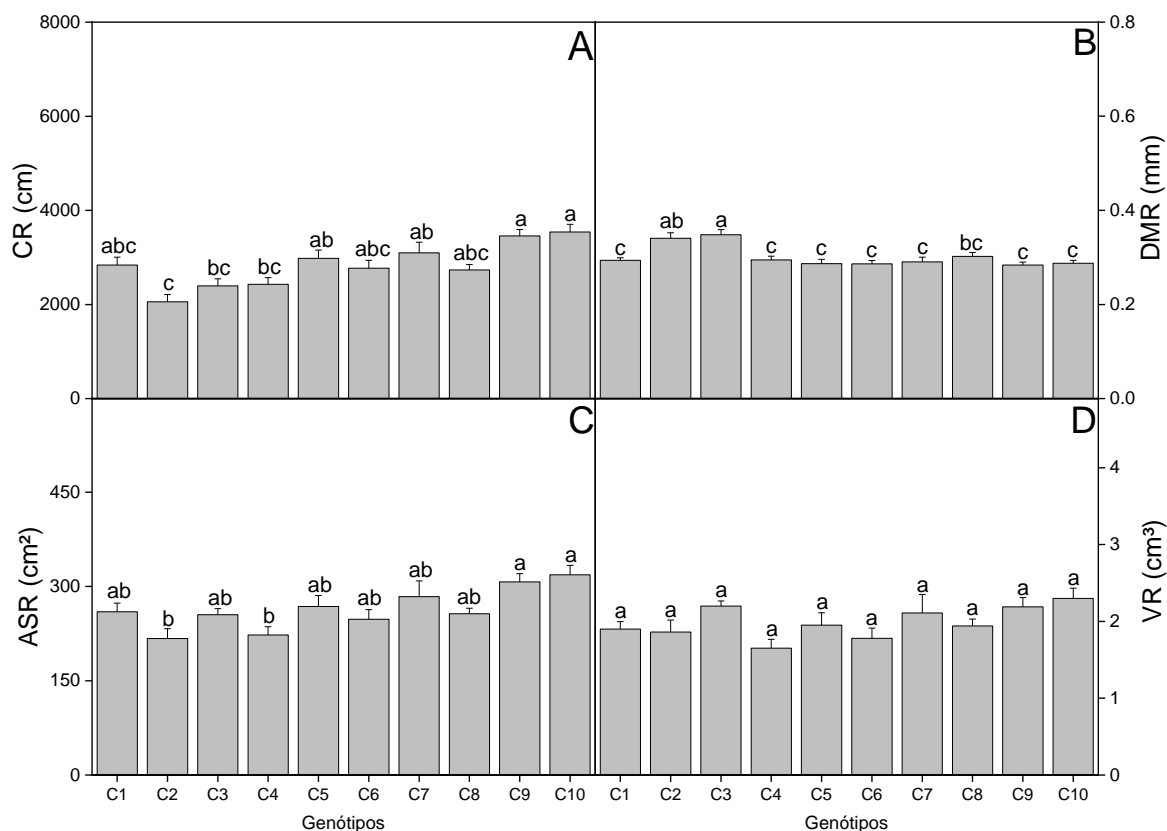


Figura 5. Comprimento de raiz (CR) (A), Diâmetro médio de raiz (DMR) (B), Área superficial de raiz (ASR) (C) e Volume de raiz (VR) (D) de 10 genótipos (C1: RB867515; C2: RB975375; C3: RB005014; C4: RB015935; C5: RB036066; C6: RB006995; C7: RB108519; C8: RB011549; C9: RB988082; C10: RB041443) propagados por meio do método de mudas pré-brotadas. As letras diferentes entre os genótipos indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As colunas representam os valores médios de cinco repetições, e as barras representam o desvio padrão.

### Características fisiológicas

Para o índice SPAD houve diferença significativa entre os genótipos. Os genótipos C3 ( $37,25 \pm 1,64$ ), C5 ( $39,19 \pm 1,42$ ), C6 ( $36,29 \pm 1,37$ ), C7 ( $36,67 \pm 1,36$ ) e C8 ( $36,44 \pm 1,69$ ) foram superiores as cv. C1 ( $30,21 \pm 1,12$ ), C2 ( $30,38 \pm 1,88$ ) e C4 ( $28,26 \pm 1,26$ ) (Figura 6).

O índice SPAD pode refletir o estado de crescimento da planta (Tan et al., 2021), uma vez que depende da concentração de clorofila e do teor de nitrogênio presente nas folhas (Poudyal et al., 2023). As clorofilas captam energia luminosa para as reações fotoquímicas, onde é feita a síntese de carboidratos (Taiz e Zeiger, 2017), portanto, podendo promover o acúmulo de biomassa quando em condições satisfatórias.

A diminuição do desenvolvimento foliar provoca uma redução da área fotossinteticamente ativa (Ren et al., 2023), reduzindo também a absorção da radiação solar (Bonelli e Andrade, 2020), e conseqüentemente a emissão de novas folhas é comprometida podendo ocasionar o baixo acúmulo de massa seca (de Oliveira et al., 2016; de Oliveira et al., 2015).

Os resultados demonstraram que a cultivar C4 obteve os menores valores para as variáveis: área foliar e índice SPAD. Tal fato reflete no baixo acúmulo de massa seca de parte aérea e de raiz. Em contrapartida, a cultivar C10 apresentou resultados superiores para as características supracitadas, além de apresentar maior diâmetro, MSPA, MSR, MST, CR, ASR, evidenciando ser uma cultivar com desempenho superior quando comparada a cultivar C4.

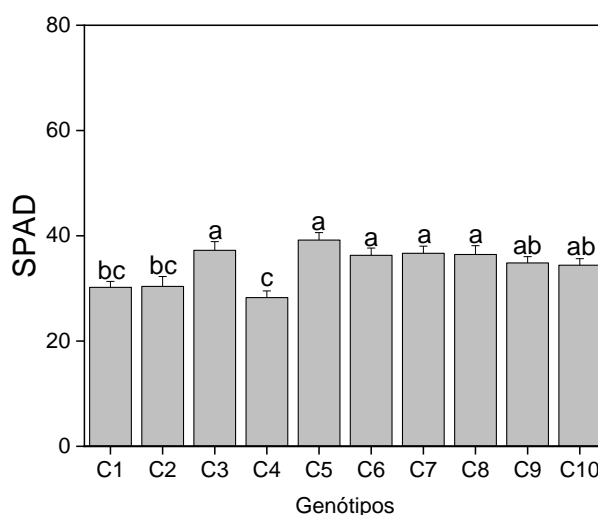


Figura 6. Intensidade de cor verde na folha – Índice SPAD de 10 genótipos (C1: RB867515; C2: RB975375; C3: RB005014; C4: RB015935; C5: RB036066; C6: RB006995; C7: RB108519; C8: RB011549; C9: RB988082; C10: RB041443) propagados por meio do método de mudas pré-brotadas. As letras diferentes entre os genótipos indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As colunas representam os valores médios de cinco repetições, e as barras representam o desvio padrão.

Ao considerar os dez genótipos estudados, o rendimento quântico fotoquímico máximo do PSII ( $F_v/F_m$ ) e o índice de desempenho fotossintético (PI) não apresentaram diferença significativa (Figura 7), indicando que as condições de cultivo durante a produção de mudas pré brotadas foram adequadas. O  $F_v/F_m$  médio foi de  $0,77 \pm 0,003$  (Figura 7A). O PI médio dos genótipos foi de  $4,72 \pm 0,15$  (Figura 7B).

Valores da fluorescência da clorofila inferiores a 0,75 para o rendimento quântico fotoquímico máximo do fotossistema II indicam baixa eficiência quântica do PSII e do desempenho fotossintético da planta (dos Santos et al., 2022).

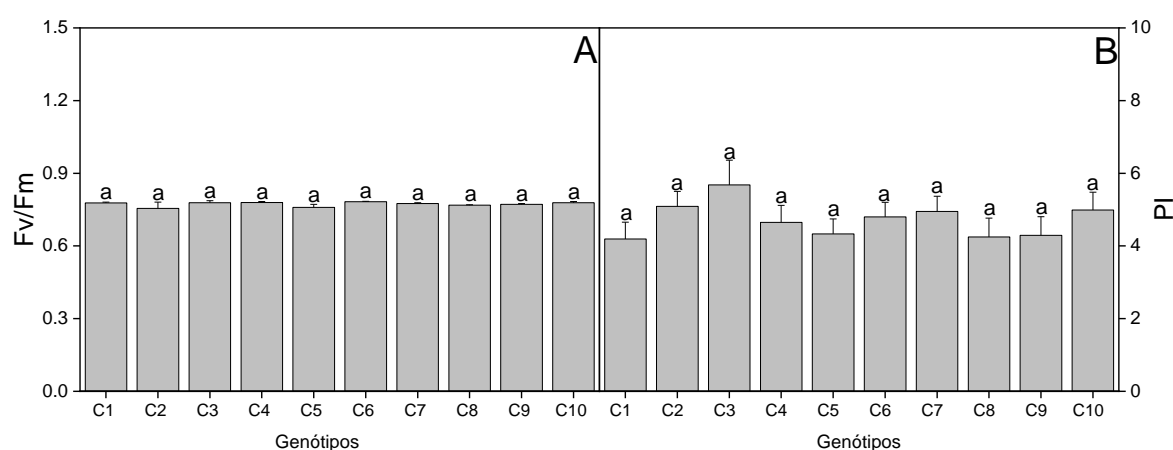


Figura 7. Rendimento quântico fotoquímico máximo do Fotossistema II -  $F_v/F_m$  (A) e Índice de desempenho fotossintético - PI (B) de 10 genótipos (C1: RB867515; C2: RB975375; C3: RB005014; C4: RB015935; C5: RB036066; C6: RB006995; C7: RB108519; C8: RB011549; C9: RB988082; C10: RB041443) propagados por meio do método de mudas pré-brotadas. As letras diferentes entre os genótipos indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As colunas representam os valores médios de cinco repetições, e as barras representam o desvio padrão.

Em relação ao índice de reflectância espectral verificou-se efeitos significativos para o Índice de Reflectância de Antocianina (ARI) e Índice de vegetação de diferença normalizada de clorofila (CNDVI) (Figura 8). Em contrapartida, não houve efeito significativo entre os genótipos para o Índice de Reflectância de Carotenoides (CRI) e o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI).

A cultivar C8 ( $0,015 \pm 0,001$ ) apresentou-se superior em relação a C2 ( $0,010 \pm 0,001$ ) e C5 ( $0,011 \pm 0,001$ ) para ARI (Figura 8A). As respostas distintas encontradas quanto ao conteúdo de antocianinas podem estar relacionadas ao genótipo das cultivares (Carmo et al., 2021) uma vez que aumento no acúmulo deste pigmento depende de genes e enzimas biossintéticos de antocianinas (Mansuor, 2023; Xia et al., 2021).

O incremento no conteúdo de antocianinas é benéfico para a planta visto que o pigmento tem função fotoprotetora em condições estressantes, apresentando respostas positivas na melhoria do estresse ambiental ocasionado por excesso de radiação ou condições de seca, ajudando a eliminar as espécies reativas de oxigênio (ERO's) produzidas (Chalker-Scott, 1999; Dai et al., 2016; Shen et al., 2010).

Para o índice CRI não foram observadas diferenças significativas entre os genótipos analisados (Figura 8B), com média geral de  $0,023 \pm 0,001$ . O conteúdo de carotenoides é importante para o funcionamento do aparato fotossintético. São pigmentos acessórios que atuam na absorção e transferência de luz fotossintética para as clorofilas durante a fotossíntese, além de proteger os organismos contra danos causados pelo excesso de luz (Taiz e Zeiger, 2017).

A estimativa do teor de carotenoides é extremamente útil, uma vez que esclarece mecanismos de fotoproteção e adaptação à luz e para o diagnóstico precoce de estresse na vegetação (Zhou et al., 2017). Portanto, os resultados deste estudo demonstram que os genótipos avaliados não apresentam indícios de estresse foliar, indicando boa adaptação às condições de cultivo do MPB.

O NDVI médio foi equivalente a  $0,70 \pm 0,006$  (Figura 8C). Sabe-se que índice de vegetação de diferença normalizada é comumente usado na agricultura para caracterizar o crescimento e avaliar o estado da planta (Xue e Su, 2017). A clorofila absorve comprimentos de onda vermelhos, enquanto a falta dos pigmentos fotossintéticos causa uma grande refletância na região do infravermelho próximo, portanto, plantas saudáveis com alto teor de clorofila tendem a absorver mais na região do vermelho, refletindo mais na região do vermelho distante (Stamford et al., 2023). Diante disso, as respostas obtidas pelos genótipos sugerem características de plantas em pleno desenvolvimento e em boas condições hídricas (da Silva Pereira et al., 2016).

A cultivar C8 apresentou valores de CNDVI superiores a cv. C2 ( $0,439 \pm 0,011$  vs  $0,363 \pm 0,025$ ) (Figura 8D). Estudos mostraram que há uma correlação positiva entre os resultados CNDVI com o teor de clorofila, demonstrando que o índice de vegetação podem ser utilizado para monitorar o conteúdo de clorofila a nível foliar, bem como podem ser usados para monitorar o teor de nitrogênio (Soltanikazemi et al., 2022; Sun et al., 2011; Sun et al., 2012; Sun et al., 2013). Sendo assim, os valores do índice CNDVI encontrados na cultivar C8 indicam que a cultivar tende a apresentar maior teor de clorofila quando comparada a cultivar C2, corroborando os dados observados no índice SPAD.

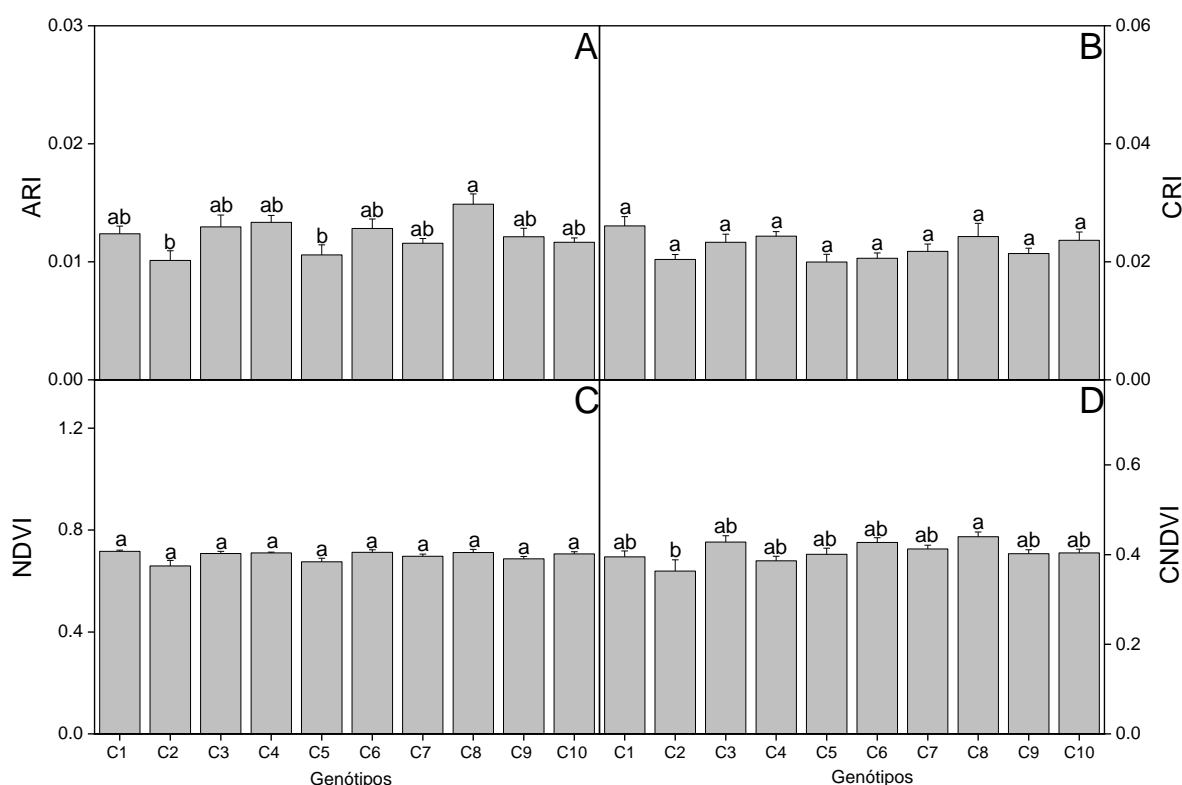


Figura 8. Índice de Reflectância de Antocianina - ARI (A), Índice de Reflectância de Carotenoides - CRI (B), Índice de Vegetação de Diferença Normalizada - NDVI (C) e Índice de vegetação de diferença normalizada de clorofila - CNDVI (D) de 10 genótipos (C1: RB867515; C2: RB975375; C3: RB005014; C4: RB015935; C5: RB036066; C6: RB006995; C7: RB108519; C8: RB011549; C9: RB988082; C10: RB041443) propagados por meio do método de mudas pré-brotadas. As letras diferentes entre os genótipos indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As colunas representam os valores médios de cinco repetições, e as barras representam o desvio padrão.

A cultivar C10 tem desempenho superior a cultivar C4 quanto às características: diâmetro do coleto, área foliar, massa seca de parte aérea, de raiz e massa seca total, comprimento radicular, área superficial radicular e índice Spad, demonstrando, maior capacidade de desenvolvimento e adaptação ao sistema MPB.

Os genótipos não variaram significativamente para as características fisiológicas de rendimento quântico fotoquímico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), índice de desempenho fotossintético (PI), Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de reflectância de Carotenoides (CRI).

## CONCLUSÕES

Com base nas características morfológicas e fisiológicas avaliadas, o MPB mostrou-se viável para a propagação dos genótipos avaliados.

Pela análise das características de crescimento e fisiológicas, existe variação no desempenho dos genótipos propagados por meio da técnica de mudas pré-brotadas.

De acordo com as condições experimentais, foi possível identificar as cultivares RB036066 (C5) e RB041443 (C10) com maior potencial para serem utilizadas para a produção de mudas pré-brotadas, possibilitando assim boas perspectivas para a melhoria da eficiência produtiva.

