



Universidade Federal do Maranhão
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal

**CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E VALOR NUTRITIVO
DE DUAS VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR COM E
SEM A ADUBAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO**

PAULO JUNIO SILVA DAMASCENO

Chapadinha, MA

2023

PAULO JUNIO SILVA DAMASCENO

**CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E VALOR NUTRITIVO
DE DUAS VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR COM E
SEM A ADUBAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ciência Animal da Universidade Federal do Maranhão,
como requisito para obtenção do título de Mestre em
Ciência Animal.

Orientador: Prof. Dr. Zinaldo Firmino da Silva

Chapadinha, MA

2023

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

DAMASCENO, PAULO JUNIO SILVA.

CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E VALOR NUTRITIVO DE DUAS
VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR COM E SEM ADUBAÇÃO FOLIAR DE
SILÍCIO / PAULO JUNIO SILVA DAMASCENO. - 2023.

77 f.

Orientador(a): ZINALDO FIRMINO DA SILVA.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Ciência Animal/ccch, Universidade Federal do Maranhão,
CHAPADINHA, 2023.

1. Armazenamento em montes. 2. Degradabilidade
ruminal. 3. Despalha. 4. Silagem. I. SILVA, ZINALDO
FIRMINO DA. II. Título.

PAULO JUNIO SILVA DAMASCENO

**CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E VALOR NUTRITIVO
DE DUAS VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR COM E
SEM A ADUBAÇÃO FOLIAR DE SILÍCIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação
em Ciência Animal da Universidade Federal do Maranhão,
como requisito para obtenção do título de Mestre em
Ciência Animal.

Aprovada em: 29/03/2023

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Zinaldo Firmino da Silva (Orientador)
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Prof. Dr. Thiago Fernandes Bernardes
Universidade Federal de Lavras (UFLA)

Prof. Dr. Henrique Nunes Parente
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Prof. Dr. Francisco de Alcântara Neto
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

“Nunca desista de um sonho só pelo tempo que irá demorar para atingi-lo. O tempo passará de qualquer forma.”

Earl Nightingale

Dedico aos meus pais, Paulo e Alcina,
e à minha avó, Eliza Maria, pelo amor,
apoio incondicional e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Quero expressar minha profunda gratidão a Deus, por ter sempre me guiado.

Ao meu orientador, Professor Dr. Zinaldo Firmino, que desde o início da minha formação acreditou no meu potencial, sendo fundamental não apenas para o meu desenvolvimento acadêmico, profissional e pessoal, mas também para viabilizar a execução deste trabalho.

A Paula Muniz, minha amiga e companheira, pela sua inestimável colaboração nas etapas mais desafiadoras e exaustivas desta pesquisa. Foram incontáveis horas investidas no laboratório de bromatologia e na área experimental, onde a sua dedicação e atitude foram essenciais.

À toda equipe Gadleite (UFMA), na qual muitos colaboradores atuaram incansavelmente nesta pesquisa que iniciou ainda durante a minha graduação, em especial: Isaías Viana, Pedro Antônio, André Luis, Sarah Santos, Jayanara dos Santos e Kelly Tenório.

Ao Professor Dr. Alécio Matos, que sempre me incentivou a buscar maiores oportunidades com conselhos inestimáveis que contribuíram significativamente para o meu desenvolvimento, e ao Professor Dr. Marcos Bomfim, pelo apoio prestado durante a realização das análises no laboratório da UFMA.

Ao professor Thiago Fernandes Bernardes, pelas contribuições para aperfeiçoamento deste trabalho e também pela realização de análises dos compostos voláteis da silagem. Ao Professor Dr. Francisco de Alcântara (UFPI), pela doação do produto usado para a adubação com silício. Ao Prof. Dr. Renato de Mello Prado, que colaborou para a melhoria da redação deste trabalho através da participação na banca de defesa.

À Usina Itajubara Açúcar e Álcool, representada pelo Sr. João Bastos, pela doação das variedades de cana utilizadas neste estudo, bem como pelo apoio na realização das análises da qualidade do caldo.

Ao Dr. Hamilton Seron e ao João George, responsáveis pelo Laboratório de Fertilizantes da Universidade Federal de Uberlândia, por viabilizar as análises de silício na cana.

Ao PPGCA-UFMA pela minha formação acadêmica, e à FAPEMA pela concessão da bolsa de estudos.

RESUMO

O objetivo com este trabalho foi avaliar o efeito da adubação foliar com Si (AFSi) na cana-de-açúcar em diferentes aspectos, incluindo desempenho agrônômico, qualidade tecnológica do caldo e valor nutritivo da forragem, bem como perdas durante o armazenamento em montes e na ensilagem. Foram utilizadas as variedades de cana-de-açúcar RB867515 e RB962962, que foram multiplicadas por meio de Mudas Pré-Brotadas. A AFSi foi realizada aos 64 dias do transplântio, utilizando-se como fonte de silício uma solução contendo silicato de sódio. A colheita da cana-planta ocorreu aos 16 meses, enquanto a da cana-soca aconteceu aos oito meses do último corte. As características agrônômicas e a produtividade foram mensuradas para ambos os ciclos, e a qualidade tecnológica do caldo foi obtida apenas para a cana-planta. Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso (DBC) em esquema fatorial 2 x 2: duas AFSi (com e sem) e duas variedades. Cada tratamento foi repetido quatro vezes em quatro blocos. A cana-planta foi colhida aos 16 meses, despalhadas manualmente e separada em dois componentes: colmos despontados (SP) e colmos conectados aos ponteiros (CP). Dois ensaios diferentes foram realizados em seguida: o ensaio de armazenamento em montes e o ensaio de ensilagem. No ensaio de armazenamento em montes foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema de parcela subdividida no tempo, com cinco repetições. A cana foi armazenada em montes por diferentes períodos (0, 2, 4, 6 e 8 dias), e o valor nutritivo e as perdas de matéria verde (PMV) foram avaliados em cada período. O ensaio de ensilagem seguiu um DIC em parcelas subdivididas, com quatro repetições. O valor nutritivo e as perdas da silagem foram avaliados aos 60 dias após a ensilagem. A degradabilidade ruminal *in situ* da matéria seca (DEG MS) em 24h e a fibra em detergente neutro na matéria orgânica não degradada em 288h (uFDN_{mo}%FDN) foram avaliadas em um DBC, com três blocos (vacas). A aplicação de AFSi na cana-planta da variedade RB962962 resultou em um aumento de 35% na produtividade de colmos (TCH) e na produção de matéria seca. No entanto, a variedade RB867515, que naturalmente possui uma produtividade de sacarose 50% maior, sofreu uma redução de 18% quando exposta à AFSi. As plantas adubadas com silício demonstraram uma redução de 7% na recuperação de açúcar. Foi observado um incremento de 22% no teor de silício na cana-planta devido à aplicação de AFSi. Quanto à cana-soca, a AFSi reduziu a TCH da variedade RB867515 em 21%, mas aumentou em 26% na RB962962. A PMV durante o armazenamento em montes aumentou gradualmente até o 6º dia, independentemente da AFSi. A AFSi teve um efeito positivo na redução das PMV da variedade RB867515 armazenada em montes com os ponteiros, onde, após dois dias do corte, a PMV foi até 40% menor. A AFSi favoreceu uma maior recuperação de matéria seca (RMS) nas silagens da RB962962, mas causou efeito contrário na RB867515. A DEGMS24h e a uFDN_{mo} dos colmos *in natura*, armazenados em montes e ensilados, não foram prejudicadas pela presença de AFSi em ambas as variedades. Conclui-se que a AFSi pode aumentar a produtividade da cana-de-açúcar, embora diminua a qualidade tecnológica do caldo. Além disso, a AFSi favorece a preservação da cana-de-açúcar armazenada em montes por até oito dias durante o período seco. Ademais, a ensilagem de plantas de cana adubadas com Si via foliar pode alcançar uma menor deterioração no silo. A degradabilidade da matéria seca em 24h e da fibra não degradada no rúmen em 288 h de colmos de cana *in natura*, armazenados em montes e ensilados, não é afetada negativamente pela AFSi.

Palavras-chave: Armazenamento em montes, degradabilidade ruminal, despalha, silagem.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of foliar fertilization with Si (FFSi) on sugarcane in different aspects, including agronomic performance, technological quality of juice, and nutritional value of forage, as well as losses during storage in piles and ensilage. The sugarcane varieties RB867515 and RB962962 were used, which were propagated through Pre-Budded Seedlings. FFSi was carried out at 64 days after transplanting, using a sodium silicate solution as the source of silicon. Harvesting of sugarcane plants took place at 16 months, while ratoon cane was harvested at eight months after the last cutting. Agronomic characteristics and productivity were measured for both cycles, and the technological quality of juice was obtained only for the sugarcane plants. The randomized block design (RBD) in a 2 x 2 factorial scheme was used: two FFSi treatments (with and without) and two varieties. Each treatment was replicated four times in four blocks. topped canes (TP) and canes connected to the pointers (CP). Two trials were performed, the storage in piles and the ensiling trial. In the storage trial, a completely randomized design (CRD) was used in a split plot scheme in time, with five repetitions. Sugarcane was stored in piles for different periods (0, 2, 4, 6, and 8 days), and the nutritional value and losses of green matter (LGM) were evaluated at each period. The ensilage assay followed a CRD in split-plots, with four repetitions. The nutritional value and losses of the silage were evaluated 60 days after ensilage. The *in situ* ruminal degradability of dry matter in 24 hours (DMD24h) and the undegraded neutral detergent fiber in organic matter in 288 h (uNDFom%NDF) were evaluated in a RBD with three blocks (cows). The application of FFSi in the sugarcane plants of the RB962962 variety resulted in a 35% increase in stalk productivity and dry matter production. However, the RB867515 variety, which naturally has 50% higher sucrose productivity, experienced an 18% reduction when exposed to FFSi. Silicon-fertilized plants showed a 7% reduction in sugar recovery. An increase of 22% in silicon content in the sugarcane plants was observed due to the application of FFSi. Regarding ratoon cane, FFSi reduced stalk productivity in the RB867515 variety by 21%, but increased it by 26% in the RB962962. The LGM during storage in piles gradually increased up to the 6th day, regardless of FFSi. FFSi had a positive effect on reducing LGM in the RB867515 variety stored with the pointers, where, after two days from cutting, LGM was up to 40% lower. FFSi favored a higher recovery of dry matter in the silage of RB962962, but had the opposite effect in RB867515. The DMD24h and uNDFom of fresh stalks, stalks stored in piles, and ensiled stalks were not negatively affected by the presence of FFSi in both varieties. In conclusion, FFSi can increase sugarcane productivity, although it reduces the technological quality of the juice. Additionally, FFSi promotes the preservation of sugarcane stored in piles for up to eight days during the dry season. Furthermore, ensilage of sugarcane plants fertilized with foliar Si may achieve less deterioration in the silo. The *in situ* degradability of dry matter in 24 hours and the undegraded neutral detergent fiber in organic matter in 288 hours of fresh sugarcane stalks, stalks stored in piles, and ensiled stalks are not negatively affected by FFSi.

Key-words: Cane stripping, ruminal degradability, silage, storage in piles.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características agronômicas e produtividade de duas variedades (Var) de cana-planta cultivadas sem (SSi) ou com (CSi) adubação foliar com Si (AFSi) e colhidas aos 16 meses.	43
Tabela 2. Teores de Si na matéria seca de componentes (Comp) de duas variedades (Var) de cana-planta cultivadas sem (SSi) e com (CSi) adubação foliar com Si (AFSi) e colhidas aos 16 meses.	45
Tabela 3. Características agronômicas e produtividade de duas variedades (Var) de cana-soca cultivadas sem (SSi) e com (CSi) adubação foliar com Si (AFSi) e colhidas aos 8 meses.....	46
Tabela 4. Qualidade tecnológica de duas variedades (Var) de cana-planta cultivadas sem (SSi) e com (CSi) adubação foliar com Si (AFSi) e colhidas aos 16 meses.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Croqui da área experimental.	33
Figura 2. Precipitação pluviométrica e lâmina de irrigação plena; temperatura média, mínima e máxima durante 16 meses de desenvolvimento de duas variedades de cana-planta RB867515 (86) e RB962962 (96), cultivadas em Chapadinha-MA. Fonte: INMET, 2019-2020.....	34
Figura 3. Precipitação pluviométrica e lâmina de irrigação plena; temperatura média, mínima e máxima em oito meses de cultivo de duas variedades de cana-soca RB867515 (86) e RB962962 (96) cultivadas em Chapadinha-MA. Fonte: INMET, 2020-2021.	35
Figura 4. Temperaturas máximas, médias e mínimas em mensuradas em diferentes horários por oito dias durante o ensaio de armazenamento em montes da cana-de-açúcar em Chapadinha-MA, em um período quente e seco.	38
Figura 5. Média da umidade (%) máxima, média e mínima mensuradas em diferentes horários por oito dias durante o ensaio de ar armazenamento em montes da cana-de-açúcar em Chapadinha-MA, em um período quente e seco.....	38
Figura 6. Velocidade média do vento (km/h) mensuradas em diferentes horários por oito dias durante o ensaio de armazenamento em montes da cana-de-açúcar em Chapadinha-MA, em um período quente e seco.	39
Figura 7. Composição química a cada dois dias após a colheita de colmos despalhados de cana-planta da variedade RB867515, cultivada com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi), armazenados em montes por oito dias com (CP) e sem os ponteiros (SP).....	50
Figura 8. Composição química a cada dois dias após a colheita de colmos despalhados de cana-planta da variedade RB962962, cultivada com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi), armazenados em montes por oito dias com (CP) e sem os ponteiros (SP).....	51
Figura 9. Teor de sólidos solúveis totais (Brix) a cada dois dias após a colheita de colmos despalhados de duas variedades de cana-de-açúcar, cultivadas com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi), armazenados em montes por oito dias com (CP) e sem os ponteiros (SP).	53
Figura 10. Perda de matéria verde (kg.t^{-1}) a cada dois dias após a colheita de colmos despalhados de cana-planta da variedade RB867515, cultivada com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi), armazenados em montes por oito dias com (CP) e sem os ponteiros (SP).	54

- Figura 11. Perda de matéria verde (kg.t^{-1}) a cada dois dias após a colheita de colmos despalhados da variedade RB962962, cultivada com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi), armazenados em montes por oito dias com (CP) e sem os ponteiros (SP)..... 55
- Figura 12. Degradabilidade da matéria seca em 24 h no rúmen (DEG MS 24h) de colmos despalhados de duas variedades de cana-de-açúcar, cultivadas com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi), armazenados em montes com (CP) e sem os ponteiros (SP) por 0, 4 e 8 dias após a colheita. 56
- Figura 13. Médias da fibra em detergente neutro na matéria orgânica não degradada em 288 h no rúmen (uFDNmo 288 h) de colmos despalhados de duas variedades de cana-de-açúcar, cultivadas com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi), armazenados em montes com (CP) e sem os ponteiros (SP) por 0, 4 e 8 dias. 58
- Figura 14. Teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO) e fibra em detergente neutro na matéria orgânica (FDNmo) de silagens de colmos despalhados ensilados sem (SP) e com os ponteiros (CP), de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi). 60
- Figura 15. Retenção percentual de partículas pelo método do Penn State Particle Size Separator de silagens de colmos despalhados das variedades RB867515 (A) e RB962962 (B), cultivadas sem (SSi) e com (CSi) adubação foliar com Si (AFSi), e que foram ensilados sem (SP) e com os ponteiros (CP). 61
- Figura 16. Índice de recuperação de matéria seca (RMS, % da MS), perda por efluente (PE, % da MN), perda por gases (PG, % da MS) e pH de silagens de colmos despalhados ensilados sem (SP) e com os ponteiros (CP), de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi). 62
- Figura 17. Degradabilidade ruminal da matéria seca (DEG MS) (A), da fibra em detergente neutro na matéria orgânica (DEG FDNmo) (B) em 24 h e fibra não degradada na matéria orgânica em 288 h no rúmen (uFDNmo) (C) de silagens de colmos despalhados ensilados sem (SP) e com os ponteiros (CP), de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi). 63

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AF - Área foliar

AFSi - Adubação foliar com Si

AR - Açúcares redutores

ATR - Açúcar total recuperável

BRIX- Sólidos solúveis totais

Cco - Comprimento do colmo

CMS - Consumo de matéria seca

Cpl - Comprimento da planta

CSi - Plantas que receberam adubação foliar com Si

Dco - Diâmetro do colmo

DEGFDN 24 h - Degradabilidade da fibra em detergente neutro após 24 h no rúmen

DEGMS 24 h - Degradabilidade da matéria seca após 24 h no rúmen

EPM - Erro padrão da média

FDN - Fibra em detergente neutro

FDNmo - Fibra em detergente neutro na matéria orgânica

MM - Matéria mineral

MN – Matéria natural

MO – Matéria orgânica

MS - Matéria seca

NE - Número de entrenós

NFV - Número de folhas verdes

PBU - Peso do bagaço úmido

Pco - Peso do colmo

PE - Perda por efluentes

PG - Perda por gases

PMV - Perda de matéria verde

POL - Teor de sacarose aparente do caldo

PC - Teor de sacarose aparente na cana

PP - Peso da planta

RMS - Índice de recuperação de matéria seca

Si - Silício

SSi– Plantas que não receberam adubação foliar com Si

TCH - Toneladas de colmos por hectare

TMSH - Toneladas de matéria seca de colmos por hectare

TPH - Toneladas de sacarose aparente por hectare

uFDNmo- Fibra em detergente neutro na matéria orgânica não degradada em 288 h no rúmen

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 A cana-de-açúcar e o silício.....	18
2.2 Variedades de cana-de-açúcar	20
2.3 Importância do Si para o rendimento agrônomo e a tecnologia do caldo	21
2.4 Silício e degradabilidade ruminal da fibra da cana-de-açúcar.....	23
2.5 Armazenamento em montes.....	25
2.6 Ensilagem da cana de açúcar e o Si.....	29
3. OBJETIVOS	31
4. MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1 Preparo da área experimental	32
4.2 Implantação do canavial e tratos culturais.....	32
4.3 Irrigação plena	33
4.4 Adubação foliar com silício	35
4.5 Avaliações morfológicas e de produtividade de colmos realizadas na colheita.....	36
4.6 Avaliações tecnológicas do caldo em laboratório.....	36
4.7 Ensaio experimental de armazenamento da cana em montes	37
4.8 Ensaio experimental da ensilagem da cana	39
4.9 Procedimentos bromatológicos	40
4.10 Degradabilidade ruminal <i>in situ</i> e fibra não degradada no rúmen (uFDN).....	40
4.11 Procedimentos estatísticos.....	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1 Ensaio agrônomo.....	43
5.2 Ensaio experimental de armazenamento da cana em montes	47
5.3 Ensaio experimental de ensilagem da cana	58
6. CONCLUSÕES	65
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
REFERÊNCIAS	67
ANEXOS	76

1. INTRODUÇÃO

No estado do Maranhão, a cana-de-açúcar é uma opção forrageira coerente com a realidade do sistema de produção de leite. O fornecimento da forragem fresca aos animais é a estratégia mais comum e consiste na utilização no mesmo dia da colheita. Outras opções são a ensilagem e o armazenamento em montes por poucos dias, que são importantes porque aumentam a eficiência das operações de colheita e transporte diárias na fazenda, reduzindo a frequência dos cortes no canavial.

Em um estudo recente realizado em Chapadinha-MA, foram avaliados o desempenho agrônomico e o valor nutritivo de 15 variedades de cana-de-açúcar em regime de sequeiro. As canas RB962962 e RB867515, colhidas aos 17 meses, pertenceram ao grupo de maior produtividade de colmos (LEITE, 2018). No entanto, a degradabilidade ruminal da fibra em detergente neutro (DEGFDN) em 24 horas da RB867515 foi 8 pontos percentuais (p.p) maior (DAMASCENO et al., 2018).

A inclusão dietética da cana pode ser limitada devido à menor DEGFDN, o que pode deprimir o consumo de matéria seca (CMS) em ruminantes de maior desempenho (GALLO et al., 2019; SANTOS et al., 2011). A composição da parede celular é um determinante da DEGFDN (JUNG et al., 2012), com o silício (Si) participando de modificações químicas e físicas que afetam a resistência desta camada (OLIVEIRA FILHO et al., 2021; KATZ, 2019; KVEDARAS et al., 2007). Nesse sentido, um estudo realizado com sete variedades de cana-de-açúcar concluiu que o silício, mais que a lignina, pode deprimir a DEGFDN em 24 horas e aumentar a fração da fibra não degradada em 288 horas no rúmen (DAMASCENO et al., 2019).

Em condições favoráveis de cultivo, a acumulação de Si na matéria seca da parte aérea da cana pode ultrapassar 1% (SAVANT et al., 1999), superando inclusive alguns dos principais macronutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio. Por isso, a reposição de Si pela adubação é uma prática fundamental para favorecer a sustentabilidade dos canaviais, especialmente em regiões onde este elemento encontra-se naturalmente pouco disponível para absorção (LIANG et al., 2015). A exposição da planta a condições estressantes e a adubação estimulam a acumulação, trazendo benefícios que incluem o aumento da produção de colmos e de açúcar, maior resistência a tombamentos, proteção contra pragas e doenças, aumento da eficiência fotossintética e do uso de água. Em síntese, este elemento exerce um papel preponderante para a modulação da interação planta-ambiente, aliviando os danos de agentes estressores

(TEIXEIRA et al., 2021; BOCKHAVEN et al., 2013). Apesar de ser um assunto em evidência na pesquisa agronômica, a literatura carece de informações quanto ao efeito do Si no valor nutritivo da cana-de-açúcar.

A hipótese geral com esse trabalho é que o Si aplicado via foliar na fase de perfilhamento beneficia o desempenho agronômico da cana, mas diminui a degradabilidade da fibra. Com relação às estratégias de utilização da cana, a hipótese é que a adubação com Si e a remoção da palhada e dos ponteiros podem desacelerar as perdas de valor nutritivo em canas sob armazenamento em montes, e que plantas de cana-de-açúcar tratadas com Si apresentam uma conservação superior.

Em vista disso, o objetivo com este trabalho foi avaliar o efeito da adubação foliar com Si (AFSi) no desempenho agronômico, nos parâmetros tecnológicos do caldo, no valor nutritivo da cana-de-açúcar *in natura* e nas perdas decorrentes do armazenamento em montes e da ensilagem.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cana-de-açúcar e o silício

A cana-de-açúcar é altamente responsiva à adubação silicatada, podendo acumular quantidades expressivas de silício (Si) em sua biomassa e que superam a acumulação dos principais macronutrientes, como Nitrogênio, Fósforo e Potássio (ANDERSON 1991). Esse potencial de acumulação de Si pode variar entre diferentes espécies de plantas, sendo que espécies com elevado potencial de acumulação normalmente apresentam >40 mg/kg de matéria seca (MS), enquanto as de médio potencial estão entre 20-40 mg/kg de MS. A cana-de-açúcar e o arroz são exemplos de culturas acumuladoras de Si, sendo que o teor deste elemento na parte aérea dessas plantas pode chegar a 1% da biomassa seca (LIANG et al., 2015).

O período de cultivo da cana-de-açúcar pode ser superior aos 12 meses, embora a duração exata dependa de vários fatores, como o tipo de variedade de cana-de-açúcar, as práticas de manejo, as condições climáticas e do solo, entre outros. No entanto, cultivar canaviais por períodos mais longos pode expor as plantas a uma variedade de estresses bióticos e abióticos, como doenças, pragas, estresses hídricos e térmicos, entre outros (MAJUMDAR & PRAKASH, 2020).

Adaptações evolutivas levaram ao desenvolvimento de mecanismos de defesas nas plantas, onde o Si desempenha um papel importante em muitos desses mecanismos, modulando respostas das plantas a estresses ambientais, como seca, salinidade e altas temperaturas, ampliando a tolerância das plantas a esses estresses. A interação entre o fator genético, a disponibilidade de ácido monossilícico ($\text{Si}(\text{OH})_4$) no solo e o ambiente de cultivo são determinantes no potencial de deposição deste elemento nos tecidos (LIANG et al., 2015).

No arroz, umas das principais gramíneas acumuladoras deste elemento, a absorção ocorre via ácido silício em sua forma monomérica. Após sua absorção pelas raízes, o Si é polimerizado e convertido em sílica coloidal, que por fim é transformada em sílica gel ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Essa substância é transportada pelo xilema com água e nutrientes inorgânicos até chegar nas folhas, onde é formada uma camada de Si abaixo da cutícula (MA & YAMAJI, 2006). Na parede celular dos feixes vasculares e da epiderme, constituintes da casca dos colmos, este elemento constitui complexos Si-celulose contendo Si amorfo. Assim, o Si desempenha um papel importante na proteção das plantas contra danos causados por microrganismos e insetos, através de mecanismos físicos e químicos que reforçam a estrutura

da parede celular e neutralizam a ação de enzimas digestivas (DENG et al., 2020). Assim, para garantir a proteção mecânica da barreira física com silício, é importante que o ácido monossilícico esteja disponível em quantidades suficientes no solo para que as plantas possam absorvê-lo e incorporá-lo em suas estruturas, cujo influxo se dá gradualmente a partir de quantidades muito pequenas, em concentrações da ordem de microgramas/g (KATZ, 2014; KEEPING et al., 2009; FOX et al., 1969).

