

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**Janaína Sthefane Silva Santos**

**ADUBAÇÃO COM FONTES NITROGENADAS E ENXOFRE ELEMENTAR: RESPOSTA  
AGRONÔMICA DO CAPIM BRS PAIAGUÁS E ACIDIFICAÇÃO DE SOLO ALCALINO**

**Montes Claros  
2024**

**Janaína Sthefane Silva Santos**

**ADUBAÇÃO COM FONTES NITROGENADAS E ENXOFRE ELEMENTAR: RESPOSTA AGRONÔMICA DO CAPIM BRS PAIAGUÁS E ACIDIFICAÇÃO DE SOLO ALCALINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

**Orientador:** Prof. Thiago Gomes dos Santos Braz

**Coorientador:** Prof. Luiz Arnaldo Fernandes

Montes Claros  
2024

Santos, Janáina Sthefane Silva.

S237a  
2024      Adubação com fontes nitrogenadas e enxofre elementar [manuscrito]: resposta agrônômica do capim BRS paiaguás e acidificação de solo alcalino / Janáina Sthefane Silva Santos. Montes Claros, 2024.  
68 f.:il.

Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador: Thiago Gomes dos Santos Braz  
Banca examinadora: Rodinei Facco Pegoraro, Luiz Arnaldo Fernandes, Virgílio Gomes Mesquita.

Inclui referências: f. 28-33; 61-66

1. Solos – Teor de nitrogênio – Teses. 2. Solos – Correção – Teses. 3. Solos – Fertilidade – Teses. 4. Capim-braquiaria – Teses. I. Braz, Thiago Gomes dos Santos. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 631.8



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL

### ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 30 dias do mês de setembro do ano de dois mil e vinte e quatro, às 9:00 horas, sob a Presidência do Professor Thiago Gomes dos Santos Braz, D. Sc. (Orientador – UFMG/ICA) e com a participação dos Professores Luiz Arnaldo Fernandes, D. Sc. (Coorientador – UFMG/ICA), Rodinei Facco Pegoraro, D. Sc. (UFMG/ICA) e Virgílio Mesquita Gomes, D. Sc. (Unimontes), reuniu-se, presencialmente, a Banca de Defesa de Dissertação de **Janaina Sthéfane Silva Santos**, aluna do Curso de Mestrado em Produção Vegetal. Após avaliação da defesa de Dissertação da referida aluna, a Banca Examinadora procedeu à publicação do resultado da defesa de Dissertação intitulada: **“Adubação com fontes nitrogenadas e enxofre elementar: resposta agrônômica do capim BRS Paiguás e acidificação de solo alcalino”**, sendo a aluna considerada (aprovada/reprovada) **Aprovada**. E, para constar, eu, Professor Thiago Gomes dos Santos Braz, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

OBS.: A aluna somente receberá o título após cumprir as exigências do ARTIGO 65 do regulamento do Curso de Mestrado em Produção Vegetal, conforme apresentado a seguir:

**Art. 65 Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação ou Tese e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do Colegiado do Programa, com a anuência do orientador, 1 (um) exemplar impresso e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação ou, tese, no prazo de 60 (sessenta) dias.**

Montes Claros, 30 de setembro de 2024.

THIAGO GOMES DOS SANTOS BRAZ  
Orientador

LUIZ ARNALDO FERNANDES  
Coorientador

RODINEI FACCO PEGORARO  
Membro

VIRGÍLIO MESQUITA GOMES  
Membro



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Gomes dos Santos Braz, Professor do Magistério Superior**, em 01/10/2024, às 13:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rodinei Facco Pegoraro, Professor do Magistério Superior**, em 01/10/2024, às 13:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Arnaldo Fernandes, Coordenador(a)**, em 01/10/2024, às 13:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Virgílio Mesquita Gomes, Usuário Externo**, em 02/10/2024, às 10:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3600567** e o código CRC **34A41531**.

---

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a Deus que soprou fôlego de vida em mim, me foi sustento e acalento nas horas difíceis, me deu coragem para enfrentar um mundo de possibilidades e atendeu todas as minhas orações.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus e à Nossa Senhora, por estarem sempre comigo, iluminando cada passo meu e me abençoando. Obrigada por me darem o discernimento e força necessária para enfrentar todos os obstáculos.

À Universidade Federal de Minas Gerais e ao Instituto de Ciências Agrárias por toda infraestrutura fornecida, em especial aos Laboratórios de Solos e de Resíduos, pelo suporte técnico e científico indispensável para a realização deste trabalho.

A todos os professores do Programa de pós-graduação Vegetal que contribuíram na minha formação.

Aos órgãos de fomento Fapemig e CAPES pelo apoio financeiro da pesquisa.

A minha família, em especial minhas Avós Aguida e Zilda por apoiarem todas as escolhas que fiz durante minha vida e sempre cuidar tão bem de mim. Vocês são minha inspiração e motivação para buscar sempre o melhor.

A minha irmã Cecilia que tem sido uma companheira incansável, modelo de superação e determinação. Buquei ser sempre o melhor espelho possível graças a sua força inspiradora.

Ao meu esposo e companheiro Lucas Maia, meu eterno agradecimento por compreender todos os meus momentos de ausência. Seu valioso e incansável apoio foi definitivo em todos os momentos deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Thiago Gomes dos Santos Braz por todo suporte nas correções e incentivos, pela ajuda e pela paciência com a qual conduziu o meu aprendizado até aqui, sua dedicação foi fundamental em cada etapa deste processo.

Ao meu coorientador Prof. Luiz Arnaldo Fernandes por toda orientação e auxílio com sugestão afim de sempre contribuir para melhorias deste trabalho.

Aos grandes amigos que fiz na pós-graduação Ana Luiza e Murilo por todo companheirismo durante este percurso, compartilhando conhecimento, e sempre prontos para ajudar. Obrigada pela amizade, pelo carinho e por serem sempre solícitos.

Ao grupo de estudos do GEFOR, em especial Antônio, Arthur, Emanuel, Ellen e João, e a todos os envolvidos na execução do projeto prático cujos esforços e auxílio tornaram possível a concretização deste trabalho.

À todos meu MUITO OBRIGADA.

“Amar a Deus é algo maior do que apenas conhecê-lo.”

São Tomás de Aquino

## RESUMO

A irrigação com água calcária proveniente de poços tubulares é uma das principais causas de alcalinização dos solos cultivados. O pH elevado de alguns desses solos pode prejudicar a absorção e levar a perdas de nutrientes como nitrogênio (N). Porém, a própria adubação nitrogenada e com enxofre (S) são alternativas para reduzir o pH do solo e melhorar a eficiência da adubação com N. Objetivou-se avaliar o efeito de fontes nitrogenadas e do S elementar na resposta agronômica do capim BRS Paiaguás (*Urochloa brizantha*) e acidificação de solos irrigados com águas calcárias em diferentes cortes. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados com parcelas subdivididas no tempo, contendo cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram: controle sem nitrogênio (SN), ureia (UR), ureia com enxofre elementar (URS), nitrato de amônio (NA) e sulfato de amônio (SA). Todos os tratamentos com N receberam 250 kg ha<sup>-1</sup> de N e o tratamento com S, 60 kg ha<sup>-1</sup> de S elementar. As parcelas foram submetidas a três cortes de uniformização e, após o segundo corte de uniformização, aplicaram-se os tratamentos com quatro doses de 62,5 kg ha<sup>-1</sup> de N e, para os tratamentos contendo S, três doses de 20 kg ha<sup>-1</sup> de S elementar. As avaliações ocorreram em quatro períodos de 30 dias de crescimento da forrageira. Foram avaliados aspectos da produção, estrutura, clorofila e composição morfológica da planta. Além destes, avaliaram-se pH, N total do solo e a concentração de nutrientes no solo e na planta. A adubação com SA (55,5cm) e UR (55,1cm) resultou em maior altura que o controle (43,5cm). O número de perfilhos foi maior nas plantas adubadas que o controle, independentemente do tipo de adubação. A mesma resposta foi observada para massa seca de forragem que foi 85,77; 63,41; 56,32; e 51,13% superior ao controle nos tratamentos com NA, UR, URS e SA, respectivamente. Nenhum tratamento atingiu 95% de IL no estudo e as parcelas adubadas interceptaram mais luz que o controle. Houve interação entre tipo de adubação e corte para o teor de clorofila total. Nesse sentido, apenas no terceiro corte o tratamento UR (42,15) se diferenciou do controle (32,52). Houve efeito do tipo de adubação e de corte sobre o pH do solo. Assim, o pH das plantas adubadas com NA (7,25) foi maior que o pH do SA (6,81). Em relação às épocas, o pH apresentou aumento, sendo maior nos cortes 2 e 3 em relação ao corte 1. A adubação com N, independente da fonte utilizada, aumenta a produção de forragem, número de perfilhos e interceptação luminosa do capim BRS Paiaguás. O avanço das épocas proporciona aumento na produção e na interceptação de luz. Apenas a adubação com SA foi capaz de reduzir o pH em comparação ao tratamento NA.

Palavras-chave: amônio; nitrogênio; alcalinidade; pH do solo; ureia; *Urochloa Brizantha*.

## ABSTRACT

Irrigation with limestone water coming from tubular wells is one of the main causes of alkalization of cultivated soils. The high pH of some of these soils can impair absorption and lead to losses of nutrients such as nitrogen (N). However, nitrogen and sulfur (S) fertilization itself are alternatives to reduce soil pH and improve the efficiency of N fertilization. The aim of this study was to evaluate the effect of nitrogen sources and elemental S on the agronomic response of BRS Paiaguás grass (*Urochloa brizantha*) and acidification of soils irrigated with limestone water in different cuts. The experiment was conducted in a randomized block design with split plots in time, containing five treatments and four replicates. The treatments were: control without nitrogen (SN), urea (UR), urea with elemental sulfur (URS), ammonium nitrate (NA) and ammonium sulfate (SA). All N treatments received 250 kg ha<sup>-1</sup> of N and the S treatment received 60 kg ha<sup>-1</sup> of elemental S. The plots were subjected to three standardization cuts and, after the second standardization cut, they were applied treatments with four doses of 62.5 kg ha<sup>-1</sup> of N and, for the treatments containing S, three doses of 20 kg ha<sup>-1</sup> of elemental S. The evaluations took place in four 30-day periods of forage growth. They were evaluated aspects of the production, structure, chlorophyll and morphological composition of the plant. In addition to these, they were evaluated pH, total soil N and nutrient concentration in the soil and plant. Fertilization with SA (55.5 cm) and UR (55.1 cm) resulted in greater height than the control (43.5 cm). The number of tillers was greater in fertilized plants than in the control, regardless of the type of fertilization. The same response was observed for forage dry mass, which was 85.77; 63.41; 56.32; and 51.13% higher than the control in the treatments with NA, UR, URS and SA, respectively. No treatment reached 95% of IL in the study and the fertilized plots intercepted more light than the control. There was an interaction between fertilization type and cutting for total chlorophyll content. In this sense, only in the third cut did the UR treatment (42.15) differ from the control (32.52). There was an effect of the type of fertilization and cutting on the soil pH. Thus, the pH of the plants fertilized with NA (7.25) was higher than the pH of SA (6.81). Regarding the times, the pH increased, being higher in cuts 2 and 3 compared to cut 1. Fertilization with N, regardless of the source used, increases forage production, number of tillers and light interception of BRS Paiaguás grass. The advancement of the times provides an increase in production and light interception. Only fertilization with SA was able to reduce the pH compared to the NA treatment. The advancement of the times provides an increase in production and light interception. Only fertilization with SA was able to reduce the pH compared to the NA treatment.

Keywords: ammonium; nitrogen; alkalinity; soil pH; urea; *Urochloa Brizantha*.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-** Precipitação mensal acumulada (mm) e temperaturas máxima, médias compensadas e mínimas mensais obtidas de estação meteorológica posicionada a 500 m do campo experimental..... 36
- Figura 2-** Disposição dos tratamentos no delineamento experimental em função da aplicação de diferentes fontes nitrogenadas na acidificação do solo. UFMG, Montes Claros-MG, 2024..... 39
- Figura 3-** Potencial hidrogênio (pH) do solo em função da aplicação de diferentes fontes nitrogenadas na acidificação do solo. UFMG, Montes Claros-MG, 2024..... 43

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 -</b>	Características físicas e químicas do solo da área experimental coletado na camada de 0-20 cm. UFMG, Montes Claros-MG, 2024.....	37
<b>Tabela 2 -</b>	Nitrogênio total do solo (NTS) cultivado com capim BRS Paiaguás em função da aplicação de diferentes fontes nitrogenadas na acidificação do solo avaliado em quatro períodos de crescimento. UFMG, Montes Claros-MG, 2024.....	41
<b>Tabela 3 -</b>	Teores de fósforo disponível (P), potássio (K) e magnésio (Mg) no solo cultivado com capim BRS Paiaguás em função da aplicação de diferentes fontes nitrogenadas na acidificação do solo avaliado em quatro períodos de crescimento. UFMG, Montes Claros-MG, 2024.....	44
<b>Tabela 4 -</b>	Teor de cálcio (Ca) no solo cultivado com capim BRS Paiaguás em função da aplicação de diferentes fontes nitrogenadas na acidificação do solo avaliado em quatro períodos de crescimento. UFMG, Montes Claros-MG, 2024.....	45
<b>Tabela 5 -</b>	Índice de clorofila do capim BRS Paiaguás em função da aplicação de diferentes fontes nitrogenadas na acidificação do solo, avaliados em quatro períodos de crescimento. UFMG, Montes Claros-MG, 2024.....	46
<b>Tabela 6 -</b>	Aspectos produtivos do capim BRS Paiaguás em função da aplicação de diferentes fontes nitrogenadas na acidificação do solo, avaliados em quatro épocas de crescimento. UFMG, Montes Claros-MG, 2024.....	47
<b>Tabela 7 -</b>	Aspectos morfológicos do capim BRS Paiaguás em função da aplicação de diferentes fontes nitrogenadas na acidificação do solo, avaliados em quatro épocas de crescimento. UFMG, Montes Claros-MG, 2024.....	48
<b>Tabela 8 -</b>	Teor de nutrientes no tecido foliar do capim BRS Paiaguás em função da aplicação de diferentes fontes nitrogenadas na acidificação do solo avaliado em duas épocas de crescimento. UFMG, Montes Claros-MG, 2024.....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**CIAT** - Centro Internacional de Agricultura Tropical

