

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA  
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA – CCCh  
CURSO DE ZOOTECNIA

KELLY TENÓRIO FIGUEIRINHA

**ASSOCIAÇÃO SI-LIGNINA NA DEGRADABILIDADE DA FIBRA DE SILAGEM  
DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA**

ORIENTADOR: PROF. DR.  
ZINALDO FIRMINO DA SILVA

COORIENTADOR: PAULO JUNIO  
SILVA DAMASCENO

CHAPADINHA- MA

2023

KELLY TENÓRIO FIGUEIRINHA

**ASSOCIAÇÃO SI-LIGNINA NA DEGRADABILIDADE DA FIBRA DE SILAGEM  
DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA**

Monografia apresentada ao curso de Zootecnia da Universidade Federal do Maranhão, como requisito indispensável para obtenção do grau de Bacharel em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Zinaldo Firmino da Silva

Coorientador: Paulo Junio Silva Damasceno

CHAPADINHA, MA

2023

KELLY TENÓRIO FIGUEIRINHA

**ASSOCIAÇÃO SI-LIGNINA NA DEGRADABILIDADE DA FIBRA DE SILAGEM  
DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA**

Monografia apresentada ao curso de Zootecnia da Universidade Federal do Maranhão, como requisito indispensável para obtenção do grau de Bacharel em Zootecnia.

Aprovada em: 06/12/2023

BANCA EXAMINADORA:

---

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

---

MSc. Paulo Junio Silva Damasceno (Coorientador)

---

Prof. Dr. Danilo Marte Pereira  
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

---

Prof. MSc. Jessica Antonia Cardoso Mendes  
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

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

Tenório Figueirinha, Kelly.

ASSOCIAÇÃO SI-LIGNINA NA DEGRADABILIDADE DA FIBRA DE  
SILAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA / Kelly Tenório  
Figueirinha. - 2023.

43 p.

Coorientador(a): Paulo Junio Silva Damasceno.

Orientador(a): Zinaldo Firmino da Silva.

Monografia (Graduação) - Curso de Zootecnia,  
Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha-MA, 2023.

1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA. 2. FORRAGEM. 3. NUTRIÇÃO. I.  
Firmino da Silva, Zinaldo. II. Silva Damasceno, Paulo  
Junio. III. Título.

Primeiramente à DEUS, pois nada disso seria possível se não fosse por sua permissão, que a Ele seja dada toda honra e toda glória. “[...] *porque sem mim nada podeis fazer.*” *João 15:5.*

Aos meus pais Benedito Luís e Cidia Tenório por todo o amor e esforço, na minha formação ética e espiritual, enfatizando sempre que com honestidade e fé em Deus podemos alcançar os mais distantes sonhos. Mãe, pai e irmãos (Késsia Tenório e Luís Tenório), concluímos a tão difícil jornada, e até aqui o Senhor nos ajudou. Essa CONQUISTA não é apenas minha, é de vocês!

**DEDICO**

“Acredito que cada escolha que fazemos é o  
começo da mudança, não o fim.”

Kim Nam-joon (**RM**)

## AGRADECIMENTOS

Toda honra e glória seja dada a te SENHOR. Agradecer primeiramente ao meu DEUS por sempre está comigo, pelo seu amor infinito, por todo cuidado, proteção e por ser meu DIVINO COMPANHEIRO nessa tão longa jornada, por sempre me permitir fazer e acreditar que posso ir além dos meus planos.

Aos meus pais, BENEDITO LUÍS FIGUEIRINHA e CIDIA TENÓRIO DE ALBUQUERQUE aos quais palavras nenhuma são suficientes para expressar todo o amor e gratidão que sinto, por todo esforço, dedicação, amor, cuidado, ensinamentos e orações que me tornaram a mulher que sou, vocês são meu maior exemplo de perseverança e honestidade. Chegamos ao fim dessa jornada, essa conquista não pertence somente a me é de vocês que junto comigo sonharam, oraram e acreditaram que eu seria capaz, que mesmo em meio as lutas, provações e sacrifícios entregaram tudo nas mãos de Deus o qual nunca abandona os seus. Eu os amo imensamente, obrigado por acreditarem em Mim!

Agradeço aos meus irmãos Késsia Tenório e Luís Tenório, sonhamos juntos, choramos juntos e acreditamos juntos que um dia conseguiríamos, aqui se encerra as três longas jornadas a qual demos inicio, sonhando e almejando um futuro melhor, aqueles sonhos que eram tão distantes se tornaram realidade. A vocês que tanto amo, em especial minha irmã (Késsia) meu muito obrigada por teu imenso amor a cada um de nós, por cada sacrificio seu, por estar sempre ao nosso lado apoiando e sonhando conosco, te amamos. Iremos ainda muito além, pois o nosso Deus tem grandes planos para conosco.

A minha irmã/tia Ester Barros (*in memoriam*) grande exemplo de tia, filha, irmã e de mulher guerreira, que mesmo não estando mais entre nós para comemorar essa conquista sempre desejou o melhor para me. Em meio as lágrimas e a dor da saudade que sinto agradeço a Deus pelo privilégio de tê-la tido em minha vida.

Aos meus sobrinhos (João Lucas, Gabriel, Maria Eduarda, Ana Lívia, João Eduardo, Alice e Benicio) que mesmo longe me transmitiram forças e coragem para chegar até aqui, sempre almejando um futuro melhor para cada um deles. A minha segunda mãe Antônia Soares (Mainha), a qual tenho amor inestimável, minha eterna gratidão pelo o seu amor, cuidado e por cada oração feita por mim.

A minha grande amiga Jaynara Moraes (Nara), a qual conquistei nessa trajetória, com você a caminhada tornou-se mais leve, que desde o início esteve caminhando junto comigo e me dando forças, por todo o cuidado, companheirismo, lealdade e cumplicidade e por sempre dizer que daria certo mesmo quando estava surtando junto comigo. Obrigado por ser meu ponto de apoio e minha família longe de casa. Aos meus amigos e colegas do CCCh, Vanda Ferreira, Otavio Lima, Francisca Cláudia e Eluiane Brito por sempre acreditarem no meu potencial.

Aos meus colegas que integram a turma de Zootecnia 2017.1 em especial Antonio Barbosa (*in memoriam*), Jaynara Moraes, Carlos Roldofo, Eduarda Castro, Mayara Raposo, Tiago Nascimento, Maylane Lima, Maria Neta, Thalia Caldas, Vanda Ferreira e Sabrina Vera, que juntos conseguimos chegar até aqui.

À toda equipe Gadleite (UFMA), em especial a Hudson Rodrigues, Ana Paula, Rubia e Pedro Antônio, que colaboraram durante a minha passagem pelo o grupo. A minha colega de equipe Gadleite e de laboratório Eryka Oliveira pelo o incansável esforço e dedicação no momento mais difícil da execução dessa pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Zinaldo Firmino o qual sou imensamente grata por todos esses anos de orientação, compreensão, dedicação, incentivo e oportunidades para irmos além. Ao meu coorientador Paulo Junio Silva Damasceno que colaborou diretamente em cada parte da execução desse trabalho, sempre me incentivando a buscar maiores oportunidades, contribuído significativamente para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Ao Professor Dr. Marcos Bomfim, pelo apoio e disponibilizado prestado durante a realização das análises no laboratório da UFMA.

A banca examinadora Prof. Dr. Danilo Marte e Prof. Jessica Antonia, pela a contribuição e disponibilidade nesse momento tão crucial da vida jornada acadêmica.

Agradeço a todo o colegiado de Docentes do curso de Zootecnia do CCCh, vocês passaram mais do que conhecimentos, compartilharam experiências de vida as quais levarei com imensa admiração para crescer como ser humano e profissional. A Universidade Federal do Maranhão com todo seu corpo docente e administrativo por contribui diretamente para essa conquista.