Quando plantas de cana são atacadas por insetos e patógenos, ou sofrem estresse oxidativo resultante do déficit hídrico, ocorrem perturbações metabólicas que acionam reações fisiológicas de defesa. O Si coloidal disponível na planta atua como modulador destas respostas, regulando a atividade de proteínas e a ativação de genes responsáveis por uma resposta fisiológica especificamente relacionada com o tipo de estresse em vigor. Esse processo depende de sílica coloidal disponível na parte aérea da planta, cujo suprimento é normalmente mantido a partir do silício disponível no solo (OLIVEIRA FILHO et al., 2021; FAUTEUX, et al., 2005). Menos de 5% do total de sílica presente na parte aérea da planta se encontra na forma coloidal (MA & YAMAJI, 2006).

A formação de uma barreira física eficaz para proteger a planta contra estresses bióticos e abióticos requer o suprimento contínuo de Si, sendo a absorção pelas raízes a principal opção para fornecer essa proteção. A aplicação foliar de Si também pode ativar rapidamente os mecanismos de defesa metabólica, mas o incremento da sílica coloidal não se mantém por muito tempo após as aplicações (MASSEY et al., 2009; FAUTEUX et al., 2005).

A AFSi atenuou o estresse hídrico de maneira comparável ou até superior ao suprimento via raízes em mudas pré-brotadas de cana, mas o suprimento de Si via foliar causou uma acumulação de 10 a 13 vezes inferior (TEIXEIRA et al., 2021). Essa característica sugere que as aplicações foliares não são uma boa estratégia para estimular a formação da barreira física. Este processo parece ser associado a absorção via solo, já que a cana é capaz de extrair enormes quantidades de Si, o que provavelmente seja resultante da ação de transportadores radiculares específicos para a extração deste elemento (CAMARGO et al., 2021).

Diversos estudos em campo avaliaram a capacidade de extração e acumulação de Si do solo. Em uma avaliação na Austrália, a proporção de Si nas folhas da cana-planta de 12 cultivares que não receberam adubação silicatada alcançou entre 0,5 e 1,6%, e entre 0,4 e 0,9% na cana-soca. No segundo ano, a concentração de Si nos colmos oscilou entre 0,8 e 2,5% (BERTHELSEN et al., 1999). Em um ensaio em casa de vegetação com uma aplicação de 555

kg.ha⁻¹ de silicato de cálcio e magnésio (CaSiCO₃ e MgSiCO₃), o Si foliar chegou a 1% na cana planta aos oito meses (CAMARGO et al., 2013). A variedade RB867515 acumulou cerca de 300 kg.ha⁻¹ de Si na parte aérea (palhada+colmo) da cana-planta. A absorção de Si de nove genótipos de cana-de-açúcar estudados por Camargo et al. (2014) diminuiu em 44% entre o primeiro e o segundo ano de estudo (CAMARGO et al., 2014).

A acumulação de Si pode ser estimulada por condições ambientais específicas, tais como altas temperaturas e aumento na taxa de transpiração, estresse hídrico e ataque de pragas e patógenos (VERMA et al., 2021; HARTLEY & DEGABRIEL, 2016). A adubação com Si pode incrementar a tolerância das plantas em condições estressantes e assim minimizar perdas no rendimento agrônomico (KATZ, 2019). A AFSi é uma prática relativamente nova e promissora, mas estudos que caracterizam os efeitos da aplicação de Si na produtividade e qualidade da cana-de-açúcar ainda são escassos sob cultivo à campo.

2.2 Variedades de cana-de-açúcar

A variedade RB867515 foi lançada em 1997 pela universidade Federal de Viçosa, tem elevado potencial de produtividade agrícola em solos de textura leve e média fertilidade natural. As plantas apresentam porte alto, hábito de crescimento ereto e com rápido desenvolvimento, despalha fácil e perfilhamento médio. Os entrenós são de cor verde arroxeado. Esta variedade destaca-se pelo alto teor de sacarose e pelo teor de fibra médio, com ótimo desenvolvimento em solos de textura arenosa (DAROS, 2015).

A variedade RB962962 tem potencial de produtividade agrícola alto e ciclo de maturação médio tardio, lançada em 2010 em Pernambuco. Distingue-se por bainhas com tons de verde e roxo e apresenta bom desenvolvimento em solos de textura arenosa a média, com média fertilidade natural, mas com uma excelente resposta a alta fertilidade e boa tolerância ao estresse hídrico (MELO et al., 2014). As plantas apresentam porte alto, com rápido desenvolvimento e hábito de crescimento ereto, com uma despalha fácil. Destaca-se pela excelente sanidade e brotação da cana-planta e das soqueiras. Assim como a RB867515, pode alcançar alto teor de sacarose com um teor de fibra médio (DAROS et al., 2015).

Em uma dissertação de mestrado realizada em Chapadinha-MA o desempenho agrônomico e o valor nutritivo de 15 variedades em regime de sequeiro foram avaliados. A cana-planta das variedades RB962962 e RB867515 colhidas aos 17 meses pertenceram ao grupo de maior produtividade de colmos, mas a cana-planta da variedade RB-867515

apresentou valor nutritivo superior à RB-962962, principalmente com relação a degradabilidade da matéria seca e da FDN em 24 h no rúmen (LEITE, 2018). Nesse contexto, essas variedades foram utilizadas neste trabalho porque desenvolvem-se muito bem sob as condições edafoclimáticas no leste maranhense, sendo comumente utilizadas em canaviais de usinas sucroalcooleiras do estado. Além disso, a variedade RB867515 foi escolhida para representar um material com alta degradabilidade, enquanto a RB962962 com baixa degradabilidade.

2.3 Importância do Si para o rendimento agrônômico e a tecnologia do caldo

A cana-de-açúcar é a principal cultura produtora de açúcar em áreas tropicais e subtropicais, assumindo enorme relevância econômica (SHUKLA et al., 2019). A reposição de Si no solo é fundamental para a manutenção da sustentabilidade produtiva dos canaviais, uma vez que a extração a cada ciclo pode variar entre 200 e 700 kg de Si por ha (CAMARGO et al., 2010; ANDERSON, 1991). Em condições adversas, as plantas apresentam um aumento na demanda fisiológica por Si, aprimorando a interação planta-ambiente e uma maior tolerância a vários tipos de estresses. Isto pode ser evidenciado pelos benefícios que sua absorção adequada traz para as plantas, tais como: aumento da produção de colmos e de açúcar, maior resistência a tombamentos (fortalece as paredes celulares das plantas), aumento da eficiência fotossintética (permitindo que as plantas produzam mais energia com menos luz solar) e do uso da água, e maior proteção contra pragas e doenças (MAJUMDAR & PRAKASH, 2020).

Os efeitos benéficos da aplicação de Si via solo para a cana-de-açúcar foi reportado em um estudo realizado na Índia por Jain et al. (2017), onde verificaram que a aplicação de ácido ortossilícico (H_4SiO_4) granulado, via solo, na variedade CoLk 94184 aumentou a área foliar, o diâmetro e o comprimento do colmo, resultando no incremento da produção total de matéria seca, bem como nos atributos tecnológicos (brix, pureza do caldo, percentual de caldo extraído, proporção de sacarose em relação aos açúcares redutores e no total de açúcares comerciais recuperáveis).

Na Flórida-EUA, a aplicação de silicato de cálcio (Ca_2O_4Si) em diferentes solos na resultou em uma maior relação folha/colmo, colmos mais pesados e em maior número de perfilhos por metro linear, aumentando assim a produtividade de colmos e de sacarose. Ainda que este corretivo afete os teores de Ca e o pH do solo, constatou-se que a elevação dos teores

de Si no solo foi um determinante para o incremento da produtividade (MCCRAY & JI, 2018). Conseqüentemente, estima-se que para uma produtividade de colmos de 100 ton.ha⁻¹ sejam necessários entorno de 300 kg.ha⁻¹ de silício do solo (ANDERSON, 1991). Assim, a queda progressiva de Si solúvel no solo é fator crucial para a diminuição da produtividade de canaviais em regiões tropicais, tornando fundamental a reposição desse elemento para garantir a sustentabilidade e a resiliência da cultura da cana-de-açúcar (HUANG, 2011).

No caso específico da cana-de-açúcar no Brasil, o uso de silicato de sódio (Na₂SiO₃) fertirrigado no solo durante o plantio e próximo à rebrota resultou em um aumento de 10% na produtividade e 6% na recuperação total de açúcar após 12 meses, mas somente na cana-soca. Além disso, foi evidenciado que o silício no solo pode estimular o crescimento de microrganismos benéficos que estão associados à fixação de nitrogênio e à promoção de crescimento nas plantas (LEITE et al., 2023).

Os efeitos benéficos da adubação com Si também foram observados em solos salinos, onde a aplicação de silicato de cálcio (CaSiCO₃) em genótipos suscetíveis e tolerantes atenuou o estresse por salinidade e proporcionou aumento da produtividade de colmos e de açúcar em ambos. Para o genótipo suscetível a este tipo de estresse, o ganho de produtividade chegou a 75%, e para aquele tolerante houve aumento de 28%. Os colmos de plantas tratadas com Si foram maiores em comprimento e diâmetro, e também apresentaram um número de colmos por metro linear superior em ambos os casos. Além disso, o brix, percentual de sacarose no caldo e o açúcar total recuperável foram superiores no tratamento com Si (ASHRAF et al., 2009).

A adubação com Si também pode aumentar a produtividade de açúcar, e um dos mecanismos é a capacidade do Si em mediar a diminuição da atividade das invertases ácidas, mas favorecer as invertases neutras durante a fase de maturação (JI et al., 1992). As invertases neutras são responsáveis pela acumulação de sacarose e estão normalmente em maiores níveis durante a fase de maturação, enquanto as invertases ácidas decrescem (SACHDEVA et al., 2011). Outro caminho é o estímulo da atividade da sacarose fosfato sintase (SFS), que é fundamental para a síntese de sacarose nos colmos e pode ser induzida pela AFSi na cana. Isso foi observado após aplicação aos 4, 8 e aos 12 meses de cultivo na cana soca. No entanto, não foi detectado impacto do Si sobre o brix, sobre o teor de sacarose aparente (POL) e o teor de açúcares totais recuperáveis (ATR) (PAWAR et al., 2003).

A aplicação de Si via foliar na cana tem se tornado alvo de muitos estudos recentes. Por

exemplo, no caso de Mudas-Pré-Brotadas (MPB) de cana-de-açúcar cultivadas em casa de vegetação diferentes fontes de silício aplicadas via foliar foram comparadas, parcelando em 4 aplicações a cada 14 dias, iniciada 101 dias após a emergência (DAE). Aos 150 DAE as plantas que receberam AFSi acumularam mais Si na parte aérea e apresentaram maior diâmetro e altura de colmo na fase inicial de crescimento (SANTOS et al., 2020). A aplicação de silício e ácido bórico (H_4O_4Si e H_3BO_3) estabilizados via foliar estimulou o crescimento vegetativo, com os colmos aumentando em comprimento e diâmetro, além do número de colmos por metro linear. Foi observado também maior comprimento radicular, aumento da área foliar e da síntese de clorofila. As plantas demonstraram menor susceptibilidade ao estresse biótico e abiótico, o que resultou em um ganho de 26% em produtividade de colmos (LAANE et al., 2017). A AFSi com metassilicato de cálcio ($CaO.SiO_2$) realizada na variedade GT42 cultivada em casa de vegetação a partir dos 90 DAE das mudas reduziu o estresse oxidativo, aumentou a eficiência fotossintética e levou a uma maior produção de biomassa nas plantas com até 180 DAE, inclusive em plantas sob estresse hídrico (VERMA et al., 2021).

Apesar das evidências indicando um efeito benéfico da aplicação de silicatos na qualidade tecnológica da cana, a literatura é escassa e não conclusiva a respeito do efeito da AFSi nesse contexto. A AFSi está em pleno desenvolvimento e com efeitos ainda não completamente compreendidos na cana-de-açúcar, mas em geral essa prática parece ser agronomicamente promissora, por ser capaz de afetar positivamente a fisiologia e a estrutura das plantas.

2.4 Silício e degradabilidade ruminal da fibra da cana-de-açúcar

A degradabilidade ruminal da fibra (DEG FDN) das forragens é fortemente influenciada pela composição da parede celular, sendo a adubação silicatada uma possível forma de estimular a ativação de processos fisiológicos que aumentam a resistência da parede celular contra danos mecânicos ou químicos (OLIVEIRA FILHO et al., 2021; KATZ, 2019; JUNG et al., 2012; KVEDARAS et al., 2007). Embora a cana-de-açúcar seja uma das gramíneas com maior acumulação de Si/kg de MS, a literatura sobre este assunto não é conclusiva em relação à repercussão da adubação com Si sobre a DEG FDN.

Outro fator que parece determinante para o potencial de acumulação e expressão de efeitos sobre a resistência mecânica dos tecidos é a questão genética. Por exemplo, mesmo genótipos de cana-de-açúcar submetidos às mesmas condições de cultivo e que receberam

silicato de cálcio (CaSiCO_3) via solo apresentaram diferenças quanto à acumulação total de Si nos colmos. Diferentes regiões dos colmos foram então avaliadas por espectroscopia de raios X por dispersão em energia para investigar se haviam diferenças na distribuição de Si nos tecidos em plantas colhidas aos 14 meses. A epiderme e a região radicular dos entrenós foram as regiões do colmo com maior acumulação de Si, em comparação aos tecidos do feixe vascular e do parênquima, no córtex (KEEPING et al., 2009). A deposição de Si a partir da adubação com Si pode modificar a composição química e física dos colmos, o que pode levar a um aumento da resistência mecânica. Esse processo é importante para limitar o ataque de pragas aos colmos e diminuir o acesso de microrganismos ao interior do conteúdo celular. Por exemplo, o desgaste do aparelho bucal da broca foi aumentado pela acumulação de Si nos tecidos (KEEPING et al., 2013; KVEDARAS et al., 2009; KEEPING & MEYER, 2006). Por outro lado, este processo poderia dificultar a degradação ruminal.

A avaliação da distribuição da MS entre as diferentes porções/partes do colmo de genótipos de cana-de-açúcar revelou que a casca representa a maior proporção de MS (cerca de 75%), enquanto o córtex do colmo é responsável por uma proporção menor (em torno de 25%). Mais que o córtex do colmo, a casca diferencia-se por apresentar maior lignificação e menor acúmulo de ácido hidroxicinâmico ($\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_3$), o que dificulta a degradação enzimática por celulasas. Nesse sentido, partindo de uma visão transversal dos colmos da cana, a degradabilidade enzimática parece aumentar em tecidos mais próximos da central do colmo (COSTA et al., 2013). A lignificação também dificulta o acesso enzimático à celulose e compromete a degradação da parede celular na casca da cana (DING et al., 2013; SIQUEIRA et al., 2011).

Em outras gramíneas acumuladoras a adubação com Si levou a substituição da própria celulose e de alguns compostos fenólicos em suas funções estruturais, o que não é comum (SCHALLER et al., 2012; COOKE & LEISHMAN 2012). Alguns estudos sugerem que o Si pode substituir parcialmente a função estrutural atribuída às ligninas, que são compostos orgânicos responsáveis pela rigidez e resistência mecânica das plantas. Isso pode ser especialmente importante em condições de estresse hídrico, quando as plantas enfrentam um déficit energético e precisam economizar recursos metabólicos. A síntese de ligninas é um processo metabólico que requer muita energia e nutrientes. Em comparação, a deposição de Si nas paredes celulares é uma alternativa mais eficiente em termos de custo metabólico, exigindo cerca de 10 a 20 vezes menos energia do que a síntese de ligninas (KLOTZBÜCHER et al.,

2017).

Evidências recentes sugerem que a adubação com Si em cana-de-açúcar pode induzir modificações estequiométricas na proporção C:N:P, especialmente em condições de déficit hídrico. O uso de silicato de potássio em solução nutritiva para MPB de cana-de-açúcar sob condições de déficit hídrico mostrou aumentos significativos na concentração de Si nas folhas e modificou a proporção C:N:P nas plantas. Esse estudo evidenciou o potencial de substituição parcial da celulose e compostos estruturais à base de carbono pelo Si (FRAZÃO et al., 2020). Aplicações foliares de Si durante a produção de MPB de cana podem ter vários efeitos benéficos, incluindo a modificação da proporção de C:N:P e o aumento da eficiência no uso do carbono, mesmo em condições de adequado suprimento hídrico (TEIXEIRA et al., 2020). Um estudo posterior que combinou a oferta de Si via fertirrigação com aplicações foliares também obteve resultados semelhantes (OLIVEIRA FILHO et al., 2021).

Esses estudos indicam que pode haver uma substituição parcial de componentes estruturais da parede celular a base de carbono por Si, afetando a resistência da parede celular aos desafios ambientais. Entretanto, o efeito da substituição parcial de componentes estruturais da parede celular a base de carbono pelo Si ainda não foi compreendida em relação à qualidade da fibra da cana-de-açúcar. Em dietas contendo cana-de-açúcar, a degradabilidade da fibra dessa forragem é um fator bem conhecido por causar redução do CMS (DANIEL et al., 2016; SOUSA et al., 2014). Nesse sentido, a hipótese de que o silício é capaz de deprimir a degradabilidade da fibra da cana é uma possibilidade a ser considerada.

2.5 Armazenamento em montes

A necessidade de cortar a cana diariamente para alimentar os animais gera uma alta demanda por mão de obra, muitas vezes indisponível. Mesmo sendo perecíveis, os colmos não desintegrados da cana podem ser armazenados em montes à sombra por alguns dias após a colheita. Isso permite reduzir a frequência de cortes e o deslocamento até o canavial, aumentando a eficiência das operações diárias da fazenda.

Além disso, o armazenamento da cana em montes pode ser combinado com a despalha completa das plantas para otimizar o transporte dos colmos, conseqüentemente diminuindo o teor de FDN total em até 10 pontos percentuais. Quando o corte é realizado manualmente para alimentar menores rebanhos, isto é operacionalmente possível. Dessa forma, a utilização de 78% de cana despalhada na dieta de novilhas leiteiras aumentou a ingestão de açúcares

digestíveis e a eficiência alimentar, o que resultou em maior ganho de peso, 1,4 kg/d (SIÉCOLA JÚNIOR et al., 2014). Aumentar a proporção de colmos de cana-de-açúcar presentes na alimentação de bovinos leiteiros, por meio da incorporação de despalha e desponte, é uma estratégia simples e eficaz para aumentar a DEGMS e otimizar o desempenho animal (TEIXEIRA et al., 2014).

O desponte dos colmos como estratégia de aumento do tempo de armazenamento em montes foi avaliado em um ensaio conduzido em um ambiente coberto e com temperatura ambiente média de 25,5 °C. Isso diminuiu a taxa de perdas de matéria seca e afetou positivamente o valor nutritivo da forragem. Aos 10 dias, os colmos despontados alcançaram 55 kg MS/t, enquanto no armazenamento com ponteiros e a palhada foram perdidos 90 kg MS/t somente nos primeiros 6 dias (FONSECA et al., 2016).

O armazenamento em montes de cana é também comumente utilizado pela indústria sucroalcooleira para armazenar cana-de-açúcar colhida até que possa ser processada na usina. É um processo importante para garantir o fornecimento constante de matéria-prima para a produção de açúcar e etanol. Neste período, a cana-de-açúcar recém-colhida é empilhada em grandes montes em áreas próximas à usina e fica exposta às adversidades climáticas, o que é um problema crítico em virtude da rápida degradação da sacarose logo após o corte (SOLOMON, 2009).

Nesse contexto, diversos fatores podem afetar a intensidade das perdas qualitativas. A genética da planta é um fator bem conhecido por afetar diretamente as alterações bioquímicas após o corte frente às condições ambientais, uma vez que existe variabilidade quanto à tolerância ao armazenamento em montes sob condições desfavoráveis (MISRA et al., 2022). As diferentes respostas às adversidades ambientais estão ligadas a existência de mecanismos de proteção contra a evapotranspiração. Por exemplo, canas com casca mais espessa e colmos mais finos apresentaram uma maior tolerância contra a deterioração após o corte, pois isso pode reduzir a taxa de desidratação. Por outro lado, variedades com menor teor de fibra apresentam menor redução da sacarose aparente no caldo e maior perda de matéria verde (PMV) (SIDDHANT et al., 2008).

Em outro estudo, seis variedades de cana foram armazenadas em montes em um ambiente com temperatura média de 26° C. Durante as primeiras 24 h houve uma perda de peso nos feixes de cana na ordem de 3%, que após 120 h (totalizando seis dias), a perda de peso foi ampliada para 10%. Ao longo dos primeiros quatro dias de armazenamento, a

concentração de sacarose aumentou devido à desidratação da cana. No entanto, a partir do quarto dia a concentração de sacarose começou a cair, o que pode ser explicado pela atividade respiratória das células da cana e pela presença de microrganismos que podem ter consumido a sacarose. A proporção de açúcares redutores e sólidos totais no caldo aumentaram até o 6º dia, também devido a desidratação e a inversão da sacarose (RAKKIYAPPAN et al., 2009). A variabilidade genética pode inclusive atuar em processos fisiológicos que combatem a infestação de microrganismos nos pontos de danos aos colmos, o que reduziria a efetividade das enzimas endógenas que realizam a hidrólise dos açúcares e reduzem o valor energético (MISRA et al., 2022; SOLOMON et al., 2003).

A inversão da sacarose é um processo induzido por enzimas endógenas e exógenas logo após o corte e que leva a produção de frutose e glicose através do consumo de sacarose. Os açúcares e ácidos orgânicos provenientes da inversão ou hidrólise da sacarose são parcialmente utilizados pelo metabolismo da planta durante a respiração celular, mas também por microrganismos (SOLOMON, 2000).

Nesse contexto, as condições climáticas e microbiológicas invariavelmente propiciam a degradação dos açúcares solúveis, existindo relatos de prejuízos expressivos em países onde a colheita é realizada durante períodos quentes e úmidos, como a Índia e o Paquistão (MISRA et al., 2022; VERMA et al., 2012; SOLOMON et al., 2011). A ocorrência de maiores velocidades do vento e menores umidades relativa do ar potencializam as perdas causadas por microrganismos (SOLOMON, 2009). Os microrganismos que acessam os pontos danificados dos colmos têm seu crescimento estimulado pelo aumento da umidade. As bactérias ácido-láticas do gênero *Leuconostoc* são os principais microrganismos associados com a diminuição da recuperação de açúcar da cana. Estes microrganismos epífitos vivem na superfície da cana-de-açúcar e no solo e podem ser responsáveis por até 93% das perdas totais de sacarose nas primeiras 14 horas após o corte (EGGLESTON et al., 2008).

A inversão enzimática da sacarose ocorre mais intensamente em regiões mais quentes devido à maior atividade das enzimas invertases sob condições de temperaturas mais elevadas, que catalisam a quebra da sacarose em glicose e frutose (SOLOMON, 2009). Nesse sentido, a respiração celular é um processo que libera calor como um subproduto, o que pode aumentar a temperatura dentro dos montes de colmos armazenados, especialmente em regiões com temperaturas mais elevadas. Quando combinados, o aumento da temperatura ambiente e a respiração celular podem acelerar as perdas de sacarose e de matéria natural nos montes de

colmos. As temperaturas elevadas podem favorecer a atividade das enzimas invertases e também causar danos às células e aos tecidos da planta, o que pode levar à degradação dos açúcares e de outros compostos orgânicos (MISRA et al., 2022; CAMPBELL & KLOTZ, 2006).

Em comparação ao ensaio anteriormente realizado em Minas Gerais (FONSECA et al., 2016), é possível que as perdas com armazenamento da cana em montes ocorram mais intensamente em regiões de maior temperatura no Brasil, a exemplo do Nordeste e Norte do País, o que ainda não foi verificado experimentalmente.

Em montes de colmos armazenados desprotegidos, não somente a perda de peso aumentou rapidamente poucas horas após a colheita, atingindo entre 7 e 10% após 72 h e até 17% após 96 h, como a recuperação de açúcares caiu 2% após 4 dias (SOLOMON et al., 1997). As perdas de peso e de sacarose dos colmos são parâmetros associados entre si, normalmente monitorados para caracterizar o resultado final das condições ambientais durante o armazenamento em montes.