**CTC** - Capacidade de troca catiônica

**V%** - Saturação por bases

**pH** - Potencial hidrogênico

**N** - Nitrogênio

**S** - Enxofre

**Ca** - Cálcio

**Mg** - Magnésio

**P** - Fósforo

**K** - Potássio

**C** - Carbono

**MOS** - Matéria orgânica

**Zn** - Zinco

**Fe** - Ferro

**Cu** - Cobre

**Mn** - Manganês

**Co** - Cobalto

**SN** - Sem nitrogênio

**UR** - Ureia

**URS** - Ureia e Enxofre

**SA** - Sulfato de amônio

**NA** - Nitrato de amônio

**MS** - Matéria seca

**IL** - Interceptação luminosa

**IAF** - Índice de área foliar

**NTS** - Nitrogênio total do solo

**CLA** - Clorofila *a*

**CLB** - Clorofila *b*

**CLT** - Clorofila total

**AP** - Altura de plantas

**NP** - Número de perfilhos

**NTS** - Nitrogênio total do solo

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
2.1 Objetivo Geral .....	17
2.2 Objetivos Específicos .....	17
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
3.1 <i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Paiaguás .....	18
3.2 Solos alcalinos .....	19
3.3 Fertilizantes nitrogenados.....	21
3.4 Nitrogênio no sistema solo-planta.....	24
3.5 Enxofre no sistema solo-planta.....	25
3.6 Relação N:S .....	26
<b>4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>28</b>
<b>5. ARTIGO: Fontes nitrogenadas e enxofre elementar na resposta agronômica do capim BRS Paiaguás e acidificação de solo alcalino .....</b>	<b>34</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>67</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>67</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Pastagens são amplamente distribuídas ao redor do mundo e funcionam como ecossistemas que fornecem forragem para alimentação dos ruminantes em sistemas naturais e de produção pecuária. Em países de clima tropical, como o Brasil, elas assumem importância ainda maior dado o elevado potencial de produção de biomassa (Congio et al., 2019). Isso reduz os custos com a alimentação dos rebanhos e torna o preço dos produtos de origem animal mais competitivos.

O aumento da produção das pastagens tropicais pode ocorrer por meio de tecnologias de manejo, adubação e irrigação. A irrigação é uma prática comumente utilizada em regiões semiáridas. Nesse caso, a irrigação fornece o fator mais limitante ao crescimento e produção de forragem e eleva consideravelmente a produção.

Apesar do benefício da irrigação, a utilização de águas subterrâneas com má qualidade pode alterar características químicas e físicas do solo e trazer prejuízos para o sistema de produção. A presença de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) na água aumenta os teores de Ca e eleva o pH do solo (Han et al., 2023). A alcalinidade desse solo pode reduzir a disponibilidade de micronutrientes, como ferro, zinco e o manganês e de macronutrientes como o fósforo. O elevado pH também favorece a volatilização da amônia proveniente de fontes minerais como a ureia e orgânicas de nitrogênio.

Essas mudanças podem reduzir a produção de forragem e a eficiência no uso dos insumos, levando à necessidade de corrigir a alcalinidade do solo. Fertilizantes nitrogenados e sulfurados são capazes de acidificar o solo por meio de reações químicas que liberam  $\text{H}^+$  e diminuem o pH. O sulfato de amônio, por exemplo, tem elevado potencial de acidificação do solo, além de reduzir as perdas de nitrogênio por volatilização (Bono et al., 2019). Porém, a avaliação de outras fontes como ureia, nitrato de amônio e ureia com enxofre devem ser testadas como alternativa de manejo mais eficiente.

Os benefícios da adubação com N e S são verificados nas características químicas do solo, no crescimento e desenvolvimento das plantas forrageiras. A adubação com nitrogênio é vista como a principal forma de elevar a produção de forragem, já que o N é o nutriente requerido em maiores quantidades pelas gramíneas forrageiras (Bourscheidt et al., 2019). O N é a base dos aminoácidos úteis para a síntese de proteínas e enzimas do metabolismo vegetal.

A adubação com enxofre, por sua vez, fornece nutriente para a planta e, também, interfere na resposta da planta forrageira à adubação nitrogenada. Como o enxofre participa

da formação de dois aminoácidos essenciais (cistina e metionina), sua deficiência limita a síntese de proteínas (Domingos et al., 2015). Ao ser aplicado nos solos, o S-elementar é oxidado a ácido sulfúrico, se tornando disponível para as plantas e contribuindo para a redução do pH em solos alcalinos. Por fim, aumenta-se a síntese de proteínas, o crescimento vegetal, a produção e qualidade nutricional da forrageira.

Em função das características apresentadas, torna-se importante estudar as adubações com nitrogênio e enxofre como formas de aumento da disponibilidade de nutrientes, melhoria do aproveitamento do N pela planta e acidificação de solos alcalinos.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito da adubação com fontes nitrogenadas e do enxofre elementar na resposta agronômica do capim BRS Paiaguás (*Urochloa brizantha*) e acidificação de solos irrigados com águas calcárias em diferentes cortes.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar características morfológicas e produtivas do capim BRS Paiaguás para determinar qual a melhor estratégia de adubação nitrogenada;
- Avaliar teores dos elementos minerais na biomassa forrageira, a fim de observar qual estratégia de adubação resultou em melhor absorção dos nutrientes;
- Avaliar os atributos químicos do solo em função das fontes nitrogenadas ou de nitrogênio com enxofre;
- Avaliar o teor total de N no solo, sob o efeito das estratégias de adubação nitrogenadas e sulfatada.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás

O gênero *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) pertence à família Poaceae, tribo Paniceae, subfamília Panicoideae e possui cerca de 100 espécies de ocorrência predominante no continente africano (Masters et al., 2023). As diferentes espécies do gênero *Urochloa* são encontradas em diversos habitats, desde regiões alagadas, áreas com vegetação arbórea aberta a regiões semiáridas. Elas também apresentam sistema radicular robusto e elevada produção de biomassa, podendo crescer em solos com baixa fertilidade. Essas características tornam essas espécies adequadas para climas tropicais e áreas com baixa tecnologia e investimento (Merloti et al., 2023).

As espécies do gênero *Urochloa* oferecem diversos benefícios para a implantação de pastagens. Isso inclui alta produção de biomassa, ciclo de vida perene e a capacidade de melhorar a saúde do solo e a circulação de nutrientes (Seidel et al., 2017). De fato, suas raízes vigorosas e profundas são importantes para o sequestro de carbono, estabilização da matéria orgânica do solo e absorção de nutrientes que estão fora da zona radicular de outras culturas (Rodrigues et al., 2015).

As principais espécies utilizadas como forrageiras no Brasil são *U. arrecta*, *U. brizantha*, *U. decumbens*, *U. humidicola*, *U. mutica*, *U. mosambicensis* e *U. ruziziensis*. As espécies *U. decumbens* e *U. brizantha* são as mais utilizadas em sequeiro e em solos bem drenados. A espécie *U. decumbens* foi introduzida no Brasil em 1952, enquanto *U. brizantha* foi introduzida em 1965 (Valle et al., 2022).

As expedições de coleta de forrageiras deste gênero realizadas na África por pesquisadores do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) deram origem ao banco de germoplasma que hoje está na Embrapa Gado de Corte. Deste banco, foram selecionadas as principais cultivares brasileiras de *U. brizantha*, que são Marandu, Xaraés, Piatã e BRS Paiaguás. O acesso que deu origem à cultivar BRS Paiaguás foi coletado no Quênia em 1984, trazido para o Brasil em 1985 por meio de convênio firmado com o CIAT e selecionado desde 1988 (Valle et al., 2022).

Diversas forrageiras do gênero *Urochloa* são utilizadas na implantação de pastagens no Norte de Minas, entretanto há predominância da cultivar Marandu de *U. Brizantha*. A cultivar BRS Paiaguás pertence à mesma espécie da cultivar Marandu e é uma alternativa para a diversificação dos sistemas pastoris brasileiros por apresentar elevada produção de sementes e boa produtividade de forragem, principalmente em condições de escassez hídrica (Euclides et al., 2016). Contudo, ainda não é cultivada

em larga escala e existem poucos trabalhos para embasar sua recomendação (Braz *et al.*, 2022). A BRS Paiaguás é uma cultivar convencional (não híbrida) que foi lançada pela Embrapa Gado de Corte em 2013 (Valle *et al.*, 2013).

Essa planta se destacou por maior potencial de crescimento no período seco, apresentando forragem com maior porcentagem de folhas que a cultivar BRS Piatã, outra planta indicada por ter crescimento menos estacional (Valle *et al.*, 2013). Já em relação à fertilidade do solo, essa cultivar é considerada de média exigência e se adapta a solos bem drenados, como a maioria das plantas do gênero (Valle *et al.*, 2022).

Morfologicamente, o capim BRS Paiaguás é caracterizado por crescimento cespitoso, folhas e colmos mais finos que outras cultivares da mesma espécie, altura entre 0,4 e 0,8 m e ausência de pilosidade na bainha e em ambas as faces da folha. Sua inflorescência é composta por 3 a 5 racemos com ráquis pilosos e espiguetas arroxeadas na ponta (Valle *et al.*, 2022).

A cultivar BRS Paiaguás foi desenvolvida para diversificar as pastagens de capim-marandu, e aumentar a produção de forragem principalmente durante o inverno/seca, época em que ocorre a redução da produção e valor nutritivo das pastagens. Adaptada às condições de solo e clima da maioria das regiões do Brasil, durante o inverno, ela apresenta maior vigor vegetativo, o que resulta em um pasto com melhor valor nutricional (Euclides *et al.*, 2016).

As plantas apresentam diferentes estratégias de resposta à seca, algumas são capazes de atrasar a desidratação, o que depende de mecanismos que proporcionem maior absorção de água do solo ou menor perda por transpiração. Em estudos realizados em casa de vegetação, a cultivar BRS Paiaguás teve o enraizamento menos afetado pelo déficit hídrico que *U. decumbens* 'Basilisk' e *U. brizantha* 'Marandu' (Beloni *et al.*, 2018). No mesmo estudo, a BRS Paiaguás teve o conteúdo relativo de água menos afetado pelo déficit hídrico que as outras, demonstrando maior capacidade de se manter hidratada em situações de estresse. Isso permite que as plantas mantenham seu crescimento e apresentem boa produtividade durante períodos curtos de seca leve, porém nem sempre garantem a sobrevivência em condições de seca severa.

### **3.2 Solos alcalinos**

O potencial hidrogeniônico (pH) do solo é uma medida que determina o quão ácido ou alcalino um solo está (Malavolta, 2006). Esse parâmetro é diagnosticado por meio de análise química, onde o valor obtido se refere à concentração de prótons de H<sup>+</sup> por unidade de volume do solo (Saldanha *et al.*, 2016). Quanto menor o seu pH, maior sua

acidez, enquanto um pH mais alto indica solos mais alcalinos.

De acordo Meurer (2007) um solo é classificado como alcalino quando seu pH está acima de 7,0. Isso ocorre em função da maior quantidade de bases como o cálcio e o magnésio. Eles também possuem forte poder tampão, ou seja, apresentam resistência à mudança do pH (Silva et al., 2021). Solos tidos como alcalinos também apresentam elevada saturação por bases (GAO et al., 2019), caracterizada pela elevada presença de elementos catiônicos como cálcio, magnésio, sódio e potássio ocupando parte significativa da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo (Pillon et al., 2002).

O principal efeito sobre o desenvolvimento das plantas está relacionado à deficiências de micronutrientes resultantes do pH elevado e da mudança na solubilidade destes nutrientes (Weil; Brady, 2017).

Os solos calcários são mais comuns e frequentes em regiões áridas e semiáridas, abrangendo mais de um terço da superfície terrestre global (Wahba et al., 2019). Esses solos se destacam pela alta alcalinidade natural, com pH variando de 7,3 a 8,5, e pela baixa disponibilidade de micronutrientes catiônicos. Em alguns horizontes, a concentração de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) pode variar significativamente, entre de 1% a 95% da CTC do solo (Taalab et al., 2019). A maior predominância desses solos se dá pelo material de origem derivado de rochas carbonáticas que podem acumular  $\text{CaCO}_3$ , na forma de nódulos macios ou endurecidos (Mesquita, 2015).

Outro fator que contribui para a alcalinização dos solos no semiárido são seus atributos químico-físicos, como a presença elevada de carbonatos e o baixo teor de matéria orgânica. Cambissolos, frequentemente encontrados em regiões semiáridas, têm capacidade natural a acumular sais alcalinos devido ao clima seco e à baixa capacidade de troca catiônica, o que exacerba a alcalinização quando irrigados com águas calcárias. O principal fator comum dessa classe de solo, de acordo Santos et al. (2018), é a presença do horizonte diagnóstico B incipiente.