## RESUMO

O objetivo com este trabalho foi avaliar a associação do silício e lignina sobre a degradabilidade da fibra em detergente neutro (DEG FDN) em silagem de cana-de-açúcar irrigada e adubada via foliar com silício (AFSi). Foram utilizadas as variedades de cana-de-açúcar RB867515 e RB962962, por meio de Mudas Pré-Brotadas. A adubação foliar com silício (AFSi) foi realizada aos 90 dias do transplântio, utilizando-se como fonte de silício uma solução contendo silicato de sódio. A ensilagem foi realizada aos 16 meses, logo após o corte da cana-planta, foram despalhadas manualmente e separadas em dois componentes: colmos despalhados e despontados (SP) e colmos despalhados conectados aos ponteiros (CP). O valor nutritivo e as perdas da silagem foram avaliados aos 60 dias após a ensilagem. No ensaio de ensilagem, utilizado foi o delineamento em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Para a avaliação da degradabilidade *in situ* e da fibra não degradada no rúmen (uFDN), foram utilizadas três vacas da raça Girolando canuladas no rúmen, com grau de sangue holandês de 7/8 e 15/16 e peso vivo de 550 a 600 kg. O estudo da DEG seguiu um delineamento em blocos ao acaso, com as três vacas comoos três blocos (repetições) em dois tempos de incubação (24 e 288 h). Para a DEG da silagem,utilizou-se um esquema fatorial  $2 \times 2$ : dois tratamentos AFSi (Si e Co) e dois componentesda planta (CP e SP). Estes procedimentos foram realizados por meio do software estatístico R(R CORE TEAM, 2022), com o pacote Easyanova. Não foi detectado efeito da AFSi sobre a DEG MS e da FDN em 24 h. Após 288 h no rúmen, 52% da FDNmo das silagens ainda não havia sido degradada. Houve correlação negativa ( $r = -0,39$ ) entre lignina e DEG FDN 24 horas e na FDNu ( $r = -0,4181$ ), no entanto, com maior influência na FDNu ( $r^2 = 0,17$ ). A DEG FDNu em 288 horas de incubação é negativamente afetada por lignina, diferentemente da DEG FDN 24 horas. A AFSi afeta o valor nutritivo das silagens de cana. No entanto, a qualidade da silagem, não foi comprometida pela AFSi. A lignina impactou de forma negativa a DEG FDN 24h e da FDNu. A DEG FDN em 24 horas de incubação e a FDNu da silagem da cana-de-açúcar cultivada sob irrigação e AFSi foi afetada pela a presença da sílica (AFSi) na qual substitui parcialmente a função estrutural da lignina se tornando fator determinante para um menor desempenho da degradabilidade ruminal.

**Palavras-chave:** forragem, composição química, nutrição

## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of lignin on the degradability of neutral detergent fiber (DEG FDN) in sugarcane silage irrigated and foliarly fertilized with silicon (AFSi). Sugarcane varieties RB867515 and RB962962 were used, using pre-budded seedlings. Foliar fertilization with silicon (AFSi) was carried out 90 days after transplanting, using a solution containing sodium silicate as the silicon source. Silage was made at 16 months, immediately after cutting the plant cane, which was stripped manually and separated into two components: stripped stalks (SP) and stripped stalks connected to the tops (CP). The nutritional value and silage losses were assessed 60 days after ensiling. The silage trial used a split-plot design with four replications. To assess in situ degradability and undegraded fiber in the rumen (uFDN), three rumen-cannulated Girolando cows were used, with Dutch blood levels of 7/8 and 15/16 and live weights of 550 to 600 kg. The DEG study followed a randomized block design, with the three cows as the three blocks (repetitions) in two incubation times (24 and 288 h). For silage DEG, a  $2 \times 2$  factorial scheme was used: two AFSi treatments (Si and Co) and two plant components (CP and SP). These procedures were carried out using the R statistical software (R CORE TEAM, 2022), with the Easynova package. No effect of AFSi was detected on DM and NDF DEG at 24 h. After 288 h in the rumen, 52% of the NDF in the silages had not yet been degraded. There was a negative correlation ( $r = -0.39$ ) between lignin and DEG NDF at 24 hours and on NDFu ( $r = -0.4181$ ), however, with a greater influence on NDFu ( $r^2 = 0.17$ ). DEG FDNu at 288 hours of incubation is negatively affected by lignin, unlike DEG FDN 24 hours. AFSi affects the nutritional value of sugarcane silage. However, silage quality was not compromised by AFSi. Lignin had a negative impact on 24-hour FOD and FODNu. The 24-hour FODD and FODNu of sugarcane silage grown under irrigation and AFSi was affected by the presence of silica (AFSi), which partially replaces the structural function of lignin, becoming a determining factor for lower rumen degradability performance.

**Keywords:** forage, chemical composition, nutrition

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição percentual de lignina nos métodos de lignina em detergente ácido (LDA), lignina klason (LK) e lignina em oxidação em permanganato (LPER) nos componentes da cana-de-açúcar colhida aos 16 meses após o plantio.....	25
Tabela 2. Análise química do solo da área experimental .....	25

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Teores de matéria seca (MS) e fibra em detergente neutro na matéria orgânica (FDN<sub>mo</sub>) de silagens de colmos despalhados ensilados sem (SP) e com os ponteiros (CP), de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas com (T) e sem (S) adubação foliar com Si (AFSi).  
A e C: RB867515; b e d: RB962962 ..... 31
- Figura 2. (A) - degradabilidade ruminal da matéria seca (deg ms); (B) - da fibra em detergente neutro na matéria orgânica (DEG FDN<sub>Mo</sub>) em 24 h de silagens de colmos despalhados ensilados sem (SP) e com os ponteiros (CP), de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas com (T) e sem (S) adubação foliar com Si (AFSi). ..... 32
- Figura 3. Degradabilidade ruminal da fibra não degradada na matéria orgânica em 288 h no rúmen (uFDN<sub>mo</sub>) de silagens de colmos despalhados ensilados sem (SP) e com os ponteiros (CP), de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas com (T) e sem (S) adubação foliar com Si (AFSi). ..... 32
- Figura 4. Correlação entre a degradabilidade da FDN (DEG FDN) 24h e a lignina da silagem da cana (%MS). [Degradabilidade da fibra em detergente neutro 24h (%);  $r = -0,3921$  lignina (%MS);  $r^2 = 0,15$ ]. ..... 32
- Figura 5. Correlação da AFSI com a degradabilidade da FDN (DEG FDN) 24h e a lignina da silagem da cana (%MS). (Si) com aFSI e (Co) sem AFSI... ..... 36
- Figura 6. Correlação entre a degradabilidade da FDNu (DEG FDNu) e a lignina da silagem da cana (%MS). [Degradabilidade ruminal da fibra não degradada em 288 h (%);  $r = -0,4181$  lignina (%MS);  $r^2 = 0,17$ ]. ..... 32

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- AFSi – Adubação foliar com Si
- CD – Colmo descascado
- CI – Colmo inteiro
- CP – Colmo com ponteiro
- CS – Casca
- Co – Plantas que não receberam adubação foliar com Si
- DEG da FDN 24 h – Degradabilidade da fibra em detergente neutro após 24 h no rúmen
- DEG da MS 24 h – Degradabilidade da matéria seca após 24 h no rúmen
- FDA – Fibra em detergente ácido
- FDN – Fibra em detergente neutro
- FDNmo – Fibra em detergente neutro na matéria orgânica
- FS – Folha seca
- LDA – Lignina em detergente ácido
- LIG – Lignina
- LK – Lignina pelo método de Klason
- LPer – Lignina em Oxidação em Permanganato
- MM – Matéria mineral
- MN – Matéria natural
- MO – Matéria orgânica
- MS – Matéria seca
- PE – Perda por efluentes
- PG – Perda por gases
- PO – Ponteiro
- RES – Massa de resíduo obtido após o tratamento com ácido sulfúrico
- RMS – Índice de recuperação de matéria seca
- Si – Plantas que receberam adubação foliar com Si
- SP – Sem ponteiros
- uFDNmo - Fibra em detergente neutro na matéria orgânica não degradada em 288 h no rúmen
- % ASA – Percentual de amostra seca ao ar
- % ASE – Percentual de amostra seca em estufa
- % RES ASA – Percentual de resíduo obtido após o tratamento com ácido sulfúrico com base na amostra seca ao ar

% RES MS – Percentual de resíduo obtido após o tratamento com ácido sulfúrico com base na MS

% RM ASA – Percentual de resíduo obtido após incineração em mufla com base na amostra seca ao ar

% RM MS – Percentual de resíduo obtido após incineração em mufla com base na MS

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
2. OBJETIVO.....	17
2.1 Objetivo geral .....	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
3.1 Silício na cana-de-açúcar.....	18
3.2 Fatores que afetam o valor nutritivo da cana-de-açúcar.....	20
3.3 Qualidade da silagem da cana-de-açúcar.....	22
3.4 Análise de lignina .....	24
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>26</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSÃO.....</b>	<b>31</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>36</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O fornecimento da cana-de-açúcar na forma *in natura* para alimentação dos animais é uma prática estabelecida entre os pecuaristas. No entanto, o corte diário da cana-de-açúcar é um incômodo e causa problemas operacionais devido à demanda diária de mão de obra. Assim, uma das alternativas para reduzir as dificuldades operacionais de se trabalhar com a cana-de-açúcar encontrada pelos pecuaristas é utilizar como silagem para alimentar o gado (RIGUEIRA *et al.*, 2018). No entanto, quando a cana-de-açúcar é ensilada, apresenta um padrão fermentativo caracterizado por elevada produção de etanol e perda de carboidratos solúveis, mediada por leveduras; reduzindo seu valor nutricional e perdendo matéria seca (MOREIRA *et al.*, 2014; ROTH *et al.*, 2016).

Os ruminantes possuem elevada habilidade para transformar forragem em energia – ácidos graxos voláteis (AGV). Contudo, estudos demonstraram que para maior produção dessa energia é necessário que ocorra uma maior digestibilidade da fibra da forragem. A cana-de-açúcar é caracterizada por possuir fibra com baixa degradabilidade, o que limita o consumo de matéria seca e, por sua vez, pode reduzir o desempenho produtivo dos ruminantes (OLIVEIRA *et al.*, 2011; CARVALHO, 2014).