A diminuição da amplitude térmica do ambiente e do teor de matéria seca dos colmos durante o armazenamento são aspectos benéficos para a conservação dos açúcares solúveis. Colmos que foram armazenados em uma temperatura constante de 25° C apresentaram menores perdas de peso em comparação com aqueles armazenados em temperatura ambiente (23-32° C). Quando a umidade relativa do ar foi mantida constante, esta variação de temperatura sobre os colmos de 10 variedades de cana causou intensa queda na concentração de sacarose até o sétimo dia e aumento na concentração de açúcares redutores até o 11° dia. Assim, uma menor oscilação do teor de matéria seca dos colmos e da temperatura ambiente são fatores que diminuem as flutuações de temperatura nos montes. Estes são efeitos importantes para propiciar redução da intensidade da inversão da sacarose nos colmos (MEHROTRA & SHARMA, 2020; LONTOM et al., 2009).

É imperativo identificar estratégias que auxiliem na preservação do valor nutritivo da cana armazenamento em montes, minimizando a deterioração dos açúcares solúveis. Existem evidências que indicam um efeito benéfico do Si sobre a interação das plantas com as adversidades ambientais. Por outro lado, a literatura não é conclusiva a respeito da associação da adubação com Si para o armazenamento em montes da cana.

2.6 Ensilagem da cana de açúcar e o Si

Logo após a compactação da forragem no silo a atividade de microrganismos é intensa, quando diversas populações de fungos e bactérias competem pelo oxigênio, reduzindo-o a baixíssimas concentrações. Assim, microrganismos anaeróbios podem expandir suas populações, destacando-se nesse caso as bactérias do gênero *Lactobacillus*, *Pedococcus*, *Leuconostoc* e *Enterococcus*. Com temperatura entre 20 e 40° C esses microrganismos são capazes de sintetizar ácido lático, um importante redutor de pH na silagem. Enterobactérias, clostrídios e leveduras também se beneficiam destas condições, porém, sintetizando substâncias prejudiciais à saúde dos animais (DRIEHUIS & OUDE ELFERINK, 2000).

Populações de leveduras exploram a alta disponibilidade de carboidratos solúveis e convertem sacarose em etanol, característica marcante que deprecia o valor nutritivo das silagens de cana (RAUN & KRISTENSEN, 2011). O etanol é um componente orgânico e volátil que pode participar do metabolismo animal como fonte de energia (DANIEL et al., 2013a). As perdas por compostos orgânicos voláteis podem comprometer mais de 20% da matéria seca em silagens de cana. Ácido acético e lático, bem como o etanol são os principais subprodutos da fermentação em silagens de cana, mas a produção de acetato em comparação a de etanol é desejável e leva a maior eficiência alimentar em dietas de vacas leiteiras em silagem de cana (DANIEL et al., 2013b). A inoculação com *L. Buchneri* para a ensilagem da cana-de-açúcar é uma forma de aumentar a produção de ácido acético, inibindo assim o metabolismo das leveduras (GOMES et al. 2021; PEDROSO et al., 2008). Isso tem um impacto positivo para a redução das perdas de matéria seca, que podem alcançar mais de 30% (MURARO et al., 2021).

O aumento da resistência da cana-de-açúcar contra a atividade de microrganismos patogênicos é um dos efeitos benéficos estimulados pela adubação com Si (DENG et al., 2020). Dois mecanismos foram propostos para explicar a diminuição da amplitude dos danos decorrentes do ataque de fungos e bactérias à planta. O primeiro está relacionado ao aumento da resistência da parede celular em virtude da deposição de Si, o que atenua a efetividade das enzimas destes microrganismos (MARQUES et al., 2018; KEEPING et al., 2009). O segundo diz respeito ao efeito estimulador de metabólitos secundários, como os compostos fenólicos que podem estar aderidos à parede celular ou solubilizados no caldo e que têm propriedade antibacteriana e antifúngica (ZHAO et al., 2015; SCHALLER et al., 2012).

Não existem relatos que estabeleçam a relação entre parâmetros qualitativos e

quantitativos da silagem de plantas de cana-de-açúcar adubadas com Si. Assim, diversos questionamentos importantes podem ser feitos: As alterações químicas na parede celular estimuladas pela adubação com Si afetariam as populações de fungos e bactérias que vivem nas silagens de cana? Qual a repercussão desta interação sobre as perdas de valor nutritivo decorrentes da ensilagem? Um possível efeito sobre o valor nutritivo da forragem *in natura* provocado pela adubação com Si poderia afetar as perdas na ensilagem?

O teor e a DEGFDN são determinantes do valor nutritivo da cana-de-açúcar como forragem, já que a DEG da fração solúvel é virtualmente total (BERNARDES et al., 2018). A degradação da sacarose pela fermentação em silagens de cana aumenta a proporção de FDN na MS, resultando em um impacto potencial ainda maior da degradabilidade da FDN sobre o CMS (DANIEL et al., 2013b). Por isso, selecionar variedades de canas com maior DEGFDN para a ensilagem pode ser uma estratégia para otimizar o desempenho animal (SOUSA et al., 2014). Nesse sentido, uma eventual redução na DEG FDN da cana *in natura* causada pelo Si poderia afetar negativamente o valor nutritivo das silagens? O uso de colmos livres de ponteiros e da palhada seria uma opção para diminuir o teor de FDN da forragem e da sílica presente em plantas adubadas com Si? As respostas para esses questionamentos ainda não são conhecidas.

3. OBJETIVOS

Avaliar o efeito da adubação foliar com silício em duas variedades de cana-de-açúcar sobre:

- As características produtivas da cana-planta e da primeira soca, bem como nas variáveis tecnológicas do caldo;
- O valor nutritivo da forragem *in natura*, armazenada em montes e ensilada;
- As perdas na forragem de cana armazenada em montes e ensilada.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Preparo da área experimental

A área utilizada estava situada na Unidade de Pesquisa em Nutrição de Gado de Leite - UPNGL, do Centro de Ciências de Chapadinha, da Universidade Federal do Maranhão, no município de Chapadinha, Mesorregião Leste do estado. O clima predominante é tropical, com inverno seco (Aw) segundo a classificação de Köppen-Geiger (PEEL et al., 2007). As chuvas se concentram nos meses de dezembro a junho. A precipitação pluviométrica média dos últimos três anos foi de 1.947 mm e a temperatura média anual é de 28,7° C, com máxima de 37° C e mínima de 23° C (INMET, 2022).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico (SANTOS et al., 2018). A análise química do solo na camada 0-20 cm apresentou os seguintes resultados: pH CaCl₂=4,1; M.O=15 g.kg⁻¹; P=3 mg.dm⁻³; K=0,1 cmolc.dm⁻³; Ca=0,4 cmolc.dm⁻³; Mg=0,3 cmolc.dm⁻³; Al=0,4 cmolc.dm⁻³; H+Al=3 cmolc.dm⁻³; SB=0,8 cmolc.dm⁻³; CTC=4 cmolc.dm⁻³; V=20 %; m=35 %; Ca=11 %; Mg=7 %; K=2 %. A análise química do solo na camada 20-40 cm apresentou os seguintes resultados: pH CaCl₂=3,9; M.O=11 g.kg⁻¹; P=2 mg.dm⁻³; K=0,04 cmolc.dm⁻³; Ca=0,3 cmolc.dm⁻³; Mg=0,2 cmolc.dm⁻³; Al=0,6 cmolc.dm⁻³; H+Al=3 cmolc.dm⁻³; SB=0,5 cmolc.dm⁻³; CTC=3 cmolc.dm⁻³; V=14 %; m=57 %; Ca=7 %; Mg=5 %; K=1 %. A gradagem do solo ocorreu em julho de 2019, seguida de arado de disco e grade niveladora para incorporar o calcário. Foram aplicadas 2.000 kg.ha⁻¹ de calcário dolomítico com PRNT 90, cuja necessidade foi determinada pelo método da elevação da saturação de bases (RIBEIRO et al., 1999).

4.2 Implantação do canavial e tratos culturais

Duas variedades de cana-de-açúcar foram utilizadas neste experimento: RB867515 e RB962962. Estes materiais são doativos da Usina Itajubara S/A Açúcar e Álcool (Coelho Neto-MA), realizados em maio de 2019. Para a multiplicação da cana-de-açúcar, foi utilizado o sistema de MPB, seguindo a metodologia desenvolvida pelo Centro de Cana do IAC (LANDELL et al., 2012). No processo de multiplicação da cana-de-açúcar por MPB, foram removidos pedaços de colmos maduros (rebolos) contendo gemas vivas e não danificadas, com cerca de 3 cm.

Cada rebolo foi inserido a 3,5 cm de profundidade em uma mistura homogênea de 50% de solo (Latosolo Amarelo distrófico – Lad, retirado da profundidade de 0-20 cm) e 50% de

esterco bovino curtido, contido em sacos de polietileno com dimensões de 12 x 20 cm e submetidos a regas diárias. As mudas tiveram suas folhas podadas aos 30 dias após o plantio (DAP) para favorecer maior desenvolvimento do sistema radicular (LANDELL et al., 2012). O transplântio para área experimental ocorreu em agosto de 2019, onde as mudas com 90 DAP foram distribuídas em covas de 30 cm com adubo aplicado no fundo das covas. Cada parcela tinha cinco linhas de 7 m, com espaçamento de 50 cm entre plantas e 1 m entre linhas. Ao todo foram usadas 70 mudas por parcela, que estavam separadas entre si por corredores de 3 m (Figura 1).

Na adubação de transplântio foram utilizados 366 kg.ha⁻¹ de superfosfato triplo (150 kg.ha⁻¹ de P₂O₅). Trinta dias após o transplântio (DAT), foi realizada a adubação de cobertura com 276 kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio (160 kg de K₂O) e 91 kg.ha⁻¹ de uréia (40 kg.ha⁻¹ de N) a fim de atender os requerimentos nutricionais para uma produtividade superior a 120 t.ha⁻¹ (RIBEIRO et al., 1999).

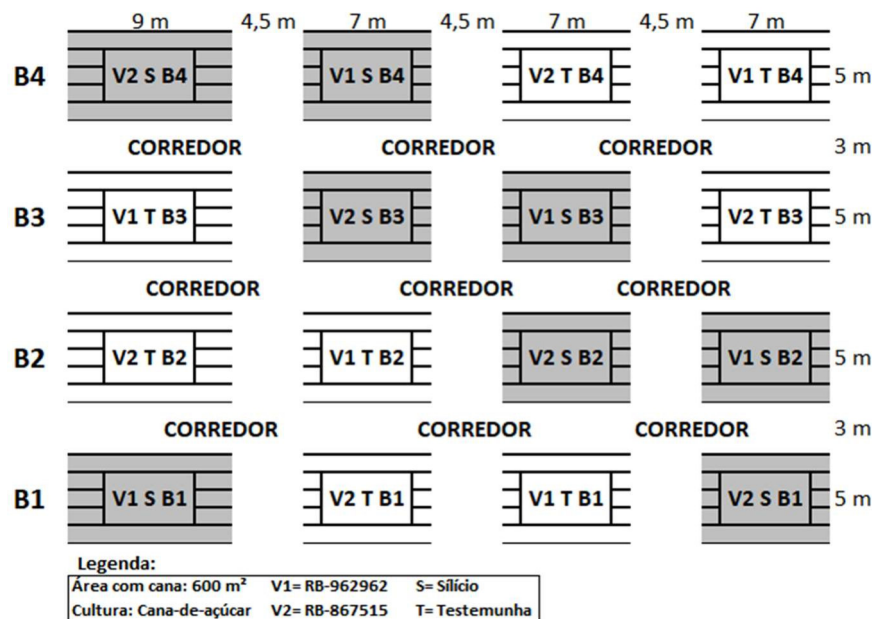


Figura 1. Croqui da área experimental.

4.3 Irrigação plena

A irrigação iniciou em agosto de 2019, após o transplântio das mudas. A lâmina de água foi calculada para atender a evapotranspiração da cultura (ET_c) até os 330 DAT, em irrigação plena. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada pela equação de Penman-Monteith/FAO (ALLEN et al., 1998) e a evapotranspiração da cultura (ET_c) foi estimada a partir da ET_o utilizando os coeficientes de cultivo (K_c) obtidos por Silva et al. (2012) e

definidos em função da idade da cana. A quantidade de irrigação total necessária (ITN) somando a ETc nos diferentes estádios fenológicos da cultura.

Foi utilizado um sistema de gotejamento superficial com pressão nominal de 10 mca, vazão nominal do emissor de 1,5 L/h⁻¹ e espaçamento de emissores de 30 cm. As lâminas diárias de irrigação foram determinadas com base na reposição da média diária da Eto da semana anterior, calculada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) com base em dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022).

As plantas receberam aproximadamente 1.409 mm de água via irrigação durante o período de agosto a dezembro de 2019, do estágio de perfilhamento até o estabelecimento do estande (Figura 2). Em seguida, o sistema de irrigação foi desligado entre janeiro e maio de 2020 devido à intensa precipitação pluviométrica, que totalizou 2.298 mm de água da chuva. Em julho de 2020 a irrigação foi desligada novamente para a maturação, e a colheita ocorreu em setembro de 2020. A lâmina bruta total estimada foi de 3.708 mm.

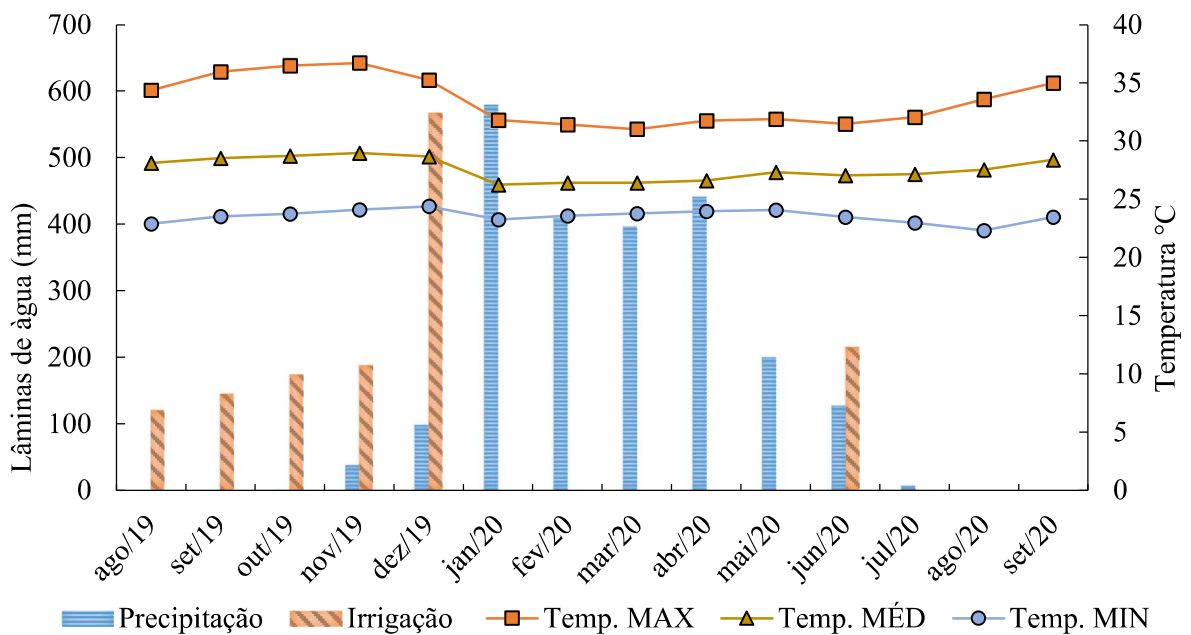


Figura 2. Precipitação pluviométrica e lâmina de irrigação plena; temperatura média, mínima e máxima durante 16 meses de desenvolvimento de duas variedades de cana-planta RB867515 (86) e RB962962 (96), cultivadas em Chapadinha-MA. Fonte: INMET, 2019-2020

A cana-soca recebeu via irrigação uma lâmina total de aproximadamente 1.759 mm, e de 1.733 mm via precipitação entre os meses de dezembro de 2020 e agosto de 2021, totalizando 3.492 mm (Figura 3).

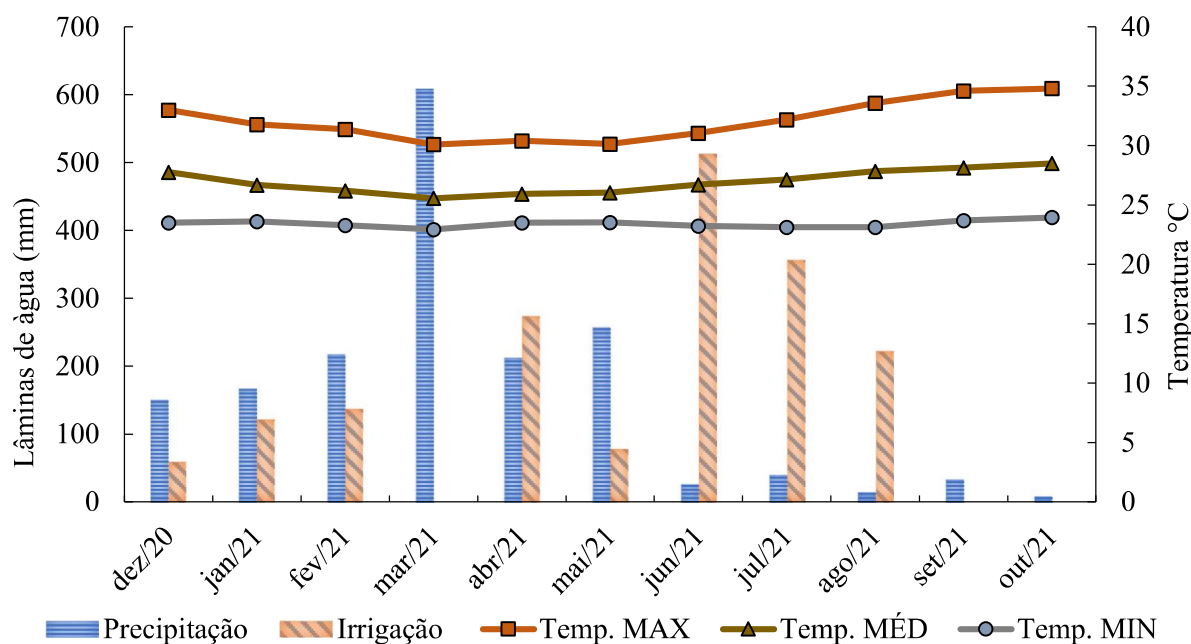


Figura 3. Precipitação pluviométrica e lâmina de irrigação plena; temperatura média, mínima e máxima em oito meses de cultivo de duas variedades de cana-soca RB867515 (86) e RB962962 (96) cultivadas em Chapadinha-MA. Fonte: INMET, 2020-2021.

4.4 Adubação foliar com silício

A AFSi foi aplicada aleatoriamente com um pulverizador costal em uma das duas parcelas de cada variedade em cada bloco, em outubro de 2019, após 64 dias do transplante. A fonte de Si utilizada foi uma solução de aminoácidos e silicato de sódio (Na_2SiO_3), com 4,6% de silício total e 3,7% de silício solúvel em água. A diluição final em água destilada para $170 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ continha $29,41 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ da solução com silicato de sódio. A aplicação foi realizada entre as 06:30 e 08:00 da manhã, com médias de temperatura, umidade e velocidade do vento de 24°C , 85% e 1,3 m/s, respectivamente.

A colheita da cana-de-açúcar ocorreu aos 16 meses do plantio, em setembro de 2020. A determinação dos teores de Si foi realizada em dois componentes da planta: colmos despontados e despalhados (SP) e colmos despalhados (CP), pelo método de espectrofotometria, com o uso de uma solução com Bissulfato de Sódio (NaHSO_3) (Laboratório de Fertilizantes da Universidade Federal de Uberlândia - UFU).

Em fevereiro de 2021, as plantas foram cortadas para induzir o rebrote e, após seis meses, receberam AFSi nas mesmas parcelas que haviam recebido anteriormente. A diluição e aplicação de Si seguiram os mesmos princípios adotados na cana-planta, com os teores de Si mensurados para SP e CP.

4.5 Avaliações morfológicas e de produtividade de colmos realizadas na colheita

As variáveis morfológicas da cana-planta foram mensuradas aos 480 DAP (16 meses), em setembro de 2020 (Anexo 1), em que quatro plantas foram sorteadas de cada linha central das 16 parcelas para as avaliações. O comprimento do colmo (Cco) foi mensurado utilizando-se uma trena graduada de 5m, para medir a distância da base do colmo até o colarinho da folha +1. O diâmetro do colmo (DCo) foi mensurado com o auxílio de um paquímetro digital, sendo a medição realizada no terço médio da planta. Para determinar a área foliar (AF), o número de folhas totalmente expandidas e com o mínimo de 20% de área verde foi contabilizado a partir da folha +1. Além disso, o comprimento e a largura da porção mediana da folha +3 também foram registrados. Esses procedimentos foram baseados em um método descrito por Hermann e Câmara em 1999. O número de entrenós (NE) no colmo foi contado logo após a colheita. O peso da planta e dos colmos foram mensurados utilizando uma balança digital portátil com capacidade para 50 quilos.

A produtividade de colmos da cana-de-açúcar foi obtida por meio de algumas medidas biométricas segundo equação descrita por Martins e Landell (1995):

$$TCH = D^2 \times C \times H \times (0,007854/E)$$

Onde:

TCH = toneladas de colmos por hectare;

D = diâmetro do colmo (cm);

C = número de colmos por metro linear;

H = comprimento médio de colmos (cm);

E = espaçamento entre sulcos (m);

Fator de Correção: 0,007854

Essa informação foi convertida para produtividade de MS de colmos (TMSC) e de sacarose aparente (TPH) por hectare, com base no percentual de MS e de sacarose aparente na cana (PC), respectivamente.

A cana-soca foi colhida aos oito meses, sendo empregadas as mesmas metodologias já descritas na colheita da cana-planta.

4.6 Avaliações tecnológicas do caldo em laboratório

Em agosto de 2020, foram sorteados 4 colmos de cada uma das 16 parcelas com cana-planta. Esses colmos foram analisados individualmente no laboratório da Usina Itajubara S/A

Açúcar e Álcool, situado no município de Coelho Neto, MA. O intervalo entre o corte e as análises foi de 12 h. Os colmos foram triturados em máquina picadora estacionária de forragem e homogeneizados manualmente. Posteriormente, 500 g do material triturado foram submetidos a uma pressão de 250 kgf por um minuto em uma prensa hidráulica, onde o bagaço úmido foi separado do caldo para a realização da pesagem.

A determinação do Brix ocorreu com um refratômetro de leitura digital e correção automática de temperatura de bancada. Cerca de 6 g de Octapol foram homogeneizados em 150 ml de caldo bruto para a sua clarificação, e em seguida as impurezas foram separadas do caldo em um funil com papel filtro. A quantidade de produto pode variar em função do teor de sacarose. A leitura sacarimétrica do caldo foi realizada em um sacarímetro digital, que serviu de base para estimar a sacarose aparente no caldo (%POL) e o POL na cana (PC). A pureza aparente do caldo foi definida como o percentual de POL em relação ao Brix. O teor de fibra da cana, de açúcares redutores do caldo (AR) e de açúcar total recuperável (ATR) foram calculados segundo metodologia descrita pelo manual do CONSECANA (2006).

4.7 Ensaio experimental de armazenamento da cana em montes

Plantas das variedades RB867515 e RB962962 foram cultivadas sem (SSi) e com AFSi (CSi) e colhidas aos 16 meses (cana-planta) em setembro de 2020. As plantas foram despalhadas manualmente e separadas em dois componentes: colmos despalhados e despontados (SP) e colmos despalhados conectados aos ponteiros (CP). O ponteiro compreende a copa foliar (folhas verdes e cartucho) que está situada acima do ponto natural de quebra.

Os colmos de cada tratamento foram agrupados em montes formados por cinco feixes de três colmos (repetições), que permaneceram armazenados em um galpão coberto e com ventilação natural durante 0, 2, 4, 6 e 8 dias, protegidos do sol (Anexo 2). Para evitar a separação entre os ponteiros e os colmos, as plantas do tratamento CP foram manuseadas com cautela.

Dois termo-higrômetros e um anemômetro foram instalados próximos aos montes, com os registros a cada 2 h, das 06:00 às 18:00 h, ao longo dos oito dias. A temperatura máxima, mínima e média foi de 36,4, 22,0 e 30,6 °C, respectivamente (Figura 4). A umidade máxima, mínima e média foi de 87,5, 28,0 e 55,1%, respectivamente (Figura 5). A velocidade média do vento registrada foi de 0,8 km/h (Figura 6).

