PÓ DE ROCHA DE NEFELINA SIENITO COMO REMINERALIZADOR DE SOLO E POTENCIALIZADOR NA PRODUÇÃO DE *Pennisetum purpureum* Schum cv. BRS CAPIAÇU

JUAN MARK SILVA AMORIM

2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA – PPZ

PÓ DE ROCHA DE NEFELINA SIENITO COMO REMINERALIZADOR DE SOLO E POTENCIALIZADOR NA PRODUÇÃO DE *Pennisetum purpureum* Schum cv. BRS CAPIAÇU

AUTOR: JUAN MARK SILVA AMORIM

ORIENTADOR: PROF. DR. MÁRCIO DOS SANTOS PEDREIRA

ITAPETINGA – BAHIA – BRASIL

MARÇO DE 2025

JUAN MARK SILVA AMORIM

PÓ DE ROCHA DE NEFELINA SIENITO COMO REMINERALIZADOR DE SOLO E POTENCIALIZADOR NA PRODUÇÃO DE FORRAGEIRAS

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título **MESTRE EM ZOOTECNIA**, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPZ) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB).

Orientador: Prof. Dr. Márcio dos Santos Pedreira.
Co-orientador: Prof. Dr. Orlando Silvio Caires Neves.

ITAPETINGA – BAHIA – BRASIL
MARÇO DE 2025

633.2 Amorim, Juan Mark Silva.
A543 Pó de rocha de nefelina sienito como remineralizador de solo e
p potencialização na produção de forrageiras. / Juan Mark Silva Amorim. - Itapetinga: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2025.
116fl.

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título **MESTRE EM ZOOTECNIA**, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPZ) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). Sob a orientação do Prof. D. Sc. Márcio dos Santos Pedreira e coorientação do Prof. D. Sc. Orlando Silvio Caires Neves.

1. Forrageiras – Nefelina sienito - Remineralizador de solo. 2. Forrageiras tropicais – Valor nutritivo. 3. Produção de forrageiras – Pecuária sustentável. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. II. Pedreira, Márcio dos Santos. III. Neves, Orlando Silvio Caires. IV. Título.

CDD (21): 633.2

Catalogação na fonte:

Adalice Gustavo da Silva – CRB/5-535

Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para Desdobramento por Assunto:

1. Forrageiras tropicais - Qualidade

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: "Pó de rocha de Nefelina Sienito como remineralizador de solo e potencializador da produção de *Pennisetum purpureum Schum* cv. BRS Capiaçu"

Autor: Juan Mark Silva Amorim
Orientador: Dr. Márcio dos Santos Pedreira
Coorientador (a): Orlando Sílvio Caires Neves

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ZOOTECNIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PRODUÇÃO DE RUMINANTES, pela Banca Examinadora:

gov.br Documento assinado digitalmente
MARCIO DOS SANTOS PEDREIRA
Data: 31/03/2025 09:43:17-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Márcio dos Santos Pedreira – UESB

Orientador

gov.br Documento assinado digitalmente
CARLOS ANDRE ESPOLADOR LEITAO
Data: 31/03/2025 13:39:17-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Carlos André Espolador Leitão – UESB

gov.br Documento assinado digitalmente
BARBARA LOUISE PACHECO RAMOS
Data: 02/04/2025 16:24:23-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Dra. Bárbara Louise Pacheco Ramos – Eng. Agronoma

Data de realização: 27 de março de 2025.

Primeiramente à Deus, pela oportunidade de realizar mais um sonho, alcançar meus resultados e superar todos os desafios;

À minha esposa, pela confiança, companheirismo e parceria em toda a minha trajetória;

À toda a minha família, pelo apoio e incentivo com a minha formação;

Aos meus amigos, por todo o incentivo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por toda proteção e por me permitir realizar este sonho, sustentando-me nas situações mais desafiadoras. Tu és meu único Salvador.

À minha esposa, Débora Sampaio, por sempre acreditar em mim e permanecer ao meu lado em todos os momentos, incentivando-me, motivando-me e apoiando-me ao longo de toda esta trajetória.

À minha família, pelo apoio incondicional e pelo incentivo contínuo durante toda a minha jornada acadêmica.

Aos meus amigos, que me apoiaram e tornaram este processo mais leve e sereno.

Ao Prof. Dr. Márcio Pedreira, por sua orientação e suporte desde a graduação, bem como pelas valiosas oportunidades que me proporcionou até o presente momento.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), que tem sido minha casa nos últimos sete anos, agradeço pela estrutura oferecida, essencial para que eu alcançasse este objetivo.

A todo o corpo docente e aos funcionários da UESB, em especial aos dos Setores de Bovinocultura, Reprodução de Caprinos e Ovinos e à DICAP, por proporcionarem um ambiente qualificado, acolhedor e prazeroso de se trabalhar.

Aos animais do Setor de Bovinocultura, que foram fundamentais para o sucesso deste trabalho, contribuindo de forma significativa para o avanço da pesquisa brasileira.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPZ), por oferecer um ensino de excelência, com um corpo docente de referência em suas áreas de atuação, além de todas as oportunidades complementares de qualificação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão do financiamento que viabilizou este estudo.

A todos os integrantes do Grupo de Pesquisa Animal Sustentável no Semiárido (GPAS), pelo apoio fundamental na condução das atividades experimentais.

Ao Prof. Dr. Carlos André, pelo apoio na condução das análises laboratoriais.

Ao Prof. Dr. Orlando Caires e toda a equipe da UFBA, pela coorientação e por todo o suporte técnico prestado durante esta jornada.

Ao Prof. Dr. Dachamir Hotza (UFSC), pelo financiamento deste estudo, que foi crucial para sua realização.

À Indústria B4F, pela concessão do material base que fundamentou nossa pesquisa.

BIOGRAFIA

Juan Mark Silva Amorim, filho de Ana Paula Jesus Silva e José Roberto Amorim da Silva, nasceu no dia 22 de dezembro de 1998 no município de Itapetinga-BA.

Ingressou no curso de Engenharia Agronômica pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), polo de Vitória da Conquista – BA, no ano de 2018 e finalizando-o no ano de 2022.

Em março de 2023, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPZ), em nível de Mestrado, área de concentração Produção de Grandes Ruminantes, na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), realizando estudos na área de Nutrição de Grandes Ruminantes.

Por isso não temas, pois estou com você;
não tenha medo, pois sou o seu Deus.
Eu o fortalecerei e o ajudarei;
eu o segurarei com a minha mão direita vitoriosa.

Isaías 41:10

♫ Se eu não for o mais talentoso, eu vou ser o mais esforçado...

"Krawk"

SUMÁRIO

I. LISTA DE FIGURAS 12
II. LISTA DE TABELAS 13
1. REFERENCIAL TEÓRICO 14
1.1. INTRODUÇÃO 14
1.2. UTILIZAÇÃO DE PÓ DE ROCHA E REMINERALIZADORES DE SOLO NA AGRICULTURA 15
1.3. SILÍCIO NA AGRICULTURA 18
1.4. NEFELINA SIENITO COMO REMINERALIZADOR 21
1.5. *Pennisetum purpureum* Schumach CV. BRS CAPIAÇU 23
1.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 26
2. OBJETIVOS 31
2.1. Objetivo Geral 31
2.2. Objetivos Específicos 31
CAPÍTULO I 32
1 INTRODUÇÃO 34
2 MATERIAIS E MÉTODO 36
2.1. Características Gerais 36
2.2. Características Físico-Química do Solo 37
2.3. Composição Petrográfica 37
2.4. Design Experimental e Estabelecimento do Experimento 38
2.5. Avaliação das Características Morfológicas 39
2.6. Avaliação das Características de Produção 40
2.7. Valor Nutricional 41
2.8. Estatística Experimental 41
3. RESULTADOS 42
4. DISCUSSÕES 57
5. CONCLUSÃO 69
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 70
CAPÍTULO II 73
1. INTRODUÇÃO 75
2. MATERIAIS E MÉTODO 77

2.1. Comissão de Ética no Uso de Animais 78
2.2. Composição Fibrosa 78
2.3. Componentes Anatômicos 78
2.4. Degradabilidade *in situ* 78
2.5. Estatística 79
3. RESULTADOS 79
4. DISCUSSÃO 85
5. CONCLUSÃO 88
6. REFERÊNCIAS 89
CAPÍTULO III 91
1. INTRODUÇÃO 93
2. MATERIAIS E MÉTODO 95
2.1. Comissão Ética no Uso de Animais 95
2.2. Características Gerais 95
2.3. Características Físico-Química do Solo 96
2.4. Composição Petrográfica 97
2.5. Desenho Experimental e Estabelecimento do Experimento 97
2.6. Composição Indigestível 98
2.7. Componentes Anatômicos 99
2.8. Degradabilidade *in situ* 101
2.9. Estatística 103
3. RESULTADOS 104
3.1. Componentes Fibrosos 104
3.2. Componentes Anatômicos 105
3.3. Degradação *in situ* 107
4. DISCUSSÃO 110
5. CONCLUSÃO 115
6. REFERÊNCIAS 116

I. LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Evapotranspiração (Evap.), temperatura mínima (Tmin), temperatura média (Tmed) e temperatura máxima (Tmax) de janeiro de 2023 e dezembro de 2024. 36
Figura 2 Composição Petrográfica do pó de rocha de Nefelina Sienito (LABORGEO). 37
Figura 3 Croqui da Área Experimental. 38
Figura 4 Disposição dos Locais de Avaliação Morfológica. 40
Figura 5 Altura da Planta em função dos diferentes níveis de pó de rocha de Nefelina Sienito. 50
Figura 6 Comprimento da Folha em função dos diferentes níveis de pó de rocha de Nefelina Sienito. 51
Figura 7 Diâmetro do Colmo em função dos diferentes níveis de pó de rocha de Nefelina Sienito. 52
Figura 8 Número de Folhas em função dos diferentes níveis de pó de rocha de Nefelina Sienito. 53
Figura 9 Peso Frescos dos Colmos em função dos diferentes níveis de pó de rocha de Nefelina Sienito. 54
Figura 10 Peso Fresco das Folhas em função dos diferentes níveis de pó de rocha de Nefelina Sienito. 55
Figura 11 Peso Fresco Total em função dos diferentes níveis de pó de rocha de Nefelina Sienito. 56
Figura 12 Evapotranspiração (Evap.), temperatura mínima (Tmin), temperatura média (Tmed) e temperatura máxima (Tmax) de janeiro de 2023 e dezembro de 2024. 77
Figura 13 Correlação de Pearson (via Jamovi) entre componentes anatômicos, de degradabilidade e indigestíves da folha do Capiaçu sob aplicação de diferentes níveis de Nefelina Sienito. 83
Figura 14 Correlações visuais entre componentes anatômicos, componente de degradabilidade e componentes indigestíveis de folha do Capiaçu sob diferentes níveis de pó de rocha de Nefelina Sienito (R Studio (2024.12.1 Build 563, © 2009-2025 Posit Software, PBC)). 84
Figura 15 Evapotranspiração (Evap.), temperatura mínima (Tmin), temperatura média (Tmed) e temperatura máxima (Tmax) de janeiro de 2023 e dezembro de 2024. 95
Figura 16 Composição Petrográfica do pó de rocha de Nefelina Sienito (LABORGEO). 97
Figura 17 Design Experimental. 98
Figura 18 Análise Laboratorial para Fracionamento dos Componentes Indigestíveis. 99
Figura 19 Análise dos Componentes Anatômicos. 101
Figura 20 Ensaio de degradabilidade *in situ* da MS da folha de Capiaçu em dois períodos de corte sob a aplicação de KCl e diferentes doses de NS. 102

II. LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Composição Física do Solo. 37
Tabela 2 Composição Química do Solo. 37
Tabela 3 Disposição dos Tratamentos Experimentais. 39
Tabela 4 Valores Médios de Altura da Planta, Comprimento da Folha, Comprimento do Colmo, Diâmetro do Colmo, Número de Perfilhos, Número de Folhas, Peso Fresco da Folha, Peso Fresco do Colmo e Peso Fresco Total do Capiaçu em dois períodos de corte sob aplicação de KCl e diferentes níveis de Nefelina Sienito. 47
Tabela 5 Interação de acordo Shapiro Wilk (P<0,05) para Altura da Planta, Diâmetro do Colmo, Comprimento da Folha, Número de Folhas, Peso Fresco do Colmo, Peso Fresco da Folha e Peso Fresco Total da Capiaçu em dois períodos de corte sob aplicação de KCl e diferentes níveis de Nefelina Sienito. 48
Tabela 6 Composição química da Matéria Seca e Matéria Mineral da folha, do colmo e total, Acúmulo de Forragem, Acúmulo de Matéria Seca e Relação Folha:Colmo do capiaçu em dois períodos de corte sob aplicação de KCl e diferentes níveis de Nefelina Sienito. 49
Tabela 7 Correlação de Pearson (via R Studio) entre componentes anatômicos, de degradabilidade e indigestíves da folha do Capiaçu sob aplicação de diferentes níveis de Nefelina Sienito. 81
Tabela 8 Correlação de Pearson (via R Studio) entre componentes anatômicos, de degradabilidade e indigestíves da folha do Capiaçu sob aplicação de diferentes níveis de Nefelina Sienito. (continuação). 82
Tabela 9 Composição Física do Solo. 96
Tabela 10 Composição Química do Solo. 96
Tabela 11 Valores Médios da FDN, FDA e LIGNINA da folha, do colmo e total do Capiaçu sob aplicação de KCl e diferentes níveis de Nefelina Sienito. 108
Tabela 12 Valores médios dos constituintes anatômicos do Capiaçu em função de diferentes níveis de Nefelina Sienito. 109
Tabela 13 Valores médios da degradabilidade da matéria seca (MS) do capiaçu em função do controle, KCl e níveis de NS. 109

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o agronegócio brasileiro enfrentou diversos desafios até alcançar seus notáveis índices de produtividade. No entanto, a produção agropecuária ainda não é suficiente, visto que até o ano de 2050 a demanda por alimentos deve crescer 46% devido ao aumento populacional. Essa tendência é um dos grandes desafios da humanidade (GOUEL e GUIMBARD, 2017), pois exige altas tecnologias para que haja uma produção em quantidade e, principalmente, em qualidade.

Nessa perspectiva, uma das grandes dificuldades inerentes à produção brasileira está atribuída ao solo, pois esse, em sua maioria, apresenta acidez e intemperismo devido à perda de parte significativa de suas reservas de nutrientes decorrentes de processos naturais de intemperismo e/ou de manejo inadequado. Tal fato implica diretamente na produção animal, uma vez que que o pasto é o alimento mais econômico em qualquer tipo de sistema. Assim, há a necessidade da utilização de grandes quantidades de fertilizantes para elevar o perfil químico do solo e conseguir altas produções por área implantada.

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2022) o Brasil é responsável, atualmente, por cerca de 8% do consumo global de fertilizantes, ocupando a quarta posição. Entretanto, mais de 80% dos fertilizantes utilizados no país são importados, evidenciando muita dependência externa em um mercado controlado por um número limitado de fornecedores, que pode ser desestabilizado por conflitos interpessoais.

Diante do exposto e da dependência do Brasil em relação às importações, a busca por alternativas de fertilizantes, como o pó de rocha (remineralizadores), torna-se cada vez mais relevante, uma vez que o país possui uma rica diversidade geológica com potencial para esse propósito.

Os remineralizadores de solo são fontes multielementares de nutrientes, os quais apresentam baixa e/ou gradual solubilidade e relativamente baixa concentração de nutrientes (SILVEIRA et al., 2016). A Nefelina Sienito, rocha ígnea com grande atuação na indústria vidreira e de cerâmica, possui potencial de utilização no setor agrícola como remineralizador de solo, pois apresenta elevados teores de potássio, elemento essencial para as plantas, em especial para as forrageiras. Assim, atua como agente maturador, ao possibilitar o acúmulo de sacarose, o que resulta no aumento da eficiência energética do alimento.

A Nefelina Sienito também possui em sua composição, em maior disponibilidade, o SiO_2 (Dióxido de Silício), sendo relevante destacar que o Si (Silício) pode atenuar efeitos deletérios do déficit hídrico diminuindo a taxa transpiratória e aumentando a eficiência do uso da água (ABD EL-MAGEED et al., 2020; JINGER et al., 2020). Além disso, o Si também pode substituir o C (Carbono) na parede celular da epiderme, devido a ligação com a hemicelulose ou celulose, favorecendo a estruturação celular e consequente diminuição da demanda por compostos estruturais como a lignina, o que permite uma economia de energia da planta (de OLIVEIRA FILHO et al., 2021; TEIXEIRA et al., 2020).

1.2. UTILIZAÇÃO DE PÓ DE ROCHA E REMINERALIZADORES DE SOLO NA AGRICULTURA

A agricultura moderna enfrenta desafios crescentes relacionados à sustentabilidade, à segurança alimentar e à redução da dependência de insumos importados, especialmente fertilizantes convencionais. Nesse contexto, a utilização de pós de rocha na agricultura surge como uma alternativa promissora alinhada aos princípios de uma agricultura regenerativa e sustentável.

A utilização de pós de rocha na agricultura remonta as práticas tradicionais, no entanto ganhou destaque nas últimas décadas como uma estratégia capaz de suprir nutrientes ao solo de forma gradual e sustentável. Segundo Pillon (2017), a evolução da agricultura brasileira nos últimos 40 anos reflete a transição de um modelo baseado exclusivamente em insumos químicos para um enfoque em processos biológicos, nos quais os pós de rocha desempenham um papel central como remineralizadores. Esses materiais, geralmente subprodutos da mineração ou rochas moídas, como basalto, granito, micaxisto e feldspato, são aplicados ao solo para liberar macronutrientes (como potássio, fósforo, cálcio e magnésio) e micronutrientes essenciais ao crescimento vegetal. Malagolli (2024) investigou o impacto de pós de rocha, como basalto, kamafugito e verdete, na estabilidade dos agregados do solo e na nutrição foliar do milho, destacando que, embora os efeitos no curto prazo sejam limitados, há potencial para benefícios a longo prazo.

A rochagem, por definição, é o processo de aplicação de pós de rocha finamente moídos ao solo com o objetivo de promover sua remineralização e melhorar suas propriedades físico-químicas. Oliveira et al. (2022) descrevem a rochagem como uma técnica sustentável que combina o uso de rochas silicáticas com biofertilização, revitalizando solos tropicais e reduzindo a dependência de fertilizantes químicos importados. Historicamente, conforme Brito

et al. (2019), a rochagem foi utilizada como uma prática agrícola suplementar em diversas culturas como aproveitamento da capacidade das rochas de alterar positivamente os parâmetros de fertilidade do solo sem comprometer o equilíbrio ambiental. Esse processo é particularmente vantajoso em solos altamente intemperizados, como os latossolos do Cerrado brasileiro, onde a baixa fertilidade natural exige intervenções constantes para manter a produtividade agrícola.

Os remineralizadores de solo, por sua vez, são materiais geológicos, geralmente rochas moídas, que possuem a capacidade de fornecer nutrientes ao solo de maneira lenta e contínua. Corrêa e Oliveira (2024) propõem uma classificação qualitativa para esses materiais, dividindo-os em primários (ricos em potássio e/ou fósforo), secundários (ricos em cálcio e/ou magnésio), integrais (com ambos os grupos de nutrientes) e universais (com baixos teores de macronutrientes). Essa classificação visa padronizar a terminologia e facilitar a comunicação entre geólogos, agrônomos e produtores, eliminando ambiguidades comerciais. Blaskowski et al. (2018) reforçam que os remineralizadores são uma rota tecnológica viável no Brasil, especialmente pelo aproveitamento de rejeitos de mineração, como flogopititos e serpentinitos, que podem ser transformados em insumos agrícolas de baixo custo.

A importância e os benefícios da utilização de pós de rocha na agricultura são amplamente discutidos na literatura. Santos (2022) destacam a viabilidade econômica do uso de remineralizadores, como o Ekosil, na recuperação de pastagens degradadas no Tocantins, demonstrando uma economia de 3,36% em relação ao cloreto de potássio (KCl), além de vantagens logísticas em grandes distâncias de transporte. Além do aspecto econômico, os benefícios ambientais são significativos. Almeida Júnior et al. (2022) avaliaram o uso de remineralizadores como micaxisto, basalto e fosfato natural reativo na cultura da soja em solos do Cerrado, constatando eficácia no primeiro ano de aplicação, especialmente em combinação com fertilizantes solúveis, o que sugere um potencial para agricultura regenerativa. Hanisch et al. (2024) observaram que o pó de basalto aumentou a produção de massa seca de alface e repolho, além de melhorar indicadores químicos do solo, como pH e teores de fósforo e potássio, em solos arenosos.

Outro benefício relevante é a sustentabilidade a longo prazo. Teixeira (2021) analisou o uso de pó de rocha basáltica no cultivo de milho, apontando que doses de 5 ton/ha, especialmente de resíduos de extração de ametistas, resultaram em menor variabilidade no crescimento e melhores resultados na fase reprodutiva. Esse efeito residual também foi observado por Yano (2024) no cultivo de cana-de-açúcar, onde o pó de basalto aplicado à lanço apresentou maiores médias de açúcares totais recuperáveis (ATR) e toneladas por hectare (TCH), evidenciando sua capacidade de melhorar a produtividade em cultivos sucessivos. Silva

(2024) reforça essa ideia ao demonstrar que o pó de granito, utilizado como adubação residual após o cultivo de milho, foi eficiente na liberação gradual de potássio para o capim Mavuno, com doses de 300% e 400% superando o desempenho do KCl em termos de eficiência agronômica.

Do ponto de vista legislativo, o uso de remineralizadores de solo no Brasil é regulado principalmente pela Instrução Normativa nº 05/2016 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Camara et al. (2024) avaliam essa legislação e apontam lacunas, como a falta de clareza na metodologia de testes agronômicos e a ausência de padronização, o que dificulta a comparação entre produtos e a validação de pesquisas. Silveira et al. (2016) propõem um protocolo da Embrapa para avaliação da eficiência agronômica de remineralizadores, sugerindo experimentos que considerem sua baixa solubilidade e ação multielementar, um avanço para harmonizar os procedimentos de teste com as exigências legais.

Os resultados do uso de pós de rocha e remineralizadores na agricultura variam conforme o tipo de rocha, a cultura, o solo e o período de avaliação. Castro et al. (2022) observaram que o remineralizador de micaxisto HBV-K influenciou positivamente a altura da soja, especialmente em latossolo amarelo, mas apresentou resultados inferiores ao KCl em algumas variáveis, como diâmetro. Já Castro et al. (2024) testaram o remineralizador K-LI no milho e constataram melhor desempenho em solos arenosos, com a dose de 240 kg/ha de K2O destacando-se em altura e diâmetro.

Em culturas forrageiras, Brasil et al. (2023) demonstraram que o remineralizador granítico K6 aumentou a produtividade de soja e milho silagem, apresentando resultados comparáveis ao KCl em alguns casos. Perez Clara et al. (2024) combinaram biochar de lodo de esgoto com pó de rocha no cultivo de girassol ornamental, obtendo melhores resultados morfológicos com doses de 5 e 7 t/ha de pó de rocha. Por outro lado, Almeida Júnior et al. (2021) não encontraram resposta positiva do basalto na soja em um único ciclo, sugerindo a necessidade de estudos de longo prazo, um ponto recorrente na literatura também destacado por Malagolli (2024).

Grecco (2018) investigou a liberação de nutrientes de rochas silicáticas em solos de diferentes texturas e concluiu que a rocha ultrapotássica foi a mais promissora, embora o potássio (K) tenha apresentado baixa disponibilidade. Santos et al. (2020) avaliaram o gesso agrícola em capim-elefante e observaram efeitos variáveis entre variedades, nas quais a Cameroon se destacou. Ferreira (2022) testou o silício de pó de rocha no controle da cigarrinha do milho e constatou redução na transmissão de molicutes, mas sem impacto na população do inseto. Por fim, Machado (2024) demonstrou que o pó de rocha diorítica, especialmente quando

tratado termicamente, melhorou o crescimento de feijoeiros, sugerindo seu potencial como recondicionador de solo.

Em síntese, a utilização de pós de rocha e remineralizadores na agricultura oferece uma alternativa sustentável para melhorar a fertilidade do solo e a produtividade das culturas, com benefícios econômicos, ambientais e agronômicos. A rochagem e os remineralizadores representam um campo em expansão, respaldado por uma legislação em evolução e resultados promissores, embora dependentes de fatores como tipo de solo, cultura e tempo de aplicação.

1.3. SILÍCIO NA AGRICULTURA

O silício (Si), embora não seja considerado um nutriente essencial para todas as plantas, desempenha um papel crucial na fisiologia vegetal, especialmente em espécies acumuladoras como as gramíneas que incluem plantas forrageiras amplamente utilizadas na agricultura. A utilização do silício (Si) pelas plantas tem sido objeto de intensas pesquisas nas últimas décadas, evidenciando benefícios que vão desde o aumento da resistência a estresses bióticos e abióticos até a melhoria da produtividade agrícola.

A absorção de silício pelas plantas ocorre principalmente na forma de ácido silícico, sendo transportado pelas raízes e transportado via xilema para os tecidos vegetais, onde pode ser depositado como sílica amorfa ($SiO_2 \cdot nH_2O$) nas paredes celulares, folhas e outras estruturas (Katz et al., 2021). Espécies como gramíneas, que incluem arroz (*Oryza sativa*), milho (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum bicolor*) e diversas forrageiras do gênero *Panicum* e *Brachiaria*, possuem transportadores específicos de silício, como Lsi1 e Lsi2, que facilitam esse processo (Cassel et al., 2021). A capacidade de acumular silício varia entre espécies e cultivares, sendo mais pronunciada em monocotiledôneas do que em dicotiledôneas, o que explica sua relevância em plantas forrageiras, amplamente cultivadas em sistemas pastoris e de produção de biomassa (Sávio et al., 2011).

Na agricultura, o silício tem sido aplicado de diversas formas, incluindo fertilização via solo, aplicação foliar e fertigação, com o objetivo de potencializar os benefícios fisiológicos e agronômicos das plantas. Estudos como o de Cassel et al. (2021) destacam que a fertilização silicatada pode melhorar a resistência das plantas a pragas e doenças, aumentar a tolerância a estresses abióticos, como seca e salinidade, e incrementar a produtividade, especialmente em culturas de grande escala. A aplicação via solo, utilizando fontes como silicato de cálcio ou silicato de potássio, é comum em regiões com solos pobres em silício biodisponível, enquanto

a aplicação foliar, frequentemente com silicatos solúveis, tem se mostrado eficaz em respostas rápidas a estresses específicos (Buchelt et al., 2021). A fertigação, por sua vez, permite uma entrega precisa do nutriente, sendo recomendada em concentrações de 2,7 a 2,8 mmol L^{-1} para forrageiras como *Panicum* e *Brachiaria*, conforme demonstrado por Buchelt et al. (2021).

A importância do silício para plantas forrageiras reside em sua capacidade de mitigar os efeitos adversos de condições ambientais desfavoráveis comuns em regiões tropicais e semiáridas, onde essas espécies são cultivadas. Rocha et al. (2022) observaram que o silício aplicado via fertirrigação em cultivares de Panicum maximum (Massai e BRS Zuri) sob déficit hídrico estabiliza a homeostase estequiométrica de carbono (C), nitrogênio (N) e silício (Si), promovendo maior eficiência fotossintética e conteúdo de água nos tecidos vegetais. Esse efeito é particularmente relevante em pastagens, nas quais a seca pode reduzir drasticamente a produtividade de biomassa. Da mesma forma, Silva et al. (2023) demonstraram que a aplicação combinada de silício com matéria orgânica e Trichoderma harzianum em sorgo forrageiro irrigado com água salina aumentou o rendimento de matéria seca para 62,53 t/ha e de matéria fresca para 182,43 t/ha, evidenciando o potencial do silício em melhorar a nutrição e a tolerância ao estresse salino.

Os benefícios do silício para plantas forrageiras também abrangem a resistência a pragas e patógenos. Cassel et al. (2021) destacam que o depósito de sílica nas paredes celulares forma uma barreira física que dificulta a penetração de fungos patogênicos e a alimentação de insetos herbívoros, como *Spodoptera frugiperda* e *Sitobion avenae*. No entanto, Rezende (2018) encontrou resultados contrastantes, indicando que a aplicação foliar de silício em milho e via solo em trigo não induziu resistência significativa a essas pragas, sugerindo que os efeitos podem depender da espécie, do método de aplicação e das condições experimentais. Apesar disso, a maioria dos estudos corrobora a ideia de que o silício fortalece as defesas naturais das plantas, reduzindo a necessidade de pesticidas e promovendo uma agricultura mais sustentável (Melo et al., 2023).

Outro aspecto relevante é o papel do silício na melhoria da qualidade da forragem. Buchelt et al. (2021) verificaram que a fertirrigação com silício em forrageiras BRS Zuri e BRS RB331 Ipyporã aumentou o conteúdo de proteína bruta, correlacionando-se com maior eficiência no uso de nitrogênio. Melo et al. (2023) também observaram que a nanosílica aplicada em Megathyrsus maximus sob deficiência ou excesso de fósforo (P) elevou o teor de proteína e reduziu a lignina, melhorando a relação massa folha:caule e a produtividade de matéria seca. Esses resultados sugerem que o silício além de incrementar a quantidade de

biomassa também aumenta sua qualidade nutricional, essencial para a alimentação animal em sistemas pastoris.

Os principais resultados do uso de silício nas plantas, conforme reportados na literatura, incluem aumentos na produtividade, resistência a estresses e melhoria na eficiência de uso de recursos. Mastalerczuk et al. (2022) demonstraram que a aplicação foliar de silício em gramíneas forrageiras como *Festulolium braunii* e *Lolium perenne* sob condições de seca primaveril aumentou a eficiência no uso da água, a biomassa radicular e o comprimento das raízes, reduzindo a perda excessiva de água por transpiração. Em um contexto de salinidade*, El Moukhtari et al. (2021)* verificaram que o silício aplicado em alfafa (*Medicago sativa*) a 3 mM aumentou a biomassa, o número de nódulos e o conteúdo de nitrogênio, ao mesmo tempo em que reduziu danos oxidativos, como a formação de malondialdeído (MDA) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), em até 70%. Esses achados reforçam o papel do silício como um modulador de respostas ao estresse, com implicações diretas para a produtividade agrícola.

A interação do silício com a estequiometria de nutrientes como carbono, nitrogênio e fósforo também tem sido amplamente investigada. Hao et al. (2020) encontraram uma correlação negativa entre as concentrações de silício e carbono nas gramíneas de pastagens chinesas, sugerindo que o silício pode atuar como um substituto parcial do carbono em estruturas celulares, enquanto sua correlação positiva com o fósforo indica um papel na mitigação da deficiência desse nutriente. Liu et al. (2020) corroboram essa ideia, mostrando que, em condições de alta salinidade, o silício aumentou a acumulação de carbono na biomassa e o carbono ocluso em fitólitos (PhytOC), oferecendo uma estratégia de longo prazo para o sequestro de carbono em pastagens. Esses estudos apontam para uma função ecológica mais ampla do silício, além de seus benefícios agronômicos imediatos.

A possibilidade de o silício substituir a lignina nas plantas é uma questão intrigante que tem gerado debate na literatura. A lignina, um polímero complexo que confere rigidez às paredes celulares, é energeticamente custosa para as plantas, enquanto o silício, ao formar depósitos de sílica, pode oferecer suporte estrutural com menor gasto metabólico (Katz et al., 2021). Liu et al. (2020) sugerem que, em gramíneas tolerantes a salinidade moderada, o aumento do teor de silício está associado a uma redução na dependência de compostos baseados em carbono, como a lignina, para suporte mecânico. Melo et al. (2023) reforçam essa hipótese, demonstrando que a nanosílica reduziu o teor de lignina em Megathyrsus maximus sob excesso de fósforo, aumentando a proporção de material verde e a produtividade. No entanto, essa substituição não é universal e parece depender de fatores como a espécie vegetal, as condições ambientais e a disponibilidade de silício no solo (Brennecke et al., 2017).

Em contrapartida, alguns estudos indicam limitações na capacidade do silício de substituir completamente a lignina. Brennecke et al. (2015) observaram que, embora o silicato de cálcio tenha aumentado a produção de matéria seca em *Brachiaria brizantha*, o silício orgânico elevou o teor de fibra em detergente ácido (FDA), sugerindo que o silício pode influenciar a composição da parede celular sem necessariamente reduzir a lignina. Rocha (2022) também destaca que, embora o silício melhore a rigidez e o crescimento em *Panicum maximum* sob déficit hídrico, sua interação com a lignina é mais complementar do que substitutiva, estabilizando a estrutura celular em conjunto com outros componentes.

Assim, enquanto o silício pode aliviar a demanda por lignina em certas condições, sua substituição total permanece uma questão aberta exigindo mais investigações, principalmente, em gramíneas, que são plantas altamente acumuladoras de silício.

1.4. NEFELINA SIENITO COMO REMINERALIZADOR

No contexto agrícola, a Nefelina Sienito tem sido pouco investigada como potencial para remineralizador de solos, prática conhecida como rochagem que consiste no uso de pós de rochas moídas para fornecer nutrientes ao solo de forma gradual e sustentável.

França et al. (2019) caracterizaram tecnologicamente um rejeito de Nefelina Sienito da região de Lavrinhas-SP, destacando seu teor de 7,1% de K_2O e ausência de compostos deletérios, como metais pesados em concentrações acima dos limites críticos, o que a torna adequada para uso agrícola conforme a Instrução Normativa nº 5 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2016).

Estudos como o de Souza et al. (2015) exploraram as características físicas dessa rocha, como sua friabilidade moderada na britagem e tenacidade na moagem, e avaliaram sua capacidade de liberação de potássio em diferentes soluções extratoras, como hidróxido de sódio (NaOH), indicando seu potencial econômico como fonte alternativa de potássio. Já Spido (2019) comparou a eficiência agronômica do pó de Nefelina Sienito com o diabásio em dois tipos de solo (Argissolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico), observando que a Nefelina Sienito apresentou maior impacto na melhoria das propriedades químicas do Argissolo, especialmente na granulometria filler. Freire et al. (2023) e Valicheski et al. (2024) avançaram nessa linha ao testar o pó de rocha como fonte de potássio no cultivo da soja, comparando-o ao cloreto de potássio (KCl), fertilizante tradicional amplamente utilizado. Esses estudos demonstraram que doses de até 100 kg/ha de K_2O, independentemente da fonte, foram

suficientes para otimizar a produtividade da soja, evidenciando a viabilidade da Nefelina Sienito como alternativa ao KCl.

A importância da Nefelina Sienito na agricultura reside em sua capacidade de atender à crescente demanda por fontes sustentáveis de nutrientes, especialmente em países como o Brasil, que dependem fortemente da importação de fertilizantes potássicos como o KCl (Valicheski et al., 2024). A rochagem com Nefelina Sienito oferece benefícios como a liberação gradual de nutrientes, o que reduz perdas por lixiviação, um problema comum com fertilizantes solúveis como o KCl, e promove a melhoria da fertilidade do solo a longo prazo (Spido, 2019; Valicheski et al., 2024). Além disso, a ausência de metais pesados em concentrações preocupantes, como constatado por Souza et al. (2018) em grãos de arroz cultivados com Nefelina Sienito, reforça sua segurança alimentar e ambiental. Outro benefício significativo é a valorização de resíduos de mineração, contribuindo para a economia circular. Santos (2024) demonstrou que o resíduo do beneficiamento da Nefelina Sienito pode ser segregado em frações ferrosa e potássica, com recuperação de 93% do K_2O na forma de KCl, o que amplia seu potencial agrícola e reduz o impacto ambiental da atividade minerária.