Essa baixa digestibilidade da fração fibrosa da cana-de-açúcar está ligada à presença da lignina e a sua ligação com os carboidratos estruturais (hemicelulose e celulose) na parede celular da cana, o que impede a ação dos microrganismos ruminais sobre estes carboidratos (FUKUSHIMA *et al.*, 2017; VAN SOEST, 1994). A presença da lignina na parede celular desta forragem, assim como a sílica é um dos fatores que dificulta a ação dos microrganismos ruminais, o que conseqüentemente faz com que ocorra uma diminuição do seu valor nutritivo podendo ser responsável pela inviabilização do uso da mesma na alimentação de animais de alto potencial produtivo.

A lignina do ponto de vista funcional é responsável por garantir rigidez a estrutura da planta e impedir a degradação dos polissacarídeos, atuando na linha de defesa contra pragas e doenças. Estudos recentes realizados com algumas variedades de cana-de-açúcar e adubadas com Si, sugerem que o silício pode substituir parcialmente a função estrutural atribuída a lignina. Segundo Oliveira Filho *et al.* (2021), o silício quando utilizado na adubação influencia as estruturas químicas e físicas que afetam a resistência da parede celular. A composição da parede celular é um fator determinante para a DEG da FDN, Damasceno *et al.* (2019) em um

experimento com canas adubadas com silício foliar, concluíram que o silício, mais que a lignina, reduziu a DEG da FDN em 24 horas de incubação ruminal, e aumentou a quantidade de fibra não degradável no rúmen em 288 h.

No caso da cana-de-açúcar, o percentual de DEG da FDN, DEG da MS e a composição da lignina pode variar em função do componente da planta avaliado. Estudos identificaram que a casca do colmo é o componente da planta com menor DEG FDN em 24 horas e sua remoção aumenta o valor nutritivo dessa forragem. Pois, o colmo quando descascado apresentou menor teor de lignina, o que pode estar relacionado ao maior teor de açúcares solúveis nessa fração da cana-de-açúcar (DAMASCENO, 2019; FERREIRA, 2020). Outros fatores que podem influenciar nesses parâmetros é a variedade utilizada e fatores externos como o clima e tratamentos culturais (CARVALHO *et al.*, 2010; TEIXEIRA *et al.*, 2014).

É necessário, portanto, identificar os fatores intrínsecos da fibra (lignina e sílica) da cana-de-açúcar determinantes para a baixa degradabilidade desta forrageira (TEIXEIRA *et al.* 2014). Conhecer a fração não degradável dos diferentes componentes da cana-de-açúcar pode ser um atalho para melhorar as estratégias de manejo alimentar de ruminantes com uso dessa forragem.

Desta forma, foi o objetivo com o este trabalho avaliar o efeito da lignina sobre a DEG da FDN e a uFDN<sub>mo</sub> da silagem de cana-de-açúcar adubadas com silício foliar.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar o relacionamento entre as concentrações de lignina sobre a degradabilidade ruminal da fibra em detergente neutro (DEG da FDN) de amostras de silagem de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação e adubadas com silício via adubação foliar.

### **2.2 Objetivos específicos**

A partir de amostra de silagem de cana (RB-962962 e RB-867515) objetivou-se avaliar:

- os teores de matéria (MS) e FDN;
- a DEG da MS e da FDN *in situ* em 24h;
- os teores de lignina Klason;
- o relacionamento entre lignina e DEG FDN da silagem.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Silício na cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta de metabolismo  $C_4$  e possui quatro estádios de desenvolvimento: brotação, perfilhamento, longo período de crescimento e maturidade. Contudo seu cultivo pode ser superior aos 12 meses, e em resposta a esse longo período a planta experimenta estresse hídrico, o que afeta o desempenho da planta. Esses estádios de crescimento são afetados pelo déficit hídrico, ocasionando perdas no desenvolvimento e na produtividade das plantas (VERMA *et al.*, 2020).

A produtividade da planta vai depender de variáveis ambientais, incluindo a umidade do solo, a baixa disponibilidade de água que é um dos grandes desafios que prejudica o desempenho das plantas e o rendimento das culturas, o silício pode ser usado como um moderador do estresse ambiental. Segundo Verma *et al.*, 2020, foi possível observar efeitos positivos do silício como moderador do estresse ambiental proporcionando aumento do crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas em ambientes com condições ambientais adversas.

O silício é um dos elementos abundantes da superfície terrestre, superado apenas pelo oxigênio, apesar de não ser um elemento essencial, ele possui uma alta taxa de absorção pela cana-de-açúcar, podendo ser maior que o potássio (K), nitrogênio (N), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (TISDALE *et al.* 1993). A adubação silicatada na cana-de-açúcar, o principal impacto é o aumento da produtividade da cana-de-açúcar, como efeitos observados também em cana soca, conforme relata Camargo (2014), o que sugeriria a inclusão do Si na adubação dessa cultura de modo a garantir a sustentabilidade da produção agrícola.

Os mecanismos necessários para que o Si promova a diminuição do déficit hídrico na cana-de-açúcar estão relacionados a aspectos fisiológicos que resultam em melhor crescimento da planta. Aplicação de silício vai afetar a concentração de carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e silício (Si) de forma diferente em diferentes partes da planta. Com a possibilidade de substituir parcialmente a celulose e compostos estruturais à base de carbono por Si, tendo em vista que o Si diminuiu a celulose (FRAZÃO *et al.*, 2020; SCHALLER *et al.*, 2012).

A fertilização com Si pode melhorar a tolerância das plantas em condições estressantes e, assim, atenuar as perdas de rendimento. O fornecimento de silício via fertirrigação associado à pulverização foliar de silício, é uma prática ainda em desenvolvimento. Teixeira et al., (2021) relatou que a AFSi foi capaz de reduzir o estresse hídrico em extensão semelhante ou até maior que o fornecimento via radicular em mudas de cana-de-açúcar pré-brotadas. Porém o fornecimento foliar de Si resultou em 10 a 13 vezes menos acúmulo. Constatou-se que a AFSi não é uma estratégia eficaz para induzir a formação de barreira física, de maneira, que esse processo pode estar relacionado à uma alta absorção através do solo, e não pelas as folhas. Uma vez que a cana-de-açúcar pode acumular uma grande quantidade de Si, provavelmente devido à atividade de certos transportadores radiculares para extrair esse elemento (CAMARGO *et al.*, 2021; OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2021).

O silício é depositado nas plantas, principalmente nos tecidos de suporte do caule e folhas. A presença de sílica pode contribuir para a maior taxa fotossintética das plantas por melhorar a arquitetura foliar já que proporciona certa rigidez ocasionando, nas folhas, disposição mais ereta, permitindo maior área de interceptação da radiação solar (MARSCHINER, 1995; DEREN, 2001). O acúmulo de Si confere proteção à planta e reduz os efeitos negativos de natureza biótica e abiótica provenientes do ataque de insetos, herbívoros e do déficit hídrico. Porém, Datnoff et al (2007) afirma que a sílica associada aos constituintes da parede celular acaba se tornando menos acessível às enzimas de degradação podendo limitar a digestão da forragem pelos ruminantes.

FAGUNDES (2005), relata que existem resultados contraditórios, a respeito da influência do silício sobre os microrganismos ruminais, entretanto, acredita-se que a sílica pode afetar o acesso dos microrganismos do rúmen às partículas de forragens de forma semelhante como faz no meio ambiente, deprimindo a digestibilidade das forragens. Apesar desses resultados contraditórios, Van Soest & Jones (1968) afirma que a sílica pode causar até 3% de redução na digestibilidade da matéria seca *in vitro* para cada unidade aumentada. De modo que, a depressão da digestibilidade da fibra se torna mais acentuada quando se tem a soma dos efeitos da sílica e da lignina, por formarem uma camada recalcitrante à penetração dos microrganismos ruminais (CARVALHO, 2014).

### 3.2 Fatores que afetam o valor nutritivo da cana-de-açúcar

A participação da lignina e da sílica como agentes que afetam negativamente o valor nutritivo das gramíneas, estar relacionado a presença de lignina na parede celular desta forragem sendo ela um dos fatores que dificultando a ação dos microrganismos ruminais, consequentemente diminuindo o valor nutritivo (FUKUSHIMA *et al.* 2017). É, portanto, preciso maiores consideração científica em torno na correlação da lignina com a baixa digestibilidade da fibra da cana-de-açúcar no rúmen.

Apesar de ser uma cultura bastante utilizada para nutrição animal, apresenta alguns fatores limitantes como, o baixo teor de proteína, os valores de proteína bruta que podem variar entre 1,91 a 3,81%, podendo ser considerado um entrave na utilização dessa forragem como alimento volumoso para ruminantes. Além da alta produtividade, e baixo teor de proteína, outro fator tem sido levado em consideração na escolha das variedades de cana-de-açúcar destinadas à alimentação de bovinos. O relacionamento entre a fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e a sacarose no caldo dos colmos, que é um indicador da qualidade bromatológica. A FDN é uma medida da massa da parede celular das plantas em relação aos demais constituintes da célula, e é composta de celulose, hemicelulose e lignina. Desconsiderando a pectina que é a molécula que une as células vegetais, na qual é solúvel em detergente neutro, e apresenta disponibilidade nutricional praticamente completa e constante, sendo rapidamente digeridos e de fácil digestão no rúmen.