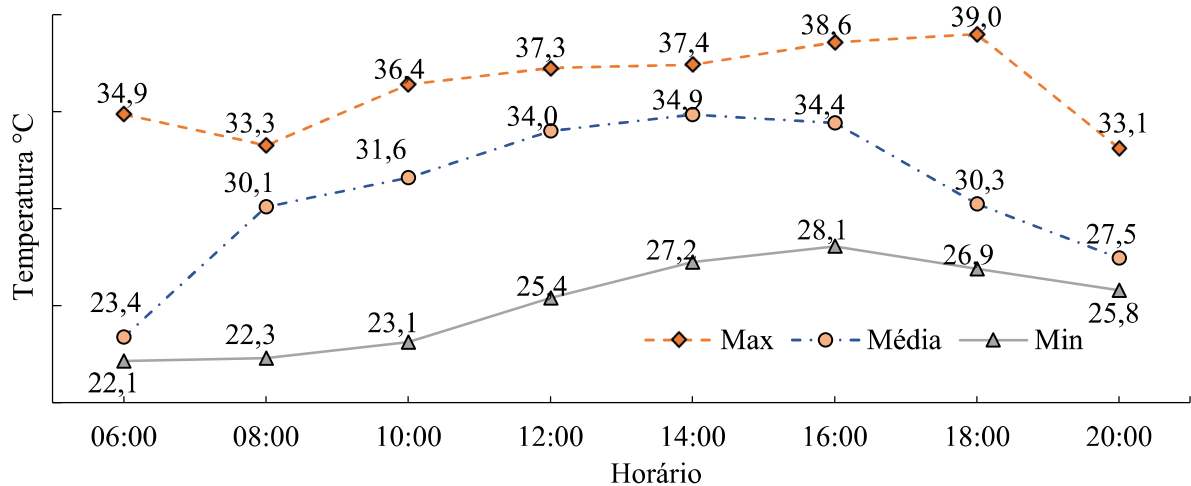


Figura 4. Temperaturas máximas, médias e mínimas em mensuradas em diferentes horários por oito dias durante o ensaio de armazenamento em montes da cana-de-açúcar em Chapadinha-MA, em um período quente e seco.

As perdas de matéria verde (PMV, kg) foram calculadas a partir da diferença entre o peso de cada repetição (três colmos) no dia da colheita e no encerramento de cada tempo de armazenamento em montes e convertidas para $\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$.

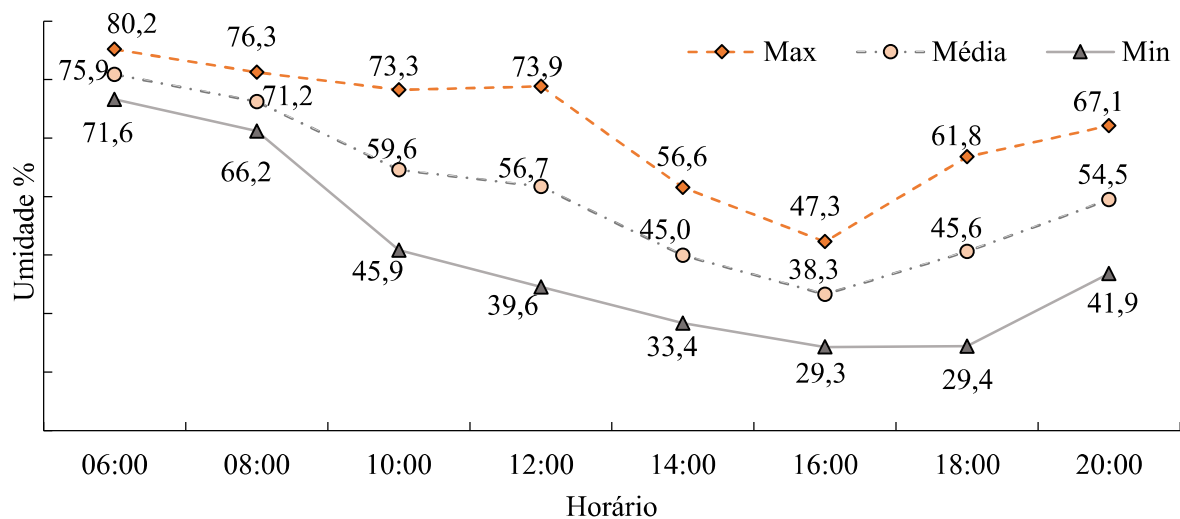


Figura 5. Média da umidade (%) máxima, média e mínima mensuradas em diferentes horários por oito dias durante o ensaio de armazenamento em montes da cana-de-açúcar em Chapadinha-MA, em um período quente e seco.

O teor de sólidos solúveis no caldo (Brix) foi obtido pela leitura do caldo em refratômetro óptico portátil, extraído do internódio central com coletor inox em cada um dos cinco tempos de armazenamento em montes. Os feixes (repetições) foram triturados em

máquina picadora de forragem, e uma amostra de 500 g foi coletada para as análises bromatológicas. As amostras foram armazenadas a -10°C em um freezer.

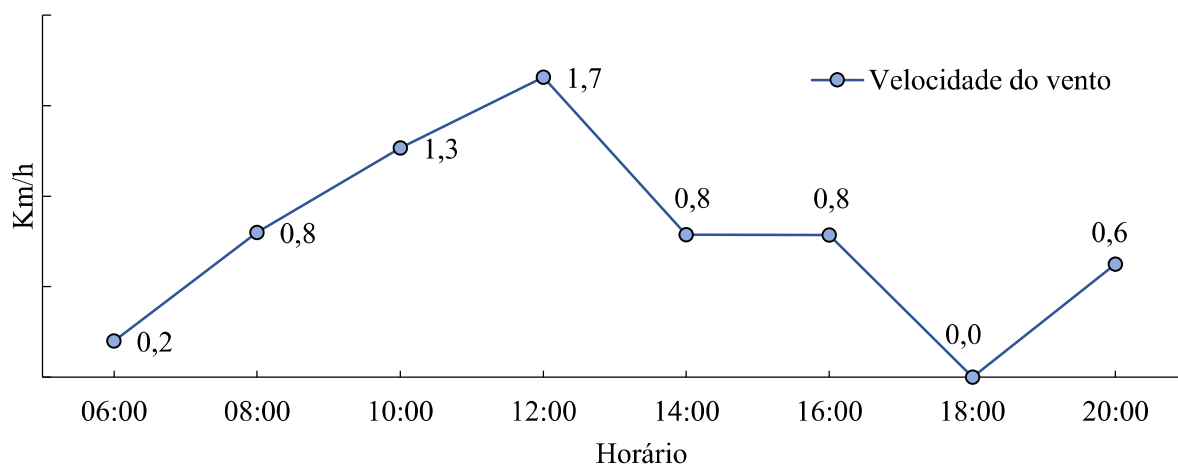


Figura 6. Velocidade média do vento (km/h) mensuradas em diferentes horários por oito dias durante o ensaio de armazenamento em montes da cana-de-açúcar em Chapadinha-MA, em um período quente e seco.

4.8 Ensaio experimental da ensilagem da cana

Plantas das variedades RB867515 e RB962962 foram cultivadas SSi e CSi e colhidas em setembro de 2020, aos 16 meses (cana-planta), para a confecção das silagens experimentais. Após o corte, foram despalhadas manualmente e separadas em dois componentes: colmos despalhados e despontados (SP) e colmos despalhados conectados aos ponteiros (CP).

Baldes de 5 L foram usados como mini-silos experimentais (Anexo 3). Foram preparados com 1,5 kg de areia peneirada no fundo, isolada por tecido de algodão e uma tela plástica de proteção para a colheita e quantificação de efluentes. As tampas foram equipadas com válvula do tipo Bunsen, para determinar a perda por gases produzidos pela fermentação.

Os colmos com e sem ponteiros das variedades foram triturados separadamente. A massa de forragem recebeu a pulverização de uma solução com aditivo microbiano, contendo *Lactobacillus buchneri* (CNCM I-4323) em aproximadamente $2,5 \times 10^{10}$ UFC/g de forragem fresca. A massa de forragem usada nos baldes foi calculada para causar densidade de aproximadamente 650 kg/m^3 e evitar espaços vazios na porção superior do mini-silo. Após a homogeneização, o enchimento e a compactação manuais, os mini-silos foram fechados e vedados com fita adesiva, e permaneceram protegidos do sol em um galpão coberto e sob

temperatura ambiente com circulação natural de ar.

Após 60 dias da ensilagem, os mini-silos foram pesados ainda fechados e também após remoção da massa de silagem para quantificar a perda por gás, por efluente e a recuperação de matéria seca. Em seguida, cerca de 500 g da porção central da massa de silagem foram utilizados para determinação do tamanho de partícula com peneiras Penn State seguindo o método descrito por Heinrichs & Jones (2013). Outros 500 g foram coletados e armazenados em um freezer a -10 °C. O índice de recuperação de matéria seca (%RMS), a perda por gases (%PG) e por efluentes (%PE) foram calculados seguindo a metodologia descrita por Jobim et al. (2007). Para mensurar o pH, 25 g de silagem fresca foram misturadas em 100 ml de água destilada e permaneceram em repouso por 1 hora, quando então foi realizada a leitura com um pHmetro digital previamente calibrado.

4.9 Procedimentos bromatológicos

As amostras foram pré-secas em estufa de circulação forçada de ar, a 55° C por 72 h. Para determinação das análises de degradabilidade ruminal *in situ*, as amostras secas ao ar foram moídas em moinho do tipo Thomas Willey com peneira com crivo de 5 mm, e de 1 mm para as análises bromatológicas. A determinação da MS, da FDN sem o uso de α -amilase e de sulfito de sódio, e da matéria orgânica (MO) seguiram os métodos INCT-CA G-003/1, INCT-CA F-002/1 e INCT-CA M-001/1, respectivamente, que são preconizados pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Ciência Animal (INCT-CA; DETMANN et al., 2012). A FDN das amostras *in natura* e do resíduo da incubação foi corrigida para a MO, obtendo assim a FDN na matéria orgânica (FDN_{mo}).

4.10 Degradabilidade ruminal *in situ* e fibra não degradada no rúmen (uFDN)

A utilização de animais para este trabalho foi aprovada pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA), processo nº 23115.006557/2021-86 (Anexo 4). Foram utilizadas três vacas da raça Girolando canuladas no rúmen, variando de 7/8 e 15/16 de proporção holandês com e peso vivo de 550 a 600 kg. Os animais passaram por um período de adaptação por 15 dias antes das incubações no rúmen, quando foram alimentados *ad libitum* com cana *in natura* e silagem de cana para as incubações de amostras do ensaio de armazenamento em montes e da silagem, respectivamente. Durante o período experimental, cada vaca foi alimentada diariamente com uma mistura de concentrados contendo 3 kg de milho, 2 kg de farelo de soja

e 200 g de suplemento mineral e vitamínico. A oferta de alimento foi dividida em duas partes iguais, sendo uma metade ofertada às 7:00h e a outra às 16:00h.

Foram inseridas 5 g de amostras pré-secas em sacos de tecido não tecido (TNT) de gramatura 100 (100 g/m²), com dimensões de 17 x 9 cm, em triplicata. Os sacos permaneceram no rúmen acompanhados de pesos de chumbo de 300 g em uma sacola de filó 100% poliéster conectada à cânula por um cordão de náilon de 20 cm. Foi utilizado o tempo de 24 h no rúmen para avaliar a degradabilidade ruminal *in situ* da matéria seca e da FDN na matéria orgânica (DEGMS e da FDN_{mo}), e de 288 h no rúmen para a FDN na matéria orgânica não degradada (uFDN_{mo}). Como foram colocados em ordem inversa, a remoção dos sacos para os dois tempos de incubação ocorreu no mesmo momento, quando foram imediatamente imersos em água com gelo por 30 minutos. Por fim, foram lavados manualmente até que o efluente resultante estivesse translúcido (10 rodadas de renovação de água).

Para determinar a MS do resíduo, os sacos lavados permaneceram em estufa com circulação forçada de ar a 55° C por 72 h. O cálculo da DEGMS e da FDN_{mo} consiste na proporção de MS e de FDN_{mo} desaparecida após 24 h no rúmen em relação à MS e a FDN_{mo} anteriores à incubação, respectivamente. O cálculo da uFDN_{mo} consiste na proporção da FDN_{mo} não degradada após 288 h no rúmen em relação à FDN_{mo} anterior à incubação.

4.11 Procedimentos estatísticos

A normalidade foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, a homocedasticidade pelo teste de Levene e a aditividade graficamente. Atendidos a estes pressupostos, os dados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($P < 0,05$), e as médias foram comparadas pelo teste SNK.

As variáveis agronômicas seguiram um delineamento em blocos ao acaso, com quatro blocos, em esquema fatorial. As características agronômicas e de qualidade tecnológica seguiram um fatorial 2 x 2: 2 AFSi (SSi e CSi) e 2 variedades (RB867515 e RB962962), com quatro repetições (plantas). Os teores de Si foram avaliados seguindo um esquema fatorial 2 x 2 x 2: dois componentes da planta (CP e SP), AFSi (SSi e CSi) e duas variedades de cana-de-açúcar (RB867515 e RB962962).

Para o ensaio de armazenamento da cana em montes e de ensilagem da cana foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado. No primeiro ensaio, foi empregado um esquema de parcela subdividida no tempo, com cinco repetições agrupadas em montes. Nesse

caso, a parcela principal consistiu do tratamento de AFSi (SSi e CSi), enquanto as subparcelas foram os tempos de armazenamento em montes (0, 2, 4, 6 e 8 dias). A análise dos fatores e da interação foi realizada separadamente entre as duas variedades. O valor nutritivo da cana *in natura* (tempo zero) das variedades em ambos os processamentos foi avaliado isoladamente em um esquema fatorial 2 x 2: 2 variedades (RB867515 e RB962962) e 2 AFSi (SSi e CSi).

No ensaio de ensilagem, a composição química e as medidas de perdas da silagem seguiram um esquema de parcela subdividida, sendo os tratamentos de AFSi (SSi e CSi) a parcela principal, e os componentes da planta (CP e SP) a subparcela, com quatro repetições.

O estudo da DEG seguiu um delineamento em blocos ao acaso, com as três vacas como os três blocos (repetições) em dois tempos de incubação (24 e 288 h). No ensaio de armazenamento em montes, utilizou-se um esquema de parcela subdividida no tempo. A parcela principal representava o tratamento de AFSi, enquanto a subparcela correspondia ao tempo de armazenamento em montes (0, 4 e 8 dias). Neste conjunto de dados, não se considerou o fator variedade, e as DEG das mesmas foram combinadas nos dois tempos de incubação. Para avaliar a DEG da silagem, empregou-se um esquema fatorial 2 × 2: dois tratamentos AFSi (SSi e CSi) e dois componentes da planta (CP e SP). Todas essas análises foram conduzidas utilizando o software estatístico R (R CORE TEAM, 2022) com o pacote Easyanova (ARNHOLD, 2013).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Ensaio agrônomico

Os resultados indicaram que a AFSi teve um efeito positivo significativo no comprimento da planta e do colmo na variedade RB962962 ($P=0,01$ e $P=0,002$, respectivamente), mas não na RB867515 (Tabela 1). Por outro lado, a RB867515 demonstrou um diâmetro de colmo maior, independentemente da AFSi ($P=0,001$). A AFSi também influenciou o número de entrenós nas plantas, aumentando-o na variedade RB962962 ($P=0,001$) e diminuindo-o na RB867515.

Não foram observados efeitos significativos da AFSi na área foliar e no número de folhas verdes. A variedade RB962962 apresentou maior número de folhas verdes ($P<0,001$) sem afetar a área foliar.

Tabela 1. Características agrônomicas e produtividade de duas variedades (Var) de cana-planta cultivadas sem (SSi) ou com (CSi) adubação foliar com Si (AFSi) e colhidas aos 16 meses.

Variáveis	RB867515		RB962962		EPM ¹¹	Valor de P		
	SSi	CSi	SSi	CSi		AFSi	Var	A*V
Cco ¹ , m	3,8 ^{Aa}	3,7 ^{Aa}	3,4 ^{Bb}	3,8 ^{Aa}	0,11	0,277	0,107	0,017
Dco ² , mm	25,4	24,4	22,5	23,4	0,41	0,921	0,001	0,119
NE ³	32,5 ^{Aa}	29,6 ^{Bb}	31,0 ^{Ba}	34,5 ^{Aa}	0,66	0,700	0,072	0,001
NFV ⁴	6,3	6,2	6,9	7,7	0,22	0,191	<0,001	0,132
AF ⁵ , m ²	0,5	0,5	0,5	0,5	0,03	0,531	0,415	0,541
Pco ⁶ , kg	1,8 ^{Aa}	1,8 ^{Aa}	1,4 ^{Bb}	1,8 ^{Aa}	0,07	0,142	0,038	0,052
PP ⁷ , kg	2,0 ^{Aa}	2,0 ^{Aa}	1,6 ^{Bb}	2,0 ^{Aa}	0,11	0,174	0,086	0,043
TCH ⁸ , t.ha ⁻¹	156,3 ^{Aa}	133,1 ^{Aa}	124,9 ^{Ba}	168,2 ^{Aa}	13,12	0,442	0,890	0,013
TMSH ⁹ , t.ha ⁻¹	48,7 ^{Aa}	35,3 ^{Bb}	35,9 ^{Bb}	48,3 ^{Aa}	4,14	0,909	0,978	0,003
TPH ¹⁰ , t.ha ⁻¹	25,0 ^{Aa}	20,3 ^{Ba}	13,9 ^{Ab}	16,4 ^{Aa}	1,56	0,482	<0,001	0,027

Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas (Adubação) e minúsculas (Variedades) diferem entre si ($P<0,05$).

¹Cco: comprimento do colmo; ²Dco: diâmetro do colmo; ³NE: número de entrenós; ⁴NFV: número de folhas verdes; ⁵AF: área foliar; ⁶Pco: peso do colmo; ⁷PP: peso da planta; ⁸TCH: Toneladas de colmos; ⁹TMSH: Toneladas de matéria seca de colmos; ¹⁰TPH: Toneladas de POL. ¹¹EPM: Erro padrão da média.

Como resultado, a variedade RB962962 CSi apresentou colmos mais pesados, considerando significativo o efeito da interação no peso do colmo ($P=0,052$). O peso das plantas ($P=0,043$) da RB962962 CSi refletiu o efeito observado no peso do colmo, o que sugere que o aumento no peso do colmo causou o aumento de peso das plantas da variedade RB962962. Isso indica que a AFSi teve um impacto positivo na variedade RB962962 em termos de crescimento e desenvolvimento.

As modificações estruturais decorrentes da aplicação de Si na variedade RB962962, como aumento do comprimento e do peso dos colmos, resultaram em ganho de produtividade de colmos da ordem de 43,3 t.ha⁻¹ (P=0,013). A variedade RB962962 apresentou TMSH superior à RB867515 somente quando ambas receberam AFSi. Dessa forma, a AFSi na variedade RB962962 favoreceu um ganho de 34,5% na produtividade de matéria seca de colmos (P=0,003), mas causou uma perda de 38% para a RB867515. A variedade RB867515, que naturalmente apresentou maior TPH, diminuiu em cerca de 18% quando foi tratada com AFSi, igualando-se a RB962962 (P=0,027).

A AFSi aumentou em 22% o teor de silício na cana-planta (P=0,04) (Tabela 2). Embora não tenha havido diferença na acumulação de Si entre as variedades avaliadas (P=0,656), a variedade RB962962 apresentou mudanças estruturais importantes devido a AFSi, tais como o aumento do comprimento da planta e do colmo, resultando em um maior peso da planta e, conseqüentemente, em uma maior produtividade de colmos e de matéria seca. Estes resultados sugerem que a variedade RB962962 foi mais responsiva ao incremento deste elemento nos tecidos. Além disso, a associação dos ponteiros junto aos colmos resultou em um aumento de 29% no teor de Si na matéria seca em comparação aos colmos despontados (P=0,012), alcançando até 0,22% da matéria seca dos colmos com ponteiros.

O déficit hídrico é um dos principais limitantes da produtividade de canaviais (BASNAYAKE et al., 2012). As variedades de cana-planta neste experimento não tiveram como um dos tratamentos o déficit hídrico e, mesmo assim, a AFSi realizada na variedade RB962962 aos 5 meses após o plantio das mudas aumentou a produtividade na colheita aos 16 meses. O Si está relacionado ao aumento da eficiência no uso de nutrientes na cana-de-açúcar, o que pode resultar em efeitos benéficos mesmo em plantas com adequado regime hídrico (COSTA et al. 2023).

Os mecanismos fisiológicos responsáveis por esse efeito benéfico foram avaliados em um trabalho recente, em que a AFSi realizada quatro meses após o plantio, durante a fase de formação dos colmos, estimulou o desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar, mesmo sem a ocorrência de estresse hídrico. Esse tratamento favoreceu o aumento da clorofila total e de carotenóides nas folhas da cana, aumentando a quantidade de pigmentos fotossintéticos. Além disso, estimulou a síntese de fenóis, que são compostos do metabolismo secundário que estimulam o aparato antioxidante. A combinação dos efeitos benéficos a nível metabólico e estrutural promovidos pela AFSi aumentou a altura dos colmos e o número de perfilhos,

resultando em uma produtividade 16% superior aos seis meses do plantio, dois meses após a aplicação (SILVA et al., 2023). Diante destes resultados, é possível que os mecanismos de ação estimulados pela AFSi em nosso experimento possivelmente ocorreram em maior intensidade na variedade RB962962 pouco depois da aplicação, e essa vantagem em relação à produtividade manteve-se até o momento da colheita, aos 16 meses. A observação de um efeito benéfico da AFSi na cana em condições de campo após mais de 10 meses da aplicação foliar é um resultado relativamente raro na literatura.

Tabela 2. Teores de Si na matéria seca de componentes (Comp) de duas variedades (Var) de cana-planta cultivadas sem (SSi) e com (CSi) adubação foliar com Si (AFSi) e colhidas aos 16 meses.

Componentes	Variedades	Si %MS		EPM ³	Valor de P ⁴		
		SSi	CSi		AFSi	Comp	Var
CP ¹	RB867515	0,20	0,25	0,01	0,040	0,012	0,657
	RB962962	0,21	0,23				
SP ²	RB867515	0,16	0,16				
	RB962962	0,15	0,22				

¹CP: colmos despalhados e com ponteiros; ²SP: colmos despalhados e despontados; ³EPM: Erro padrão da média. Valores de P: Adub*Var: P=0,5606, Adub*Comp: P=0,9179, Var*Comp: P=0,5159, Adub*Comp*Var: P=0,1879.

Na cana-soca da variedade RB962962, o comprimento da planta se equiparou ao da variedade RB867515 apenas sob o tratamento de AFSi (P=0,02) (Tabela 3). O comprimento do colmo da variedade RB867515 foi 9% menor no tratamento com AFSi (P=0,007), o que contribuiu para uma redução do número de entrenós (P=0,037). O diâmetro do colmo da variedade RB962962 foi favorecido pela AFSi, com isso igualou-se ao da RB867515 (P=0,029).

A AFSi aumentou o número de folhas verdes na variedade RB962962, tornando-a superior à RB867515 (P=0,018). A área foliar foi maior no tratamento com Si (P=0,034), onde também foi detectada uma tendência de interação entre variedade e AFSi (P<0,10).

Não foi detectado efeito de AFSi ou de variedade sobre o Brix, mas houve uma tendência para superioridade da variedade RB867515 (P<0,10). A relação entre o comprimento e o diâmetro dos colmos são fatores determinantes da produtividade do canavial. Ao diminuir o comprimento dos colmos da variedade RB867515 em 9%, a AFSi prejudicou a produtividade de colmos. Já a RB962962 apresentou um aumento de 5% no diâmetro dos colmos, aumentando a sua produtividade em 26% (P=0,001). A variedade RB867515, que sem

AFSi foi 35% mais produtiva, igualou-se à RB962962 após 21% de redução com a AFSi.

Tabela 3. Características agrônômicas e produtividade de duas variedades (Var) de cana-soca cultivadas sem (SSi) e com (CSi) adubação foliar com Si (AFSi) e colhidas aos 8 meses.

Variáveis	RB867515		RB962962		EPM ¹⁰	Valor de P		
	SSi	CSi	SSi	CSi		AFSi	Var	A*V
Cco ¹ , m	2,4 ^{Aa}	2,2 ^{Bb}	2,3 ^{Aa}	2,3 ^{Aa}	0,46	0,061	0,484	0,007
Dco ² , mm	26,0 ^{Aa}	24,6 ^{Aa}	23,5 ^{Ab}	24,6 ^{Aa}	0,56	0,791	0,029	0,029
NE ³	20,3	18,0	20,8	21,0	0,40	0,003	<0,001	0,426
NFV ⁴	8,2 ^{Aa}	7,8 ^{Ab}	8,0 ^{Ba}	9,3 ^{Aa}	0,36	0,234	0,062	0,018
AF ⁵ , m ²	0,6	0,6	0,6	0,7	0,33	0,034	0,312	0,096
Brix ⁶ , %	17,3	16,4	15,8	16,2	0,29	0,559	0,059	0,160
Pco ⁷ , kg	1,3 ^{Aa}	1,1 ^{Ba}	1,1 ^{Ab}	1,3 ^{Aa}	0,06	0,593	0,546	0,003
PP ⁸ , kg	1,6	1,4	1,6	1,4	0,08	0,718	0,994	0,066
TCH ⁹ , t.ha ⁻¹	101,9 ^{Aa}	80,3 ^{Ba}	75,3 ^{Bb}	95,1 ^{Aa}	6,05	0,884	0,334	0,001

Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas (Adubação) e minúsculas (Variedades) diferem entre si (P<0,05).