São necessárias mais pesquisas sobre o desempenho dos genótipos de cana de açúcar propagados por meio do MPB, avaliando o desempenho das plantas a campo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. D. M., Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711–728.
- Amaral, M. A. C. M., Coelho, R. D., José, J. V., Oliveira, Á. S. D. (2019). Temperatura base e taxa de crescimento de oito variedades de cana-de-açúcar. *Revista Geama*, 5(1): 21–29.
- Arnt, W. R., Nascimento, J. M., Cardeal, A. D. S., Souza, P. S., Shiota, L. Y. (2018). Desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar em função da origem da gema e promotores na replicação. *Agrarian*, 11(42): 380–386.
- Baracat Neto, J., Scarpate, F. V., Araújo, R. B., Scarpate-Filho, J. A. (2017). Initial development and yield in sugarcane from different propagules<sup>1</sup>. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47(3): 273–278.
- Barbieri, V., Silva, F., Castro, A., Godoy, A. (2015). Modelos matemáticos-fisiológicos para estimativa da produtividade da cana-de-açúcar. In F. Silva, B. Alves, P. Freitas (Eds.), *Sistema de produção mecanizada de cana-de-açúcar integrado à produção de energia e alimentos*. Brasília: Embrapa, p. 245–289.
- Barboza, G.C. (2016) *Fluxo de seiva e relação foliar de cana-de-açúcar (Saccharum officinarum L.)*. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Campinas – SP, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, 138p.
- Bezerra, J. D. C., Ferreira, G. D. G., de Oliveira, M. W., de Souza Campos, J. M., de Andrade, A. P., do Nascimento Júnior, J. R. S. (2018). Cana-de-açúcar: Melhoramento genético e suas finalidades forrageiras. *Nucleus Animalium*, 10(2): 131–147.
- Bonelli, L. E., Andrade, F. H. (2020). Maize radiation use-efficiency response to optimally distributed foliar-nitrogen-content depends on canopy leaf-area index. *Field Crops Research*, 247, 107557.
- Bordonal, R. de O., Carvalho, J. L. N., Lal, R., de Figueiredo, E. B., de Oliveira, B. G., La Scala, N. (2018). Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(2): 13.
- Bouma, T. J., Nielsen, K. L., Koutstaal, B. A. S. (2000). Sample preparation and scanning protocol for computerised analysis of root length and diameter. *Plant and Soil*, 218, 185–196.
- Brasil. (2009). *Regras para análise de sementes*. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária/ACS, 399p.
- Brito, P. M. B. (2022) *Uso de bioestimulantes e bactéria promotora de crescimento vegetal (Herbaspirillum seropedicae) na produção de mudas de cana-de-açúcar*. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal) – Campos dos



Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Darcy Ribeiro – UENF, 61p.

- Carmo, A. S., Silva, F. das C. G., Aviz, R. O. de, Santos, T. V. dos, Barroso, N. N. F., Carvalho, F. S., Oliveira Neto, C. F., Borges, L. da S. (2021). Compostos bioativos em cultivares de alface produzidas em condições climáticas do sudeste paraense. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(10): 502–513.
- Casagrande, A. A. (1991) *Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar*. Jaboticabal: Funep, 3(5): 157p.
- Chalker-Scott, L. (1999). Environmental Significance of Anthocyanins in Plant Stress Responses. *Photochemistry and Photobiology*, 70(1): 1–9.
- Civiero, J. C., Daros, E., Fiori-Tutida, A. C., Alves, M. J., Figueiredo, G. G. (2016). Crescimento inicial da cana-de-açúcar em função do tamanho domini-reboleo da aplicação de bioestimulantes. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada Nas Ciências Agrárias*, 9(1): 07–15.
- Conab. (2021). Monitoramento da safra brasileira de cana-de-açúcar. *Companhia Nacional de Abastecimento*, 8(1). Retrieved from <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>
- Cruz, L. P., Pacheco, V. S., Silva, L. M., Almeida, R. L., Miranda, M. T., Pissolato, M. D., Machado, E. C., Ribeiro, R. V. (2021). Morpho-physiological bases of biomass production by energy cane and sugarcane: A comparative study. *Industrial Crops and Products*, 171, 113884.
- Da Silva Gírio, L. A., da Silva, R. P., de Menezes, P. C., Carneiro, F. M., Zerbato, C., Ormond, A. T. S. (2019). Quality of multi-row harvesting in sugarcane plantations established from pre-sprouted seedlings and billets. *Industrial Crops and Products*, 142, 111831.
- Da Silva Pereira, L., de Oliveira Silva, D., Pamboukian, S. V. D. (2016). Sensoriamento remoto aplicado à agricultura de precisão no cultivo de bambu. *Revista Mackenzie de Engenharia e Computação*, 16(1): 8–33.
- Dai, W., Girdthai, T., Huang, Z., Ketudat-Cairns, M., Tang, R., Wang, S. (2016). Genetic analysis for anthocyanin and chlorophyll contents in rapeseed. *Ciência Rural*, 46(5): 790–795.
- De Figueirêdo, A. A., Júnior, V. O., Bernardes, J. V. S., de Oliveira Charlo, H. C. (2020). Tamanho e posição do entrenó do minitolete no crescimento inicial da cana-de-açúcar. *Revista Inova Ciência & Tecnologia/Innovative Science & Technology Journal*, 6(1): 12–17.
- De Oliveira, A. R., Braga, M. B., Santos, B. L. S., Walker, A. M. (2016). Biometria de cultivares de cana-de-açúcar sob diferentes reposições hídricas no vale do Submédio São Francisco. *Energia Na Agricultura*, 31, 48–58.
- De Oliveira, A. R., Braga, M. B., Walker, A. M. (2015). Comportamento vegetativo e qualidade tecnológica de cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico em condições Semiáridas do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8, 525–541.

- De Oliveira, D., Urashima, A. S. (2018). Detecção de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* em mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. *Summa Phytopathologica*, 44(3): 223–228.
- De Oliveira, D. L. S. (2021) *Desenvolvimento de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar sob estresse hídrico e aplicação de bactérias promotoras de crescimento (BPCV)*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 76p.
- De Sousa, B. T., Zucareli, V., Martins, A. P. C. (2020). Quantificação de açúcares totais e auxina no desenvolvimento inicial de mini-toletes de cana-de-açúcar. *Colloquium Agrariae*, 16(3): 94–103.
- De Souza, F. G., Alvarez, R. de C. F., Teodoro, L. P. R., Sales, A. C., Campos, C. N. S., Teodoro, P. E. (2022). Planting Arrangement and Seedling Type Influence Yield and Quality of Ratoon Sugarcane? *Sugar Tech*.
- Dos Santos, M. M., Carvalho Reis, L. A., Ferreira, E. A., Rocha de Souza, M. W., Gomes, J. B., da Silva, I. M., Serrão, J. E., Soares, M. A., Zanuncio, J. C. (2022). Physiological Aspects of *Olea europaea* (Oleaceae) Attacked by *Saissetia oleae* (Hemiptera: Coccidae). *Florida Entomologist*, 105(3).
- Dos Santos, S. G., Chaves, V. A., da Silva Ribeiro, F., Alves, G. C., Reis, V. M. (2019). Rooting and growth of pre-germinated sugarcane seedlings inoculated with diazotrophic bacteria. *Applied Soil Ecology*, 133, 12–23.
- Ferreira, O. E., de Paula, N. I. M., de Castro, R. B. R., de Queiroz, S. F., Mendonça, M. A. (2019) Aplicação de extrato de *Cyperus rotundus* L. em mudas pré brotadas de cana-de-açúcar. *Meio Ambiente em Foco*, 7, 1-8.
- Fluminhan, A., Fluminhan, T. V. (2020). A biotecnologia na produção em larga escala de mudas de cana-de-açúcar e a importância da automação dos processos. In A. A. Zacharias, E. L. Piroli, L. S. Dias (Eds.), *Cana-de-açúcar, expansão, métodos, tecnologias e impactos*.Tupã: ANAP, p. 113–128.
- Franco, C. B., da Silva Oliveira, C. E., da Silva, K. C., Steiner, F. (2020). Qualidade de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em resposta ao tamanho do tubete e do minirrebolo. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 14(1): 3089–3103.
- Freire, C. S., Simões, A. N., Vieira, M. R. S., Barros Júnior, A. P., Costa, F. B. (2014). Qualidade de raízes de mandioca de mesa minimamente processada nos formatos minitolete e rubiene. *Revista Caatinga*, 27(4): 95–102.
- Gama-Rodrigues, E. F., Gama-Rodrigues, A. C., Paulino, G. M., Franco, A. A. (2008). Atributos Químicos e Microbiológicos de Solos sob Diferentes Coberturas Vegetais no Norte do Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 32, 1521–1530.
- Khruengpat, J., Khonghinta, J., Songsri, P., Jongrungrkl, N. (2018). Root Characteristics of Sugarcane Cuttings Derived from Different Stalk Parts and their Relationships with Plant Growth. *Asian Journal of Plant Sciences*, 17(4): 204–212.

- Koevoets, I. T., Venema, J. H., Elzenga, J. T. M., Testerink, C. (2016). Roots Withstanding their Environment: Exploiting Root System Architecture Responses to Abiotic Stress to Improve Crop Tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 07, 1–19.
- Landell, M. D. A., Campana, M. P., Figueiredo, P., Xavier, M. A., Anjos, I. A., Dinardomiranda, L.L., Scarpari, M.S., Garcia, J.C., Bidóia, M.A.P., Silva, D. N., Mendonça, J.R., Kanthack, R. A. D., Campos, M. F., Brancalião, S.R., Petri, R. H., Miguel, P. E. M. (2012). Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas. *Ribeirão Preto: Instituto Agrônomo de Campinas*, 17(109).
- Lima, V. T., dos Santos, C. L. R. (2022). Influência de diferentes doses de nitrogênio na presença e ausência da adubação potássica no cultivo de milho. *Revista Eletrônica Interdisciplinar*, 14(2): 82–92.
- Maguire, J. D. (1962). Speed of Germination—Aid In Selection And Evaluation for Seedling Emergence And Vigor 1. *Crop Science*, 2(2): 176–177.
- Mansour, M. M. F. (2023). Anthocyanins: Biotechnological targets for enhancing crop tolerance to salinity stress. *Scientia Horticulturae*, 319, 112182.
- Moraes, M. C. de, Ribeiro Guimarães, A. C., Perecin, D., Sainz, M. B. (2018). Effect of Planting Material Type on Experimental Trial Quality and Performance Ranking of Sugarcane Genotypes. *International Journal of Agronomy*, 2018, 1–8.
- Oliveira, R. A. de. (2021). *50 anos de variedades RB de cana-de-açúcar: 30 anos de RIDESA* (R. A. de Oliveira, G. V. de S. Barbosa, E. Daros, eds.). Curitiba: UFPR. RIDESA. 199p.
- Pereira, D. da S., Júnior, P. J., Motta, V. da, Santos, P. G., Dos, T., Fortes, I. de B., Santos, H. S., Soares, A. R. N., Soares, R. M., Freitas, F. B. V. (2022). Análise sazonal dos ventos de superfície do estado do Rio de Janeiro com base em dados do período 2007-2015. *Brazilian Journal of Development*, 58366–58386.
- Pessaraki, M. (Ed.). (2021) *Handbook of Plant and Crop Physiology*. 4. ed. New York: CRC Press, 1173p.
- Poudyal, C., Sandhu, H., Ampatzidis, Y., Odero, D. C., Arbelo, O. C., Cherry, R. H., Costa, L. F. (2023). Prediction of morpho-physiological traits in sugarcane using aerial imagery and machine learning. *Smart Agricultural Technology*, 3, 100104.
- Reis de Oliveira, M. H. (2019) *Produção de mudas pré brotadas de cana-de-açúcar sob irrigação localizada*. Dissertação (Mestrado em Irrigação no Cerrado) – Ceres – GO, Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, 72p.
- Reis, L. S., Azevedo, C. A., Albuquerque, A. W., Junior, J. F. (2013). Índice de área foliar e produtividade do tomate sob condições de ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, 17, 6.
- Ren, B., Yu, W., Liu, P., Zhao, B., Zhang, J. (2023). Responses of photosynthetic characteristics and leaf senescence in summer maize to simultaneous stresses

of waterlogging and shading. *The Crop Journal*, 11(1): 269–277.

- Ripoli, T.C.C., Ripoli, M.L.C. Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2004. 302p.
- Rocha, I. T. M., da Silva, A. V., Freire, F. J., de Oliveira, E. C. A., de Souza, E. R., Endres, L. (2023). Biochemical differences in the initial growth of sugarcane varieties cultivated under different potassium doses and water conditions. *Revista Caatinga*, 36(1): 61–69.
- Rossetto, R., Santiago, A. D. (2022) AGEITEC - Agência Embrapa de Informação Tecnológica. *Árvore do conhecimento cana-de-açúcar: correção e adubação*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/correcao-e-adubacao>. Acesso em: 12 de outubro de 2022.
- Sales, C. R. G., Ribeiro, R. V., Marchiori, P. E. R., Kromdijk, J., Machado, E. C. (2023). The negative impact of shade on photosynthetic efficiency in sugarcane may reflect a metabolic bottleneck. *Environmental and Experimental Botany*, 211, 105351.
- Santos, W. A. dos., Júnior, M. E. (2018) Avaliação da matriz elétrica da região Norte Fluminense por meio estimativa do índice de renovabilidade. *Anais EMEPRO – Desafios das engenharias do séculos XXI*. p. 1–8.
- Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A. E., Li, J. (2010). Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *Journal of Plant Physiology*, 167(15): 1248–1252.
- Silva, J. C. da., Vasconcelos, C. V., Souza, A. C. L. de., Silva, F. G., Rubio Neto, A., Martins, P. F. (2021). Stimulus to rooting of *Saccharum* sp. mini-cuttings with talc indole-butyric acid. *Research, Society and Development*, 10(7): e6110716239.
- Silva, J. L. F. da., Prado, R. de M., Alves, T. L., Lata-Tenesaca, L. F., Soares, M. B. (2023). New strategy for silicon supply through fertigation in sugarcane integrating the pre-sprouted seedling phase and field cultivation. *Scientific Reports*, 13(1): 1230.
- Silva, M. A., Carlin, S. D., Perecin, D. (2004). Fatores que afetam a brotação inicial da cana-de-açúcar. *Revista Ceres*, 51, 457–466.
- Silva, R. R. F. da., de Lima, S. F., da Silva, M. A., Dick, M., Andrade, M.G. O., Silva, L. V. da (2018) Qualidade de mudas pré-brotadas de cana de açúcar cultivadas em substratos de resíduos agroindustriais. *IX Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável: VI Congresso Internacional de Agropecuária Sustentável*. p.1–4.
- Smith, S., De Smet, I. (2012). Root system architecture: insights from Arabidopsis and cereal crops. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1595): 1441–1452.
- Soltanikazemi, M., Minaei, S., Shafizadeh-Moghadam, H., Mahdavian, A. (2022). Field-scale estimation of sugarcane leaf nitrogen content using vegetation

- indices and spectral bands of Sentinel-2: Application of random forest and support vector regression. *Computers and Electronics in Agriculture*, 200, 107130.
- Souza, J. L., dos Santos, R. B., Nunes, V. V., Torres, M. F. O., Calazans, C. C., Junior, L. F. G. O., Silva-Mann, R. (2020). Déficit hídrico no desenvolvimento de cultivares de cana-de-açúcar. *Global Science and Technology*, 13(01): 196–210.
- Stamford, J. D., Vialet-Chabrand, S., Cameron, I., Lawson, T. (2023). Development of an accurate low cost NDVI imaging system for assessing plant health. *Plant Methods*, 19(1): 9.
- Stolf, R., Garcia, T. B., Neris, L. D. O., Trindade Junior, O., Reichardt, K. (2016). Avaliação de falhas em cana-de-açúcar segundo método de Stolf utilizando imagens aéreas de alta precisão obtidas por VANT. *Revista STAB*, 34(4): 32–39.
- Sun, H., Li, M., Zhang, Y., Zheng, L., Zhang, Y. (2013). Correlation Between Chlorophyll Content and Vegetation Index of Maize Plants Under Different Fertilizer Treatments with Multi-Spectral Imaging. *Sensor Letters*, 11(6): 1128–1133.
- Sun, H., Li, M., Zheng, L., Zhang, Y., Yang, W. (2011). Evaluation of maize growth by ground based multi-spectral image. *2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, 207–211.
- Sun, H., Li, M., Zheng, L., Zhang, Y., Zhang, Y. (2012, November 9). *Monitoring of maize chlorophyll content based on multispectral vegetation indices* (A. M. Larar, H.-S. Chung, M. Suzuki, J. Wang, eds.), 8527, 170–179.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2013) *Fisiologia Vegetal*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed.
- Taiz, L.; Zeiger, E. (2017) *Fisiologia do desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 888p.
- Tan, L., Zhou, L., Zhao, N., He, Y., Qiu, Z. (2021). Development of a low-cost portable device for pixel-wise leaf SPAD estimation and blade-level SPAD distribution visualization using color sensing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 190, 106487.
- Teixeira, G. C. M., de Mello Prado, R., Rocha, A. M. S., dos Santos, L. C. N., dos Santos Sarah, M. M., Gratão, P. L., Fernandes, C. (2020). Silicon in pre-sprouted sugarcane seedlings mitigates the effects of water deficit after transplanting. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(3): 849–859.
- Wu, B., Zhang, L., Tian, J., Zhang, G., Zhang, W. (2022). Nitrogen rate for cotton should be adjusted according to water availability in arid regions. *Field Crops Research*, 285, 108606.
- Wu, B., Zuo, W., Yang, P., Zhang, W. (2023). Optimal water and nitrogen management increases cotton yield through improving leaf number and canopy light environment. *Field Crops Research*, 290, 108745.
- Xia, D., Zhou, H., Wang, Y., Li, P., Fu, P., Wu, B., He, Y. (2021). How rice organs

are colored: the genetic basis of anthocyanin biosynthesis in rice. *The Crop Journal*, 9(3): 598-608.

Xue, J., Su, B. (2017). Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors*, 2017, 1–17.

Zhou, X., Huang, W., Kong, W., Ye, H., Dong, Y., Casa, R. (2017). Assessment of leaf carotenoids content with a new carotenoid index: Development and validation on experimental and model data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 57, 24–35.

Zulu, N. S., Sibanda, M., Tlali, B. S. (2019). Factors Affecting Sugarcane Production by Small-Scale Growers in Ndwedwe Local Unicity, South Africa. *Agriculture*, 9(8): 170.

### 3.2. EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NA EMERGÊNCIA E DESENVOLVIMENTO INICIAL DE MUDAS PRÉ-BROTADAS EM DIFERENTES GENÓTIPOS DE CANA DE AÇÚCAR

#### RESUMO

O uso do tratamento térmico no sistema de mudas pré-brotadas pode influenciar a capacidade de emergência e o crescimento inicial das mudas, os quais variam em função da sensibilidade de cada genótipo, sendo necessários estudos sobre o desempenho de diferentes genótipos de cana de açúcar submetidos ao tratamento térmico. Diante disso, objetivou-se avaliar o efeito do tratamento térmico sobre a emergência das gemas e desenvolvimento inicial de mudas pré-brotadas em diferentes genótipos de cana de açúcar. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, constituído por um fatorial 2x10, sendo duas condições de tratamento térmico (com e sem tratamento térmico) e 10 genótipos (RB867515 (C1), RB975375 (C2), RB005014 (C3), RB015935 (C4), RB036066 (C5), RB006995 (C6), RB108519 (C7), RB011549 (C8), RB988082 (C9) e RB041443 (C10)), com quatro repetições. Foram avaliadas as características morfológicas: índice de velocidade de emergência e porcentagem de emergência, altura da planta (cm), diâmetro do coleto (mm), número de folhas por planta, área foliar (cm<sup>2</sup>), massa seca da parte aérea (MSPA - g), massa seca de raízes (MSR - g), comprimento radicular (CR - cm), volume radicular (VR - cm<sup>3</sup>), diâmetro médio radicular (DMR - mm), área superficial radicular (ASR - cm<sup>2</sup>). As características fisiológicas estimadas foram: índice SPAD, rendimento quântico fotoquímico máximo do Fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), índice de desempenho fotossintético (PI), Índice de Reflectância de Antocianina (ARI), Índice de

Reflectância de Carotenoides (CRI), Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de vegetação de diferença normalizada de clorofila (CNDVI). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando significativo, as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). O tratamento térmico promoveu um incremento na emergência das cultivares C4 (57,1), C7 (75,0) e C8 (43,8) (%) e no IVE de C4 (67,1), C7 (72,2) e C8 (52,0) (%). Para as características altura, diâmetro do coleto, área foliar, MSPA, MSR, CR, DMR, VR, ASR, índice SPAD e  $F_v/F_m$  o tratamento térmico não provocou efeito significativo, indicando não haver diferença de comportamento dos genótipos em relação aos tratamentos adotados para as características morfológicas e fisiológicas supracitadas. O PI, ARI, CNDVI foram reduzidos, enquanto foi observado um incremento no número de folhas e CRI quando submetidos ao tratamento térmico das gemas. Assim, conclui-se que o tratamento térmico não prejudicou a emergência (%) e o índice de velocidade de emergência dos minirrebolos. Os minirrebolos submetidos ao tratamento térmico apresentaram maior uniformidade na emergência e índice de velocidade de emergência das plântulas. O tratamento térmico não promoveu efeitos deletérios para as características morfológicas das mudas. As reduções provocadas pelo tratamento térmico para o índice de desempenho fotossintético, índice de reflectância de antocianina e o índice de vegetação de diferença normalizada de clorofila não diminuíram o desempenho morfológico das mudas. Pela eficácia, praticidade e homogeneidade sugere-se o uso do tratamento térmico dos minirrebolos para a propagação dos genótipos de cana de açúcar avaliados.