Os principais resultados do uso da Nefelina Sienito na agricultura variam conforme as condições experimentais e os objetivos dos estudos. França et al. (2019) observaram que, apesar de sua composição química favorável (9,2% de soma de álcalis, incluindo K_2O, CaO e MgO), a extração de potássio foi baixa, com eficiência de apenas 5% após 15 dias, devido à estrutura cristalina fechada da rocha, sugerindo a necessidade de avaliação agronômica complementar. Souza et al. (2015) encontraram maior eficiência na extração de potássio com NaOH 3 mol L^{-1} sob agitação, indicando que processos mecânicos e químicos podem potencializar sua liberação.

Spido (2019) verificou que o pó de Nefelina Sienito aumentou a produção de matéria seca total da soja no Argissolo, especialmente em doses de 10 Mg ha^{-1} na granulometria filler, além de melhorar os teores de cálcio (Ca^{2+}) e potássio (K^+) no solo, embora os resultados tenham sido inferiores à adubação convencional com calcário e KCl. Freire et al. (2023) constataram que o pó de rocha proporcionou produtividade de soja semelhante ao KCl em doses de até 100 kg ha^{-1} de K_2O, com vantagens adicionais como menor umidade dos grãos na colheita, enquanto Valicheski et al. (2024) observaram que o uso do pó de rocha aumentou os teores de Ca, Ca+Mg e a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, embora tenha reduzido a disponibilidade imediata de K^+ em doses mais altas devido à sua baixa solubilidade. Souza et al. (2018) confirmaram a segurança do uso da Nefelina Sienito no cultivo de arroz, com teores de metais pesados dentro dos limites aceitáveis. Por fim, Santos (2024) destacou o potencial do resíduo

da Nefelina Sienito como fonte de potássio após segregação seletiva, alcançando alta recuperação de K_2O, o que reforça sua aplicabilidade agrícola.

Neste quesito, é claro-evidente o potencial que a Nefelina Sienito tem de ser um remineralizador de solo e possível substituto a condicionadores de solo, respaldando na qualificação de produção e valor econômico, entretanto, muitas de suas atribuições, principalmente, em forrageiras ainda devem ser investigados.

1.5. *Pennisetum purpureum* Schumach CV. BRS CAPIAÇU

O Capim Elefante cv. Capiaçu (*Pennisetum purpureum* Schumach.) tem se destacado como uma importante cultura forrageira, especialmente em regiões tropicais e subtropicais. Sua alta produtividade, adaptabilidade e valor nutricional têm impulsionado seu uso na alimentação animal, além de conferir potencial para bioenergia.

Originário da África tropical, o P. purpureum foi domesticado e introduzido em diversas partes do mundo devido ao seu potencial forrageiro. A cultivar Capiaçu, desenvolvida pela Embrapa Gado de Leite (Pereira et al., 2016), surge como um produto de melhoramento genético, visando alta produtividade e adaptação às condições brasileiras. Sua disseminação, especialmente nas Américas, tem sido notável, impulsionada por características como alta produção de biomassa, resistência ao acamamento e tolerância a condições de estresse hídrico (Moura et al., 2024). A BRS Capiaçu se diferencia de outras cultivares, como Mineiro e Cameroon, por sua maior produtividade de matéria seca, cujo acréscimo se estima em 33% (Pereira et al., 2017).

O Capiaçu é uma gramínea perene, de porte alto (podendo ultrapassar 4 metros), com touceiras eretas e folhas largas e compridas, de coloração verde e nervura central branca (Pereira et al., 2021). Apresenta colmos grossos, internódios longos e um sistema radicular profundo, que contribui para sua resistência à seca (Pereira et al., 2016). A propagação é vegetativa, por meio de estacas, com gemas de alta brotação (Pereira et al., 2021). Sua fisiologia C4 de fotossíntese garante alta eficiência na conversão de energia solar em biomassa, especialmente em ambientes de alta luminosidade e temperatura, típicos de regiões tropicais (Leal et al., 2020). Comparado a outras cultivares, o Capiaçu demonstra maior altura, capacidade de rebrote e resistência ao tombamento, características cruciais para a colheita mecanizada (Monção et al., 2019).

O Capiaçu desempenha um papel fundamental na alimentação animal, sendo utilizado em diferentes sistemas de produção, desde a pecuária leiteira até a de corte (Leal et al., 2020). Sua alta produção de biomassa permite a formação de volumosos estoques de forragem, principalmente na forma de silagem, garantindo alimento para os animais durante períodos de escassez de pastagens. O valor nutricional do Capiaçu é considerável, com teores de proteína bruta variando de 6% a 12%, dependendo do manejo e idade de corte (Monção et al., 2019). Além disso, é uma boa fonte de fibra, essencial para a saúde do rúmen, e apresenta boa digestibilidade, favorecendo o aproveitamento dos nutrientes pelos animais (Paula et al., 2020).

O cultivo do Capiaçu requer solos profundos, bem drenados e de boa fertilidade, embora tolere solos menos férteis (Pereira et al., 2021). Adapta-se a climas tropicais e subtropicais, com precipitação anual ideal entre 1.000 e 2.000 mm e temperaturas médias acima de 20°C (Pereira et al., 2016). As práticas de manejo recomendadas incluem o preparo adequado do solo, plantio com espaçamento que permita a colheita mecanizada, adubação balanceada (especialmente com nitrogênio e potássio), irrigação em períodos de seca e controle de pragas e doenças (Moura et al., 2024). A influência das condições de cultivo no rendimento e qualidade nutricional do Capiaçu é significativa. Monção et al. (2019) observaram que o aumento da idade de rebrota eleva a produção de matéria seca, mas reduz o teor de proteína bruta, demonstrando a importância do manejo adequado para otimizar a produção e qualidade da forragem.

O cultivo do Capiaçu enfrenta desafios como a suscetibilidade a pragas, principalmente cigarrinhas-das-pastagens, e a competição com plantas daninhas (Moura et al., 2024). Também, podem ocorrer doenças fúngicas, especialmente em condições de alta umidade. Estratégias para superar esses desafios incluem o manejo integrado de pragas e doenças, com ênfase no controle biológico e no uso de cultivares resistentes (Pereira et al., 2016). As mudanças climáticas, com eventos extremos de seca e chuvas intensas, representam um desafio adicional para o cultivo do Capiaçu. A seleção de cultivares mais resilientes a variações climáticas e a adoção de práticas de manejo que conservem o solo e a água são medidas importantes para garantir a sustentabilidade da produção (Santos, 2019).

A ensilagem é uma técnica fundamental para a conservação do Capiaçu, permitindo seu uso durante todo o ano, especialmente em períodos de seca. O processo envolve o corte, a picagem, a compactação e o fechamento hermético do silo, criando um ambiente anaeróbico que favorece a fermentação lática (Paula et al., 2020). O teor de matéria seca (MS) é um fator crítico para a qualidade da silagem. Baixos teores de MS podem levar à produção de efluentes e ao desenvolvimento de microrganismos indesejáveis, comprometendo a qualidade da silagem

(Paula et al., 2020). O pH da silagem deve estar entre 3,8 e 4,2 para garantir a inibição do crescimento de microrganismos deteriorantes e a preservação dos nutrientes (Leal et al., 2020). A presença de bactérias láticas e o uso de aditivos, como inoculantes bacterianos e absorventes de umidade, podem melhorar a fermentação e a qualidade da silagem. A silagem de Capiaçu, quando bem manejada, apresenta boa palatabilidade e digestibilidade, sendo uma alternativa nutricionalmente rica para a alimentação animal, especialmente em períodos de escassez de pastagens frescas. Seu uso estratégico contribui para a estabilidade da produção animal, reduzindo a dependência de concentrados e os custos de produção (Leal et al., 2020).

A BRS Capiaçu se apresenta como uma excelente opção forrageira, com alta produtividade e bom valor nutricional. Seu manejo adequado, desde o plantio até a ensilagem, é crucial para maximizar seus benefícios e contribuir para a sustentabilidade dos sistemas de produção animal.

Assim, no âmbito desta pesquisa o Capiaçu se mostra como uma variável perfeita diante de todos os seus aspectos produtivos e culturais, sendo necessário aprimorar algumas investigações, principalmente, no que carece de produção x adubação.

1.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida Júnior, J. J., Smiljanic, K. B. A., Araújo, F. S., Matos, R. M. P., de Lima Netto, A. M., Ribeiro, U., ... & Almeida, V. J. (2022). Consórcio de remineralizadores de solo utilizado na cultura da soja em solos da região de cerrado. **Conjecturas**, *22*(9), 415-430.. DOI: 10.53660/CONJ-1285-X52

Almeida Júnior, J. J., Smiljanic, K. B. A., Araújo, F. S., Matos, R. M. P., da Silva Filho, E. T., Ribeiro, H., ... & Silva, V. J. A. (2022). Remineralizador de solo utilizado como alternativa sustentável para fertilização de solos na cultura da soja no Centro-Oeste do Brasil. **Conjecturas**, *22*(9), 486-498.. DOI: 10.53660/CONJ-1289-X57

BLASKOWSKI, A. E.; RIOS, D. C.; BERGMANN, M. Panorama do uso de rochas como agrominerais no Brasil. In: **49º Congresso Brasileiro de Geologia**, Rio de Janeiro, 20-24 ago. 2018.

Brasil, E. P. F., Leandro, W. M., Castro, J. P. V., de Lima Araújo, I., Lucas, P. M., & de Godoi Araújo, T. (2023). Eficiência agronômica de remineralizador granítico K6 na produção de soja e milho silagem. **Research, Society and Development**, *12*(4), e10912440545-e10912440545.

BRENNECKE, Käthery et al. Fibras em Brachiaria urochloa cv. Marandu adubadas com fontes orgânica e inorgânica de silício. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 8, n. 2, p. 111-117, jun. 2016.

Brennecke, K., Simões, T. R., & Ferraz, F. M. (2017). Características morfológicas de Urochloa brizantha cv. Marandu adubadas com silício na aplicação do calcário. **Revista Agrogeoambiental**, *9*(1). https://doi.org/10.18406/2316-1817v9n12017938

BRITO, R. S., Batista, J. F., do Vale Moreira, J. G., Moraes, K. N. O., & da Silva, S. O. (2019). Rochagem na agricultuta: importância e vantagens para adubação suplementar. **South American Journal of basic education, technical and technological**, *6*(1).

Buchelt, A. C., de Mello Prado, R., Caione, G., de Almeida Carneiro, M., & Litter, F. A. (2021). Effects of silicon fertigation on dry matter production and crude protein contents of a pasture. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, *21*, 3402-3413.

Buchelt, A. C., Teixeira, G. C. M., Oliveira, K. S., Rocha, A. M. S., de Mello Prado, R., & Caione, G. (2020). Silicon contribution via nutrient solution in forage plants to mitigate nitrogen, potassium, calcium, magnesium, and sulfur deficiency. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, *20*, 1532-1548.

Camara, G. D. R., Santos, E. S. D., & Silveira, L. L. L. D. (2024). **Remineralizadores de solos: avaliação da conformidade frente à legislação e propostas para sua melhoria**.

Cassel, J. L., Gysi, T., Rother, G. M., Pimenta, B. D., Ludwig, R. L., & Santos, D. B. dos. (2021). Benefícios da aplicação de silício em plantas / Benefits of the application of silicon in plants. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, *4*(4), 6601–6615. https://doi.org/10.34188/bjaerv4n4-140

Castro, J. P. V., Leandro, W. M., Brasil, E. P. F., Ferreira, K. R. S., de Oliveira, C. B. A., & Passos, P. B. (2022). Parâmetros fitotécnicos e edáficos na cultura da soja (Glycena max) e a arroz (Oryza sativa) em classes de solos com uso de remineralizador de micaxisto. **Research, Society and Development**, *11*(12), e560111234903-e560111234903.

Castro, J. P. V., Leandro, W. M., Brasil, E. P. F., de Oliveira, C. B. A., Passos, P. B., Muniz, M. P., ... & da Silva, M. L. (2024). PARÂMETROS FITOTÉCNICOS SOBRE AS VARIÁVEIS EDÁFICAS DA CULTURA DO MILHO (Zea mays) COM O USO DOS REMINERALIZADORES A BASE DE POTÁSSIO (K+) EM DIFERENTES CLASSES DE SOLO. **Revista Contemporânea**, *4*(1), 2432-2449.

Clara, J. M. P., Sandri, D., Lisboa, I. P. de J., Figueiredo, C. C. de, Oliveira Júnior, A. A. de, Silva, N. I. da, Perez, C. E. B., Riveros, J. L. T., & Sousa, D. A. de O. (2024). Parâmetros morfológicos do girassol ornamental em resposta a diferentes doses de biochar de lodo de esgoto e pó de rocha. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, *17*(5), e6225. https://doi.org/10.55905/revconv.17n.5-013.

El Moukhtari, A., Carol, P., Mouradi, M. *et al.* Silicon improves physiological, biochemical, and morphological adaptations of alfalfa (*Medicago sativa* L.) during salinity stress. **Symbiosis** 85, 305–324 (2021). https://doi.org/10.1007/s13199-021-00814-z

FERREIRA, Alisson Luis. **Uso de silício de pó de rocha no controle da população de Dalbulus maidis no milho doce**. Dissertação (Mestrado em Olericultura) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Morrinhos, 2022.

FRAGA, I. G.; MELO, J. A. P.; ALEXANDRE, K. C. B.. Caracterização química de rochas para serem utilizadas como rochagem ou mineralização do solo. In: **X Jornada do Programa de Capacitação Institucional** – PCI/CETEM, Rio de Janeiro, 24-25 nov. 2021.

França, S. C. A., Trampus, B. C., Braga, P. F. A., & Mokarzel, D. (2019). Avaliação de extração de potássio de nefelina sienito para uso como remineralizador de solos. **XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**. Belo Horizonte-MG.

Freire, Y. B. D., Fonseca, I. S., Santos, R. A., Valicheski, R. R., De Oliveira, S. S. C., & Stürmer, S. L. K. (2023). Uso do pó de rocha nefelina-sienito como fonte alternativa de potássio no cultivo da soja. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, *16*(4), 1-19.

GRECCO, Matheus Farias. **Dinâmica de liberação de nutrientes de rochas silicáticas em solos de diferentes texturas**. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e da Água) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

Hanisch, A. L., Cantú, R. R., Gonçalves, G. L. S., & Justen, J. G. K. (2024). Potencial do pó de basalto como remineralizador de solo em sistemas de produção de hortaliças. **Agropecuária Catarinense**, *37*(1), 25-30.

Hao, Q., Yang, S., Song, Z., Li, Z., Ding, F., Yu, C., ... & Liu, H. (2020). Silicon affects plant stoichiometry and accumulation of C, N, and P in grasslands. **Frontiers in Plant Science**, *11*, 1304.

Katz, O., Puppe, D., Kaczorek, D., Prakash, N. B., & Schaller, J. (2021). Silicon in the soil–plant continuum: Intricate feedback mechanisms within ecosystems. **Plants**, *10*(4), 652.

Leal, D. B., Monção, F. P., Junior, V. R. R., Carvalho, C. D. C. S., Alencar, A. M. S., de Almeida Moura, M. M., ... & Rigueira, J. P. S. (2020). Correlações entre as características produtivas e nutricionais do capim-BRS capiaçu manejado na região semiárida. **Brazilian Journal of Development**.

Liu, L., Song, Z., Yu, C., Yu, G., Ellam, R. M., Liu, H., ... & Wang, H. (2020). Silicon effects on biomass carbon and phytolith-occluded carbon in grasslands under high-salinity conditions. **Frontiers in Plant Science**, *11*, 657.

MACHADO, Ana Glória Barbosa. **Estudo da utilização de pó de rocha diorítica como recondicionador de solo agrícola do município de Crateús**. Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, 2024.

MALAGOLLI, Luiz Henrique. **A influência do uso de pó de rocha na estabilidade dos agregados**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024.

MAPA. (2022). **O Plano Nacional de Fertilizantes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília.

MAPA. (2016). **Instrução Normativa Nº 5, De 10 De Março De 2016**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília.

Mastalerczuk, G., Borawska-Jarmułowicz, B., & Darkalt, A. (2022). Changes in the physiological and morphometric characteristics and biomass distribution of forage grasses growing under conditions of drought and silicon application. **Plants**, *12*(1), 16.

Faria Melo CC, Amaral DS, de Moura Zanine A, de Jesus Ferreira D, de Mello Prado R, de Cássia Piccolo M. Nanosilica enhances morphogenic and chemical parameters of Megathyrsus maximus grass under conditions of phosphorus deficiency and excess stress in different soils. **BMC Plant Biol**. 2023 Oct 17;23(1):497. doi: 10.1186/s12870-023-04521-3. PMID: 37845606; PMCID: PMC10580593.

Melo, J. C., Pedrico, A., Tardivo, T. F., da Conceição, J. B., & da Cruz, J. R. (2023). PRODUÇÃO E QUALIDADE DO BRS CAPIAÇU EM DIFERENTES IDADES DE CORTE FERTIRRIGADO COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE PISCICULTURA. **AGRI-ENVIRONMENTAL SCIENCES**, *9*(1), 13-13.

Monção, F. P., Costa, M. A. M. S., Sampaio, J. P., Gomes, M., Leal, D. B., Maranhão, C. M. A., ... & Chamone, J. M. A. (2019). Produtividade e valor nutricional do Capim-Elefante cv. BRS Capiaçu em diferentes idades de rebrota. *Semina:* **Ciências Agrárias***, Londrina*, *40*(5), 2045-2056.

Moura, M. M. A., Alves, W. S., Rigueira, J. P. S., Mizobutsi, E. H., Monção, F. P., Fernandes, M. B., ... & Araujo, I. V. S. (2024). Estrategias de manejo para a cultivar BRS capiaçu: uma revisão de literatura. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, *7*(2), e69353-e69353.

OLIVEIRA, V. S., de Araújo Pereira, R. G. F., & Gomes, M. D. C. R. (2022). Oo uso de técnicas sustentáveis para remineralização de solos de regiões tropicais: use of sustainable techniques for soil remineralization in tropical regions. **Geosciences= Geociências**, *41*(3), 755-768.

Paula, P. R. P., Júnior, A. P. N., de Souza, W. L., de Abreu, M. J. I., Teixeira, R. M. A., Cappelle, E. R., & Tavares, V. B. (2020). Composição bromatológica da silagem de capim-elefante BRS Capiaçu com inclusão fubá de milho. **Pubvet**, *14*, 148.

PEREIRA, A. V., Ledo, F. D. S., Morenz, M. J. F., Leite, J. L. B., Brighenti, A. M., Martins, C. E., & Machado, J. C. (2016). **BRS Capiaçu: cultivar de capim-elefante de alto rendimento para produção de silagem**.

Pereira, A. V., Auad, A. M., Brighenti, A. M., Mittelmann, A., Gomide, C. D. M., Martins, C. E., ... & da ROCHA, W. S. D. (2021). **BRS Capiaçu e BRS Kurumi: cultivo e uso**.

Pereira, A. V., Lédo, F. J. D. S., & Machado, J. C. (2017). BRS Kurumi and BRS Capiaçu-New elephant grass cultivars for grazing and cut-and-carry system. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, *17*(1), 59-62.

Pillon, C. N. (2017). Dos pós de rocha aos remineralizadores: passado, presente e desafios. In **Anais III Congresso Brasileiro de Rochagem**. *Pelotas: Triunfal Gráfica e Editora, 455p* (pp. 15-23).

REZENDE, Gabriel Fernandes. **Atividade de silício na produtividade e na indução de resistência de gramíneas ao ataque de pragas** [Dissertação de Mestrado]. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2018.

ROCHA, Juan Ricardo. **SILÍCIO NA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS FORRAGEIRAS** [Tese de Doutorado]. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2022.

Rocha, J. R., de Mello Prado, R., & de Cássia Piccolo, M. (2022). New outcomes on how silicon enables the cultivation of Panicum maximum in soil with water restriction. **Scientific Reports**, *12*(1), 1897.

SANTOS, Diego Haltiery dos. **Valorização do resíduo do beneficiamento da nefelina sienito como insumo mineral para a construção civil e agricultura** [Tese de Doutorado]. Criciúma: Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2024.

Santos, J. C. M. (2019). **Crescimento inicial e respostas fisiológicas de genótipos de capim-elefante sob estresse hídrico em comparação à cana-de-açúcar** [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Alagoas.

SANTOS, Raquel Batista dos. **Viabilidade do uso de remineralizadores do solo para a recuperação de pastagem degradada no estado do Tocantins**. Dissertação (Dissertação de Mestrado) – Universidade de Taubaté, Taubaté, 2022.

Santos, R. L., Freire, F. J., da Rocha, A. T., de Medeiros, M. R. F. A., da Silva, S. A. M., Tavares, J. A., ... & da Costa-Santos, M. B. (2020). Desenvolvimento de variedades de capim-elefante

sob a influência do gesso agrícola mineral no Polo Gesseiro do Araripe. **Research, Society and Development**, *9*(11), e4749119994-e4749119994.

Sávio, F. L., da Silva, G. C., Teixeira, I. R., & Borém, A. (2011). Produção de biomassa e conteúdo de silício em gramíneas forrageiras sob diferentes fontes de silicato. **Semina***: Ciências Agrárias*, *32*(1), 103-110.

Siqueira Corrêa, R., & de Oliveira, C. G. (2024). Classificação dos remineralizadores. *Geologia USP.* **Série Científica**, *24*(2), 23-37.

Silva, J. O. N. D., Pessoa, L. G. M., Silva, E. M. D., Silva, L. R. D., Freire, M. B. G. D. S., Souza, E. S. D., ... & Alencar, E. L. D. N. (2023). Effects of silicon alone and combined with organic matter and Trichoderma harzianum on sorghum yield, ions accumulation and soil properties under saline irrigation. **Agriculture**, *13*(11), 2146.

SILVA, Jayni Camili Ribeiro da. **Eficiência agronômica e efeito residual do pó de granito como fertilizante alternativo do capim Mavuno**. Monografia (Graduação em Zootecnia) – Fundação Universidade Federal de Rondônia, Presidente Médici, 2024.

Silveira, C. A. P.; Bamberg, A. L.; Martinazzo, R.; Pillon, C. N.; Martins, E. S.; Piana, C. F. B. (2016) Protocolo para avaliação da eficiência agronômica de remineralizadores de solos. **III Congresso Brasileiro de Rochagem**.

Souza, I. C. A.; Duque, T. F. M. B.; Lima, R. M. R.; Schneider, C. L.. AVALIAÇÃO DAS CARACTERISTÍCAS FÍSICAS E DA LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO DA NEFELINA SIENITO PARA USO NA AGRICULTURA , p. 1454-1464. In: **70º Congresso Anual da ABM**, Rio de Janeiro, 2015. ISSN: 2594-5327 , DOI 10.5151/1516-392X-26783

SOUZA, J. O.; Almeida, J. C. R.; Vilella, O. V.; Gadioli, Almeida, J. L.; A. A. S.; Takada, H. M.; Cicero, C. M.; Ferreira, A. R. Teores de metais pesados em arroz cultivado com pó de rocha nefelina sienito. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 24, n. 2, p. 23-36, abr./jun. 2018.

SPIDO, Diou Roger Ramos. **Avaliação do potencial agronômico dos pós de rocha diabásio e nefelina-sienito como remineralizadores de solo**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2019.

TEIXEIRA, Thayanne Barbosa. **Pó de rochas basálticas para utilização como remineralizador de solo em cultivo de Zea mays L** [Trabalho de Conclusão de Curso]. Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2021.

Freire, Y. B. D., Fonseca, I. S., Santos, R. A., Valicheski, R. R., De Oliveira, S. S. C., & Stürmer, S. L. K. (2023). Uso do pó de rocha nefelina-sienito como fonte alternativa de potássio no cultivo da soja. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, *16*(4), 1-19.

YANO, Vitor Kendy. **Efeito residual do pó de rocha de origem basáltica no plantio de cana-de-açúcar em ambiente restritivo: terceiro ano/segunda soca** [Trabalho de Conclusão de Curso]. Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2024.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a eficiência produtiva, morfologica e digestiva do pó de Nefelina Sienito como potencializador no desenvolvimento do capim BRS Capiaçu.

2.2. Objetivos Específicos

a) Mensurar a produção de matéria natural por ha (hectare) da forrageira em função da Nefelina Sienito;

b) Mensurar alterações morfológicas da forrageira em função da aplicação da Nefelina Sienito;

c) Avaliar alterações na composição químico-bromatológica da forrageira (Capiaçu) em função da aplicação da Nefelina Sienito;

d) Avaliar alterações de componentes anatômicos da forrageira (Capiaçu) em função da aplicação da Nefelina Sienito.

e) Avaliar a digestibilidade *in situ* da forrageira (Capiaçu) em função da Nefelina Sienito;

f) Verificar correlação entre os componentes anatômicos, de degradabilidade *in situ* da MS e indigestíveis da folha do Capiaçu em função da aplicação de níveis de Nefelina Sienito.

CAPÍTULO I

EFEITO DA APLICAÇÃO DE NEFELINA SIENITO NA PRODUÇÃO E MORFOLOGIA DO BRS CAPIAÇU

Resumo:

A produção de forrageiras é essencial para sistemas pecuários sustentáveis em regiões tropicais, onde solos intemperizados desafiam a produtividade. O uso de remineralizadores, como o pó de rocha de Nefelina Sienito (NS), surge como alternativa aos fertilizantes químicos, promovendo liberação gradual de potássio e silício. Apesar de estudos indicarem benefícios de potássio e silício no crescimento de gramíneas, a eficiência da NS em forrageiras perenes, como *Pennisetum purpureum* cv. BRS Capiaçu, permanece pouco explorada, especialmente em solos tropicais de baixa fertilidade. Este estudo avaliou o efeito de diferentes níveis de NS no desempenho morfológico, produtivo e nutricional da BRS Capiaçu, comparando-a ao cloreto de potássio (KCl). O experimento, em delineamento de blocos casualizados, testou níveis de NS (0, 2, 4, 6, 8, 10 ton/ha) e KCl em Vitória da Conquista, BA, durante períodos chuvoso e seco, analisando variáveis morfológicas, produtivas e nutricionais. No período chuvoso, doses de 4-6 ton/ha de NS aumentaram o comprimento do colmo (15,65%), peso fresco total (30,31%) e matéria seca (27,32%) em relação ao controle, superando o KCl. No período seco, 8 ton/ha elevou a matéria seca total em 38,50%, mas doses altas (10 ton/ha) reduziram a eficiência. A NS potencializa a produtividade da BRS Capiaçu em doses intermediárias, oferecendo uma alternativa sustentável, especialmente em condições úmidas, com benefícios limitados pela solubilidade e sazonalidade.

Palavras-chave: Remineralizador, condicionador de solo, capim elefante.

CHAPTER I

EFFECT OF APPLICATION OF NEPHELINE SYENITE ON THE PRODUCTION AND MORPHOLOGY OF BRS CAPIAÇU

Abstract:

Forage production is essential for sustainable livestock systems in tropical regions, where weathered soils challenge productivity. The use of remineralizers, such as nepheline syenite (NS) rock powder, emerges as an alternative to chemical fertilizers, promoting gradual release of potassium and silicon. Although studies indicate benefits of potassium and silicon on the growth of grasses, the efficiency of NS in perennial forages, such as *Pennisetum purpureum* cv. BRS Capiaçu, remains little explored, especially in tropical soils with low fertility. This study evaluated the effect of different levels of NS on the morphological, productive and nutritional performance of BRS Capiaçu, comparing it to potassium chloride (KCl). The experiment, in a randomized block design, tested doses of NS (0, 2, 4, 6, 8, 10 tons/ha) and KCl in Vitória da Conquista, BA, during rainy and dry periods, analyzing morphological, productive and nutritional variables. In the rainy period, doses of 4-6 tons/ha of NS increased stem length (15.65%), total fresh weight (30.31%) and dry matter (27.32%) compared to the control, surpassing KCl. In the dry period, 8 tons/ha increased total dry matter by 38.50%, but high doses (10 tons/ha) reduced efficiency. NS enhances the productivity of BRS Capiaçu at intermediate doses, offering a sustainable alternative, especially in humid conditions, with benefits limited by solubility and seasonality.

Keywords: Nepheline Syenite, silica, morphogenesis, nutritional value.

1 INTRODUÇÃO

A produção de forrageiras desempenha um papel central na sustentabilidade dos sistemas pecuários, especialmente em regiões tropicais onde solos intemperizados e condições climáticas variáveis desafiam a produtividade agrícola. Nesse contexto, existe atualmente uma crescente busca por alternativas que otimizem o uso de recursos naturais e reduzam a dependência de fertilizantes químicos. O uso de remineralizadores de solo, como o pó de rocha de Nefelina Sienito (NS), surge como uma estratégia promissora, combinando a liberação gradual de nutrientes essenciais, como potássio e silício, com benefícios ambientais e econômicos. Assim, a escolha da forrageira *Pennisetum purpureum* Schum cv. BRS Capiaçu sob diferentes níveis de NS se mostra fortemente plausível, já que, esta se apresenta como uma cultivar de grande relevância para sistemas de produção intensiva e extensiva no Brasil, destacada por sua alta capacidade de produção de biomassa e adaptação a condições semiáridas (Rosa et al., 2019).

O problema de pesquisa emerge da necessidade de compreender até que ponto a NS pode substituir fertilizantes solúveis, como o cloreto de potássio (KCl), no manejo de forrageiras, especialmente em solos tropicais de baixa fertilidade. Apesar de estudos indicarem que o potássio e o silício promovem o crescimento vegetativo e a resiliência ao estresse hídrico em gramíneas (Mastalerczuk et al., 2022), a eficiência de remineralizadores de liberação lenta permanece pouco explorada em culturas perenes como o Capiaçu. A baixa solubilidade da NS, conforme apontado por França et al. (2019), levanta questões sobre sua capacidade de atender às demandas nutricionais em amplos ciclos de corte, bem como sobre os limites de aplicação que maximizem a produtividade sem comprometer a eficiência nutricional.

A justificativa para este estudo reside na urgência de práticas agrícolas sustentáveis que conciliem produtividade e conservação ambiental. Os condicionadores de solo convencionais, embora eficazes a curto prazo, estão associados a custos elevados e impactos negativos, como a lixiviação de nutrientes e a degradação do solo (Silveira et al., 2016). A NS, por outro lado, oferece uma alternativa de baixo custo e longa duração, aproveitando recursos geológicos locais. Assim, o pó de rocha de NS pode não apenas melhorar o desempenho agronômico do Capiaçu mas também contribuir para a sustentabilidade da agricultura tropical. Espera-se que níveis otimizados de NS aumentem a produção de forragem e a matéria seca em relação ao controle ou o próprio KCl, em ambos os períodos (chuvoso e seco), além de conferir maior resistência ao estresse hídrico devido ao silício presente em sua constituição (Mastalerczuk et

al., 2022). Esses avanços podem impactar a área ao oferecer uma solução prática para pequenos e médios produtores, reduzindo custos com fertilizantes e fortalecendo sistemas agropecuários em regiões carentes de fontes hídricas e nutrientes no solo. Adicionalmente, o estudo pode ampliar o conhecimento sobre a dinâmica de pós de rochas em solos tropicais, orientando políticas de manejo sustentável, o que ampliaria projetos que visam a regularização de pó de rocha como remineralizadores sob as normativas governamentais.

Portanto, o objetivo deste estudo é investigar o efeito da aplicação de diferentes níveis de pó de rocha de Nefelina Sienito, em substituição a uma aplicação de KCl, no desempenho morfológico, produtivo e composição físico-química da forrageira *Pennisetum purpureum* Schum cv. BRS Capiaçu no período chuvoso e seco.

2 MATERIAIS E MÉTODO

2.1. Características Gerais

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), campus de Vitória da Conquista, situada nas coordenadas 14° 53’ de latitude sul e 40° 48’ de longitude oeste, a 941m de altitude e no Laboratório de Nutrição Animal (LNA) da UESB. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo “Cwb”, mesotérmico úmido e subúmido quente, com inverno seco e precipitação média anual de 741 mm e temperatura média anual de 20ºC.

A Figura 1 mostra a evapotranspiração, temperatura mínima, média e máxima durante o período experimental.

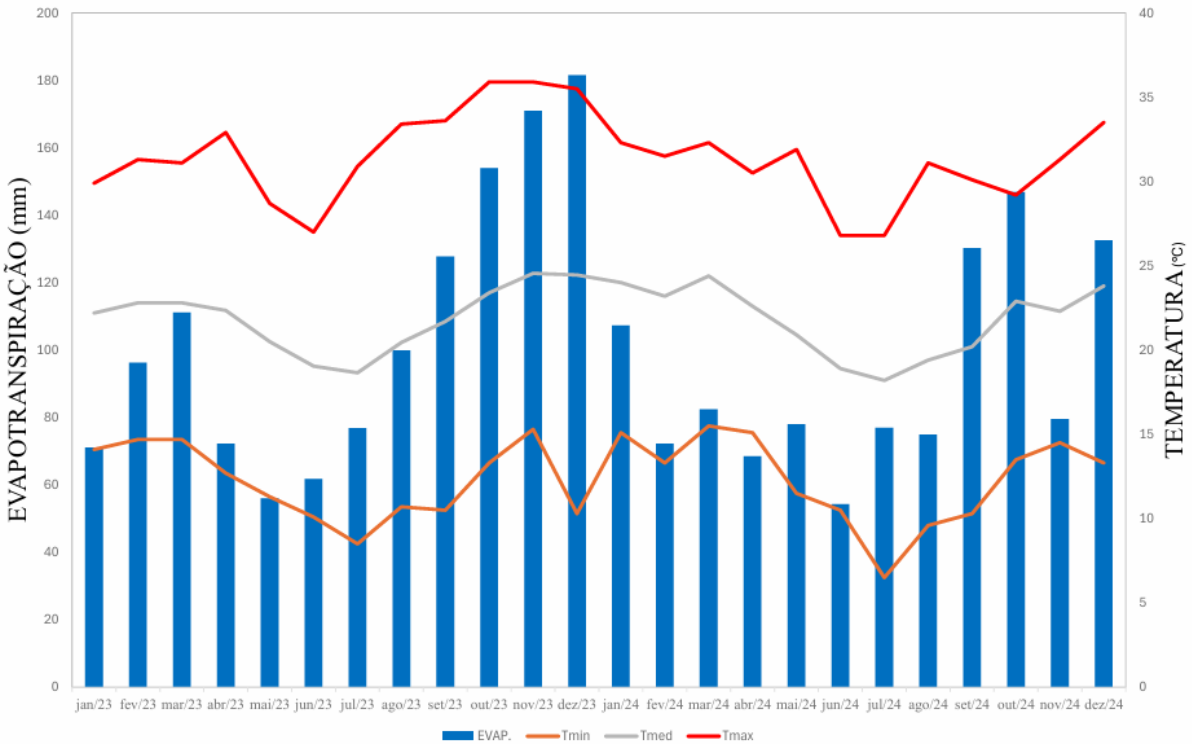

Figura 1 Evapotranspiração (Evap.), temperatura mínima (Tmin), temperatura média (Tmed) e temperatura máxima (Tmax) de janeiro de 2023 e dezembro de 2024.

2.2. Características Físico-Química do Solo

Tabela 1 Composição Física do Solo.

Identificação	Frações da amostra total %			Comp. Granulométrica (g/Kg de TTFSA)				Classe Textural
	Calh. 200-20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2-0,20 mm	Areia fina 0,05-0,002 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm	
Bloco 01 (0-20)	0	0	100	555	130	50	265	Franco Argilo Arenosa
Bloco 02 (0-20)	0	0	100	585	135	20	260	Franco Argilo Arenosa
Bloco 03 (0-20)	0	0	100	605	125	30	240	Franco Argilo Arenosa
Bloco 04 (0-20)	0	0	100	580	125	36	290	Franco Argilo Arenosa

Fonte: Laboratório de Análise de Solos da UESB.

Tabela 2 Composição Química do Solo.