¹Cco: comprimento do colmo; ²Dco: diâmetro do colmo; ³NE: número de entrenós; ⁴NFV: número de folhas verdes; ⁵AF: área foliar; ⁶BRX: sólidos solúveis no caldo; ⁷Pco: Peso do colmo; ⁸PP: Peso da planta; ⁹TCH: Toneladas de colmos; ¹⁰EPM: Erro padrão da média.

Com relação a qualidade tecnológica, a AFSi não afetou o peso do bagaço úmido, o teor de fibra e de umidade, mas houve tendência para um maior PBU e teor de fibra, e menor teor de umidade nas plantas com Si (P<0,10) (Tabela 4). A variedade RB867515 apresentou menor PBU e teor de fibra (P<0,001). Quanto aos parâmetros qualitativos do caldo, a AFSi diminuiu em 0,5 pontos percentuais (p.p.) o brix, 1,1 p.p. o pol no caldo, 1,2 p.p o pol da cana, 3,5 p.p na pureza do caldo e 9,6 kg.t⁻¹ dos ATR. A variedade RB867515 foi superior nas variáveis brix, pol, PC, pureza e ATR.

O teor de açúcares redutores da cana-planta da variedade RB962962 foi cerca de 83% maior, independente da AFSi (P<0,001). A quantidade total de açúcares recuperáveis engloba um conjunto de variáveis qualitativas e é um dos principais fatores para determinar o preço pago por tonelada de colmos. A variedade RB867515 apresentou uma recuperação total de açúcares 39% maior, o que equivale a aproximadamente 43 kg.t⁻¹ (P<0,001). No entanto, a AFSi prejudicou a recuperação total de açúcar em 7% nas duas variedades (P=0,011).

Tabela 4. Qualidade tecnológica de duas variedades (Var) de cana-planta cultivadas sem (SSi) e com (CSi) adubação foliar com Si (AFSi) e colhidas aos 16 meses.

Variáveis	RB867515		RB962962		EPM ⁷	Valor de P		
	SSi	CSi	SSi	CSi		AFSi	Var	A*V
PBU ¹ , g	140,6	139,4	156,3	150,3	1,45	0,087	<0,001	0,259
FIBRA, %	13,3	13,2	14,7	14,2	0,13	0,086	<0,001	0,258
UMIDADE, %	66,1	66,8	66,8	68,9	0,51	0,052	0,063	0,317
BRUX ² , %	20,6	20,0	18,5	18,1	0,17	0,038	<0,001	0,847
POL ³ , %	18,3	17,5	14,7	13,3	0,26	0,007	<0,001	0,393
PC ⁴ , %	16,2	15,4	11,3	9,8	0,32	0,010	<0,001	0,386
PUREZA, %	88,7	87,7	79,3	75,3	0,79	0,030	<0,001	0,193
AR ⁵ , %	0,6	0,6	1,0	1,1	0,33	0,488	<0,001	0,650
ATR ⁶ , t.ha ⁻¹	157,6	150,7	117,0	104,8	2,59	0,011	<0,001	0,467

¹PBU: Peso do bagaço úmido; ²BRUX - teor de sólidos solúveis no caldo; ³POL - teor de sacarose aparente do caldo; ⁴PC - pol da cana; ⁵AR - açúcares redutores da cana; ⁶ATR - açúcar total recuperável da cana; ⁷EPM: Erro padrão da média.

5.2 Ensaio experimental de armazenamento da cana em montes

O valor nutritivo dos colmos *in natura*, com e sem ponteiros, foi avaliado nas tabelas 5 e 6, respectivamente. A AFSi não afetou os teores de MS dos colmos com ponteiros, mantendo médias em torno de 30% (Tabela 5). A variedade RB867515 demonstrou uma maior DEGMS24h, atingindo cerca de 60% tanto com quanto sem a aplicação de AFSi, o que valida a escolha desta variedade devido à sua degradabilidade superior. Já as plantas da variedade RB962962 CSi apresentaram um teor de FDNmo 18% maior (39%) e uma DEGMS24h 8% menor (52%) em comparação com as sem AFSi. No que diz respeito à fração uFDNmo, a AFSi estimulou uma redução em ambas as variedades, o que é positivo. Esses resultados parecem ser consequência de modificações estruturais necessárias para suportar o aumento de 35% na TCH (toneladas de cana por hectare) devido à aplicação de AFSi, incluindo um aumento de 12% no comprimento e de 30% no peso dos colmos na variedade RB962962 (Tabela 1).

Tabela 5. Valor nutritivo de colmos com ponteiros e despalhados de duas variedades (VAR) de cana-planta cultivadas sem (SSi) ou com (CSi) adubação foliar com Si (AFSi).

Variáveis	RB867515		RB962962		EPM ³	Valor de P		
	SSi	CSi	SSi	CSi		VAR	AFSi	V*A
MS, %	31,7	29,7	30,0	29,9	0,402	0,207	0,097	0,107
MO ¹	98,6 ^{Bb}	99,0 ^{Aa}	98,9 ^{Aa}	98,5 ^{Bb}	0,084	0,197	0,524	<0,001
FDNmo ¹	33,2 ^{Aa}	32,2 ^{Ab}	33,0 ^{Ba}	39,0 ^{Aa}	1,634	0,061	0,146	0,048
DEGMS24h ¹	60,0 ^{Aa}	60,4 ^{Aa}	56,5 ^{Ab}	52,1 ^{Bb}	0,457	<0,001	0,005	0,002
uFDNmo 288h ²	65,6	61,2	69,7	62,9	1,447	0,089	0,008	0,442

Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas (AFSi) e minúsculas (Variedades) diferem entre si (P<0,05).
¹%MS; ²%FDNmo; ³EPM: Erro padrão da média.

O efeito da AFSi sobre o teor de MS, MO e FDNmo dos colmos *in natura* varia de acordo com a variedade, conforme demonstrado na Tabela 6. Na variedade RB867515 CSi, observou-se um aumento de 11% no teor de MS devido à AFSi, enquanto as outras variáveis não foram afetadas pela aplicação. Além disso, esta variedade apresentou os colmos com o mais alto teor de FDNmo e o menor teor de uFDNmo288h, com valores de 25% e 72%, respectivamente. Por outro lado, nos colmos da variedade RB962962, a AFSi resultou em uma pequena redução nos teores de MO e em um aumento de 14% na DEGMS24h.

É interessante notar que a alteração na degradabilidade dos colmos não foi acompanhada por um efeito significativo sobre o teor de FDNmo. Adicionalmente, a variedade RB962962 exibiu colmos com um teor de FDNmo 40% maior (9 p.p) em comparação com a variedade RB867515. Curiosamente, a variedade com o maior teor de FDNmo também apresentou um menor teor de uFDNmo288h. No entanto, é importante destacar que cerca de 70% da FDNmo dos colmos não foi degradada após 12 dias no rúmen.

A variedade RB867515 apresentou menor teor de FDNmo nos colmos em torno de 25%. Durante o processo de maturação, naturalmente ocorre uma diminuição da concentração de FDN em prol da acumulação de açúcar (DANIEL et al., 2013c; TEIXEIRA et al., 2014). Assim, essa variedade pode ter expressado menor teor de FDN devido a sua elevada proporção de carboidratos solúveis na matéria seca, tendo produtividade de sacarose 50% superior à RB962962 (Tabela 1).

Nos colmos da RB962962, a AFSi não afetou o teor de FDN, porém, resultou em um aumento na DEGMS24h sem afetar a proporção de uFDNmo na FDNmo. É importante notar que a DEGFND exerce uma influência maior negativa sobre a DEGMS que a fração de FDN indigestível (DANIEL et al., 2013c). Assim, é possível que a influência da AFSi na

DEGMS24h esteja associada a um efeito benéfico nas frações de fibra de degradação rápida (DEGFDN24h) dessa variedade.

Tabela 6. Valor nutritivo de colmos despontados e despalhados de duas variedades (VAR) de cana-planta cultivadas sem (SSi) ou com (CSi) adubação foliar com Si (AFSi).

Variáveis	RB867515		RB962962		EPM ³	Valor de P		
	SSi	CSi	SSi	CSi		VAR	AFSi	V*A
MS, %	28,5 ^{Ba}	31,7 ^{Aa}	29,8 ^{Aa}	29,7 ^{Ab}	0,523	0,524	0,010	0,005
MO ¹	99,0 ^{Ab}	99,1 ^{Aa}	99,2 ^{Aa}	98,9 ^{Bb}	0,056	0,916	0,572	0,005
FDNmo ¹	23,8	26,4	36,8	32,5	2,227	<0,001	0,702	0,122
DEGMS24h ¹	63,9 ^{Aa}	63,2 ^{Aa}	51,0 ^{Bb}	58,1 ^{Ab}	0,365	<0,001	<0,001	<0,001
uFDNmo288h ²	70,6	73,9	67,8	68,2	1,859	0,063	0,358	0,459

Médias seguidas de letras diferentes maiúsculas (AFSi) e minúsculas (Variedades) diferem entre si (P<0,05).

¹%MS; ²%FDNmo; ³EPM: Erro padrão da média.

Com relação ao armazenamento em montes, a AFSi desacelerou o aumento do teor de matéria seca da variedade RB867515 com os ponteiros no 6° dia (Figura 7). Isso sugere que as modificações metabólicas com a AFSi podem ter reduzido a evapotranspiração pelas folhas após o corte. A estabilidade dos teores de MS é uma característica desejável porque está associada a menores flutuações de temperatura nos colmos ao longo dos dias de armazenamento, contribuindo para uma menor atividade de enzimas que realizam a inversão da sacarose (LONTOM et al., 2009). A AFSi aumentou o teor de matéria orgânica na cana *in natura* CP dessa variedade. No 8° dia, as plantas com AFSi dos montes armazenados com os ponteiros apresentaram menor FDNmo.

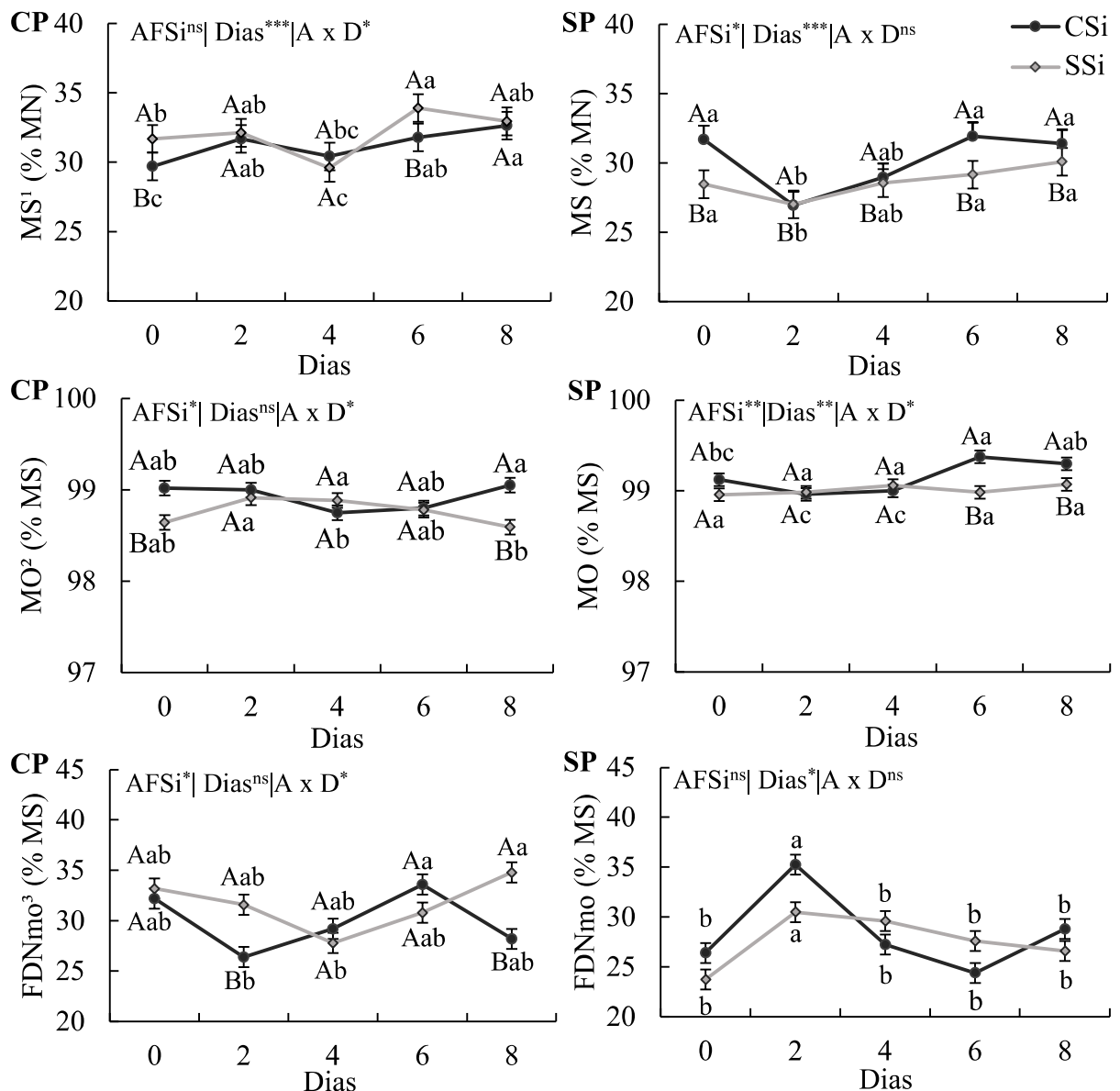


Figura 7. Composição química a cada dois dias após a colheita de colmos despalhados de cana-planta da variedade RB867515, cultivada com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi), armazenados em montes por oito dias com (CP) e sem os ponteiros (SP).

¹MS: Matéria seca; ²MO: matéria orgânica; ³FDN^{mo}: fibra em detergente neutro na matéria orgânica. ***, **, e *: significativa a 0,1, 1 e 5% de probabilidade; ns: não significativo pelo teste F. Letras minúsculas diferentes entre os dias de armazenamento em montes (Tempo) diferem pelo teste SNK, e maiúsculas entre as adubações (AFSi) diferem pelo teste F. As barras representam o erro padrão da média.

A AFSi não afetou a estabilidade dos teores de MS da variedade RB962962 armazenada em montes com os ponteiros, havendo no oitavo dia de armazenamento em montes um aumento do teor de MS (Figura 8). Já no armazenamento em montes sem os ponteiros, a desidratação foi

um pouco menor em plantas tratadas com AFSi, no 6° e no 8° dia.

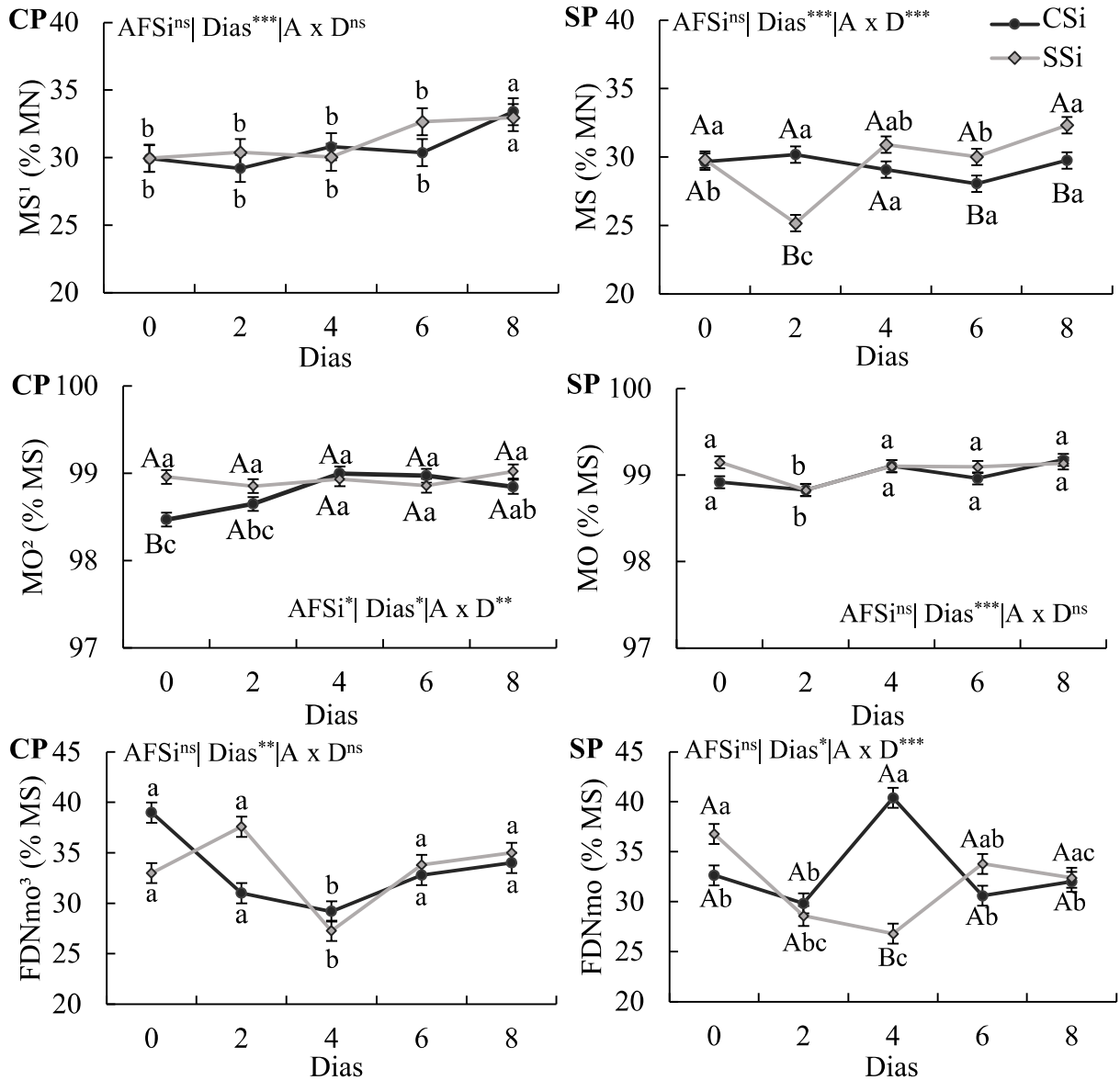


Figura 8. Composição química a cada dois dias após a colheita de colmos despalhados de cana-planta da variedade RB962962, cultivada com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi), armazenados em montes por oito dias com (CP) e sem os ponteiros (SP).

¹MS: Matéria seca; ²MO: matéria orgânica; ³FDNmo: fibra em detergente neutro na matéria orgânica. ***, **, e *: significante a 0,1, 1 e 5% de probabilidade; ns: não significativo pelo teste F. Letras minúsculas diferentes entre os dias de armazenamento em montes (Tempo) diferem pelo teste SNK, e maiúsculas entre as adubações (AFSi) diferem pelo teste F. As barras representam o erro padrão da média.

A AFSi foi benéfica para a estabilidade do brix na variedade RB867515 armazenada em montes com os ponteiros. O aumento no brix em relação à cana *in natura* ocorreu somente no oitavo dia, enquanto o tratamento sem AFSi manifestou esse efeito quatro dias antes (Figura 9-

A). Esse aumento do brix na variedade RB867515 parece estar relacionado à continuidade do processo de maturação da cana após a colheita, pois o aumento do brix ocorreu antes do 4º dia de armazenamento, quando não foi observado qualquer aumento do teor de MS. Comportamento semelhante foi observado em outro estudo com canas armazenadas em montes, onde a maturação três dias após o corte propiciou aumento do brix em canas mantidas sob temperatura média de 30° C (KRISHNAKUMAR et al., 2013). Isso tornaria a AFSi um fator facilitador para a maturação da variedade RB867515 após poucos dias do corte, embora sejam necessárias avaliações mais específicas para validar esse efeito. Nessa variedade, o armazenamento sem os ponteiros a estabilidade do brix até o oitavo dia de armazenamento, o que valida a hipótese proposta para este ensaio (Figura 9-B).

Na variedade RB962962, a AFSi não afetou o brix durante os 8 dias de armazenamento em montes, diferentemente da RB867515 (Figura 9-C). Nesse contexto, o armazenamento dos colmos com ponteiros antecipou o aumento da concentração de brix em até dois dias, quando comparados aos colmos despontados (Figura 9-D).

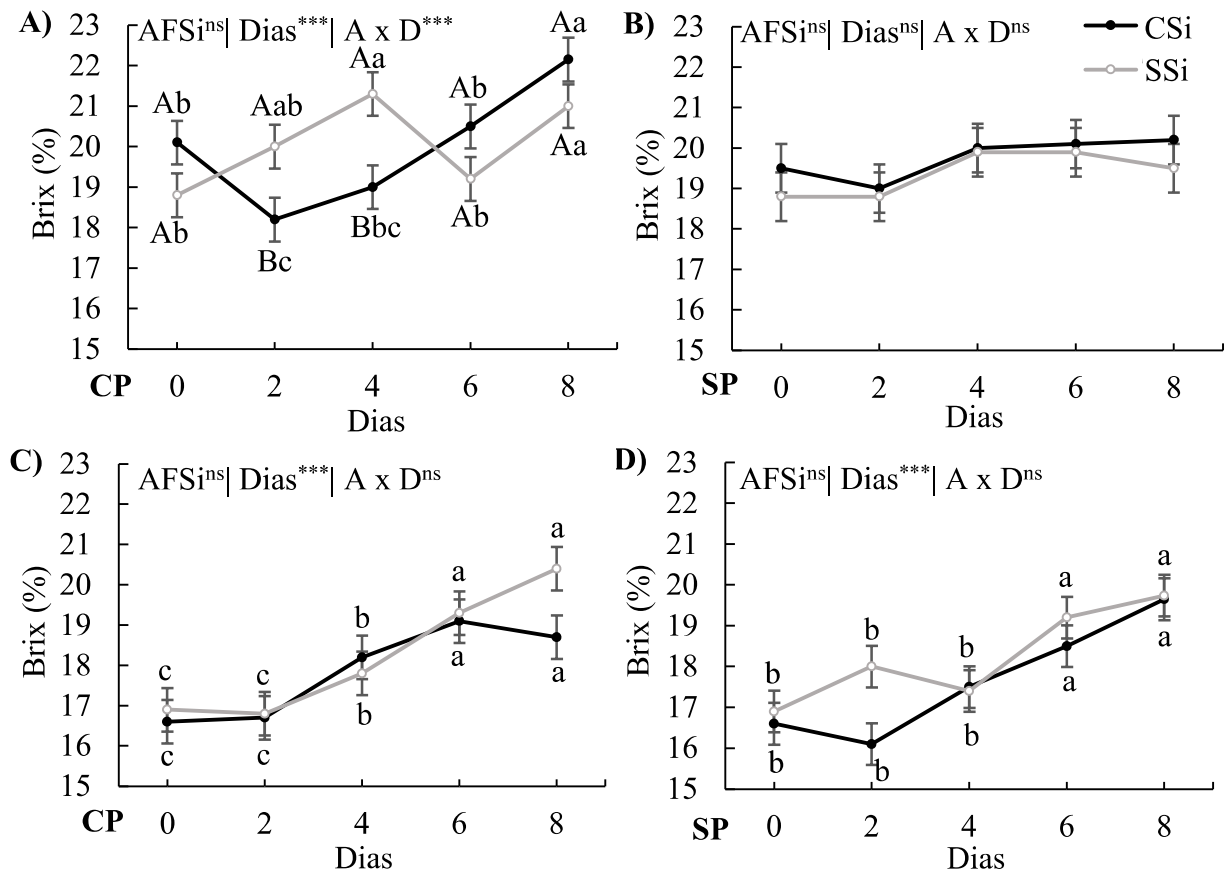


Figura 9. Teor de sólidos solúveis totais (Brix) a cada dois dias após a colheita de colmos despalhados de duas variedades de cana-de-açúcar, cultivadas com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi), armazenados em montes por oito dias com (CP) e sem os ponteiros (SP). A: RB867515 com ponteiros; B: RB867515 sem ponteiros; C: RB962962 com ponteiros; D: RB962962 sem ponteiros. ***, **, e *: significante a 0,1, 1 e 5% de probabilidade; ns: não significativo pelo teste F. Letras minúsculas diferentes entre os dias de armazenamento em montes diferem pelo teste SNK, e maiúsculas entre as AFSi diferem pelo teste F. As barras representam o erro padrão da média.