## ABSTRACT

The use of heat treatment in the system of pre-sprouted seedlings can influence the emergence capacity and the initial growth of the seedlings, which vary according to the sensitivity of each genotype, requiring studies on the performance of different genotypes of sugarcane subjected to heat treatment. Therefore, the objective was to evaluate the effect of heat treatment on bud emergence and initial development of pre-sprouted seedlings in different genotypes of sugarcane. The experimental design was in randomized blocks, consisting of a 2x10 factorial, with two heat treatment conditions (with and without heat treatment) and 10 genotypes (RB867515 (C1), RB975375 (C2), RB005014 (C3), RB015935 (C4), RB036066 (C5), RB006995 (C6), RB108519 (C7), RB011549 (C8), RB988082 (C9) and RB041443 (C10)), with four replicates. The following morphological characteristics were evaluated: emergence speed index and emergence percentage, plant height (cm), stem diameter (mm), number of leaves per plant, leaf area (cm<sup>2</sup>), shoot dry mass (SDM - g), root dry mass (RDM - g), root length (RL - cm), root volume (RV - cm<sup>3</sup>), mean root diameter (RMD - mm), root surface area (RSA - cm<sup>2</sup>). The estimated physiological characteristics were: SPAD index, Photosystem II maximum photochemical quantum yield ( $F_v/F_m$ ), photosynthetic performance index (PI), Anthocyanin Reflectance Index (ARI), Carotenoid Reflectance Index (CRI), Carotenoid Reflectance Index (CRI), Normalized Difference Vegetation (NDVI) and Chlorophyll Normalized Difference Vegetation Index (CNDVI). The data obtained were subjected to analysis of variance and, when significant, the means compared by Tukey's test ( $p < 0.05$ ). The heat treatment promoted an increase in the emergence of cultivars C4 (57.1), C7 (75.0) and C8 (43.8) (%) and in the emergence speed index of C4 (67.1), C7 (72.2) and C8 (52.0) (%). For the characteristics height, stem diameter, leaf area, SDM, RMD, RL, MRD, RV, RSA, SPAD index and  $F_v/F_m$ , the thermal treatment did not provoke a significant effect, indicating that there is no difference in the behavior of the genotypes in relation to the treatments adopted for the aforementioned morphological and physiological characteristics. The PI, ARI, CNDVI were reduced, while an increase in the number of leaves and CRI was observed when submitted to the thermal treatment of the buds. Thus, it is concluded that the heat treatment did not affect the

emergence (%) and the emergence speed index of the mini-grinds. The mini-gribbles subjected to heat treatment showed greater uniformity in emergence and seedling emergence speed index. The thermal treatment did not promote deleterious effects for the morphological characteristics of the seedlings. The reductions provoked by the thermal treatment for the photosynthetic performance index, anthocyanin reflectance index and the chlorophyll normalized difference vegetation index did not diminish the morphological performance of the seedlings. Due to its effectiveness, practicality and homogeneity, the use of thermal treatment of mini-grinding wheels is suggested for the propagation of the evaluated sugarcane genotypes.

## INTRODUÇÃO

A cana de açúcar (*Saccharum spp.*) é a commodity agrícola mais produzida no mundo com a finalidade para a produção de açúcar, com uma produção global de 1,9 bilhão de toneladas em 2021 (FAO, 2023). A *Saccharum spp.* se destaca mundialmente por ser uma importante matéria prima destinada a produção de açúcar e etanol (Yang et al., 2021). O Brasil é o maior produtor mundial de açúcar (Conab, 2023) e o segundo maior produtor de etanol, responsável por produzir cerca de 27 bilhões de litros (Conab, 2021).

A cultura se tornou importante em muitos países para a produção de açúcar e etanol, e a demanda por cana de açúcar tem sido crescente à medida que o consumo por açúcar e seus derivados aumenta (Qin et al., 2023). O sucesso dos canaviais e a elevada produtividade dos colmos dependem da aplicação de tecnologias adequadas (Gonçalves, et al., 2020), sendo a brotação eficiente das gemas um fator fundamental para o estabelecimento das mudas a campo (Baracat Neto et al., 2017). No entanto, o plantio convencional de segmentos do colmo diretamente a campo é uma prática ineficiente devido à alta irregularidade de brotação das gemas e elevado custo de produção (de Abreu et al., 2021), tornando necessária a adoção de estratégias no setor sucroalcooleiro, incluindo melhoramento genético e melhoria nas práticas de manejo, visando o aumento na produção e a redução de recursos, perdas e desperdícios (Barbosa et al., 2012; Burnquist et al., 2010; Dal-Bianco et al., 2012; Lal, 2013).

A técnica de mudas pré-brotadas (MPB), proposta por Landell et al. (2012), tem se mostrado uma excelente alternativa para reduzir a quantidade de matéria prima utilizada na propagação, com isso, grande parte do material que seria utilizado no plantio convencional pode ser destinado a indústria. Além de garantir a homogeneidade do material genético em função do rigoroso tratamento fitossanitário, refletindo no aumento do potencial produtivo da cultura (Silva et al., 2023). A premissa da técnica é a adoção do tratamento térmico das gemas, com intuito de eliminar patógenos sistêmicos que atacam a cultura e podem ser disseminados ao utilizar materiais contaminados (Gonçalves et al., 2012; Lapaz et al., 2019; Xavier et al., 2014), melhorando as condições fitossanitárias das gemas, assim como a robustez e longevidade dos canaviais (Porto et al., 2020).

No tratamento térmico, ou termoterapia, adota-se o uso do binômio tempo x temperatura, em que os minirrebolos são submetidos à imersão em água quente por tempo determinado, a fim de eliminar patógenos sem injuriar exorbitantemente as gemas (Fernandes Júnior et al., 2010). No Brasil a termoterapia utilizada, usualmente, consiste em exposição das gemas a 52° C por 30 minutos devido o menor tempo das gemas com a água quente, e a possibilidade de tratar um maior número de toletes, em comparação com a termoterapia de 50° por 2 horas (Copersucar, 1989; Damann Jr e Benda, 1983).

O tratamento térmico pode influenciar o desenvolvimento inicial das mudas pré-brotadas (De Marco et al., 2016). Desde 1997, sabe-se que o tratamento térmico afeta a emergência das gemas dos colmos (Tokeshi, 1997), sendo que a capacidade de brotação após o uso da termoterapia varia em função da sensibilidade de cada genótipo, e o conhecimento da capacidade de brotação de cada genótipo é essencial para determinar a quantidade de gemas necessárias para a formação dos canaviais (Giglioti, 1997).

A cultura da cana de açúcar é uma das mais avançadas quanto ao grau de melhoramento genético, em função do desenvolvimento de genótipos para suprir as demandas econômicas e necessidade humanas, tornando-se mais eficiente em relação ao tempo para o lançamento de uma nova cultivar (Bezerra et al., 2018). Com a liberação constante de genótipos, são necessários estudos avaliando a influência do tratamento térmico sobre o desenvolvimento inicial das mudas dos genótipos.

Diante disso, objetivou-se avaliar o efeito do tratamento térmico sobre a emergência das gemas e desenvolvimento inicial de mudas pré-brotadas em diferentes genótipos de cana de açúcar.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização da área

O experimento foi instalado na casa de vegetação da Unidade de Apoio à Pesquisa (UAP), da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), localizada nas coordenadas: latitude 21°19'23" (S) e longitude 41°19'41" (W), no município de Campos dos Goytacazes - RJ. De acordo com a classificação de Köppen o clima é do tipo Aw, sendo tropical úmido com verão chuvoso e inverno seco, a precipitação média anual é de 1.023 mm, o período chuvoso da região se concentra entre os meses de outubro a março, e período seco entre junho e setembro (Alvares et al., 2013; Gama-Rodrigues et al., 2008).

O experimento foi conduzido por cerca de 60 dias, de setembro a novembro de 2022, em casa de vegetação coberta com sombrite de 50%. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar da casa de vegetação foram monitorados durante todo o período experimental com o auxílio do Data Logger - modelo RHT10 (Extech Instruments) (Figura 1).

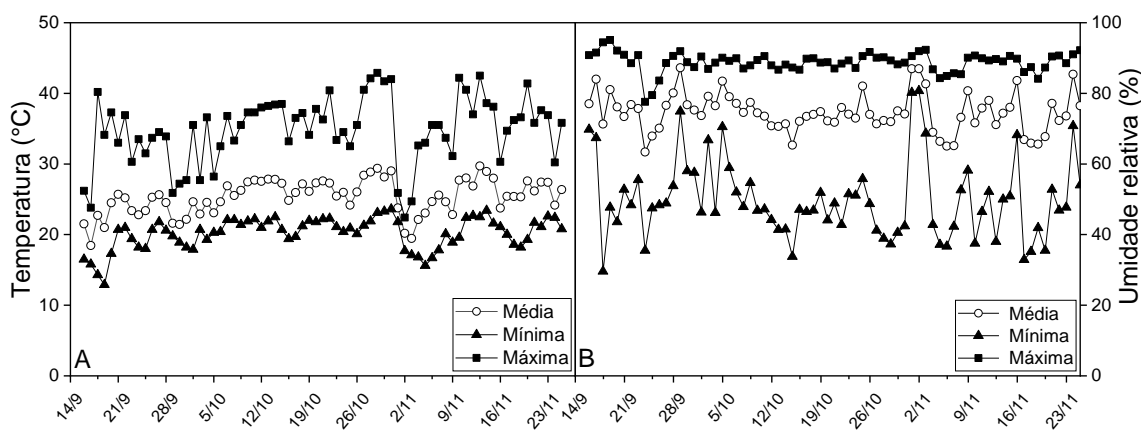


Figura 1. Variação de temperatura (A) e umidade relativa do ar (B) entre os meses de setembro a novembro de 2022 em casa de vegetação na Unidade de Apoio a Pesquisa da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.

### Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 10x2, compreendendo dez genótipos de cana de açúcar

(RB867515 (C1), RB975375 (C2), RB005014 (C3), RB015935 (C4), RB036066 (C5), RB006995 (C6), RB108519 (C7), RB011549 (C8), RB988082 (C9) e RB041443 (C10)) e duas condições de tratamento térmico (com e sem tratamento térmico), com quatro repetições. O experimento foi conduzido em duas fases: I – brotação de gemas em caixas e II – desenvolvimento em tubetes. Cada parcela experimental foi composta por 5 gemas na fase I e 2 plântulas na fase II.

#### Obtenção e preparação do material propagativo

O material utilizado para a produção de mudas pré-brotadas (MPB) foi obtido do Banco de Germoplasma do Programa de Melhoramento Genético da Cana de açúcar da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético. Foram utilizados colmos de cana planta de 10 genótipos, com 15 meses de idade, cultivados nas dependências do campo experimental da Usina Alcon – Conceição da Barra/ES.

A preparação dos minirrebolos foi conduzida de acordo com o protocolo básico de mudas pré-brotadas, descrito por Landell et al. (2012). O corte e preparação do material propagativo foi realizado com o auxílio de uma “guilhotina” devidamente desinfestada. Os minirrebolos foram cortados com o tamanho de três centímetros (cm) e retirados do terço médio e terço superior do colmo. Após o corte do material, os minirrebolos passaram por uma seleção sendo eliminados os colmos e gemas danificados ou com sintomas de pragas e doenças. Para o tratamento térmico, os minirrebolos foram acondicionados em sacos de rafia e posteriormente submetidos ao tratamento térmico por 30 minutos a 52°C, em banho Maria com agitação interna (Modelo 500-3D). Os minirrebolos sem tratamento térmico foram dispostos nas caixas após a eliminação dos materiais danificados, sem nenhuma exposição à termoterapia.

#### Implantação e condução do experimento

Para a fase I, o plantio dos minirrebolos foi feito em caixas plásticas com dimensões de 40 cm x 28 cm x 15 cm, preenchidas com 6L do substrato comercial Basaplant Florestal®, que é composto por cascas de pinus, fibra de coco, turfa fibrosa e vermiculita. Foram utilizadas duas caixas por bloco cada uma contendo 10 tratamentos (5 gemas/tratamento). As caixas foram antecipadamente subdivididas em dez partes iguais com auxílio de placas de PVC para eliminar a ocorrência de interferência entre os tratamentos.

As plântulas foram individualizadas aos 15 dias após o plantio (DAP), quando foram retiradas 2 plântulas de cada parcela e transplantadas para tubetes de 290 cm<sup>3</sup>, onde permaneceram por 45 dias. As cultivares C4 e C7 (sem tratamento térmico) não obtiveram plântulas suficientes para a fase II, sendo eliminadas da fase II.

A adubação foi fornecida na fase II, de acordo com as recomendações da AGEITEC, em que se deve fornecer de 100 a 150 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 80 a 150 kg/ha de K<sub>2</sub>O e 30 a 60 kg/ha de N (Rossetto e Santiago, 2022). Utilizaram-se os fertilizantes solúveis Krista Map e Kristalon, com os cálculos devidamente adaptados para as condições experimentais.

Foi realizada irrigação por aspersão, feita oito vezes por dia, com intervalos de 2 horas entre irrigações e duração de 1 minuto cada, cada aspersor possui vazão de 1L/minuto. A poda das folhas foi realizada aos 25 dias após o transplântio (DAT), com objetivo de evitar perdas de água (Landell et al., 2012).

#### Características morfológicas

A emergência das gemas foi avaliada diariamente durante 30 dias, a qual foi considerada o rompimento da plântula de 2 cm acima do solo, para a obtenção da porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência (IVE).

A porcentagem de emergência foi calculada com base na fórmula proposta nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009):

$$G = \frac{NG \times 100}{NT}$$

Em que:

NG = número de gemas emergidas;

NT = número de gemas colocadas para germinar.

Além disso, o índice de velocidade de emergência (IVE) foi calculado conforme fórmula proposta por Maguire (1962):

$$IVE = \sum \frac{NG_i}{T_i}$$

Em que:

NG<sub>i</sub> = número de gemas emergidas no dia i;

T<sub>i</sub> = tempo, em dias, após a semeadura, para a emergência.

As características morfológicas avaliadas ao final do experimento foram: altura da planta (cm) com o auxílio de uma régua graduada medindo da base do perfilho primário até a inserção da folha mais velha, o diâmetro do coleto (mm) a dois centímetros acima do substrato com um paquímetro digital de precisão, a contagem do número de folhas, e a área foliar, na qual foi estimada a partir de um medidor de bancada modelo LI - 3100 LICOR (Lincoln, NE, USA). Para isso, foram utilizadas todas as plantas da parcela experimental.

Para as avaliações de massa seca, as raízes foram lavadas em água corrente e posteriormente os materiais radiculares e de parte aérea, previamente separados, foram acondicionados em sacos de papel (tipo Kraft) e levados à estufa de circulação de ar forçado para secagem, com temperatura  $70 \pm 2^\circ\text{C}$  por 48 horas. Posteriormente, a pesagem dos materiais secos foi realizada em balança de precisão 0,0001 g para a obtenção da massa seca radicular (MSR, em g) e de parte aérea (MSPA, em g).

#### Características morfológicas da raiz

Para as características morfológicas de raiz, as raízes previamente lavadas foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidos em geladeira com temperatura de aproximadamente  $4^\circ\text{C}$ , para conservação até o momento das avaliações.

As imagens radiculares foram digitalizadas utilizando-se o Scanner EPSON Expression 10000XL. Para isto, utilizou-se a cubeta com dimensões de 200 mm x 300 mm, previamente preenchida com água, onde as raízes foram distribuídas cuidadosamente. A determinação das variáveis comprimento da raiz (CR, em cm), volume de raiz (VR, em  $\text{cm}^3$ ), diâmetro médio radicular (DMR, em mm) e área superficial radicular (ASR, em  $\text{cm}^2$ ) foi efetuada, por meio do *software* WinRhizo.

#### Características fisiológicas

As avaliações fisiológicas foram realizadas ao final do experimento. Foram utilizadas todas as plantas de cada parcela experimental, em que se utilizou a segunda folha mais velha, evitando-se nervuras e as extremidades da folha. O teor de verde (índice Spad) foi estimado por meio do medidor portátil de



clorofila modelo SPAD – 502 “Soil Plant Analyser Development” (Minolta Company, Japan).

Quanto à fluorescência da clorofila, as medições foram realizadas em folhas pré-adaptadas ao escuro durante 30 minutos com auxílio de pinças hansatech, visando manter os centros de reação em estado oxidativo. O rendimento quântico fotoquímico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), e o índice de desempenho fotossintético ( $P_i$ ) foram estimados por meio do fluorímetro não modulado, modelo Pocket PEA (Plant Efficiency Analyser, Hansatech, Inglaterra). A fluorescência foi medida utilizando a segunda folha mais velha da planta, foram utilizadas duas plantas de cada parcela para esta análise.

A refletância espectral da folha foi determinada usando o Espectrômetro de Folha Miniatura CI-710/720 (CID-Bioscience, Camas, Washington, EUA) no final do experimento. Medidas de refletância espectral ( $\rho$ ) foram realizadas de comprimentos de onda de 400 nm a 1000 nm, e os índices: Índice de reflectância de antocianina (ARI), Índice de refletância de carotenoides (CRI), Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de vegetação de diferença normalizada de clorofila (CNDVI) foram obtidos por meio do software acoplado ao sistema (SpectraSnapp, Versão 1.1.3.150).

#### Análises estatísticas

Os dados obtidos foram testados quanto à normalidade e homogeneidade de variâncias para verificar se atendiam as pressuposições da análise de variância (ANOVA). Cumpridos os pressupostos, os dados foram submetidos à ANOVA e, quando significativo, as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software R® (R Core Team, 2020).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre os fatores estudados, onde o tratamento térmico proporcionou efeito significativo sob as cultivares C4, C7 e C8 para a emergência (%) e para o IVE (Figura 2). O tratamento térmico promoveu um incremento na emergência das cultivares C4, C7 e C8 de 57,1; 75,0 e 43,8 (%), respectivamente (Figura 2A) quando comparada as respectivas cultivares sem o tratamento térmico.