Os cambissolos, quando eutróficos, podem conter argila de atividade alta ( $\text{CTC} \geq 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), onde o material do solo apresenta contração e expansão de acordo com a umidade. Essa característica pode romper as raízes das plantas, bem como dificultar o seu desenvolvimento, devido à consistência muito dura quando seco (Shinzanto et al., 2010). Por outro lado, a infiltração de água é reduzida no solo umedecido e expandido, mas pode ser rápida quando seco, devido às fendas que se formam com a contração excessiva.

Além do material de origem, a irrigação também é um fator que contribui para a

alcalinização dos solos, sobretudo quando realizada com águas subterrâneas. O aumento no pH do solo com os anos de cultivo é resultado dos elevados teores de carbonato e bicarbonato presentes na água, que promovem uma reação alcalina e o aumento do pH (Valadares et al., 2014). Além disso, os baixos índices pluviométricos e a intensa evapotranspiração nas regiões áridas e semiáridas podem levar ao acúmulo de sais solúveis nas camadas superficiais do solo. Por isso, são necessárias práticas adequadas de manejo de solo e água para garantir a sustentabilidade da agricultura.

A faixa de pH ideal para pastagens é ampla e varia de 5,0 a 6,5 (Ryant et al., 2016). Gramíneas cultivadas podem suportar pH do solo de até 7,5, porém a alcalinidade excessiva pode causar indisponibilidade de outros nutrientes e as estratégias de correções são escassas. A principal alternativa é o uso de fertilizantes minerais com enxofre e N para reduzir o pH por meio dos seus processos e reações no solo (Reetz, 2017).

O grau de acidificação em solos agrícolas pode ser influenciado pela forma, fonte e quantidade de fertilizante N aplicado (Hao *et al.* 2020), mas o tipo de solo também é um fator crítico. Solos arenosos, com menor capacidade tampão, ou com baixos teores de matéria orgânica, tendem a acidificar mais rapidamente quando submetidos à aplicação de fertilizantes nitrogenados. Já solos com maior teor de argila e matéria orgânica possuem uma maior capacidade de neutralizar a acidez, retardando o processo de acidificação.

### **3.3 Fertilizantes nitrogenados**

A recomendação de adubação nitrogenada é complexa, devido à dinâmica das transformações do nitrogênio (N) no solo, à sua mobilidade e aos fatores que influem no seu aproveitamento pelas plantas (Gomes; Lobato, 2004). A forma química na qual o N está presente no fertilizante interfere diretamente sobre a eficiência e o resultado econômico da adubação nitrogenada em pastagens (Rütting et al., 2018). Nesse sentido, diferentes adubos podem resultar em diferentes níveis de recuperação do N aplicado no sistema solo-planta. Isso pode ser utilizado como estratégia de manejo para minimizar as perdas de N.

As plantas absorvem N na forma de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  (Seleiman et al., 2020), que podem ser utilizados para a absorção contínua, em taxas de liberação lenta ou controlada para reduzir as perdas. Bowles et al. (2018) ressaltam que o uso inadequado de fertilizantes

nitrogenados contribui para a contaminação do solo e da água, juntamente com a emissão de gases como o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ).

Dessa forma, tanto a escolha da fonte de N quanto a maneira como é aplicado, pode resultar em perdas desse nutriente, seja por lixiviação ou volatilização (Taiz et al., 2017). O processo de lixiviação pode levar a perdas de 10% a 30% do N aplicado (Meisinger et al., 2008). O sistema de preparo do solo, o tipo de solo e a maneira de aplicação dos fertilizantes nitrogenados, também podem influenciar na lixiviação de N (Sangoi et al., 2003).

A adubação química ou a mineralização do N orgânico resultam em amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) como produtos (Lisboa et al., 2019). Devido à sua carga negativa, o  $\text{NO}_3^-$  pode ser repellido pelas partículas do solo, que também possuem carga negativa, especialmente na camada arável, onde essa repulsão é predominante. Isso pode resultar na permanência do  $\text{NO}_3^-$  em solução, favorecendo sua lixiviação e eventual alcance do lençol freático ao longo do tempo (Silva et al., 2016). Em contrapartida, as perdas por lixiviação do cátion  $\text{NH}_4^+$  são geralmente menores, pois o  $\text{NH}_4^+$  é predominantemente adsorvido pelas cargas negativas do solo (Fontoura; Bayer, 2006). Contudo, em solos arenosos, onde a percolação da água ocorre de forma mais intensa e rápida, tanto  $\text{NH}_4^+$  quanto  $\text{NO}_3^-$  podem ser mais facilmente transportados.

Já a volatilização está relacionada com a perda de nitrogênio na forma de amônia ( $\text{NH}_3$ ), que pode ocorrer tanto a partir de fertilizantes nitrogenados quanto de mineralização da matéria orgânica (Vieira, 2017). Quando a ureia é aplicada ao solo, ela é rapidamente hidrolisada pela enzima urease, resultando em  $\text{CO}_2$  e  $\text{NH}_3$ , que será transformada em  $\text{NH}_4^+$  na presença de acidez. Esse processo pode levar a perdas significativas de  $\text{NH}_3$ , principalmente devido ao consumo de íons hidrogênio ( $\text{H}^+$ ) durante a hidrólise, que eleva o pH ao redor das misturas de fertilizante, favorecendo a conversão de  $\text{NH}_4^+$  em  $\text{NH}_3$  (PATRA et al., 2009). Portanto, qualquer fertilizante que contenha  $\text{NH}_4^+$  ou  $\text{NH}_3$  estão sujeitos à volatilização, com perdas que podem chegar a 78%, dependendo das práticas de manejo e das condições ambientais (Tasca et al., 2011; Vieira, 2017).

A ureia [ $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ] é uma das fontes de N mais amplamente disponíveis e utilizadas na adubação de culturas anuais e pastagens, correspondendo a cerca de 60% dos fertilizantes comercializados (Dos Santos et al., 2020). O fato se deve às vantagens oferecidas como facilidade na fabricação, baixo custo na produção, em comparação com outras fontes e maior concentração de N (Galindo et al., 2018).

Segundo Silva (2022), quando a ureia é comparada a fertilizantes nitrogenados de

eficiência aumentada, há pouca diferença de produtividade das culturas. Mesmo quando há essa diferença produtiva, o custo operacional da ureia por hectare é cerca de R\$110,58 mais barato, comparado ao custo utilizando sulfato de amônio (Schlatter, 2023). O sulfato de amônio  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  também é um dos adubos mais utilizados e possui enxofre em sua constituição. Dada a reação química desse composto no solo, seu potencial de acidificação é alto e pode trazer benefícios em solos alcalinos por meio da redução do pH e das perdas de N (Jantalia et al., 2012).

No entanto, o uso de sulfato de amônio também pode levar a maior acidificação do solo em comparação com outros adubos (Primavesi et al., 2004). Em solos que não estão em condição de alcalinidade, isso pode ser prejudicial.

O nitrato de amônio  $(\text{NH}_4\text{NO}_3)$  também é uma alternativa para adubação, pois aparentemente não causa grandes perdas por volatilização. Ele também resulta em menos acidificação do solo em comparação com o sulfato de amônio, além de ser mais facilmente absorvido pelas plantas, que, em sua maioria, são mais eficientes em absorver o nitrato em relação ao amônio (Pereira et al., 2018).

Em estudos realizados por Effegen et al. (2016), com diferentes doses e fontes de N para a acidificação do solo, verificaram que com a aplicação dos fertilizantes, o sulfato de amônio foi o que mais acidificou o solo. Esse fertilizante, de acordo com Malavolta (1989), é o adubo nitrogenado que tem maior poder acidificante, em comparação aos demais. De fato, o sulfato de amônio é uma fonte com 21% de N na forma de amônio  $(\text{NH}_4^+)$ , ao passo que a ureia possui 45% de N na forma de amina  $(\text{NH}_2)$ . Esse radical amina é convertido em amônia  $(\text{NH}_3)$  em contato com a urease do solo.

Quando fertilizantes nitrogenados amoniacais são aplicados em solos de pH neutro ou alcalino, o amônio  $(\text{NH}_4^+)$  pode se converter em  $\text{NH}_3$  e liberar  $\text{H}^+$ . Em solos ácidos, o  $\text{NH}_4^+$  pouco se converte e continua como a forma predominante, minimizando as perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização (Jantalia et al., 2012). Quando o N já está na forma de amônio  $(\text{NH}_4^+)$  e passa por rápida transformação a nitrato  $(\text{NO}_3^-)$ , ocorre a liberação de 4 íons hidrogênio  $(\text{H}^+)$  com poder acidificante capaz de reduzir o pH. Dessa forma, a aplicação de fertilizantes como a ureia em cobertura em solos alcalinos pode potencializar o processo de volatilização e perdas de  $\text{NH}_3$ , o que demanda estratégias de mitigação.

Da mesma forma que a aplicação de ureia pode resultar em perdas por volatilização, a adubação com fertilizantes nitrogenados podem acidificar o solo e funcionar como uma estratégia para corrigir o pH no sentido da acidificação. Isso ocorre em função de reações ocorridas durante a nitrificação.

A nitrificação corresponde ao processo no qual as moléculas de  $\text{NH}_3$  e  $\text{NH}_4^+$  são transformadas em  $\text{NO}_3^-$ . Nessa reação, são liberados prótons de  $\text{H}^+$  que contribuem com a acidificação (Cai et al., 2015). Em situações em que os solos são ácidos, isso pode demandar calagens com maior frequência. Contudo, em solos alcalinos, o efeito da acidificação pode ser benéfico e reduzir o pH para faixas aceitáveis para o crescimento das plantas. Dessa forma, além de serem importantes para o aumento da produtividade das plantas, os fertilizantes também são capazes passar por reações químicas que causam a redução do pH quando elevado (Vieira, 2017).

Contudo, o uso de fertilizantes nitrogenados pode ajudar a manter o pH do solo equilibrado, conforme as necessidades específicas de cada cultura. Esse equilíbrio é essencial para garantir que os nutrientes, especialmente os micronutrientes catiônicos como Zn, Cu, Fe, Mn e o cobalto, permaneçam em teores e formas adequados para absorção pelas plantas (Batista et al., 2018).

### 3.4 Nitrogênio no sistema solo-planta

Muitos fatores determinam o incremento da produção da forragem (disponibilidade hídrica, temperatura, manejo, entre outros). Entre eles, destacam-se o manejo de adubações e a recomendação da dose aplicada. De fato, as gramíneas de clima tropical apresentam elevada resposta a adubação com N (Da Silva et al., 2015).

As principais reações bioquímicas em plantas dependem do N, o que torna um dos elementos absorvidos em maiores quantidades por plantas cultivadas. Esse nutriente é constituinte de vários compostos orgânicos, destacando os aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos e clorofila (Malavolta, 2006).

A recomendação da adubação nitrogenada é realizada de acordo com a exigência das espécies (Kluthcouski; Aidar, 2003). O fornecimento de N para manutenção da produtividade das gramíneas forrageiras estimula o desenvolvimento de perfilhos e, conseqüentemente, a produção de massa seca (Gomes et al., 2020). Como resultado, a planta expande a área foliar e renova o aparato fotossintético, melhorando a sua eficiência. Froehlich *et al.* (2019), estudando doses de N na cultivar BRS paiguás, observaram que a maior produção de forragem foi encontrada na dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, com produção de 9.102,50 kg ha<sup>-1</sup>, demonstrando que a adubação nitrogenada eleva a produção de forragem.

Segundo Yue et al. (2021), a fertilização com N aumentou o rendimento de matéria

seca do milho por meio de alterações na altura, diâmetro do caule e índice de área foliar (IAF). O N apresenta grande versatilidade nas reações de oxirredução e está presente em vários estados de oxidação, desde as formas bastante reduzidas, como o  $\text{NH}_4^+$ , até as mais oxidadas, como o  $\text{NO}_3^-$ . Isso lhe confere maior importância nos ciclos biogeoquímicos e no metabolismo nas plantas (Epstein; Bloom, 2005). A dinâmica do N no sistema solo-planta é bastante complexa, devido a maior fração de N do solo permanecer na forma orgânica. Assim, até 99% do N total (Roberts et al., 2009), presente na matéria orgânica do solo e em moléculas com elevado grau de recalcitrância constituem formas que não são prontamente absorvíveis pelas plantas (Braos et al., 2022).

A fração de N total do solo participa do ciclo de reações de mineralização e imobilização, que em algum momento, resulta em formas disponíveis para as plantas (Vieira, 2017). A dinâmica de mineralização do nutriente é influenciada pela composição química dos resíduos e por fatores bióticos e abióticos associados aos solos onde esses materiais são aplicados (Khalil et al., 2005). A imobilização do N é um processo que ocorre concomitantemente com a mineralização, porém no sentido inverso, onde a transformação do N inorgânico e N orgânico é realizada por microrganismos presentes no solo.

Em sequência ao processo de mineralização ocorre a nitrificação ou oxidação do N amoniacal a nitrato, realizada por bactérias quimioautotróficas. Portanto, essa reação representa importante contribuição para acidificação de solos agrícolas com elevado pH (Cantarella, 2007). Dada a capacidade de modificar o pH do solo, os adubos nitrogenados se tornam alternativa para trazer o pH para faixas adequadas para a disponibilização de macro e micronutrientes.

### **3.5 Enxofre no sistema solo-planta**

O enxofre (S) é absorvido do solo pelas plantas sob a forma aniônica de sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e, posteriormente, reduzido e incorporado a compostos orgânicos. A estrutura química do S permite a formação de ligações covalentes estáveis, principalmente com o Carbono (C) e com outros átomos de S (Li et al., 2020).