A AFSi teve efeito positivo na redução das PMV da variedade RB867515 armazenada em montes com os ponteiros, em que após dois dias do corte a PMV foi até 40% menor (Figura 10). Também houve efeito benéfico no armazenamento em montes sem os ponteiros, onde as plantas tratadas com AFSi perderam em média 14% menos peso durante os oito dias de avaliação. No entanto, a PMV aumentou gradualmente até o 6º dia, independentemente da AFSi ou do armazenamento com ou sem os ponteiros.

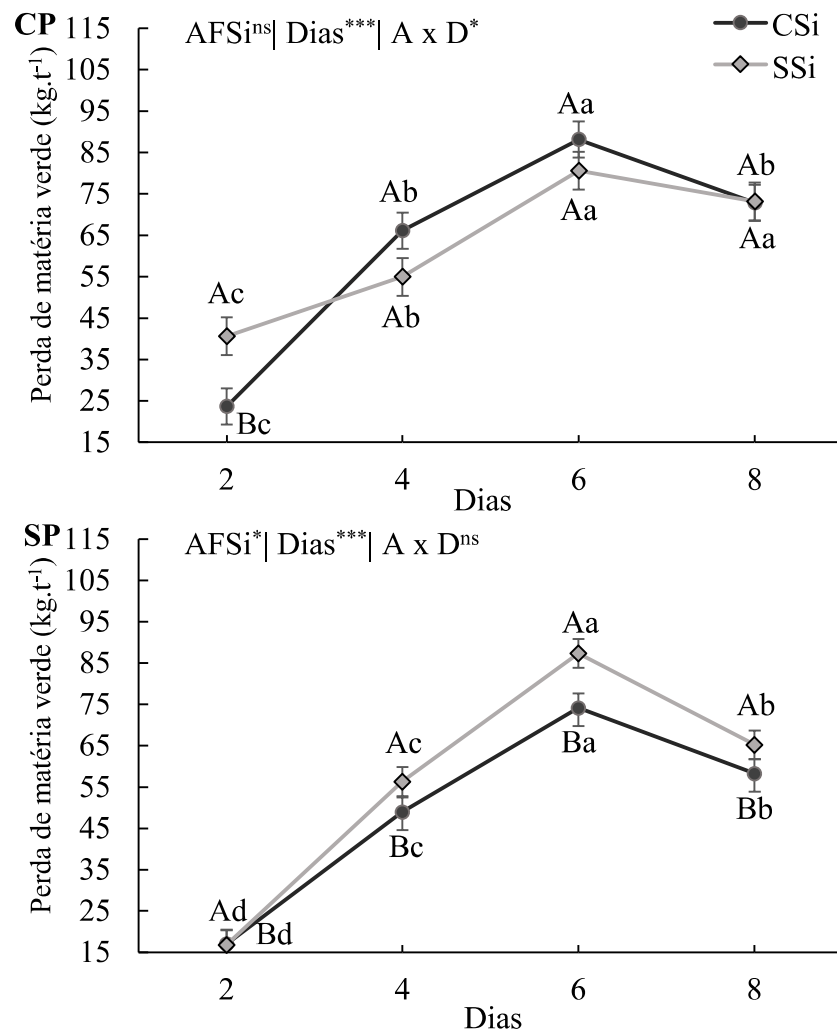


Figura 10. Perda de matéria verde (kg.t⁻¹) a cada dois dias após a colheita de colmos despalhados de cana-planta da variedade RB867515, cultivada com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi), armazenados em montes por oito dias com (CP) e sem os ponteiros (SP). ***, **, e *: significativo a 0,1, 1 e 5% de probabilidade; ns: não significativo pelo teste F. Letras minúsculas diferentes entre os dias de armazenamento em montes diferem pelo teste SNK, e maiúsculas entre as adubações (AFSi) diferem pelo teste F. As barras representam o erro padrão da média.

A AFSi teve um efeito positivo na redução da PMV nos colmos da variedade RB962962 armazenados com ponteiros, mas somente a partir do oitavo dia (Figura 11). Na variedade RB867515 esse efeito foi detectado mais cedo, dois dias após a colheita. A variedade RB962962 alcançou uma PMV máxima de 111 kg.t⁻¹, enquanto a variedade RB867515 apresentou 84 kg.t⁻¹, ambas no 6º dia. Ademais, a amplitude das perdas entre montes armazenados com e sem os ponteiros foi maior na variedade RB962962, chegando a 30%. Com isso, a variedade RB867515 parece ter sido menos suscetível à PMV e ter expressado uma maior responsividade à AFSi.

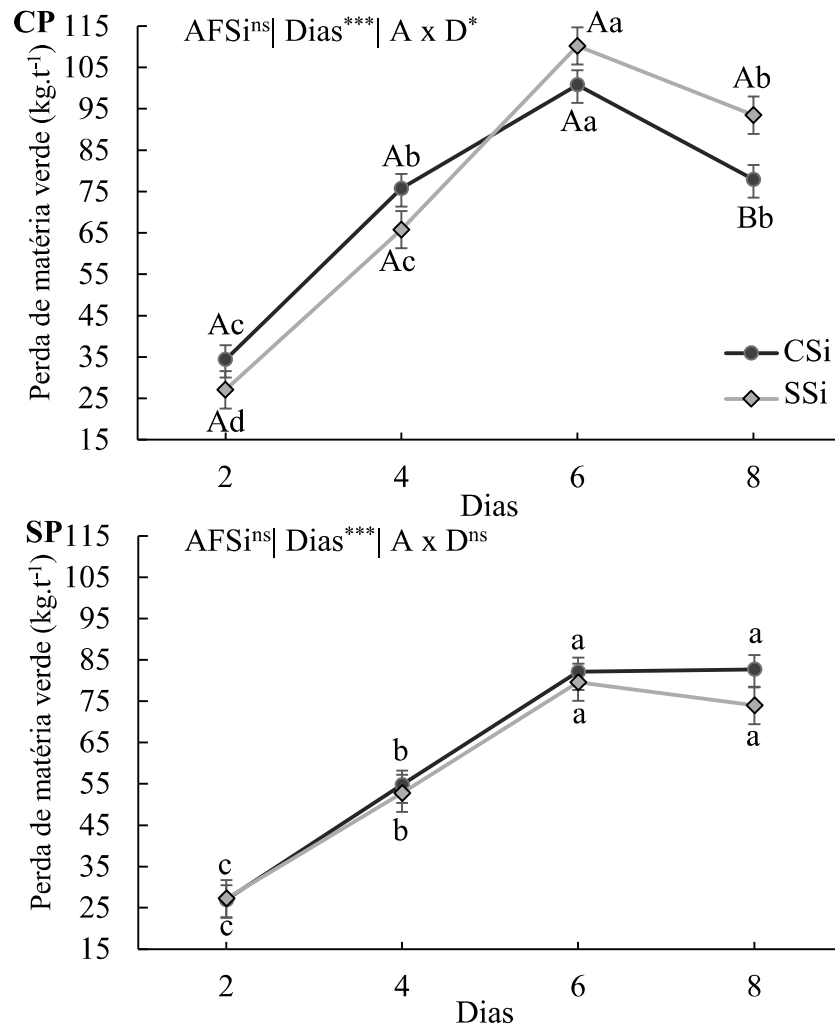


Figura 11. Perda de matéria verde (kg.t^{-1}) a cada dois dias após a colheita de colmos despalhados da variedade RB962962, cultivada com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi), armazenados em montes por oito dias com (CP) e sem os ponteiros (SP).

***, **, e *: significante a 0,1, 1 e 5% de probabilidade; ns: não significativo pelo teste F. Letras minúsculas diferentes (Dias) diferem pelo teste SNK, e maiúsculas (AFSi) diferem pelo teste F. As barras representam o erro padrão da média.

Com exceção da variedade RB962962 armazenada em montes sem os ponteiros, todos os outros tratamentos responderam de maneira benéfica à AFSi, validando a hipótese de que o incremento de Si nos tecidos ajudaria a minimizar perdas durante o armazenamento em montes. Mesmo assim, isso não impediu a ocorrência de PMV até o 6º dia de armazenamento. A presença dos ponteiros junto aos colmos também foi um fator importante e que afetou de maneira diversa a PMV, sendo que ao realizar a despalha e o desponte dos colmos houve diminuição das PMV até 8 dias após a colheita da cana. Esse resultado já havia sido descrito, mas com o armazenamento da cana em uma região de clima frio, com temperatura média 5°C

menor (FONSECA et al., 2016).

A AFSi afetou a proteção dos colmos de cana contra a evapotranspiração após o corte. Com efeito, diferenças entre genótipos de cana-de-açúcar podem reforçar características estruturais já conhecidas por gerar proteção contra a evapotranspiração após a colheita, tais como cascas mais espessas e colmos mais finos (SIDDHANT et al., 2008). Nesse contexto, a variedade RB867515 respondeu positivamente à AFSi, que reduziu a PMV. Para esclarecer quais transformações estruturais ou metabólicas foram induzidas pelo Si e afetaram a capacidade de perda de água, novos estudos são necessários. É possível que modificações na proporção entre de casca no colmo tenham sido estimuladas pela AFSi.

A DEGMS em 24 h da cana *in natura* não foi afetada pela AFSi (Figura 12). A DEGMS é fortemente determinada pela expressiva acumulação de açúcar nos colmos que ocorre na cana *in natura* madura (CARVALHO et al., 2010). A AFSi também não afetou a DEGMS das canas sob armazenamento em montes até oito dias. Todavia, uma tendência para efeito de adubação ($P < 0,10$) foi detectada na DEGMS 24 h das canas armazenadas em montes com os ponteiros. A degradação da sacarose por microrganismos epífitos e enzimas endógenas ao longo do armazenamento em montes pode rapidamente degradar a sacarose, o que aumentaria a proporção de FDN e poderia levar a uma queda na DEGMS em 24 h.

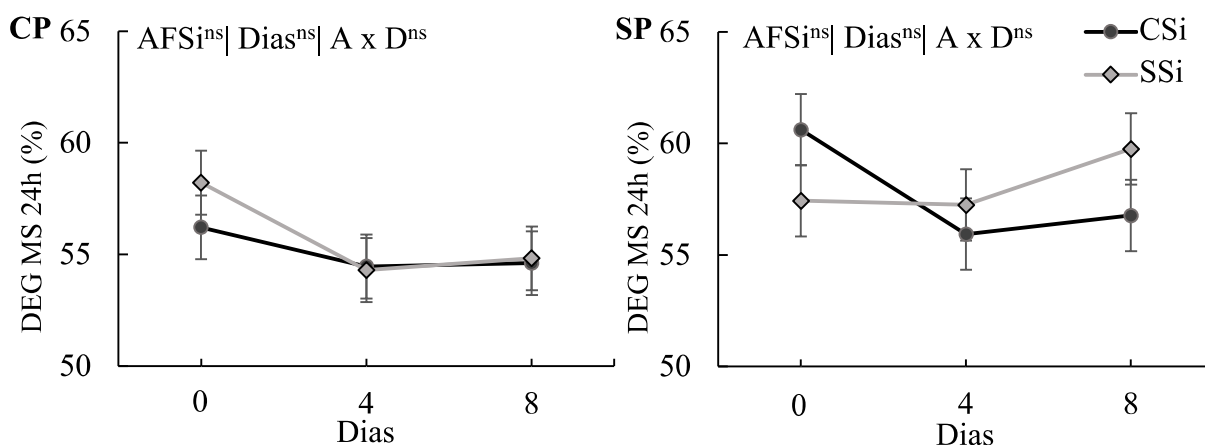


Figura 12. Degradabilidade da matéria seca em 24 h no rúmen (DEG MS 24h) de colmos despalhados de duas variedades de cana-de-açúcar, cultivadas com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi), armazenados em montes com (CP) e sem os ponteiros (SP) por 0, 4 e 8 dias após a colheita.

ns: não significativo pelo teste F. As barras representam o erro padrão da média.

O aumento da concentração de fibra não degradada em 288 h (uFDN_{mo} 288 h) no rúmen

é um parâmetro que está associado à diminuição do tempo de alimentação e da digestibilidade total. Isso potencializa o efeito de enchimento ruminal, o que pode causar redução significativa do consumo de matéria seca e de nutrientes em vacas leiteiras (MOLAVIAN et al., 2020; ALMEIDA et al., 2018). No presente estudo, após 288 h no rúmen, cerca de 70% da FDN da cana *in natura* ainda não havia sido degradada, sendo que a AFSi não afetou claramente essa variável (Figura 9). É importante destacar que a AFSi afetou a produtividade das variedades de cana-planta estudadas (Tabela 1), e a nossa hipótese era que isso poderia deprimir a qualidade da fibra por conta de modificações estruturais nos colmos. De fato, foram observados efeitos expressivos do Si sobre as características agrônômicas e a produtividade da cana-de-açúcar, mas a fração da FDN não degradada em 288 h no rúmen não foi negativamente afetada. Isso é biologicamente coerente porque a aplicação foliar não é determinante na formação da barreira física de Si, uma vez que a partir do incremento temporário do Si coloidal na planta seu efeito é principalmente metabólico (TEIXEIRA et al., 2021).

Com relação ao armazenamento em montes, o teor de uFDNmo%FDN dos colmos tratados com AFSi aumentou até 12 p.p no 4º dia, representando uma redução de 20% (Figura 13). No armazenamento em montes o teor de uFDNmo%FDN 288 h aumentou mais cedo nas plantas não tratadas com AFSi, o que não foi observado no armazenamento em montes de colmos com ponteiros. Este é um resultado intrigante e que evidencia a necessidade de avaliações mais específicas sobre as transformações qualitativas que as frações da FDN da cana pode sofrer em um intervalo tão curto do corte. No 8º dia de armazenamento dos colmos, este efeito sobre a fibra não foi observado.

É necessário avaliar esta variável com um tamanho amostral maior, a fim de investigar se realmente a AFSi pode ter influenciado negativamente a qualidade da fibra. Além disso, é importante realizar avaliações entre variedades, pois além da variabilidade quanto à responsividade à adubação com Si, existe também variabilidade quanto à degradabilidade da fibra (CARVALHO et al., 2010).

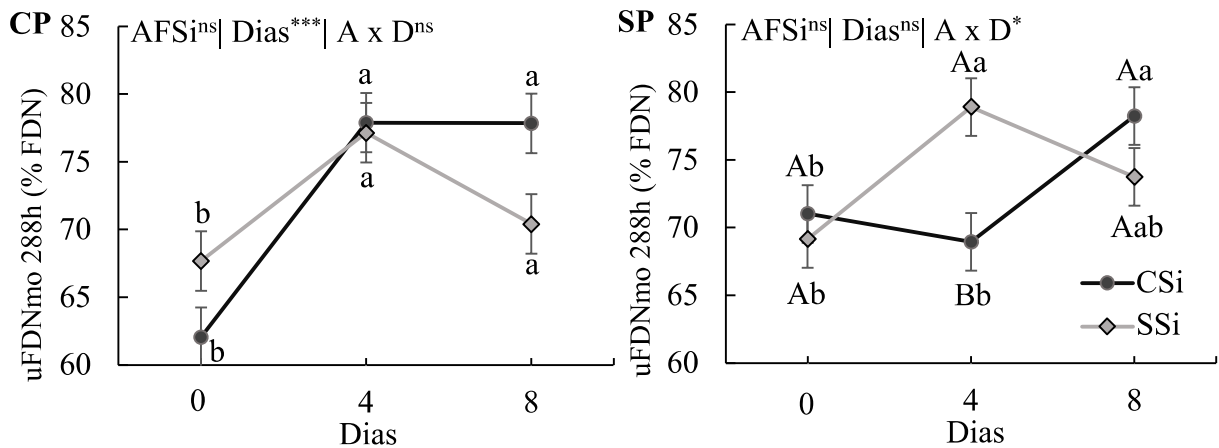


Figura 13. Médias da fibra em detergente neutro na matéria orgânica não degradada em 288 h no rúmen (uFDNmo 288 h) de colmos despalhados de duas variedades de cana-de-açúcar, cultivadas com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi), armazenados em montes com (CP) e sem os ponteiros (SP) por 0, 4 e 8 dias.

*** e *: significativo a 0,1 e 5% de probabilidade; ns: não significativo pelo teste F. Letras minúsculas diferentes entre os dias de armazenamento em montes diferem pelo teste SNK, e maiúsculas entre AFSi diferem pelo teste F. As barras representam o erro padrão da média.

5.3 Ensaio experimental de ensilagem da cana

As silagens da variedade RB867515 tratadas com AFSi apresentaram menor teor de MS, independentemente da inclusão dos ponteiros (Figura 14). Já nas silagens da variedade RB962962, tanto a AFSi quanto a ensilagem dos colmos com os ponteiros favoreceram um aumento do teor de MS. Comparado à cana *in natura*, o teor de matéria seca da silagem aos 60 dias decresceu mais no tratamento sem AFSi da variedade RB962962. Em ambas as variedades, o teor de MO das silagens foi maior com AFSi. Além disso, nas silagens de colmos com ponteiros provenientes de plantas tratadas com AFSi da variedade RB962962 o teor de FDNmo foi menor, enquanto nas silagens da variedade RB867515, não foi detectado efeito da AFSi. Ambas as variedades apresentaram teores de FDN superiores a 70%, um ganho de pelo menos 30 p.p em relação à cana *in natura*. A ensilagem da cana-de-açúcar promove acúmulo de ácidos orgânicos e etanol pela fermentação de carboidratos solúveis, o que eleva a proporção de FDN (SOUSA et al., 2014).

A retenção de partículas nas peneiras com furos de 4, 8 e 19 mm em silagens da variedade RB867515 foi de 29, 55 e 8% (Figura 15). Nas silagens da variedade RB962962 as médias foram de 27, 58 e 5%. Em média, as variedades retenção de 84% das partículas entre as peneiras com furos de 4 e 8 mm de diâmetro.

A adição dos ponteiros aumentou a RMS do tratamento com AFSi na variedade

RB867515, sem aumentar os teores de MS da silagem, a mas ainda assim este tratamento continuou sendo o inferior (Figura 16). Por outro lado, em silagem de plantas dessa mesma variedade, porém não tratadas com AFSi, a RMS foi cerca de 30% superior, atingindo 67%.

Os colmos com os ponteiros *in natura* apresentaram um teor médio de FDNmo 7 p.p maior em comparação aos colmos despontados (Figura 7). A inclusão dos ponteiros, que são ricos em FDN, levou a um efeito de diluição dos carboidratos solúveis, sem afetar o teor de MS da forragem. Isso é importante porque a concentração de carboidratos solúveis, especialmente consumida por leveduras nos primeiros dias de fermentação, está inversamente relacionada à produção de etanol e até à degradabilidade em silagens de cana (PEDROSO et al., 2005). Esta dinâmica pode explicar como as silagens de colmos com os ponteiros da variedade RB867515 apresentaram RMS aos 60 dias superior, em comparação à silagem de colmos despontados.

As silagens de plantas da variedade RB867515 tratadas com AFSi sofreram uma perda por gases até 10 p.p maior, resultando em uma menor RMS aos 60 dias (Figura 16). Além disso, a magnitude de perda por gases foi ao menos três vezes superior à observada na perda por efluentes, evidenciando a grande participação de perdas pela produção de compostos voláteis não recuperáveis, como o etanol. Apesar do impacto negativo, este não é um resultado conclusivo, dado que apenas duas variedades foram estudadas. São necessários estudos da dinâmica da fermentação e dos microrganismos para esclarecer a repercussão da AFSi sobre o valor nutritivo e as perdas da silagem.

Ao contrário da variedade RB867515, a AFSi teve um efeito benéfico sobre a RMS nas silagens da variedade RB962962 (Figura 16). A ensilagem de colmos com ponteiros de plantas tratadas com AFSi foi a combinação com maior RMS na variedade RB962962. É importante destacar que a RMS dessa variedade foi maior nas plantas com AFSi, tanto nas silagens de colmos com ponteiros, onde o tratamento com AFSi foi 15% superior, quanto entre as silagens de colmos, onde esse tratamento foi 10% superior.

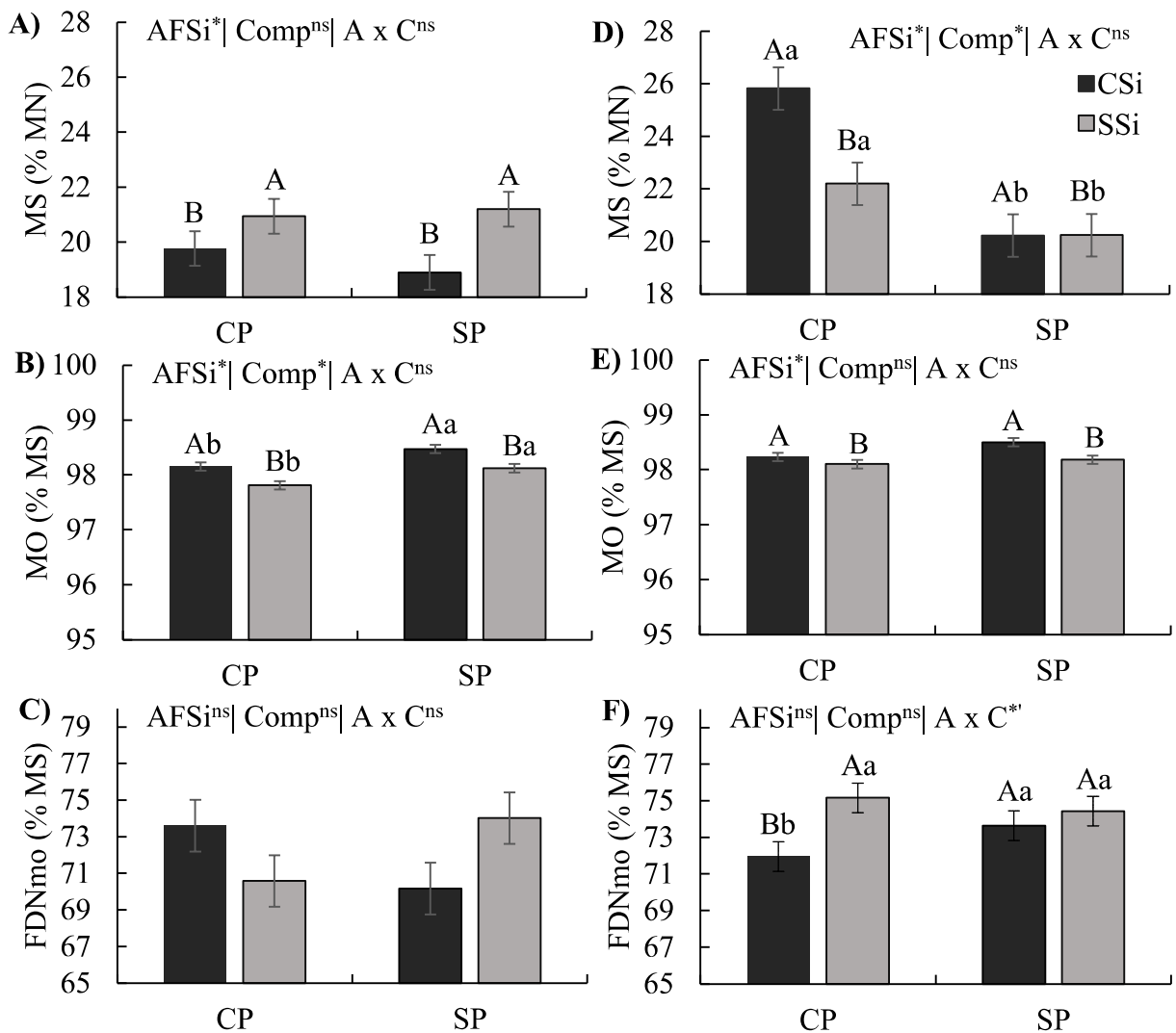


Figura 14. Teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO) e fibra em detergente neutro na matéria orgânica (FDN_{mo}) de silagens de colmos despalhados ensilados sem (SP) e com os ponteiros (CP), de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi).

A, B e C: RB867515; D, E e F: RB962962; *: significativo a 5% de probabilidade; ns: não significativo pelo teste F. Letras minúsculas diferentes entre os componentes da planta (Comp), e maiúsculas entre as adubações (AFSi) diferem pelo teste SNK. As barras sobre as colunas representam o erro padrão da média.