O mesmo foi observado para IVE onde o tratamento térmico promoveu um incremento de 67,1%, 72,2% e 52%, para as cultivares C4, C7 e C8, quando comparado às respectivas cultivares sem a aplicação do tratamento térmico dos minirrebolos (Figura 2B).

Os dados obtidos por Cavalcanti et al. (2020) não corroboram os resultados do presente trabalho, em que avaliando genótipos diferentes dos avaliados no presente estudo, verificaram que a emissão de brotações dos minirrebolos tratados termicamente foi prejudicada para os genótipos RB863129 e RB92579, em comparação com os minirrebolos sem tratamento térmico. Assim como Urashima e Grachet (2012), que verificaram decréscimo de aproximadamente 45% na taxa de emergência da cultivar RB935744, quando submetida ao tratamento térmico, enquanto a brotação das cultivares RB855156 e RB867515 não foi influenciada pelo tratamento térmico dos minirrebolos.

Os resultados do presente trabalho demonstraram que a emergência e IVE das cultivares C4, C7 e C8 foram favorecidos pelo tratamento térmico dos minirrebolos, corroborando com a afirmação de que a reação a termoterapia não é comum para todos os genótipos (Urashima e Grachet, 2012), onde o comportamento de cada genótipo é determinado por suas características genéticas (Benda, 1994; Fernandes Júnior et al., 2010).

Avaliando isoladamente os fatores, tanto para a emergência quanto para o IVE os genótipos sem tratamento térmico apresentaram diferença significativa. Para a emergência, a cultivar C2 ( $85 \pm 9,57$  %) mostrou-se superior as cultivares C4 ( $30 \pm 10$  %) e C7 ( $15 \pm 5$  %). Para o IVE, a cultivar C2 apresentou média de  $0,26 \pm 0,018$  sendo superior a C1 ( $0,10 \pm 0,023$ ), C4 ( $0,07 \pm 0,041$ ), C7 ( $0,05 \pm 0,017$ ) e C9 ( $0,11 \pm 0,02$ ) (Figura 2B). Tais resultados demonstram que os genótipos

tratados termicamente apresentaram maior homogeneidade para as características, o que favorece a uniformidade do viveiro e padronização das mudas, em função da baixa variabilidade na emergência e IVE.

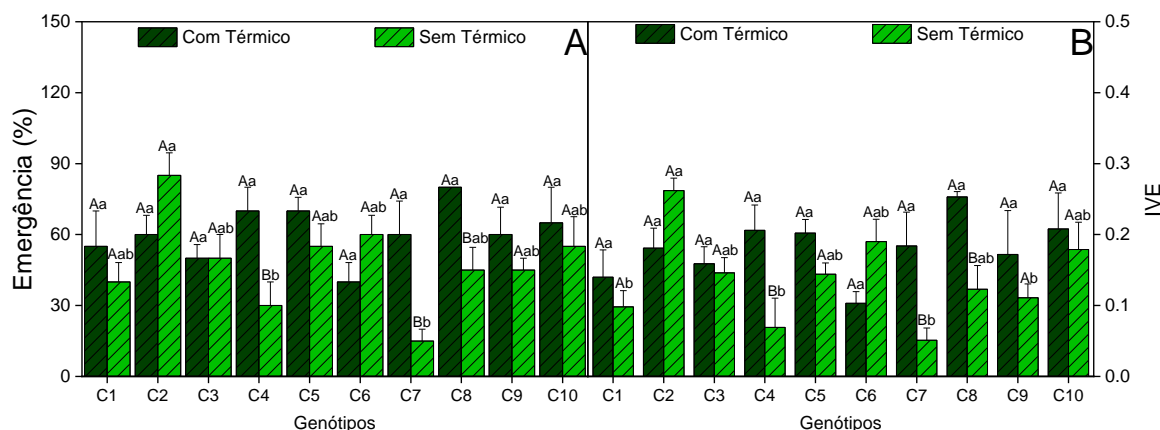


Figura 2. Emergência (A) e Índice de velocidade de emergência - IVE (B) das gemas de 10 genótipos (C1: RB867515; C2: RB975375; C3: RB005014; C4: RB015935; C5: RB036066; C6: RB006995; C7: RB108519; C8: RB011549; C9: RB988082; C10: RB041443) cultivados por meio da técnica de mudas pré-brotadas submetidos a dois tratamentos térmicos (com e sem tratamento térmico). As letras maiúsculas diferentes entre os tratamentos (com e sem tratamento térmico), entre os genótipos; e as letras minúsculas diferentes entre os dez genótipos, e sob duas condições de tratamento térmico indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As colunas representam os valores médios de quatro repetições, e as barras representam o desvio padrão.

### Características morfológicas

Não houve interação significativa entre os fatores avaliados, demonstrando não haver diferença de comportamento dos genótipos em relação aos tratamentos adotados para as características morfológicas das mudas.

Em relação aos efeitos isolados do tratamento térmico (Figura 3), dentre todas as características morfológicas avaliadas houve efeito significativo para o número de folhas, em que o tratamento térmico promoveu um acréscimo de 7,3 %, em relação às plantas sem tratamento térmico (Figura 3C). O incremento no número de folhas favorece a eficiência do uso da radiação solar, o que pode contribuir para o aumento da taxa fotossintética e desenvolvimento das mudas (de Oliveira et al., 2006; Gonçalves et al., 2020), visto que a folha é a principal

estrutura para a realização da fotossíntese (Góis de Siqueira et al., 2017). As demais características não foram influenciadas pelo tratamento térmico, indicando não haver efeitos deletérios causados pela termoterapia às características de altura (Figura 3A), diâmetro (Figura 3B), área foliar (Figura 3D), massa seca de parte aérea (MSPA) (Figura 3E) e massa seca de raiz (MSR) (Figura 3F).

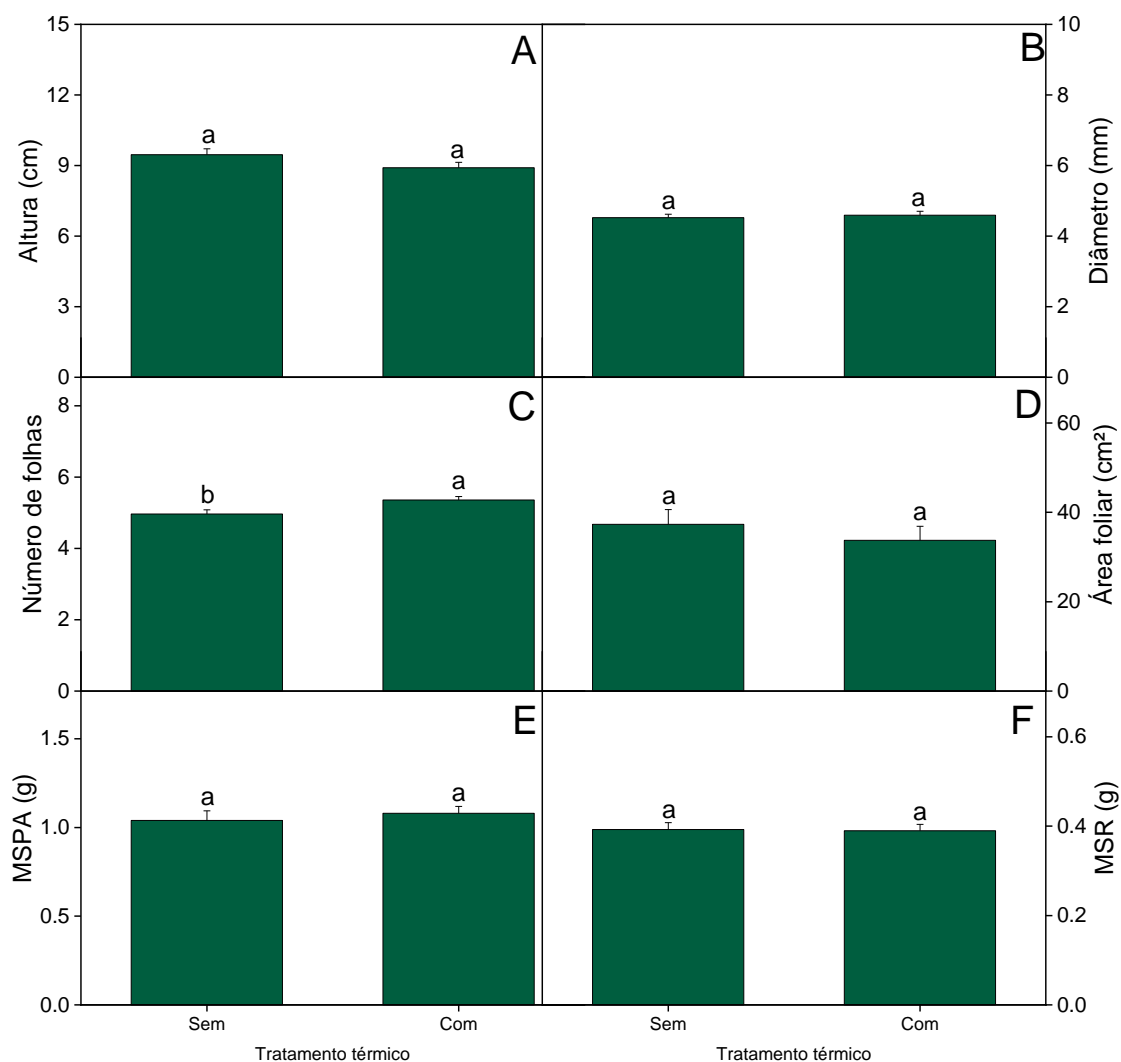


Figura 3. Altura da planta (A), Diâmetro do coleto (B), Número de folhas (C), Área foliar (D), Massa seca de parte aérea (E) e massa seca da raiz (F) de cana de açúcar submetida a dois tratamentos térmicos (com e sem tratamento térmico). As letras diferentes entre os tratamentos indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As colunas representam os valores médios de quatro repetições, e as barras representam o desvio padrão.

Verificando os efeitos isolados do genótipo, para a altura das plantas a cultivar C5 exibiu a maior média ( $10,71 \pm 0,63$  cm), diferindo das cultivares C3 ( $7,17 \pm 0,28$  cm) e C9 ( $8,59 \pm 0,38$  cm), (Figura 4A). Analisando o diâmetro do coleto, os genótipos C5, C6 e C10 foram estatisticamente superiores a cv. C3 ( $3,79 \pm 0,26$  mm), com médias de  $5,11 \pm 0,16$ ;  $5,04 \pm 0,16$  e  $5,04 \pm 0,16$  mm, respectivamente (Figura 4B). Tanto para a altura quanto para o diâmetro, a cultivar C5 demonstrou-se superior a C3. Tais resultados podem estar relacionados às características inerentes das cultivares, nas quais podem apresentar diferentes taxas de crescimento (Oliveira et al., 2016).

Para o número de folhas, os genótipos C2 ( $5,56 \pm 0,24$ ), C6 ( $5,69 \pm 0,2$ ) e C10 ( $5,56 \pm 0,18$ ) apresentaram desempenho superior a C1 ( $4,56 \pm 0,22$ ) e C9 ( $4,56 \pm 0,13$ ) (Figura 4C). Em relação à área foliar, o clone C6 obteve média equivalente a  $50,56 \pm 7,01$  (cm<sup>2</sup>) sendo superior as cvs. C8 ( $28,17 \pm 5,14$ ) e C9 ( $26,07 \pm 4,93$ ) (cm<sup>2</sup>) (Figura 4D). A área foliar das plantas está diretamente relacionada com a quantidade de luz interceptada pelo dossel e isto se relaciona com o crescimento da cultura (San-oh et al., 2004; Thakur et al., 2018). No presente estudo foi observado que o clone C6 destacou-se em relação à cv. C9 para o número de folhas e área foliar, nos possibilitando sugerir que estes resultados podem favorecer o desenvolvimento da muda, em função da maior absorção de luz.

Com relação à massa seca da parte aérea (MSPA) (Figura 4E) o clone C6 ( $1,31 \pm 0,07$ ) (g) apresentou-se superior às cultivares C3 ( $0,82 \pm 0,06$ ), C8 ( $0,83 \pm 0,06$  g) e C9 ( $0,88 \pm 0,08$  g). Para massa seca de raiz observou-se efeito significativo entre as cultivares C3, C1 e C5, em que cv. C3 com média equivalente a  $0,49 \pm 0,03$  (g) foi estatisticamente superior às médias de C1 ( $0,34 \pm 0,02$  g) e C5 ( $0,32 \pm 0,03$  g) (Figura 4F). O acúmulo de biomassa da cana de açúcar é afetado pela inibição de clorofilas, resultando na diminuição de absorção de energia luminosa e conseqüentemente reduzindo o acúmulo de massa seca (Silva et al., 2013; Silva et al., 2014b).

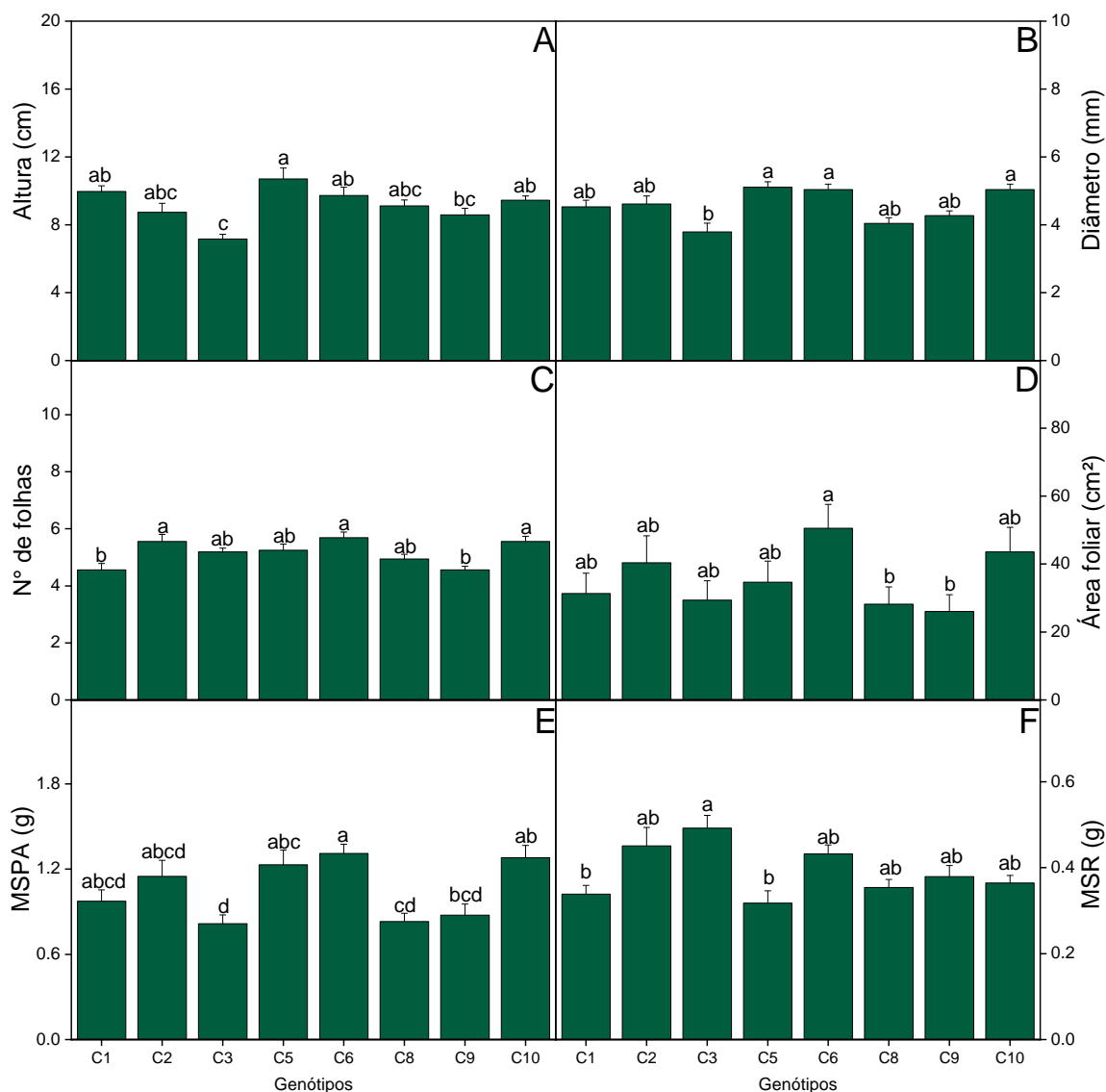


Figura 4. Altura da planta (A), Diâmetro do coleto (B), Número de folhas (C), Área foliar (D), Massa seca de parte aérea (E) e massa seca da raiz (F) de genótipos (C1: RB867515; C2: RB975375; C3: RB005014; C5: RB036066; C6: RB006995; C8: RB011549; C9: RB988082; C10: RB041443) cultivados por meio da técnica de mudas pré-brotadas. As letras diferentes entre os genótipos indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As colunas representam os valores médios de quatro repetições, e as barras representam o desvio padrão.

#### Características morfológicas da raiz

O fator tratamento térmico não causou efeito significativo para as variáveis morfológicas de raiz. Analisando isoladamente o fator genótipo, nota-se que não houve significância entre os genótipos para o comprimento radicular (CR) (Figura 5A) e área superficial radicular (ASR) (Figura 5C), os valores médios foram de 2.730 (cm) e 268 (cm<sup>2</sup>), respectivamente. Para o diâmetro médio

radicular (DMR) verificou-se que a cultivar C3 ( $0,359 \pm 0,01$  mm) foi estatisticamente superior em relação à maioria dos genótipos, exceto quando comparado a C2 ( $0,337 \pm 0,009$ ) (Figura 5B). O menor DMR foi observado em C5 ( $0,279 \pm 0,006$ ). Com relação ao volume radicular (VR), as cultivares C1 ( $1,93 \pm 0,13$  cm<sup>3</sup>), C5 ( $1,85 \pm 0,17$  cm<sup>3</sup>), C8 ( $1,8 \pm 0,13$  cm<sup>3</sup>) e C9 ( $1,95 \pm 0,12$  cm<sup>3</sup>), mostraram-se inferiores a C3 em que obteve média de  $2,73 \pm 0,19$  cm<sup>3</sup> (Figura 5D). O bom desenvolvimento do sistema radicular favorece a absorção de água e nutrientes (Jannin et al., 2013; Yi et al., 2022). A morfologia das raízes da cultura influencia na capacidade de absorção de água, eficiência no acúmulo de nutrientes (Smith et al., 2005; Zeng et al., 2018; Zhou et al., 2021).

A cultivar C3 destacou-se em relação às características DMR e VR, demonstrando alto investimento de energia no desenvolvimento radicular. Em contrapartida, a cultivar apresentou os menores valores para altura, diâmetro e MSPA, possivelmente em decorrência da menor captura de recursos em função do maior diâmetro radicular, dado que plantas com raízes de diâmetro menor possuem maior capacidade na captura de recursos do solo e conseqüentemente maior abrangência dos nutrientes do que plantas de diâmetro radicular maior (Guimarães, 2019).