Identificação	pH	mg/dm3	cmolc/dm^3 de solo											%		g/dm3	mg/dm3			
	(H_20)	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H^+	Na^+	S.B.	t	T	V	m	PST	M.O.	Cu	Mn	Zn	Fe
Bloco 01 (0-20)	5,5	21	0,16	2,2	0,9	0,2	2,1	0,09	3,4	3,6	5,7	59	6	2	18	-	-	-	-
Bloco 02 (0-20)	5,6	20	0,10	2,2	0,8	0,2	2,1	0,09	3,2	3,4	5,5	58	6	2	18	-	-	-	-
Bloco 03 (0-20)	5,6	28	0,10	2,2	0,8	0,2	2,4	-	3,1	3,3	5,7	54	6	-	18	-	-	-	-
Bloco 04 (0-20)	5,6	20	0,10	2,2	0,8	0,2	2,1	-	2,9	2,9	5,2	56	6	-	18	-	-	-	-

Fonte: Laboratório de Análise de Solos da UESB.

2.3. Composição Petrográfica

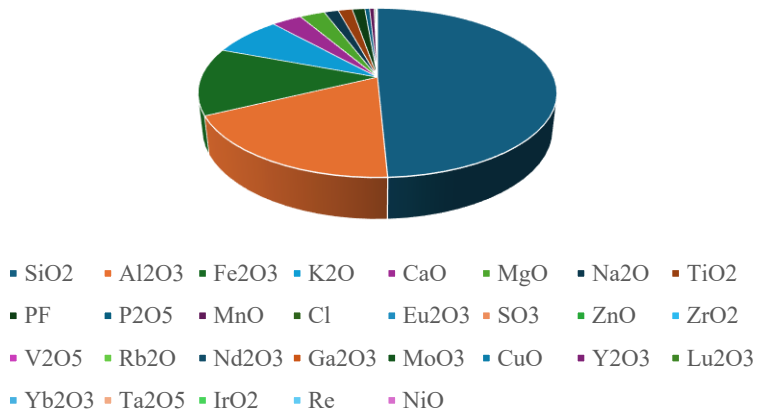

Figura 2 Composição Petrográfica do pó de rocha de Nefelina Sienito (LABORGEO).

2.4. Design Experimental e Estabelecimento do Experimento

O estudo foi organizado na forma de delineamento em blocos casualizados (DBC) (4 blocos x 7 tratamentos), totalizando 28 parcelas com dimensionamento de 5x5 metros, ou seja, 25m², sendo utilizado uma cultura (*Pennisetum purpureum* Schum cultivar BRS Capiaçu) implantada (2 anos) na área experimental, a mesma se encontra disposta com 1m entre linhas e 20cm entre plantas (Figura 1). Os níveis (tratamentos) do pó de rocha de Nefelina Sienito corresponderam em 0, 2, 4, 6, 8 e 10 toneladas ha^{-1}, sendo 0 tratamento controle, e outro tratamento com Cloreto de Potássio (KCl), conforme recomendações para a cultura, como tratamento positivo (Tabela 3).

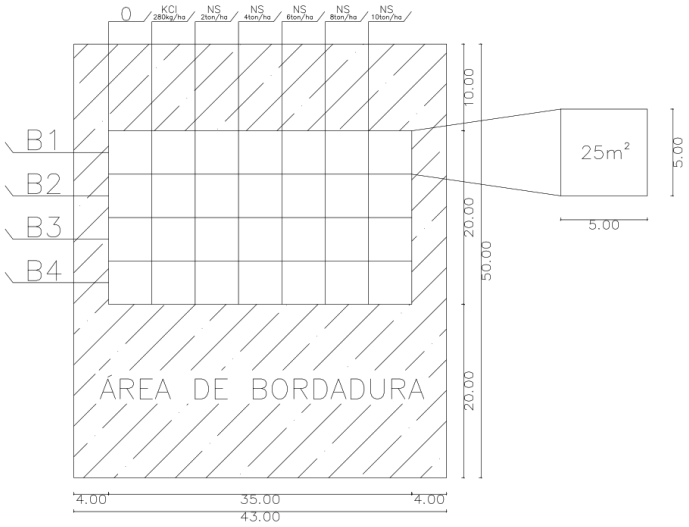

Figura 3 Croqui da Área Experimental.

Inicialmente, foi realizado o corte de uniformização de todas as parcelas, deixando-as em uma mesma altura (10 cm do solo) no dia 08/11/2023. Posteriormente, no dia 10/11/2023 foi colocado torno e barbantes na área para as delimitações entre os blocos e tratamentos. Em seguida, no dia 14/11/2023 foi realizada a calagem na área com o auxílio da análise de solo (Tabelas 1 e 2). No dia 01/12/2023 foram realizadas as adubações bases com Ureia (parcelado 2x de 900g/parcela com segunda aplicação em 11/01/2024) e MAP (200g/parcela), além da dosagem de Cloreto de Potássio, recomendação de acordo à cultura, e os níveis dos tratamentos de Nefelina Sienito (Tabela 3).

Tabela 3 Disposição dos Tratamentos Experimentais.

TRATAMENTOS		PARCELA (kg/25m²)	K_20 kg/25m²	K_20 kg/ha	SiO_2 kg/25m²	SiO_2 kg/ha
CONTROLE	0	0	0	0	0	0
CLORETO POTÁSSIO (exigência)	504,66 kg/ha	1,26	0,76	302,8	-	-
NEFELINA SIENITO (pó de rocha)	2000 kg/ha	5	0,38	151,4	2,5	984,8
	4000 kg/ha	10	0,76	302,8	4,9	1969,6
	6000 kg/ha	15	1,14	454,2	7,4	2954,4
	8000 kg/ha	20	1,51	605,6	9,8	3939,2
	10000 kg/ha	25	1,89	757,0	12,3	4924,0

Fonte: Autoria própria.

O primeiro corte foi realizado no dia 13/03/2024 durante o período chuvoso, já o segundo o corte foi realizado no dia 17/07/2024 durante o período seco. Cada corte possuiu 126 dias de desenvolvimento.

2.5. Avaliação das Características Morfológicas

Em cada período de corte foram realizadas mensurações morfológicas. Para estas avaliações foram selecionadas 4 (quatro) plantas ao acaso dentro de cada parcela, totalizando-se 16 repetições para cada tratamento considerando os blocos.

As análises morfológicas constituíram em:

- ✓ Altura da planta (AP) – medindo-se a base da planta até a extremidade da planta com o auxílio de um trena graduada;
- ✓ Diâmetro do colmo (DC) – medindo-se o terço-médio da planta com o auxílio de um paquímetro;
- ✓ Número de perfilhos (NP) – contagem manual dos perfilhos eliminando-se 1 (um) metro de cada lado da parcela (4x4);
- ✓ Número de folhas (NF) – contagem manual do número de todas as folhas da planta;
- ✓ Comprimento do colmo (CC) – medindo-se a base da planta até a parte superior do último entrenó na inserção das bainhas das folhas, com o auxílio de uma trena graduada;

- ✓ Comprimento das folhas (CF) – medindo-se uma folha presente no terço-médio da planta da inserção da bainha da folha até a sua extremidade, com o auxílio de uma trena graduada.

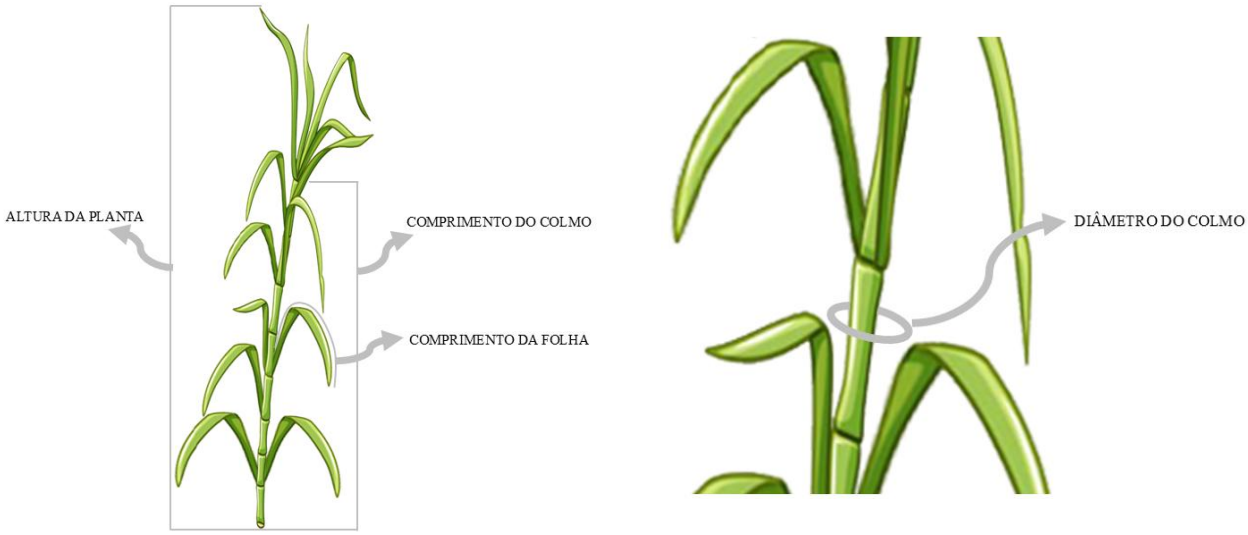

Figura 4 Disposição dos Locais de Avaliação Morfológica.

2.6. Avaliação das Características de Produção

Em cada período de corte também foram realizadas mensurações de produção. As análises de produção se compreenderam em:

- ✓ Peso fresco folha (PFF) – obtido a partir da pesagem de todas as folhas retiradas de cada planta, onde eram colocadas em um balde já tarado e submetido a pesagem;
- ✓ Peso fresco colmo (PFC) – obtido a partir do colmo de cada planta, onde era seccionado e colocado em um balde já tarado e submetido a pesagem;
- ✓ Peso fresco total (PFT) – obtido a partir da pesagem de toda a parcela 4x4 com o auxílio de um balanção;
- ✓ Relação folha/colmo (RFC) – obtido a partir da relação da pesagem da folha e do colmo de cada planta;

- ✓ Taxa de acúmulo de forragem (TAF) - obtido a partir da equação TAF = PFT/PD, onde: TAF (taxa de acúmulo de forragem), PFT (peso fresco total) e PD (período).
- ✓ Taxa de acúmulo de matéria seca (TMS) - obtido a partir da equação TMS = MST/PD, onde: TMS (taxa de acúmulo de matéria seca), MST (matéria seca total) e PD (período).

2.7. Valor Nutricional

Para a avaliação da composição bromatológica ou valor nutricional da forrageira, as amostras foram avaliadas quanto aos parâmetros de: matéria seca (MS) (INCT–CA G-003/1), matéria mineral (MM) (INCT–CA M001/1), a fibra em detergente neutro (FDN) (INCT–CA F-002/2) e fibra em detergente ácido (FDA) (INCT–CA F004/2), e lignina (INCT-CA F-005/1), conforme métodos preconizados por Detmann et al. (2021).

2.8. Estatística Experimental

Em primeiro momento, após a coleta dos dados foram verificados quanto normalidade dos dados e do resíduo pelo teste de Shapiro Wilk (P>0,05) no software SAS ON DEMAND FOR ACADEMIC utilizando a PROC UNIVARIATE. Posteriormente, as médias de todos os tratamentos (controle, KCl e NS) foram avaliadas pelo teste Tukey à 5% de significância pela PROC MIXED, e em seguida apenas os tratamentos controle e de NS foram realizadas a verificação pelo teste de Shapiro Wilk (P<0,05) para funções linerares, quadráticas ou cúbicas no software SAS ONDEMAND FOR ACADEMIC seguindo os seguintes contrastes:

'LINEAR'	-0.597614 -0.358569 -0.119523 0.1195229 0.3585686 0.5976143
'QUADRATICO'	0.5455447 -0.109109 -0.436436 -0.436436 -0.109109 0.5455447
'CÚBICO'	-0.372678 0.5217492 0.2981424 -0.298142 -0.521749 0.372678

Os gráficos foram confeccionados utilizando o software R STUDIO versão 2024.12.0+467 com a função PLOT.

3. RESULTADOS

Em relação ao 1º corte (período das chuvas), observou-se interação (P<0,05) apenas para as variáveis de comprimento do colmo, quantidade de perfilhos, número de folhas, peso fresco da folha e peso fresco total (Tabela 4). Em contrapartida, as variáveis de altura da planta, comprimento da folha, diâmetro do colmo e peso fresco do colmo não apresentaram significância estatística (P>0,05) entre os tratamentos analisados.

Já para o 2º corte, período seco, foi observada interação (P<0,05) somente para as variáveis de comprimento do colmo e peso fresco total (Tabela 4). As variáveis de altura da planta, comprimento da folha, diâmetro do colmo, quantidade de perfilhos, número de folhas, peso fresco da folha e peso fresco do colmo não apresentaram significância estatística (P>0,05) entre os tratamentos analisados.

Para o comprimento do colmo, no período chuvoso, os tratamentos com 4, 6 e 8 ton/ha de NS não diferiram entre si (P>0,05) e apresentaram as maiores médias, com valores 34 de 2,66 m, 2,56 m e 2,56 m, respectivamente (Tabela 4). Estes tratamentos mostraram incrementos de 15,65%, 11,30% e 11,30% em comparação aos tratamentos controle e KCl, que também não diferiram entre si (P>0,05). O menor comprimento foi observado no tratamento com 10 ton/ha de NS que apresentou 2,09 m. No período seco, o tratamento com 4 ton/ha de NS destacou-se, apresentando uma média de 1,82 m, com aumentos de 19,74% e 16,67% em comparação aos tratamentos de KCl e controle, respectivamente. No entanto, esse tratamento não diferiu (P>0,05) do tratamento controle, assim como dos tratamentos de 2, 6, 8 e 10 ton/ha de Nefelina Sienito. O menor comprimento de colmo, no período seco, foi observado no tratamento de KCl, que alcançou 1,52 m.

No período chuvoso, o tratamento com 2 ton/ha de NS destacou-se na quantidade de perfilhos, apresentando 108.906 unidades/ha, o que representa um aumento de 32,26% e 20,80% em comparação aos tratamentos controle e KCl, respectivamente (Tabela 4). No entanto, não houve diferença significativa (P>0,05) em relação aos tratamentos de KCl, 4 ton/ha e 6 ton/ha de Nefelina Sienito. Os tratamentos controle, 8 ton/ha e 10 ton/ha de NS não diferiram entre si (P>0,05) e apresentaram as menores quantidades de perfilhos (82.344, 85.469 e 83.594 unidades/ha, respectivamente).

Na avaliação da quantidade de folhas, o tratamento de 2 ton/ha de NS destacou-se novamente, apresentando 1.900.393,75 folhas/ha, o que representa aumentos de 21,75% e 47,39% em comparação aos tratamentos de KCl e controle, respectivamente (Tabela 4). No entanto, não houve diferença significativa (P>0,05) em relação a estes tratamentos, assim como

em comparação aos tratamentos de 4, 6, 8 e 10 ton/ha de NS. O menor número de folhas foi registrado no tratamento controle, que mostrou 1.289.375 folhas/ha.

No tratamento com 4 ton/ha de NS, observou-se o maior peso fresco da folha, com 27,12 ton/ha, representando incrementos de 42,77% e 107,98% em comparação aos tratamentos de KCl e controle, respectivamente (Tabela 4). No entanto, este tratamento não difere (P>0,05) do tratamento com KCl, e também não houve diferenças em relação aos tratamentos de 2, 6 e 8 ton/ha de NS. A menor quantidade de peso fresco foi observada nos tratamentos controle e 10 ton/ha de NS, que apresentaram 13,04 e 14,37 ton/ha, respectivamente, não diferindo entre si (P>0,05).

Ao avaliar o peso fresco total, destaca-se o tratamento com 6 ton/ha de NS que apresentou cerca de 60,23 ton/ha, com aumentos de 22,10% e 30,31% em comparação aos tratamentos controle e KCl, respectivamente (Tabela 4). Contudo, este tratamento não difere (P>0,05) do tratamento com KCl, assim como dos tratamentos de 2, 4 e 8 ton/ha de NS. O menor peso fresco total foi registrado nos tratamentos controle e 10 ton/ha de Nefelina Sienito, com 46,22 e 46,11 ton/ha, respectivamente. Já no período seco, o tratamento com 6 ton/ha de NS foi destaque, apresentando aproximadamente 19,91 ton/ha, com aumentos de 28,29% e 46,61% em comparação aos tratamentos de KCl e controle, respectivamente. Todavia, esse tratamento não difere do tratamento de KCl, bem como dos tratamentos de 2, 4, 8 e 10 ton/ha de Nefelina Sienito. O tratamento controle apresentou o menor peso fresco total, com 13,58 ton/ha.

Para a MS, no período chuvoso, apenas o colmo não possui influência (P>0,05). A MS da folha teve um destaque para o tratamento de 6 ton/ha de NS, que apresentou 338.6g/kg de MS, resultando em um acréscimo de 19,90 e 33,94% em relação aos tratamentos controle e de KCl, respectivamente (Tabela 6). No entanto, o tratamento de 6 ton/ha de NS não difere (P>0,05) dos tratamentos controle, 8 e 10 ton/ha de NS. Os menores teores de MS das folhas são verificados nos tratamentos de KCl, 2 e 4 ton/ha (252.8, 252.5 e 247.6g/kg, respectivamente. A MS total, no período chuvoso, também apresentou destaque no tratamento de 6 ton/ha de NS, cerca de 273.2g/kg de MS e um incremento de 15,62 e 28,14% quando relacionado aos tratamentos controle e KCl, respectivamente. Entretanto, esse não diferiu (P>0,05) dos tratamentos controle, 2, 4, 8 e 10 ton/ha de NS. O menor teor de MS também é verificado no tratamento de KCl, 213.2g/kg.

Já no período seco, apenas o teor total de MS apresentou influência (P<0,05) (Tabela 6). O maior teor de MS total é visto para o tratamento de 8 ton/ha de NS, apresentando 385.0g/kg de MS, um incremento de 39,80 e 35,90% em relação aos tratamentos controle e KCl,

respectivamente. Todavia, esse não diferiu (P>0,05) dos tratamentos de 2, 4, 6 e 10 ton/ha de NS. Os menores teores de MS nesse período são observados nos tratamentos de controle e de KCl (275.4 e 283.3g/kg, respectivamente).

No período chuvoso, a matéria mineral apresentou influência (P<0,05) nos teores da folha e total (Tabela 6). O teor de MM na folha é destaca pelo tratamento de KCl, apresentando 69.1g/kg de MM, não diferindo (P>0,05) dos tratamentos controle, 2, 4, 6 e 8 ton/ha de NS. O menor teor de MM na folha é visto no tratamento de 10 ton/ha de NS (55.2g/kg de MM). O teor de MM total é similar ao teor nas folhas, no entanto, os menores teores foram verificados nos tratamentos de 6 e 10 ton/ha de NS, 42.9 e 40.8g/kg de MM, respectivamente. Já no período seco, não foram constatadas influências (P>0,05) para as variáveis.

O acúmulo de forragem no período chuvoso é destacado pelo tratamento de 6 ton/ha de NS, apresentando em torno de 0,48 ton/ha, uma adição de 29,73 e 23,08% em relação aos tratamentos controle e KCl, respectivamente (Tabela 6). Entretanto, esse não diferiu (P>0,05) dos tratamentos de KCl, 2, 4 e 8 ton/ha de NS. O menor acúmulo é verificado nos tratamentos controle e de 10 ton/ha de NS (0,37 ton/ha). No período seco, é visto resultados similares ao período chuvoso, no entanto, o menor peso é verificado somente no tratamento controle (0,17 ton/ha).

Para o acúmulo de MS, no período chuvoso, houve um destaque para o tratamento de 6 ton/ha de NS que apresentou em torno de 2,17 g/kg, um aumento de 15,43 e 28,40% em relação aos tratamentos controle de KCl, respectivamente (Tabela 6). Todavia, esse não diferiu (P>0,05) dos tratamentos controle, 2, 4 e 8 ton/ha de NS. O menor acúmulo de MS neste período é verificado no tratamento de KCl (1,69 g/kg). No período seco, o destaque de acúmulo de MS foi perceptível para o tratamento de 8 ton/ha de NS em torno de 3,1 g/kg, um aumento de 40,91% em relação aos tratamentos controle e KCl. No entanto, não diferiu (P>0,05) dos tratamentos de 2, 4, 6 e 10 ton/ha de NS. Os menores acúmulos neste período são verificados para os tratamentos controle e KCl (2,2 g/kg de MS).

Na relação folha/colmo em ambos os períodos não são verificados influência (P>0,05) de acordo ao teste TUKEY a 5% de significância (Tabela 6).

Alguns parâmetros analisados por mais que não sofreram influência significativa de acordo ao teste TUKEY, está sujeito a significância de acordo Shapiro-Wilk, principalmente, se relacionados dentro das próprias dosagens, neste caso, verificar o ponto de máxima ou mínima produção entre as doses de Nefelina Sienito.

Para altura da planta (Figura 2), no primeiro corte, a equação de regressão foi ($y = 3.96 - 0.16x - 0.8x^2$) (Tabela 5), com um coeficiente de determinação ($R^2 = 0.32$). Observou-se que

a altura das plantas inicialmente aumentou com doses baixas de Nefelina Sienito, mas apresentou uma tendência de declínio em doses mais elevadas. No segundo corte, a equação foi ($y = 3.01 + 0.31x - 0.09x^2 + 0.34x^3$) (Tabela 5), com ($R^2 = 0.29$). A altura das plantas mostrou um padrão diferente, com um aumento mais consistente em relação às doses aplicadas.

No comprimento da folha (Figura 3), para o primeiro corte, a equação de regressão obtida foi ($y = 1.45 + 0.06x - 0.1x^2$) (Tabela 5), com um coeficiente de determinação (R^2=0.19), observou-se que o comprimento das folhas aumentou ligeiramente com doses iniciais de Nefelina Sienito, mas apresentou uma tendência de declínio em doses mais elevadas. Já no segundo corte, a equação foi ($y = 1.13 + 0.01x - 0.06x^2 + 0.06x^3$) (Tabela 5), com ($R^3 = 0.21$). O comprimento das folhas mostrou um aumento inicial seguido por uma estabilização, com pouca variação em doses mais altas.

No diâmetro do colmo (Figura 4), o 1º corte (período chuvoso) não apresentou significância entres as doses, entretanto, o 2º corte (período seco) apresentou uma equação de regressão linear ($y = 18.81 + 0.27x$) (Tabela 5), com um coeficiente de determinação ($R^2 = 0.40$), indicando uma correlação positiva moderada entre a dose de Nefelina Sienito e o diâmetro do colmo, onde à medida que a dose aumentou, o diâmetro do colmo também mostrou um incremento.

Para o número de folhas (Figura 5), o 1º corte (período chuvoso) apresentou uma equação de regressão quadrática foi ($y = 2573.59 - 92.38x - 1230.95x^2$) (Tabela 5), com um coeficiente de determinação ($R^2 = 0.22$), foi observado que o número de folhas inicialmente aumentou com doses baixas de NS, atingindo um pico antes de começar a diminuir em doses mais elevadas.

Em relação ao Peso Fresco das Folhas (PFF) (Figura 6), somente o período chuvoso (1º corte) a qual apresenta uma equação de regressão quadrática ($y = 18.87 - 3.75x + 17.93x^2$) (Tabela 5), com um coeficiente de determinação ($R^2 = 0.28$), sendo observado que o peso fresco das folhas aumentou inicialmente com doses crescentes de Nefelina Sienito, atingindo um pico antes de declinar em doses mais elevadas.

O Peso Fresco dos Colmos (PFC) (Figura 7), apresentou interação entre as doses somente no período chuvoso (1º corte), dispondo de uma equação de regressão quadrática obtida foi ($y = 46.9 + 0.5x - 32.03x^2$) (Tabela 5), com um coeficiente de determinação ($R^2 = 0.21$), que tende a aumentar inicialmente com doses crescentes de NS, atingindo um pico antes de declinar em doses mais elevadas.

Por fim, no Peso Fresco Total (PFT) (Figura 8), o 1º corte (período chuvoso), a equação de regressão quadrática foi ($y = 52.59 - 0.72x - 21.81x^2$) (Tabela 5), com um coeficiente de

determinação ($R^2 = 0.32$), enquanto, no 2º corte (período seco), a equação foi ($y = 26.42 + 4.34x - 12.98x^2 - 2.65x^3$), com ($R^2 = 0.24$).

Tabela 4 Valores Médios de Altura da Planta, Comprimento da Folha, Comprimento do Colmo, Diâmetro do Colmo, Número de Perfilhos, Número de Folhas, Peso Fresco da Folha, Peso Fresco do Colmo e Peso Fresco Total do Capiaçu em dois períodos de corte sob aplicação de KCl e diferentes níveis de Nefelina Sienito.

	ITEM	TRATAMENTOS							R²	EPM	CV(%)
		CONTROLE	KCl 280kg/ha	NÍVEIS DE NS ton/ha							
				2	4	6	8	10			
1º CORTE	AP (m)	3.84	3.83	3.97	4.13	4.12	4.08	3.63	0.58	0.24	6.06
	CF (m)	1.41	1.45	1.43	1.47	1.46	1.50	1.42	0.45	0.05	3.71
	CC (m)	2.30ab	2.30ab	2.43ab	2.66a	2.56a	2.56a	2.09b	0.67	0.20	8.28
	DC (mm)	18.94	20.73	19.65	21.85	19.51	19.87	18.90	0.38	2.20	11.06
	NP (un/ha)	82344b	90156ab	108906a	87812ab	95625ab	85469b	83594b	0.71	94498.50	10.44
	NF (un/ha)	1289375b	1560937,50ab	1900393,75a	1753987,50ab	1790706,25ab	1581406,25ab	1447618,75ab	0.66	362.73	14.15
	PFF (ton/ha)	13.04b	19.03ab	22.78ab	27.12a	17.34ab	18.59ab	14.37b	0.71	4.43	23.47
	PFC (ton/ha)	34.60	46.92	54.03	56.18	48.16	48.41	40.00	0.51	11.66	24.85
	PFT (ton/ha)	46.22b	49.33ab	56.88ab	52.58ab	60.23a	53.50ab	46.11b	0.69	5.20	9.98
2º CORTE	AP (m)	2.81	2.82	3.12	3,00	2.96	3.05	3.12	0.57	0.15	5.16
	CF (m)	1.1	1.11	1.15	1.17	1.12	1.14	1.13	0.50	0.03	2.9
	CC (m)	1.56ab	1.52b	1.76ab	1.82a	1.7ab	1.71ab	1.8ab	0.61	0.12	7.36
	DC (mm)	18.88	19.89	19.96	19.11	19.98	21.6	21.56	0.53	1.20	5.97
	NP (un/ha)	64062,5	64218,75	68437,5	63437,5	79531,25	60468,75	62343,75	0.56	14.51	13.72
	NF (un/ha)	970818,75	1016562,5	1155818,75	1049687,5	1322618,75	995275	1058437,5	0.58	2646191	15.29
	PFF (ton/ha)	8.33	8.96	12.65	8.50	12.32	8.71	9.55	0.47	2.64	26.74
	PFC (ton/ha)	18.31	20.89	24.53	20.84	26.32	22.12	22.51	0.49	4.51	20.34
	PFT (ton/ha)	13.58b	15.52ab	16.96ab	16.34ab	19.91a	17.43ab	14.86ab	0.68	3.83	14.64

*Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

AP – altura da planta; CF – comprimento da folha; CC – comprimento do colmo; DC – diâmetro do colmo; NP – número de plantas; NF – número de folhas; PFF – peso fresco da folha; PFC – peso fresco do colmo; PFT – peso fresco total.

Tabela 5 Interação de acordo Shapiro Wilk (P<0,05) para Altura da Planta, Diâmetro do Colmo, Comprimento da Folha, Número de Folhas, Peso Fresco do Colmo, Peso Fresco da Folha e Peso Fresco Total da Capiaçu em dois períodos de corte sob aplicação de KCl e diferentes níveis de Nefelina Sienito.

	ITEM	VALOR DE P			EQUAÇÃO	R²	R²aj
		LIN	QUAD	CÚB			
1º CORTE	AP (m)	0.5289	0.0063*	0.3130	y=3.96-0.16x-0.8x2	0.32	0.25
	CF (m)	0.3858	0.0006*	0.2594	y=1.45+0.06-0.1X2	0.19	0.11
	NF (un/ha)	0.8565	0.0256*	0.1333	$y=2573.59-92.38x-1230.95x^2$	0.22	0.15
	PFF (ton/ha)	0.5467	0.0092*	0.0837	$y=18.87-3.75x-17.93x^2$	0.28	0.21
	PFC (ton/ha)	0.9721	0.0374*	0.3156	$y=46.9+0.5x-32.03x^2$	0.21	0.14
	PFT (ton/ha)	0.9191	0.0064*	0.8748	y=52.59-0.72x-21.81x2	0.32	0.25
2º CORTE	AP (m)	0.0649	0.6066	0.0484*	y=3.01+0.31x-0.09x2+0.34x3	0.34	0.29
	CF (m)	0.1258	0.2738	0.0469*	y=1.13+0.01x-0.06x2+0.06x3	0.21	0.1
	DC (mm)	0.0011*	0.4400	0.8435	y=18.81+0.27x	0.4	0.38
	PFT (ton/ha)	0.4512	0.0341*	0.6444	y=26.42+4,34x-12.98x2-2.65x3	0.24	0.12

*Significativo a 5% pelo teste de Shaíro-Wilk.

AP – altura da planta; CF – comprimento da folha; DC – diâmetro do colmo; NF – número de folhas; PFF – peso fresco da folha; PFC – peso fresco do colmo; PFT – peso fresco total.

Tabela 6 Composição química da Matéria Seca e Matéria Mineral da folha, do colmo e total, Acúmulo de Forragem, Acúmulo de Matéria Seca e Relação Folha:Colmo do capiaçu em dois períodos de corte sob aplicação de KCl e diferentes níveis de Nefelina Sienito.

	ITEM		TRATAMENTOS							R²	CV(%)	EPM
			CONTROLE	KCl 280kg/ha	NS 2ton/ha	NS 4ton/ha	NS 6ton/ha	NS 8ton/ha	NS 10ton/ha			
1º CORTE	MS (g/kg)	Folha	282.4ab	252.8b	252.5b	247.6b	338.6a	306.8ab	298.7ab	0.67	10.76	3.04
		Colmo	190.2	173.4	195.4	251.4	207.7	163.3	182.8	0.39	26.21	5.11
		Total	236.3ab	213.2b	223.9ab	249.5ab	273.2a	235.1ab	240.7ab	0.53	10.52	2.51
	MM (g/kg)	Folha	62.1ab	69.1a	58.2ab	61.9ab	58.7ab	60.9ab	55.2b	0.61	9.66	0.59
		Colmo	30.9	39.4	29.6	30.3	27.2	29.5	26.3	0.28	30.36	0.93
		Total	46.5ab	54.3a	44.0ab	46.1ab	42.9b	45.2ab	40.8b	0.62	10.11	0.46
	AF (ton/ha)		0.37b	0.39ab	0.45ab	0.42ab	0.48a	0.42ab	0.37b	0.68	10.28	0.04
	AMS (g/kg)		1.88ab	1.69b	1.78ab	1.98ab	2.17a	1.87ab	1.91ab	0.52	10.54	0.20
	R F:C (ton/ha)		0.39	0.42	0.42	0.48	0.38	0.39	0.38	0.20	21.00	0.09
2º CORTE	MS (g/kg)	Folha	325.8	352.5	374.9	376.9	378.1	410.0	389.2	0.61	9.74	3.63
		Colmo	225.0	214.0	234.0	293.5	349.9	360.1	295.1	0.62	24.41	6.87
		Total	275.4b	283.3b	304.5ab	335.2ab	364.0ab	385.0a	342.1ab	0.67	12.87	4.21
	MM (g/kg)	Folha	66.6	73.6	65.8	68.7	79.4	78.1	82.1	0.34	15.65	1.15
		Colmo	25.2	36.8	29.5	30.5	37.5	34.4	37.1	0.22	22.39	0.77
		Total	48.6	55.2	47.6	49.6	58.4	56.3	59.6	0.38	14.12	0.76
	AF (ton/ha)		0.17b	0.20ab	0.22ab	0.21ab	0.25a	0.22ab	0.19ab	0.67	15.24	0.03
	AMS (g/kg)		0.22b	0.22b	0.24ab	0.26ab	0.29ab	0.31a	0.27ab	0.67	13.11	0.03
	R F:C (ton/ha)		0.45	0.44	0.50	0.41	0.47	0.40	0.43	0.50	10.80	0.05

*Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.
MS – matéria seca; MM – matéria mineral; AF – acúmulo de forragem; AMS – acúmulo de matéria seca; R F:C – relação folha colmo.

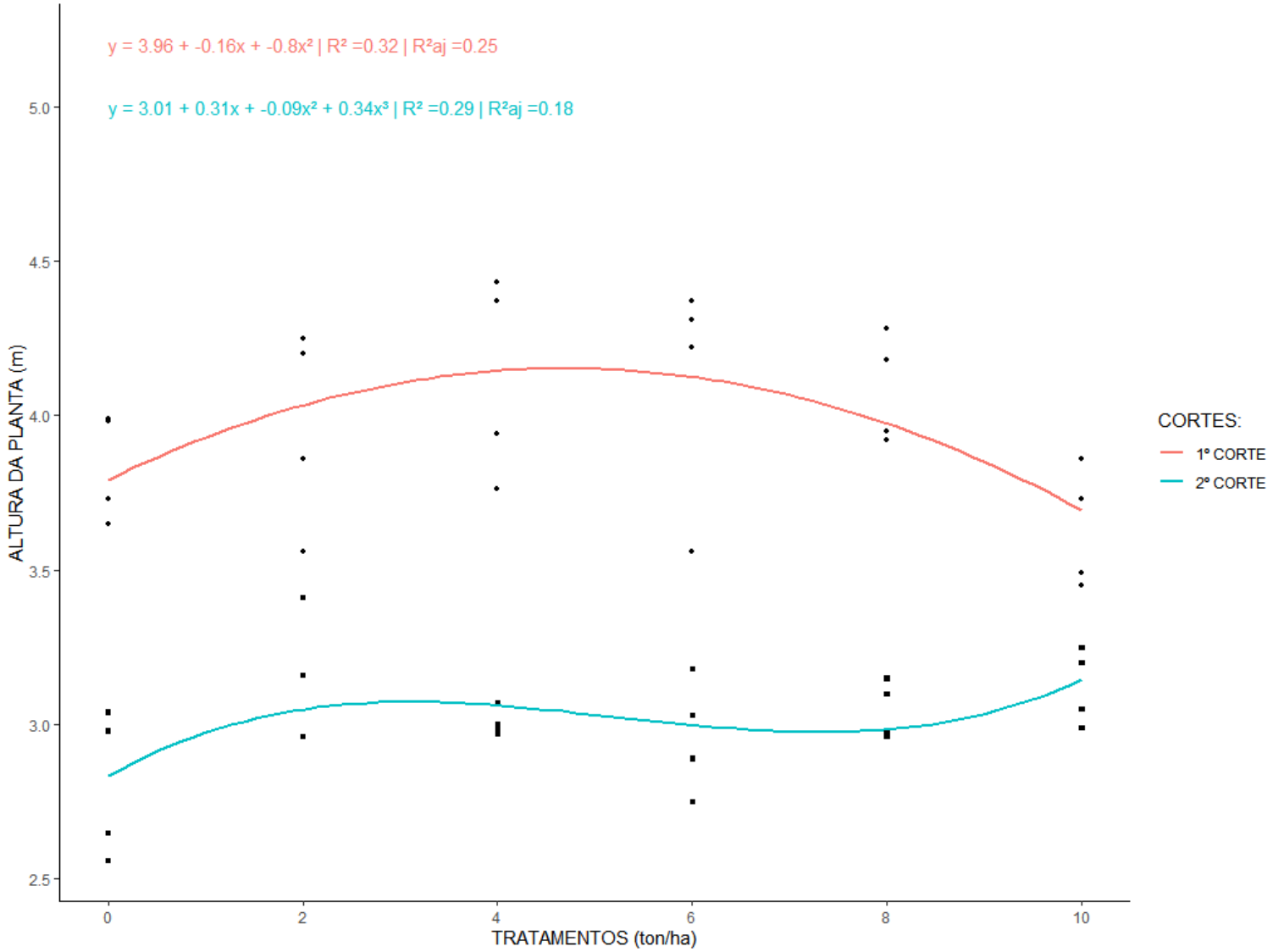

Figura 5 Altura da Planta em função dos diferentes níveis de pó de rocha de Nefelina Sienito.