Carvalho *et al.* (2010) faz referência a cana-de-açúcar como uma forragem que apresenta uma baixa digestibilidade da fibra. O mesmo avaliou os efeitos dos componentes da fração fibrosa sobre a digestibilidade da matéria seca e da fibra. Nesse estudo foi encontrado menor digestibilidade da FDN no caule (11,9%) em comparação com as folhas (23,9%). No entanto, o teor de FDN do colmo é inferior (38,2%) ao das folhas (68,7%), foi desconsiderada a palhada, que apresentaria valores de FDN maiores que as folhas. Através da avaliação dos efeitos do ambiente ruminal sobre a DEG dos constituintes da cana-de-açúcar, foi observado um valor médio de 57,1% a 63,9% de DEG MS em colmos inteiros, e 19,8% a 22,6% de DEG FDN em 24 h de degradação ruminal, (PEREIRA *et al.*, 2015).

No entanto, existem estratégias que já são utilizadas com o propósito de melhorar o valor nutritivo da cana-de-açúcar. Para isto é necessário que ocorra a redução dos teores de FDN da planta ou um aumento da DEG da FDN. Visando esses dois objetivos, pode ser uma estratégia a utilização de uma variedade que apresente menor teor de FDN e FDA (DANIEL *et*

*al.*, 2017). Outra alternativa seria o fornecimento de partes da cana com remoção daqueles componentes com maior indigestibilidade que promovem o menor consumo pelo o animal, o despalhamento seria essa opção. Conta com a retirada da palha da cana que contém altos teores de lignina e FDN, na qual seria a retirada da palha e das folhas totais (DAMASCENO *et al.*,2019).

Segundo Besharat (2020), o cultivo da cana-de-açúcar em regiões tropicais pode ser afetado pela ocorrência de eventos climáticos extremos, como o aumento na intensidade e extensões das secas. O aumento de secas tem favorecido o uso de irrigação em canaviais, pois a cana-de-açúcar é frequentemente exposta a condições de déficit hídrico, o que limita a produção de biomassa e o desenvolvimento da cultura. Portanto, outro agente de extrema importância, é o tipo de regime de cultivo da cana, sendo ele sequeiro ou irrigado, é outro fator capaz de alterar o valor nutritivo da cana-de-açúcar. Embora a cana-de-açúcar tenha um bom ajuste sob o manejo em sequeiro, em época de estiagem, a redução da produtividade da cultura decorrente da escassez hídrica pode elevar os custos de produção e diminuir a rentabilidade da pecuária.

Em resposta ao déficit hídrico, a planta sofrerá modificações morfológicas e consequentemente essas alterações se refletem na produtividade da cultura, sendo provável sua influência sobre o valor nutritivo da cana e no consumo desse alimento pelos animais. Existem estratégias para diminuir os efeitos do déficit hídrico na cana-de-açúcar, tais como o melhoramento genético que por sua vez proporciona o desenvolvimento de variedades mais tolerantes ao menor fornecimento de água, visando melhorar o desempenho produtivos em relação a variedades não tolerantes (SMIT e SINGELS, 2006)

### 3.3 Qualidade da silagem da cana-de-açúcar

A ensilagem é uma técnica para conservação de forragem utilizada para disponibilizar alimento no período de escassez. Consiste essencialmente em picar, compactar e vedar a massa de forragem em silos, que podem ser de diversos formatos e tamanhos. A eficiência da compactação é uma etapa importante porque afeta diretamente a fermentação anaeróbica no silo (BARBOSA, 2019).

O produto final desta fermentação, é chamado de silagem, tal resultado é obtido pela ação de bactérias lácticas sobre açúcares presentes nas plantas, reduzindo o pH até valores próximos de 4,0 (DEMARCHI, BERNARDES, 2001). Como qualquer outra forrageira, a cana-de-açúcar tem suas particularidades e suas características para se adequar ao processo de ensilagem sendo elas:

- teor de matéria seca (MS) em torno de 25 a 30%;
- teor de carboidratos solúveis (CHOs) próximos a 10% da matéria natural (MN);
- e poder tampão que permite a queda do pH para valores próximos a 3,5.

Segundo Nussio (2003) a razão pela utilização da cana-de-açúcar na pecuária se dá pelo baixo custo por unidade de matéria seca produzida, a manutenção do valor nutritivo, maior disponibilidade nos períodos de escassez de forragens e do melhor desempenho econômico se comparado com as demais forrageiras, dependendo da categoria animal. Apesar de existirem restrições quanto ao consumo da silagem de cana-de-açúcar para bovinos, principalmente as de raças leiteiras de nível médio e alta produção, decorrentes, da baixa digestibilidade da fibra, o que pode prejudicar o consumo desse alimento por animal (MAGALHÃES *et al.* 2000).

Já mencionado anteriormente, a principal limitação da silagem cana-de-açúcar é a redução de consumo, ocasionada especialmente pela baixa digestibilidade da fibra (VALADARES FILHO *et al.* 1996). No entanto, essas ligações do tipo éster, nas gramíneas, são particularmente susceptíveis à ação hidrolítica, o que requer a utilização de álcalis no tratamento da cana-de-açúcar, promovendo solubilização de parte da lignina pelo aumento de pH (VAN SOEST, 1994). Segundo Nussio *et al.* (2005), o acúmulo de etanol pode não somente representar perdas do material ensilado, mas também perdas decorrentes da recusa dos animais.

Estudos comprovaram que o efeito de dietas compostas por cana-de-açúcar como fonte de forragem causou redução de MS e queda na produção de leite (OLIVEIRA *et al.* 2011). Tornando a degradabilidade da fibra da cana como principal impedimento para que ocorra maior inclusão desta forragem na alimentação de vacas ou novilhas de alta exigência nutricional (DAMASCENO, 2019).

O uso de aditivos no processo de ensilagem, tem se tornado uma estratégia com a finalidade de melhorar a qualidade do produto. Com base nessa estratégia, vários aditivos vêm sendo estudados e avaliados para a estabilidade aeróbica e controle da fermentação alcoólica, assim como, inoculantes com bactérias homoláticas, como *Lactobacillus plantarum* e *Pediococcus pentosaceus* e inoculantes com bactérias produtoras de ácido propiônico. Pedroso (2008), observou os efeitos do tratamento utilizando inoculantes contendo bactérias heterofermentativas, da espécie *Lactobacillus buchneri*. Os resultados são positivos, havendo diminuição no teor de etanol e das perdas de MS e no número de leveduras, com aumento da estabilidade aeróbia das silagens.

### 3.4 Determinações da lignina

A biomassa lignocelulósica é composta especialmente de celulose (35-50%), hemicelulose (20-35%) e lignina (5-30%) (ZHANG *et al.*, 2004). A lignina atua nas fibras como um “cimento”, devido à sua adesão com celulose, a estrutura da lignina não é homogênea, sendo que sua composição pode variar de acordo com sua fonte de biomassa (SANTOS *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2009).

A lignina é classificada como um componente não-carboidrato existente na parede celular de vegetais que normalmente garante maior rigidez na estrutura da planta, facilita o transporte de água e atua como importante linha de defesa contra insetos e patógenos. Apesar dessas vantagens, é considerada um componente indigestível pelas enzimas dos mamíferos e microrganismos ruminais (HATFIELD e FUKUSHIMA, 2005).

A extração da lignina ocorre a partir de tratamentos físicos e/ou químicos e bioquímicos. Todos os métodos de isolamento têm como objetivo a hidrólise química da estrutura da lignina até que os fragmentos resultantes se tornem solúveis (WANG *et al.*, 2020). No decorrer dos anos, vários estudos foram realizados, testando diferentes métodos químicos para quantificar a presença de lignina nos alimentos fornecidos para os animais (FERREIRA, 2019). A maior dificuldade em estudar o papel da lignina na digestibilidade da parede celular é que este componente não pode ser extraído da estrutura molecular definitivamente. Assim, as estimativas de concentração da mesma tornam-se muito variáveis, baseando-se somente em um método específico de análise (JUNG *et al.*, 2006).

O método mais popular e utilizado em trabalhos com forragem é o de hidrólise ácida. Também chamado Lignina em Detergente Ácido (LDA), usando ácido sulfúrico 72%, sequencial ao procedimento de fibra em detergente ácido (FDA) (VAN SOEST, ROBERTSON, BARRY 2018). No entanto, essa metodologia resulta em valores mais baixos, quando comparados a outras metodologias. O segundo mais utilizado é o do Klason, que também faz uso da solução de ácido sulfúrico a 72%, entretanto, não é um procedimento sequencial (HATFIELD e FUKUSHIMA (2005) e RAFFRENATO e AMBURGH (2011)).