A ligação estável com o C nos aminoácidos cisteína (-C-SH), metionina (-C-S-CH<sub>3</sub>) e cistina (-C-S-S-C), presentes nas proteínas, compõem a maior parte do S contido nas plantas. Portanto, ele desempenha papel importante no metabolismo, fazendo parte de

aminoácidos, clorofila, coenzimas, sulfolipídeos, flavonóides, lipídeos, glucosinolatos, polissacarídeos, ácidos graxos entre outras funções metabólicas (Nakai; Maruyama, 2020). Quando o fornecimento de sulfato é alto, sua absorção pode ser mais rápida que sua redução e assimilação em compostos orgânicos (Mendes, 2007).

O S apresenta aspectos semelhantes aos do N, uma vez que se encontra presente na matéria orgânica do solo, e, portanto, sua disponibilidade depende do processo de mineralização. Ele também passa por transformações de oxirredução e perda por lixiviação e, ainda, pode ser adsorvido nos colóides na forma de sulfato, que está em equilíbrio com a solução do solo (Telman; Dietz, 2019).

As fontes mais utilizadas para fornecer S às plantas são o superfosfato simples, que contém 12% de S-sulfato e o sulfato de amônio, com 24% de S-sulfato (Horowitz; Meurer, 2006). O gesso agrícola também é uma fonte de S e possui cerca 20% de Ca e 15% de S, na forma sulfatada ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) em sua composição (Souza et al., 2023).

O S elementar pode ser extraído de sedimentos ou jazidas naturais de origem vulcânica e pode apresentar entre 80 e 100% de S. No solo, o S elementar é transformado em  $\text{S-SO}_4^{2-}$  por oxidação microbiana, com a produção de dois *mols* de  $\text{H}^+$  para cada  $\text{S}_0$  oxidado (Alvarez et al., 2007).

Em alguns trabalhos, a aplicação do S elementar demonstrou ser eficiente na redução do pH do solo (Sá et al., 2013). Essa redução ocorre pós-reação com o  $\text{H}^+$  proveniente da hidrólise da água, produzindo ácido sulfúrico (Heydarnezhad et al., 2012). De acordo com Raij et al. (1997), o S elementar possui forte poder acidificante, já que 32 kg de S necessitam de 100 kg de  $\text{CaCO}_3$  para neutralizar a acidez produzida. Horowitz; Meurer (2003) aplicaram doses crescentes de S elementar até  $12 \text{ g kg}^{-1}$  em argissolo e verificaram incrementos expressivos no teor de  $\text{S-SO}_4^{2-}$  no solo por um período de incubação de 22 a 54 dias. Aos 70 dias foi constatada redução no pH do solo de 2,8 unidades em relação ao valor inicial.

### 3.6 Relação N:S

As interações entre os nutrientes são consideradas importantes para a nutrição adequada das plantas. O equilíbrio entre os nutrientes merece atenção nos programas de adubação, visto que o uso concentrado de um pode provocar a deficiência de outro, pois ambos são nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas e interagem de maneira positiva no metabolismo vegetal. A adição conjunta de N e S, na maioria das vezes, resulta em efeito positivo da interação N:S e em maior produção (Tamassia et al.,

1999). Essa interação parece ocorrer principalmente na absorção e translocação, uma vez que a maior disponibilidade de N contribui para elevar o teor de S na parte aérea da planta (Barney; Bush, 1986).

Oliveira et al. (2010) relataram que a interação N:S foi significativa para teor de fibra em detergente ácido (FDA) na massa seca do capim-braquiária e seu teor aumentou conforme as doses de N, até atingir o teor máximo de FDA (45%), na combinação de N e S de 243 e 27 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente.

A eficiência da adubação nitrogenada aumenta quando associada à aplicação de S (Rodrigues et al., 2015). Assim, plantas insuficientemente supridas com S não conseguem assimilar todo o N em proteínas, acumulando-o na forma de aminas e aminoácidos solúveis. De modo geral, a relação entre N e S em plantas varia de 8:1 a 12:1 (Epstein; Bloom, 2005). Essa proporção pode variar dependendo da espécie da planta, do estágio de crescimento e das condições ambientais.

Ambos são componentes de aminoácidos, proteínas e enzimas, e são necessários para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Manter um equilíbrio adequado entre nitrogênio e enxofre é crucial para a saúde e produtividade das plantas. Um desequilíbrio pode levar a deficiências nutricionais ou toxicidade, afetando adversamente o crescimento e a produção das plantas (Li et al., 2020).

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V. H. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.596-644.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES (ABIEC). Exportações brasileiras de carne bovina têm crescimento de 45,5% na receita até julho. São Paulo, **ABIEC**, 4 jul., 2022. Disponível em: <[HTTPS://www.abiec.com.br/exportacoes-brasileiras-de-carne-bovina-tem-crescimento-de-455-na-receita-ate-julho/](https://www.abiec.com.br/exportacoes-brasileiras-de-carne-bovina-tem-crescimento-de-455-na-receita-ate-julho/)>. Acesso em: 19 mar. 2024.

BARNEY Jr., P. E.; BUSH, L.P. Interaction of nitrate and sulfate reduction in tobacco. I. Influence of availability of nitrate and sulfate. **Journal of Plant Nutrition**, v. 8, p. 505-515, 1986.

Barreiras-BA. 2007. Disponível em :<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/35800/1/OPB1291.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2023.

BATISTA, M. A. et al. Capítulo 4- Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T. et al. **Hortaliças-fruto**. Maringá: EDUEM. p. 113-162, 2018.

BELONI, Tatiane et al. Large variability in drought survival among *Urochloa* spp. cultivars. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 4, p. 947-957, 2018.

BONO, J. A. M. et al. Fertilizantes nitrogenados em cobertura para pastagem marandu (*Brachiaria brizantha*) no Mato Grosso do Sul. **Uniciências**, v. 23, n. 2, p. 127-132, 2019.

BOURSCHEIDT, M. L. B. et al. Estratégias de fornecimento de nitrogênio em pastagens: fertilizante mineral, inoculante bacteriano e consórcio com amendoim forrageiro. **Scientific Electronic Archives**, v. 12, p. 137–147, 2019.

BOWLES, T. M. et al. Addressing agricultural nitrogen losses in a changing climate. **Nature Sustainability**, v. 1, n. 8, p. 399-408, 2018.

BRAOS, L. B. et al. Soil Carbon and Nitrogen Forms and Their Relationship with Nitrogen Availability Affected by Cover Crop Species and Nitrogen Fertilizer Doses. **Nitrogen**, v. 4, n. 1, p. 85-101, 2023.

BRAZ, T. G. S.; MARTUSCELLO, J. A.; SILVA, R. C. Alternativas forrageiras tolerantes à seca: gêneros *Urochloa* e *Megathyrsus*. **Informe Agropecuário**. v. 43, n. 317, p.37-52, 2022.

CAI, Z. et al. Intensified soil acidification from chemical N fertilization and prevention by manure in an 18-year field experiment in the red soil of southern China. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, p. 260-270, 2015.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade dos solos**. Viçosa: SBCS/UFV, 2007. cap. 7, p. 376-470.

CASALÁS, F. et al. Effect of irrigation on biomass production and components of dallis grass (*Paspalum dilatatum*) and Bahia grass (*P. notatum*) in Uruguay. *Tropical*

**Grasslands-Forrajes Tropicales**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 22–30, 2023.

CONGIO, G. F. et al. Strategic grazing management and nitrous oxide fluxes from pasture soils in tropical dairy systems. **Science of the Total Environment**, v. 676, p. 493-500, 2019.

Curso de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Embrapa Semi-Árido.UFBA, DOMINGOS, C. S.; LIMA, L. H. S.; BRACCINI, A. L. Nutrição mineral e ferramentas para o manejo da adubação na cultura da soja. **Scientia Agraria Paranaensis**, Maringá, v.14, n.3, p.132-140, 2015.

EFFEGEN, C., Campanharo, A., Brumatti, J. A., FERREIRA, F., FERNANDES, A., & CAMPANHARO, M. "Efeitos de fontes e doses de nitrogênio na acidificação de um solo cultivado com repolho." **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Vol. 25. 2016.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspective**. 2. ed. Sunderland, Sinauer Associates, 2005. 400p.

EUCLIDES, V. P. B. et al. Desempenho animal e características do pasto de duas cultivares de *Brachiaria brizantha* (BRS Paiaguás and BRS Piatã). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, n. 3, p.85-92, 2016.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Manejo e fertilidade de solos em plantio direto. Guarapuava: **Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária**, 2006.

FROEHLICH, G. C. et al. A produtividade de *Brachiaria brizantha* cv. paiaguás em diferentes doses de nitrogênio. **Revista Campo Digital**, [S. l.], v. 14, n. 1, 2019.

GALINDO, F. S. et al. Manejo da adubação nitrogenada no capim-mombaça em função de fontes e doses de nitrogênio. **Revista de ciências agrárias**, v. 41, n. 4, p. 900-913, 2018

GAO, S. et al. Biochar additions alter phosphorus and nitrogen availability in agricultural ecosystems: a meta-analysis. **Science of the Total Environment**, v. 654, p.463-472, 2019.

GOMES, E. S.; BITTAR, D. Y.; SÉRVULO, A. C. O. Produção de forrageiras da espécie *Panicum maximum* submetidas a doses de nitrogênio. **Ipê Agronomic Journal**, v.4, n.2, p.1-8, 2020.

HAN, D. et al. Irrigation with poor-quality groundwater exacerbates CaCO<sub>3</sub> accumulation and increases soil pH, reducing nutrient availability in alkaline soils. **Environmental Earth Sciences**, v. 82, n. 4, p. 100-112, 2023

HAO, T. et al. Impactos do tipo de fertilizante de nitrogênio e taxa de aplicação na taxa de acidificação do solo sob um sistema de cultivo duplo de trigo-milho. **Journal of Environmental Management**, v. 270, 2020.

HEYDARNEZHAD, F. et al. Influence of elemental sulfur and sulfur oxidizing bacteria on some nutrient deficiency in calcareous soils. **International Journal of Agriculture and Crop Science**, London, v. 4, n. 12, p. 735-739, 2012.

HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Oxidação do enxofre elementar em Argissolo do Estado de São Paulo. In: Congresso brasileiro de ciência do solo, 29. Ribeirão preto, 2003. **Anais...** Ribeirão Preto, Universidade Estadual de São Paulo, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA IBGE. **Em 2021, o rebanho bovino bateu recorde e chegou a 224,6 milhões de cabeças.** Agência IBGE, Rio de Janeiro, 22 set. 2022. Disponível em: <[HTTPS://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/34983-em-2021-o-rebanho-bovino-bateu-recorde-e-chegou-a-224-6-milhoes-de-cabecas](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/34983-em-2021-o-rebanho-bovino-bateu-recorde-e-chegou-a-224-6-milhoes-de-cabecas)> . Acesso em: mar. 2024.

JANTALIA, C. P. et al. Nitrogen Source Effects on Ammonia Volatilization as Measured with Semi-Static Chambers. **Agronomy Journal**, v. 104, n.6, p. 1595- 1603, 2012.

KHALIL, MI; SCHMIDHALTER, U. Carbon and nitrogen mineralization in different soils of the subtropics treated with organic materials. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, n. 8, p. 1507-1518, 2005.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Uso da integração lavoura-pecuária na recuperação de pastagens. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). Integração lavoura-pecuária. **Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão**, 2003. p. 185-223.

LI Qian; GAO, Yan; YANG, An. Sulfur Homeostasis in Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 23, p. 8926, 2020.

LISBOA, C.C. et al. Lixiviação de nitrato e amônio em Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.14, n.2, p.1-8, 2019.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 5.ed. São Paulo: Ceres, 1989. p. 26-39.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. Viçosa: Editora Agronômica Ceres, p. 638. 2006.

MASTERS, L. E. et al. Phylogenomic analysis reveals the evolutionary origins of five independent clades of forage grasses within the African genus *Urochloa*. **Annals of Botany**, v. 133, 2024.

MEISINGER, J. J.; CALDERÓN, F.J.; JENKINSON, D.S. Soil nitrogen budgets. In: SCHEPERS, J.S.; RAUN, W.R. (Ed.). **Nitrogen in agricultural systems**. Madison: American Society of Agronomy, p.505-562, 2008.

MENDES, A. M. S. Introdução a Fertilidade do Solo. Departamento de Solos da UFV no MERLOTI, L. F. et al. Investigating the effects of *Brachiaria* (Syn. *Urochloa*) varieties on soil properties and microbiome. **Plant and Soil**, p. 1-18, 2023.

MESQUITA, L. P. Gênese e geoquímica de solos influenciados por carbonatos na faixa Atlântica do Sudeste brasileiro. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa/MG, 2015.

MEURER, J.E. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade dos solos**. Viçosa: SBCS/UFV, 2007. cap. 2,

p. 66-86.

NAKAI, Y.; MARUYAMA-NAKASHITA, A. Biosynthesis of sulfur-containing small biomolecules in plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 10, p. 3470, 2020.

OLIVEIRA, D. A. et al. Valor nutritivo do capim-braquiária no primeiro ano de recuperação com aplicações de nitrogênio e enxofre. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 4, p. 716-726, 2010.

PATRA, D. D., CHAND, S. Natural Nitrification Inhibitors for Augmenting Nitrogen Use Efficiency in Soil-Plant System. The Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI, 2009. Disponível em: <<https://escholarship.org/uc/item/4h30z8tg>>. Acesso em: 26 ago. 2024.

PEREIRA, L. E. T. et al. **Recomendações para correção e adubação de pastagens tropicais**. Universidade de São Paulo. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, 2018.

PILLON, C. N. et. al. Dinâmica da matéria orgânica no ambiente. **Embrapa Clima Temperado**. Documentos 105. 2002.

PRIMAVESI, A. C. et al. Adubação Nitrogenada em Capim Coastcross: Efeitos na Extração de Nutrientes e Recuperação Aparente do Nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 33, n. 1, p. 68-78, 2004.

RAIJ, B. V. et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 25-26. (IAC. Boletim Técnico,100).