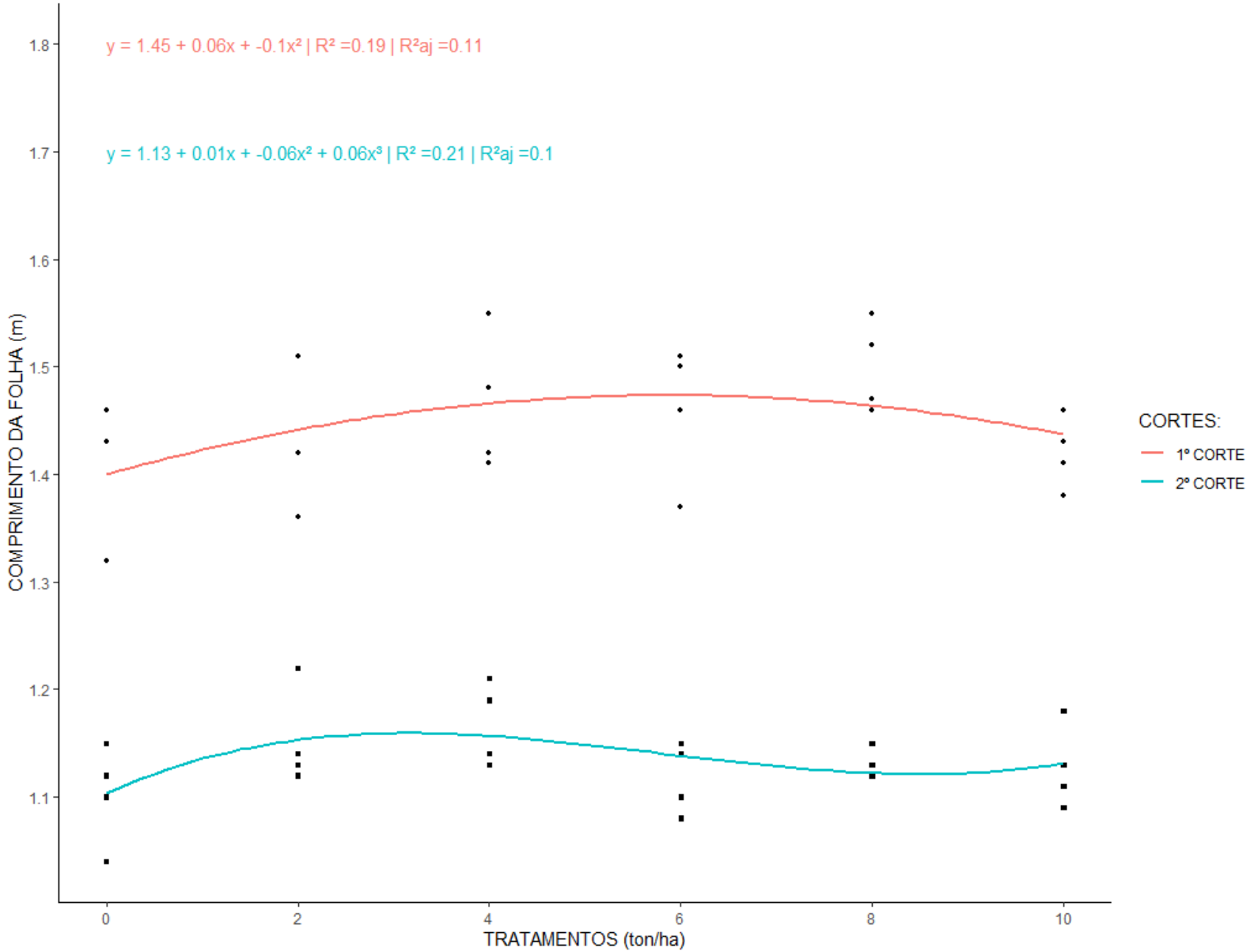

Figura 6 Comprimento da Folha em função dos diferentes níveis de pó de rocha de Nefelina Sienito.

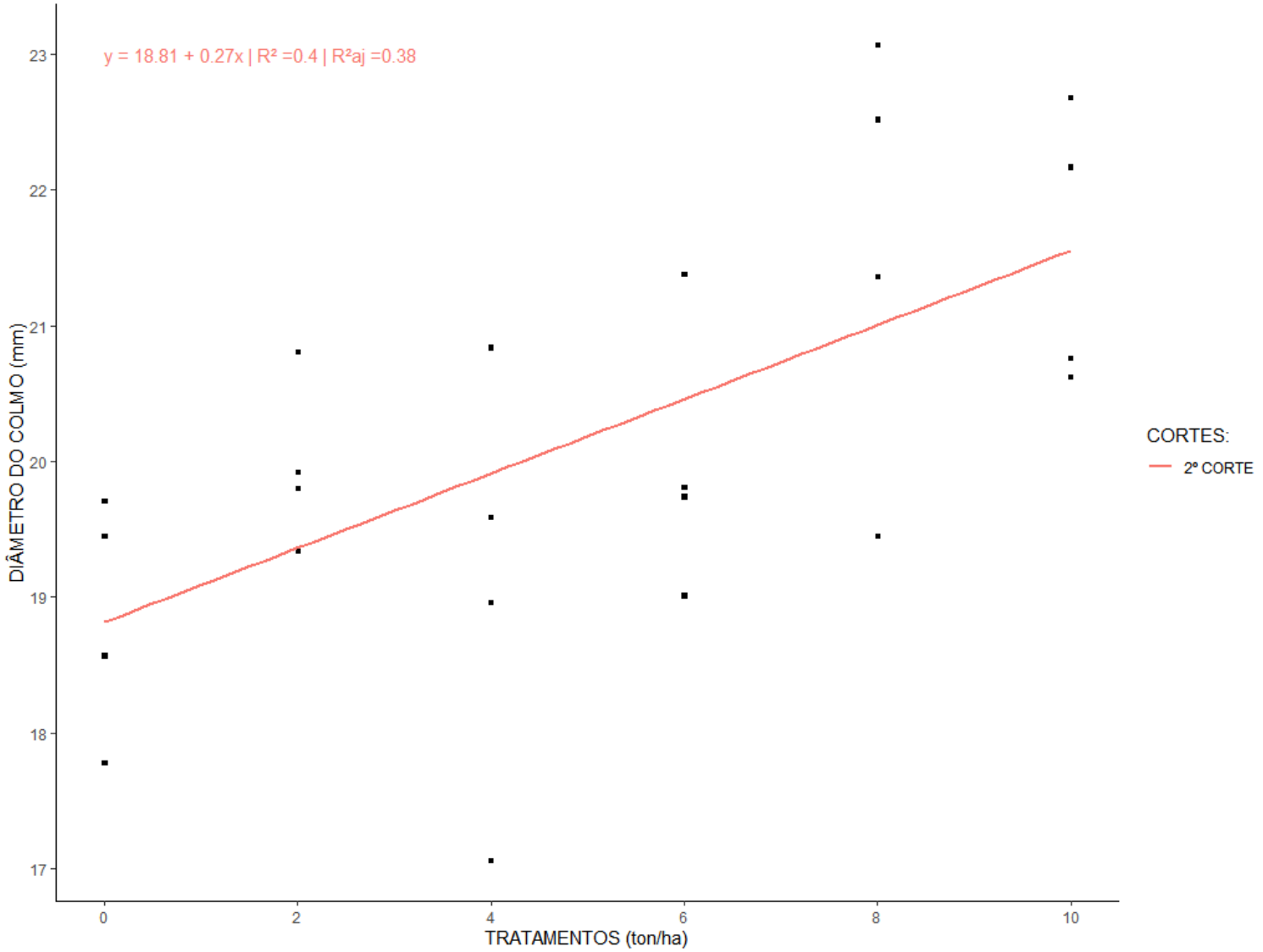

Figura 7 Diâmetro do Colmo em função dos diferentes níveis de pó de rocha de Nefelina Sienito.

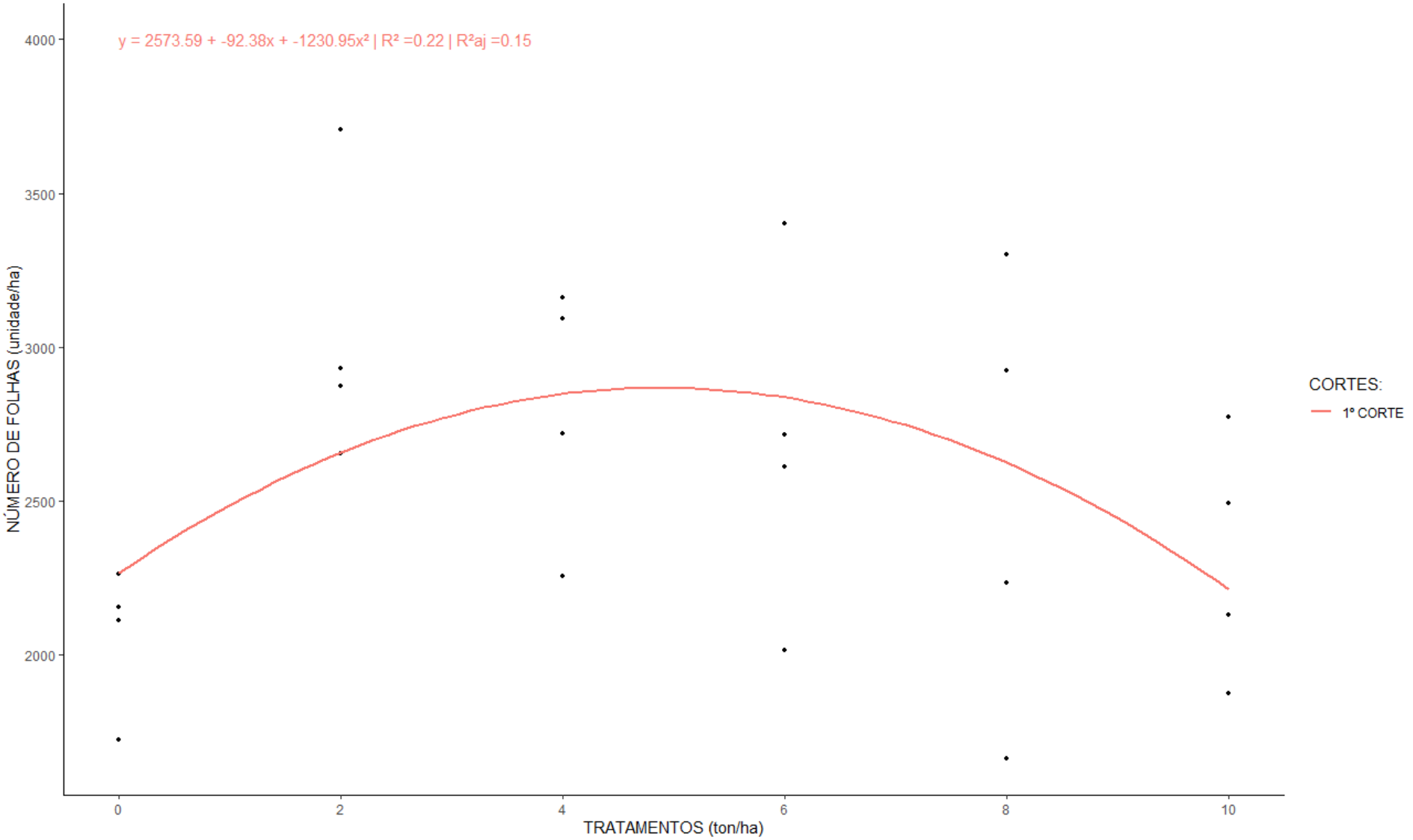

Figura 8 Número de Folhas em função dos diferentes níveis de pó de rocha de Nefelina Sienito.

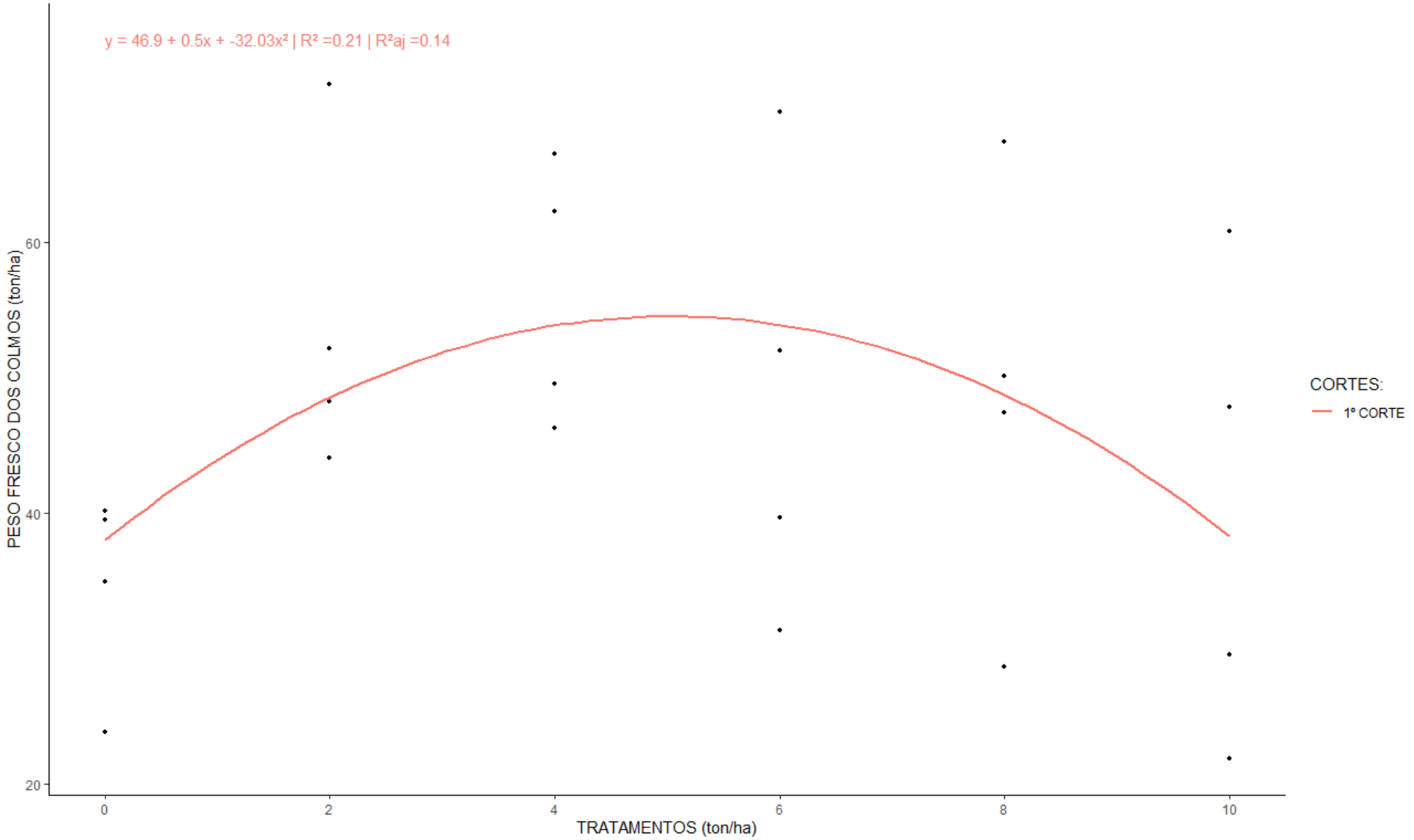

Figura 9 Peso Frescos dos Colmos em função dos diferentes níveis de pó de rocha de Nefelina Sienito.

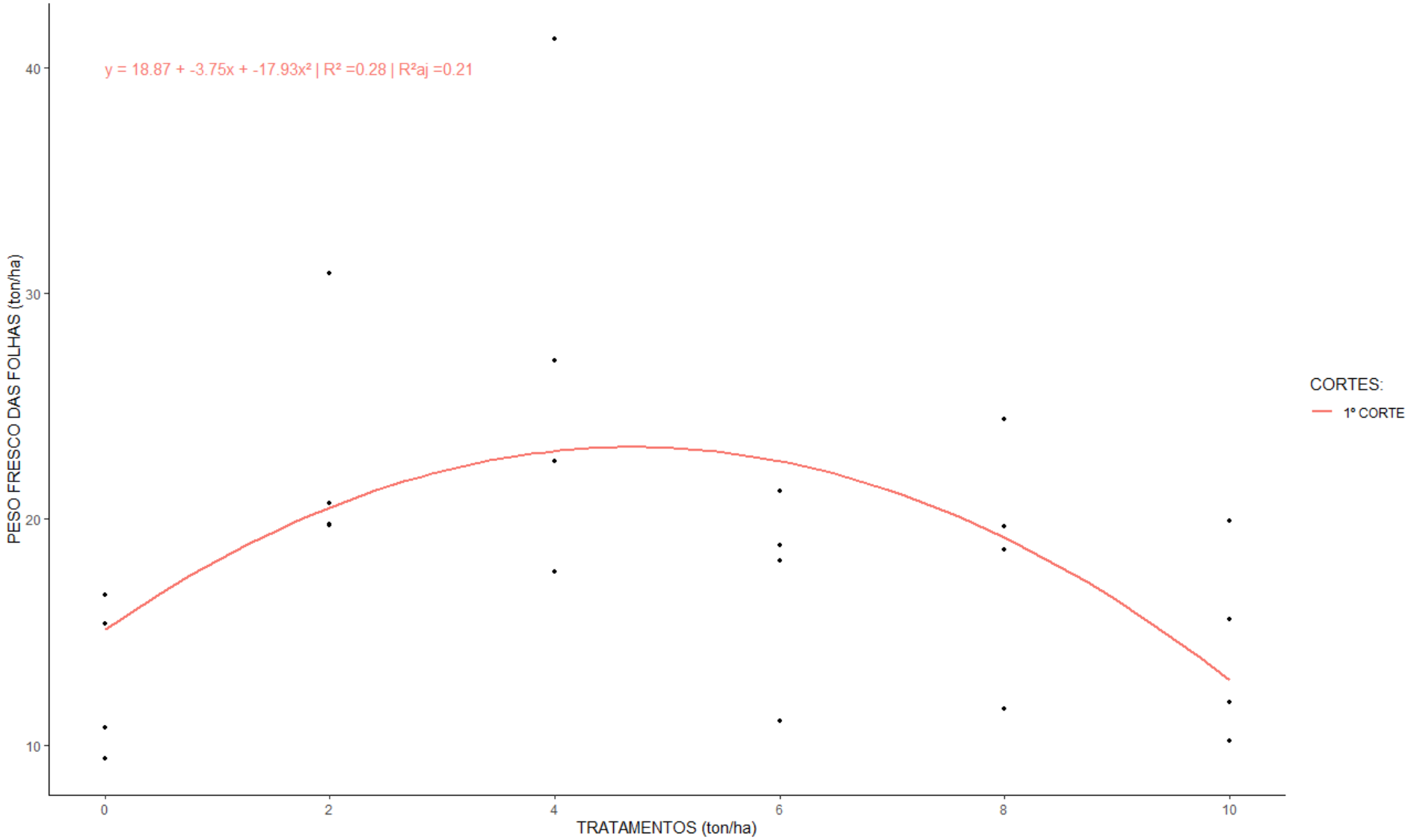

Figura 10 Peso Fresco das Folhas em função dos diferentes níveis de pó de rocha de Nefelina Sienito.

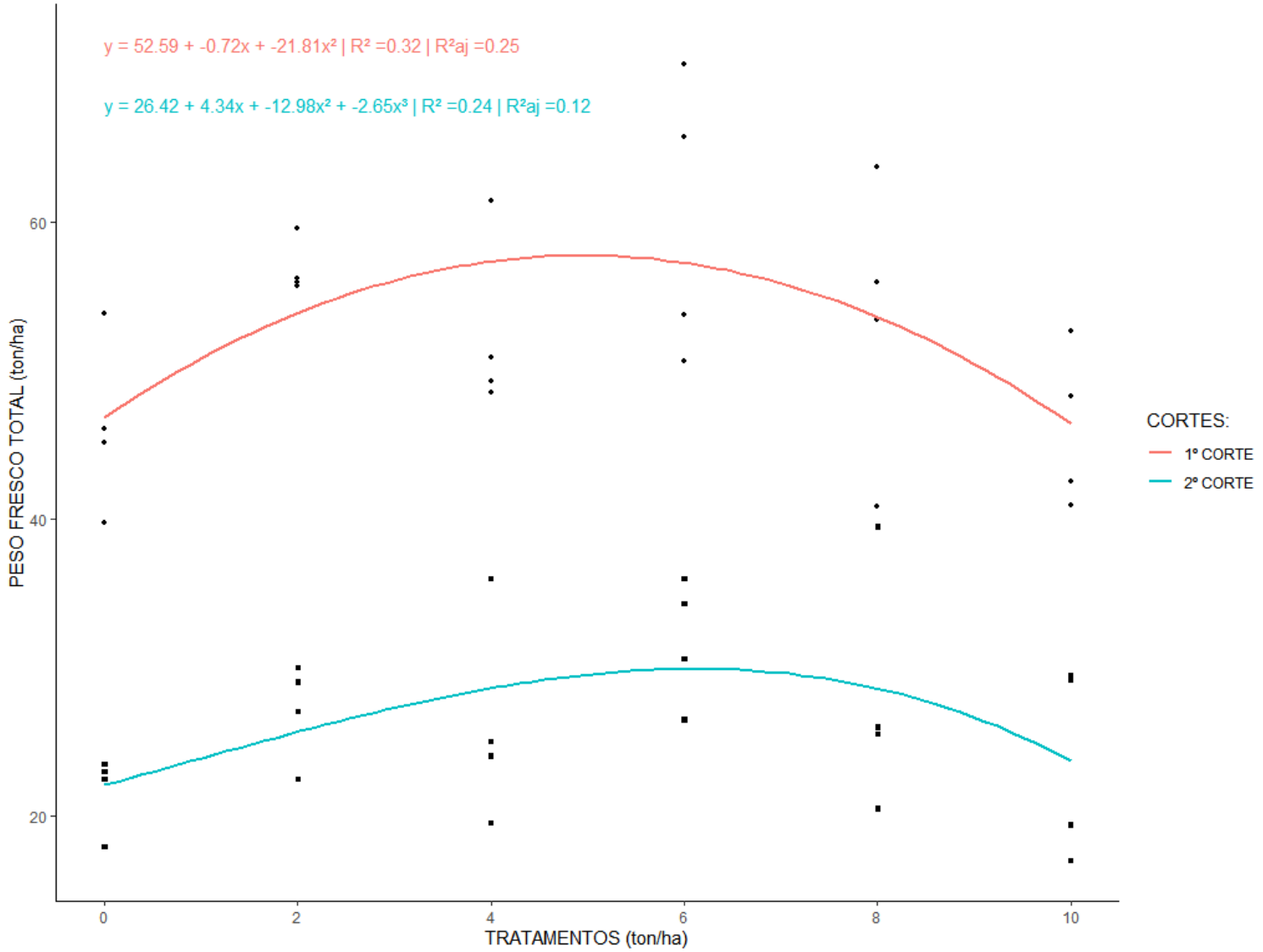

Figura 11 Peso Fresco Total em função dos diferentes níveis de pó de rocha de Nefelina Sienito.

4. DISCUSSÕES

A altura da planta (AP) é uma variável morfológica frequentemente associada ao vigor vegetativo e à capacidade de suporte estrutural em gramíneas forrageiras. Em *Pennitecium purpureum* essa característica não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos com NS, o controle e o KCl em nenhum dos dois cortes analisados. No 1º corte, realizado no período chuvoso, os valores de AP permaneceram consistentemente próximos aos 2,30 m registrados tanto no controle quanto no tratamento com KCl, sem variações relevantes mesmo nas doses mais altas de NS (ex.: 10 ton/ha). Já no 2º corte, conduzido sob condições de seca moderada com irrigação suplementar por gotejamento, a tendência se manteve, com os tratamentos de NS (2 a 10 ton/ha) exibindo alturas similares ao controle, sem ultrapassar os padrões basais observados. Esse comportamento é intrigante, pois frequentemente associam a aplicação de nutrientes como potássio e silício a incrementos em altura em gramíneas forrageiras.

Por exemplo, Santos et al. (2020) reportaram ganhos significativos em altura da planta na cultivar *Pennisetum purpureum* cv. Cameroon com a aplicação de gesso agrícola, que fornece cálcio e enxofre, nutrientes que podem melhorar a estrutura do solo e a absorção de água e minerais. Em contraste, os resultados deste estudo sugerem que a NS não exerceu influência detectável nessa variável, mesmo em doses que forneceram quantidades consideráveis de K_2O (ex.: 1,89 kg/25 m² em 10 ton/ha) e SiO_2 (12,3 kg/25 m² na mesma dose). Uma possível explicação reside no perfil da BRS Capiaçu, uma cultivar de porte alto adaptada para sistemas de corte, que pode priorizar outras características morfológicas, como o comprimento do colmo ou a produção de biomassa, em detrimento da altura total, conforme destacado por Rosa et al. (2019). Além disso, a liberação gradual de nutrientes da NS, devido à sua baixa solubilidade (França et al., 2019), pode não ter sido suficiente para impactar o crescimento vertical em um período de avaliação de 126 dias por corte, diferente de fertilizantes solúveis como o KCl, que oferecem disponibilidade imediata.

Outro aspecto a considerar é o contexto ambiental do experimento, realizado em Vitória da Conquista, sob um clima Cwb (Köppen), com precipitação anual média de 741 mm. Essas condições podem ter atenuado a demanda por nutrientes adicionais para a altura, especialmente no 2º corte, onde a irrigação por gotejamento compensou parcialmente o déficit hídrico. Comparado a estudos em solos mais deficientes ou sob estresse hídrico severo (Mastalerczuk et al., 2022), a falta de resposta em AP pode refletir uma interação limitada entre a NS e as

condições locais, sugerindo que seu efeito é mais pronunciado em variáveis relacionadas à produtividade do que à morfologia vertical. Assim, embora a NS não tenha alterado a AP, isso não necessariamente diminui seu valor como remineralizador, mas indica a necessidade de ajustes no manejo ou no delineamento experimental para explorar plenamente seu potencial nessa variável.

No entanto, comparando o efeito dentro dos níveis (Figura 2) para a variável, o comportamento sugere que há um ponto ótimo de aplicação, além do qual o efeito positivo diminui, destacando que, mesmo sem interação, há a importância de determinar a dose adequada da NS para otimizar o crescimento das plantas, evitando tanto a subalimentação quanto o excesso de nutrientes.

O comprimento do colmo (CC) emergiu como uma das variáveis mais responsivas à aplicação da NS, destacando-se como um indicador chave do impacto desse remineralizador no desenvolvimento vegetativo da BRS Capiaçu. No 1º corte, realizado no período chuvoso, as doses de 4, 6 e 8 ton/ha de NS promoveram valores de 2,66 m, 2,56 m e 2,56 m, respectivamente, representando incrementos de até 15,65% em relação ao controle e ao KCl, ambos fixados em 2,30 m. Esses resultados são particularmente notáveis, pois demonstram a capacidade da NS de superar um fertilizante solúvel como o KCl, que fornece potássio em forma imediatamente assimilável (280 kg/ha). No 2º corte, sob condições de seca moderada com irrigação, a dose de 4 ton/ha manteve sua superioridade, alcançando 1,82 m contra 1,56 m do controle, um ganho de 16,67%, embora os efeitos tenham sido menos pronunciados em comparação ao período chuvoso.

Esses achados encontram respaldo na literatura que associa o potássio a melhorias no crescimento de colmos em gramíneas forrageiras. Véras et al. (2024), por exemplo, reportaram que a adubação potássica em *Panicum maximum* aumenta a taxa de elongação de colmos (SER) em 0,00980 cm perfilho por dia por mg de K, um efeito atribuído ao papel do potássio como agente maturador e estimulador do acúmulo de carboidratos nas células vegetais. A NS, com teores de K_2O variando de 1,14 a 1,51 kg/25 m² nas doses intermediárias, parece ter replicado esse mecanismo, promovendo um alongamento significativo do colmo no 1º corte, quando a umidade favoreceu a solubilização dos nutrientes. Além disso, o silício presente na NS (SiO_2 entre 7,4 e 9,8 kg/25 m² nessas doses) pode ter contribuído para a rigidez estrutural do colmo, como sugerido por Cassel et al. (2021), que destacam o Si como um elemento benéfico para a resistência mecânica via espessamento da parede celular.

No entanto, a dose de 10 ton/ha apresentou desempenho inferior em termos de produção associada (PFT de 46,11 ton/ha no 1º corte), sugerindo um limite de eficiência da NS. A queda

em doses altas pode ser explicada por saturação de nutrientes ou acúmulo excessivo de SiO_2 no solo, um efeito que não ocorre com fertilizantes solúveis devido à sua rápida dissipação. Comparado a Emerenciano Neto et al. (2019), que registraram alta produção em clones de capim-elefante com fertilização convencional, os resultados com NS indicam uma vantagem em doses moderadas, alinhando-se à ideia de que remineralizadores requerem manejo específico para otimizar seus benefícios. A resiliência parcial no 2º corte, por outro lado, corrobora com Daher et al. (2017), que observaram maior produtividade na época chuvosa, mas sugere que o silício da NS pode mitigar parcialmente o estresse hídrico, como proposto por Mastalerczuk et al. (2022).

O comprimento da folha (CF) não exibiu diferenças estatisticamente significativas em nenhum dos cortes, mantendo-se estável em relação ao controle e ao KCl, independentemente do nível de NS aplicada. No 1º corte, os valores de CF foram consistentes entre os tratamentos, sem incrementos detectáveis, e no 2º corte, essa tendência persistiu, mesmo com a variação climática entre os períodos. Esse comportamento contrasta com alguns estudos que relatam efeitos positivos de nutrientes como o silício no tamanho das folhas de gramíneas. Por exemplo, Buchelt et al. (2021) observaram aumento no comprimento foliar em *Panicum maximum* e *Brachiaria spp.* com aplicações de silício via fertigação (2,7-2,8 mmol L^{-1}), atribuindo o ganho à maior eficiência no uso de nitrogênio e à expansão celular promovida pelo Si. Da mesma forma, Brennecke et al. (2017) detectaram efeitos positivos no tamanho das folhas de *Urochloa brizantha* com a combinação de calcário e silício, sugerindo um papel estrutural desse elemento.

A ausência de resposta em CF neste estudo pode ser explicada pela natureza da aplicação da NS, que, ao contrário da fertigação ou de aplicações foliares diretas, depende da solubilização gradual no solo para liberar seus componentes (K_2O e SiO_2). Esse processo, influenciado pela umidade e pela interação com a microbiota do solo, pode não ter alcançado níveis suficientes para impactar o crescimento foliar no intervalo de 126 dias por corte. Além disso, a BRS Capiaçu, uma cultivar selecionada por sua alta produção de biomassa e adaptação a sistemas de corte, pode direcionar os nutrientes disponíveis prioritariamente para outras características, como o comprimento do colmo ou o peso fresco total, em vez de investir na expansão das folhas. Essa hipótese encontra respaldo em Rosa et al. (2019), que destacam o elevado potencial de biomassa dessa cultivar, mas não mencionam alterações significativas no comprimento foliar como traço distintivo. Assim, a falta de efeito em CF não indica necessariamente uma limitação da NS, mas reflete uma possível especificidade da planta e do manejo experimental, sugerindo que o silício e o potássio podem atuar de forma mais pronunciada em outras variáveis morfológicas ou produtivas. Entretanto, ao se comparar o

efeito dentro dos níveis de NS (Figura 3), há uma dose ideal de aplicação, sendo necessário determinar o nível adequado para otimizar o crescimento das folhas, evitando tanto a super ou subnutrição do solo.

O diâmetro do colmo (DC), outra variável morfológica associada à robustez e à capacidade de suporte da planta, também não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos com NS, o controle e o KCl em ambos os cortes. No 1º corte, os valores de DC foram uniformes, sem variações relevantes mesmo nas doses mais altas de NS, como 10 ton/ha, que forneceram 1,89 kg de K_2O e 12,3 kg de SiO_2 por 25 m². No 2º corte, a tendência se repetiu, com os tratamentos mantendo diâmetros próximos ao controle, sugerindo que a NS não influenciou essa característica em curto prazo. Esse resultado diverge de estudos como Santos et al. (2020), que observaram incrementos no diâmetro do colmo da cultivar Cameroon com gesso agrícola. Neste caso, gesso agrícola possui maior solubilidade e disponibilidade imediata, promovendo expansão celular e engrossamento do colmo em períodos relativamente curtos.

A ausência de efeito da NS no DC pode ser atribuída à sua natureza de liberação lenta, conforme destacado por França et al. (2019), que estimaram uma eficiência de extração de potássio de apenas 5% em ensaios de lixiviação. Esse perfil contrasta com o KCl, que fornece potássio rapidamente assimilável, mas ainda assim não resultou em ganhos em DC neste estudo, possivelmente devido à dose única aplicada (280 kg/ha) de uma só vez ou às condições do solo previamente corrigido. Além disso, o silício da NS, conhecido por fortalecer a estrutura celular (Cassel et al., 2021), pode não ter se acumulado em níveis suficientes para alterar o diâmetro em 126 dias, especialmente no 2º corte, onde a irrigação por gotejamento limitou a solubilização em um período seco. Comparado a Melo et al. (2023), que observaram efeitos estruturais com nanosilica em *Megathyrsus maximus*, a forma mineral da NS (SiO_2) pode exigir maior tempo ou umidade para expressar benefícios semelhantes, sugerindo que o DC da BRS Capiaçu é menos responsivo a remineralizadores em ciclos curtos.

No entanto, é visto que em períodos críticos a interação entre os níveis de NS tende apresentar alterações, pois à medida que esses níveis aumentam, o diâmetro do colmo tende a mostrar incremento, sugerindo um efeito benéfico na estruturação da forrageira.

A quantidade de perfilhos (NP) revelou-se uma das variáveis mais sensíveis à aplicação da NS, com resultados expressivos no 1º corte. A dose de 2 ton/ha alcançou 108.906 un/ha, um incremento de 32,26% em relação ao controle (82.344 un/ha), destacando-se como o tratamento mais eficaz para essa característica. Esse ganho é consistente com a literatura que associa o silício ao aumento do *tillering* em gramíneas forrageiras. Buchelt et al. (2021) reportaram maior

número de perfilhos em *Panicum maximum* e *Brachiaria* com silício via fertigação, atribuindo o efeito à melhoria na eficiência nutricional e na divisão celular. Da mesma forma, Melo et al. (2023) observaram incrementos significativos em *Megathyrsus maximus* com nanosilica, especialmente sob estresse de fósforo, sugerindo que o Si da NS (2,5 kg SiO_2/25 m² em 2 ton/ha) pode ter estimulado a formação de novos perfilhos ao fortalecer a estrutura celular basal.

No 2º corte, os efeitos foram menos pronunciados, com valores de NP inferiores ao 1º corte, mas ainda superiores ao controle em doses como 4 e 6 ton/ha. Essa redução reflete a influência das condições climáticas, com a umidade do período chuvoso potencializando a liberação de nutrientes da NS, enquanto a seca moderada do 2º corte, mesmo com irrigação, limitou esse processo. Comparado a Emerenciano Neto et al. (2019), que registraram alta produção de perfilhos em clones de capim-elefante, a NS demonstrou eficácia em doses moderadas, mas a queda em 10 ton/ha (associada a PFT de 46,11 ton/ha) sugere um efeito de saturação ou competição nutricional, não observado com fertilizantes solúveis como o KCl. Assim, a NS parece otimizar a quantidade de perfilhos em condições favoráveis, reforçando seu potencial como alternativa sustentável em sistemas de pastagem.