O tipo mais utilizado de obtenção da lignina com poucas modificações é o isolamento, que consiste em três métodos básicos: lignina como resíduo, como derivado ou como extrativo. O método de lignina Klason consiste no tratamento da amostra livre de extrativos com ácido sulfúrico 72%. O ácido tende a dissolver a fração polissacarídica, deixando como resíduo a lignina, ocorrendo assim a hidrólise dos carboidratos e o isolamento da lignina.

Os métodos LK e LDA são semelhantes por utilizarem ácido sulfúrico 72%. No entanto, a diferença entre os dois métodos é a sequência em que são utilizadas as diferentes concentrações de ácido sulfúrico (GOMES, 2011). No LDA é utilizado o brometo de cetiltrimetilamônio (CTAB) para limpar o material para se obter o FDA, que posteriormente é submetido ao ácido sulfúrico. No método LK, a amostra é submetida ao ácido concentrado por um período de uma hora em banho maria, e por fim o ácido é diluído em água destilada (FUKUSHIMA *et al*, 2015),

Ferreira (2019) utilizou amostras de cana-de-açúcar de sete variedades (RB92579, CV4, RB962962, RB041443, RB951541, RB855035 e RB867515), de primeiro ciclo, colhidas aos 16 meses. As plantas foram separadas nos componentes: colmo integral, colmo descascado, ponteira, folha seca e casca. Nesse estudo, foram determinadas as concentrações de lignina por três métodos: LDA, LK e LPer (Lignina em Permanganato). Dentre os resultados, foi percebido maiores valores pelo método LK para todos os componentes da cana avaliados (Tabela 1).

Tabela 1. Composição percentual de lignina nos métodos de Lignina em Detergente Ácido (LDA), Lignina Klason (Lk) e Lignina em Oxidação em Permanganato (LPer) nos componentes da cana-de-açúcar colhida aos 16 meses após o plantio.

COMPONENTES	MÉTODOS		
	LDA	LK	LPer
FS	8,73b	18,15a	2,39c
PO	5,32b	16,95a	1,85c
CI	5,71b	9,79a	1,03c
CD	3,97b	6,84a	1,35c
CS	8,91b	18,09a	1,92c

Fonte: Adaptado de FERREIRA, (2019).

Segundo Ferreira (2019), dos métodos estudados o da LK apresenta uma maior precisão dos valores para os componentes da cana-de-açúcar, com maiores valores para folha seca, casca e ponteira. Há uma necessidade de estabelecer um método para a rotina laboratorial que melhor quantifique o teor da lignina na cana-de-açúcar com vistas a melhor compreensão de seus efeitos sobre o valor nutritivo.

É comum se utilizar o método LDA em análise de forragens (VAN SOEST *et al.*, 2018). No entanto, há subestimação nos valores de lignina devido a solubilização parcial da mesma na solução de detergente ácido, podendo ter perdas de 50% ou mais (VAN SOEST, 1994), o que acabar resultando valores mais baixos (FUKUSHIMA, 2015).

#### 4. METODOLOGIA

O estudo foi conduzido na Unidade de Pesquisa em Nutrição de Gado de Leite (UPNGL), pertencente ao Centro de Ciências de Chapadinha da Universidade Federal do Maranhão. Está localizada no município de Chapadinha, Mesorregião Leste do estado situada sob as coordenadas de latitude e 3°44'16" Sul e 43°20'48" Oeste. O clima, segundo classificação de Koppen é do tipo tropical quente e úmido com temperatura média anual de 28,7°C, com máxima de 37°C e mínima de 23°C, precipitação pluviométrica nos últimos anos de cerca de 1.947 mm (INMET, 2022). A estação chuvosa ocorre em geral nos primeiros seis meses do ano, enquanto que os demais são caracterizados pelo período de seca.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico (SANTOS *et al.*, 2018). Foi realizada a análise química do solo na camada 0-20 cm e 20-40 cm da área experimental (Figura 1). Com base na análise química, foi feita a gradagem do solo que ocorreu em julho de 2019, seguida de arado de disco e grade niveladora para incorporar o calcário. Foi necessário a aplicação de 2.000 kg. ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico com PRNT 90, cuja necessidade foi determinada pelo método da elevação da saturação de bases (RIBEIRO *et al.*, 1999).

Duas cultivares de cana-de-açúcar foram utilizadas neste experimento: RB867515 e RB962962. Esses materiais foram adquiridos em maio de 2019 por meio de doação pela Usina Itajubara S/A Açúcar e Álcool (Coelho Neto- MA). Foi utilizado o sistema de Mudas Pré-Brotadas (MPB), no qual foram removidos pedaços de colmos maduros (rebolos) contendo gemas vivas e não danificadas, com aproximadamente 3 cm de comprimento. Cada rebolo foi colocado a 3,5 cm de profundidade em uma mistura homogênea de 50% de solo e 50% de esterco bovino curtido, contido em sacos de polietileno com dimensões de 12 x 20 cm e submetidos a regas diárias.

A etapa de transplântio das mudas para área experimental ocorreu em agosto de 2019, onde as mudas com 90 dias após o plantio foram distribuídas em covas de 30 cm com adubo aplicado no fundo. Cada parcela era composta de cinco linhas de 7 m, com espaçamento de 50 cm entre plantas e 1 m entre linhas. Assim, foram necessárias 70 mudas por parcela. A fim de suprir os requerimentos nutricionais para atingir uma produtividade superior a 120 t ha<sup>-1</sup> foram realizadas a adubação de transplântio (366 kg. ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo (150 kg. ha<sup>-1</sup> de P205), e de cobertura (276 kg. ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (160 kg de K2O) e 91 kg. ha<sup>-1</sup> de uréia (40 kg. ha<sup>-1</sup> de N)) (Damasceno, 2023).

Tabela 2. Análise química do solo da área experimental

Prof.	pH	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC
cm	CaCl	cmol.c.dm <sup>-3</sup>						
0-20	4,1	0,1	0,4	0,3	0,4	3	0,8	4
20-40	3,9	0,04	0,3	0,2	0,6	3	0,5	3

Prof.	M.O	P	V	m	Ca	Mg	K
cm	g.kg <sup>-1</sup>	mgdm <sup>-3</sup>	%				
0-20	15	3	20	35	11	7	2
20-40	11	2	14	57	7	5	1

Logo após o transplântio das mudas, iniciou-se a irrigação plena durante o estágio de perfilhamento até o estabelecimento do estande (agosto a dezembro de 2019), no qual foi utilizado um sistema de gotejamento superficial com pressão nominal de 10 mca, vazão nominal do emissor de 1,5 L/h<sup>-1</sup> e espaçamento de emissores de 30 cm.

Aos 60 dias de transplantadas foi feita a AFSi de modo aleatório com um pulverizador costal em uma das duas parcelas de cada variedade em cada bloco. 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. Como fonte de Si foi utilizada uma solução de aminoácidos e silicato de sódio (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>), com 4,6% de silício total e 3,7% de silício solúvel em água. A diluição final em água destilada para 170 Lha<sup>-1</sup> continha 29,41 ml.L<sup>-1</sup> da solução com silicato de sódio. A AFSi foi realizada entre as 06:30 e 08:00 da manhã (DAMASCENO, 2023).

As variedades RB867515 e RB962962 foram cultivadas e adubadas com silício (Si) e sem adubação com silício (Co) e colhidas em setembro de 2020, aos 16 meses para a confecção da silagem. Logo após o corte da cana-planta, foram despalhadas manualmente e separadas em dois componentes: colmos despalhados e despontados (SP) e colmos despalhados conectados aos ponteiros (CP).

Para a confecção dos silos foram usados baldes de 5 L. Cada mini-silo foi preparado com 1,5 kg de areia peneirado no fundo, coberta por um tecido de algodão e uma tela de proteção para a colheita e quantificação de efluentes. Com a finalidade de determinar a perda por gases produzidos pelo processo de fermentação, as tampas foram preparadas com válvulas do tipo Bunsen (Anexo 1).

Os componentes (SP e CP) das variedades RB867515 e RB962962 foram triturados separadamente. Depois de trituração, a forragem recebeu a aplicação de uma solução com aditivo microbiano, contendo *Lactobacillus buchneri* (CNCM I-4323) em aproximadamente 2,5 x 10<sup>10</sup>

UFC/g de forragem fresca. Em seguida, foi realizada a homogeneização, o enchimento e a compactação manual dos mini-silos, que foram fechados e vedados com fita adesiva, e permaneceram guardados em um local coberto protegidos do sol e sob temperatura ambiente com circulação natural de ar. A massa de forragem usada nos baldes foi colocada de modo a evitar espaços vazios na parte superior do mini-silo.

Após 60 da ensilagem os minisilos foram pesados para determinação das perdas por gases e em seguida foram abertos e após a remoção da massa de silagem que foi utilizada para quantificar a perda por gás, por efluente e a recuperação de massa verde. Em seguida, foi realizada a determinação do tamanho de partícula com peneiras Penn State. Prosseguido com a quantificação do índice de recuperação de matéria seca (%RMS), a perda por gases (%PG) e por efluentes (%PE) seguindo a metodologia descrita por Jobim et al. (2007). Para mensuração do pH, foi utilizado 25 g de silagem fresca misturadas em 100 ml de água destilada na qual permaneceram em repouso por 1 hora, após esse período de tempo, foi realizada a leitura com um pHmetro digital previamente calibrado.