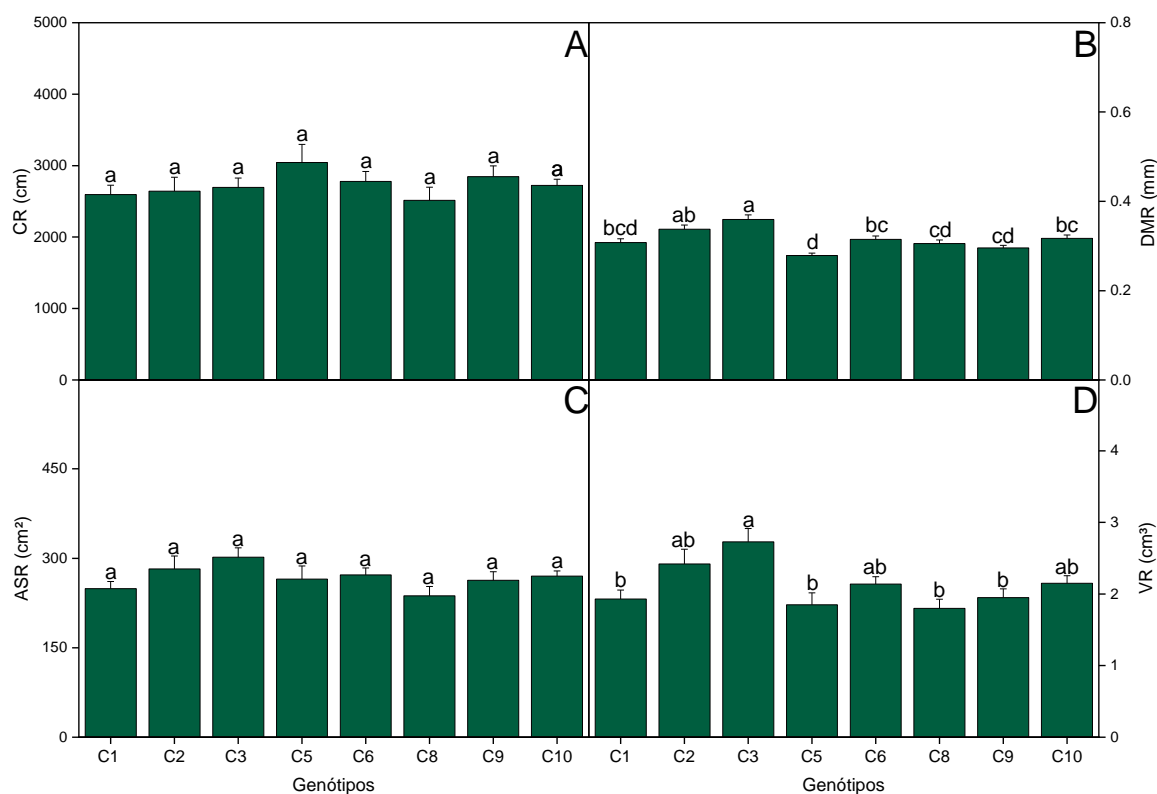


Figura 5. Comprimento radicular – CR (A), Diâmetro médio radicular – DMR (B), Área superficial radicular – ASR (C) e Volume radicular – VR (D) de genótipos (C1: RB867515; C2: RB975375; C3: RB005014; C5: RB036066; C6: RB006995; C8: RB011549; C9: RB988082; C10: RB041443) cultivados por meio da técnica de mudas pré-brotadas. As letras diferentes entre os genótipos indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As colunas representam os valores médios de quatro repetições, e as barras representam o desvio padrão.

### Características fisiológicas

Não houve interação significativa entre os fatores avaliados para o índice SPAD, bem como avaliando isoladamente os fatores genótipo (Figura 6A) e tratamento térmico (Figura 6B), não foi observada diferença significativa para ambos, indicando que as mudas dos genótipos avaliados não apresentaram estresse pós-tratamento térmico dos minirrebolos, mantendo a intensidade de cor verde das folhas.

O valor do índice SPAD foliar depende da quantidade de concentração de clorofila e nitrogênio nas folhas (Poudyal et al., 2023) e possui correlação positiva com a clorofila total, mostrando-se uma técnica não destrutiva eficiente para a avaliação do índice fotossintético em cultivares de cana de açúcar (Silva et al., 2014a), além de auxiliar a identificação de estresses (Augustine et al., 2015).



Desta forma, o índice SPAD é um parâmetro fisiológico eficiente de verificação do estado da planta (Simões et al., 2022).

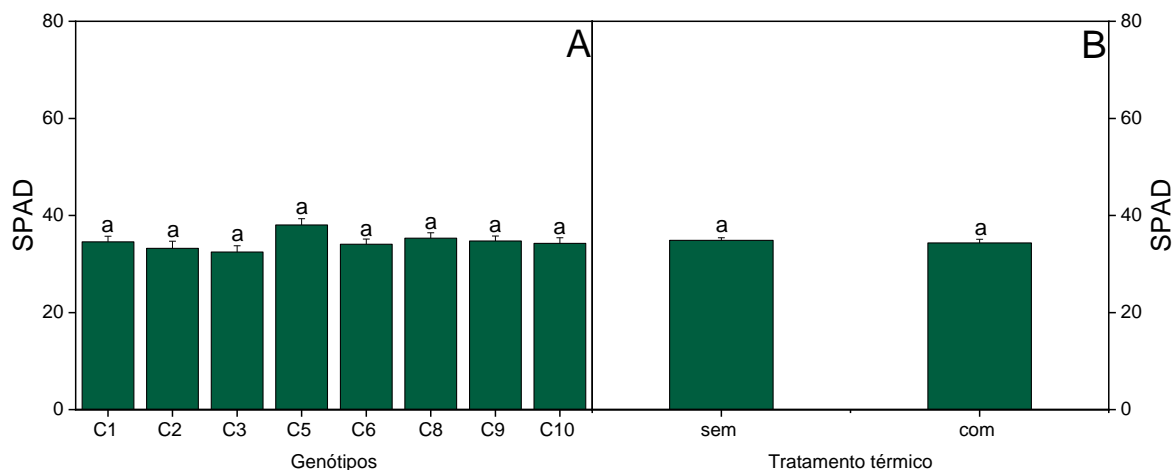


Figura 6. Índice SPAD de oito genótipos (A) (C1: RB867515; C2: RB975375; C3: RB005014; C5: RB036066; C6: RB006995; C8: RB011549; C9: RB988082; C10: RB041443) e dois tratamentos térmicos (B) cultivadas por meio da técnica de mudas pré-brotadas. As letras diferentes entre as cultivares, indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As colunas representam os valores médios de quatro repetições, e as barras representam o desvio padrão.

Para as características relacionados à fluorescência da clorofila, não houve interação significativa entre os fatores genótipo e tratamento térmico para o rendimento quântico fotoquímico máximo do fotossistema ( $F_v/F_m$ ) e índice de desempenho fotossintético (PI).

Analisando isoladamente o fator tratamento térmico, o tratamento térmico promoveu uma redução de 10,1 % do PI (Figura 7D). No que diz respeito ao  $F_v/F_m$ , o fator tratamento térmico não causou efeito significativo (Figura 7B). O  $F_v/F_m$  e o PI são utilizados para avaliar a condição fotoquímica das plantas, sendo o último mais completo por integrar três componentes e avaliar a atividade dos fotossistema I e II (Bezerra Costa et al., 2022).

A redução do índice de desempenho fotossintético ou do  $F_v/F_m$  indica a ocorrência de danos no centro de reação ou fotorreceptor no fotossistema-II do cloroplasto, acarretando a baixa absorção de fótons ou menor rendimento fotossintético (Garg et al., 2020; Hussain e Ravi, 2022; Wada et al., 2019). Portanto, a redução do PI verificada nas plantas submetidas ao tratamento

térmico sugerem que o tratamento pode ter provocado danos no aparato fotossintético reduzindo o seu desempenho, no entanto essa redução não refletiu na diminuição das características morfológicas visto que não houve efeito negativo para tais características.

Ao considerar isoladamente os genótipos avaliados, houve diferença significativa para ambos os parâmetros ( $F_v/F_m$  e PI). Para o  $F_v/F_m$ , a cultivar C8 ( $0,776 \pm 0,003$ ) mostrou-se inferior aos genótipos C1 ( $0,788 \pm 0,003$ ), C2 ( $0,788 \pm 0,003$ ), C3 ( $0,789 \pm 0,002$ ) e C6 ( $0,792 \pm 0,002$ ) (Figura 7A). Os valores encontrados para o  $F_v/F_m$  estão acima de 0,75 em uma escala de medição de 0–0,84 que indica a condição saudável das folhas (Hussain e Ravi, 2022).

A cultivar C1 ( $6,07 \pm 0,29$ ) obteve valores superiores a cv. C3 ( $4,42 \pm 0,45$ ) quanto ao PI (Figura 7C). Reduções do PI podem ser definidas como uma regulação negativa do fotossistema II, refletindo o mecanismo protetor ou regulador a fim de evitar fotodano no aparato fotossintético (Boussadia et al., 2008). Portanto, em relação ao PI observou-se um aumento da atividade fotoquímica na cultivar C1, em relação à cv. C3.

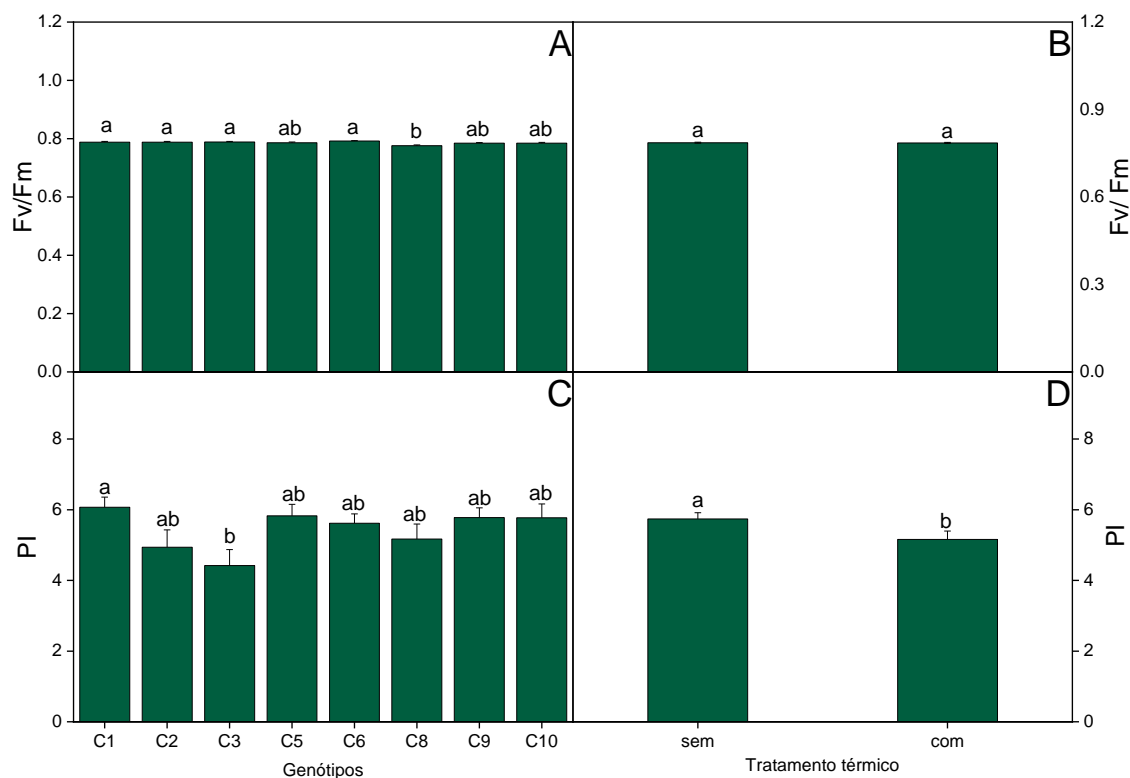


Figura 7. Rendimento quântico fotoquímico máximo do Fotossistema II -  $F_v/F_m$  de oito genótipos (A) submetidos a dois tratamentos térmicos (B) e Índice de desempenho fotossintético - PI de oito genótipos (C) submetidos a dois tratamentos térmicos (D) (C1: RB867515; C2: RB975375; C3: RB005014; C5: RB036066; C6: RB006995; C8: RB011549; C9: RB988082; C10: RB041443) cultivados por meio da técnica de mudas pré-brotadas. As letras diferentes entre os tratamentos indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As colunas representam os valores médios de quatro repetições, e as barras representam o desvio padrão.

Para o índice de reflectância de antocianina (ARI), índice de reflectância de carotenoides (CRI) e Índice de vegetação de diferença normalizada de clorofila (CNDVI) não houve interação significativa entre os fatores, no entanto, houve efeitos isolados de ambos os fatores avaliados. (Figura 8).

Analisando isoladamente o fator tratamento térmico, detectou-se reduções significativas de 8,86 e 4,87%, para o ARI (Figura 8B) e o CNDVI (Figura 8F), respectivamente, ocasionado pelo tratamento térmico dos minirrebolos. Em contrapartida, o tratamento térmico promoveu um aumento significativo de 24,19 % para o CRI (Figura 8D).

O teor de antocianina possui correlação negativa com a temperatura, onde mudanças na temperatura influenciam na degradação de antocianinas (Xue

et al., 2023), indicando alta taxa de degradação e fraca estabilidade sob aquecimento (Tiwari et al., 2009). O CNDVI possui correlação positiva com o teor de clorofila (Sun et al., 2013), assim, a redução do CNDVI observada para o tratamento térmico, pode estar relacionada à redução do pigmento clorofila.

Os carotenoides são um grupo de pigmentos fotoprotetores em que sua concentração aumenta sob estresse. Esses pigmentos indicam a presença de estresse na vegetação antes que seja perceptível a olho nu (Bibi et al., 2021). Atuam diretamente na fotossíntese, captando a energia luminosa e transferindo-a para as clorofilas por meio da transferência de estado de baixa energia (Maoka, 2020).

Analisando os efeitos dos genótipos, observou-se que as cultivares C1 ( $0,84 \pm 0,02$ ), C5 ( $0,83 \pm 0,02$ ) e C8 ( $0,84 \pm 0,03$ ) foram superiores a cv. C2 ( $0,62 \pm 0,04$ ) para o ARI (Figura 8A). Em relação ao CRI, a cultivar C3 ( $0,0088 \pm 0,0014$ ) foi superior as cvs. C1 ( $0,0044 \pm 0,0006$ ), C5 ( $0,0039 \pm 0,0007$ ), C8 ( $0,0046 \pm 0,001$ ) e C9 ( $0,00480 \pm 0,001$ ) (Figura 8C). Para o CNDVI a cv. C5 ( $0,43 \pm 0,006$ ) foi superior a cv. C2 ( $0,35 \pm 0,014$ ) e C3 ( $0,38 \pm 0,013$ ) (Figura 8E).

A quantidade de antocianina produzida por diferentes cultivares é altamente influenciada pelas características genéticas da mesma, bem como pelos efeitos do ambiente (Chai et al., 2021). Partindo do princípio de que o CNDVI é um índice com potencial para estimar o conteúdo de clorofila (Sun et al., 2011; Sun et al., 2013), a cultivar C5 se destacou em relação as cultivares C2 e C3. O maior valor do CRI verificado na cultivar C3, indica a capacidade de evitar dano fotooxidativo (Barreto et al., 2013).

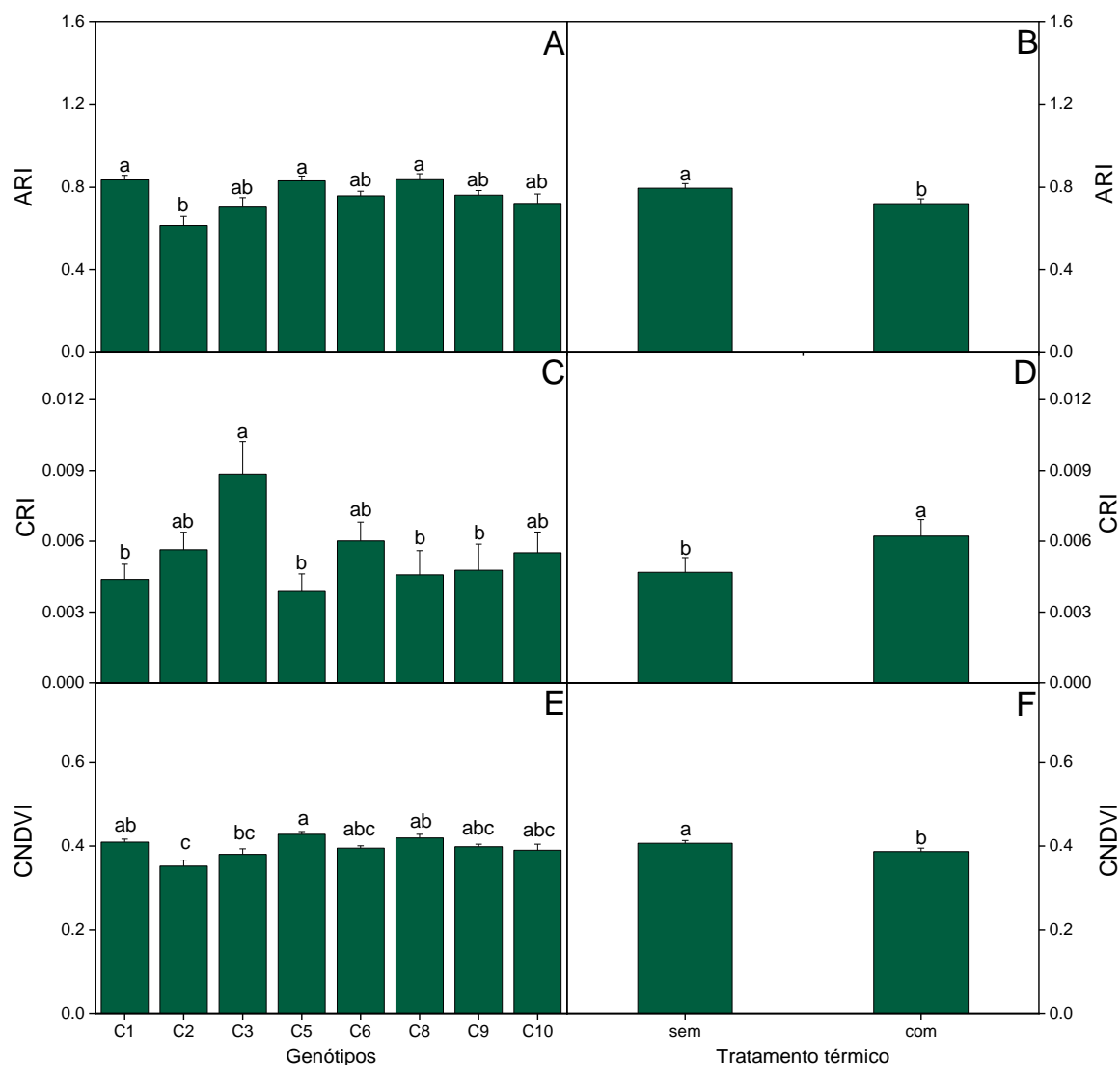


Figura 8. Índice de Reflectância de Antocianina - ARI (A e B), Índice de Reflectância de Carotenoides - CRI (C e D) e Índice de vegetação de diferença normalizada de clorofila - CNDVI (E e F) de oito genótipos (C1: RB867515; C2: RB975375; C3: RB005014; C5: RB036066; C6: RB006995; C8: RB011549; C9: RB988082; C10: RB041443) cultivados por meio da técnica de mudas pré-brotadas submetidos a dois tratamentos térmicos (com e sem tratamento térmico). As letras diferentes entre os tratamentos indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As colunas representam os valores médios de quatro repetições, e as barras representam o desvio padrão.