Não foram detectadas mudanças significativas no peso dos componentes nas plantas da variedade RB867515 por causa da AFSi. Com isso, a diferença na RMS entre as silagens de plantas com e sem AFSi não foi consequência de uma variação na proporção de colmos/ponteiros causada por este tratamento. Por outro lado, apesar da redução na recuperação total de açúcares da cana em até 7% promovida pela AFSi, a variedade RB867515 ainda apresentou um ótimo resultado, com uma produtividade de açúcar 20% superior à média na

região Nordeste na safra 2021/2022 (CONAB, 2022). A alta disponibilidade de açúcares de fermentação rápida favoreceu o alcance de um pH adequado, entre 3 e 3,3, mas também resultou em maiores perdas por gases e menor RMS. O tratamento com AFSi impactou negativamente e de forma não claramente compreendida, mas a adição de ponteiros na ensilagem foi benéfica para a qualidade da silagem da RB867515. É importante investigar se o tratamento com AFSi tem o potencial de afetar a dinâmica do desenvolvimento das populações de microrganismos e a produção de metabólitos resultantes desse processo, especialmente ácido acético e etanol.

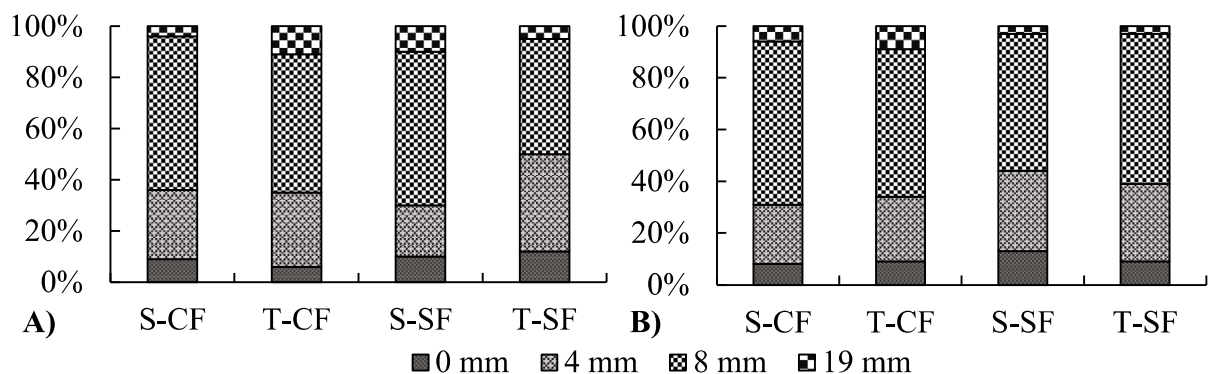


Figura 15. Retenção percentual de partículas pelo método do Penn State Particle Size Separator de silagens de colmos despalhados das variedades RB867515 (A) e RB962962 (B), cultivadas sem (SSi) e com (CSi) adubação foliar com Si (AFSi), e que foram ensilados sem (SP) e com os ponteiros (CP).

Todavia, o impacto positivo parece ter sido mais relevante nas silagens de colmos com ponteiros. A AFSi na variedade RB962962 promoveu o crescimento de colmos na cana-planta, o que os tornou também mais pesados e com maior proporção em relação aos ponteiros (Tabela 1). Contudo, isso também resultou em uma diminuição da recuperação total de açúcares, sendo a média da RB962962 cerca de 30% inferior. Dessa forma, o aumento da proporção de colmos e um menor teor de sacarose aparente no caldo parecem ter otimizado a fermentação e viabilizado maiores RMS na variedade RB962962.

Na variedade RB962962, não foi observado efeito da AFSi ou do uso dos ponteiros sobre o percentual de perdas por efluente ou por gases na silagem aos 60 dias. As silagens de colmos com ponteiros apresentaram um pH levemente superior, mas ainda abaixo de 3,5.

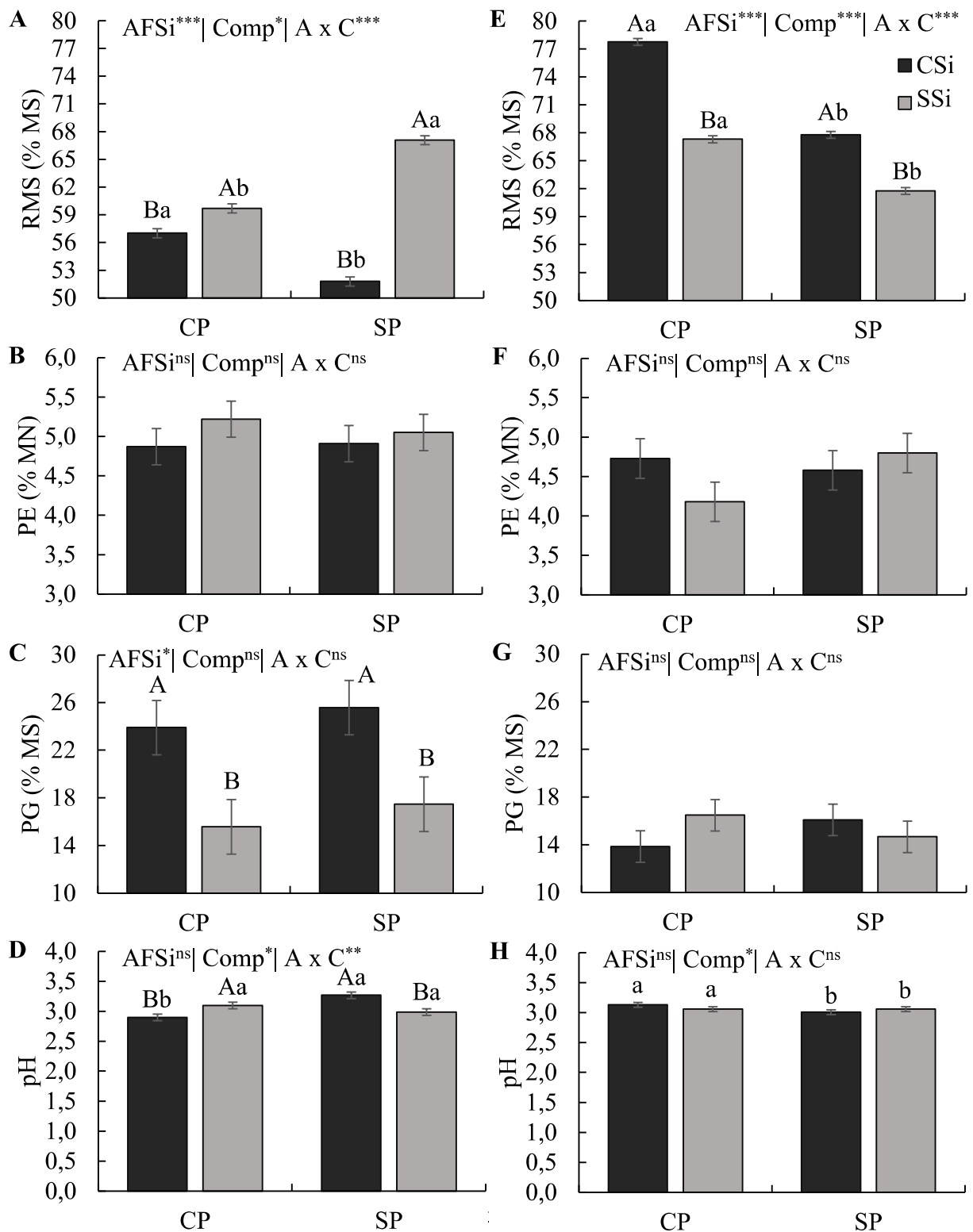


Figura 16. Índice de recuperação de matéria seca (RMS, % da MS), perda por efluente (PE, % da MN), perda por gases (PG, % da MS) e pH de silagens de colmos despalhados ensilados sem (SP) e com os ponteiros (CP), de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi).

A, B, C e D: RB867515; E, F, G e H: RB962962; ***, **, e *: significativa a 0,1, 1 e 5% de probabilidade; ns: não significativo pelo teste F. Letras minúsculas diferentes entre os componentes da planta (Comp), e maiúsculas entre as adubações (AFSi) diferem pelo teste SNK. As barras sobre as colunas representam o erro padrão da média.

Não foi detectado efeito de AFSi e do componente da planta sobre a DEG MS e a DEG FDN 24 h das silagens, embora uma tendência de interação tenha sido detectada na DEG MS 24 h ($P < 0,10$) (Figura 17). A DEG MS em 24 h foi cerca de 10 p.p superior a DEG FDN.

Após 288 h no rúmen, verificou-se que em média 52% da FDNmo das silagens ainda não havia sido degradada. Em comparação à uFDNmo 288 h da cana *in natura*, parece ter ocorrido uma redução da fração da FDN não degradada em 288 h no rúmen (Figura 13), o que sugere que pode ter ocorrido degradação de frações da FDN ainda no interior do silo. Nesse sentido, foi reportado que silagens com uma intensa atividade fermentativa propiciam a hidrólise ácida parcial da fibra (CHARMLEY, 2001). Além disso, as silagens de colmos despalhados e despontados tenderam a apresentar maior uFDNmo 288 h ($P < 0,10$).

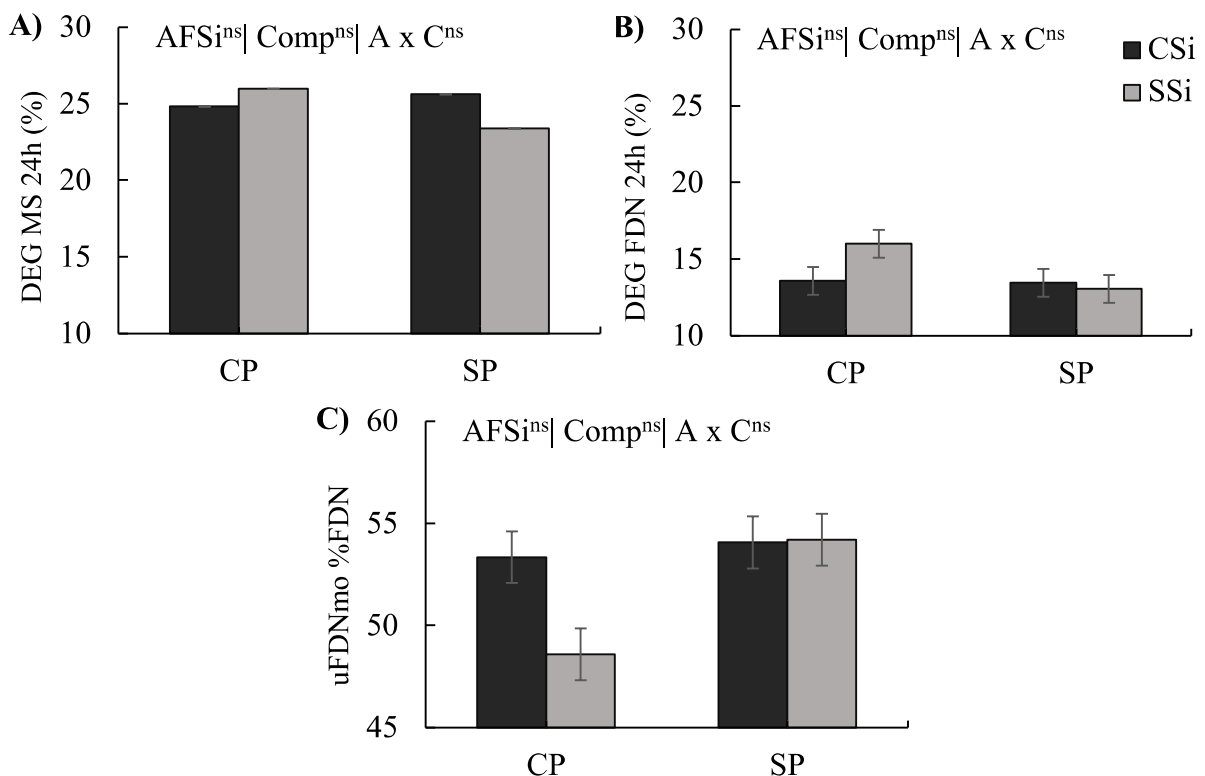


Figura 17. Degradabilidade ruminal da matéria seca (DEG MS) (A), da fibra em detergente neutro na matéria orgânica (DEG FDNmo) (B) em 24 h e fibra não degradada na matéria orgânica em 288 h no rúmen (uFDNmo) (C) de silagens de colmos despalhados ensilados sem (SP) e com os ponteiros (CP), de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas com (CSi) e sem (SSi) adubação foliar com Si (AFSi).

ns: não significativo pelo teste F.

Embora não tenha sido observado um efeito significativo da AFSi na DEGFND em 24 horas da silagem, foi constatado que esse tratamento afetou o teor de MS, a FDNmo e a RMS, o que conseqüentemente afetou o potencial de recuperação de nutrientes. Isso evidencia que a AFSi afetou o valor nutritivo das silagens de cana, mas a variabilidade genética quanto a resposta a adubação com Si também desempenhou um papel determinante.

6. CONCLUSÕES

A AFSi pode aumentar a produtividade da cana-planta colhida aos 16 meses, embora diminua a qualidade tecnológica do caldo.

A AFSi favorece a preservação da cana-de-açúcar armazenada em montes por até oito dias durante o período seco. No entanto, o desponte e a despalha dos colmos exercem um impacto positivo ainda maior nesse processo de preservação. Além disso, a ensilagem de plantas de cana adubadas com Si via foliar podem alcançar menor deterioração no silo.

A degradabilidade da matéria seca em 24h e da fibra não degradada no rúmen em 288 h de colmos de cana *in natura*, armazenados em montes e ensilados não são afetadas negativamente pela AFSi. Portanto, a utilização dessa técnica pode ser uma estratégia promissora para aumentar a produtividade da cana-de-açúcar sem comprometer significativamente sua qualidade nutricional.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A AFSi durante o cultivo da cana-de-açúcar é uma prática promissora e que necessita de maior consideração científica porque pode conciliar ganhos significativos em produtividade e em eficiência das estratégias de utilização dessa forragem no sistema de produção de leite maranhense.

A AFSi diminui as perdas de quantitativas e qualitativas no armazenamento em monte, representando também um efeito importante para o uso industrial da cana-de-açúcar, onde a AFSi poderia beneficiar não só a produtividade e a resiliência dos canaviais ao estresse, mas também reduziria as perdas de sacarose entre a colheita e o processamento na usina. Esta aplicação traria um relevante impacto econômico e precisa ser mais explorada em novas investigações.

O desponte e a despalha da cana-de-açúcar são opções compatíveis com o sistema de produção de leite maranhense, no qual a colheita de capineiras nas fazendas é majoritariamente manual. Quando conciliada com o armazenamento em montes, torna-se uma estratégia interessante para os produtores porque diminui a frequência dos cortes e o volume de forragem no transporte. Nosso trabalho evidencia que o desponte e a despalha dos colmos expostos a temperaturas de quase 40° C e em baixa umidade durante o armazenamento desacelera as perdas de valor nutritivo. Estes procedimentos também impactaram positivamente a ensilagem da cana, permitindo aumentar a recuperação de matéria seca. Estes achados são relevantes para direcionar estratégias de otimização da rotina e do valor nutritivo da cana-de-açúcar em propriedades leiteiras.

É importante destacar que os efeitos benéficos com a AFSi podem ser neutralizados pela responsividade das variedades ao Si. Por isso, novos estudos precisam considerar o uso da AFSi em diferentes condições de cultivo e com um maior conjunto de variedades.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de água de los cultivos**. Rome: FAO, 1998, p. 300.
- ALMEIDA, G. A. P.; FERREIRA, M. A.; SILVA, J. L.; CHAGAS, J. C. C.; VÉRAS, A. S. C.; BARROS, L. J. A.; ALMEIDA, G. L. P. Sugarcane bagasse as exclusive roughage for dairy cows in smallholder livestock system. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 31, n. 3, p. 379-385, 2018. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0205>
- ANDERSON, D. L.; SNYDER, G.H.; MARTIN, F. G. Multi-year response of sugarcane to calcium silicate slag on Everglades histosols. **Agronomy Journal**, v. 83, p. 870–874, 1991. <https://doi.org/10.2134/agronj1991.000219622008300050019x>
- ARNHOLD, E. Package in the R environment for analysis of variance and complementary analyses. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 50, n. 6, p. 488-492, 2013. <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.v50i6p488-492>
- ASHRAF, M.; RAHMATULLAH, A. R.; AFZAL, M.; TAHIR, MA.; KANWAL, S.; MAQSOOD, MA. Potassium and silicon improve yield and juice quality in sugarcane (*Saccharum offi cinarum* L.) under salt stress. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 91, p. 195-284, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00364.x>
- BASNAYAKE, J.; JACKSON, P. A.; INMAN-BAMBER, N. G.; LAKSHMANAN, P. Sugarcane for water-limited environments. Genetic variation in cane yield and sugar content in response to water stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 16, p. 6023-6033, 2012. <https://doi.org/10.1093/jxb/err313>
- BERNARDES, T.; DANIEL, J. L. P.; ADESOGAN, T. A.; MMCALLISTER, P. D.; NUSSIO, L. G.; HUHTANEN, P.; TREMBLAY, G. F.; BÉLANGER, G.; CAI, Y. Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, 2018. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13703>
- BERTHELSEN, S.; NOBLE, A. D.; GARSIDE, A. L. An assessment of soil and plant levels in north Queensland. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technology**, v. 21, p. 92-100, 1999.
- BOCKHAVEN, J V.; VLEESSCHAUWER, D. D.; HOFTE, M. Towards establishing broad-spectrum disease resistance in plants: silicon leads the way. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 5, p. 1281–1293, 2013. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers329>
- CAI, K.; GAO, D.; LUO, S.; ZENG, R.; YANG, J.; ZHU, X. Physiological and cytological mechanisms of silicon-induced resistance in rice against blast disease. **Pysiologia Plantarum**, v. 134, p. 324-333, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01140.x>
- CAMARGO, M. S.; KEEPING, M, G. Silicon in sugarcane: availability in soil, fertilization, and uptake. **Silicon**, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00935-y>
- CAMARGO, M. S.de; KORNDÖRFER, G. H.; FOLTRAN, D. E.; HENRIQUE, C. M.; ROSSETTO, R. Absorção de silício, produtividade e incidência de *Diathraea saccharalis* em cultivares de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 937-944, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000400020>

- CAMARGO, M.S.; AMORIM, L.; GOMES JÚNIOR, A. R. Silicon fertilisation decreases brown rust incidence in sugarcane. **Crop Protection**, v.53, p.72-79, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.06.006>
- CAMARGO, S. M.; KORNDÖRFER2, G. H.; FOLTRAN, D. E. Absorção de silício e incidência de broca-do-colmo em duas soqueiras de variedades de cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v.30, n.5, p.1304-1313, 2014.
- CAMPBELL, L.G.; KLOTZ, K. L. **Storage**. Sugar Beet. Oxford: Blackwel Publishing Ltd, 2006. p.387-408. <https://doi.org/10.1002/9780470751114.ch15>
- CARVALHO, M. V.; RODRIGUES, P. H. M.; LIMA, M. L. P.; ANJOS, I. A.; LANDELL, M. G. A.; SANTOS, M. V.; SILVA, L. F. P. Chemical composition and digestibility of sugarcane harvested at two periods of the year. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 47, p. 298–306, 2010. <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2010.26829>
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, Brasília, v. 9 – Safra 2022-23, n. 2 - Segundo levantamento, p. 1-58, Agosto 2022. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>
- CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar, Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções**. 5.ed. Piracicaba: CONSECANA, p. 111, 2006.
- COOKE, J.; LEISHMAN, M.R. Tradeoffs between foliar silicon and carbon-based defences: evidence from vegetation communities of contrasting soil types. **Oikos** n. 121, p. 2052-2060, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2012.20057.x>
- COSTA, T. H. F.; MASARIN, F.; BONIFÁCIO, T. O.; MILAGRES, M. F. A.; FERRAZ, A. The enzymatic recalcitrance of internodes of sugar cane hybrids with contrasting lignin contents. **Industrial crops and products**, v. 51, p. 202-211, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.08.078>
- CHARMLEY, E. Towards improved silage quality – A review. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 81, p. 157-168, 2001. <https://doi.org/10.4141/A00-066>
- DAMASCENO, P. J. S.; LEITE, M. L.; COSTA, P. M.; SILVA, Z. F. Degradabilidade da MS e da FDN dos componentes da planta da cana-de-açúcar do primeiro ciclo cultivada em sequeiro. In: Congresso Nordeste de Produção Animal, 7, 2018, João Pessoa. **Anais do VII Congresso Nordeste de Produção Animal**. Areia: SNPA, 2018. p. 535.
- DAMASCENO, P. J. S.; SILVA, I. V. S.; FERREIRA, A. N.; COSTA, P. M.; LIMA, A. M.; CARNEIRO, W. J. A.; SILVA, Z. F. Sílica, mais que a lignina, deprime a degradabilidade da fibra da cana-de-açúcar. In: Simpósio Internacional de Produção e Nutrição de Gado de Leite, 1, 2019, Uberlândia. **Anais do IX Simpósio Mineiro de Nutrição de Gado de Leite**. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2019, p.166.
- DANIEL, J. L. P.; WIB, K.; CUSTÓDIO, L.; SÁ NETO, A.; SANTOS, M. C.; ZOPOLLATTO, M. NUSSIO, L. G. Occurrence of volatile organic compound in sugarcane silages. **Animal Feed Science and Technology**, v. 85, p. 101-105, 2013a. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.06.011>
- DANIEL, J. L. P.; AMARAL, R. C.; GOULART, R. S. M. ZOPOLLATTO, M.; SANTOS, V. P.; TOLEDO FILHO, S. G.; CABEZAS-GARCIA, E. H.; LIMA, J. R.; SANTOS, M. C.; NUSSIO, L. G. Short-term effects of silage volatile compounds on feed intake and digestion in

- beef cattle. **Journal of Animal Science**. v. 91, n.5, p. 2321-2331, 2013b. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5657>
- DANIEL, J. L. P.; JACOVACI, F. A.; JUNGES, D.; SANTOS, M. C.; LIMA, J. R.; ANJOS, I. A.; LANDELL, M. G. A.; HUHTANEN, P.; NUSSIO, L. G. Fibre digestibility and its relationships with chemical and morphological traits in thirty-two sugarcane varieties. **Grass and Forage Science**, v. 72, p. 545–555, 2016. <https://doi.org/10.1111/gfs.12254>
- DANIEL, J. L. P.; CAPELESSO, A.; CABEZAS-GARCIA, E. H.; ZOPOLLATTO, M. SANTOS, M. C.; HUHTANEN, P.; NUSSIO, L. G. Fibre digestion potential in sugarcane across the harvesting window. **Grass and Forage Science**, v. 69, p. 176-181, 2013c. <https://doi.org/10.1111/gfs.12044>
- DAROS, Edelclaiton; OLIVEIRA, Ricardo Augusto de; BARBOSA, Geraldo Veríssimo de Souza (Org.). **45 anos de variedades RB de cana-de-açúcar: 25 anos de Ridesa**. 1. ed. Curitiba: Graciosa, 2015. 156 p. ISBN: 978-85-66456-08-0.
- DENG, Q.; WU, J.; CHEN, J.; SHEN, W. Physiological mechanisms of improved smut resistance in sugarcane through application of silicon. **Frontiers In Plant Science**, v. 11, p. 1-13, 2020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.568130>
- DETMANN, E.; SILVA, L. F. C.; ROCHA, G. C.; PALMA, M. N. M.; RODRIGUES, J. P. **Métodos para análise de alimentos**. Ed.1. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Visconde do Rio Branco: Suprema, p.214, 2012.
- DING, S. Y.; LIU, Y. S.; ZENG, Y.; HIMMEL, M. E.; BAKER, J. O.; BAYER, E. A. How does plant cell wall nanoscale architecture correlate with enzymatic digestibility? **Science**, v. 338, p. 1055-1060, 2013. <https://doi.org/10.1126/science.1227491>
- DRIEHUIS F. & OUDE ELFERINK S. J. W.H. The impact of the quality of silage on animal health and food safety: A review. **The Veterinary Quarterly**, v. 22, n. 4, p. 212-216, 2000. <https://doi.org/10.1080/01652176.2000.9695061>
- EGGLESTON, G.; BOIL, P. G. M.; WALFORD, S. N.; A review of sugarcane deterioration in the United States and South Africa. **Proceedings of the South African Sugar Technologists Association**, v. 81, p. 72-85, 2008.
- EPSTEIN, E. Silicon: its manifold roles in plants. **Annals of Applied Biology**, v.155, p.155-160, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00343.x>
- FAUTEUX, F.; RÉMUS-BOREL, W.; MENZIES, J. G.; BELANGER, R. R. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. **FEMS Microbiology Letters**, v.249, p.1-6, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.femsle.2005.06.034>
- FONSECA, F. T.; LIMA, L. M.; DE OLIVEIRA, R. M.; DOMINGUES, F. N.; BERNARDES T. F. Effects of method and storage time on the nutritive value of sugarcane for dairy cattle. **Journal of Animal Science**, v. 94, p.319, 2016. <https://doi.org/10.2527/jam2016-0668>
- FOX, R. L.; SILVA, J. A.; PLUCKNETT, D. L.; TERANISHI, D. Y. Soluble and total silicon in sugar cane. **Plant and Soil**, v. 1, p. 81-91, 1969.
- FRAZÃO, J. J.; PRADO, R. M.; SOUZA JÚNIOR, J. P.; ROSSATTO, D. R. Silicon changes c:n:p stoichiometry of sugarcane and its consequences for photosynthesis, biomass partitioning and plant growth. **Scientific Reports**, v. 10, n. 12492, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69310-6>