Após a abertura dos silos, amostras de cada tratamento, 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  $\alpha$ -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).

Para a avaliação da degradabilidade *in situ* e fibra não degradada no rúmen (uFDN), foram utilizadas três vacas da raça Girolando canuladas no rúmen, com grau de sangue holandês de 7/8 e 15/16 e peso vivo de 550 a 600 kg. A utilização desses animais para o presente trabalho foi aprovada pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA), processo n° 23115.006557/2021-86 (Anexo 2). Os animais foram submetidos a um período de adaptação de 15 dias antes da incubação no rúmen, sob uma alimentação sem restrições com a silagem de cana para as incubações de amostras da silagem. A oferta de alimento foi dividida em duas partes iguais, sendo ofertada em dois turnos às 7:00h e a outra às 16:00h. 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.

Para a incubação no rúmen foram inseridas 5 g de amostras pré-secas em sacos de tecido não tecido (TNT) de gramatura 100 (100 g/m<sup>2</sup>), com dimensões de 17 x 9 cm, em

triplicata. Os sacos permaneceram no rúmen com auxílio de um peso de chumbo de 300 g em uma sacola de filó 100% poliéster conectada à cânula por um cordão de náilon de 20 cm. Sendo utilizado o tempo de 24 h no rúmen para avaliar a degradabilidade ruminal *in situ* da matéria seca e da FDN na matéria orgânica (DEG da MS e da FDNmo), e de 288 h no rúmen para a FDN na matéria orgânica não degradada (uFDNmo).

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. Sequencialmente, foram lavados de forma manual até que o efluente resultante estivesse translúcido. Os sacos lavados permaneceram em estufa com circulação forçada de ar a 55° C por 72 h para determinar a MS do resíduo. O cálculo da DEG da MS e da FDNmo consiste na proporção de MS e de FDNmo desaparecida após 24 h no rúmen em relação à MS e a FDNmo anteriores à incubação, respectivamente. O cálculo da uFDNmo consiste na proporção da FDNmo não degradada após 288 h no rúmen em relação à FDNmo anterior à incubação.

Posteriormente, todas as amostras foram analisadas quanto aos teores de lignina pelo método lignina klason (LK; INCT-CA F-007/1), conforme preconizados pelo Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia em Ciência Animal (INCT-CA; Detmann et al., 2012). O método foi adaptado com a utilização de saquinhos confeccionados em TNT 100 ("tecido não tecido", porosidade de 100 micra e dimensões de 5 x 11) na substituição de cadinhos filtrantes (Anexo 3).

Na lignina Klason, as amostras ficaram em banho-maria a 30°C durante uma hora com solução de ácido sulfúrico (72%) (Anexo 4). Posteriormente, adicionou-se água destilada, cerca de 80 ml para serem autoclavados durante uma hora a 105°C, sendo lavados com água destilada quente, secados em estufa a 105°C por uma noite e, por fim, colocados em cadinhos de porcelana, queimados em mufla por duas horas conforme Detmann et al. (2012).

A massa de lignina é calculada pela diferença de peso entre os resíduos insolúveis em ácido sulfúrico (72%) e após a incineração em mufla, a lignina foi calculada por meio das seguintes fórmulas:

$$\%RES\ ASA = RES / ASA \times 100$$

$$\%RES\ MS = \%RES\ ASA / \%ASE \times 100$$

$$\%RM\ ASA = RM / ASA \times 100$$

$$\%RM\ MS = \%RM\ ASA / \%ASE \times 100$$

$$\%LIG = \%RES\ MS - \%RM\ MS$$

O estudo da DEG seguiu um delineamento em blocos ao acaso, com as três vacas comoos 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, sendo a parcela principal o tratamento de AFSi e a subparcela o tempo de armazenamento em montes

(0, 4 e 8 dias). Não foi considerado o fator variedade neste conjunto de dados, sendo que as DEG das mesmas foram combinadas nos dois tempos de incubação. Para a DEG da silagem, utilizou-se um esquema fatorial  $2 \times 2$ : dois tratamentos AFSi (SSi e CSi) e dois componentes da planta (CP e SP). Estes procedimentos foram realizados por meio do software estatístico R (R CORE TEAM, 2022), com o pacote Easyanova (ARNHOLD, 2013)

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se nas silagens da variedade RB867515 tratadas com AFSi um menor teor de MS, independentemente da inclusão dos ponteiros. Por outro lado, nas silagens da variedade RB962962, tanto a AFSi quanto a presença dos ponteiros na ensilagem favoreceram um aumento do teor de 22,2% MS. O teor de matéria seca da silagem aos 60 dias foi menor no tratamento Si da variedade RB962962 do que na variedade RB967515 (Figura 1). As duas variedades apresentaram teores de FDN superiores a 70%, com amplitude de variação de até 30 p.p em relação a cana *in natura* (DAMASCENO, 2023).

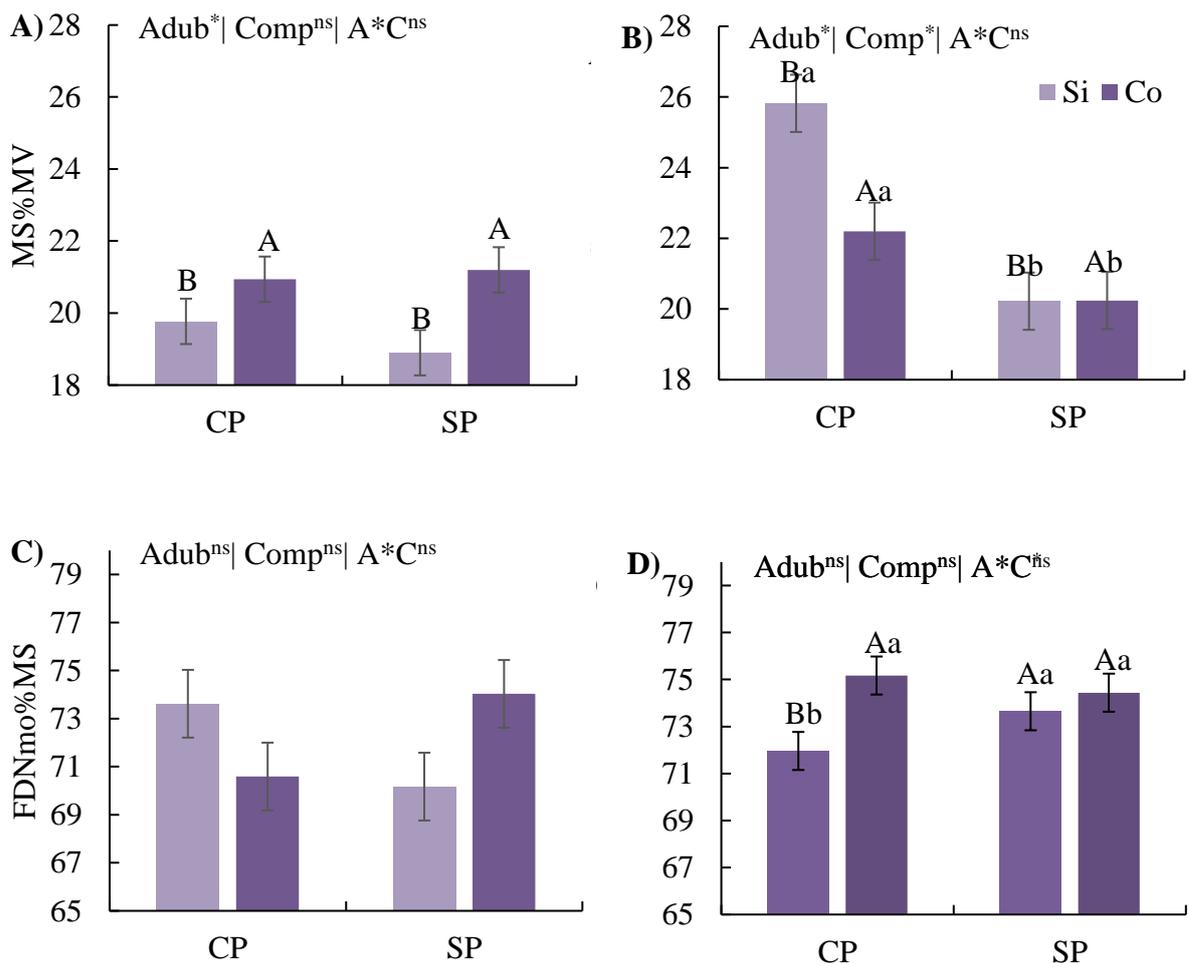


Figura 1. (A e B) Teores de matéria seca (MS) e (C e D) fibra em detergente neutro na matéria orgânica (FDNmo) de silagens de colmos despalhados e ensilados sem (SP) e com os ponteiros (CP), de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas com (Si) e sem (Co) adubação foliar com Si (AFSi)

A e C: RB867515; B e D: RB962962

A AFSi e a inclusão dos ponteiros não afetou a DEG MS e a DEG FDN 24 h das silagens, embora uma tendência tenha sido observada na DEG MS 24 h. Na DEG MS em 24 h ocorreu uma variação de cerca de 10 p.p superior em relação a DEG FDN (Figura 2).