Houve interação significativa entre os fatores avaliados para o índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI), onde a aplicação do tratamento térmico na cultivar C2 promoveu um incremento de 8,95% em relação às plantas de cv. C2 sem tratamento térmico (Figura 9), portanto, maiores valores de NDVI sugerem maiores concentrações de clorofila. O NDVI é sensível à presença da

clorofila, na qual absorve a radiação solar na região do vermelho (Fensholt et al., 2006). A estrutura celular da folha reflete na região do infravermelho próximo em função da baixa absorção dos pigmentos vegetais, enquanto os pigmentos de clorofila tem maior absorção na região do vermelho (Stamford et al., 2023). Portanto, menores valores do índice na cultivar C2 sem tratamento térmico podem sugerir menores concentrações de clorofila quando comparada a cultivar C2 com o tratamento térmico.

Considerando isoladamente fator genótipo, houve diferença significativa para as cultivares sem tratamento térmico onde a cultivar C2 (sem térmico) obteve o menor NDVI, equivalente a  $0,611 \pm 0,019$  diferindo estatisticamente das demais (Figura 9). Os demais genótipos, independente da condição de tratamento térmico não apresentaram diferença significativa. Genótipos diferem em sua resposta a termoterapia, onde as características genéticas são determinantes para sua resistência ou susceptibilidade a injúria térmica (Benda, 1994).

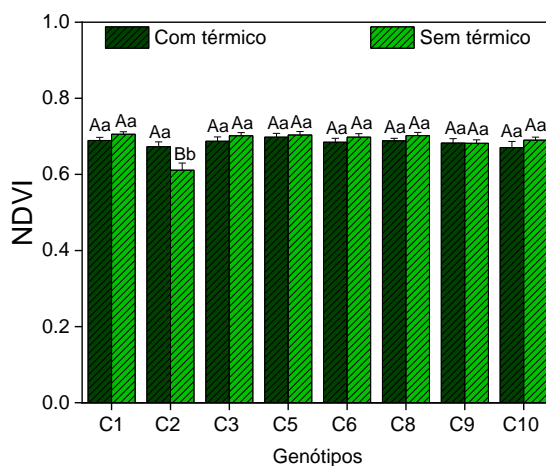


Figura 9. Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) de oito genótipos (C1: RB867515; C2: RB975375; C3: RB005014; C5: RB036066; C6: RB006995; C8: RB011549; C9: RB988082; C10: RB041443) cultivados por meio da técnica de MPB submetidos a dois tratamentos térmicos (com e sem tratamento térmico). As letras maiúsculas diferentes entre os tratamentos (com e sem tratamento térmico), entre os genótipos; e as letras minúsculas diferentes entre os genótipos, e sob duas exposições ao tratamento térmico indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). As colunas representam os valores médios de quatro repetições, e as barras representam o desvio padrão.

O tratamento térmico dos minirrebolos melhorou a emergência e IVE das cultivares C4, C7 e C8. Os resultados das características fisiológicas apontaram que o tratamento térmico promoveu reduções para o índice de desempenho fotossintético, índice de reflectância de antocianina e índice de vegetação de diferença normalizada de clorofila, no entanto, essa redução não ocasionou redução das características morfológicas, portanto, as vantagens proporcionadas pelo tratamento térmico no MPB devem ser consideradas previamente pelos produtores para uma tomada de decisão.

## CONCLUSÕES

De acordo com as condições do experimento verificou-se que o tratamento térmico não prejudicou a emergência (%) e o índice de velocidade de emergência dos minirrebolos.

Os minirrebolos submetidos ao tratamento térmico apresentaram maior uniformidade na emergência e índice de velocidade de emergência das plântulas.

O tratamento térmico não promoveu efeitos deletérios para as características morfológicas das mudas.

O tratamento térmico reduziu o índice de desempenho fotossintético, índice de reflectância de antocianina e o índice de vegetação de diferença normalizada de clorofila, contudo, tais reduções não diminuíram o desempenho morfológico das mudas.

Pela eficácia, praticidade e homogeneidade sugere-se o uso do tratamento térmico dos minirrebolos para a propagação dos genótipos de cana de açúcar avaliados.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. D. M., Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711–728.
- Augustine, S. M., Narayan, J. A., Syamaladevi, D. P., Appunu, C., Chakravarthi, M., Ravichandran, V., Subramonian, N. (2015). Erianthus arundinaceus HSP70 (EaHSP70) overexpression increases drought and salinity tolerance in sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid). *Plant Science*, 232, 23–34.
- Baracat Neto, J., Scarpore, F. V., Araújo, R. B. de, Scarpore-Filho, J. A. (2017). Initial development and yield in sugarcane from different propagules1. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47(3): 273–278.
- Barbosa, M. H. P., Resende, M. D. V., Dias, L. A. dos S., Barbosa, G. V. de S., Oliveira, R. A. de, Peternelli, L. A., Daros, E. (2012). Genetic improvement of sugar cane for bioenergy: the brazilian experience in network research with RIDESA. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 12(spe): 87–98.
- Barreto, T. H. L., Souza, R. D., Pacheco, C. M., Walter, L. S., Soares, J. G., Oliveira, L. D. S., Nogueira, R. J. M. C. (2013). Efeito do estresse salino sobre a concentração de pigmentos em duas variedades de cana-de-açúcar. *Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão–JEPEX*.
- Benda, G. T. A. (1994). Serial hot-water treatment for sugarcane disease control. In G. P. Rao, A. G. Gillaspie, V. P. Agnihotri, A. P. Filho, P. P. Upadhyay (Eds.), *Current trends in sugarcane pathology*. (pp. 297–310). Delhi: International Books and Periodicals Supply Service.
- Bezerra Costa, N., De Castro Oliveira, M. de F., Braun, H., Da Silva Berilli, S., Mazzei Moura de Assis Figueiredo, F. A., De Oliveira Reis, F., Massi Ferraz, T. (2022). Ecophysiology and water use efficiency of soybean cultivars under field conditions. *Bioscience Journal*, 38, e38066.
- Bezerra, J. D. C., Ferreira, G. D. G., de Oliveira, M. W., de Souza Campos, J. M., de Andrade, A. P., do Nascimento Júnior, J. R. S. (2018). Cana-de-açúcar: Melhoramento genético e suas finalidades forrageiras. *Nucleus Animalium*, 10(2): 131–147.
- Bibi, S., Noshad, A., Khan, A. (2021). Role of epicuticular wax in the regulation of plant growth and health as measured by spectral indices. *International Journal of Remote Sensing*, 42(9): 3498–3510.
- Boussadia, O., Ben Mariem, F., Mechri, B., Boussetta, W., Braham, M., Hadj, S. B. (2008). Response to Drought of Two Olive Tree Cultivars (Cv Koroneki and Meski). *Scientia Horticulturae*, 116(4): 388–393.
- Brasil. (2009). *Regras para análise de sementes*. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária/ACS, 399p.

- Burnquist, W. L., Redshaw, K., Gilmour, R. F. (2010). Evaluating Sugarcane R&D performance: evaluation of three breeding programs. *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists*, 27, 1–15.
- Cavalcanti, F. L. de S., Garcia, F. R., Souza, R. A. de, Houllou, L. M. (2020). Identificação molecular de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* nas variedades RB 863129 e RB 92579 de cana-de-açúcar submetidas à termoterapia. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5(2): 181–185.
- Chai, Z., Herrera-Balandrano, D. D., Yu, H., Beta, T., Zeng, Q., Zhang, X., Tian, L., Niu, L., Huang, W. (2021). A comparative analysis on the anthocyanin composition of 74 blueberry cultivars from China. *Journal of Food Composition and Analysis*, 102, 104051.
- Conab. (2021). Cana-de-açúcar: Acompanhamento da Safra Brasileira 2021/22. *Companhia Nacional de Abastecimento*, 8(3): 1–63.
- Conab. (2023). Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: Safra 2023/24 - Primeiro levantamento. *Companhia Nacional de Abastecimento*, 11(1): 1–55.
- Copersucar. (1989). Binômio tempo x temperatura no controle do raquitismo da soqueira (RSD) da cana-de-açúcar, pelo processo de termoterapia em gemas isoladas. *Cadernos Copersucar*, 25, 1–5.
- Dal-Bianco, M., Carneiro, M. S., Hotta, C. T., Chapola, R. G., Hoffmann, H. P., Garcia, A. A. F., Souza, G. M. (2012). Sugarcane improvement: how far can we go? *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2): 265–270.
- Damann Jr, K. E., Benda, G. T. A. (1983). Evaluation of Commercial Heat-Treatment Methods for Control of Ratoon Stunting Disease of Sugarcane. *Plant Disease*, 67(9): 966.
- De Abreu, L. G. F., Silva, N. V., Ferrari, A. J. R., de Carvalho, L. M., Fiamenghi, M. B., Carazzolle, M. F., Fill, T. P., Pilau, E. J., Pereira, G. A. G., Grassi, M. C. B. (2021). Metabolite profiles of energy cane and sugarcane reveal different strategies during the axillary bud outgrowth. *Plant Physiology and Biochemistry*, 167, 504–516.
- De Marco, E., Matoso, E. S., Schafer, J. T., Osterkamp, W. F., dos Anjos, S. D. (2016). Influência do tratamento térmico no desenvolvimento inicial de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. *Revista Da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp*, 641–655.
- De Oliveira, A. L. M., de Canuto, E. L., Urquiaga, S., Reis, V. M., Baldani, J. I. (2006). Yield of micropropagated sugarcane varieties in different soil types following inoculation with diazotrophic bacteria. *Plant and Soil*, 284(2): 23–32.
- FAOSTAT. (2023) *Agricultural production statistics 2000–2021* FAOSTAT Analytical Brief 60. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 13 de maio de 2023.
- Fensholt, R., Nielsen, T. T., Stisen, S. (2006). Evaluation of AVHRR PAL and GIMMS 10-day composite NDVI time series products using SPOT-4 vegetation data for the African continent. *International Journal of Remote Sensing*, 27(13):

2719–2733.

- Fernandes Júnior, A. R., Ganem Júnior, E. de J., Marchetti, L. B. L., Urashima, A. S. (2010). Avaliação de diferentes tratamentos térmicos no controle do raquitismo-da-soqueira em cana-de-açúcar. *Tropical Plant Pathology*, 35(1): 060–064.
- Gama-Rodrigues, E. F., Gama-Rodrigues, A. C., Paulino, G. M., Franco, A. A. (2008). Atributos Químicos e Microbiológicos de Solos sob Diferentes Coberturas Vegetais no Norte do Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 32, 1521–1530.
- Garg, A., Bordoloi, S., Ganesan, S. P., Sekharan, S., Sahoo, L. (2020). A relook into plant wilting: observational evidence based on unsaturated soil–plant–photosynthesis interaction. *Scientific Reports*, 10(1): 22064.
- Giglioti, E. A. (1997) Método conciliado para avaliar os efeitos da colonização de colmos de cana-de-açúcar por *Clavibacter xyli* subsp. *xyli* na funcionalidade do xilema. Tese (Doutorado em Fitopatologia), Piracicaba – SP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba/SP, 134p.
- Góis de Siqueira, J. V., Alves de Barros, J. P., Araújo, Y. P., Freire da Silva, T. G., Bastos de Souza, L. S. (2017). Tratamentos pré-germinativos em sementes de espécies da Caatinga. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 2(4): 499–508.
- Gonçalves, M. C., Pinto, L. R., Souza, S. C., Landell, M. G. A. (2012). Virus diseases of sugarcane. A constant challenge to sugarcane breeding in Brazil. *Functional Plant Science and Biotechnology*, 6(2): 108–116.
- Gonçalves, M. C., Silva, K. C. da, Oliveira, C. E. da S., Steiner, F. (2020). Nitrogênio e *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar. *COLLOQUIUM AGRARIAE*, 16(2): 72–81.
- Hussain, R., Ravi, K. (2022). Investigating soil properties and vegetation parameters in different biochar-amended vegetated soil at large suction for application in bioengineered structures. *Scientific Reports*, 12(1): 21261.
- Jannin, L., Arkoun, M., Etienne, P., Laîné, P., Goux, D., Garnica, M., Fuentes, M., Francisco, S. S., Baigorri, R., Cruz, F., Houdusse, F., Garcia-Mina, J., Yvin, J. Ourry, A. (2013). *Brassica napus* Growth is Promoted by *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. Seaweed Extract: Microarray Analysis and Physiological Characterization of N, C, and S Metabolisms. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32(1): 31–52.
- Lal, R. (2013). Food security in a changing climate. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 13(1): 8–21.
- Landell, M. D. A., Campana, M. P., Figueiredo, P., Xavier, M. A., Anjos, I. A., Dinardomiranda, L.L., Scarpari, M.S., Garcia, J.C., Bidóia, M.A.P., Silva, D. N., Mendonça, J.R., Kanthack, R. A. D., Campos, M. F., Brancalião, S.R., Petri, R. H., Miguel, P. E. M. (2012). Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas. *Ribeirão Preto: Instituto Agrônomo de Campinas*, 17(109).

- Lapaz, A. de M., Lisboa, L. A. M., Viana, R. da S., Ferreira, L., Yoshida, C. H. P., Aguiar, J. V., Ramos, S. B., Pradela, V. A., Nicolai, A. B., Figueiredo, P. A. M. de. (2019). Alterations in Leaf Ultrastructure in Varieties of Sugarcane Infected by Diseases. *Journal of Agricultural Science*, 11(11): 223.
- Maguire, J. D. (1962). Speed of Germination—Aid In Selection And Evaluation for Seedling Emergence And Vigor 1. *Crop Science*, 2(2): 176–177.
- Maoka, T. (2020). Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of Natural Medicines*, 74(1): 1–16.
- Oliveira, A. R. de, Braga, M. B., Santos, B. L. S., Walker, A. M. (2016). Análise biométrica de cultivares de cana-de-açúcar cultivadas sob estresse hídrico no vale do submédio são francisco. *Energia na agricultura*, 31(1): 48.
- Oliveira, R. A. de. (2021). *Liberação nacional de variedades RB de cana-de-açúcar* (R. A. de Oliveira, H. P. Hoffmann, G. V. de S. Barbosa, eds.). Curitiba: UFPR. RIDESA. 82p.
- Oliveira, R. A. de, Daros, E., Hoffmann, H. P. (2015). *Liberação nacional de variedades RB de cana-de-açúcar* (1 ed.). Curitiba: Graciosa. 72p.
- Porto, A. C. F., de Melo, L. J. O. T., Pedrosa, E. M. R., Neto, D. E. S., de Oliveira, W. J., Guimarães, L. M. P. (2020). Production of Healthy Cane Seedlings in Northeast Brazil. In *Advances in Seed Production and Management* (pp. 521–538). Singapore: Springer Singapore.
- Poudyal, C., Sandhu, H., Ampatzidis, Y., Odero, D. C., Arbelo, O. C., Cherry, R. H., Costa, L. F. (2023). Prediction of morpho-physiological traits in sugarcane using aerial imagery and machine learning. *Smart Agricultural Technology*, 3, 100104.
- Rossetto, R.; Santiago, A. D. (2022) AGEITEC - Agência Embrapa de Informação Tecnológica. *Árvore do conhecimento cana-de-açúcar: correção e adubação*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/correcao-e-adubacao>. Acesso em: 12 de outubro de 2022.
- San-oh, Y., Mano, Y., Ookawa, T., Hirasawa, T. (2004). Comparison of dry matter production and associated characteristics between direct-sown and transplanted rice plants in a submerged paddy field and relationships to planting patterns. *Field Crops Research*, 87(1): 43–58.
- Silva, J. L. F. da., Prado, R. de M., Alves, T. L., Lata-Tenesaca, L. F., Soares, M. B. (2023). New strategy for silicon supply through fertigation in sugarcane integrating the pre-sprouted seedling phase and field cultivation. *Scientific Reports*, 13(1): 1230.
- Silva, M. D. A., Dos Santos, C. M., Arantes, M. T., Brunelli, M. C., Holanda, L. A. (2013). Respostas fisiológicas de cultivares de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica e a reidratação. *Revista Caatinga*, 26(3): 28–35.
- Silva, M. D. A., Dos Santos, C. M., Vitorino, H. S., Rhein, A. F. L. (2014a). Pigmentos fotossintéticos e índice spad como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. *Bioscience Journal*, 30(1):

173–181.

- Silva, M. D. A., Jifon, J. L., Da Silva, J. A. G., Dos Santos, C. M., Sharma, V. (2014b). Relationships between physiological traits and productivity of sugarcane in response to water deficit. *The Journal of Agricultural Science*, 152(1): 104–118.
- Simões, W. L., Oliveira, A. R. de, Tardin, F. D., Oliveira, C. P. M. de, Morais, L. K. de, Teodoro, L. P. R., Teodoro, P. E. (2022). Impacts of saline stress on the physiology of *Saccharum* complex genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 208(1): 120–126.
- Smith, D. M., Inman-Bamber, N. G., Thorburn, P. J. (2005). Growth and function of the sugarcane root system. *Field Crops Research*, 92(2–3): 169–183.
- Stamford, J. D., Vialet-Chabrand, S., Cameron, I., Lawson, T. (2023). Development of an accurate low cost NDVI imaging system for assessing plant health. *Plant Methods*, 19(1): 9.
- Sun, H., Li, M., Zhang, Y., Zheng, L., Zhang, Y. (2013). Correlation Between Chlorophyll Content and Vegetation Index of Maize Plants Under Different Fertilizer Treatments with Multi-Spectral Imaging. *Sensor Letters*, 11(6): 1128–1133.
- Sun, H., Li, M., Zheng, L., Zhang, Y., Yang, W. (2011). Evaluation of maize growth by ground based multi-spectral image. *2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, 207–211.
- Thakur, A. K., Mandal, K. G., Mohanty, R. K., Ambast, S. K. (2018). Rice root growth, photosynthesis, yield and water productivity improvements through modifying cultivation practices and water management. *Agricultural Water Management*, 206, 67–77.
- Tiwari, B. K., O'Donnell, C. P., Patras, A., Brunton, N., Cullen, P. J. (2009). Effect of ozone processing on anthocyanins and ascorbic acid degradation of strawberry juice. *Food Chemistry*, 113(4): 1119–1126.
- Tokeshi, H. (1997). Doenças da cana-de-açúcar. In *Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas* (pp. 207–255). Editora Ceres.
- Urashima, A. S., Grachet, N. G. (2012). Métodos de detecção de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* e efeito da termoterapia na brotação das gemas de diferentes variedades de cana-de-açúcar. *Tropical Plant Pathology*, 37(1): 57–64.
- Wada, S., Takagi, D., Miyake, C., Makino, A., Suzuki, Y. (2019). Responses of the Photosynthetic Electron Transport Reactions Stimulate the Oxidation of the Reaction Center Chlorophyll of Photosystem I, P700, under Drought and High Temperatures in Rice. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(9): 2068.
- Xavier, M. A., Landell, M. G. A., Teixeira, L. G., Rodrigues, P. A., Nassif, G. L., Junior Oliveira, A. C., Mine, K. (2014). Sistema de multiplicação MPB e integração com o setor sucroenergético. *O Agrônomo*, 64, 66.
- Xue, L., Gao, R., Shen, L., Zheng, X., Gao, M. (2023). Dependence of degradation of anthocyanins on non-uniformity of microwave heating in blueberry puree.