O número de folhas (NF) também respondeu positivamente à NS, especialmente no 1º corte, onde a dose de 2 ton/ha alcançou 1.900.393,75 un/ha, um aumento de 47,39% sobre o tratamento controle. Esse resultado é notável, pois indica que a NS, mesmo em doses baixas (2,5 kg SiO_2 e 0,38 kg K_2O/25 m²), pode estimular significativamente a produção foliar, uma característica essencial para a produtividade de forrageiras destinadas à silagem ou pastejo. Esse achado alinha-se com Sávio et al. (2011), que observaram maior produção de folhas em *Panicum maximum* com aplicações foliares de silício, atribuindo o efeito à melhoria na eficiência fotossintética e na expansão celular. Da mesma forma, Buchelt et al. (2021) reportaram incrementos em NF com silício via fertigação, sugerindo que o Si da NS pode ter desempenhado um papel semelhante, potencializado pela umidade do período chuvoso.

No 2º corte, os ganhos em NF foram menos evidentes, com valores reduzidos em comparação ao 1º corte, mas ainda superiores ao controle em doses intermediárias (4 e 6 ton/ha). Essa diferença sazonal reforça a dependência da NS da umidade para liberar seus nutrientes, como apontado por Silveira et al. (2016), que destacam a liberação lenta como uma característica dos remineralizadores. Comparado a Brennecke et al. (2017), que não detectaram efeitos consistentes em NF com silício em *Urochloa brizantha*, os resultados deste estudo sugerem que a BRS Capiaçu é mais responsiva ao Si em condições úmidas, possivelmente devido à sua adaptação para sistemas de corte intensivo (Rosa et al., 2019). A ausência de resposta em doses altas (10 ton/ha) indica, novamente, um limite de eficiência, possivelmente

ligado à saturação de SiO_2 no solo. Além disso, em períodos com disposição hídrica, a NS tende a possuir efeito entre os níveis, mostrando-se ter uma dose ideal de aplicação, o que se torna necessário verificar tal ponto ótimo para evitar a saturação de nutrientes no solo, o que evita desperdícios e baixa produção.

O peso fresco da folha (PFF) apresentou ganhos substanciais com a aplicação da NS, especialmente no 1º corte, onde a dose de 4 ton/ha alcançou 27,12 ton/ha, um incremento expressivo de 107,98% em relação ao controle (13,04 ton/ha). Esse resultado destaca o potencial da NS para aumentar a biomassa foliar, um componente crítico para a qualidade da forragem em sistemas pecuários. No 2º corte, os valores de PFF foram menores, refletindo as condições de seca, mas doses como 4 e 6 ton/ha ainda superaram o controle, com ganhos de até 46,61% em variáveis associadas como a PFT. Esses achados convergem com Silva et al. (2023), que registraram maior massa foliar em sorgo forrageiro com silício combinado à matéria orgânica, atribuindo o efeito à maior absorção de nutrientes como potássio e fósforo.

Comparado a Monção et al. (2019), que reportaram alta produção de matéria seca em capim-elefante aos 150 dias, os ganhos em PFF com NS em 126 dias sugerem uma resposta rápida em doses intermediárias, possivelmente impulsionada pela sinergia entre K_2O (0,76 kg/25 m² em 4 ton/ha) e SiO_2 (7,4 kg/25 m²). No entanto, a dose de 10 ton/ha não manteve essa tendência, com PFT associado de 46,11 ton/ha, indicando que doses excessivas podem comprometer a eficiência da NS. Esse padrão diverge de Véras et al. (2024), que observaram respostas lineares ao potássio em *Panicum maximum*, sugerindo que a liberação gradual da NS impõe um limite funcional diferente dos fertilizantes solúveis, mas ainda assim vantajoso em sistemas tropicais. No entanto, em relação a interação entre os níveis, em períodos chuvosos, há um nível de aplicação ótimo sendo necessário a sua investigação.

O peso fresco do colmo (PFC) não apresentou influência pelas doses em relação ao controle e ao KCl em ambos os períodos, o que é uma divergência para a literatura pois assim como demonstrado pela folha, o Si por mitigar estresses hídricos (Mastalerczuk et al., 2022) poderia contribuir para o incremento de massa do colmo em ambas as condições. Entretanto, em períodos de disponibilidade hídrica, pode haver uma dose ideal dentre os níveis de NS, o que é importante para maximizar o incremento de massa no colmo, mas também, evitar insuficiência quanto o excesso de nutrientes

O peso fresco total (PFT), que integra folhas, colmos e outras partes da planta, foi a variável produtiva mais impactada pela NS, destacando seu potencial como remineralizador. No 1º corte, a dose de 6 ton/ha alcançou 60,23 ton/ha, um aumento de 30,31% sobre o controle (46,22 ton/ha) e superior ao KCl (49,33 ton/ha), demonstrando a eficácia da NS em condições

úmidas. No 2º corte, NS 6 ton/ha manteve a liderança com 19,91 ton/ha, 46,61% acima do controle (13,58 ton/ha), embora os valores absolutos tenham sido inferiores ao 1º corte devido à seca. Esses resultados alinham-se com Rosa et al. (2019), que enfatizam o elevado potencial de biomassa da BRS Capiaçu, e desafiam a percepção de baixa eficiência da NS devido à sua solubilidade limitada (França et al., 2019), sugerindo que a liberação gradual é vantajosa para culturas perenes.

Comparado a Spido (2019), que observou aumento na produção de soja com NS (10 Mg/ha), os ganhos em PFT indicam que doses menores (6 ton/ha) são suficientes para forrageiras, enquanto doses similares à 10 ton/ha (46,11 ton/ha no 1º corte) pode promover uma queda, estando em consonância à Valicheski et al. (2024), que notaram redução de K^+ em doses altas de NS. A superioridade da NS sobre o KCl em doses intermediárias reforça seu valor econômico e ambiental, especialmente em solos tropicais intemperizados, como destacado por Silveira et al. (2016). A resiliência no 2º corte corrobora Mastalerczuk et al. (2022), sugerindo que o silício sustenta a produção sob estresse hídrico, embora a irrigação tenha atenuado esse efeito. Além disso, destaca-se a importância de identificar o nível ideal de NS para maximizar o peso fresco total, evitando tanto a insuficiência quanto o excesso de nutrientes, em ambos os períodos de desenvolvimento.

Os efeitos observados nas variáveis morfológicas e produtivas são amplamente atribuíveis à composição química da NS, que combina potássio (K_2O) e silício (SiO_2) em uma matriz de liberação gradual. O potássio, conhecido por seu papel no metabolismo vegetal e no acúmulo de carboidratos (Martuscello et al., 2016), provavelmente impulsionou os ganhos em CC e PFT, fornecendo suporte nutricional para o crescimento longitudinal e a biomassa. Em doses como 6 ton/ha (1,14 kg K_2O/25 m²), o K_2O da NS superou o KCl em PFT (60,23 vs. 49,33 ton/ha no 1º corte), sugerindo que a liberação contínua pode ser mais eficiente em culturas de ciclo prolongado como a BRS Capiaçu, ao contrário de culturas anuais que demandam picos de nutrientes (Freire et al., 2023).

O silício, por outro lado, desempenha funções estruturais e de mitigação de estresse, como apontado por Mastalerczuk et al. (2022), que observaram maior massa radicular e eficiência hídrica em gramíneas tratadas com Si sob seca. Em doses intermediárias (9,8 kg SiO_2/25 m² em 6 ton/ha), o Si da NS pode ter fortalecido os colmos e perfilhos, além de sustentar a produção no 2º corte, corroborando Barros (2018) sobre a rigidez celular.

Em relação ao valor nutritivo, os resultados da pesquisa indicaram que a aplicação de NS em doses de 6 ton/ha no período chuvoso elevou a matéria seca (MS) da folha da BRS Capiaçu a 33,86%, representando um incremento de 15,62% em relação ao tratamento controle.

Esse aumento demonstra o potencial da NS em melhorar a produtividade foliar, um parâmetro crítico para forrageiras destinadas à alimentação animal, já que as folhas são a fração mais nutritiva da planta. No entanto, no período seco, embora a MS da folha tenha apresentado ganhos com a dose de 8 ton/ha, esses incrementos foram menos pronunciados, sugerindo que a eficácia da NS está condicionada à disponibilidade de água no solo e à limitação da própria planta devido a carência de condições climáticas.

Essa tendência é consistente com a literatura sobre o uso de silício em gramíneas forrageiras. Buchelt et al. (2021) observaram que a fertigação com Si (2,7-2,8 mmol L^{-1}) aumentou significativamente a MS das folhas em cultivares como BRS Zuri e BRS RB331 Ipyporã, atribuindo esse efeito à maior absorção de Si e à eficiência no uso de nitrogênio. Da mesma forma, Sávio et al. (2011) reportaram incrementos na MS foliar de *Panicum maximum* com aplicações foliares de Si, especialmente nos segundo e terceiro cortes, indicando que o Si pode estimular o crescimento vegetativo em condições favoráveis. Na presente pesquisa, o potássio e o silício liberados pela NS provavelmente contribuíram para o aumento observado no período chuvoso, onde a umidade facilitou a solubilização e absorção desses nutrientes. A menor responsividade no período seco, por outro lado, pode ser comparada a Rezende (2018), que não encontrou influência significativa do Si na produtividade foliar de milho em condições de baixa umidade, sugerindo que a forma de aplicação e o contexto ambiental são determinantes.

A MS total da BRS Capiaçu apresentou aumentos expressivos com a aplicação da NS, no período chuvoso, a dose de 6 ton/ha resultou em um incremento de 27,32% em relação ao controle e de 28,14% em relação ao KCl, enquanto no período seco, a dose de 8 ton/ha alcançou 38,50% acima do controle e 35,90% acima do KCl. Um destaque particular foi o incremento de 40,91% na MS total com 8 ton/ha no período seco, evidenciando a capacidade da NS em potencializar a produtividade mesmo sob condições de estresse hídrico. Esses resultados confirmam o papel do K e do Si como promotores do desenvolvimento produtivo do Capiaçu, conforme hipóteses iniciais do estudo.

Esses achados convergem com diversos estudos na literatura. Silva et al. (2023) registraram uma MS total de 62,53 t ha^{-1} em sorgo submetido a Si combinado com matéria orgânica e *Trichoderma*, atribuindo os ganhos à ação sinérgica do Si na nutrição vegetal. Da mesma forma, Véras et al. (2024) observaram aumento na biomassa total de *Panicum maximum* com adubação potássica, corroborando o efeito do K presente na NS. No contexto de estresse hídrico, Rocha et al. (2022) reportaram que o Si melhorou a eficiência no uso da água e a MS total em *Panicum maximum* sob seca, um resultado que se alinha ao desempenho da NS no

período seco. Contudo, doses mais altas de NS (10 ton/ha) reduziram os teores de MS, divergindo de Rezende (2018), que não encontrou sinais de saturação com Si em milho, sugerindo que a resposta à NS pode ser específica da BRS Capiaçu ou limitada por fatores como solubilidade ou toxidez em doses elevadas.

A matéria mineral (MM) da folha apresentou um desempenho inferior da NS em relação ao KCl, que alcançou 6,91% no período chuvoso, enquanto os tratamentos com NS mantiveram teores menores e estatisticamente estáveis ($P > 0,05$). No período seco, a NS também não influenciou significativamente a MM foliar, indicando uma limitação em sua capacidade de fornecer minerais biodisponíveis em curto prazo, especialmente sob condições de baixa umidade.

Essa tendência diverge de Silva et al. (2023), que observaram aumento nos teores de K^+, P, Ca^{2+} e Mg^{2+} nas folhas de sorgo com Si combinado a outros insumos, sugerindo que a combinação de fontes pode potencializar a mineralização. Jinger et al. (2020) também reportaram maior disponibilidade de nutrientes em folhas de arroz com Si e fósforo, indicando que o Si, quando associado a outros elementos, pode melhorar a MM. A baixa solubilidade da NS, aplicada como pó de rocha, pode explicar essa diferença, como apontado por Simioni et al. (2014), que discutem a translocação lenta de nutrientes em gramíneas tropicais sob condições de baixa biodisponibilidade. Assim, enquanto o KCl, por sua alta solubilidade, eleva a MM rapidamente, a NS atua de forma mais gradual, priorizando outros aspectos como a produtividade.

As dosagens de NS não proporciona incremento de MM no colmo, sendo que o esperado, por se tratar de um pó de rocha rico em minerais, seria de que este deveria ser um dos principais parâmetros a ser influenciados. Por exemplo, Hao et al. (2020) indicam que o Si pode influenciar a estequiometria de nutrientes em gramíneas, aumentando a MM em diferentes partes da planta. A ausência desse efeito na pesquisa pode ser atribuída à forma de aplicação da NS, que, diferentemente de fontes solúveis ou combinadas, não proporciona uma liberação imediata de minerais suficientes para alterar os teores no colmo.

A MM total da BRS Capiaçu permaneceu estatisticamente inalterada com a aplicação da NS ($P > 0,05$), enquanto o KCl destacou-se no período chuvoso com teores superiores. Além disso, doses mais altas de NS (10 ton/ha) reduziram os teores de MM, um efeito oposto ao esperado para um remineralizador de solo e que contrasta com a hipótese de substituição total de fertilizantes convencionais. Esse resultado evidencia que a NS prioriza a produtividade sobre a mineralização direta, um padrão que se repete em ambos os períodos.

Essa observação diverge de estudos como o de Silva et al. (2023), que reportaram aumento na MM total com Si combinado a matéria orgânica, e de Jinger et al. (2020), que associaram o Si a maior disponibilidade de nutrientes em arroz. Hao et al. (2020) também sugerem que o Si pode alterar a composição mineral de gramíneas, mas esse efeito não foi observado aqui, possivelmente devido à ausência de combinações sinérgicas na aplicação da NS. Por outro lado, o desempenho do KCl é consistente com Martuscello et al. (2016), que relataram aumento na MM com fertilizantes solúveis, destacando a vantagem da alta biodisponibilidade imediata sobre a liberação gradual da NS.

O acúmulo de forragem (AF) da BRS Capiaçu no período seco e chuvoso mostra-se vigorosamente determinado pelas doses de NS. Esse incremento destaca a capacidade da NS em potencializar a produção de biomassa disponível para alimentação animal, um indicador essencial para sistemas de pecuária baseados em forrageiras de corte.

Esse resultado encontra eco na literatura. Buchelt et al. (2021) reportaram maior acúmulo de forragem em BRS Zuri e Ipyporã com fertigação de Si, atribuindo os ganhos à melhoria na eficiência nutricional da planta. Silva et al. (2023) também observaram incrementos significativos no acúmulo de forragem em sorgo com Si combinado, alcançando rendimentos expressivos em condições favoráveis. Além disso, Monção et al. (2019) descreveram ganhos no acúmulo de forragem em capim-elefante com manejo adequado e adubação, sugerindo que a NS, ao fornecer K e Si, segue um padrão semelhante em ciclos sazonais curtos. A superioridade da NS sobre o KCl no período chuvoso reforça sua viabilidade como alternativa sustentável, especialmente em condições onde a umidade facilita a liberação de nutrientes.

O acúmulo de matéria seca (AMS) foi significativamente elevado com a dose de 8 ton/ha no período seco, alcançando 3,1 g/kg, um resultado que reflete os ganhos observados na MS total sob condições de estresse hídrico. Esse incremento demonstra que a NS pode otimizar a produção de biomassa mesmo em ambientes adversos, um aspecto crucial para regiões tropicais sujeitas a períodos de seca prolongados. No período chuvoso, o AMS também foi favorecido, alinhando-se aos incrementos gerais da MS e do acúmulo de forragem.

Esse desempenho é corroborado por Rocha et al. (2022), que indicaram que o Si melhora a eficiência no uso da água e o AMS em *Panicum maximum* sob seca, sugerindo que o Si presente na NS desempenha um papel semelhante na BRS Capiaçu. Mastalerczuk et al. (2022) também observaram aumento no AMS de gramíneas perenes com Si em condições de déficit hídrico, reforçando a resiliência promovida por esse elemento. No entanto, os valores absolutos de AMS na presente pesquisa são inferiores aos reportados por Leal et al. (2020), que alcançaram maiores acumulações com irrigação em capim-elefante, indicando que a NS reduz

a dependência hídrica, mas não elimina completamente a necessidade de umidade para maximizar os ganhos.

A relação folha/colmo (R F:C) da BRS Capiaçu permaneceu estável em todos os tratamentos com NS ($P > 0,05$), independentemente da dose ou do período sazonal, contrariando a hipótese inicial de que o Si da NS promoveria espessamento da parede celular e alterações morfológicas significativas. Esse resultado sugere que os efeitos da NS concentram-se predominantemente na produtividade (MS e forragem), e não na estrutura física da planta, um padrão que diverge de algumas evidências na literatura.

Por exemplo, Melo et al. (2023) reportaram melhora na relação massa folha:caule em *Megathyrsus maximus* com nanosílica, indicando que fontes de Si mais biodisponíveis podem alterar a morfologia de gramíneas. Buchelt et al. (2021) também observaram aumento no número de tillers e área foliar em BRS Zuri com Si via fertigação, sugerindo um impacto estrutural. Além disso, Emerenciano Neto et al. (2019) descreveram variações na R F:C entre clones de capim-elefante com diferentes manejos, contrastando com a estabilidade observada aqui. A ausência de alterações na presente pesquisa pode ser explicada pela baixa solubilidade da NS, aplicada como pó de rocha, que não alcança a biodisponibilidade imediata de fontes como nanosílica ou Si líquido, conforme discutido por Katz et al. (2021) sobre a variabilidade dos efeitos do Si no quesito solo-planta.

As diferenças entre os resultados da pesquisa e a literatura refletem uma combinação de fatores metodológicos, contextuais e amostrais que modulam a eficácia da NS. Do ponto de vista metodológico, a aplicação basal da NS, com doses variando de 6 a 10 ton/ha, caracteriza-se por uma liberação lenta de K e Si, contrastando com técnicas de fertirrigação (Buchelt et al., 2021) ou aplicação foliar (Sávio et al., 2011), que oferecem maior biodisponibilidade imediata. Essa característica explica a resposta limitada da NS em condições de seca, onde a solubilidade reduzida pode ter restringido a absorção de nutrientes, e a ausência de alterações na R F:C, que demandariam maior disponibilidade de Si para influenciar a estrutura celular.

Contextualmente, o estudo foi conduzido em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, típico dos trópicos brasileiros, com baixa capacidade de retenção de água e nutrientes. Esse ambiente favoreceu a ação remineralizante da NS no período chuvoso, quando a umidade facilitou a liberação de K e Si, mas amplificou o estresse hídrico no período seco, diferindo de experimentos em solos irrigados ou corrigidos (Silva et al., 2023). A sazonalidade pronunciada, com períodos chuvosos e secos bem definidos, também influenciou os resultados, destacando a adaptação da NS a condições úmidas, mas limitando seu desempenho em seca em comparação com estudos que utilizam irrigação (Leal et al., 2020).

Amostralmente, a escolha da BRS Capiaçu como objeto de estudo trouxe especificidades que afetaram os resultados. Essa cultivar, adaptada ao semiárido e caracterizada por alta produtividade de biomassa (Moura et al., 2024), respondeu bem à NS em termos de MS e forragem, mas demonstrou plasticidade morfológica limitada, contrastando com espécies mais responsivas ao Si, como *Panicum maximum* (Rocha et al., 2022) ou *Megathyrsus maximus* (Melo et al., 2023). A ausência de análises estruturais detalhadas, como teores de fibra em detergente neutro (FDN) ou lignina, pode ter mascarado efeitos sutis do Si na parede celular, restringindo a detecção de alterações morfológicas que outros estudos identificaram com técnicas mais específicas.

5. CONCLUSÃO

No período chuvoso, níveis de 4 a 6 ton/ha de NS promoveram incrementos expressivos no comprimento do colmo (até 15,65%), quantidade de perfilhos (32,26%), número de folhas (47,39%), peso fresco total (30,31%) e matéria seca total (27,32%) em relação ao controle, superando, em alguns casos, o fertilizante solúvel KCl. No período seco, a dose de 8 ton/ha destacou-se, elevando a matéria seca total em 38,50%, evidenciando resiliência sob estresse hídrico. Contudo, variáveis como altura da planta, diâmetro do colmo e relação folha/colmo não apresentaram diferenças significativas, e níveis elevados (10 ton/ha) mostraram redução de eficiência, sugerindo um limite funcional da NS. Praticamente, recomenda-se a aplicação de 6 ton/ha de NS em períodos chuvosos para maximizar a produção de forragem e matéria seca, ajustando-se para 8 ton/ha em condições de seca com irrigação suplementar.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, V. R. P. **Trocas Gasosas E Crescimento Vegetativo De Gramíneas Forrageiras Em Deficiência Hídrica Com Aplicação De Silício**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

Buchelt, A. C., de Mello Prado, R., Caione, G., de Almeida Carneiro, M., & Litter, F. A. (2021). Effects of silicon fertigation on dry matter production and crude protein contents of a pasture. **Journal of Soil Science and Plant Nutritio**n, 21, 3402-3413.

Brennecke, K., Sossai, V. M., Simões, T. R., & Ferraz, F. M. (2015). Fibras em Brachiaria urochloa cv. Marandu adubadas com fontes orgânica e inorgânica de silício. **Revista Agrogeoambiental**, *8*(2). https://doi.org/10.18406/2316-1817v8n22016823

Brennecke, K., Simões, T. R., & Ferraz, F. M. (2017). Características morfológicas de Urochloa brizantha cv. Marandu adubadas com silício na aplicação do calcário. **Revista Agrogeoambiental**, *9*(1). https://doi.org/10.18406/2316-1817v9n12017938

Buchelt, A.C., de Mello Prado, R., Caione, G. *et al.* Effects of silicon fertigation on dry matter production and crude protein contents of a pasture. **J Soil Sci Plant Nutr 21**, 3402–3413 (2021). https://doi.org/10.1007/s42729-021-00615-9

Cassel, J. L., Gysi, T., Rother, G. M., Pimenta, B. D., Ludwig, R. L., & Santos, D. B. dos. (2021). Benefícios da aplicação de silício em plantas / Benefits of the application of silicon in plants. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, *4*(4), 6601–6615. https://doi.org/10.34188/bjaerv4n4-140.

Daher, R. F., Rodrigues, E. V., de Araújo, M. D. S. B., Pinheiro, L. S., do Amaral Gravina, G., da Silva Lédo, F. J., & Vander Pereira, A. (2017). Variação sazonal na produção de forragem de clones intra e interespecíficos de capim-elefante. **Agrarian**, *10*(38), 294-303.

DETMANN, E. Costa e Silva LF, Rocha GC, Palma MNN, Rodrigues JPP. **Métodos para análise de alimentos-INCT-Ciência Animal. Visconde do Rio Branco: Suprema**, 2021.

França, S. C. A., Trampus, B. C., Braga, P. F. A., & Mokarzel, D. (2019). Avaliação de extração de potássio de nefelina sienito para uso como remineralizador de solos. **XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**. Belo Horizonte-MG.

Freire, Y. B. D., Fonseca, I. S., Santos, R. A., Valicheski, R. R., De Oliveira, S. S. C., & Stürmer, S. L. K. (2023). Uso do pó de rocha nefelina-sienito como fonte alternativa de potássio no cultivo da soja. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, 16(4), 1-19.

Emerenciano Neto, J. V., Bezerra, M. G. da S., França, A. F. de ., Aguiar, E. M. de ., & Difante, G. dos S.. (2019). CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E PRODUTIVAS EM HÍBRIDOS INTRAESPECÍFICOS E INTERESPECÍFICOS DE CAPIM-ELEFANTE. **Ciência Animal Brasileira**, *20*, e–46788. https://doi.org/10.1590/1809-6891v20e-46788

Hao Q, Yang S, Song Z, Li Z, Ding F, Yu C, Hu G and Liu H (2020) Silicon Affects Plant Stoichiometry and Accumulation of C, N, and P in Grasslands. **Front. Plant Sci.** 11:1304. doi: 10.3389/fpls.2020.01304

Jinger, D., Dhar, S., Dass, A., Sharma, V. K., Shukla, L., Parihar, M., … Jatav, H. S. (2020). Crop Productivity, Grain Quality, Water Use Efficiency, and Soil Enzyme Activity as Influenced by Silicon and Phosphorus Application in Aerobic Rice (*Oryza sativa*). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, *51*(16), 2147–2162. https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1812629

Katz, O., Puppe, D., Kaczorek, D., Prakash, N. B., & Schaller, J. (2021). Silicon in the soil–plant continuum: Intricate feedback mechanisms within ecosystems. **Plants**, *10*(4), 652.

LEAL, V. N. .; MACHADO, R. L. .; ARAUJO, L. C. de .; GODOY, M. M. de .; LINHARES, A. J. de S. .; FERREIRA, J. C. Q. .; LEOPOLDINO, L. de D. .; SANTOS, E. A. dos .; MIYAGI, E. S. . Forage production and nutritive value of elephantgrass cultivars in different regrowth periods. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e41391110025, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i11.10025.

Martuscello, J. A., Majerowicz, N., Da Cunha, D. N. F. V., De Amorim, P. L., & Braz, T. G. S. (2016). Características produtivas e fisiológicas de capim-elefante submetido à adubação nitrogenada. **Archivos de zootecnia**, *65*(252), 565-570.

Mastalerczuk, G., Borawska-Jarmułowicz, B., & Darkalt, A. (2022). Changes in the physiological and morphometric characteristics and biomass distribution of forage grasses growing under conditions of drought and silicon application. **Plants**, *12*(1), 16.

Melo, C. C. F., Amaral, D. S., de Moura Zanine, A., de Jesus Ferreira, D., de Mello Prado, R., & de Cássia Piccolo, M. (2023). Nanosilica enhances morphogenic and chemical parameters of M egathyrsus maximus grass under conditions of phosphorus deficiency and excess stress in different soils. **BMC Plant Biology**, *23*(1), 497.

Monção, F. P., Costa, M. A. M. S., Sampaio, J. P., Gomes, M., Leal, D. B., Maranhão, C. M. A., ... & Chamone, J. M. A. (2019). Produtividade e valor nutricional do Capim-Elefante cv. BRS Capiaçu em diferentes idades de rebrota. **Semina***: Ciências Agrárias, Londrina*, *40*(5), 2045-2056.

Moura, M. M. A., Alves, W. S., Rigueira, J. P. S., Mizobutsi, E. H., Monção, F. P., Fernandes, M. B., ... & Araujo, I. V. S. (2024). Estrategias de manejo para a cultivar BRS capiaçu: uma revisão de literatura. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, *7*(2), e69353-e69353.

REZENDE, C. P. **Silício na produtividade de milho e trigo em solos tropicais**. 2018. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

Rocha, J. R., de Mello Prado, R., & de Cássia Piccolo, M. (2022). New outcomes on how silicon enables the cultivation of Panicum maximum in soil with water restriction. **Scientific Reports**, *12*(1), 1897.

Rosa, P. P., da Silva, P. M., Chesini, R. G., de Oliveira, A. P. T., Sedrez, P. A., Faria, M. R., ... & Ferreira, O. G. L. (2019). Características do Capim Elefante Pennisetum purpureum (Schumach) e suas novas cultivares BRS Kurumi e BRS Capiaçu. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, *25*(1/2), 70-84.

Santos, R. L., Freire, F. J., da Rocha, A. T., de Medeiros, M. R. F. A., da Silva, S. A. M., Tavares, J. A., ... & da Costa-Santos, M. B. (2020). Desenvolvimento de variedades de capim-elefante sob a influência do gesso agrícola mineral no Polo Gesseiro do Araripe. **Research, Society and Development**, *9*(11), e4749119994-e4749119994.

Sávio, F. L., da Silva, G. C., Teixeira, I. R., & Borém, A. (2011). Produção de biomassa e conteúdo de silício em gramíneas forrageiras sob diferentes fontes de silicato. **Semina: Ciências Agrárias**, *32*(1), 103-110.

Silva, J. O. N. D., Pessoa, L. G. M., Silva, E. M. D., Silva, L. R. D., Freire, M. B. G. D. S., Souza, E. S. D., ... & Alencar, E. L. D. N. (2023). Effects of silicon alone and combined with organic matter and Trichoderma harzianum on sorghum yield, ions accumulation and soil properties under saline irrigation. **Agriculture**, *13*(11), 2146.

Silveira, C. A. P.; Bamberg, A. L.; Martinazzo, R.; Pillon, C. N.; Martins, E. S.; Piana, C. F. B. (2016) Protocolo para avaliação da eficiência agronômica de remineralizadores de solos. **III Congresso Brasileiro de Rochagem.**

Simioni, T. A., Hoffmann, A., Gomes, F. J., Mousquer, C. J., Teixeira, U. H. G., Fernandes, G. A., ... & de Paula, D. C. (2014). Senescência, remoção, translocação de nutrientes e valor nutritivo em gramíneas tropicais. **Pubvet**, *8*, 1551-1697.

SPIDO, Diou Roger Ramos. **Avaliação do potencial agronômico dos pós de rocha diabásio e nefelina-sienito como remineralizadores de solo**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2019.

Véras, E. L. D. L., Difante, G. D. S., Araújo, A. R. D., Montagner, D. B., Monteiro, G. O. D. A., Araújo, C. M. C., ... & Santana, J. C. S. (2024). Potassium Fertilization Alters the Morphogenetic, Structural, and Productive Characteristics of Panicum maximum Cultivars. **Grasses**, *3*(4), 287-296.

CAPÍTULO II

CORRELAÇÃO ENTRE COMPONENTES FIBROSOS, ANATÔMICOS E DE DEGRADAÇÃO DE FORRAGEIRA SOB APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA DE NEFELINA SIENITO

Resumo:

A qualidade das forrageiras, como o capim-elefante (*Pennisetum purpureum*), é essencial para a produtividade pecuária em solos tropicais intemperizados, onde a baixa fertilidade limita o desempenho. O uso de pó de rocha de Nefelina Sienito (NS), fonte de silício (Si) e potássio (K), surge como alternativa sustentável aos fertilizantes tradicionais. Apesar de estudos indicarem que o Si pode melhorar a estrutura e a digestibilidade das plantas, a correlação entre componentes fibrosos, anatômicos e a degradabilidade ruminal sob aplicação de NS em forrageiras tropicais ainda é pouco explorada. Este estudo investigou os efeitos de níveis crescentes de NS na anatomia, composição fibrosa e degradabilidade do capim-elefante cv. BRS Capiaçu. Em delineamento de blocos casualizados, aplicaram-se doses de 0, 4 e 8 t/ha de NS em 12 parcelas, avaliando-se fibra (FDN, FDA, lignina) foliar, anatomia foliar e degradabilidade *in situ* da MS foliar, com análises estatísticas via R Studio. A NS reduziu significativamente FDN (-1,000; $p<0,05$), FDA (-0,999; $p<0,05$) e fibras laterais (-1,000; $p<0,001$), enquanto aumentou a espessura da epiderme adaxial (1,000; $p<0,05$) e a fração solúvel (0,998; $p<0,05$), melhorando a degradabilidade efetiva a 2% (1,000; $p<0,001$). A aplicação de NS aprimora a qualidade nutricional da forrageira ao substituir lignina por Si, oferecendo uma estratégia sustentável para a pecuária tropical, com potencial para reduzir custos e impactos ambientais.

Palavras-chave: Nefelina Sienito, Silício, Correlação, Componentes Fibrosos.

CHAPTER II

CORRELATION BETWEEN FIBROUS, ANATOMICAL AND DEGRADATION COMPONENTS OF FORAGE UNDER APPLICATION OF NEPHELINE SYENITE ROCK POWDER

Abstract:

The quality of forages, such as elephant grass (Pennisetum purpureum), is essential for the productivity of tropical weathered soils, where low fertility limits performance. The use of nepheline syenite (NS) rock powder, a source of silicon (Si) and potassium (K), emerges as a sustainable alternative to traditional fertilizers. Although studies indicate that Si can improve plant structure and digestibility, the relationship between fibrous and anatomical components and ruminal degradability under NS application in tropical forages is still little explored. This study investigated the effects of increasing levels of NS on the anatomy, fibrous composition and degradability of elephant grass cv. BRS Capiaçu. In a randomized block design, doses of 0, 4 and 8 t/ha of NS were applied in 12 plots, evaluating leaf fiber (NDF, ADF, lignin), leaf anatomy and *in situ* degradability of leaf DM, with statistical analyses via R Studio. Energy efficiency significantly increased NDF (-1.000; $p<0.05$), ADF (-0.999; $p<0.05$) and lateral fibers (-1.000; $p<0.001$), while increasing the thickness of the adaxial epidermis (1.000; $p<0.05$) and the soluble fraction (0.998; $p<0.05$), improving the effective degradability at 2% (1.000; $p<0.001$). The application of NS improves the nutritional quality of forage by replacing lignin with Si, offering a sustainable strategy for tropical livestock farming, with the potential to reduce costs and environmental impacts.

Keywords: Nepheline Syenite, Silicon, Correlation, Fibrous Components.

1. INTRODUÇÃO

A significativa produção dos diferentes tipos de sistemas pecuários pode ser atribuída a qualidade de suas forrageiras, especialmente em regiões caracterizadas por solos intemperizados e a carência de fertilidade, como os solos brasileiros.

Nesse contexto, o uso de fontes alternativas de nutrientes, como o pó de rocha, tem emergido como uma estratégia promissora para melhorar a produtividade e a qualidade de culturas forrageiras, como o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), amplamente utilizado na alimentação de ruminantes. Estudos recentes têm destacado o potencial do silício, presente no pó de rocha de NS, em promover alterações morfoanatômicas e químicas nas plantas, com reflexos diretos na digestibilidade e na eficiência alimentar (Singh et al., 2023). Contudo, a compreensão detalhada da correlação entre os componentes fibrosos, anatômicos e a degradabilidade da forragem sob diferentes níveis de NS ainda é limitada, o que representa uma lacuna significativa no conhecimento agronômico.

Assim, há a necessidade de elucidar como a aplicação de pós de rocha, como a NS, influencia a estrutura anatômica e a composição química do capim-elefante cv. BRS Capiaçu e, consequentemente, sua degradabilidade ruminal. Alguns autores apontam que teores elevados de lignina, fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) estão associados a menor digestibilidade (Queiroz et al., 2000), enquanto o silício pode atuar como um modulador desses componentes, reduzindo a lignificação e aumentando a fração degradável (Zexer; Elbaum, 2020). No entanto, os mecanismos específicos dessa interação em forrageiras tropicais perenes, como o capim-elefante, permanecem pouco explorados, especialmente em condições experimentais controladas que simulam sistemas de produção reais. Essa incerteza dificulta a adoção ampla de pós de rochas como alternativa aos fertilizantes solúveis tradicionais, como o cloreto de potássio (KCl), em solos tropicais.

Pesquisas neste âmbito são justificadas pela demanda crescente por práticas agrícolas sustentáveis que reduzam a dependência de insumos importados e minimizem impactos ambientais, como a salinização do solo causada por fertilizantes solúveis (Valicheski et al., 2024). Além disso, a pecuária tropical enfrenta desafios relacionados à baixa qualidade nutricional das pastagens, o que compromete o desempenho animal e a produtividade dos sistemas pastoris. A NS, por ser uma fonte de potássio e silício de liberação gradual, apresenta potencial para atender a essas demandas, mas sua eficácia em forrageiras precisa ser validada cientificamente. Estudos anteriores demonstraram que a aplicação de NS em culturas como soja

e sorgo melhora a produtividade e a resistência a estresses (Carvalho et al., 2022; Freire et al., 2023), sugerindo que benefícios semelhantes possam ser observados em forrageiras. Assim, esta pesquisa preenche uma lacuna ao investigar os efeitos da NS em uma cultivar de alta relevância para a pecuária brasileira, a BRS Capiaçu, conhecida por sua produtividade e adaptação às condições tropicais (Leal et al., 2020).