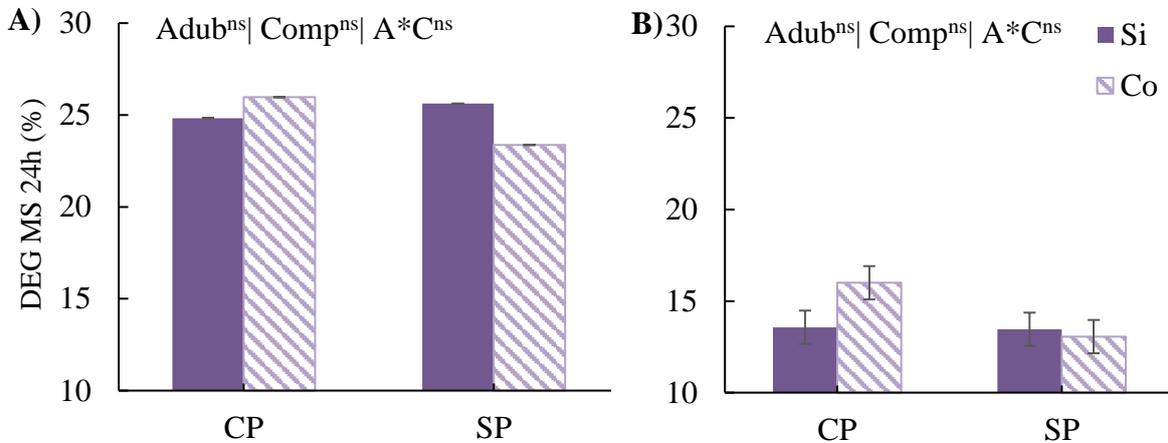


Figura 2. (A) - Degradabilidade ruminal da matéria seca (DEG MS); (B) - da fibra em detergente neutro (DEG FDN) em 24 h de silagens de colmos despalhados ensilados sem (SP) e com os ponteiros (CP), de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas com (Si) e sem (Co) adubação foliar com Si (AFSi). ns: não significativo pelo teste F. As barras sobre as colunas representam erro padrão da média

Após um período de 288 h de incubação no rúmen, cerca de 52% da fibra em detergente neutro na matéria orgânica (FDNmo) das silagens ainda não havia sido degradada (Figura 3). Quando comparado à uFDNmo 288 h da cana *in natura*, pode ser observado que ocorreu uma diminuição da fração da FDN não degradada em 288 h no rúmen, o que pode estar ligado a uma possível degradação de frações da FDN ocasionada ainda no interior do silo. As silagens de colmos despalhados e despontados tenderam a ter uma maior uFDNmo 288 h ( $P < 0,10$ ).

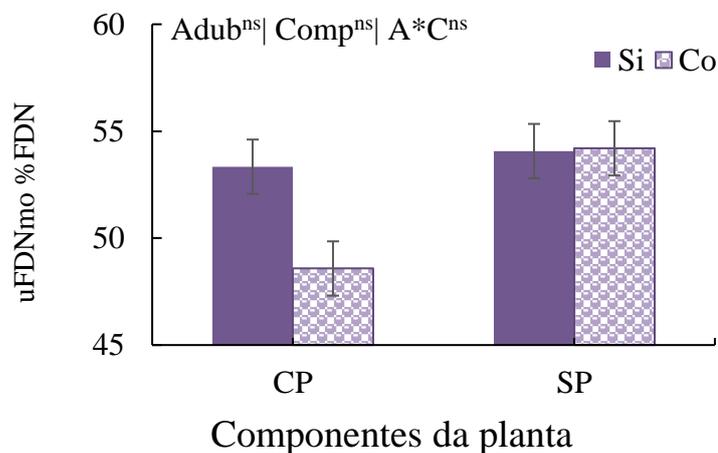


Figura 3. Fibra não degradada na matéria orgânica em 288 h no rúmen (uFDNmo) de silagens de colmos despalhados ensilados sem (SP) e com os ponteiros (CP), de duas variedades de cana-de-açúcar cultivadas com (Si) e sem (Co) adubação foliar com Si (AFSi). ns: não significativo pelo teste F

Houve correlação negativa ( $r = -0,39$ ) entre lignina e DEG FDN 24 horas (Figura 4). Apesar dos efeitos negativos sobre a digestibilidade a lignina é responsável por garantir rigidez a estrutura da planta. O silício quando utilizado na adubação pode substituir parcialmente a lignina e sua função, influenciando as estruturas químicas e físicas da planta que afetam a resistência da parede celular (OLIVEIRA FILHO *et al.* 2021). Sendo a composição da parede celular um fator determinante para a DEG da FDN 24h

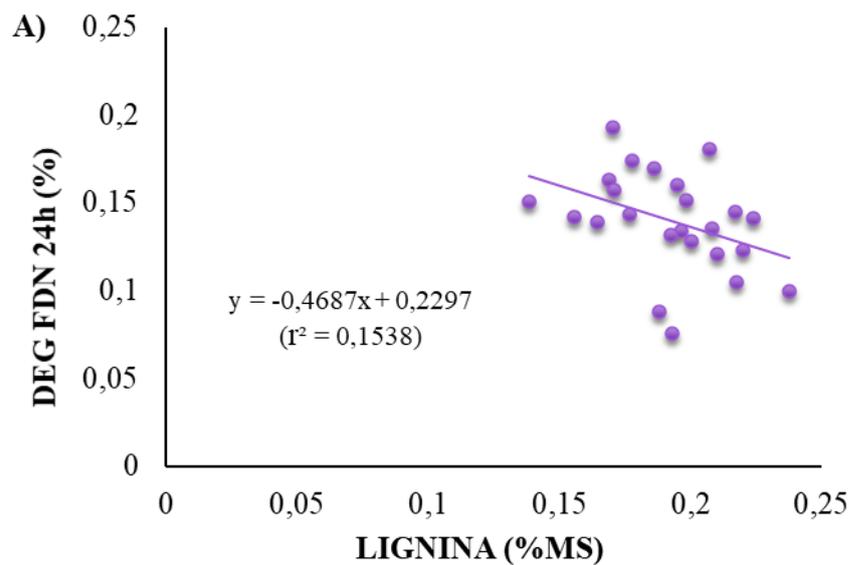


Figura 4. Correlação entre a degradabilidade da FDN (DEG FDN) 24h e a lignina da silagem da cana (%MS). [Degradabilidade da fibra em detergente neutro 24h (%);  $r = -0,3921$  Lignina (%MS);  $r^2 = 0,15$ ]

Embora não tenha sido observado um efeito significativo da AFSi na DEG da FDN em 24h da silagem, quando correlacionadas aos teores de lignina apresentou associação significativa com a AFSi (Figura 6). Ocorreu menor DEG da FDN em 24h quando adubadas com silício, correlação negativa ( $r = -0,3897$ ) com a lignina  $r^2 = 0,1519$ , do que sem a AFSi ( $r = -0,4325$ ), lignina  $r^2 = 0,1871$ (%MS). Desse modo, a sílica foi mais limitante para a FDN que a lignina.

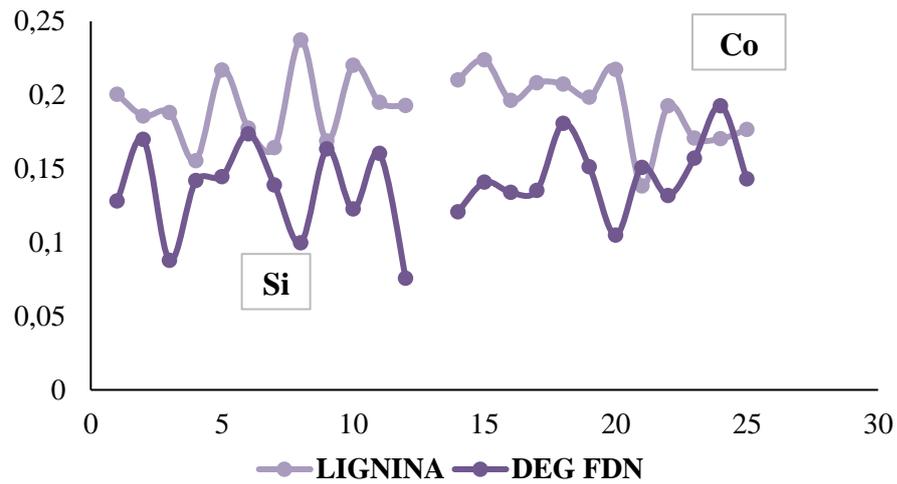


Figura 5. Correlação da AFSi com a degradabilidade da FDN (DEG FDN) 24h e a lignina da silagem da cana (%MS). (Si) com AFSi e (Co) sem AFSi

A lignina também impactou negativamente a FDNu ( $r = -0,4181$ ), no entanto, com maior influência ( $r^2 = 0,17$ ) (Figura 6).