REETZ, H. F. **Fertilizantes e o seu uso eficiente**/ Harold F. Reetz, Jr; Tradução: Alfredo Scheid Lopes. São Paulo; ANDA, 2017. 178p.

ROBERTS, T. et al. Direct steam distillation as an alternative to the Illinois Soil Nitrogen Test. **Soil Science Society of America Journal** v.73, n.4, p.1268-1275, 2009.

RODRIGUES, L. M. et al. Fertilização com nitrogênio e enxofre em pastagem de capim marandu: altura de plantas e produção de forragem. Pirenópolis. In: **Anais...** Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG, (CEPE) 2015.

RODRIGUES, R. C.; ARAÚJO, R. S.; COSTA, C. S. Soil microbial biomass in agroforestry system of Northeast Brazil. **Tropical grassland**, v.3, n.1, p.41-48, 2015.

RÜTTING, T.; ARONSSON, H.; DELIN, Sofia. Efficient use of nitrogen in agriculture. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 110, p. 1-5, 2018.

RYANT, P. et al. The effect of limestone and stabilized nitrogen fertilizers application on soil pH value and on the forage production of permanent grassland. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, v. 64, n. 4, p. 1239-1244, 2016.

SÁ, F.V.S. et al. Crescimento inicial de craibeira em solo salinizado corrigido com enxofre elementar. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 4, p.647-660, 2013.

SALDANHA, C. B. et al. **Ciência do solo**: fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas. Editora e Distribuidora Educacional S.A. Londrina -PR. 192 p. 2016.

SANGOI, L. et al. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, v. 33, n. 1, p. 65-70, 2003.

SANTOS, H. G. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: **Embrapa**, 2018. p 80-88.

SEILDEL, E. P. et al. Evaluation of aggregate distribution and selected soil physical properties under maize jack bean intercropping and gypsum rates. **African Journal of Agricultural Research**, v.12, n.14, p1209-1216, 2017.

SELEIMAN, M. F, SANTANEN A.; MÄKELÄ P. S. Recycling sludge on cropland as fertilizer – Advantages and risks. **Resources, Conservation and Recycling**, v.155, 2020.

SHINZATO, E.; TEIXEIRA, W. G.; MENDES, A. M. Geodiversidade do estado de Rondônia: Programa Geologia do Brasil. **Levantamento da geodiversidade**. Porto velho – RO. Cap. 4, p. 56-78, 2010. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/945258>> Acesso em 10 de setembro de 2024.

SILVA, L. D. et al. Importância em se conhecer o tipo de solo e as particularidades da adubação em áreas de cerrado. **Embrapa Agricultura Digital**. Capítulo 3. SIFLOR - Cerrado - V. II.2021. 31-43p.

SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M.VB.; LELIS NETO, J. A. Distribuição of solutes  $\text{NO}_3^-$  e Ca in soil columns with vinasse. **Revista Brasileira Agricultura Irrigada**, v.10, n. 4, p.777-786, 2016.

SILVA, T. H. **Desempenho agrônômico do milho cultivado sob diferentes manejos de adubação nitrogenada**. 2022. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, 2022.

SOUSA D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF : **Embrapa Informação Tecnológica**, 2004. Cap.5 p 129 416, 2004.

SOUSA, A. R., SILVA, R. B. T. Acidificação de um latossolo vermelho distroférico em função da aplicação de nitrogênio oriundo de uréia, sulfato de amônio e sulfammo. **Cultivando o saber**. Cascavel, v. 2, n. 3, p. 78-83, 2009.

SOUZA, D. L. M. et al. Resposta morfológica e produtiva do milho com fornecimento de enxofre de diferentes fontes. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 3, 2023.

TAALAB, A. S. et al. Some Characteristics of Calcareous soils. A review. **Middle East Journal of Agriculture Research**, v. 8, n. 1, p. 96-105, 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. Cap. 1-5.

TAMASSIA, L. F. M. et al. **Interação entre doses de nitrogênio e de enxofre para o estabelecimento e perfilhamento do capim tanzania**. In: REUNIÃO ANUAL DA

SOCIENIDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., Porto Alegre,1999.

TASCA, F. A. et al. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 493 - 502, 2011.

TELMAN, W.; DIETZ, K. J. Thiol redox-regulation for efficient adjustment of sulfur metabolism in acclimation to abiotic stress. **Journal of experimental botany**, v. 70, n. 16, p. 4223-4236, 2019.

VALADARES, R. V.; FERNANDES, L. A.; Sampaio, R. A.. Teores de nutrientes no solo e nutrição mineral do milho em áreas irrigadas com água calcária. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 169-176, 2014.

VALLE, C. B. et al. BRS Paiaguás: A new *Brachiaria (Urochloa)* cultivar for tropical pastures in Brazil. **Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales**. v.1, p.121-122, 2013.

VALLE, C. B. et al. O gênero *Brachiaria*. In: FONSECA, D.M.; MARTUSCELLO, J.A. **Plantas Forrageiras**. 2ed. Viçosa: Editora UFV, p.23-76, 2022.

VIEIRA, R. F. Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas. Brasília, DF: **Embrapa**, 2017. 163 p. ISBN 978-85-7035-780-9.

WAHBA, M.,; FAWKIA, LABI, B.; ZAGHLOUL, A. Management of Calcareous Soils in Arid Region. **International Journal of Environmental Pollution and Environmental Modelling** , 2 (5), pp.248-258. 2019.

WEIL, R. R.; BRADY, N.C. **The nature and properties of soils**. 15th edition, Pearson, London, England, Vol. 13, pp. 662-710. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall,2017.

YUE, K. et al. Nitrogen supply affects grain yield by regulating antioxidant enzyme activity and photosynthetic capacity of maize plant in the loess plateau. **Agronomy**, v. 11, n. 6, p. 1094, 2021.

1           **5. ARTIGO: Fontes nitrogenadas e enxofre elementar na resposta agronômica**  
2           **do capim BRS Paiaguás e acidificação de solo alcalino**  
3

4           Este artigo foi elaborado conforme as normas da Revista *Agriculture*.

5  
6           Solos alcalinos podem reduzir a absorção de micronutrientes e aumentar a volatilização  
7           de amônia em pastagens irrigadas. A principal estratégia para reduzir o pH do solo é a  
8           adubação com fontes de nitrogênio e enxofre. Por isso, o objetivo foi testar cinco  
9           tratamentos com diferentes fontes de nitrogênio e enxofre elementar no capim BRS  
10          Paiaguás: ureia (UR), sulfato de amônio (SA), nitrato de amônio (NA), ureia + enxofre  
11          elementar (URS), e sem aplicação de nitrogênio (SN). Os tratamentos nitrogenados  
12          receberam 250 kg ha<sup>-1</sup> de N, parcelados em quatro aplicações, e os com S-elementar,  
13          60 kg ha<sup>-1</sup> de S. Foram analisados parâmetros agronômicos e aspectos químicos do solo,  
14          em quatro épocas de crescimento. O tratamento NA apresentou maior produção de  
15          matéria seca de forragem (3.607,5 kg ha<sup>-1</sup>) que o controle (1.366,6 kg ha<sup>-1</sup>). A UR  
16          apresentou maior número de perfilhos (887 perfilhos/m<sup>2</sup>). O SA reduziu o pH do solo em  
17          0,28 unidades, sendo a fonte mais eficiente para acidificação. As fontes de N e S não  
18          alteraram o teor de P disponível no solo, mas o potássio reduziu 42% entre as épocas 1  
19          e 4. A adubação com N aumenta a produtividade do capim BRS Paiaguás  
20          independentemente da fonte, enquanto o SA reduz o pH do solo e eleva o teor de  
21          nitrogênio foliar, destacando-se como alternativa para manejo eficiente.

22  
23  
24          **Palavras-chave:** Forragem. pH do solo. Amônio. Nitrato. Alcalinidade.

25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35

## 36 **Introdução**

37 O capim BRS Paiaguás (*Urochloa brizantha*) é uma forrageira amplamente utilizada  
38 em regiões semiáridas devido à sua capacidade de adaptar ao ambiente com períodos  
39 secos prolongados (Veras *et al.*, 2020). Sua resistência ao estresse hídrico em  
40 comparação com outras cultivarres da mesma espécie reforça sua importância para  
41 áreas de baixa disponibilidade de água. Além disso, estudos recentes, como os de  
42 Merloti *et al.* (2023), evidenciam que essa forrageira responde bem à adubação,  
43 especialmente nitrogenada, o que pode elevar sua produtividade e melhorar a qualidade  
44 nutricional da forragem.

45 A adubação nitrogenada é essencial para o crescimento das forrageiras, já que o  
46 nitrogênio (N) é fundamental para a síntese de proteínas e o desenvolvimento vegetal.  
47 Diferentes fontes de N têm impacto variado no solo e na planta (Domingues *et al.*, 2021).  
48 A ureia, por exemplo, é uma fonte amplamente utilizada, mas está sujeita a perdas por  
49 volatilização, principalmente em solos com pH elevado. Já o sulfato de amônio e o nitrato  
50 de amônio, que fornecem N em formas já prontas para absorção ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ),  
51 apresentam menor volatilização e maior potencial de acidificação, sendo mais eficientes  
52 em solos alcalinos (Powlson *et al.*, 2022). A adição de enxofre (S) elementar à ureia  
53 também pode aumentar a eficácia da adubação, pois o S promove a acidificação do solo  
54 e disponibiliza sulfato para as plantas (Boubakry *et al.*, 2023).

55 A irrigação de pastagens é mais uma estratégia utilizada para intensificar a  
56 produção. Ela normalmente está associada com a adubação, mas quando é realizada  
57 com água rica em carbonatos, pode aumentar o pH do solo. De fato, águas subterrâneas  
58 apresentam elevada concentração de  $\text{CaCO}_3$ , que promovem reação alcalina no solo e  
59 elevam a sua saturação por bases e pH (Mohanavelu *et al.*, 2021). Portanto, quando  
60 realizada dessa forma, a irrigação pode trazer impactos negativos do ponto de vista  
61 químico do solo.

62 O uso contínuo de água com altos níveis de carbonatos pode agravar a  
63 alcalinização do solo, especialmente em áreas semiáridas já propensas a essa condição.  
64 O pH do solo é um dos principais fatores que afetam a disponibilidade de nutrientes para  
65 as plantas. Nesse sentido, a absorção de micronutrientes como ferro (Fe), zinco (Zn) e  
66 manganês (Mn) reduz em solos alcalinos e limita o desenvolvimento vegetal (Dhaliwal *et*  
67 *al.*, 2019). O pH elevado também aumenta a volatilização do nitrogênio na forma de  
68 amônia ( $\text{NH}_3$ ), comprometendo a eficiência da adubação.

69 Entretanto, a aplicação de fertilizantes nitrogenados, como o sulfato de amônio,

70 pode ajudar a acidificar o solo por meio da liberação de prótons ( $H^+$ ) durante o processo  
 71 de nitrificação. Isso contribui para a redução do pH e melhora a disponibilidade de  
 72 nutrientes ao trazer o pH para faixas ótimas para o cultivo. Assim, o manejo da adubação  
 73 e da irrigação em solos com pH elevado pode ser tido como estratégia de maximizar o  
 74 potencial produtivo do capim BRS Paiaguás e garantir a sustentabilidade das pastagens.

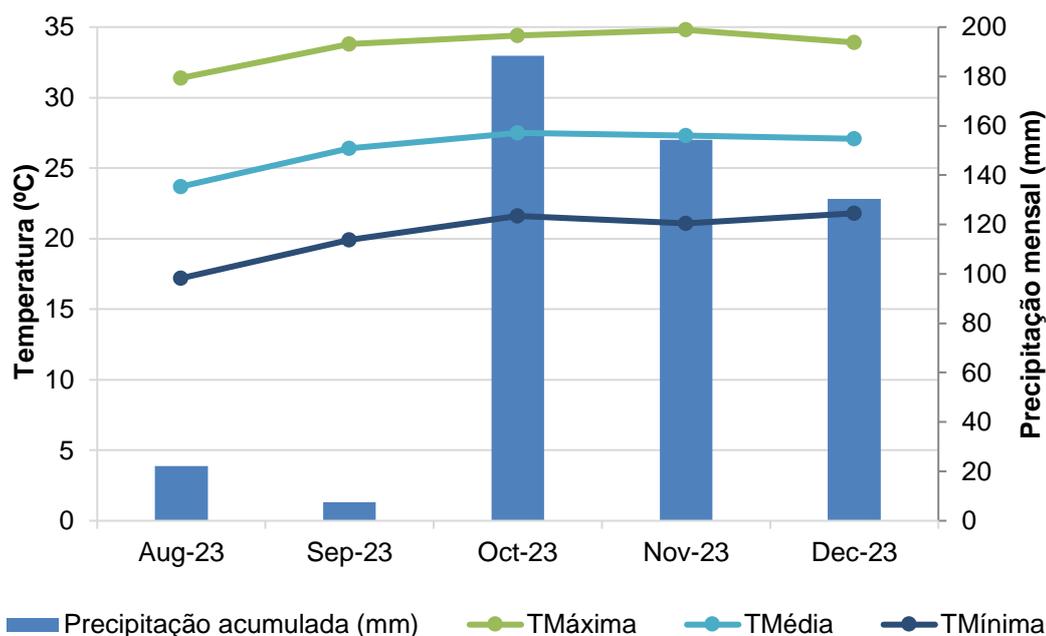
75 Objetivou-se avaliar o efeito de fontes nitrogenadas e do S elementar na resposta  
 76 agronômica do capim BRS Paiaguás (*Urochloa brizantha*) e acidificação de solos  
 77 irrigados com águas calcárias, em diferentes cortes.