O pressuposto central deste estudo é que a aplicação de níveis crescentes de NS (até 8 toneladas/ha) promove alterações morfoanatômicas no capim-elefante, como o aumento da espessura da lâmina foliar e da epiderme, reduzindo os teores de lignina, FDN e FDA, e, consequentemente, elevando a degradabilidade ruminal da forragem. Esses efeitos podem impactar positivamente a agricultura ao melhorar a qualidade nutricional das pastagens, aumentar a eficiência alimentar de ruminantes e oferecer uma alternativa sustentável aos fertilizantes convencionais. Tal abordagem pode contribuir para a redução de custos de produção, o incremento da produtividade animal e a conservação dos recursos naturais em sistemas agrossilvipastoris (Pereira et al., 2018).

Portanto, o objetivo deste estudo foi investigar se há correlações entre os componentes fibrosos, anatômicos e de degradabilidade do capim-elefante cv. BRS Capiaçu sob a aplicação de diferentes níveis de pó de rocha de Nefelina Sienito.

2. MATERIAIS E MÉTODO

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), *campus* de Vitória da Conquista, situada nas coordenadas 14° 53’ de latitude sul e 40° 48’ de longitude oeste, a 941m de altitude e no Laboratório de Nutrição Animal (LNA) da UESB. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo “Cwb”, mesotérmico úmido e subúmido quente, com inverno seco e precipitação média anual de 741 mm e temperatura média anual de 20ºC.

A Figura 1 mostra a evapotranspiração, temperatura mínima, média e máxima durante o período experimental.

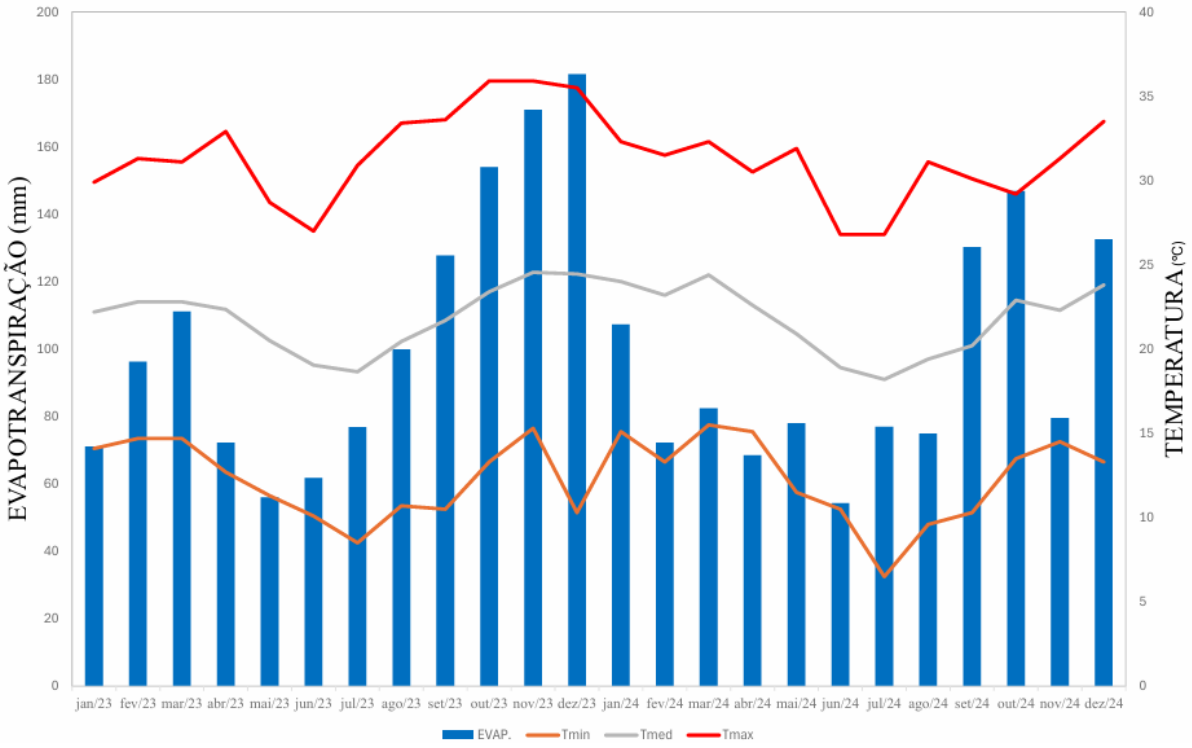

Figura 12 Evapotranspiração (Evap.), temperatura mínima (Tmin), temperatura média (Tmed) e temperatura máxima (Tmax) de janeiro de 2023 e dezembro de 2024.

O estudo foi organizado na forma de delineamento em blocos casualizados (DBC) (4 blocos x 3 tratamentos), totalizando 12 parcelas com dimensionamento de 5x5, ou seja, 25m², sendo utilizado uma cultura forrageira: *Pennisetum purpureum* Schum cultivar BRS Capiaçu. Os níveis do pó de rocha de NS corresponderam em 0, 4 e 8 toneladas ha^{-1}.

2.1. Comissão de Ética no Uso de Animais

Os procedimentos realizados com os animais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA), com o número de protocolo 254/2025.

2.2. Composição Fibrosa

Para a avaliação da composição fibrosa, as amostras foram avaliadas quanto aos parâmetros de: fibra em detergente neutro (FDN) (INCT–CA F-002/2), fibra em detergente ácido (FDA) (INCT–CA F004/2), e lignina (INCT-CA F-005/1), conforme métodos preconizados por Detmann et al. (2021).

2.3. Componentes Anatômicos

Para a avaliação dos componentes anatômicos, foram retiradas a 5ª folha a partir da folha bandeira de 5 plantas ao acaso em cada bloco nos tratamentos de NS. Posteriormente foram retiradas amostras centrais das folhas com o auxílio de uma lâmina de barbear, fixadas em solução de Karnovsky (Karnovsky,1965) contendo glutaraldeído e paraformaldeído, em seguida, lavadas em água destilada e desidratadas até etanol 95% e incluídas em resina glicol-metacrilato (Historesin, Leica), segundo instruções do fabricante. Cortes seriados otimizados para estudos histoquímicos (Leitão, 2018) de 3 μm de espessura foram obtidos com um micrótomo rotativo Leitz 1212 (Ernst Leitz Optical Works, Wetzlar, Germany). Os cortes foram corados com azul de Toluidina pH4,0 (O'Brien et al., 1964; Ribeiro & Leitão, 2020) para caracterização estrutural e inferências histoquímicas. Para análise e documentação fotográfica foi utilizado um microscópio de luz Leica DM750 equipado com sistema de captura de imagem digital Leica ICC50HD (Leica Microsystems, Wetzlar, Alemanha).

2.4. Degradabilidade *in situ*

Para o ensaio de degradabilidade in situ, as amostras das folhas do Capiaçu foram acondicionadas em sacos de tecido não tecido (TNT), obedecendo a relação de 20 mg de matéria seca/cm² de área superficial do saco. Esses sacos foram incubados no rúmen de cada animal

através da cânula ruminal e fixados com uma corda nos seguintes tempos de incubação: 0, 3, 6, 12, 24, 48, e 72 horas. Posteriormente, os sacos foram retirados do rúmen de forma simultânea e lavados uniformemente. Após a lavagem, todos os sacos foram secos em estufa de ar forçado, a 55°C por 72 horas, e pesados para determinação do desaparecimento da matéria seca (MS). Foram calculadas as taxas de degradação da MS utilizando a equação proposta por Ørskov & McDonald (1979): Dt = a + B (1 – e-ct), em que: Dt = fração degradada no tempo "t" (%), "a" = fração solúvel (%); "B" = fração insolúvel potencialmente degradável (%); "c" = taxa de degradação da fração "B" (/h); e "t" = tempo (h). A degradabilidade efetiva da MS no rúmen foi calculada por meio da utilização do modelo: DE = a + (b x c) /(c + k), em que k corresponde à taxa estimada de passagem das partículas no rúmen de 2, 5 e 8% por hora.

2.5. Estatística

Os dados coletados nas amostragens foram submetidos a análise de correlação pelo *software* estatístico R Studio (2024.12.1 Build 563, © 2009-2025 Posit Software, PBC), utilizando as bibliotecas "readxl" e "corrplot", e pelo *software* estatístico Jamovi (The jamovi project (2024). *jamovi*. Version 2.6).

3. RESULTADOS

A análise estatística realizada por meio da matriz de correlações revelou interações significativas entre diversas variáveis avaliadas no estudo, com níveis de significância indicados por $p < 0,05$, $p < 0,01$ e $p < 0,001$.

O tratamento apresentou uma correlação negativa altamente significativa com as Fibras Laterais (FL) (r = -1,000; $p < 0,001$), indicando que o aumento das doses de Nefelina Sienito está associado a uma redução na quantidade ou espessura dessas fibras. Além disso, o tratamento mostrou correlação positiva significativa com a Espessura da Epiderme Adaxial (EP. ADAX.) (r = 1,000; $p < 0,05$).

No que diz respeito ao valor nutritivo, o tratamento apresentou correlações negativas significativas com a Fibra em Detergente Neutro (FDN) (r = -1,000; $p < 0,05$) e com a Fibra em Detergente Ácido (FDA) (r = -0,999; $p < 0,05$).

A análise revelou interações significativas entre características anatômicas e parâmetros de degradabilidade. As Fibras do Feixe Vascular Pequeno na Parte Adaxial (FVP-FAD) apresentaram correlações negativas com a Degradabilidade Efetiva a 5% (DE5%) (r = -1,000; $p < 0,05$) e a 8% (DE8%) (r = -1,000; $p < 0,001$).

As Fibras do Feixe Vascular Pequeno na Parte Abaxial (FVP-FAB) mostraram uma correlação negativa significativa com a Espessura da Epiderme Abaxial (EP. ABAX.) (r = -0,998; $p < 0,05$). Já as Fibras do Feixe Vascular Médio na Parte Abaxial (FVM-FAB) apresentaram correlações positivas fortes com a Espessura da Lâmina Foliar (ESP. LAM.) (r = 1,000; $p < 0,01$), a Fração Solúvel (FRAÇÃO A) (r = 0,998; $p < 0,05$) e a Degradabilidade Efetiva a 2% (DE2%) (r = 1,000; $p < 0,001$).

As Fibras Laterais (FL) exibiram correlações significativas com a Espessura da Epiderme Adaxial (EP. ADAX.) (r = -1,000; $p < 0,05$) e com a FDA (r = 0,999; $p < 0,05$). A relação negativa com EP. ADAX.

A Espessura da Epiderme Adaxial (EP. ADAX.) apresentou correlações negativas significativas com FDN (r = -1,000; $p < 0,001$) e FDA (r = -0,998; $p < 0,05$). A Espessura da Lâmina Foliar (ESP. LAM.) mostrou correlações positivas com a Fração A (r = 0,998; $p < 0,05$) e a DE2% (r = 1,000; $p < 0,01$).

A Fração Solúvel (FRAÇÃO A) apresentou uma correlação positiva significativa com a Degradabilidade Efetiva a 2% (DE2%) (r = 0,998; $p < 0,05$). A Fração Potencialmente Degradável (FRAÇÃO B) mostrou uma correlação positiva forte com a Degradabilidade Potencial (DP) (r = 0,998; $p < 0,05$). Entre as taxas de degradabilidade efetiva, DE2% e DE8% apresentaram uma correlação positiva significativa (r = 1,000; $p < 0,05$).

Finalmente, no que tange aos componentes nutricionais, FDN e FDA apresentaram uma correlação positiva significativa (r = 0,998; $p < 0,05$), assim como FDA e Lignina (r = 0,998; $p < 0,05$).

Tabela 7 Correlação de Pearson (via R Studio) entre componentes anatômicos, de degradabilidade e indigestíves da folha do Capiaçu sob aplicação de diferentes níveis de Nefelina Sienito.

		TRATAMENTOS	COMPONTENTES ANATÔMICOS (CA)									
			FVP-FAD	FVM-FAD	FVC-FAD	FVP-FAB	FVM-FAB	FVC-FAB	FL	EP, ADAX	EP, ABAX	ESP, LAM
	TRATAMENTOS	1	-0,9406342	0	-0,1502104	-0,9707253	0,5	0,6908799	-1	0,9997324	0,9837412	0,4979239
	FVP-FAD	-0,9406342	1	0,3394221	-0,194278	0,994624	-0,7642653	-0,8952571	0,9406342	-0,9482342	-0,98629804	-0,7627181
	FVM-FAD	0	0,3394221	1	-0,9886541	0,2401922	-0,8660254	-0,7229695	0	-0,02313271	-0,17959191	-0,8672207
	FVC-FAD	-0,1502104	-0,194278	-0,9886541	1	-0,0916539	0,7810943	0,6109893	0,1502104	-0,1273	0,02978607	0,7825879
	FVP-FAB	-0,9707253	0,994624	0,2401922	-0,0916539	1	-0,6933752	-0,8443063	0,9707253	-0,97602188	-0,99807909	-0,691647
CA	FVM-FAB	0,5	-0,7642653	-0,8660254	0,7810943	-0,6933752	1	0,9715499	-0,5	0,51989971	0,64740175	0,9999971
	FVC-FAB	0,6908799	-0,8952571	-0,7229695	0,6109893	-0,8443063	0,9715499	1	-0,6908799	0,70741931	0,80948654	0,9709798
	FL	-1	0,9406342	0	0,1502104	0,9707253	-0,5	-0,6908799	1	-0,9997324	-0,9837412	-0,4979239
	EP. ADAX.	0,9997324	-0,9482342	-0,0231327	-0,1273	-0,9760219	0,5198997	0,7074193	-0,9997324	1	0,9876324	0,5178518
	EP. ABAX.	0,9837412	-0,986298	-0,1795919	0,0297861	-0,9980791	0,6474018	0,8094865	-0,9837412	0,9876324	1	0,6455741
	ESP. LAM.	0,4979239	-0,7627181	-0,8672207	0,7825879	-0,691647	0,9999971	0,9709798	-0,4979239	0,5178518	0,64557406	1
	FRAÇÃO A	0,5533769	-0,8032404	-0,832931	0,7403576	-0,7372406	0,9980278	0,9845007	-0,5533769	0,5724968	0,69396735	0,9978746
	FRAÇÃO B	-0,4441088	0,1136309	-0,8959729	0,952517	0,2159019	0,5538809	0,3409352	0,4441088	-0,42326365	-0,27597861	0,5558739
	FRAÇÃO C	0,2971682	0,0445622	0,9548252	-0,9886295	-0,0591271	-0,6783187	-0,4850019	-0,2971682	0,275001	0,12085774	-0,680077
CD	DP	-0,3933309	0,0579168	-0,919397	0,9680479	0,1609843	0,5995557	0,3929515	0,3933309	-0,37195752	-0,22181957	0,6014713
	DE2%	0,4994897	-0,7638852	-0,8663198	0,781462	-0,6929506	0,9999998	0,9714102	-0,4994897	0,51939638	0,64695264	0,9999984
	DE5%	0,9481454	-0,9997388	-0,317837	0,1718095	-0,9967307	0,7493276	0,8848411	-0,9481454	0,95524409	0,98981062	0,747739
	DE8%	0,9406576	-1	-0,339357	0,1942101	-0,9946311	0,7642206	0,8952263	-0,9406576	0,94825617	0,98630946	0,7626734
	FDN	-0,9997367	0,9481755	0,022948	0,1274832	0,9759817	-0,5197419	-0,7072887	0,9997367	-0,99999998	-0,98760342	-0,5176938
CI	FDA	-0,9993152	0,9274306	-0,0370022	0,1866899	0,9611729	-0,4676128	-0,6636554	0,9993152	-0,99819181	-0,97642223	-0,4654938
	LIGNINA	-0,9944052	0,8995174	-0,1056327	0,2538042	0,9399222	-0,405722	-0,6106454	0,9944052	-0,99169555	-0,9592666	-0,4035312

*FVP-FAD: Fibras do Feixe Vascular Pequeno Parte Adaxial; FVM-FAD: Fibras do Feixe Vascular Médio Parte Adaxial; FVC-FAD: Fibras do Feixe Vascular Central Parte Adaxial; FVP-FAB: Fibras do Feixe Vascular Pequeno Parte Abaxial; FVM-FAB: Fibras do Feixe Vascular Médio Parte Abaxial; FVC-FAD: Fibras do Feixe Vascular Central Parte Abaxial; FL: Fibras Laterais; EP. ADAX.: Espessura da Epiderme Adaxial; EP. ABAX.: Espessura da Epiderme Abaxial e ESP. LAM.: Espessura da Lâmina Foliar; FRAÇÃO A: Fração Solúvel; FRAÇÃO B: Fração Potencialmente Degradável; FRAÇÃO C: Taxa de Degradação "kd"; DP: Degradabilidade Potencial; DE2%: Degradabilidade Efetiva à 2%; DE5%: Degradabilidade Efetiva à 5%; DE8%: Degradabilidade Efetiva à 8%; FDN: Fibra em Detergente Neutro; FDA: Fibra em Detergente Ácido; LIGNINA.

Tabela 8 Correlação de Pearson (via R Studio) entre componentes anatômicos, de degradabilidade e indigestíves da folha do Capiaçu sob aplicação de diferentes níveis de Nefelina Sienito. (continuação).

		COMPONTENTES DE DEGRADABILIDADE DA MS (CD)							COMPONENTES INDIGESTÍVEIS (CI)		
		FRAÇÃO A	FRAÇÃO B	FRAÇÃO C	DP	DE2%	DE5%	DE8%	FDN	FDA	LIGNINA
	TRATAMENTOS	0,5533769	-0,4441088	0,29716821	-0,39333092	0,4994897	0,94814538	0,94065764	-0,99973666	-0,99931518	-0,9944052
	FVP-FAD	-0,8032404	0,1136309	0,04456221	0,05791683	-0,7638852	-0,99973883	-1	0,94817552	0,92743064	0,8995174
	FVM-FAD	-0,8329309	-0,8959729	0,95482515	-0,91939697	-0,8663198	-0,31783697	-0,33935703	0,02294803	-0,03700218	-0,1056327
	FVC-FAD	0,7403576	0,952517	-0,98862951	0,96804795	0,781462	0,17180947	0,1942101	0,12748322	0,18668993	0,2538042
	FVP-FAB	-0,7372406	0,2159019	-0,05912713	0,16098428	-0,6929506	-0,99673072	-0,99463114	0,97598165	0,96117294	0,9399222
CA	FVM-FAB	0,9980278	0,5538809	-0,67831873	0,59955567	0,9999998	0,74932758	0,76422063	-0,51974191	-0,46761276	-0,405722
	FVC-FAB	0,9845007	0,3409352	-0,4850019	0,39295152	0,9714102	0,88484107	0,89522629	-0,70728874	-0,66365537	-0,6106454
	FL	-0,5533769	0,4441088	-0,29716821	0,39333092	-0,4994897	-0,94814538	-0,94065764	0,99973666	0,99931518	0,9944052
	EP. ADAX.	0,5724968	-0,4232636	0,275001	-0,37195752	0,5193964	0,95524409	0,94825617	-0,99999998	-0,99819181	-0,9916955
	EP. ABAX.	0,6939674	-0,2759786	0,12085774	-0,22181957	0,6469526	0,98981062	0,98630946	-0,98760342	-0,97642223	-0,9592666
	ESP. LAM.	0,9978746	0,5558739	-0,68007702	0,60147126	0,9999984	0,74773904	0,76267336	-0,51769377	-0,46549384	-0,4035312
	FRAÇÃO A	1	0,500524	-0,63085738	0,54813393	0,9979907	0,78941804	0,80319922	-0,57234534	-0,52217772	-0,4622962
	FRAÇÃO B	0,500524	1	-0,98747244	0,99843646	0,5543713	-0,13630637	-0,11369961	0,423431	0,47695759	0,5362681
	FRAÇÃO C	-0,6308574	-0,9874724	1	-0,99474879	-0,6787515	-0,02172007	-0,04449308	-0,27517859	-0,33229531	-0,3963664
CD	DP	0,5481339	0,9984365	-0,99474879	1	0,6000271	-0,08071654	-0,05798591	0,37212899	0,42708125	0,4882487
	DE2%	0,9979907	0,5543713	-0,67875148	0,60002706	1	0,74893733	0,76384054	-0,51923851	-0,46709194	-0,4051835
	DE5%	0,789418	-0,1363064	-0,02172007	-0,08071654	0,7489373	1	0,99974041	-0,95518943	-0,93573541	-0,9092667
	DE8%	0,8031992	-0,1136996	-0,04449308	-0,05798591	0,7638405	0,99974041	1	-0,94819751	-0,92745652	-0,8995477
	FDN	-0,5723453	0,423431	-0,27517859	0,37212899	-0,5192385	-0,95518943	-0,94819751	1	0,9982029	0,9917193
CI	FDA	-0,5221777	0,4769576	-0,33229531	0,42708125	-0,4670919	-0,93573541	-0,92745652	0,9982029	1	0,9976329
	LIGNINA	-0,4622962	0,5362681	-0,39636637	0,4882487	-0,4051835	-0,90926673	-0,89954767	0,99171929	0,99763287	1

*FVP-FAD: Fibras do Feixe Vascular Pequeno Parte Adaxial; FVM-FAD: Fibras do Feixe Vascular Médio Parte Adaxial; FVC-FAD: Fibras do Feixe Vascular Central Parte Adaxial; FVP-FAB: Fibras do Feixe Vascular Pequeno Parte Abaxial; FVM-FAB: Fibras do Feixe Vascular Médio Parte Abaxial; FVC-FAD: Fibras do Feixe Vascular Central Parte Abaxial; FL: Fibras Laterais; EP. ADAX.: Espessura da Epiderme Adaxial; EP. ABAX.: Espessura da Epiderme Abaxial e ESP. LAM.: Espessura da Lâmina Foliar; FRAÇÃO A: Fração Solúvel; FRAÇÃO B: Fração Potencialmente Degradável; FRAÇÃO C: Taxa de Degradação "kd"; DP: Degradabilidade Potencial; DE2%: Degradabilidade Efetiva à 2%; DE5%: Degradabilidade Efetiva à 5%; DE8%: Degradabilidade Efetiva à 8%; FDA: Fibra em Detergente Neutro; FDA: Fibra em Detergente Ácido; LIGNINA.

Figura 13 Correlação de Pearson (via Jamovi) entre componentes anatômicos, de degradabilidade e indigestíves da folha do Capiaçu sob aplicação de diferentes níveis de Nefelina Sienito.

		TRATAMENTO	FVP-FAD	FVM-FAD	FVC-FAD	FVP-FAB	FVM-FAB	FVC-FAB	FL	EP. ADAX.	EP. ABAX.	ESP. LAM.	FRAÇÃO A	FRAÇÃO B	FRAÇÃO C	DP	DE2%	DE5%	DE8%	FDN	FDA	LIGNINA
	R de Pearson	—																				
TRATAMENTO	gl	—																				
	p-value	—																				
	R de Pearson	-0.941	—																			
FVP-FAD	gl	1	—																			
	p-value	0.220	—																			
	R de Pearson	0.000	0.339	—																		
FVM-FAD	gl	1	1	—																		
	p-value	1.000	0.780	—																		
	R de Pearson	-0.150	-0.194	-0.989	—																	
FVC-FAD	gl	1	1	1	—																	
	p-value	0.904	0.876	0.096	—																	
	R de Pearson	-0.971	0.995	0.240	-0.092	—																
FVP-FAB	gl	1	1	1	1	—																
	p-value	0.154	0.066	0.846	0.942	—																
	R de Pearson	0.500	-0.764	-0.866	0.781	-0.693	—															
FVM-FAB	gl	1	1	1	1	1	—															
	p-value	0.667	0.446	0.333	0.429	0.512	—															
	R de Pearson	0.691	-0.895	-0.723	0.611	-0.844	0.972	—														
FVC-FAB	gl	1	1	1	1	1	1	—														
	p-value	0.514	0.294	0.486	0.582	0.360	0.152	—														
	R de Pearson	-1.000***	0.941	0.000	0.150	0.971	-0.500	-0.691	—													
FL	gl	1	1	1	1	1	1	1	—													
	p-value	<.001	0.220	1.000	0.904	0.154	0.667	0.514	—													
	R de Pearson	1.000*	-0.948	-0.023	-0.127	-0.976	0.520	0.707	-1.000*	—												
EP. ADAX.	gl	1	1	1	1	1	1	1	1	—												
	p-value	0.015	0.206	0.985	0.919	0.140	0.652	0.500	0.015	—												
	R de Pearson	0.984	-0.986	-0.180	0.030	-0.998*	0.647	0.809	-0.984	0.988	—											
EP. ABAX.	gl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—											
	p-value	0.115	0.106	0.885	0.981	0.039	0.552	0.399	0.115	0.100	—											
	R de Pearson	0.498	-0.763	-0.867	0.783	-0.692	1.000**	0.971	-0.498	0.518	0.646	—										
ESP. LAM.	gl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—										
	p-value	0.668	0.448	0.332	0.428	0.514	0.002	0.154	0.668	0.653	0.553	—										
	R de Pearson	0.553	-0.803	-0.833	0.740	-0.737	0.998*	0.985	-0.553	0.572	0.694	0.998*	—									
FRAÇÃO A	gl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—									
	p-value	0.627	0.406	0.373	0.469	0.472	0.040	0.112	0.627	0.612	0.512	0.042	—									
	R de Pearson	-0.444	0.114	-0.896	0.953	0.216	0.554	0.341	0.444	-0.423	-0.276	0.556	0.501	—								
FRAÇÃO B	gl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—								
	p-value	0.707	0.928	0.293	0.197	0.861	0.626	0.779	0.707	0.722	0.822	0.625	0.666	—								
	R de Pearson	0.297	0.045	0.955	-0.989	-0.059	-0.678	-0.485	-0.297	0.275	0.121	-0.680	-0.631	-0.987	—							
FRAÇÃO C	gl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—							
	p-value	0.808	0.972	0.192	0.096	0.962	0.525	0.678	0.808	0.823	0.923	0.524	0.565	0.101	—							
	R de Pearson	-0.393	0.058	-0.919	0.968	0.161	0.600	0.393	0.393	-0.372	-0.222	0.601	0.548	0.998*	-0.995	—						
DP	gl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—						
	p-value	0.743	0.963	0.257	0.161	0.897	0.591	0.743	0.743	0.757	0.858	0.589	0.631	0.036	0.065	—						
	R de Pearson	0.499	-0.764	-0.866	0.781	-0.693	1.000***	0.971	-0.499	0.519	0.647	1.000**	0.998*	0.554	-0.679	0.600	—					
DE2%	gl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—					
	p-value	0.667	0.447	0.333	0.429	0.513	<.001	0.153	0.667	0.652	0.552	0.001	0.040	0.626	0.525	0.590	—					
	R de Pearson	0.948	-1.000*	-0.318	0.172	-0.997	0.749	0.885	-0.948	0.955	0.990	0.748	0.789	-0.136	-0.022	-0.081	0.749	—				
DE5%	gl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—				
	p-value	0.206	0.015	0.794	0.890	0.051	0.461	0.309	0.206	0.191	0.091	0.462	0.421	0.913	0.986	0.949	0.461	—				
	R de Pearson	0.941	-1.000***	-0.339	0.194	-0.995	0.764	0.895	-0.941	0.948	0.986	0.763	0.803	-0.114	-0.044	-0.058	0.764	1.000*	—			
DE8%	gl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—			
	p-value	0.220	<.001	0.780	0.876	0.066	0.446	0.294	0.220	0.206	0.105	0.448	0.406	0.927	0.972	0.963	0.447	0.015	—			
	R de Pearson	-1.000*	0.948	0.023	0.127	0.976	-0.520	-0.707	1.000*	-1.000***	-0.988	-0.518	-0.572	0.423	-0.275	0.372	-0.519	-0.955	-0.948	—		
FDN	gl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—		
	p-value	0.015	0.206	0.985	0.919	0.140	0.652	0.500	0.015	<.001	0.100	0.654	0.612	0.722	0.823	0.757	0.652	0.191	0.206	—		
	R de Pearson	-0.999*	0.927	-0.037	0.187	0.961	-0.468	-0.664	0.999*	-0.998*	-0.976	-0.465	-0.522	0.477	-0.332	0.427	-0.467	-0.936	-0.927	0.998*	—	
FDA	gl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—	
	p-value	0.024	0.244	0.976	0.880	0.178	0.690	0.538	0.024	0.038	0.139	0.692	0.650	0.683	0.784	0.719	0.691	0.229	0.244	0.038	—	
	R de Pearson	-0.994	0.900	-0.106	0.254	0.940	-0.406	-0.611	0.994	-0.992	-0.959	-0.404	-0.462	0.536	-0.396	0.488	-0.405	-0.909	-0.900	0.992	0.998*	—
LIGNINA	gl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—
	p-value	0.067	0.288	0.933	0.837	0.222	0.734	0.582	0.067	0.082	0.182	0.736	0.694	0.640	0.741	0.675	0.734	0.273	0.288	0.082	0.044	—

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001. Jamovi (The jamovi project (2024). *jamovi*. Version 2.6)

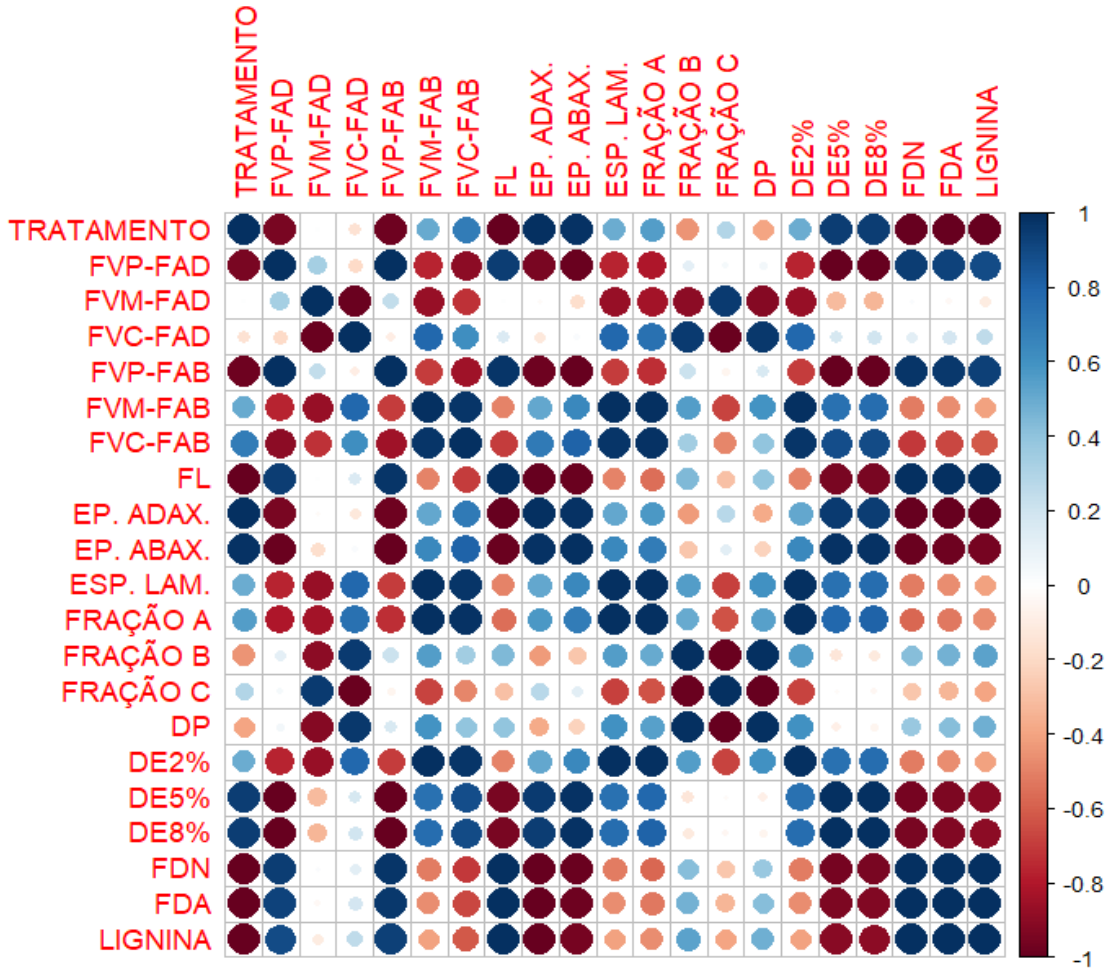

Figura 14 Correlações visuais entre componentes anatômicos, componente de degradabilidade e componentes indigestíveis de folha do Capiaçu sob diferentes níveis de pó de rocha de Nefelina Sienito (R Studio (2024.12.1 Build 563, © 2009-2025 Posit Software, PBC)).

4. DISCUSSÃO

Um dos achados mais surpreendentes da pesquisa é a redução significativa de FDN, FDA e FL com o aumento das doses de NS. Esses resultados sugerem que o pó de rocha pode influenciar a estrutura anatômica da planta, possivelmente devido o fornecimento de silício (Si), que, conforme hipotetizado, pode substituir componentes fibrosos como a lignina na parede celular, evidenciando que o incremento das doses de NS pode potencializar a qualidade nutricional do material vegetal. Esse resultado contrasta com a literatura tradicional sobre gramíneas forrageiras, que frequentemente associa o avanço da maturação ou o reforço estrutural a um incremento desses componentes fibrosos. Queiroz et al. (2000) avaliaram três gramíneas (Pennisetum purpureum, Setaria anceps e Hyparrhenia rufa) e constataram que proporções elevadas de esclerênquima (ESC) e tecidos lignificados correlacionam-se positivamente com teores de fibra e negativamente com a digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS). Da mesma forma, Bauer et al. (2008) observaram que Melinis minutiflora e Brachiaria decumbens apresentam maiores proporções de xilema e esclerênquima, resultando em altos coeficientes de FDN e FDA e baixa DIVMS.

No entanto, os resultados da pesquisa sugerem um mecanismo alternativo mediado pelo Si presente na NS. Singh et al. (2023) descrevem que o Si forma ligações covalentes com componentes da parede celular, como hemicelulose e celulose, reduzindo a demanda por lignina para suporte estrutural. Khan (2024) reforça essa ideia, destacando o Si como um elemento que modula a química da parede celular, promovendo eficiência metabólica e potencialmente diminuindo a formação de tecidos lignificados. Essa substituição parcial da lignina pelo Si é corroborada por Zexer e Elbaum (2020), que identificaram em raízes de sorgo uma lignina modificada que nucleia sílica, sugerindo uma interação sinérgica que pode explicar a redução de FDN e FDA observada em Pennisetum purpureum. Assim, enquanto a literatura tradicional associa lignificação a maior resistência e menor qualidade nutritiva (Paciullo, 2002), o Si da NS parece reverter esse padrão, oferecendo uma nova perspectiva sobre a dinâmica estrutural das forrageiras.

Outro ponto de destaque é o aumento da EP. Adaxial e da FL com a aplicação de NS, sem prejuízo ao valor nutritivo da forrageira. Estudos como Paciullo et al. (2002) indicam que lâminas foliares de maior nível de inserção em Brachiaria decumbens e Cynodon spp. apresentam paredes celulares mais espessas associadas a maior proporção de esclerênquima e menor digestibilidade. Alves de Brito e Deschamps (2001) também observaram que, em

cultivares de capim-elefante, o tecido epidérmico diminui com a maturação, enquanto tecidos vasculares lignificados aumentam, impactando negativamente a qualidade. Esses achados sugerem que o espessamento estrutural comprometeria a acessibilidade dos nutrientes.