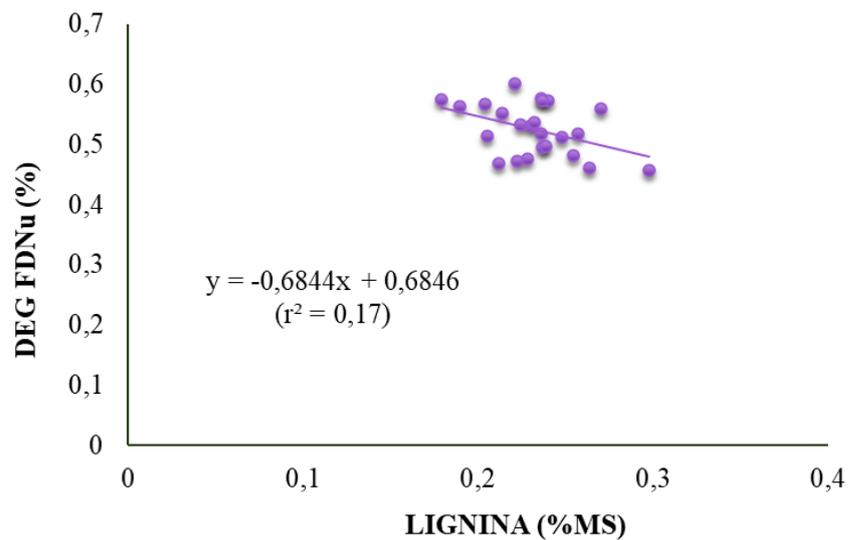


Figura 6. Correlação entre a degradabilidade da FDNu (DEG FDNu) e a lignina da silagem da cana (%MS). [Degradabilidade ruminal da fibra não degradada em 288 h (%);  $r = -0,4181$  Lignina (%MS);  $r^2 = 0,17$ ]

## 6. CONCLUSÃO

A AFSi afeta o valor nutritivo das silagens de cana. No entanto, a qualidade da silagem, não foi comprometida pela AFSi.

A lignina impacta de forma negativa a DEG FDN 24h e da DEG FDNu.

A DEG FDN em 24 horas de incubação e a DEG FDNu da silagem da cana-de-açúcar cultivada sob irrigação e AFSi foi afetada pela a presença da sílica (AFSi) na qual substitui parcialmente à função estrutural da lignina se tornando fator determinante para um menor desempenho da degradabilidade ruminal.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, F. S. **Resistência à seca em cana-de-açúcar para diferentes níveis de disponibilidade hídrica no solo**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Piracicaba, 2010.
- BESHARAT, S., BARÃO, L., CRUZ, C., 2020. **Novas estratégias para superar a limitação hídrica em milho cultivado: resultado de irrigação subsuperficial e fertilização com silício**. J. Environ. Gerenciar 263.
- CAMARGO, M. S.; KEEPING, M, G. **Silicon in sugarcane: availability in soil, fertilization, and uptake**. *Silicon*, 2021
- 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.
- 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.
- CARVALHO, M.V.; RODRIGUES, P.H.M.; LIMA, M.L.P. et al. Composição bromatológica e digestibilidade de cana-de-açúcar colhida em duas épocas do ano. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v.47, n.4, p.298-306, 2010.
- COSTA M. G.; CAMPOS, J. M. S.; VALADARES FILHO S. C. et al. Desempenho produtivo de vacas leiteiras alimentadas com diferentes proporções de cana-de-açúcar e concentrado ou silagem de milho na dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, n34, p. 2437–2445, 2005.
- COSTA, P. M.; DAMASCENO, P. J. S.; SILVA, I. V. et al. **Determinação das cinzas insolúveis dos componentes da cana-de-açúcar por diferentes métodos**. In: I 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, 2019a, p. 207.
- COSTA, P. M.; FERREIRA, A. N.; DAMASCENO, P. J. S. et al. **Concentrações de lignina nos componentes da cana-de-açúcar determinada por diferentes métodos**. In: I 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, 2019b, p.189.
- DAMASCENO, P. J. S.; SILVA, I. V.; COSTA, O. M. et al. **Aumento na degradabilidade da fibra dos colmos da cana-de-açúcar em função do descascamento**. In: I 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.
- DAMASCENO, P. J. S. **Características produtivas e valor nutritivo de duas variedades de cana-de-açúcar com e sem adubação foliar de silício**. 2023. 79 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal /CCAA). Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha. 2023.

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

DEREN, C.W. **Plant genotypes, silicon concentration and silicon related responses.** In: **Silicon in agriculture.**, cap.8, v.8. p.149-158, 2001.

DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C. et al. **Métodos para análise de alimentos.** Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Visconde do Rio Branco: Suprema, p.214, 2012

FAGUNDES, R.P. **Efeito do silicato na produção e qualidade de Brachiaria decumbens cultivada em solo degradado do Triângulo Mineiro.** 2005. 76f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia

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.

FUKUSHIMA, R. S.; KERLEY, M. S; KALLENBACH, R. et al. **Avaliação nutricional de plantas forrageiras: um procedimento rápido e acurado para quantificar o teor de lignina em forrageiras.** Novo desafios da pesquisa em nutrição e produção animal. Ed. Pirassununga, 5D Ed,354p,2017.

HATFIELD, R.; FUKUSHIMA, R. S. **Can lignin be accurately measured?** Crop science, v.45, may–june 2005.

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/#>. Acesso em: 01 de ago. 2022.

JUNG, H. J. G; VAREL, V. H; WEIMER, P. J.; RALPH, J. Accuracy of klason lignin and acid detergent lignin methods as assessed by bomb calorimetry. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.47, n.5, 2006.

LEITE, M. R. L. **Desempenho Agrônômica e digestibilidade ruminal de genótipos de cana-de-açúcar cultivadas em regime de sequeiro.** 2017. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Chapadinha, 2017.

MAGALHÃES, A. L. R., et al. **Cana-de-açúcar em substituição à silagem de milho em dietas completas para vacas em lactação.** I. Produção e composição de leite. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa. Anais... Viçosa: Sociedade Brasileira de Zootecnia/Gnosis, [2000] CD-ROM.

MARAFON, A.C. **Benefícios do silício para a cana-de-açúcar.** Portal Dia de Campo, Agricultura Sustentável. 2013.

NUSSIO, L.G. **Silage production from tropical forages**. In: Park, R.S., Stronge, M.D. (Eds.), *Silage Production and Utilisation*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands, p. 97– 107, 2005.

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.

OLIVEIRA, A. S.; DETMANN, E.; CAMPOS, J.M.S. et al. Meta-análise do impacto da fibra em detergente neutro sobre o consumo, a digestibilidade e o desempenho de vacas leiteiras em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.7, p.1587-1595, 2011.

PEREIRA, M.N.; COSTA, H.N.; MELO, R.P. et al. Efeito do ambiente ruminal sobre a degradabilidade de colmos da cana-de-açúcar. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.67, n.2, p.511-518, 2015

RAFFRENATO, E.; AMBURGH, M. E. V. Technical note: Improved methodology for analyses of acid detergent fiber and acid detergent lignin. **Journal of Dairy Science**, v.94, n.7, 2011.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v.98, p.91-97, 2006.

TEIXEIRA, C.B.; RAMOS, M.H.; SANTOS J.F. et al. 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.

VALADARES FILHO, S. C. et al., Consumo e digestibilidade total e parcial dos nutrientes de dietas contendo cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), sob diferentes formas, em bovinos. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.25, n.4, p.750-762, 1996<sup>a</sup>.

VAN SOEST, P.J. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, p. 476, 1994.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais: 5<sup>a</sup> aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 322p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, 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.

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.

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.

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.

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.

VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; BARRY, M. C. **Soluble lignin and its relation to klason lignin, acid-detergent lignin and digestibility of NDF**. Proceedings 2018 Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers, 80th Meeting 2018.

VAN SOEST, P. J. Nutritional ecology of the ruminant. **Journal of Nutrition**, v.125, n.4, p. 1025-1025, 1994.

VAN SOEST, P.J.; WINE, R.H. 1968. Determination of lignin and cellulose in acid-detergent fiber with perman- gante. **J. A.O.A.C.**, v.51, p.780, 1968.

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.

VERMA KK, WU KC, SINGH P, MALVIYA MK, SINGH RK, SONG X-P, LI YR (2019). O papel protetor do silício na cana-de-açúcar sob estresse hídrico: fotossíntese e enzimas antioxidantes. *Biomed J Sci Tech Res* 15(2):1–7

Anexo 1. Silos com válvulas do tipo Bunsen.



Anexo 2. 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



**C E R T I F I C A D O (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



Documento assinado digitalmente  
BRUNO ARAUJO SERRA PINTO  
Data: 19/09/2022 14:24:27-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Anexo 3. Saquinhos confeccionados em TNT 100 ("tecido não tecido", porosidade de 100 micra e dimensões de 5 x 11) na substituição de cadinhos filtrantes.



Anexo 4. Amostras em banho-maria a 30°C durante uma hora com solução de ácido sulfúrico (72%)