78

## 79 Material e métodos

80 O experimento foi conduzido no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade  
 81 Federal de Minas Gerais, situado na cidade de Montes Claros, no norte de Minas, nas  
 82 coordenadas geográficas de  $16^{\circ}49'40.59''$  S e  $43^{\circ}50'16''$  O, à 617m de altitude do mar.  
 83 O clima da região é do tipo Aw, classificado como tropical subúmido com verão chuvoso  
 84 e inverno seco (Alvares *et al.*, 2013). Ao longo do ano, as temperaturas variam de 18 a  
 85  $35^{\circ}C$ . Os dados climáticos durante o período experimental foram coletados na estação  
 86 meteorológica posicionada a 500 m do campo experimental (Figura 1).

87



88

89 **Figura 1:** Precipitação mensal acumulada (mm) e temperaturas máxima, médias  
 90 compensadas e mínimas mensais obtidas de estação meteorológica posicionada a 500  
 91 m do campo experimental (Fonte: INMET).

92

93 O solo onde o experimento foi conduzido foi classificado como Cambissolo háplico

94 (Sampaio; Fernandes, 2021) de textura franco-argilosa. O solo foi amostrado e analisado  
95 para obtenção das características físicas e químicas (tabela 1).

96  
97 **Tabela 1:** Características físicas e químicas do solo da área experimental coletado na  
98 camada de 0-20 cm. UFMG, Montes Claros-MG, 2024.

<b>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO</b>	
<b>Parâmetro</b>	<b>Resultado</b>
pH em água	6,99
Matéria Orgânica (MOS)	2,4 dag kg <sup>-1</sup>
Carbono orgânico total	1,39 dag kg <sup>-1</sup>
Potássio -K	194,19 mg dm <sup>-3</sup>
Fósforo - P (Mehlich)	21,53 mg dm <sup>-3</sup>
Enxofre- S	2,63 mg dm <sup>-3</sup>
Cálcio – Ca <sup>2+</sup>	8,94 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Magnésio – Mg <sup>2+</sup>	1,78 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Alumínio – Al <sup>3+</sup>	< 0,1 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Acidez potencial- H+ Al	0,41 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
CTC potencial	11,32 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Saturação de bases - V%	96
Saturação por alumínio- m%	0
Boro- B	0,35 mg dm <sup>-3</sup>
Cobre- Cu	1,33 mg dm <sup>-3</sup>
Ferro - Fe	74,32 mg dm <sup>-3</sup>
Manganês-Mn	44,35 mg dm <sup>-3</sup>
Zinco-Zn	7,13 mg dm <sup>-3</sup>
<i>Características físicas do solo</i>	
Areia -%	18
Silte - %	41
Argila - %	41

99 Método de referência: pH em água (acidez ativa). Carbono orgânico – Método Walkley & Black;  
100 Cálcio e Magnésio trocáveis – Método KCl 1 mol/L e titulação com EDTA.; Alumínio (acidez  
101 trocável) – Método KCl 1 mol/L e titulação com NaOH; H+Al (acidez potencial) – Método  
102 Ca(OAc)<sub>2</sub> 0,5 mol/L. Fósforo disponível – Método Mehlich-1 e colorimetria; Potássio disponível–  
103 Método Mehlich<sup>1</sup>e fotometria de chama. Boro, ferro cobre, manganês e zinco - Método Mehlich<sup>1</sup>  
104 <sup>1</sup>Textura (granulometria)– método da pipeta.

105  
106 A espécie em estudo foi classificada na divisão das Angiospermas, classe das  
107 monocotiledôneas; ordem: Poales; família: Poaceae; gênero: *Urochloa*; Espécie:

108 *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster (Syn. *Brachiaria brizantha*  
109 (Hochst. ex A. Rich.) Stapf), cultivar BRS Paiaguás. Essa planta foi escolhida pela sua  
110 tolerância à seca, potencial de resposta a adubações e excelente capacidade de rebrota,  
111 sendo adequada para regiões semiáridas.

112 O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos  
113 e quatro repetições. Os tratamentos corresponderam à adubação com: ureia (UR),  
114 sulfato de amônio (SA), nitrato de amônio (NA), ureia com enxofre elementar (URS) e  
115 sem nitrogênio (SN).

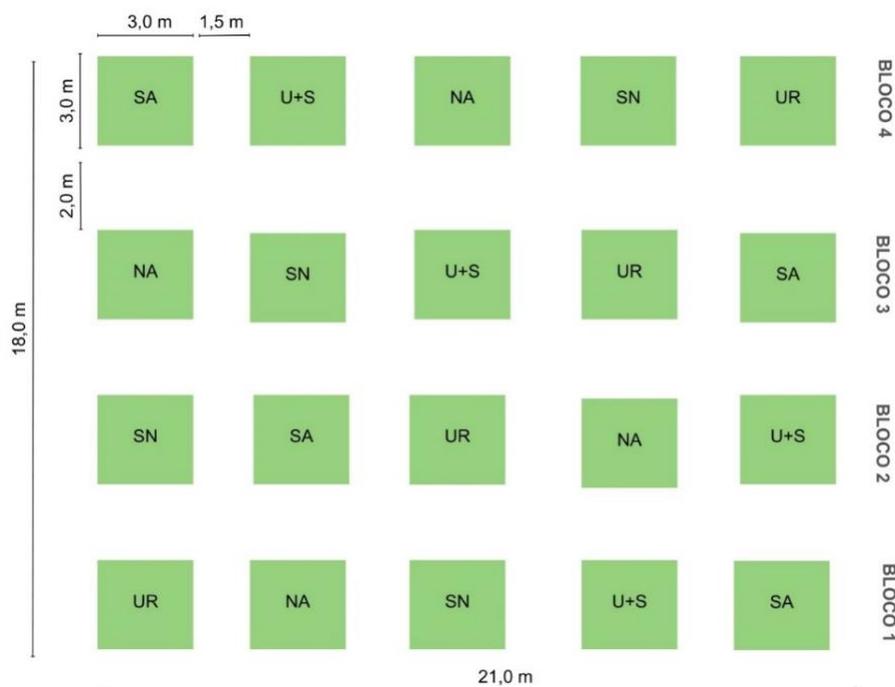
116 Foram realizadas quatro colheitas da forrageira, que foram consideradas em  
117 esquema de parcelas subdivididas no tempo. Todos os tratamentos contendo N  
118 receberam a mesma dosagem de 250 kg ha<sup>-1</sup> de N, parcelada em quatro vezes com  
119 doses de 63 kg ha<sup>-1</sup>, durante o período de crescimento. Já os tratamentos contendo S  
120 receberam a dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> parcelados em três doses de 20 kg ha<sup>-1</sup>, sendo a primeira  
121 realizada 60 dias antes do primeiro corte de uniformização, a segunda aplicação no corte  
122 de uniformização (60 dias após a primeira) e a terceira 30 dias após a segunda aplicação.

123 O solo da área experimental foi preparado de forma convencional, sendo realizada  
124 escarificação seguida por preparo com grade aradora para destorroamento, nivelamento  
125 e uniformização. Posteriormente, foram demarcados sulcos com distâncias 0,40 m para  
126 balizar a semeadura manual. As parcelas com a forrageira foram estabelecidas em  
127 canteiros de 3,0 x 3,0 m (9 m<sup>2</sup>) com espaçamento de 1,5 m entre canteiros no bloco e  
128 2,0 m entre blocos (Figura 2).

129 O sistema de irrigação foi por aspersão fixa, com aplicação da lâmina média de  
130 7,0 mm dia<sup>-1</sup> com tempo de irrigação de 40 minutos. As sementes utilizadas foram  
131 oriundas de produção comercial e a quantidade de sementes determinada foi através do  
132 cálculo de taxa mínima de semeadura utilizando o valor cultural (VC). A semeadura foi  
133 realizada manualmente nos sulcos, com incorporação simultânea do fósforo, fornecido  
134 na forma de superfosfato simples, à dose de 30 kg ha<sup>-1</sup>, no momento do plantio.

135 Após o estabelecimento da forrageira, todas as parcelas foram submetidas à 3  
136 cortes de uniformização a 20 cm do solo, valor correspondente a metade da altura de  
137 simulação de entrada do pastejo para capim BRS Paiaguás. Após uniformização as  
138 plantas receberam os tratamentos, sendo aplicados 63 kg ha<sup>-1</sup> de N em 4 aplicações,  
139 com exceção do S-elementar.

140



141  
 142 **Figura 2:** Disposição dos tratamentos no delineamento experimental em função da  
 143 aplicação de diferentes fontes nitrogenadas na acidificação do solo. UFMG, Montes  
 144 Claros-MG, 2024.

145  
 146 As avaliações ocorreram em quatro períodos de crescimento da forrageira  
 147 determinadas por 30 dias. Ao fim de cada período, foram avaliadas a altura das plantas  
 148 (AP), número de perfilhos (NP), interceptação luminosa (IL), índice de área foliar (IAF) e  
 149 índice de clorofila. A AP foi obtida por meio de cinco medições aleatórias tomadas dentro  
 150 da área útil com auxílio de uma régua graduada em centímetros. Para padronizar a  
 151 mensuração, foi considerada a altura da lâmina foliar mais alta em cada ponto de  
 152 avaliação (Cecato *et al.*, 2001). Já a contagem do número de perfilhos (NP), foi realizada  
 153 dentro de uma moldura de 0,25 x 0,25 m, posicionada dentro da área útil e estipulada  
 154 para 1m<sup>2</sup>.

155 As medições da IL e IAF também foram realizadas no dia da colheita utilizando  
 156 ceptômetro Accupar LP-80 (Metter Group, United States, Washington). O ceptômetro  
 157 estimou os parâmetros por meio de medidas tomadas acima e abaixo do dossel com duas  
 158 sondas simultaneamente. Já o índice de clorofila foi obtido por meio das leituras com  
 159 clorofilômetro (Clorofilog, Modelo CFL1030, Falker). Essas leituras foram realizadas  
 160 dentro da área útil e na parte mediana da última folha expandida, sendo obtidas medidas  
 161 de clorofila a, b e total.

162 A cada corte realizou-se, também, a coleta de cinco amostras de solo na  
 163 profundidade de 0 a 20 cm por parcela para obtenção de uma amostra homogênea para

164 determinação das análises químicas de nitrogênio total do solo (método Kjeldahl), fósforo  
165 disponível (Mehlich, 1978), potássio, cálcio e magnésio no solo (Texeira *et al.*, 2017).

166 Após a realização de todas as avaliações não destrutivas, foi efetuado o corte das  
167 plantas dentro da área útil, com auxílio de uma moldura metálica de 0,5 m x 0,5 m. O  
168 corte foi realizado a 0,20 m acima do nível do solo. Após o corte, a forragem foi pesada  
169 no campo e armazenada em sacos plásticos para determinar a massa fresca total. Em  
170 seguida foram separadas duas subamostras de forragem fresca. A primeira subamostra  
171 foi seprada nos componentes morfológicos lâminas foliares, colmo+bainha e material  
172 morto e desidratada em estufa a 55°C até a massa constante. Já segunda subamostra  
173 foi diretamente desidratada em estufa de circulação forçada de ar até a massa constante.  
174 Posteriormente, as amostras pré-secas foram moídas e destinadas a determinação da  
175 %MS definitiva e estimativa da massa seca de forragem por corte (MSF). A produção  
176 total foi obtida pela soma da colheita dos 4 cortes. Uma parte das amostras de parte  
177 aérea pré-secadas foi enviada a laboratório comercial para determinação dos teores de  
178 foliares de N, P, K Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Mn e Fe para a primeira e ultima época avaliada.

179 Os dados das épocas (subparcelas) corresponderam a medidas repetidas no  
180 tempo e foram estudados com auxílio do diagnóstico de matrizes de variância e  
181 covariâncias residuais com maior capacidade de representar a estrutura dos erros.  
182 Assim, foram estudadas as cinco estruturas disponíveis no pacote estatístico adotado:  
183 autorregressiva, autorregressiva heterogênea, processo autorregressivo contínuo,  
184 simetria composta e não estruturada. A escolha se deu por aquela que minimizou os  
185 valores dos critérios de informação de Akayke e Bayesiano.

186 Os dados foram submetidos à análise de variância, considerando-se 5% como  
187 nível de significância. Quando verificados efeitos significativos de tratamento, as médias  
188 foram comparadas por meio de teste de Tukey. Quando a interação tratamento x corte  
189 foi significativa, procedeu-se a decomposição da interação. Os testes foram realizados  
190 por meio do pacote *Easyanova* implementados no software estatístico RStudio (R CORE  
191 TEAM, 2021).

192

## 193 **Resultados**

194 Os diferentes tipos de fontes de N e S modificaram ( $p \leq 0,05$ ) o teor de nitrogênio  
195 total do solo (NTS) (Tabela 2). Nesse sentido, o tratamento URS apresentou a maior  
196 média e não diferiu estatisticamente de SA e NA. O NTS do URS foi 25,84% maior que  
197 o controle SN e 33,78% maior que UR.

198 A época de avaliação também modificou o NTS, de modo que os maiores valores  
 199 foram observados nas às épocas, 1 e 2, que não diferiram entre si e foram superiores a  
 200 3 e 4 (Tabela 2). O NTS das épocas 1 e 2 foi, em média, 29,78% e 41,47% maior que as  
 201 épocas 3 e 4, respectivamente. Esse resultado evidencia a diminuição gradual dos  
 202 valores obtidos para NTS ao longo das épocas avaliadas (30, 60, 90 e 120 dias após  
 203 início do experimento).