- GALLO, P. C. S.; PEREIRA, M. N.; CAMPOS, G. P.; GALLO, S. B. Effects of neutral detergent fiber concentration of sugarcane-based diets on the performance of Holstein heifers. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 947-956, 2019. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n2p947>
- GOMES, L. M.; BUENO, A. V. I.; OSMARI, M. P.; MACHADO, J.; NUSSIO, G. L.; JOBIM, C. C.; DANIEL, J. L. P. Effects of Obligate Heterofermentative Lactic Acid Bacteria Alone or in Combination on the Conservation of Sugarcane Silage. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, 2021. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.643879>
- HARTLEY, S. E.; DEGABRIEL, J. L. The Ecology of Herbivore-induced Silicon Defenses in Grasses. **Functional Ecology**, v. 30, p. 1311-1322, 2016. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12706>
- HEINRICHS, J.; JONES, C. M. The Penn State Particle Separator. DSE, p.2013-186, 2013. Disponível em: <https://extension.psu.edu/penn-state-particle-separator> . Acessado em: 10 de novembro de 2022.
- HERMANN, E.R.; CAMARA, G.M.S. Um método simples para estimar área foliar de cana-de-açúcar. **Revista da STAB**, v. 17, p. 32-34, 1999.
- HUANG, H. R.; XU, L.; BOKHTIAR, S. M.; MANOJ, K. S.; LI, Y. R.; YANG, L. T. Effect of calcium silicate fertilizer on soil characteristics, sugarcane nutrients and its yield parameters. **Journal of Southern Agriculture**, v. 42, p. 756-759, 2011. <https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-1191.2011.07.017>
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. 2020. Banco de dados meteorológicos para educação e pesquisa: Estação de tempo de Chapadinha. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/#> . Acessado em 01 de agosto de 2022.
- JAIN, R.; SINGH, S. P.; SINGH, A; SINGH, S.; TRIPATHI, P.; KISHOR, R.; GAUR, A.; JAIN, N.; SHUKLA, S. K.; CHANDRA, A.; SOLOMON, S. Changes in Growth, Yield, Juice Quality and Biochemical Attributes of Sugarcane in Response to Orthosilicic Acid Granules. **Sugar Tech**, v. 19, p. 300-304, 2017. <https://doi.org/10.1007/s12355-016-0469-3>
- JL, M.; HUANG, X.; YU, J. Study on behavior mechanism of increasing production and sugar of cane caused by silicon. **Sugarcane Canesugar**, v. 4, p. 24, 1992.
- JOBIM, C. B.; NUSSIO, L. G.; REIS, R. A.; SCHMIDT, P. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 101-119, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982007001000013>
- JUNG, H. J. G.; SAMAC, D. S.; SARATAH, G. Modifying crops to increase cell wall digestibility. **Plant Science**, p. 65-77, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.10.014>
- KATZ, O. Beyond grasses: The potential benefits of studying silicon accumulation in non-grass species. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, n. 376, p. 1-3, 2014. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00376>
- KATZ, O. Silicon content is a plant functional trait: implications in a changing world. **Flora**, v. 254, p. 88-94, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2018.08.007>
- KEEPING, M. G.; KVEDARAS, O. L.; BRUTON, A. G. Epidermal silicon in sugarcane: Cultivar differences and role in resistance to sugarcane borer *Eldana sacharina*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, p. 54-60, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.12.012>

KEEPING, M. G.; MEYER J. H.; SEWPERSAD, C. Soil silicon amendments increase resistance of sugarcane to stalk borer *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) under field conditions. **Plant Soil**, v. 363, p. 297-318, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1325-1>

KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-mediated resistance of sugarcane to *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae): effects of silicon source and cultivar. **Journal of Applied Entomology**, v. 130, p. 410-420, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2006.01081.x>

KLOTZBÜCHER, T.; KLOTZBÜCHER, A.; KAISER, K.; VETTERLEIN, D.; R.; JAHN, R.; MIKUTTA, R. Variable silicon accumulation in plants affects terrestrial carbon cycling by controlling lignin synthesis. **Global Change Biology**, 2017. <https://doi.org/10.1111/gcb.13845>

KRISHNAKUMAR, T.; HAMILSELVI, C.; DEVADAS, C. T. Effect of delayed extraction and storage on quality of sugarcane juice. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, p. 930-935, 2013. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.1807>

KUNG, L. JR., AND STANLEY, R. W. Effect of stage of maturity on the nutritive value of whole-plant sugarcane preserved as silage. **Journal of Animal Science**, v. 54, p. 689-696, 1982. <https://doi.org/10.2527/jas1982.544689x>

KVEDARAS, O. L.; BYRNE, M. J.; COOMBES, N. E.; KEEPING, M. G. Influence of plant silicon and sugarcane cultivar on mandibular wear in the stalk borer *Eldana saccharina*. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 11, p. 301-306, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2009.00430.x>

KVEDARAS, O. L.; KEEPING, M. G.; GOEBEL, F. R.; BYRNE, M. J. Water stress augments silicon-mediated resistance of susceptible sugarcane cultivars to the stalk borer *Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae). **Bulletin of Entomological Research**, v. 97, p. 175-183, 2007. <https://doi.org/10.1017/S0007485307004853>

LAANE, H. M. The effects of the application of foliar sprays with stabilized silicic acid: an overview of the results from 2003-2014. **Silicon**, v. 9, p. 803-807, 2017. <https://doi.org/10.1007/s12633-016-9466-0>

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M. A. V.; ANJOS, I. V.; DINARDO, M.; LEILA, 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. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas: Documento 109**. 2ª Ed. Campinas: IAC, 2012. 16 p.

LEITE, M. R. L.; NETO, F. A.; DUTRA, A. F.; MENDES, L. W.; ANTUNES, J. E. L.; MELO, V. M. M.; OLIVEIRA, F. A. S.; ROCHA, S. M. B.; PEREIRA, A. P. A.; PRADO, R. M.; ARAÚJO, A. S. F. Silicon application influences the prokaryotic communities in the rhizosphere of sugarcane genotypes. **Applied Soil Ecology**, v. 187, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104818>

LIANG, Y.; NIKOLIC, M.; BÉLANGER, R.; GONG, H.; SONG, A. **Silicon in agriculture**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2015. *Ebook* (250p.). ISBN 978-94-017-9978-2 Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-017-9978-2>. Acessado em: ago. 2022.

- LONTOM, W.; KOSITTRAKUM, M.; WEERATHAWORN, P.; WANGSOMVUK, P.; ZHU, Y. J. Impact of storage temperature and duration on sucrose catabolism in harvested sugarcane stalks. **Sugar Tech**, v. 11, p. 146-153, 2009. <https://doi.org/10.1007%2Fs12355-009-0022-8>
- MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v.11, n.8, p.392-397, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.06.007>
- MAJUMDAR, S.; PRAKASH, B. N. An Overview on the Potential of Silicon in Promoting Defense Against Biotic and Abiotic Stresses in Sugarcane. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 1969-1998, 2020. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00269-z>
- MARQUES, J. P. R.; HOY, J. W.; GLÓRIA, B. X.; VIVEROS, A. F. G.; VIEIRA, M. L. C.; BAISAKH, N. Sugarcane cell wall-associated defense responses to infection by *sporisorium scitamineum*. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. 698, 2018. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00698>
- MARTINS, A. L. M.; LANDELL, M. G. A. **Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana-de-açúcar utilizados no programa Cana IAC**. Pindorama: Instituto agrônômico, 1995. p. 2-14.
- MASSEY F. P.; HARTLEY S. E. Physical defenses wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. **Journal of Animal Ecology**, v. 78, p. 281-291, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01472.x>
- MCCRAY, J. M.; SHANGNING JI. Sugarcane yield response to calcium silicate on Florida mineral soils. **Journal of Plant Nutrition**, 2018. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1510520>
- MELO, L. J. O. T.; DAROS, E.; NETO, D. E. S.; CHAVES, A.; SILVA, L. J.; SILVA, A. E. P.; MELO, T. T. A. T. RB962962, a sugarcane cultivar for late harvest. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, n. 14, p. 132-135, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332014v14n2c23>
- MEHROTRA, P.; SHARMA, N. Effect of different storage conditions on sugarcane weight loss. **International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology**, v. 5, p. 2455-2143, 2020.
- MISRA, V.; MALL, A. K.; SOLOMON, S.; ANSARI, M. I. Review - Post-harvest biology and recent advances of storage technologies in sugarcane. **Biotechnology Reports**, v. 33, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2022.e00705>
- MOLAVIAN, M.; GHORBANI, G. R.; RAFIEE, H.; BEAUCHEMIN, K. A. Substitution of wheat straw with sugarcane bagasse in low-forage diets fed to mid-lactation dairy cows: Milk production, digestibility, and chewing behavior. **Journal of Dairy Science**, v. 103, p. 8034-8047, 2020. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18499>
- MURARO, G. B.; CARVALHO-ESTRADA, P. A.; PASETTI, M. H. O.; SANTOS, M. C.; NUSSIO, L. G. Bacterial dynamics of sugarcane silage in the tropics. **Environmental Microbiology**, n. 10, p. 5979-5991, 2021. <https://doi.org=/10.1111/1462-2920.15428>
- OLIVEIRA FILHO, A. S. B.; PRADO, R. M.; TEIXEIRA, G. C. M.; ROCHA, A. M. S.; JUNIOR, J. P. S.; PICCOLO, M. C.; ROCHA, R. J. Silicon attenuates the effects of water deficit in sugarcane by modifying physiological aspects and C:N:P stoichiometry and its use efficiency. **Agricultural Water Management**, v. 255, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107006>

- PAWAR, M. W.; JOSHI, S. S.; AMODKAR, V. T. Effect of foliar application of phosphorus and micronutrients on enzyme activities and juice quality in sugar cane. **Sugar Tech**, v. 5, n. 3, p. 161-165, 2003. <https://doi.org/10.1007/BF02943628>
- PEDROSO, A. F.; NUSSIO, L. G.; LOURES, D. R. S.; PAZIANI, S. F.; RIBEIRO, J. L.; MARI, L. J.; ZOPOLLATTO, M.; SCHMIDT, P.; MATTOS, W. R. S.; HORII, J. Fermentation, losses, and aerobic stability of sugarcane silages treated with chemical or bacterial additives. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 6, p. 589-594, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000600004>
- PEDROSO, A. F.; NUSSIO, L. G.; PAZIANI, S. F.; LOURES, D. R. S.; IGARASI, S. M.; COELHO, R. M. PACKER, I. H.; HORII, J.; GOMES, L. H. Fermentation and epiphytic microflora dynamics in sugar cane silage. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 5, p. 427-432, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000500003>
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633–1644, 2007. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- RAKKIYAPPAN, P.; ESTHER SHEKINAH, D.; GOPALASUNDARAM, P.; MATHEW, M. D.; ASOKAN, S. Post-harvest deterioration of sugarcane with special reference to quality loss. **Sugar tech**, v. 11, p. 167-170, 2009. <https://doi.org/10.1007/s12355-009-0025-5>
- RAUN, B. M. L.; KRISTENSEN, N. B. Metabolic effects of feeding ethanol or propanol to postpartum transition Holstein cows. **Journal of Dairy Science** v. 94, p. 2566–2580, 2011. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3999>
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 322p.
- SACHDEVA, M.; BHATIA, S.; BATTI, S. K. Sucrose accumulation in sugarcane: a potential target for crop improvement. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, p. 1571-1583, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11738-011-0741-9>
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Revisada e ampliada Brasília, DF: Embrapa, 2018. 355p.
- SANTOS, L. C. N.; TEIXEIRA, G. C. M.; PRADO, R. M.; ROCHA, A. M. S.; PINTO, R. C. S. Response of pre-sprouted sugarcane seedlings to foliar spraying of potassium silicate, sodium and potassium silicate, nanosilica and monosilicic acid. **Sugar Tech**, v. 22, n. 5, p. 773-781, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00833-y>
- SANTOS, S. A.; FILHO, S. C. V.; DETMANN, E.; VALADARES, R. F. D.; RUAS, J. R. M.; AMARAL, P. M. Different forage sources for F1 Holstein x Gir dairy cows. **Livestock Science**, v. 142, p. 48-58, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.06.017>
- Savant, N. K.; Korndorfer, G. H.; Datnoff L. E.; Snyder, G. H. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **Journal of Plant Nutrition**, v.22, p.1853-1903, 1999.

- SCHALLER, J. O. R. G.; BRACKHAGE, C.; DUDEL, E. G.; Silicon availability changes structural carbon ratio and phenol content of grasses. **Environmental and Experimental Botany**, v. 77, p. 283-287, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.12.009>
- SCIÉCOLA JÚNIOR, S.; BITENCOURT, L. L.; MELO, L. Q.; SILVEIRA, V. A.; LOPES, M. N.; SILVA, J. R. M.; PEREIRA, R. A. N.; PEREIRA, M. N. Despalha de cana-de-açúcar e desempenho de novilhas e vacas leiteiras. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66, n. 1, p. 219-228, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352014000100030>
- SHUKLA, S. K.; SOLOMON, S.; SHARMA, L.; JAISWAL, V. P.; PATHAK, A. D.; SINGH, P. Green technologies for improving cane sugar productivity and sustaining soil fertility in sugarcane based cropping system. **Sugar Tech**, v. 21, n. 2. p. 186-196, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00706-z>
- SIDDHANT, O.; SRIVASTAVA, R. P.; SINGH, S. B.; SHARMA, M. L. Assessment of sugar losses during staling in different varieties of sugarcane under subtropical condition. **Sugar Tech**, v. 10, p. 350-354, 2008. <https://doi.org/10.1007/s12355-008-0062-5>
- SILVA, J. L. F.; PRADO, R. M.; ALVES, T. L.; TENESACA, L. F. L.; SOARES, B. S. New strategy for silicon supply through fertigation in sugarcane integrating the pre-sprouted seedling phase and field cultivation. **Scientific reports**, v. 13, n. 1230, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-27323-3>
- SILVA, T. H. G. F da; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. de S.; JÚNIOR GOMES, W. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 64-71, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000100009>
- SIQUEIRA, G.; MILAGRES, A. M. F.; CARVALHO, W.; KOCH, G.; FERRAZ, A. Topochemical Distribution of lignin and hydroxycinnamic acids in sugar-cane cell walls and its correlation with the enzymatic hydrolysis of polysaccharides. **Biotechnology Biofuels**, v. 4, n. 9, p. 1-9, 2011. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-4-7>
- SOLOMON, S. Post-harvest cane deterioration and its milling consequences. **Sugar Tech**, v. 2, p. 1-18, 2000. <https://doi.org/10.1007/BF02945738>
- SOLOMON, S. Post-harvest deterioration of sugarcane. **Sugar Tech**, v. 11, p. 109-123, 2009. <https://doi.org/10.1007/s12355-009-0018-4>
- SOLOMON, S.; RAMADURI, R.; SHANMUGNATHAN, S.; SHRIVASTAVA, A. K.; DEB, S.; SINGH, I. Management of biological losses in milling tandem to improve sugar recovery. **Sugar Tech**, v. 5, p. 137-142, 2003. <https://doi.org/10.1007/bf02943624>
- SOLOMON, S.; SHRIVASTAVA, A. K.; SRIVASTAVA, B. L.; MADAN, V. K. Pre-milling sugar losses and their management in sugarcane. **Indian Institute of Sugarcane Research**, p. 217, 1997.
- SOLOMON, S.; SINGH, P; SHRIVASTAVA, K. A.; SINGH, P.; CHANDRA, A.; JAIN, R.; PRAJAPATI, C. P. Physicochemical method of preserving sucrose in harvested sugarcane at high ambient temperature in a sub-tropical climate. **Sugar Tech**, v. 13, n. 1, p. 60-67, 2011. <https://doi.org/10.1007/s12355-011-0075-3>
- SOUSA, D. O.; MESQUITA, B. S.; DINIZ-MAGALHAES, J.; BUENO, I. C. S.; MESQUITA, L. G.; SILVA, L. F. P. Effect of fiber digestibility and conservation method feed intake and the

ruminal ecosystem of growing steers. **Journal of Animal Science**, v. 92, p. 5622-5634, 2014. <https://doi.org/10.2527/jas2014-8016>

TEIXEIRA, C. B.; RAMOS, M. H.; SANTOS, J. F.; CHAVES, M. L.; BITENCOURT, L. L.; PEREIRA, R. A. N.; RAMALHO, M. A. P.; PEREIRA, M. N. Variáveis agronômicas e químicas e degradabilidade ruminal da cana-de-açúcar. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66, n. 3, p. 870-878, 2014. <https://doi.org/10.1590/1678-4162590>

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. Silicon in pre-sprouted sugarcane seedlings mitigates the effects of water deficit after transplanting. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 1, p. 1-11, 2020. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00170-4>

TEIXEIRA, G. C. M.; PRADO, R. M.; ROCHA, A. M. S. Low absorption of silicon via foliar in comparison to root application has an immediate antioxidant effect in mitigating water deficit damage in sugarcane. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 208, n. 6, p. 805-814, 2021. <https://doi.org/10.1111/jac.12511>

VERMA, A. K.; SINGH, S. B.; AGARWAL, A. K.; SOLOMON, S. Influence of postharvest storage temperature, time, and invertase enzyme activity on sucrose and weight loss in sugarcane. **Postharvest Biology and Technology**, v. 73, p. 14-21, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.04.014>

VERMA, K. K.; SONG, P. X.; ZENG, Y.; GUO D, J.; SINGH, M.; RAJPUT, V. D.; MALVIYA, M. K.; WEI, K. J.; SHARMA, A. LI, D. P.; CHEN, G. L.; LI, Y. R. Foliar application of silicon boosts growth, photosynthetic leaf gas exchange, antioxidative response and resistance to limited water irrigation in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 166, p. 582-592, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.06.032>

ZHAO, Y.; CHEN, M.; ZHAO, Z.; YU, S. The antibiotic activity and mechanisms of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) bagasse extract against food-borne pathogens. **Food Chemistry**, v. 185, p. 112-118, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.120>

ANEXOS

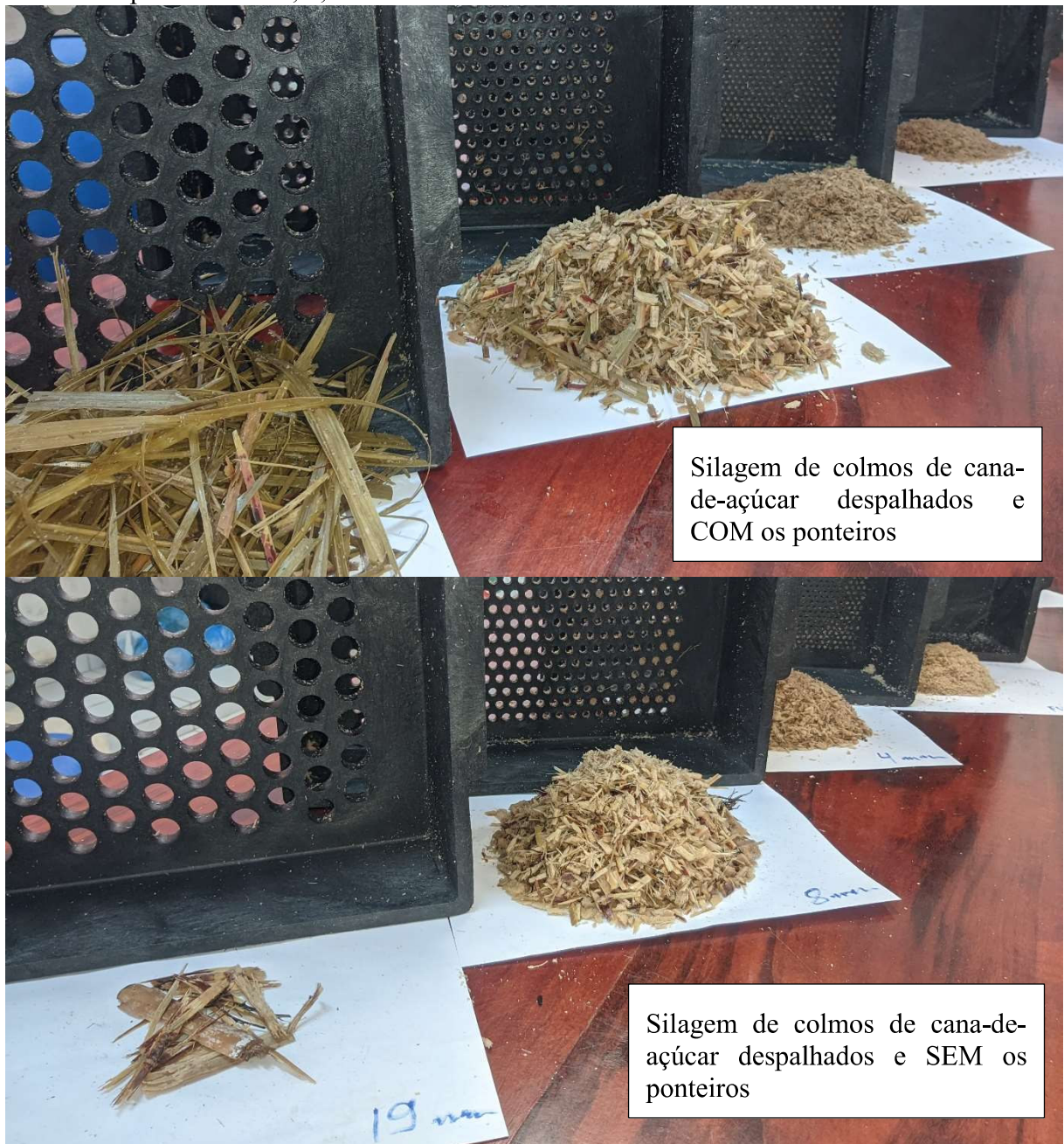
Anexo 1. Parcelas experimentais com cana-planta das variedades RB867515 e RB962962 aos antes da colheita aos 16 meses.



Anexo 2. Canas despalhadas armazenadas em montes com e sem os ponteiros protegidas do solo em um galpão coberto.



Anexo 3. Resultado da separação de partículas de dois tipos de silagem de cana com peneiras Penn State seguindo o método descrito por Heinrichs & Jones (2013), sendo da esquerda para a direita as peneiras de 19, 8, 4 mm.



Anexo 4. Certificado de aprovação pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) para o uso de animais nesta pesquisa.



COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CIAEP: 02.0341.2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO



CERTIFICADO (26/2022)

Certificamos que a proposta intitulada: "**Efeito do silício e do sistema de cultivo na produção da cana-de-açúcar e no valor nutritivo da forragem sob diferentes formas de processamento**" Processo n. 23115.006557/2021-86, sob a responsabilidade do **Prof. Dr. Zinaldo Firmino da Silva** que envolve a produção, manutenção ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto humanos), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi considerado **APROVADO** pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA - UFMA) da Universidade Federal do Maranhão, na reunião realizada em 11 de maio de 2022.

We certify that the proposal: "**Silicon and cropping system effects on sugarcane production and forage nutritional value under different processing methods**", Process n. 23115.006557/2021-86, under the responsibility of **Prof. Dr. Zinaldo Firmino da Silva**, which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, sub phylum Vertebrata (except humans beings) for scientific research purposes (or teaching) - is in accordance with Law No. 11,794, of October 8, 2008, Decree No. 6.899, of July 15, 2009, as well as with the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA), and was **APPROVED** by the Ethics Committee on Animals Use of the Federal University of Maranhão (CEUA - UFMA), in meeting of May 11, 2022.

PROPOSTA

Finalidade: Pesquisa **Área:** Zootecnia

Vigência: 20/09/2022 a 31/07/2023

ANIMAIS

Origem: Biotério de criação da UFMA - Chapadinha

Espécie: *Bos taurus* – Sexo: Fêmeas Idade: 7 anos
mestiças de Peso: 550-600Kg
Holandês-Gir,

AMOSTRA

3

Local do experimento: Unidade de Pesquisa em Nutrição de Gado de Leite - Chapadinha

São Luís, 19 de setembro de 2022

Bruno Araújo Serra Pinto

Presidente da Comissão de Ética no Uso de Animais – CEUA/UFMA

gov.br

Documento assinado digitalmente

BRUNO ARAUJO SERRA PINTO

Data: 19/09/2022 14:24:27-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>