*Food and Bioproducts Processing*, 139, 129–143.

- Yang, L., Deng, Y., Wang, X., Zhang, W., Shi, X., Chen, X., Lakshmanan, P., Zhang, F. (2021). Global direct nitrous oxide emissions from the bioenergy crop sugarcane (*Saccharum* spp. inter-specific hybrids). *Science of the Total Environment*, 752, 141795.
- Yi, K., Li, X., Chen, D., Yang, S., Liu, Y., Tang, X., Ling, G., Zhao, Z. (2022). Shallower Root Spatial Distribution Induced by Phosphorus Deficiency Contributes to Topsoil Foraging and Low Phosphorus Adaption in Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 12.
- Zeng, Q., Ao, J., Ling, Q., Huang, Y., Li, Q. (2018). Effects of K-deficiency stress on the root morphology and nutrient efficiency of sugarcane. *Journal of Plant Nutrition*, 41(11): 1425–1435.
- Zhou, W., Chen, D., Zeng, Q., Tahir, M. A., Wu, Q., Huang, Y., Jiang, Y., Li, Q., Ao, J., Huang, Z. (2021). Differential physiological behavior of sugarcane genotypes in response to sparingly soluble phosphorus-sources. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 184(2): 187–197.

#### 4. RESUMOS E CONCLUSÕES

No primeiro capítulo foi feita a caracterização do crescimento inicial e fisiológico de mudas pré-brotadas, nesta etapa, foram utilizados dez genótipos de cana de açúcar liberados recentemente no mercado, sendo nove cultivares e um clone, com pouca ou nenhuma informação sobre seu desempenho no MPB (exceto RB867515 (C1), que é uma cultivar amplamente utilizada no MPB). Os resultados mostraram que a cultivar RB041443 (C10) tem desempenho superior a cultivar RB015935 (C4) quanto às características: diâmetro do coleto, área foliar, massa seca de parte aérea, de raiz e massa seca total, comprimento radicular, área superficial radicular e índice Spad, demonstrando, maior capacidade de desenvolvimento e adaptação ao sistema MPB. As características fisiológicas de rendimento quântico fotoquímico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), índice de desempenho fotossintético (PI), Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de reflectância de Carotenoides (CRI) não variaram em função dos diferentes genótipos.

No segundo capítulo, o foco principal foi verificar se o tratamento térmico dos minirrebolos preconizado pelo MPB promove efeitos na emergência das plântulas e no crescimento inicial das mudas pré-brotadas avaliando a resposta de dez diferentes genótipos. Os resultados mostraram que o tratamento térmico dos minirrebolos favoreceu a emergência e IVE das cultivares RB015935 (C4), RB108519 (C7) e RB011549 (C8). O tratamento térmico não promoveu efeitos deletérios para as características morfológicas das mudas. Apesar de o tratamento térmico reduzir características fisiológicas como o índice de

desempenho fotossintético, índice de reflectância de antocianina e índice de vegetação de diferença normalizada de clorofila, essa redução não ocasionou diminuição no desempenho das características morfológicas, portanto, a eficácia da técnica e homogeneização das mudas proporcionada pelo tratamento térmico no MPB devem ser consideradas pelos produtores para uma tomada de decisão.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afonso, P. F. D. N. (2017) *Avaliação econômica de sistemas de plantio de cana-de-açúcar na região de Jaú-SP*. Tese (Doutorado em Agronomia), Botucatu – SP, Universidade Estadual Paulista/ Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP/FCA, 75p.
- Aguiar, A., Milessi, T. S., Mulinari, D. R., Lopes, M. S., Costa, S. M., Candido, R. G. (2021). Sugarcane straw as a potential second generation feedstock for biorefinery and white biotechnology applications. *Biomass and Bioenergy*, 144, 105896.
- Alencar, K. (2012) *Análise do balanço entre demanda por etanol e oferta de cana-de-açúcar no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Agroenergia), São Paulo – SP, Escola de Economia de São Paulo da FGV - Escola de Agricultura Luiz de Queiroz da USP, 49p.
- Bakker, H. (1999) The Origins of Sugar Cane. In *Sugar Cane Cultivation and Management*. Boston, MA: Springer US, p. 1–2.
- Barbosa, M. H. P. (2001). Study of genetic divergence in sugarcane varieties grown in Brazil using the parentage coefficient. *International Sugar Journal*, 103(1231): 294–295.
- Barbosa, M. H. P., Resende, M. D. V., Dias, L. A. dos S., Barbosa, G. V. de S., Oliveira, R. A. de, Peternelli, L. A., Daros, E. (2012). Genetic improvement of sugar cane for bioenergy: the brazilian experience in network research with RIDESA. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 12(spe): 87–98.
- Barbosa, M. H. P., Resende, M. D. V., Bressiani, J. A., Silveira, L. C. I., Peternelli, L. A. (2005). Selection of sugarcane families and parents by Rem1/Blup. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 5(4): 443–450.
- Benda, G. T. A. (1994). Serial hot-water treatment for sugarcane disease control. In G. P. Rao, A. G. Gillaspie, V. P. Agnihotri, A. P. Filho, P. P. Upadhyay (Eds.), *Current trends in sugarcane pathology*. Delhi: International Books and

Periodicals Supply Service, p. 297–310.

- Berding, N., Roach, B. T. (1987). Germplasm Collection, Maintenance, and Use. In D. J. Heinz (Ed.), *Developments in crop science*. (1st ed., pp. 143–210). Amsterdam: Elsevier.
- Bordonal, R. de O., Carvalho, J. L. N., Lal, R., de Figueiredo, E. B., de Oliveira, B. G., La Scala, N. (2018). Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(2): 13.
- Brito, C. M. (2019). Mudanças pré-brotadas de cana-de-açúcar: custos baixos e muitos benefícios.
- Carneiro, K. D. S. (2017) *Caracterização genética de uma população base do programa de melhoramento de cana-de-açúcar da Ridesa/UFG*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas), Goiânia – GO, Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos (EAEA), 79p.
- Carvalho, G. L. (2009) *Eficiência da produção agrícola de cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre as safras 1990/1991 e 2005/2006*. Dissertação (Mestrado em física do ambiente agrícola), Piracicaba – SP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo – EALQ/USP 118p.
- Carvalho, L. C., Bueno, R. C. O. de F., Carvalho, M. M., Favoreto, A. L., Godoy, A. F. (2013). Cana-de-açúcar e álcool combustível: histórico, sustentabilidade e segurança energética. *Enciclopédia Biosfera*, 9(16): 530–542.
- Cheavegatti-Gianotto, A. ., Abreu, H. M. C. de, Arruda, P., Bessalho Filho, J. C., Burnquist, W. L., Creste, S., di Ciero, L., Ferro, J. A., Oliveira Figueira, A, V., Filgueiras, T. de S., Grossi-de-Sá, M. de F., Guzzo, E. C., Hoffmann, H. P., Landell, M. G. A., Macedo, N., Matsuoka, S., Reinach, F. C., Romano, E., Silva, W. J., Silva Filho, M. C., Ulian, E. C. (2011). Sugarcane (*Saccharum officinarum*): A reference study for the regulation Brazil., genetically modified cultivars in Brazil. *Tropical Plant Biology, New York*, 4, 62–89.
- Conab. (2015). Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Safra 2015/16. Primeiro Levantamento. *Companhia Nacional de Abastecimento*, 2(1): 33.
- Conab. (2020). Cana-de-açúcar: acompanhamento da safra brasileira 2019/2020. *Companhia Nacional de Abastecimento*, 6, 62.
- Conab. (2021). Cana-de-açúcar: Acompanhamento da Safra Brasileira 2021/22. *Companhia Nacional de Abastecimento*, 8(3): 1–63.
- Conab. (2022). Cana-de-açúcar: Acompanhamento da Safra Brasileira 2022/23. *Companhia Nacional de Abastecimento*, 9(1): 1–57.
- Conab. (2023). Cana-de-açúcar: Acompanhamento da Safra Brasileira 2022/23. *Companhia Nacional de Abastecimento*, 10(4): 1–49.
- Copersucar. (1989). Binômio tempo x temperatura no controle do raquitismo da soqueira (RSD) da cana-de-açúcar, pelo processo de termoterapia em gemas isoladas. *Cadernos COPERSUCAR*, 25, 1–5.

- Corrêa, R. D. G. (2021) *Falhas em cana-de-açúcar: uma oportunidade para o manejo local de fertilizantes*. Tese (Doutorado em Agronomia), Jaboticabal – SP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, 63p.
- Dal-Bianco, M., Carneiro, M. S., Hotta, C. T., Chapola, R. G., Hoffmann, H. P., Garcia, A. A. F., Souza, G. M. (2012). Sugarcane improvement: how far can we go? *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2): 265–270.
- Damann Jr, K. E., Benda, G. T. A. (1983). Evaluation of Commercial Heat-Treatment Methods for Control of Ratoon Stunting Disease of Sugarcane. *Plant Disease*, 67(9): 966.
- Daniels, J., Roach, B. T. (1987). Taxonomy and evolution. *In: Developments in Crop Science*. Elsevier, 7–84.
- Daros, E., Oliveira, R. A., Barbosa, G. V. S. (2015). *45 Anos de variedades RB de cana-de-açúcar*. (1st ed.). Curitiba: Graciosa.
- De Carvalho, S. A. D. de., Furtado, A. T. (2013). O Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar no Brasil e o Desafio das Mudanças Climáticas Globais. *Revista Gestão & Conexões*, 2(1): 22–46.
- De Marco, E., Matoso, E. S., Schafer, J. T., Osterkamp, W. F., dos Anjos, S. D. (2016). Influência do tratamento térmico no desenvolvimento inicial de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. *Revista Da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp*, 641–655.
- Dingre, S. K., Gorantiwar, S. D., Kadam, S. A. (2021). Correlating the field water balance derived crop coefficient (Kc) and canopy reflectance-based NDVI for irrigated sugarcane. *Precision Agriculture*, 22(4): 1134–1153.
- Diola, V., Santos, F. (2010). Fisiologia. In F. Santos, A. Borém, C. Caldas (Eds.), *Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool: tecnologias e perspectivas*. Viçosa: Editora UFV, p. 25–49.
- Dos Santos, R. F., Neto, H. Z., Moterle, L. M., da Mata, L. G., Borsuk, J. C. D. S., Montini, L. M. (2021). Desempenho de genótipos de cana-de-açúcar. *Anais Eletrônico XII EPCC*, 4.
- FAO. FAOSTAT Statistical Database. Food Agriculture Organ United Nations (2020).
- Fernandes Júnior, A. R., Ganem Júnior, E. de J., Marchetti, L. B. L., Urashima, A. S. (2010). Avaliação de diferentes tratamentos térmicos no controle do raquitismo-da-soqueira em cana-de-açúcar. *Tropical Plant Pathology*, 35(1): 060–064.
- Ferreira, M. da C., Werneck, C. F., Furuhashi, S., Leite, G. J. (2008). Tratamento de toletes de cana-de-açúcar para controle da podridão-abacaxi em pulverização conjugada ao plantio mecanizado. *Engenharia Agrícola*, 28(2): 263–273.
- Figueiredo, G. S. (2022) *Espaçamento entre mudas pré-brotadas (MPB) em linhas de plantio de cana-de-açúcar no sistema MEIOSI sob aplicação do regulador vegetal etefon*. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Botucatu – SP,

Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, 59p.

- Gazaffi, R., Cursi, D. E., Chapola, R. G., Santos, J. M., Fernandes-Jr, A. R., Carneiro, M. S., Barbosa, G. V. S., Hoffmann, H. P. (2016). RB varieties: a major contribution to the sugarcane industry in Brazil. *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists*, 29, 1677–1682.
- Gazaffi, R., Oliveira, K. M., Souza, A. P., Garcia, A. A. F. (2010). Melhoramento genético e mapeamento da cana-de-açúcar. In L. A. B. Cortez (coord.) (Eds.), *Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade*. São Paulo: Blucher, p. 333–344.
- Hasner, C., Lima, A. A., Winter, E. (2019). Technology advances in sugarcane propagation: A patent citation study. *World Patent Information*, 56, 9–16.
- IBGE – *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística* - Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola>. Acesso em: 21 de março de 2022.
- Jain, R., Solomon, S., Skrivastava, A. K., Chandra, A. (2010). Sugarcane bud chips: a promising seed material. *Sugar Tech*, 12(1): 67–69.
- Kohler, T. W., Mascarenhas, L. S., Lemões, L. S., Härter, A., Cerqueira, V. S., dos Anjos, S. D. (2022). Substratos a base de compostos orgânicos destinados à produção de mudas de cana-de-açúcar via minitoletes. *Revista Em Agronegócio e Meio Ambiente*, 15(2): 1–16.
- Lago, A. C. D., Bonomi, A., Cavalett, O., Cunha, M. P., Lima, M. A. P. (2012). Sugarcane as a carbon source: The Brazilian case. *Biomass and Bioenergy*, 46, 5–12.
- Landell, M. D. A., Campana, M. P., Figueiredo, P., Xavier, M. A., Anjos, I. A., Dinardomiranda, L.L., Scarpari, M.S., Garcia, J.C., Bidóia, M.A.P., Silva, D. N., Mendonça, J.R., Kanthack, R. A. D., Campos, M. F., Brancalião, S.R., Petri, R. H., Miguel, P. E. M. (2012). Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas. *Ribeirão Preto: Instituto Agrônomo de Campinas*, 17(109).
- Li, X., Guo, Y., Huang, F., Wang, Q., Chai, J., Yu, F., Wu, J., Zhang, M. Q., Deng, Z. (2022). Authenticity Identification of *Saccharum officinarum* and *Saccharum spontaneum* Germplasm Materials. *Agronomy*, 12(4): 819.
- Marafon, A. C. (2012). *Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático*. Documentos 168. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracajú, 31p.
- Matsuoka, S., Garcia, A. A. F., Bressani, J., Maccheroni, W. (1999). Híbridaçã da Cana-de-açúcar. In A. Borém (Ed.), *Híbridaçã artificial de plantas*. Viçosa: Editora UFV, p. 221–254.
- Matsuoka, S., Stolf, R. (2012). Sugarcane tillering and ratooning: key factors for a profitable cropping. *Sugarcane: Production, Cultivation and Uses*, 5(2): 137–157.

- Melo, L. J. O. T., Oliveira, F. J., Bastos, G. Q., Anunciação Filho, C. J., Reis, O. V. D. (2006). Interação genótipo x ciclos de colheita de cana-de-açúcar da zona da mata Norte de Pernambuco. *Bragantia*, 65(2): 197–205.
- Mitsuzono, S. T. (2018) *Índices morfo-fisiológicos para crescimento, acúmulo de açúcares e fibras em cana-de-açúcar*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas), Goiânia – GO, Universidade Federal de Goiás (UFG), 91p.
- Mozambani, A. E., Pinto, A. S., Segato, S. V., Mattiuz, C. F. M. (2006). História e morfologia da cana-de-açúcar. In S. V. Segato, A. S. Pinto, E. Jendiroba, J. C. M. Nóbrega (Eds.), *Atualização em produção de cana-de-açúcar*. Piracicaba: Cadernos Planalsucar, p. 11–18.
- Oliveira, R. A. de. (2021a). *50 anos de variedades RB de cana-de-açúcar: 30 anos de RIDESA* (R. A. de Oliveira, G. V. de S. Barbosa, E. Daros, Eds.). Curitiba: UFPR. RIDESA. 199p.
- Oliveira, R. A. de. (2021b). *Liberção nacional de variedades RB de cana-de-açúcar* (R. A. de Oliveira, H. P. Hoffmann, G. V. de S. Barbosa, Eds.). Curitiba: UFPR. RIDESA. 82p.
- Oliveira, M. M. A. de. (2021) *Raquitismo-das-soqueiras: métodos de diagnose, influência da idade da cana-de-açúcar para detecção e efeito da termoterapia em dois títulos de Leifsonia xyli subsp. xyli*. Monografia (Graduação em Agronomia), Araras – SP, Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, 43p.
- Otto, R., Machado, B. A., Melo da Silva, A. C., Quassi de Castro, S. G., Lisboa, I. P. (2022). Sugarcane pre-sprouted seedlings: A novel method for sugarcane establishment. *Field Crops Research*, 275(2021): 108336.
- Pinto, L. E. V., Spósito, T. H. N., Godinho, A. M. M., Martins, F. B. (2016). Produção de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em função de diferentes substratos. *In Colloquium Agrariae*, 12, 93–99.
- Prado, H., Pádua Júnior., A. L., Garcia, J. C., Moraes, J. F. L., Carvalho, J. P., Donzeli, P. L. (2010). Solos e ambientes de produção. In L. L. Dinardo-Miranda, A. C. M. Vasconcelos, M. G. A. Landell (Eds.), *Cana-de-açúcar* (1º). Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, p. 179–204.
- Rabelo, S. C., de Paiva, L. B., Pin, T. C., Pinto, L. F., Tovar, L. P., Nakasu, P. Y. (2020). Chemical and energy potential of sugarcane Sugarcane Biorefinery, Technology and Perspectives. *Academic Press*, 141–163.
- Ramos, R. P. (2014). *Planejamento do plantio e da colheita de cana-de-açúcar utilizando técnicas matemáticas de otimização*. Tese (Doutorado em Agronomia), Botucatu – SP, Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, 69p.
- Santos, A. C. A. (2008). *Avaliação de genótipos de cana-de-açúcar para as condições edafoclimáticas de Aparecida do Taboado – MS*. Dissertação (Mestrado), Ilha Solteira – SP, Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 90p.
- Santos, L., Braga, N. C. C., Rodrigues, T. M., Rubio Neto, A., Brito, M. F.,

- Severiano, E. da C. (2020). Mudanças pré-brotadas de cana-de-açúcar utilizando subprodutos da indústria canieira como substrato. *Tecnologia de Açúcar*, 1, 1–11.
- Scortecci, K. C., Creste, S., Calsa Jr, T., Xavier, M. A., Landell, M. G., Figueira, A., Benedito, V. A. (2012). Challenges, opportunities and recent advances in sugarcane breeding. *Plant Breeding*, 267–296.
- Silva, D. L. G., Batisti, D. L. S., Giacomelli Ferreira, M. J., Merlini, F. B., Camargo, R. B., Barros, B. C. B. (2021). Sugarcane: Economic, social, environmental, by-products and sustainability. *Research, Society and Development*, 10(7): e44410714163.
- Silva, R. G. da. (2021) *Efeito combinado da elevada [CO<sub>2</sub>] atmosférica e déficit hídrico em genótipos de cana-de-açúcar*. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas), Jaboticabal – SP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, 156p.
- Stevenson, G. C. (1965). *Genetics and Breeding of Sugarcane*. London: Longmans.
- Surendran, U., Ramesh, V., Jayakumar, M., Marimuthu, S., Sridevi, G. (2016). Improved sugarcane productivity with tillage and trash management practices in semi arid tropical agro ecosystem in India. *Soil and Tillage Research*, 158, 10–21.
- Tairum, R. C. C. (2020) *Aplicabilidade de índices colorimétricos no melhoramento genético da cana-de-açúcar (Saccharum spp.)*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados), Araras – SP, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, 88p.
- Teixeira, C., Ferreira, V. M., Endres, L., Ferreira, D. T. D. R. G., Gonçalves, E. R. (2011). Crescimento e produtividade de quatro variedades de cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo. *Revista Caatinga*, 24(3): 56–63.
- Teixeira, G. C. M., de Mello Prado, R., Rocha, A. M. S., dos Santos, L. C. N., dos Santos Sarah, M. M., Gratão, P. L., Fernandes, C. (2020). Silicon in pre-sprouted sugarcane seedlings mitigates the effects of water deficit after transplanting. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(3): 849–859.
- Teixeira, G. C. M., de Mello Prado, R., Rocha, A. M. S., de Cássia Piccolo, M. (2022). Silicon as a Sustainable Option to Increase Biomass With Less Water by Inducing Carbon:Nitrogen:Phosphorus Stoichiometric Homeostasis in Sugarcane and Energy Cane. *Frontiers in Plant Science*, 13.
- Urashima, A. S., Grachet, N. G. (2012). Métodos de detecção de *Leifsonia xyli* subsp. *xyli* e efeito da termoterapia na brotação das gemas de diferentes variedades de cana-de-açúcar. *Tropical Plant Pathology*, 37(1): 57–64.
- Van Dillewijn, C. (1952). Botany of sugarcane. Waltham, Mass., USA. *The Chronica Botânica*, 264–265.
- Xavier, M. A., Landell, M. G. A., Teixeira, L. G., Rodrigues, P. A., Nassif, G. L., Junior Oliveira, A. C., Mine, K. (2014). Sistema de multiplicação MPB e integração com o setor sucroenergético. *O Agrônomo*, 64, 66.