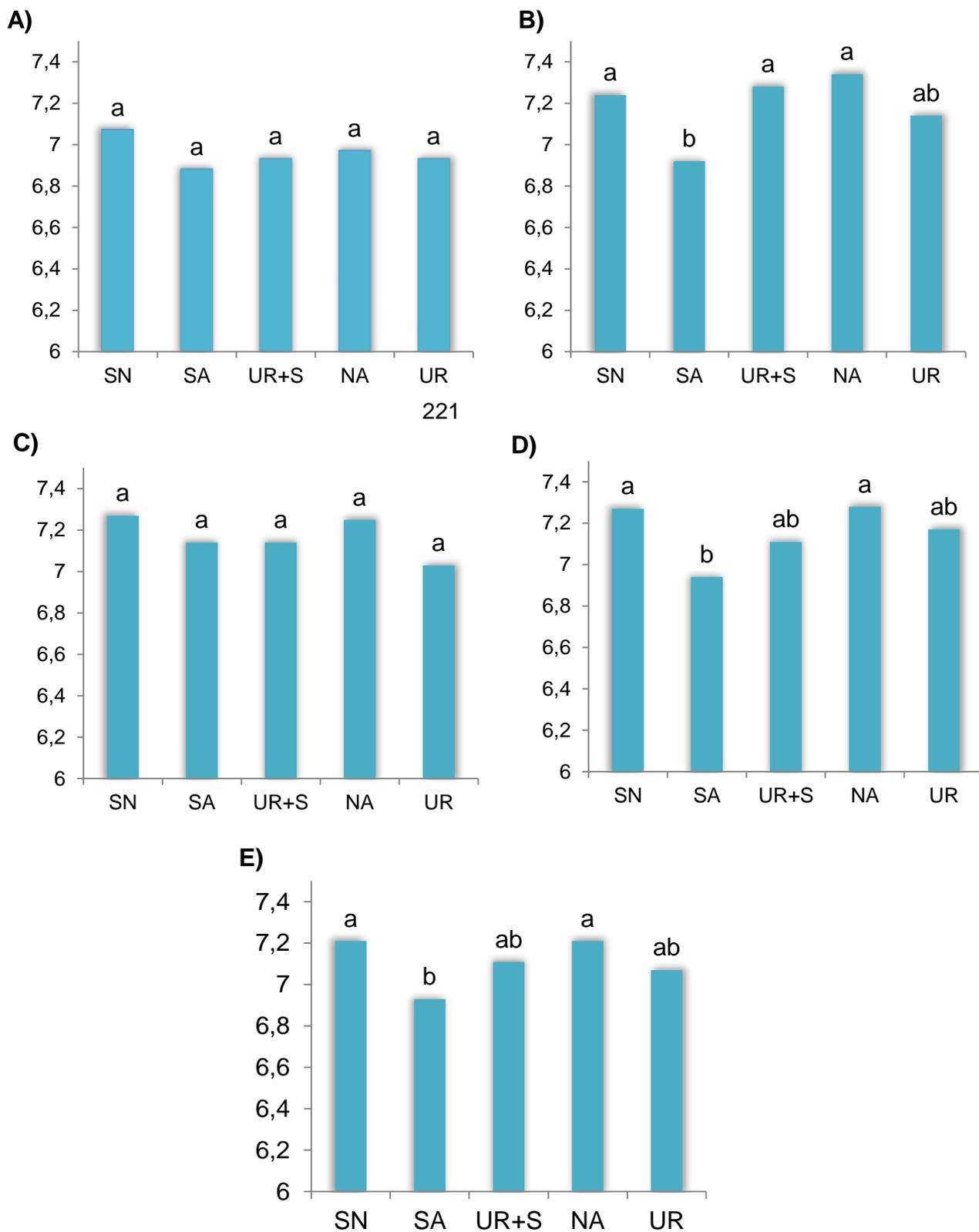
204  
 205 **Tabela 2:** Nitrogênio total do solo (NTS) cultivado com capim BRS Paiaguás em função  
 206 da aplicação de diferentes fontes nitrogenadas na acidificação do solo avaliado em  
 207 quatro períodos de crescimento. UFMG, Montes Claros-MG, 2024

TRATAMENTOS	NTS g kg <sup>-1</sup>
Sem nitrogênio	2,36bc
Sulfato de amônio	2,94ab
Ureia + S-elementar	2,97a
Nitrato de amônio	2,49ac
Ureia	2,22c
CV(%)	18,12
ÉPOCAS	
1	2,99a
2	2,98a
3	2,30b
4	2,11b
CV(%)	19,55

208 Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de  
 209 significância.

211 As diferentes fontes de N e S também modificaram ( $p < 0,05$ ) o pH médio do solo  
 212 após quatro adubações com N (Figura 3). Quando observamos o pH médio de todo o  
 213 período experimental (Figura 3E), nota-se que o SA apresentou menor valor, não  
 214 diferindo estatisticamente de UR e URS. O tratamento com SA apresentou pH 3,88%  
 215 menor que o controle SN, o que representou uma diferença de, aproximadamente, 0,28  
 216 unidade de pH e fez o solo fertilizado com SN ser o único a apresentar pH abaixo de 7.  
 217 Já o NA apresentou pH igual ao controle SN (7,21), evidenciando que essa fonte não  
 218 teve a mesma efetividade que as demais em acidificar o solo.

219  
 220



222  
223  
224  
225  
226  
227  
228  
229  
230  
231  
232  
233  
234  
235  
236  
237  
238  
239  
240

**Figura 3:** Potencial hidrogênio (pH) do solo em função da aplicação de diferentes fontes nitrogenadas na acidificação do solo. UFMG, Montes Claros-MG, 2024. (A) pH do solo na época 1 - 30 dias; (B) pH do solo na época 2 - 60 dias; (C) pH do solo na época 3 - 90 dias; (D) pH do solo na época 4 - 120 dias e (E) pH médio do solo ao longo de todas épocas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

241 Ao observar o pH do solo adubado com fontes de N em cada época, nota-se que  
 242 as diferenças entre as fontes somente puderam ser evidenciadas estatisticamente nas  
 243 épocas 2 e 4 (Figura 3B e 3D). Isso indica que o efeito das fontes só se manifestou da  
 244 segunda época em diante. O pH do tratamento SN se manteve elevado com aumento  
 245 desde a primeira época, indicando que a presença de N na forma de SA, UR e UR+S  
 246 resultou em acidificação desses solo e que a falta destes (SN) permitiu a elevação do  
 247 pH (Figura 3).

248 As fontes de N e S aplicadas não modificaram o teor de fósforo disponível no solo  
 249 (P Mehlich 1) (Tabela 3). A mobilidade do P no solo é limitada em comparação com  
 250 outros nutrientes, como o N ou o potássio (K). Isso ocorre devido à forte interação do  
 251 nutriente com as partículas de argila do solo, o que faz com que ele seja rapidamente  
 252 imobilizado em formas menos disponíveis para as plantas.

253  
 254 **Tabela 3:** Teores de fósforo disponível (P), potássio (K) e magnésio (Mg) no solo  
 255 cultivado com capim BRS Paiaguás em função da aplicação de diferentes fontes  
 256 nitrogenadas na acidificação do solo avaliado em quatro períodos de crescimento.  
 257 UFMG, Montes Claros-MG, 2024

TRATAMENTOS	Teor no solo		
	P Mehlich 1 mg dm <sup>-3</sup>	K mg dm <sup>-3</sup>	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Sem nitrogênio	3,29a	104,56a	1,31a
Sulfato de amônio	5,55a	84,34a	1,24a
Ureia + S-elementar	3,63a	81,46a	1,42a
Nitrato de amônio	3,69a	101,12a	1,24a
Ureia	3,00a	93,32a	1,38a
CV(%)	123,42	34,11	25,74
ÉPOCAS			
1	3,53a	121,13a	1,32ab
2	4,02a	95,14b	0,98b
3	4,51a	84,13bc	1,54a
4	3,27a	71,44c	1,42a
CV(%)	46,06	18,11	34,67

258 Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de  
 259 significância.

260  
 261 O baixo teor de P disponível em solos alcalinos pode ser explicado pelo pH  
 262 elevado e pela presença de carbonatos de cálcio e magnésio. No entanto, é importante  
 263 ressaltar que o baixo teor inicial de P disponível pode estar relacionado às características  
 264 do solo, como o material de origem pobre em fósforo e o processo de intemperização.

265 Dessa forma, o P disponível no solo ao reagir com os carbonatos, formam compostos de  
 266 fósforo pouco solúveis, como fosfato de cálcio ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), o que reduz a disponibilidade  
 267 no solo e dificulta a absorção de plantas. Mesmo após a reposição de fósforo via  
 268 fertilização mineral, os teores permaneceram baixos ao longo das avaliações, reflexo do  
 269 baixo teor inicial registrado no solo (Tabela 1) no início do experimento.

270 O teor de K no solo não foi modificado pelos tratamentos (Tabela 3) e pela interação  
 271 tratamento x época. Contudo, o teor de K reduziu com o avanço das épocas de avaliação  
 272 (Tabela 3), de modo que a concentração foi maior na época 1 em relação às demais. A época  
 273 2 também foi estatisticamente maior que a época 4, quando o teor do nutriente atingiu o menor  
 274 valor. A redução total ao longo de 120 dias e 4 épocas foi de 41,02%.

275 A aplicação das diferentes fontes de N não modificou o teor de magnésio do solo  
 276 (Mg). Por outro lado, houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) para teores de Mg ao longo  
 277 das diferentes épocas (Tabela 3). Nesse sentido, as épocas 3 e 4 apresentaram teores  
 278 de Mg no solo 57,14 e 45,00% superiores a época 2 quando foi observado o menor teor  
 279 (Tabela 3). O teor médio de  $1,31 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  encontrado no presente estudo para as  
 280 quatro épocas é considerado suficiente para o cultivo de forrageiras, com base na  
 281 recomendação do Boletim 100, que estabelece a faixa adequada de 0,9 a  $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$   
 282 para cultivo (Quaggio *et al.*, 2022).

283 A interação entre fontes de N e épocas influenciou significativamente ( $p \leq 0,05$ ) os  
 284 teores de cálcio (Ca) do solo no estudo (Tabela 4). Essa foi à única variável resposta  
 285 onde a interação foi significativa, portanto, foi necessário decompor a interação para  
 286 estudar como o teor do nutriente se comportou em função das fontes de variação.

287  
 288 **Tabela 4:** Teor de cálcio (Ca) no solo cultivado com capim BRS Paiaguás em função da  
 289 aplicação de diferentes fontes nitrogenadas na acidificação do solo avaliado em quatro  
 290 períodos de crescimento. UFMG, Montes Claros-MG, 2024

TRATAMENTOS	Teor no solo de Ca				Média	CV (%)
	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$					
	1	2	3	4		
Sem nitrogênio	8,55Aa	8,23Ba	6,71Da	7,86Ca	7,84a	
Sulfato de amônio	8,30Aa	8,46Aa	7,94Ba	8,06Ba	8,19a	
Ureia + S-elementar	8,71Aa	8,77Aa	8,25Ba	8,42Ba	8,54a	4,58
Nitrato de amônio	8,46Ba	9,01Aa	8,07Ca	8,52Ba	8,51a	
Ureia	8,64Aa	8,19Ba	8,13Ba	8,15Ba	8,28a	
Média	8,53a	8,53a	7,82c	8,20b		

291 Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre  
 292 si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

293 Ao analisar o efeito das fontes de N e S em cada uma das épocas, nota-se que a  
 294 resposta do teor de Ca aos diferentes tratamentos, incluindo o controle, foi uniforme. Isso  
 295 pode ser verificado por meio da ausência de diferenças significativas entre as fontes  
 296 (Tabela 4).

297 Por outro lado, cada fonte de N e S influenciou o teor de Ca no solo de forma  
 298 diferente, no tratamento controle SN, o valor se mostrou elevado nas primeiras épocas  
 299 e atingiu menor valor na terceira. Já nos tratamentos com SA e UR+S, ambos com S, as  
 300 épocas 1 e 2 apresentaram teores mais elevados que 3 e 4. No tratamento somente com  
 301 UR, na primeira colheita, o teor de Ca no solo foi maior que nas épocas 2, 3 e 4. Já no  
 302 tratamento NA notou-se valor significativamente maior na segunda época, seguido por  
 303 1, 4 e 3, onde foi registrado o menor valor.

304 Não houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre os tratamentos com diferentes  
 305 fontes nitrogenadas para a variável índice de clorofila (INCL) (Tabela 5). Nesse trabalho,  
 306 o valor médio entre os tratamentos, incluindo o controle SN, foi de 38,44. Por outro lado,  
 307 o avanço das épocas resultou em mudança significativa no INCL, onde foi registrado  
 308 aumento. As épocas 2 e 4 foram estatisticamente maiores que a época 1 (Tabela 5).

309  
 310 **Tabela 5:** Índice de clorofila do capim BRS Paiaguás em função da aplicação de  
 311 diferentes fontes nitrogenadas na acidificação do solo, avaliados em quatro períodos de  
 312 crescimento. UFMG, Montes Claros-MG, 2024

TRATAMENTOS	Clorofila
Sem nitrogênio	35,40a
Sulfato de amônio	38,46a
Ureia + S-elementar	38,56a
Nitrato de amônio	39,48a
Ureia	40,30a
CV(%)	11,58
ÉPOCAS	
1	35,49b
2	40,68a
3	38,07ab
4	39,52a
CV(%)	10,94

313 Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de  
 314 significância.