Contrariamente, na pesquisa atual, o espessamento induzido pela NS coincide com a redução de FDN e FDA e o aumento da FRAÇÃO A, indicando que o Si reforça a estrutura sem comprometer a digestibilidade. Esse efeito é consistente com Singh et al. (2023), que relatam o Si conferindo rigidez mecânica à parede celular, e Raza et al. (2023), que destacam sua capacidade de melhorar a resistência sem aumentar excessivamente a lignificação. Fleck et al. (2011) observaram em arroz que o Si aumenta a suberização e lignificação das raízes, mas com benefícios adaptativos, sugerindo que o espessamento pode ter funções positivas quando mediado por esse elemento. A divergência com a literatura tradicional pode ser atribuída ao papel do Si como modulador estrutural que preserva a qualidade nutricional, um aspecto pouco explorado em forrageiras tropicais. Este estudo também revela um impacto diferencial da NS na degradabilidade ruminal, com melhoria significativa em taxas de manutenção (DE2%) e redução em taxas baixas ou altas (DE5% e DE8%).

Esse resultado adiciona nuance aos estudos de degradabilidade que, geralmente, utilizam DIVMS média sem diferenciar taxas de passagem (Queiroz et al., 2000; Bauer et al., 2008). Queiroz et al. (2000) correlacionaram positivamente as células parenquimáticas (CPA) com a DIVMS e negativamente o esclerênquima, enquanto Paciullo (2002) associou a espessura da parede celular a menor digestão. No entanto, esses estudos não exploram como intervenções externas como a NS afetam essas relações em diferentes cenários ruminais.

O aumento da FRAÇÃO A é compatível com Buchelt et al. (2021), que relatam maior acumulação de proteína bruta com Si em forrageiras. Por outro lado, a redução em DE5% e DE8% pode ser explicada pelo reforço das fibras vasculares (FVP-FAD), como indicado por Bauer et al. (2008), que associam xilema e esclerênquima a menor digestibilidade.

A eficácia da NS como fonte de Si e K também diverge de algumas expectativas da literatura. França et al. (2019) e Souza et al. (2015) apontam uma liberação lenta de K da NS (5% em 15 dias), enquanto Galindo et al. (2020) sugerem que o Si tem efeitos limitados sem estresse. Contudo, os benefícios imediatos em FDN, FDA e degradabilidade indicam uma ação mais rápida do que o previsto. Freire et al. (2023) e Valicheski et al. (2024) mostram que a NS proporciona produtividade similar ao KCl em soja até 100 kg ha^{-1} de K_2O, enquanto que Spido (2019) observa aumento de K^+ e Ca^{2+} em Argissolo, sugerindo que a combinação Si-K na NS pode acelerar os efeitos em forrageiras. Khan (2024) e Raza et al. (2023) reforçam o papel do Si na resistência e produtividade, apoiando a hipótese de eficiência hídrica e nutricional da NS.

A suplementação com NS introduz uma variável exógena ausente em estudos naturais (Queiroz et al., 2000; Paciullo et al., 2002), alterando a dinâmica de lignificação e digestibilidade. O Si substitui a lignina, como sugerido por Zexer e Elbaum (2020), reduzindo FDN e FDA, enquanto o K potencializa o metabolismo vegetal (Freire et al., 2023).

A escolha da cultivar BRS Capiaçu, conhecida por alta produtividade (Leal et al., 2020), pode ter amplificado a resposta ao Si e K da NS, diferentemente de espécies menos responsivas como Hyparrhenia rufa (Bauer et al., 2008). O corte aos 126 dias captura um estágio intermediário otimizado pelo Si, contrastando com idades mais jovens (56 dias, Martins et al., 2020) ou avançadas (Alves de Brito e Deschamps, 2001). O tipo de solo, nesse caso um Latossolo, pode também favorecer a ação da NS devido à alta capacidade de troca catiônica, ao contrário de solos arenosos como o Neossolo (Spido, 2019).

Este estudo avança na fronteira do conhecimento sobre remineralização ao mostrar que pó de rocha, como a NS, pode melhorar a qualidade nutricional de forrageiras, integrando a questões de valor nutritivo, anatômicos e de degradabilidade, desafiando a associação entre espessamento celular e menor digestibilidade (Paciullo, 2002).

Estudos a longo prazo aliado com a utilização de outras espécies e solos, interações com estresses ambientais (estresse hídrico e pragas), análises moleculares e combinações com práticas agronômicas (inoculantes, Galindo et al., 2020) são recomendados para consolidar os benefícios da NS e explorar seu potencial em diferentes contextos de cultura.

5. CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram que o aumento das doses de NS promoveu uma redução significativa nas fibras laterais (FL), na Fibra em Detergente Neutro (FDN) e na Fibra em Detergente Ácido (FDA), ao mesmo tempo em que se observou um incremento na espessura da epiderme adaxial (EP. ADAX.) e na fração solúvel (FRAÇÃO A). Além disso, a degradabilidade efetiva a 2% (DE2%) apresentou melhoria, embora tenha havido uma redução nas taxas de DE5% e DE8%. Esses achados indicam que a utilização de pó de rocha de NS fornece silício (Si) e potássio (K), influenciando positivamente a estrutura anatômica e o valor nutritivo da forrageira.

6. REFERÊNCIAS

Brito, C. J. F. A. D., & Deschamps, F. C. (2001). Caracterização anatômica em diferentes frações de cultivares de capim-elefante (Pennisetum purpureum Schumach.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, *30*, 1409-1417.

Bauer, M. D. O., Gomide, J. A., Silva, E. A. M. D., Regazzi, A. J., & Chichorro, J. F. (2008). Características anatômicas e valor nutritivo de quatro gramíneas predominantes em pastagem natural de Viçosa, MG. **Revista Brasileira de Zootecnia**, *37*, 9-17.

Buchelt, A.C., de Mello Prado, R., Caione, G. *et al.* Effects of silicon fertigation on dry matter production and crude protein contents of a pasture. **J Soil Sci Plant Nutr 21**, 3402–3413 (2021). https://doi.org/10.1007/s42729-021-00615-9.

DETMANN, E. Costa e Silva LF, Rocha GC, Palma MNN, Rodrigues JPP. **Métodos para análise de alimentos-INCT-Ciência Animal. Visconde do Rio Branco: Suprema**, 2021.

Fleck, A. T., Nye, T., Repenning, C., Stahl, F., Zahn, M., & Schenk, M. K. (2011). Silicon enhances suberization and lignification in roots of rice (Oryza sativa). **Journal of Experimental Botany**, *62*(6), 2001-2011.

França, S. C. A., Trampus, B. C., Braga, P. F. A., & Mokarzel, D. (2019). Avaliação de extração de potássio de nefelina sienito para uso como remineralizador de solos. **XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**. Belo Horizonte-MG.

Freire, Y. B. D., Fonseca, I. S., Santos, R. A., Valicheski, R. R., De Oliveira, S. S. C., & Stürmer, S. L. K. (2023). Uso do pó de rocha nefelina-sienito como fonte alternativa de potássio no cultivo da soja. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, *16*(4), 1-19.

Galindo, F. S., Pagliari, P. H., Buzetti, S., Rodrigues, W. L., Santini, J. M. K., Boleta, E. H. M., ... & Filho, M. C. M. T. (2020). Can silicon applied to correct soil acidity in combination with Azospirillum brasilense inoculation improve nitrogen use efficiency in maize?. **PLoS One**, *15*(4), e0230954.

Khan, A. L. (2024). Silicon: A valuable soil element for improving plant growth and CO2 sequestration. **Journal of Advanced Research**.

Leal, V. N., Machado, R. L., de Araujo, L. C., de Godoy, M. M., de Souza Linhares, A. J., Ferreira, J. C. Q., ... & Miyagi, E. S. (2020). Produção e valor nutritivo de forragem de cultivares de capim-elefante em diferentes períodos de rebrotação. *Research,* **Society and Development**, *9*(11), e41391110025-e41391110025.

Leitão, C. A. E.. (2018). Working Optimally with Serial Sections in Glycol Methacrylate Resin. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, *61*, e18180103. https://doi.org/10.1590/1678-4324-2018180103

Martins, L. F., Prado, D. M. B., Gomes, G. R., Teixeira, A. M., Oliveira, L. N., Gonçalves, L. C., & Oliveira, F. S. (2020). Valor nutricional do capim-elefante verde colhido em diferentes idades de rebrota. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, *72*(05), 1881-1890.

O'Brien TP, Feder N, McCully ME (1964) Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma** 59:368–373

Paciullo, D. S. C., Gomide, J. A., Silva, E. A. M. D., Queiroz, D. S., & Gomide, C. A. M. (2002). Características anatômicas da lâmina foliar e do colmo de gramíneas forrageiras tropicais, em função do nível de inserção no perfilho, da idade e da estação de crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, *31*, 890-899.

Queiroz, D. S., Gomide, J. A., & Maria, J. (2000). Avaliação da folha e do colmo de topo e base de perfilhos de três gramíneas forrageiras: 2. Anatomia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, *29*, 61-68.

Ribeiro, VC, Leitão, CAE. Utilização de azul de toluidina O pH 4,0 e inferências histoquímicas em cortes de plantas obtidos à mão livre. **Protoplasma 257** , 993–1008 (2020). https://doi.org/10.1007/s00709-019-01473-0

Raza, T., Abbas, M., Amna, Imran, S., Khan, M. Y., Rebi, A., ... & Eash, N. S. (2023). Impact of silicon on plant nutrition and significance of silicon mobilizing bacteria in agronomic practices. **Silicon**, *15*(9), 3797-3817.

R Core Team (2024). *R: A Language and environment for statistical computing*. (Version 4.4) [Computer software]. Retrieved from https://cran.r-project.org. (R packages retrieved from CRAN snapshot 2024-08-07).

Singh, P., Kumar, V., & Sharma, A. (2023). Interaction of silicon with cell wall components in plants: A review. **Journal of Applied & Natural Science**, *15*(2).

Souza, I. C. A., Duque, T. F. M. B., Lima, R. M. R., & Schneider, C. L. **AVALIAÇÃO DAS CARACTERISTÍCAS FÍSICAS E DA LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO DA NEFELINA SIENITO PARA USO NA AGRICULTURA**.

SPIDO, Diou Roger Ramos. **Avaliação do potencial agronômico dos pós de rocha diabásio e nefelina-sienito como remineralizadores de solo**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2019.

The jamovi project (2024). **jamovi**. (Version 2.6) [Computer Software]. Retrieved from https://www.jamovi.org.

Valicheski, R. R., Santos, R. A., Freire, Y. B. D., Cruz, S. J. S., Oliveira, S. S. C. de, Stürmer, S. L. K., Silva, C. D., & Oliveira, N. S. de. (2024). Uso do pó de rocha nefelina-sienito como fonte de potássio na soja – efeitos nos atributos químicos do solo. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, *17*(8), e9558. https://doi.org/10.55905/revconv.17n.8-268

Zexer, N., & Elbaum, R. (2020). Unique lignin modifications pattern the nucleation of silica in sorghum endodermis. **Journal of Experimental Botany**, *71*(21), 6818-6829.

CAPÍTULO III

DESEMPENHO DE COMPONENTES FIBROSOS, ANATÔMICOS E DE DEGRADABILIDADE DE FORRAGEIRA SOB APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA DE NEFELINA SIENITO

Resumo:

A qualidade nutricional de forrageiras tropicais, como a *Pennisetum purpureum* cv. BRS Capiaçu, é essencial para sistemas pecuários sustentáveis, mas frequentemente limitada por altos teores de fibra e baixa degradabilidade ruminal. Embora fertilizantes tradicionais, como o cloreto de potássio (KCl), supram deficiências de potássio, seus efeitos na redução de componentes fibrosos são restritos, enquanto o potencial do pó de rocha de Nefelina Sienito (NS), rico em silício (Si) e potássio (K), permanece pouco explorado em gramíneas tropicais. O objetivo deste estudo foi investigar os efeitos do NS sobre os componentes fibrosos, anatômicos e a degradabilidade *in situ* da BRS Capiaçu. Em um delineamento em blocos casualizados, foram aplicadas níveis de NS (0, 4 e 8 ton/ha) e KCl em parcelas de BRS Capiaçu, avaliando-se fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina, componentes anatômicos foliar e degradabilidade ruminal *in situ* da MS foliar. Doses de 6 e 8 ton/ha de NS reduziram significativamente FDN, FDA e lignina (ex.: lignina total de 79,01 para 57,1 g/kg), superando o KCl, e promoveram espessamento epidérmico (até +25,67%), embora não tendo sido significativo, e não promoveram influência na degradabilidade *in situ* da MS da folha. O NS modula a composição celular, reduzindo fibras e aumentando a qualidade nutricional da BRS Capiaçu, mas não a degradabilidade ruminal, sugerindo que fatores estruturais limitam esse benefício. Portanto, recomenda-se seu uso em doses otimizadas e estudos adicionais profundos sobre a lignina.

Palavras-chave: Nefelina Sienito, silício, estrutura celular.

CHAPTER III

PERFORMANCE OF FIBROUS, ANATOMICAL AND DEGRADABILITY COMPONENTS OF FORAGE UNDER APPLICATION OF NEPHELINE SYENITE ROCK POWDER

Abstract:

The nutritional quality of tropical forages, such as *Pennisetum purpureum* cv. BRS Capiaçu, is essential for sustainable livestock systems, but is often limited by high fiber contents and low ruminal degradability. Although traditional fertilizers, such as potassium chloride (KCl), compensate for potassium deficiencies, their effects on reducing fibrous components are limited, while the potential of NS rock powder, rich in silicon (Si) and potassium (K), remains poorly explored in tropical grasses. The aim of this study was to investigate the effects of Nepheline Syenite (NS) on fibrous and anatomical components and in situ degradability of BRS Capiaçu. In a randomized block design, NS levels (0, 4 and 8 tons/ha) and KCl were applied to BRS Capiaçu plots, evaluating neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), lignin, leaf anatomical components and in situ ruminal degradability of leaf DM. Doses of 6 and 8 tons/ha of NS significantly reduced NDF, ADF and lignin (ex.: total lignin from 79.01 to 57.1 g/kg), surpassing KCl, and promoted epidermal thickening (up to +25.67%), although this was not significant, and did not influence the in situ degradability of leaf DM. NS modulates cellular composition, reducing fibers and increasing the nutritional quality of BRS Capiaçu, but not ruminal degradability, suggesting that structural factors limit this benefit. Its use in optimized doses and additional in-depth studies on lignin are recommended.

Keywords: Nepheline Syenite, silicon, cellular structure.

1. INTRODUÇÃO

A produção de forrageiras de alta qualidade é um pilar essencial para a sustentabilidade dos sistemas pecuários tropicais, especialmente em regiões caracterizadas por solos de baixa fertilidade e condições climáticas desafiadoras. Nesse contexto, a Pennisetum purpureum Schum. cv. BRS Capiaçu destaca-se como uma gramínea de elevado potencial produtivo, amplamente utilizada como fonte de volumoso em sistemas intensivos de produção animal no Brasil. Contudo, a qualidade nutricional dessas forrageiras, determinada por fatores como teores de fibra, como a lignina, e digestibilidade ruminal, frequentemente limita seu aproveitamento eficiente pelos ruminantes (Paciullo et al., 2001). A busca por estratégias que melhorem essas características pode fundamentar-se no uso de insumos alternativos, como o pó de rocha de Nefelina Sienito (NS), uma fonte natural de silício (Si) e potássio (K), elementos associados à modulação da estrutura celular e à redução de componentes fibrosos em plantas (Singh et al., 2023).

Além disso, fibrosos, como fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina, que comprometem a degradabilidade ruminal e, consequentemente, o valor nutritivo da BRS Capiaçu. Estudos indicam que a lignificação excessiva da parede celular restringe o acesso dos microrganismos ruminais aos carboidratos estruturais, reduzindo a eficiência da digestão (Queiroz et al., 2000). Embora fertilizantes tradicionais, como o cloreto de potássio (KCl), sejam amplamente utilizados para suprir deficiências de K, seus efeitos na redução da fração fibrosa são limitados (Véras et al., 2024). Assim, emerge a necessidade de investigar o potencial do NS, cuja composição química sugere um efeito sinérgico entre Si e K capaz de alterar a arquitetura celular e melhorar a qualidade forrageira.

Nessa perspectiva, considerando a crescente demanda por práticas agrícolas sustentáveis que otimizem a nutrição animal sem aumentar os custos de produção ou os impactos ambientais, a verificação de tal aspecto torna-se ainda mais necessária. A aplicação de pó de rocha, por ser um recurso de liberação gradual e de origem natural, alinha-se aos princípios da agricultura regenerativa, oferecendo uma alternativa aos fertilizantes solúveis convencionais (Buchelt et al., 2021). Além disso, a BRS Capiaçu, adaptada às condições tropicais brasileiras, representa um modelo ideal para avaliar os efeitos do NS, dado seu uso disseminado em sistemas de pastejo e sua relevância econômica. Pesquisas anteriores sugerem que o Si pode substituir parcialmente a lignina na parede celular, reduzindo a fração fibrosa, lignina, e potencialmente elevando a digestibilidade (Hodson; Guppy, 2022), mas esses efeitos ainda carecem de validação em gramíneas tropicais de alta biomassa como a BRS Capiaçu.

A fundamentação central deste estudo postula que a aplicação de NS reduzirá os teores de FDN, FDA e lignina, promovendo alterações anatômicas que fortaleçam a estrutura foliar e melhorem a degradabilidade in situ da matéria seca no rúmen. Espera-se que tais mudanças impactem positivamente na agricultura tropical, oferecendo uma forrageira de maior valor nutritivo capaz de aumentar a produtividade animal e reduzir a dependência de insumos convencionais. Estudos como o de Melo et al. (2023), que observaram redução de lignina em Megathyrsus maximus com nanosílica, reforçam a plausibilidade da hipótese, embora o contexto específico da BRS Capiaçu e os níveis elevados de NS exijam investigação detalhada. Adicionalmente, acredita-se que o espessamento epidérmico induzido pelo Si possa conferir maior resistência a estresses ambientais, ampliando a resiliência da planta em condições adversas (Sheng et al., 2018).

Portanto, o objetivo deste estudo foi investigar o desempenho dos componentes fibrosos, anatômicos e da degradabilidade in situ da BRS Capiaçu sob diferentes doses de NS, em comparação aos tratamentos controle e KCl.

2. MATERIAIS E MÉTODO

2.1. Comissão Ética no Uso de Animais

Os procedimentos realizados com os animais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA), com o número de protocolo 254/2025.

2.2. Características Gerais

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), *campus* de Vitória da Conquista, situada nas coordenadas 14° 53’ de latitude sul e 40° 48’ de longitude oeste, a 941m de altitude e no Laboratório de Nutrição Animal (LNA) da UESB. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo “Cwb”, mesotérmico úmido e subúmido quente, com inverno seco e precipitação média anual de 741 mm e temperatura média anual de 20ºC.

A Figura 1 mostra a evapotranspiração, temperatura mínima, média e máxima durante o período experimental.

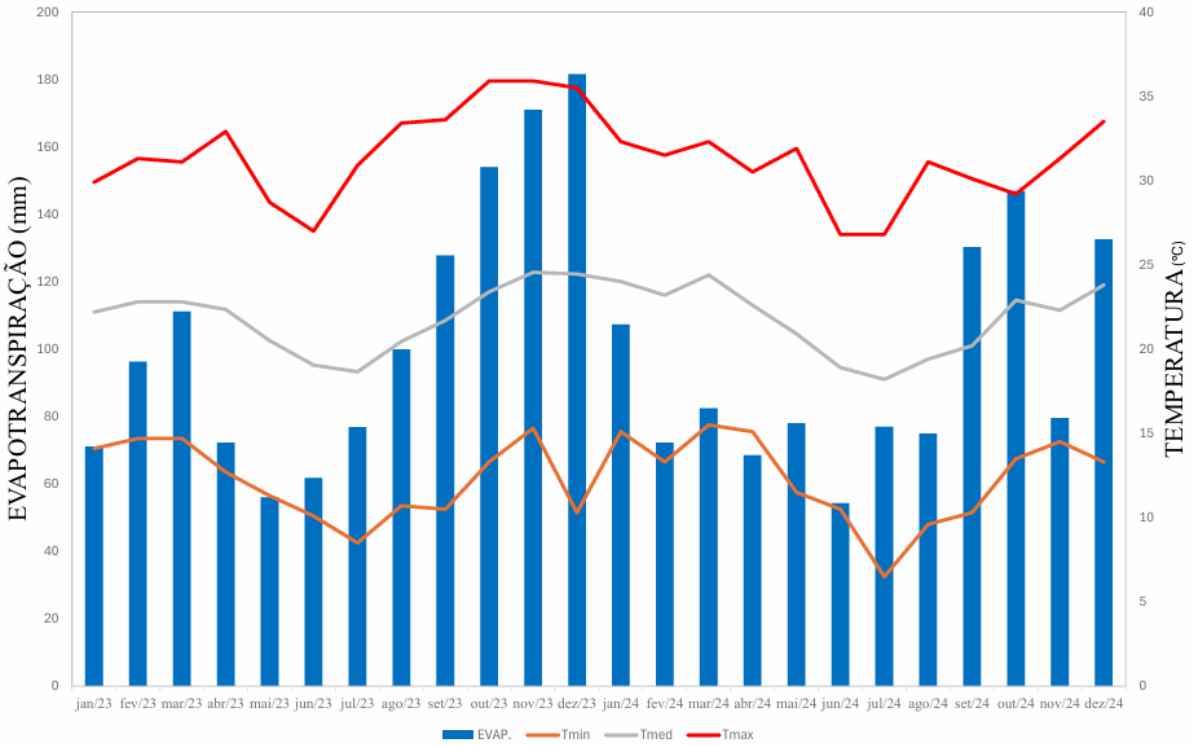

Figura 15 Evapotranspiração (Evap.), temperatura mínima (Tmin), temperatura média (Tmed) e temperatura máxima (Tmax) de janeiro de 2023 e dezembro de 2024.

2.3. Características Físico-Química do Solo

Tabela 9 Composição Física do Solo.

Identificação	Frações da amostra total %			Comp. Granulométrica (g/Kg de TTFSA)				Classe Textural
	Calh. 200-20 mm	Casc. 20-2 mm	Terra fina < 2 mm	Areia grossa 2-0,20 mm	Areia fina 0,05-0,002 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm	
Bloco 01 (0-20)	0	0	100	555	130	50	265	Franco Argilo Arenosa
Bloco 02 (0-20)	0	0	100	585	135	20	260	Franco Argilo Arenosa
Bloco 03 (0-20)	0	0	100	605	125	30	240	Franco Argilo Arenosa
Bloco 04 (0-20)	0	0	100	580	125	36	290	Franco Argilo Arenosa

Fonte: Laboratório de Análise de Solos da UESB.

Tabela 10 Composição Química do Solo.

Identificação	pH	mg/dm3	cmolc/dm^3 de solo										%		g/dm3	mg/dm3			
	(H_20)	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H^+	Na^+	S.B.	t	T	V	m	PST	M.O.	Cu	Mn	Zn	Fe
Bloco 01 (0-20)	5,5	21	0,16	2,2	0,9	0,2	2,1	0,09	3,4	3,6	5,7	59	6	2	18	-	-	-	-
Bloco 02 (0-20)	5,6	20	0,10	2,2	0,8	0,2	2,1	0,09	3,2	3,4	5,5	58	6	2	18	-	-	-	-
Bloco 03 (0-20)	5,6	28	0,10	2,2	0,8	0,2	2,4	-	3,1	3,3	5,7	54	6	-	18	-	-	-	-
Bloco 04 (0-20)	5,6	20	0,10	2,2	0,8	0,2	2,1	-	2,9	2,9	5,2	56	6	-	18	-	-	-	-

Fonte: Laboratório de Análise de Solos da UESB.

2.4. Composição Petrográfica

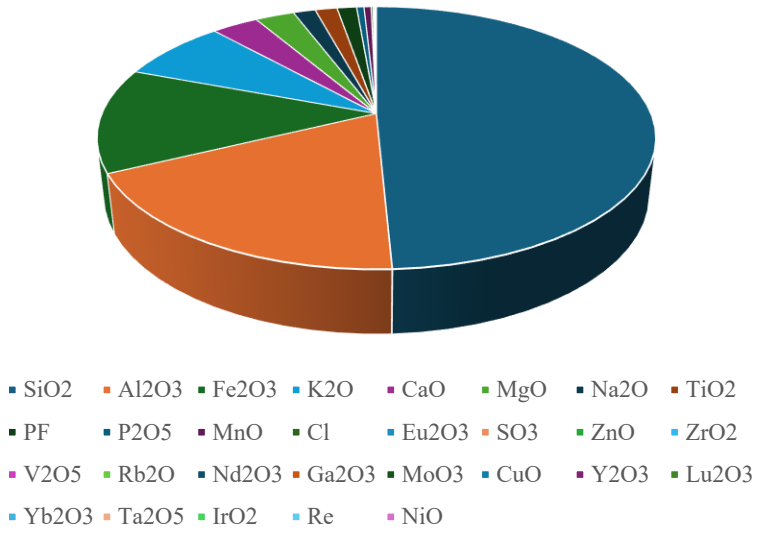

Figura 16 Composição Petrográfica do pó de rocha de Nefelina Sienito (LABORGEO).

2.5. Desenho Experimental e Estabelecimento do Experimento

O estudo foi organizado na forma de delineamento em blocos casualizados (DBC) (4 blocos x 7 tratamentos), totalizando 28 parcelas com dimensionamento de 5x5, ou seja, 25 m², sendo utilizado uma cultura forrageira (*Pennisetum purpureum* Schum cultivar BRS Capiaçu já implantada (2 anos) na área experimental, a mesma se encontra disposta com 1m entre linhas e 20 cm entre plantas (Figura 1). As doses do pó de rocha de Nefelina Sienito corresponderam em 0, 2, 4, 6, e 10 toneladas ha^{-1}, e uma aplicação de KCl, conforme recomendação para a cultura.

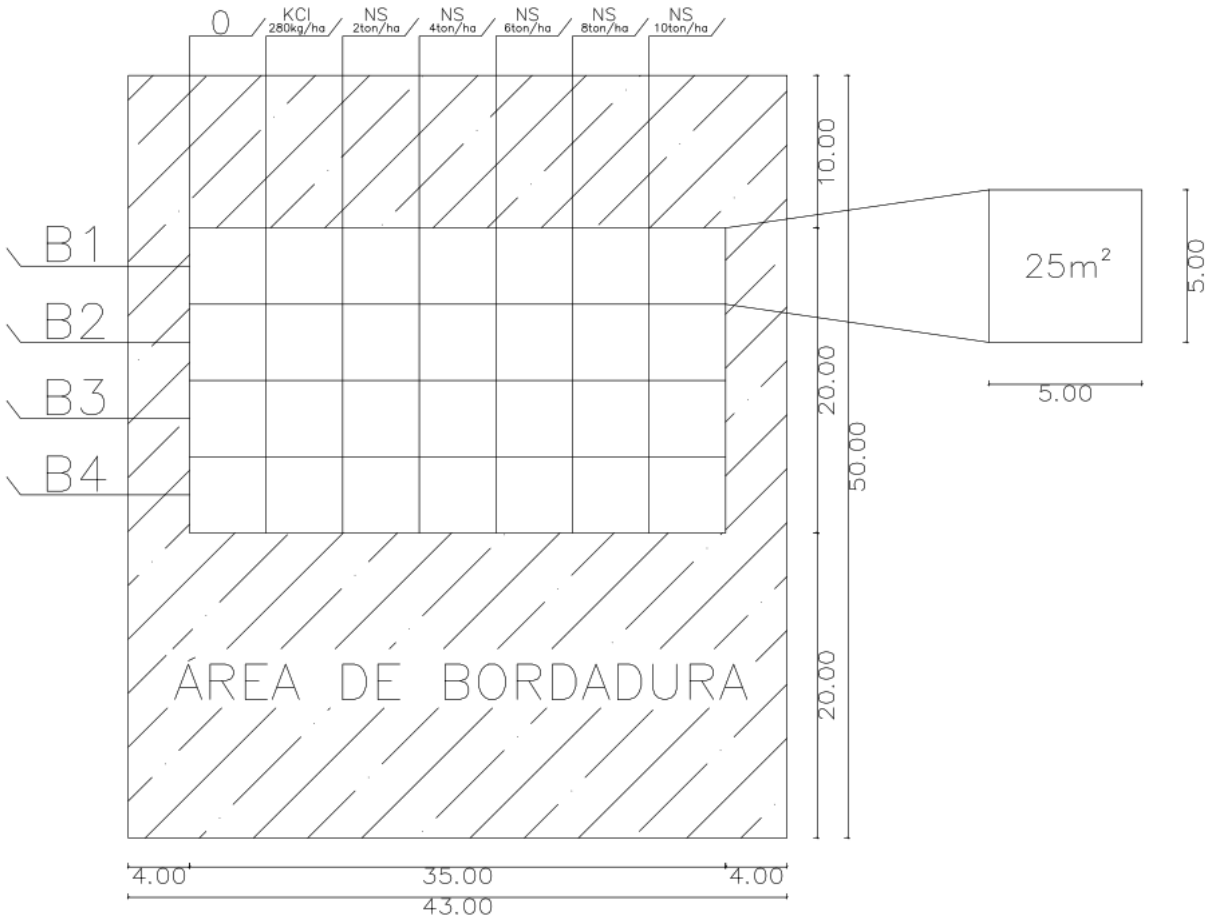

Figura 17 Design Experimental.

2.6. Composição Indigestível

Para a avaliação da composição fibrosa, as amostras foram avaliadas quanto aos parâmetros de: fibra em detergente neutro (FDN) (INCT–CA F-002/2) e fibra em detergente ácido (FDA) (INCT–CA F004/2), e lignina (INCT-CA F-005/1), conforme métodos preconizados por Detmann et al. (2021).

Figura 18 Análise Laboratorial para Fracionamento dos Componentes Indigestíveis.

Fonte: A – Saquinhos pós-análise de FDA submetidos a análise de LIGNINA; B – Frascos de Plásticos contendo saquinhos para análise de FDN e posteriormente FDA; C – Saquinhos de FDN submetidos a lavagem pós-análise; D – Saquinhos em solução de Ácido Súlfurico (LIGNINA); E – Saquinhos em solução de Ácido Súlfurico (LIGNINA); F – Pesquisador em análise de LIGNINA.

2.7. Componentes Anatômicos

Foram retiradas a 5ª folha a partir da folha bandeira de 4 plantas ao acaso em cada bloco nos tratamentos controle, 4 e 8 ton/ha de NS. Posteriormente foram retiradas amostras centrais das folhas com o auxílio de uma lâmina de barbear. As amostras foram imediatamente fixadas em solução de Karnovsky (Karnovsky,1965) contendo glutaraldeído e paraformaldeído em pH 7,2 , lavadas em água destilada e parcialmente desidratadas até etanol 89 95% e incluídas em

resina glicol-metacrilato (Historesin, Leitca), segundo instruções do fabricante. Cortes seriados otimizados para estudos histoquímicos (Leitão, 2018) de 3 μm de espessura foram obtidos com um micrótomo rotativo Leitz 1212 (Ernst Leitz Optical Works, Wetzlar, Germany). Os cortes foram corados com azul de Toluidina em pH 4,0 para contraste e inferências histoquímicas (O'Brien et al., 1964; Ribeiro e Leitão, 2020). Para análise e documentação fotográfica foi utilizado um microscópio de luz Leica DM750 equipado com sistema de captura de imagem digital Leica ICC50HD (Leica Microsystems, Wetzlar, Alemanha) e o recurso de luz polarizada.

As mensurações anatômicas foram realizadas com o auxílio do software ImageJ (Image Processing and Analysis in Java). Foram analisadas 394 micrografias dos tratamentos controle, 4 e 8 ton/ha de NS sob os 4 blocos. As mensurações constituíram em:

- Fibras Centrais do Feixe Vascular Pequeno da Parte Adaxial (FVP-FAD);
- Fibras Centrais do Feixe Vascular Médio da Parte Adaxial (FVM-FAD);
- Fibras Centrais do Feixe Vascular Maior da Parte Adaxial (FVC-FAD);
- Fibras Centrais do Feixe Vascular Pequeno da Parte Abaxial (FVP-FAB);
- Fibras Centrais do Feixe Vascular Médio da Parte Abaxial (FVM-FAB);
- Fibras Centrais do Feixe Vascular Maior da Parte Abaxial (FVC-FAN);
- Fibras Laterais (FL);
- Espessamento da Epiderme Adaxial (EP. ADAX);
- Espessamento da Epiderme Abaxial (EP. ABAX);
- Espessamento da Lâmina Foliar (LAM).

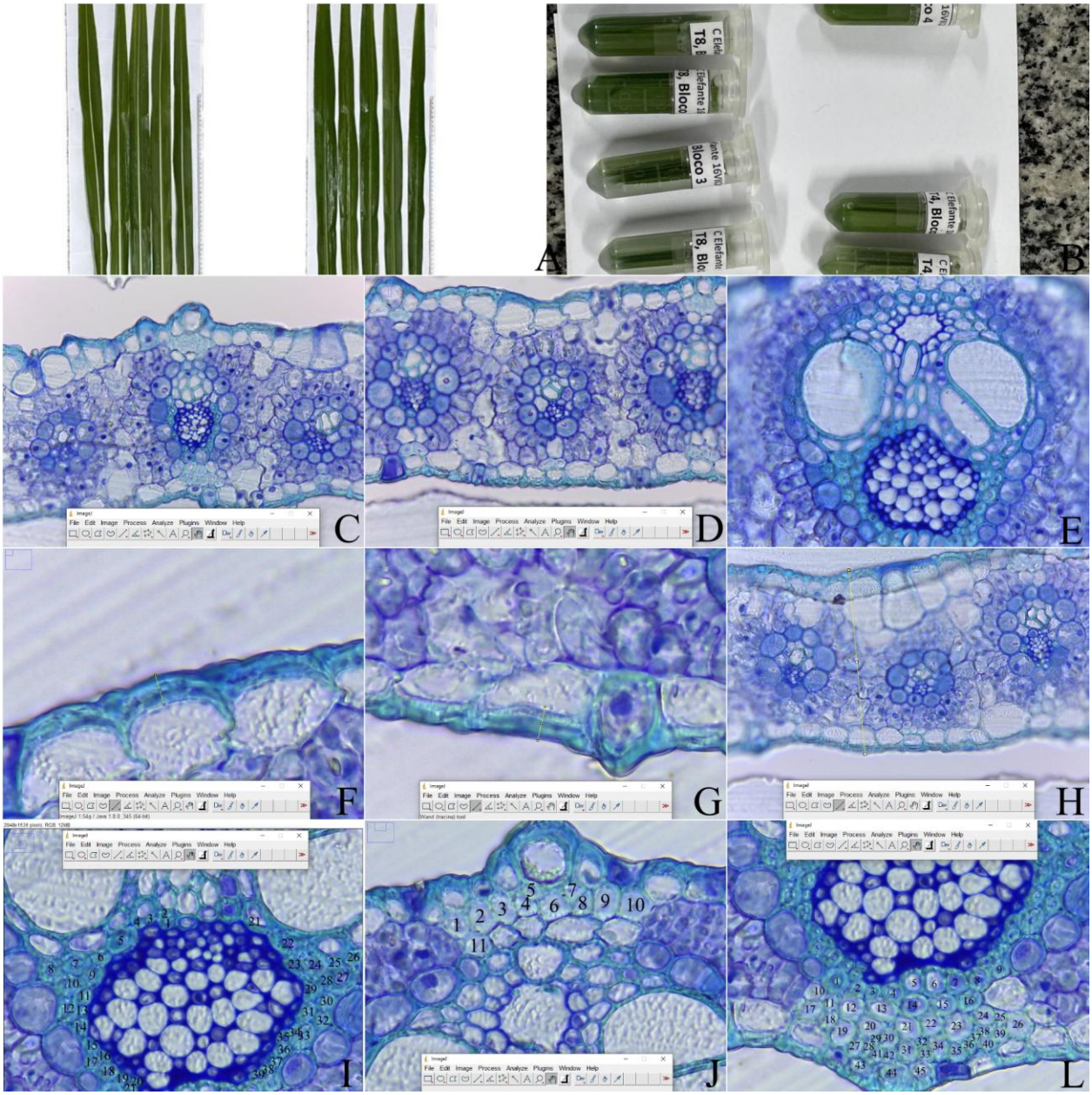

Figura 19 Análise dos Componentes Anatômicos.