- Yang, L., Deng, Y., Wang, X., Zhang, W., Shi, X., Chen, X., Lakshmanan, P., Zhang, F. (2021). Global direct nitrous oxide emissions from the bioenergy crop sugarcane (*Saccharum* spp. inter-specific hybrids). *Science of the Total Environment*, 752, 141795.
- Zhou, M. (2013). Conventional Sugarcane Breeding in South Africa: Progress and Future Prospects. *American Journal of Plant Sciences*, 04(02): 189–197.

## APÊNDICES



Tabela 1A. Características morfológicas de 10 genótipos de cana de açúcar propagadas por meio da técnica de mudas pré-brotadas.

Genótipo	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	Número de folhas	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)
C1	9,87 ± 0,26 a	4,42 ± 0,13 ab	4,6 ± 0,13 ab	36,55 ± 4,85 ab	0,89 ± 0,06 ab	0,37 ± 0,021 abc	1,26 ± 0,088 abc
C2	8,41 ± 0,52 ab	4,11 ± 0,20 ab	4,87 ± 0,13 ab	36,43 ± 3,24 ab	0,87 ± 0,06 ab	0,35 ± 0,035 bc	1,22 ± 0,103 abc
C3	6,9 ± 0,29 b	3,13 ± 0,15 c	4,87 ± 0,13 ab	27,26 ± 1,94 ab	0,57 ± 0,03 b	0,40 ± 0,016 abc	0,97 ± 0,012 bc
C4	9,05 ± 0,38 ab	3,83 ± 0,18 bc	4,53 ± 0,13 ab	15,21 ± 1,9 b	0,60 ± 0,04 b	0,29 ± 0,018 c	0,88 ± 0,080 c
C5	10,67 ± 0,47 a	4,74 ± 0,21 a	5 ± 0,17 ab	39,97 ± 4,21 a	1,07 ± 0,10 a	0,36 ± 0,029 abc	1,43 ± 0,128 ab
C6	9,53 ± 0,60 ab	4,44 ± 0,23 ab	5,07 ± 0,21 ab	44,55 ± 3,27 a	0,92 ± 0,07 ab	0,36 ± 0,026 abc	1,28 ± 0,137 abc
C7	9,71 ± 0,69 ab	4,67 ± 0,17 ab	4,6 ± 0,19 ab	36,13 ± 4,9 ab	0,93 ± 0,08 ab	0,39 ± 0,042 abc	1,32 ± 0,150 abc
C8	9,23 ± 0,36 ab	4,03 ± 0,12 ab	4,6 ± 0,13 ab	28,69 ± 4,71 ab	0,79 ± 0,05 ab	0,39 ± 0,017 abc	1,17 ± 0,095 abc
C9	8,22 ± 0,46 ab	4,05 ± 0,22 ab	4,33 ± 0,16 b	26,46 ± 2,85 ab	0,67 ± 0,05 b	0,44 ± 0,021 ab	1,1 ± 0,071 abc
C10	8,92 ± 0,40 ab	4,87 ± 0,16 a	5,33 ± 0,16 a	47,87 ± 4,73 a	1,07 ± 0,07 a	0,48 ± 0,025 a	1,55 ± 0,097 a
CV (%)	15,04	10,01	8,24	33,97	22,27	15,58	18,84

Tabela 2A. Características morfológicas de raiz de 10 genótipos de cana de açúcar propagadas por meio da técnica de mudas pré-brotadas.

Genótipo	CR (cm)	DMR (mm)	ASR (cm <sup>2</sup> )	VR (cm <sup>3</sup> )
C1	2838 ± 167 abc	0,2939 ± 0,005 c	259,67 ± 13,9 ab	1,9 ± 0,098 a
C2	2056 ± 155 c	0,3407 ± 0,012 ab	217,13 ± 15,8 b	1,86 ± 0,157 a
C3	2394 ± 149 bc	0,3483 ± 0,011 a	255,2 ± 9,7 ab	2,2 ± 0,067 a
C4	2428 ± 141 bc	0,2948 ± 0,008 c	222,93 ± 13,1 b	1,65 ± 0,117 a
C5	2982 ± 173 ab	0,2869 ± 0,009 c	268,07 ± 17,6 ab	1,95 ± 0,162 a
C6	2771 ± 167 abc	0,2864 ± 0,007 c	247,87 ± 15,5 ab	1,78 ± 0,132 a
C7	3097,8 ± 225 ab	0,2906 ± 0,010 c	283,87 ± 25 ab	2,11 ± 0,240 a
C8	2735 ± 115 abc	0,3021 ± 0,008 bc	256,53 ± 8,7 ab	1,94 ± 0,089 a
C9	3457 ± 139 a	0,2838 ± 0,006 c	307,26 ± 13,3 a	2,19 ± 0,118 a
C10	3540 ± 162 a	0,2876 ± 0,006 c	318,53 ± 15 a	2,3 ± 0,133 a
CV (%)	14,21	7,07	14,21	16,86

Tabela 3A. Características fisiológicas de 10 genótipos de cana de açúcar propagadas por meio da técnica de mudas pré-brotadas.

Genótipo	SPAD	Fv/fm	PI	ARI	CRI	NDVI	CNDVI
C1	30,21 ± 1,12 bc	0,778 ± 0,0027 a	4,19 ± 0,465 a	0,0124 ± 0,00066 ab	0,0261 ± 0,0016 a	0,7167 ± 0,0049 a	0,3948 ± 0,0133 ab
C2	30,38 ± 1,88 bc	0,7548 ± 0,0265 a	5,09 ± 0,409 a	0,0101 ± 0,00083 b	0,0204 ± 0,0008 a	0,6593 ± 0,0220 a	0,3632 ± 0,0251 b
C3	37,25 ± 1,64 a	0,7787 ± 0,0078 a	5,68 ± 0,681 a	0,0130 ± 0,001 ab	0,0233 ± 0,0014 a	0,7080 ± 0,0085 a	0,4280 ± 0,0142 ab
C4	28,26 ± 1,26 c	0,7794 ± 0,0037 a	4,65 ± 0,467 a	0,0133 ± 0,00059 ab	0,0243 ± 0,0008 a	0,7108 ± 0,0030 a	0,3862 ± 0,0103 ab
C5	39,19 ± 1,42 a	0,7596 ± 0,0119 a	4,33 ± 0,412 a	0,0106 ± 0,00085 b	0,0200 ± 0,0013 a	0,6760 ± 0,0136 a	0,4008 ± 0,0137 ab
C6	36,29 ± 1,37 a	0,7822 ± 0,0025 a	4,8 ± 0,402 a	0,0128 ± 0,0008 ab	0,0206 ± 0,0009 a	0,7129 ± 0,0100 a	0,4271 ± 0,0105 ab
C7	36,67 ± 1,36 a	0,7747 ± 0,0039 a	4,95 ± 0,420 a	0,0116 ± 0,0004 ab	0,0218 ± 0,0012 a	0,6976 ± 0,0080 a	0,4128 ± 0,0080 ab
C8	36,44 ± 1,69 a	0,768 ± 0,0022 a	4,25 ± 0,517 a	0,0149 ± 0,00086 a	0,0243 ± 0,0022 a	0,7121 ± 0,0122 a	0,4398 ± 0,0107 a
C9	34,85 ± 1,20 ab	0,772 ± 0,0033 a	4,29 ± 0,512 a	0,0121 ± 0,00073 ab	0,0214 ± 0,0009 a	0,6872 ± 0,0090 a	0,4019 ± 0,0090 ab
C10	34,41 ± 1,25 ab	0,7787 ± 0,0046 a	4,99 ± 0,490 a	0,0117 ± 0,00037 ab	0,0236 ± 0,0014 a	0,7065 ± 0,0089 a	0,4040 ± 0,0080 ab
CV (%)	7,75	2,67	21,26	15,64	13,28	4,39	8,17

Tabela 4A. Brotação e Índice de velocidade de emergência de 10 genótipos de cana de açúcar propagadas por meio da técnica de mudas pré-brotadas submetidas a dois tratamentos térmicos (com e sem tratamento térmico).

Genótipo	Brotação (%)		IVB	
	Com	Sem	Com	Sem
C1 - RB867515	55 ± 15 Aa	40 ± 8,16 Aab	0,14 ± 0,038 Aa	0,10 ± 0,023 Ab
C2 - RB975375	60 ± 8,16 Aa	85 ± 9,57 Aa	0,18 ± 0,028 Aa	0,26 ± 0,018 Aa
C3 - RB005014	50 ± 5,77 Aa	50 ± 10 Aab	0,16 ± 0,024 Aa	0,15 ± 0,021 Aab
C4 - RB015935	70 ± 10 Aa	30 ± 10 Bb	0,21 ± 0,036 Aa	0,07 ± 0,041 Bb
C5 - RB036066	70 ± 5,77 Aa	55 ± 9,57 Aab	0,20 ± 0,019 Aa	0,14 ± 0,016 Aab
C6 - RB006995	40 ± 8,16 Aa	60 ± 8,16 Aab	0,10 ± 0,017 Aa	0,19 ± 0,032 Aab
C7 - RB108519	60 ± 14,14 Aa	15 ± 5 Bb	0,18 ± 0,048 Aa	0,05 ± 0,017 Bb
C8 - RB011549	80 ± 0 Aa	45 ± 9,57 Bab	0,25 ± 0,008 Aa	0,12 ± 0,033 Bab
C9 - RB988082	60 ± 11,55 Aa	45 ± 5 Aab	0,17 ± 0,062 Aa	0,11 ± 0,02 Ab
C10 - RB041443	65 ± 15 Aa	55 ± 12,58 Aab	0,21 ± 0,051 Aa	0,18 ± 0,038 Aab
CV (%)	38,44		40,76	

Tabela 5A. Características morfológicas de oito genótipos de cana de açúcar propagadas por meio da técnica de mudas pré-brotadas submetidas a dois tratamentos térmicos (com e sem tratamento térmico).

Genótipo	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Número de folhas	MSPA (g)	MSR (g)
C1 - RB867515	9,97 ± 0,33 ab	4,53 ± 0,19 ab	31,35 ± 5,99 ab	4,56 ± 0,22 b	0,98 ± 0,08 abcd	0,34 ± 0,02 b
C2 - RB975375	8,74 ± 0,53 abc	4,61 ± 0,24 ab	40,35 ± 7,96 ab	5,56 ± 0,24 a	1,15 ± 0,11 abcd	0,45 ± 0,04 ab
C3 - RB005014	7,17 ± 0,28 c	3,79 ± 0,26 b	29,37 ± 5,71 ab	5,19 ± 0,14 ab	0,82 ± 0,06 d	0,49 ± 0,03 a
C5 - RB036066	10,71 ± 0,63 a	5,11 ± 0,16 a	34,69 ± 6,15 ab	5,25 ± 0,21 ab	1,23 ± 0,10 abc	0,32 ± 0,03 b
C6 - RB006995	9,73 ± 0,49 ab	5,04 ± 0,16 a	50,56 ± 7,01 a	5,69 ± 0,20 a	1,31 ± 0,07 a	0,43 ± 0,02 ab
C8 - RB011549	9,12 ± 0,34 abc	4,04 ± 0,17 ab	28,17 ± 5,14 b	4,94 ± 0,17 ab	0,83 ± 0,06 cd	0,35 ± 0,02 ab
C9 - RB988082	8,59 ± 0,38 bc	4,27 ± 0,14 ab	26,07 ± 4,93 b	4,56 ± 0,13 b	0,88 ± 0,08 bcd	0,38 ± 0,03 ab
C10 - RB041443	9,45 ± 0,25 ab	5,04 ± 0,16 a	43,6 ± 7,21 ab	5,56 ± 0,18 a	1,28 ± 0,09 ab	0,36 ± 0,02 ab
Tratamento térmico	Altura (cm)	Diâmetro (mm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Número de folhas	MSPA (g)	MSR (g)
Com	8,91 ± 0,23 a	4,59 ± 0,12 a	33,74 ± 3,15 a	5,36 ± 0,10 a	1,08 ± 0,04 a	0,39 ± 0,01 a
Sem	9,46 ± 0,25 a	4,52 ± 0,10 a	37,3 ± 3,34 a	4,97 ± 0,11 b	1,04 ± 0,05 a	0,39 ± 0,02 a
CV (%)	13,95	14,8	38,42	9,5	24,31	22,83

Tabela 6A. Características morfológicas de raiz de oito genótipos de cana de açúcar propagadas por meio da técnica de mudas pré-brotadas submetidas a dois tratamentos térmicos (com e sem tratamento térmico).

Genótipo	CR (cm)	ASR (cm <sup>2</sup> )	DMR (mm)	VR (cm <sup>3</sup> )
C1 - RB867515	2595 ± 129,53 a	249 ± 12,23 a	0,308 ± 0,008 bcd	1,93 ± 0,13 b
C2 - RB975375	2643 ± 193,51 a	282 ± 21,79 a	0,337 ± 0,009 ab	2,42 ± 0,20 ab
C3 - RB005014	2694 ± 133,21 a	302 ± 15,51 a	0,359 ± 0,010 a	2,73 ± 0,19 a
C5 - RB036066	3044 ± 252,21 a	265 ± 22,03 a	0,279 ± 0,006 d	1,85 ± 0,17 b
C6 - RB006995	2780 ± 137,37 a	272 ± 11,85 a	0,315 ± 0,008 bc	2,14 ± 0,10 ab
C8 - RB011549	2513 ± 185,01 a	237 ± 15,62 a	0,305 ± 0,008 cd	1,8 ± 0,13 b
C9 - RB988082	2846 ± 150,87 a	263 ± 14,63 a	0,296 ± 0,005 cd	1,95 ± 0,12 b
C10 - RB041443	2723 ± 86,37 a	270 ± 8,9 a	0,317 ± 0,007 bc	2,15 ± 0,10 ab
Tratamento térmico	CR (cm)	ASR (cm <sup>2</sup> )	DMR (mm)	VR (cm <sup>3</sup> )
Com	2838 ± 89,4 a	278 ± 8,41 a	0,315 ± 0,005 a	2,21 ± 0,08 a
Sem	2621 ± 73,79 a	256 ± 7,56 a	0,314 ± 0,005 a	2,04 ± 0,08 a
CV (%)	19,13	18,92	6,44	20,65

Tabela 7A. Características fisiológicas de oito genótipos de cana de açúcar propagadas por meio da técnica de mudas pré-brotadas submetidas a dois tratamentos térmicos (com e sem tratamento térmico).

Genótipo	SPAD	$F_v/F_m$	PI	ARI	CRI	CNDVI
C1 - RB867515	34,58 ± 1,15 a	0,788 ± 0,003 a	6,07 ± 0,29 a	0,84 ± 0,02 a	0,0044 ± 0,0006 b	0,41 ± 0,007 ab
C2 - RB975375	33,24 ± 1,46 a	0,788 ± 0,003 a	4,94 ± 0,49 ab	0,62 ± 0,04 b	0,0056 ± 0,0007 ab	0,35 ± 0,014 c
C3 - RB005014	32,48 ± 1,29 a	0,789 ± 0,002 a	4,42 ± 0,45 b	0,70 ± 0,05 ab	0,0088 ± 0,0014 a	0,38 ± 0,013 bc
C5 - RB036066	38,03 ± 1,31 a	0,786 ± 0,003 ab	5,83 ± 0,32 ab	0,83 ± 0,02 a	0,0039 ± 0,0007 b	0,43 ± 0,006 a
C6 - RB006995	34,07 ± 1,09 a	0,792 ± 0,002 a	5,62 ± 0,26 ab	0,76 ± 0,02 ab	0,006 ± 0,0008 ab	0,40 ± 0,005 abc
C8 - RB011549	35,34 ± 1,10 a	0,776 ± 0,003 b	5,17 ± 0,43 ab	0,84 ± 0,03 a	0,0046 ± 0,0010 b	0,42 ± 0,009 ab
C9 - RB988082	34,76 ± 0,99 a	0,784 ± 0,002 ab	5,78 ± 0,27 ab	0,76 ± 0,02 ab	0,0048 ± 0,0011 b	0,40 ± 0,006 abc
C10 - RB041443	34,24 ± 1,17 a	0,785 ± 0,002 ab	5,77 ± 0,39 ab	0,72 ± 0,05 ab	0,0055 ± 0,0009 ab	0,39 ± 0,014 abc
Tratamento térmico	SPAD	$F_v/F_m$	PI	ARI	CRI	CNDVI
Com	34,33 ± 0,77 a	0,786 ± 0,002 a	5,16 ± 0,24 b	0,72 ± 0,02 b	0,0062 ± 0,0007 a	0,39 ± 0,008 b
Sem	34,85 ± 0,56 a	0,786 ± 0,002 a	5,74 ± 0,18 a	0,79 ± 0,02 a	0,0047 ± 0,0006 b	0,41 ± 0,007 a
CV (%)	9,5	0,91	18,02	13,71	41,33	7,43

Tabela 8A. Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) de oito genótipos de cana de açúcar propagadas por meio da técnica de mudas pré-brotadas submetidas a dois tratamentos térmicos (com e sem tratamento térmico).

Genótipo	NDVI	
	Com	Sem
C1 - RB867515	0,689 ± 0,008 Aa	0,706 ± 0,006 Aa
C2 - RB975375	0,673 ± 0,013 Aa	0,611 ± 0,019 Bb
C3 - RB005014	0,687 ± 0,012 Aa	0,702 ± 0,008 Aa
C5 - RB036066	0,698 ± 0,010 Aa	0,704 ± 0,009 Aa
C6 - RB006995	0,685 ± 0,010 Aa	0,698 ± 0,009 Aa
C8 - RB011549	0,688 ± 0,007 Aa	0,702 ± 0,009 Aa
C9 - RB988082	0,682 ± 0,011 Aa	0,682 ± 0,009 Aa
C10 - RB041443	0,671 ± 0,016 Aa	0,690 ± 0,008 Aa
CV (%)	3,07	