Fonte: A – Repetições de folhas retiras da 5ª interseção de plantas ao acaso; B – Tubetes contendo amostra centrais das folhas em solução; C – Feixe Vascular Central Médio; D – Feixe Vascular Central Menor; E – Feixe Vascular Central Maior; F – Mensuração do espessamento da epiderme adaxial; G – Mensuração do espessamento da epiderme abaxial; H – Mensuração da lâmina foliar; I – Contagem de pontos fibrosos laterais; J – Contagem de pontos fibrosos adaxiais; L – Contagem de pontos fibrosos abaxiais.

2.8. Degradabilidade *in situ*

Para o ensaio de degradabilidade *in situ* as amostras das folhas do Capiaçu foram acondicionadas em sacos de tecido não tecido (TNT), obedecendo a relação de 20 mg de matéria seca/cm² de área superficial do saco. Estes foram incubados no rúmen de cada animal através

da cânula ruminal e fixados com uma corda, nos tempos de incubação: 0, 3, 6, 12, 24, 48, e 72 horas. Posteriormente, os sacos foram retirados do rúmen de forma simultânea e lavados uniformemente.

Figura 20 Ensaio de degradabilidade *in situ* da MS da folha de Capiaçu em dois períodos de corte sob a aplicação de KCl e diferentes doses de NS.

Fonte: A – Saquinhos contendo amostras das folhas para incubação; B – Vaca (unidade experimental) Hortência; C – Vaca (unidade experimental) Maringá; D – Vaca (unidade experimental) Neguinha; E – Vaca (unidade experimental) Margaridinha; F – Pesquisador em analidade incubação; G – Pesquisador em análise de incubação; H – Lavagem dos saquinhos de incubação em máquina de lavar; I – Sacos com ancoragem para armazenamento dos saquinhos durantes as incubações; J – Lavagem dos saquinhos de incubação em máquina de lavar.

Após a lavagem, todos os sacos foram secos em estufa de ar forçado, a 55°C por 72 horas, e pesados para determinação do desaparecimento da matéria seca (MS). Foram calculadas as taxas de degradação da MS utilizando a equação proposta por Ørskov & McDonald (1979): $Dt = a + B (1 – e\text{-}c^{t})$, em que: Dt = fração degradada no tempo "t" (%), "a" = fração solúvel (%); "B" = fração insolúvel potencialmente degradável (%); "c" = taxa de degradação da fração "B" (/h); e "t" = tempo (h). A degradabilidade efetiva da MS no rúmen

foi calculada por meio da utilização do modelo: DE = a + (b x c) /(c + k), em que: k corresponde à taxa estimada de passagem das partículas no rúmen de 2, 5 e 8% por hora.

2.9. Estatística

Em primeiro momento, após a coleta dos dados foram verificados quanto à normalidade dos dados e do resíduo pelo teste de Shapiro Wilk (P>0,05) no software SAS (SAS OnDemand for Academics. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) utilizando a PROC UNIVARIATE. Para a composição fibrosa e anatômica as médias de todos os tratamentos (controle, KCl e NS) foram avaliadas pelo teste Tukey à 5% de significância pela PROC MIXED no software SAS (SAS OnDemand for Academics. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). A análise dos dados de degradação in situ foi realizada adotando-se o procedimento “PROC NLIN” do SAS (SAS OnDemand for Academics. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

3. RESULTADOS

3.1. Componentes Fibrosos

Para os componentes fibrosos, houve interação (P<0,05) para todas as variáveis analisadas. Para a FDN em ambos os parâmetros de folha, colmo e total obtiveram um comportamento similar a qual os tratamentos controle e KCl possuíram as maiores médias, que não diferem entre si (P>0,05). Já os tratamentos de 2, 4 e 10 ton/ha de NS não diferem entre si (P>0,05), divergindo dos tratamentos de 6 e 8 ton/ha de NS que não diferem entre si (P>0,05) e apresentam as menores médias (Tabela 11).

Para a variável de FDA os tratamentos controle e KCl também obtiveram as maiores médias em ambos os parâmetros, não diferindo entre si (P>0,05). Na folha as menores médias são verificadas pelos tratamentos de 6 e 8 ton/ha de NS, não diferindo entre si (P>0,05). Já no colmo 4 e 6 ton/ha de NS apresentam as menores médias, não diferindo entre si (P>0,05). Por fim, a FDA total possui as menores médias apresentadas pelos tratamentos 6 e 8 ton/ha de NS, que não diferem entre si (P>0,05) (Tabela 11).

A maior média de Lignina da folha é apresentada pelo tratamento de KCl, que não difere (P>0,05) do tratamento controle. O menor teor médio de lignina na folha é apresentado pelo tratamento de 8 ton/ha de NS, que não difere (P>0,05) dos tratamentos de 4 e 6 ton/ha de NS, não diferindo entre si (P>0,05). No colmo o maior teor é similar ao da folha, sendo representado pelos tratamentos controle e de KCl, que não diferem entre si (P>0,05). Já as menores médias para o colmo são apresentadas pelos tratamentos de 6 e 8 ton/ha de NS, que não diferem (P>0,05). Por fim, o para o teor de Lignina total acaba sendo similar ao da folha e colmo a qual tem se seu maior teor com os tratamentos de KCl e controle, que não diferem entre si (P>0,05). Já as menores médias também são apresentadas pelos tratamentos de 6 e 8 ton/ha de NS, não diferindo entre si (P>0,05) (Tabela 11).

3.2. Componentes Anatômicos

Quanto aos componentes anatômicos, estes revelaram mudanças interessantes quando comparados ao tratamento controle, embora não tenham apresentado diferenças significativas (P>0,05). Essas variações quantitativas fornecem *insights* sobre o potencial impacto do pó de rocha no desenvolvimento das plantas (Tabela 12).

As análises das fibras do feixe vascular mostraram variações notáveis entre os tratamentos. As Fibras do Feixe Vascular Pequeno Parte Adaxial (FVP-FAD) apresentaram uma média de 0,4000un no controle, enquanto o tratamento com 4ton/ha de NS resultou em uma média de 0,3250un, representando uma diminuição de -18,75% em relação ao controle. Com a aplicação de 8ton/ha de NS, a média caiu para 0un, apresentando uma diminuição brusca resultando em uma redução de -100% em relação ao controle (Tabela 12).

Para as Fibras do Feixe Vascular Médio Parte Adaxial (FVM-FAD), a média no controle foi de 6,5000un. Com a aplicação de 4ton/ha de NS, a média aumentou para 8,5625un, o que representa um aumento de 31,73% em relação ao controle. Com a adição de 8ton/ha de NS, a média foi de 6,5000, refletindo uma diminuição de 0% em relação ao tratamento controle (Tabela 12).

As Fibras do Feixe Vascular Central Parte Adaxial (FVC-FAD) mostraram uma média de 13,8750un no controle. No tratamento com 4ton/ha de NS, a média foi de 10,0000un, o que representa uma diminuição de -27,93% em relação ao controle. Com a aplicação de 8ton/ha de NS, a média subiu para 13,2500un, apresentando uma recuperação de -4,50% em comparação ao controle, mas ainda abaixo da expectativa em relação ao tratamento controle (Tabela 12).

Na análise das fibras abaxiais, as Fibras do Feixe Vascular Pequeno (FVP-FAB) apresentaram média de 2,3500un no controle. Com o tratamento de 4ton/ha de NS, a média foi de 2,1000un, indicando uma diminuição de -10,64% em relação ao controle. No tratamento com 8ton/ha de NS, a média foi de 1,4750un, refletindo uma redução adicional de -37,23% em relação ao controle, o que sugere que uma diminuição da quantidade de fibras abaxiais (Tabela 12).

Para as Fibras do Feixe Vascular Médio Parte Abaxial (FVM-FAB), a média no controle foi de 5,6250un, enquanto o tratamento com 4ton/ha de NS produziu uma média de 5,1250un, resultando em uma diminuição de -8,89% em relação ao controle. A aplicação de 8ton/ha de NS levou a uma média de 6,1250un, apresentando um aumento de 8,89% em comparação com o tratamento controle (Tabela 12).

As Fibras do Feixe Vascular Central Parte Abaxial (FVC-FAB) apresentaram uma média de 24,6250un no controle. No tratamento com 4ton/ha de NS, a média foi de 23,0000un, representando uma diminuição de -6,60% em relação ao controle. Com a aplicação de 8ton/ha de NS, a média aumentou para 28,6250un, refletindo um aumento notável de 16,24% em relação ao controle (Tabela 12).

Em relação às Fibras Laterais (FL), a média observada no controle foi de 32,5000un. Com a aplicação de 4ton/ha de NS, a média foi de 29,6250un, resultando em uma redução de -8,85% em relação ao controle. Quando se aplicou 8ton/ha de NS, a média caiu ainda mais para 26,7500un, refletindo uma diminuição total de -17,69% em comparação ao controle (Tabela 12).

As medições da espessura da epiderme também mostraram resultados relevantes de serem observados, embora não significativos. A Espessura da Epiderme Adaxial (EP. ADAX.) teve uma média de 10,0223µm no controle, enquanto o tratamento com 4ton/ha de NS resultou em uma média de 11,2570µm, indicando um aumento de 12,32% em relação ao controle. No tratamento com 8ton/ha de NS, a média foi de 12,5948µm, apresentando um aumento adicional de 25,67% em relação ao controle (Tabela 12).

A Espessura da Epiderme Abaxial (EP. ABAX.) apresentou uma média de 9,3975µm no controle, com um aumento para 9,9670µm no tratamento de 4ton/ha de NS, refletindo um aumento de 6,06% em relação ao controle. Com a aplicação de 8ton/ha de NS, a média foi de 11,0632µm, apresentando um aumento significativo de 17,72% em comparação ao controle (Tabela 12).

A Espessura da Lâmina Foliar (ESP. LAM.) mostrou uma média de 207,5800µm no controle. No tratamento com 4ton/ha de NS, a média foi de 195,4800µm, o que representa uma diminuição de -5,83% em relação ao controle. No tratamento com 8ton/ha de NS a média aumentou para 219,5800µm, refletindo um aumento positivo de 5,78% em relação ao controle (Tabela 12).

3.3. Degradação *in situ*

Não houve interação (P>0,05) para todos os parâmetros analisados de degradação em relação aos tratamentos. No entanto, é válido assimilar tais resultados com as demais análises o que permite *insights* mais precisos (Tabela 13).

Tabela 11 Valores Médios da FDN, FDA e LIGNINA da folha, do colmo e total do Capiaçu sob aplicação de KCl e diferentes níveis de Nefelina Sienito.

ITEM		TRATAMENTOS							R²	CV(%)	EPM
		CONTROLE	KCl 280kg/ha	NS 2ton/ha	NS 4ton/ha	NS 6ton/ha	NS 8ton/ha	NS 10ton/ha			
FDN (g/kg)	Folha	764,6a	767,1a	737,14b	734,23b	714,93c	714,16c	734,9b	0,99	0,36	0,26
	Colmo	833,48a	835,45a	803,01b	803,79b	772,86c	775,73c	801,36b	0,99	0,34	0,28
	Total	799,03a	801,27a	770,07b	769,01b	743,89c	744,94c	768,13b	0,99	0,23	0,18
FDA (g/kg)	Folha	428,64a	424,25a	373,98c	373,51c	324,62d	321,75d	394,75b	0,99	0,67	0,25
	Colmo	556,12a	553,31a	502,93b	472,93d	472,96d	483,62c	507,55b	0,99	0,64	0,32
	Total	492,38a	488,78a	438,45c	423,22d	398,79e	402,69e	451,15b	0,99	0,43	0,19
LIGNINA (g/kg)	Folha	64,86ab	72,42a	62,59b	56,27bcd	52,38cd	51,3d	61,4bc	0,82	6,83	0,41
	Colmo	93,15a	93,17a	75,23c	71,67c	61,83d	65,48d	85,85b	0,99	2,25	0,18
	Total	79,01ab	82,8a	68,91cd	63,97de	57,1f	58,39ef	73,63bc	0,96	3,55	0,25

*Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Duncan a 5% de significância. FDN: Fibra em Detergente Neutro; FDA: Fibra em Detergente Ácido.

Tabela 12 Valores médios dos constituintes anatômicos do Capiaçu em função de diferentes níveis de Nefelina Sienito.

	TRATAMENTOS			R²	CV	EPM	RELAÇÃO PERCENTUAL	
	0	4ton/ha de NS	8ton/ha de NS				4-0	8-0
FVP-FAD	0,4000	0,3250	0	0.33	161.89	0.39	-18,75	-100,00
FVM-FAD	6,5000	8,5625	6,5000	0.68	13.80	0.99	31,73	0,00
FVC-FAD	13,8750	10,0000	13,2500	0.65	18.23	2.26	-27,93	-4,50
FVP-FAB	2,3500	2,1000	1,4750	0.46	39.91	0.79	-10,64	-37,23
FVM-FAB	5,6250	5,1250	6,1250	0.16	31.11	1.75	-8,89	8,89
FVC-FAB	24,6250	23,0000	28,6250	0.56	20.09	5.11	-6,60	16,24
FL	32,5000	29,6250	26,7500	0.41	23.44	6.94	-8,85	-17,69
EP. ADAX.	10,0223	11,2570	12,5948	0.59	11.44	2.29	12,32	25,67
EP. ABAX.	9,3975	9,9670	11,0632	0.48	11.97	1.21	6,06	17,72
ESP. LAM.	207,5800	195,4800	219,5800	0.65	7.98	16.57	-5,83	5,78

*FVP-FAD = Fibras do Feixe Vascular Pequeno Parte Adaxial; FVM-FAD = Fibras do Feixe Vascular Médio Parte Adaxial; FVC-FAD = Fibras do Feixe Vascular Central Parte Adaxial; FVP-FAB = Fibras do Feixe Vascular Pequeno Parte Abaxial; FVM-FAB = Fibras do Feixe Vascular Médio Parte Abaxial; FVC-FAD = Fibras do Feixe Vascular Central Parte Abaxial; FL = Fibras Laterais; EP. ADAX. = Espessura da Epiderme Adaxial; EP. ABAX. = Espessura da Epiderme Abaxial e ESP. LAM. = Espessura da Lâmina Foliar.

Tabela 13 Valores médios da degradabilidade da matéria seca (MS) do capiaçu em função do controle, KCl e níveis de NS.

ITEM	TRATAMENTOS							R²	CV(%)	EPM
	CONTROLE	KCl 280kg/ha	NS 2ton/ha	NS 4ton/ha	NS 6ton/ha	NS 8ton/ha	NS 10ton/ha			
FRAÇÃO A	20,9103	23,3522	21,7798	19,8519	22,6458	22,2275	19,1948	0,1290	7,2080	1,5442
FRAÇÃO B	90,0619	44,7077	56,8270	54,5179	54,1162	74,2447	70,5317	0,0073	26,5675	16,8896
FRAÇÃO C	0,0079	0,0220	0,0150	0,0170	0,0162	0,0107	0,0112	0,0701	34,9727	0,0050
DP	110,97	68,06	78,61	74,37	76,76	96,47	89,73	0,0360	17,6996	15,5435
DE2%	46,50	46,77	46,13	44,90	46,86	48,10	44,51	0,0071	3,1794	1,4678
DE5%	33,25	37,01	34,89	33,68	35,89	35,32	32,10	0,0071	4,6470	1,5887
DE8%	29,04	33,00	30,75	29,41	31,76	30,99	27,86	0,0109	5,3725	1,6101

*FRAÇÃO A: Fração Solúvel; FRAÇÃO B: Fração Potencialmente Degradável; FRAÇÃO C: Taxa de Degradação "kd"; DP: Degradabilidade Potencial; DE2%: Degradabilidade Efetiva à 2%; DE5%: Degradabilidade Efetiva à 5%; DE8%: Degradabilidade Efetiva à 8%.

4. DISCUSSÃO

Os resultados da pesquisa revelam que a aplicação de NS em doses de 6 e 8 ton/ha reduziu significativamente os teores de FDN, FDA e lignina nas folhas, colmo e total da BRS Capiaçu, em comparação ao controle e ao tratamento com KCl. Esses achados sugerem que o silício (Si) e o potássio (K) presentes no NS modulam a composição da parede celular, reduzindo a fração fibrosa e, potencialmente, melhorando a qualidade nutricional da forrageira.

Essa redução corrobora com a hipótese central do estudo, que postula que o Si e o K da NS diminuem os componentes fibrosos, especialmente a lignina, devido à substituição desta por Si na estrutura celular. Tal efeito está alinhado com a literatura que explora a interação do Si com a parede celular. Singh et al. (2023) afirmam que o Si forma ligações covalentes com os componentes da parede celular, melhorando a formação estrutural. Hodson e Guppy (2022) complementam essa visão ao propor que o SiO_2, ao substituir carbono na parede celular, promove uma economia energética na planta, o que pode explicar os menores teores de lignina observados. Sheng e Chen (2020) sugerem que complexos Si-O-C com polissacarídeos diminuem a necessidade de lignina, um achado refletido na presente pesquisa.

Melo et al. (2023) observaram que a aplicação de nanosílica em *Megathyrsus maximus* sob excesso de fósforo reduziu o teor de lignina, corroborando a ideia de que o Si pode substituir compostos estruturais na parede celular. Hao et al. (2020) também encontraram uma correlação negativa entre Si e carbono em gramíneas, indicando que o aumento de Si no tecido vegetal, promovido pelo NS (ex.: até 4924 kg/ha de SiO_2 em 10 ton/ha), reduz a proporção de compostos fibrosos ricos em carbono, como celulose e lignina. Esses estudos reforçam a plausibilidade do mecanismo proposto, destacando o papel do Si como modulador da composição química da planta.

Comparado ao KCl, o NS apresentou vantagens claras na redução de fibras, sugerindo um efeito sinérgico entre Si e K. Véras et al. (2024) relataram aumento na taxa de aparecimento de folhas e biomassa em *Panicum maximum* com adubação potássica, mas sem redução de fibras, indicando que o impacto observado aqui resulta da combinação única de nutrientes no NS. Buchelt et al. (2021) observaram que a fertigação com Si em *Panicum maximum* aumentou o teor de proteína bruta, um efeito indireto que pode estar relacionado à diminuição de FDN e FDA na BRS Capiaçu.

Apesar das convergências, os resultados divergem de alguns estudos. Fleck et al. (2011) observaram aumento da lignificação em raízes de arroz (*Oryza sativa*) com aplicação de Si, contrastando com a redução de lignina aqui observada. Essa discrepância pode ser explicada por diferenças metodológicas e contextuais. Enquanto Fleck et al. (2011) analisaram raízes em condições anaeróbicas usando técnicas moleculares como PCR em tempo real, o presente estudo focou em folhas sob condições aeróbicas e controladas, com análise bromatológica quantitativa. O contexto tropical da BRS Capiaçu, adaptada a solos intemperizados, pode ter favorecido a deposição de Si na epiderme em detrimento da lignificação interna, como sugerido por Sheng et al. (2018).

Brennecke et al. (2015) relataram aumento de FDA (+37,4%) em *Urochloa brizantha* cv. Marandu com silício orgânico, mas sem efeito significativo na FDN, divergindo da redução de ambos na presente pesquisa. Essa diferença pode ser atribuída às doses aplicadas, enquanto Brennecke et al. (2015) usaram 50-100 kg/ha, o NS foi aplicado em até 10 ton/ha, permitindo uma liberação gradual de Si e K que influenciou mais intensamente a composição química.

Outro ponto de divergência é a ausência de análise qualitativa da lignina (razão S:G), que He et al. (2018) consideram mais relevante que o teor total para a degradabilidade. A redução quantitativa aqui observada não foi acompanhada de dados qualitativos, limitando comparações diretas. Głazowska et al. (2018) encontraram que o Si altera polímeros não celulósicos em *Brachypodium distachyon* sem impacto significativo na recalcitrância, enquanto na BRS Capiaçu a redução de FDN e FDA sugere um efeito mais pronunciado, possivelmente devido à maior capacidade de acumulação de Si em gramíneas tropicais.

A redução de componentes fibrosos é um achado relevante para a nutrição animal, pois pastos com menor FDN e FDA são mais facilmente degradados no rúmen, enquanto a diminuição da lignina facilita o acesso dos microrganismos aos carboidratos estruturais (Paciullo et al., 2001). Queiroz et al. (2000) e Bauer et al. (2008) estabeleceram correlações negativas entre FDN, FDA, lignina e a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), destacando que espécies com maior lignificação têm menor valor nutritivo. Na presente pesquisa, a redução de lignina de 79,01 g/kg para 57,1 g/kg com 6 ton/ha posiciona o NS como uma ferramenta promissora para melhorar a qualidade da forrageira, especialmente em sistemas pecuários tropicais onde o BRS Capiaçu é amplamente utilizado como fonte de volumoso.

No entanto, a reversão parcial dos benefícios em 10 ton/ha (ex.: FDN sobe para 734,9 g/kg na folha) sugere há um limite de eficiência do NS, possivelmente devido à saturação de Si no solo ou competição com outros nutrientes. Nesta perspectiva, o Si melhora a nutrição vegetal

ao modificar a estrutura celular, mas doses excessivas podem comprometer o equilíbrio nutricional, um aspecto que merece maior exploração.

De acordo com os achados para o contexto anatômico, os resultados indicam que o Si da NS fortalece a estrutura foliar de forma heterogênea, priorizando a epiderme em detrimento de algumas fibras internas. Essa tendência converge com a literatura que associa o Si ao aumento da rigidez celular. Singh et al. (2023) e He et al. (2013) relatam que o Si, ao formar ligações Si-O-C com polissacarídeos, melhora a resistência mecânica da parede celular, consistente com o espessamento epidérmico observado. Sheng et al. (2018) demonstram que o Si ligado à parede celular estabiliza a membrana plasmática em arroz, sugerindo que o aumento da espessura epidérmica na BRS Capiaçu pode refletir uma adaptação protetora contra radiações ou perda hídrica, comum em climas tropicais. Rocha et al. (2022) observaram maior rigidez em Panicum maximum com Si sob déficit hídrico, um efeito que, embora não testado sob estresse neste estudo, corrobora o potencial estrutural do NS.

Paciullo et al. (2002) notaram que lâminas foliares de nível de inserção superior em gramíneas apresentam maior proporção de esclerênquima e paredes mais espessas, um padrão que o NS parece replicar ao reforçar a epiderme. Jinger et al. (2020) relataram que o Si em *Oryza sativa* engrossa as paredes celulares, reduzindo a transpiração, um mecanismo que pode explicar os resultados, mesmo sem testes de seca. Esses estudos sugerem que o Si do NS atua como um agente de suporte estrutural, alinhado à hipótese de espessamento celular testada.

Por outro lado, a redução de fibras vasculares diverge de Fleck et al. (2011), que observaram aumento da suberização e lignificação em raízes de arroz com Si. Essa diferença pode ser atribuída ao órgão analisado (folhas vs. raízes) e ao contexto ambiental. Em condições anaeróbicas, o Si reforça barreiras internas para reduzir a perda radial de oxigênio, enquanto no Capiaçu, cultivado em solo bem drenado e irrigado, o Si pode ter sido direcionado à epiderme para proteção externa (Guerriero et al., 2016). Zexer e Elbaum (2020) indicam que a lignina modificada nucleia Si em sorgo, mas a redução de lignina aqui observada sugere que o Si atua independentemente da lignina em algumas estruturas da BRS Capiaçu.

Comparado a Brennecke et al. (2017), que não observaram alterações morfológicas significativas em Urochloa brizantha com Si aplicado junto a calcário, os resultados destacam a eficácia do NS isolado. A interação com calcário pode ter reduzido a disponibilidade do presente trabalho Si, enquanto o solo, previamente já equilibrado, potencializou os efeitos do NS. A falta de significância estatística ($P > 0,05$) pode ser explicada por fatores metodológicos, como o tamanho amostral reduzido (5 plantas por bloco) e alta variabilidade (CV), comprometendo a potência do teste.

O espessamento epidérmico sugere maior resistência a estresses físicos, como pisoteio ou ventos, e eficiência hídrica, aspectos cruciais para pastagens tropicais sujeitas a condições adversas. Pereira et al. (2018) destacam que forrageiras adaptadas a sombreamento reduzem a espessura da lâmina foliar, mas a NS contrabalança esse efeito, promovendo resistência sem comprometer a fotossíntese. A redução seletiva de fibras, combinada com menor lignina, indica um equilíbrio entre suporte e flexibilidade, facilitando o manejo e a adaptação da planta a pastejo intensivo.

Os achados para a degradabilidade in situ contrastam com a expectativa inicial de que a redução de lignina e o espessamento celular melhoram a degradabilidade ruminal. A ausência de impacto significativo contrasta com alguns estudos da literatura. Głazowska et al. (2018) observaram que o Si não altera a sacarificação enzimática em Brachypodium distachyon, mesmo com mudanças na parede celular, sugerindo que tais alterações nem sempre se traduzem em maior degradabilidade. Melo et al. (2023) também relataram que a nanosílica não afetou a digestibilidade de Megathyrsus maximus, apesar da redução de lignina, o que corrobora a ideia de que mudanças químicas isoladas não garantem benefícios funcionais no rúmen. Smith et al. (1971) indicam que a sílica bruta pode reduzir a digestibilidade in vitro, mas o NS, com Si de baixa solubilidade, parece não ter depositado sílica amorfa em quantidade suficiente para impactar negativamente, resultando em um efeito neutro.

Paciullo et al. (2001) estabeleceram que a espessura da parede celular e a lignina são os principais limitantes da degradação ruminal em gramíneas. Na presente pesquisa, embora a lignina tenha diminuído, o espessamento epidérmico (+25,67% em 8 ton/ha) pode ter criado uma barreira física, compensando os ganhos esperados na degradabilidade. Monção et al. (2019) e Martins et al. (2020) reportaram quedas na degradabilidade potencial do BRS Capiaçu com o avanço da idade de rebrota (ex.: de 68,9% aos 30 dias para 44,7% aos 150 dias), mas os valores aqui encontrados (ex.: 96,47% com 8 ton/ha) sugerem que o NS estabiliza a degradabilidade em plantas maduras, ainda que sem incrementos expressivos.

Esse resultado diverge de expectativas baseadas em estudos como Queiroz et al. (2000) e Bauer et al. (2008), que correlacionaram menores teores de FDN, FDA e lignina a maior digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS). Na presente pesquisa, a redução de lignina de 79,01 g/kg para 57,1 g/kg com 6 ton/ha deveria, em tese, elevar a degradabilidade, mas isso não ocorreu de forma significativa. Buchelt et al. (2021) associaram o Si a maior eficiência de nitrogênio e proteína em *Panicum maximum*, sugerindo um impacto indireto na qualidade nutricional que poderia facilitar a digestão ruminal.

Galindo et al. (2020) observaram efeitos limitados do Si em milho sem estresse, sugerindo que os benefícios nutricionais do NS podem ser mais evidentes em condições adversas. Além disso, a BRS Capiaçu, uma gramínea tropical de alta biomassa, pode ter uma parede celular menos responsiva ao Si em termos de degradabilidade do que espécies como milho ou arroz, devido a diferenças na estrutura celular (Moghaddam et al., 1998).

5. CONCLUSÃO

A utilização dos níveis de 6 e 8 ton/ha de NS reduziram significativamente os teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina nas folhas, colmo e total da planta, em comparação aos tratamentos controle e KCl. No entanto, doses mais elevadas (10 ton/ha) indicaram uma reversão parcial desses benefícios, apontando um limite de eficiência do NS. Em termos anatômicos, a aplicação de NS promoveu espessamento da epiderme adaxial e abaxial, embora sem significância estatística, acompanhado de variações heterogêneas nas fibras vasculares, como a redução de -100% nas fibras do feixe vascular pequeno parte adaxial (FVP-FAD) em 8 ton/ha. Contrariando as expectativas, a degradabilidade *in situ* não apresentou influência para os tratamentos em nenhum dos parâmetros analisados, sugerindo que as mudanças químicas e estruturais não se traduziram em maior degradabilidade ruminal. Do ponto de vista prático, recomenda-se a aplicação de NS em níveis de 6 a 8 ton/ha para otimizar a qualidade nutricional da BRS Capiaçu em sistemas pecuários tropicais, aproveitando a redução de FDN, FDA e lignina para potencializar o valor nutritivo do pasto.

6. REFERÊNCIAS

Bauer, M. D. O., Gomide, J. A., Silva, E. A. M. D., Regazzi, A. J., & Chichorro, J. F. (2008). Características anatômicas e valor nutritivo de quatro gramíneas predominantes em pastagem natural de Viçosa, MG. **Revista Brasileira de Zootecnia**, *37*, 9-17.

Brennecke, K., Simões, T. R., & Ferraz, F. M. (2017). Características morfológicas de Urochloa brizantha cv. Marandu adubadas com silício na aplicação do calcário. **Revista Agrogeoambiental**, *9*(1).

BRENNECKE, Käthery et al. Fibras em Brachiaria urochloa cv. Marandu adubadas com fontes orgânica e inorgânica de silício. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 8, n. 2, p. 111-117, jun. 2015.

Buchelt, A. C., de Mello Prado, R., Caione, G., de Almeida Carneiro, M., & Litter, F. A. (2021). Effects of silicon fertigation on dry matter production and crude protein contents of a pasture. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, *21*, 3402-3413.

DETMANN, E. Costa e Silva LF, Rocha GC, Palma MNN, Rodrigues JPP. **Métodos para análise de alimentos-INCT-Ciência Animal. Visconde do Rio Branco: Suprema**, 2021.

Faria Melo CC, Amaral DS, de Moura Zanine A, de Jesus Ferreira D, de Mello Prado R, de Cássia Piccolo M. Nanosilica enhances morphogenic and chemical parameters of Megathyrsus maximus grass under conditions of phosphorus deficiency and excess stress in different soils. **BMC Plant Biol**. 2023 Oct 17;23(1):497. doi: 10.1186/s12870-023-04521-3. PMID: 37845606; PMCID: PMC10580593.

Fleck, A. T., Nye, T., Repenning, C., Stahl, F., Zahn, M., & Schenk, M. K. (2011). Silicon enhances suberization and lignification in roots of rice (Oryza sativa). **Journal of Experimental Botany**, *62*(6), 2001-2011.

Galindo, F. S., Pagliari, P. H., Buzetti, S., Rodrigues, W. L., Santini, J. M. K., Boleta, E. H. M., ... & Filho, M. C. M. T. (2020). Can silicon applied to correct soil acidity in combination with Azospirillum brasilense inoculation improve nitrogen use efficiency in maize?. **PLoS One**, *15*(4), e0230954.

Głazowska, S., Baldwin, L., Mravec, J., Bukh, C., Hansen, T. H., Jensen, M. M., ... & Schjoerring, J. K. (2018). The impact of silicon on cell wall composition and enzymatic saccharification of Brachypodium distachyon. **Biotechnology for Biofuels**, *11*, 1-18.

Guerriero, G., Hausman, J. F., & Legay, S. (2016). Silicon and the plant extracellular matrix. **Frontiers in plant science**, *7*, 463.

Hao, Q., Yang, S., Song, Z., Li, Z., Ding, F., Yu, C., ... & Liu, H. (2020). Silicon affects plant stoichiometry and accumulation of C, N, and P in grasslands. **Frontiers in Plant Science**, *11*, 1304.

He, Y., Mouthier, T. M., Kabel, M. A., Dijkstra, J., Hendriks, W. H., Struik, P. C., & Cone, J. W. (2018). Lignin composition is more important than content for maize stem cell wall degradation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, *98*(1), 384-390.

Jinger, D., Dhar, S., Dass, A., Sharma, V. K., Shukla, L., Parihar, M., … Jatav, H. S. (2020). Crop Productivity, Grain Quality, Water Use Efficiency, and Soil Enzyme Activity as Influenced by Silicon and Phosphorus Application in Aerobic Rice (*Oryza sativa*). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, *51*(16), 2147–2162. https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1812629

Leitão, C. A. E.. (2018). Working Optimally with Serial Sections in Glycol Methacrylate Resin. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, *61*, e18180103. https://doi.org/10.1590/1678-4324-2018180103

Martins, L. F., Prado, D. M. B., Gomes, G. R., Teixeira, A. M., Oliveira, L. N., Gonçalves, L. C., & Oliveira, F. S. (2020). Valor nutricional do capim-elefante verde colhido em diferentes idades de rebrota. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, *72*(05), 1881-1890.

O'Brien TP, Feder N, McCully ME (1964) Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma** 59:368–373

ØRSKOV, E. R.; McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **The Journal of Agricultural Science**, v. 92, n. 2, p. 499-503, 1979.

Paciullo, D. S. C., Gomide, J. A., Silva, E. A. M. D., Queiroz, D. S., & Gomide, C. A. M. (2002). Características anatômicas da lâmina foliar e do colmo de gramíneas forrageiras tropicais, em função do nível de inserção no perfilho, da idade e da estação de crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, *31*, 890-899.

Paciullo, D. S. C., Gomide, J. A., Queiroz, D. S., & Silva, E. A. M. D. (2001). Correlações entre componentes anatômicos, químicos e digestibilidade in vitro da matéria seca de gramíneas forrageiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, *30*, 955-963.

Pereira, K. A., Anésio, A. H. C., Lobo, U. G. M., de Oliveira, A. R., & Campos, J. C. D. (2018). Parâmetros anatômicos, morfológicos e fisiológicos de forrageiras cultivadas em sistema agrossilvipastoril: uma revisão. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, *11*(4), 1333-1355.
QUEIROZ, D. S.; GOMIDE, J. A.; MARIA, J. Avaliação da folha e do colmo de topo e base de perfilhos de três gramíneas forrageiras. 2. Anatomia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 1, p. 61-68, 2000.

Moghaddam, P. R., & Wilman, D. (1998). Cell wall thickness and cell dimensions in plant parts of eight forage species. **The journal of agricultural science**, *131*(1), 59-67.

Ribeiro, VC, Leitão, CAE. Utilização de azul de toluidina O pH 4,0 e inferências histoquímicas em cortes de plantas obtidos à mão livre. **Protoplasma 257** , 993–1008 (2020). https://doi.org/10.1007/s00709-019-01473-0

Rocha, J. R., de Mello Prado, R., & de Cássia Piccolo, M. (2022). New outcomes on how silicon enables the cultivation of Panicum maximum in soil with water restriction. **Scientific Reports**, *12*(1), 1897.

Sheng, H., Ma, J., Pu, J., & Wang, L. (2018). Cell wall-bound silicon optimizes ammonium uptake and metabolism in rice cells. **Annals of botany**, *122*(2), 303-313.

Sheng, H., & Chen, S. (2020). Plant silicon-cell wall complexes: Identification, model of covalent bond formation and biofunction. **Plant Physiology and Biochemistry**, *155*, 13-19.

Singh, P., Kumar, V., & Sharma, A. (2023). Interaction of silicon with cell wall components in plants: A review. **Journal of Applied & Natural Science**, *15*(2).

Smith, G. S., Nelson, A. B., & Boggino, E. J. (1971). Digestibility of forages in vitro as affected by content of "silica". *Journal of Animal Science*, *33*(2), 466-471.

Véras, E. L. D. L., Difante, G. D. S., Araújo, A. R. D., Montagner, D. B., Monteiro, G. O. D. A., Araújo, C. M. C., ... & Santana, J. C. S. (2024). Potassium Fertilization Alters the Morphogenetic, Structural, and Productive Characteristics of Panicum maximum Cultivars. **Grasses**, *3*(4), 287-296.

Zexer, N., & Elbaum, R. (2020). Unique lignin modifications pattern the nucleation of silica in sorghum endodermis. **Journal of Experimental Botany**, *71*(21), 6818-6829.