315  
 316 As estratégias utilizadas na adubação modificaram ( $p \leq 0,05$ ) aspectos produtivos  
 317 do capim BRS Paiaguás como a massa seca de forragem (MSF), altura de plantas (AP)

318 e número de perfilhos (NP) (Tabela 6). Todas as fontes aplicadas não se diferenciaram  
 319 umas das outras, mas apresentaram desempenho superior em relação ao controle SN.  
 320 As mesmas variáveis, com exceção de NP, também responderam significativamente às  
 321 épocas de avaliação (Tabela 6). No entanto, não houve influência da interação entre  
 322 fonte e época. A massa seca de forragem (MSF) corresponde à quantidade média de  
 323 forragem produzida ao longo de 30 dias de crescimento (uma época). Essa variável foi  
 324 significativamente maior nas plantas adubadas com diferentes fontes de N, em  
 325 comparação àquelas do tratamento controle sem nitrogênio (SN) (Tabela 6), resultando  
 326 em resposta uniforme produção de biomassa à adubação.

327 Os ganhos em produção após a adubação com SA, URS, NA e UR foram de 127,  
 328 146, 164 e 152%, respectivamente. Nesse sentido, todos os tipos de fontes de N  
 329 proporcionaram produção superior ao dobro da condição não adubada, mostrando que  
 330 o N de fato é a principal estratégia para aumentar a produção de forragem e taxa de  
 331 lotação do pasto. Já o efeito das épocas resultou em grande variação mensal na MSF  
 332 (Tabela 6). Nesse sentido, o maior resultado ocorreu na época 3, seguida pelas épocas  
 333 2 e 4, que não difereiram entre si. O ganho percentual em produção observado na época  
 334 3 foi 79,08% superior à época 1.

335  
 336 **Tabela 6:** Aspectos produtivos do capim BRS Paiaguás em função da aplicação de  
 337 diferentes fontes nitrogenadas na acidificação do solo, avaliados em quatro épocas de  
 338 crescimento. UFMG, Montes Claros-MG, 2024

TRATAMENTOS	MSF	AP	NP
	Kg ha <sup>-1</sup>	cm	Perfilho/m <sup>2</sup>
Sem nitrogênio	1366,6b	43,4b	501b
Sulfato de amônio	3102,9a	55,3a	866a
Ureia + S-elementar	3370,9a	53,2a	727a
Nitrato de amônio	3607,5a	54,5a	807a
Ureia	3451,7a	55,4a	887a
CV (%)	24,03	14,33	20,24
ÉPOCAS			
1	2184,3c	56,35a	743a
2	2706,2bc	45,06b	764a
3	3911,7a	55,09a	770a
4	3117,4b	53,02a	753a
CV (%)	22,08	9,93	17,37

339 Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de  
 340 significância. MSF: massa seca total; AP: altura de plantas; NP: número de perfilhos.

341

342 A AP e NP responderam às fontes de N de maneira semelhante à MSF (Tabela  
343 6), onde o capim teve seu crescimento vegetativo limitado apenas na ausência de  
344 adubação com N. Assim, o ganho em AP entre plantas adubadas com N e não adubadas  
345 foi de 25,81% no momento da colheita (Tabela 6). Já o mesmo ganho em NP foi de 64%  
346 em relação ao controle SN.

347 As épocas de crescimento não influenciaram ( $p \leq 0,05$ ) o NP do capim BRS  
348 Paiaguás (Tabela 6). As alturas de planta (AP) nas épocas 1, 3 e 4 (Tabela 6) não  
349 apresentaram diferenças estatísticas entre si, sendo superiores à da época 2.

350 As diferentes fontes nitrogenadas e com S não modificaram as porcentagens de  
351 folhas e de colmos da forragem ( $p \leq 0,05$ ) do capim BRS Paiaguás (Tabela 7), mas adubar  
352 com SA e UR resultou em menor proporção de material morto (MORTO), que o controle  
353 SN. O controle SN, por sua vez, não diferiu estatisticamente dos tratamentos URS e NA  
354 (Tabela 7). A proporção de MORTO no SN foi 167% maior que SA e 148% maior que  
355 UR, evidenciando senescência acelerada de folhas no tratamento SN.

356 Já as épocas modificaram a composição morfológica do capim em termos de  
357 porcentagem de FOLHA e COLMO, não sendo evidenciada diferença para porcentagem  
358 de MORTO (Tabela 7). Nesse sentido, o corte 3 foi caracterizado por mais folhas e  
359 menos colmos que as demais épocas. A porcentagem de MORTO foi a mesmas entre  
360 as épocas.

361  
362 **Tabela 7:** Aspectos morfológicos do capim BRS Paiaguás em função da aplicação de  
363 diferentes fontes nitrogenadas na acidificação do solo, avaliados em quatro épocas de  
364 crescimento. UFMG, Montes Claros-MG, 2024

TRATAMENTOS	FOLHA	COLMO	MORTO	IAF	IL
		%			%
Sem nitrogênio	70,33a	21,89a	7,75a	1,92b	73,74b
Sulfato de amônio	73,25a	23,82a	2,90b	3,27a	87,07a
Ureia + S-elementar	73,75a	22,31a	3,92ab	2,89a	81,99a
Nitrato de amônio	70,05a	24,79a	5,13ab	3,16a	85,09a
Ureia	72,89a	23,96a	3,12b	3,12a	85,12a
CV (%)	8,32	27,17	82,21	24,74	8,01
ÉPOCAS					
1	69,91b	25,37a	4,70a	3,52b	78,27b
2	69,22b	25,45a	5,29a	1,45d	91,58a
3	76,61a	19,57b	3,80a	4,32a	88,55a
4	72,47b	23,03a	4,47a	2,19c	72,01c
CV (%)	5,84	15,13	70,41	17,95	8,72

365 Médias seguidas pela mesma letra na linha e na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey  
366 a 5% de significância. FOLHA: porcentagem de folhas; COLMO: porcentagem de colmo;  
367 MORTO: porcentagem de material morto; IAF: índice de área foliar; IL: interceptação luminosa.

368 Na variável índice de área foliar (IAF) e interceptação luminosa (IL), o tratamento  
369 SN foi o único que diferiu estatisticamente dos demais, apresentando as menores médias  
370 para fontes avaliadas (Tabela 7). Nesse sentido, todos os tratamentos com N ou N e S  
371 apresentaram uma resposta semelhante em termos de capacidade de aproveitar e  
372 responder à luz do ambiente. De fato, o IAF do SA foi 70% maior que o tratamento SN  
373 (Tabela 7) e esse valor resultou do menor desenvolvimento da parte aérea em função  
374 da deficiência de N.

375 O fator época (Tabela 7) também modificou a capacidade da forrageira de interagir  
376 com a luz. A época 3 proporcionou maior índice de área foliar (IAF), com média de 4,32  
377 (Tabela 7). A época 1 apresentou IAF menor que 3, porém maior que 4 e 2. Já o menor  
378 valor de IAF foi observado na época 2, que foi significativamente menor que as outras.  
379 Já a interceptação luminosa (IL) não diferiu estatisticamente entre as épocas 2 e 3, que  
380 foram superiores as épocas 1 e 4.

381 As diferentes fontes de N e S não modificaram o teor foliar de potássio (K). Porém,  
382 as diferentes épocas estudadas evidenciaram redução significativa de 35,83% no teor  
383 de K da época 1 para a época 4 (Tabela 8). O teor de potássio no tecido de forrageiras  
384 do gênero *Urochloa* varia de 24 a 34 g kg<sup>-1</sup> na estação chuvosa e de 19 a 30 na estação  
385 seca, sendo estes considerados níveis nutricionalmente adequados (Cavalcanti *et al.*,  
386 2021). Não foi constatado efeito significativo das fontes estudadas para o teor foliar de  
387 cálcio (Ca), que foi modificado ao longo das épocas e aumentou 37,50% entre a primeira  
388 e a última época. O teor foliar de magnésio (Mg) apresentou resposta semelhante ao Ca,  
389 porém com valores absolutos menores (Tabela 8). Assim, o Mg nas folhas não  
390 respondeu aos diferentes adubos mas, sim às épocas. A redução constatada no Mg foi  
391 de 22,72% entre as épocas 1 e 4. As diferentes fontes de N e S e as épocas de avaliação  
392 não modificaram o teor foliar de enxofre (S), que foi de 1,58 g kg<sup>-1</sup> de biomassa foliar  
393 seca. (Tabela 8).

394 Os teores foliares dos micronutrientes, boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn) e  
395 ferro (Fe) não responderam às diferentes fontes de N e S e às épocas de avaliação  
396 (Tabela 8). Apenas o teor foliar de zinco (Zn) respondeu ao avanço das épocas, mas não  
397 respondeu às fontes de N e S. Nesse sentido, foi observado decréscimo de 20,7% no Zn  
398 foliar entre as épocas 1 e 4.

399 **Tabela 8:** Teor de nutrientes no tecido foliar do capim BRS Paiaguás em função da aplicação de diferentes fontes nitrogenadas na  
400 acidificação do solo avaliado em duas épocas de crescimento. UFMG, Montes Claros-MG, 2024

TRATAMENTOS	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Zn	Mn	Fe
	----- g kg <sup>-1</sup> -----						----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
<i>Efeito de fontes</i>											
Sem nitrogênio	14,8b	2,5a	19,1a	8,2a	1,9a	1,5a	9,0a	5,1a	21,7a	53,7a	169,3a
Sulfato de amônio	18,9a	2,5a	20,0a	6,8a	2,7a	1,7a	10,0a	5,8a	22,3a	44,1a	145,0a
Ureia + S-elementar	18,0a	2,3a	20,7a	8,0a	2,6a	1,5a	10,0a	6,1a	22,0a	51,0a	151,3a
Nitrato de amônio	18,2a	2,7a	22,1a	7,9a	2,5a	1,5a	9,7a	6,5a	24,9a	49,2a	187,2a
Ureia	17,5a	2,6a	22,2a	7,1a	2,6a	1,7a	8,9a	6,1a	23,8a	45,7a	169,9a
Médias	17,4	2,5	20,8	7,6	2,4	1,58	9,5	5,9	22,9	48,7	164,5
Cv (%)	9,0	14,2	15,8	13,6	18,6	9,3	17,6	16,8	15,4	24,1	22,2
<i>Efeito de épocas</i>											
1	18,6a	2,9a	25,4a	6,4b	2,2b	1,5a	10,3a	6,1a	25,6a	47,8a	164,1a
4	16,3b	2,1b	16,3b	8,8a	2,7a	1,6a	8,8a	5,7a	20,3b	49,7a	164,5a
Médias	17,4	2,5	20,7	7,6	2,4	1,5	9,5	5,9	22,9	48,7	164,3
Cv (%)	8,6	13,4	4,2	6,7	17,0	10,0	24,0	14,0	14,6	17,8	17,3

401 Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

402

## 403 **Discussão**

404 Nota-se que os tratamentos que contém formas menos voláteis de N ou que  
405 também possuem S em sua composição (URS, SA e NA) apresentaram maiores teores  
406 de N no solo (Tabela 2). Isso resultou da menor volatilização do N combinado ao efeito  
407 de acidificação, observado no tratamento SA (Figura 3). Partindo do princípio que o N  
408 proveniente do SA e URS já estava na forma de  $\text{NH}_4^+$  ou foi convertido com maior  
409 facilidade devido à acidez gerada pelo S elementar, espera-se maior conteúdo no solo  
410 resultante de menos lixiviação e volatilização.

411 A volatilização de N também é modificada pelas condições ambientais, como  
412 umidade e temperatura. Mesmo com a temperatura elevada, típica da primavera em  
413 clima tropical, a irrigação pode reduzir a volatilização quando consideramos apenas o  
414 aspecto da umidade. Porém, durante a condução do experimento, a região de cultivo foi  
415 acometida por ondas de calor que levaram ao aumento brusco da temperatura. Como  
416 recurso para sobrevivência das plantas, dobrou-se a lâmina de irrigação, de 7,0 mm para  
417 14,0 mm  $\text{dia}^{-1}$ . Entretanto, Cambissolos apresentam características impeditivas, tais  
418 como pequena profundidade, argila de atividade alta e restrições de drenagem que  
419 limitam, sobremaneira, sua utilização agrícola intensiva (Filgueira *et al.*, 2022). Desta  
420 forma, ao aplicar maior quantidade de água no solo, houve a formação de uma camada  
421 de água na sua superfície, que reduziu o  $\text{O}_2$  e contribuiu para maior volatilização do N.

422 Já em relação a queda do conteúdo de NTS em função do avanço das épocas,  
423 observa-se que as colheitas sucessivas da forragem também exportaram N. A  
424 exportação, associada a perdas de fontes voláteis, pode levar a um menor atendimento  
425 da demanda das plantas com as parcelas de adubo aplicadas. Em decorrência, o N pode  
426 reduziu gradualmente ao longo das épocas avaliadas.

427 O pH do solo foi estudado por meio de interação para evidenciar flutuações  
428 ocorridas nas diferentes épocas de acordo com os diferentes adubos. Essa variável  
429 também foi estudada na forma de média entre as 4 colheitas para evidenciar apenas a  
430 resposta ao adubo (Figura 3). Nesse sentido, nas épocas 1 e 3, o pH entre os diferentes  
431 tipos de adubação não diferiu (Figura 3A e 3C). Já nas épocas 2 e 4 houve maior  
432 variação, indicando que a acidificação, foi evidenciada da segunda dose de N (2ª época)  
433 em diante. Nesse momento, as plantas já tinham passado por 60 dias de manejo e  
434 recebido adubação com cerca de 125 kg  $\text{ha}^{-1}$  de N.

435 Os adubos, ou fontes de N utilizadas no experimento são aquelas mais usuais na  
436 agricultura: ureia (44% a 46% N), sulfato de amônio (20 a 21% N) e nitrato de amônio

437 (32% a 33% N) (Pinho *et al.*, 2022), sendo incluído um tratamento com ureia e enxofre  
438 elementar. Essas fontes disponibilizam N em diferentes formas, como  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ .

439 Nesse cenário, a variação no pH em resposta aos tratamentos decorreu de  
440 diferenças no processo de oxidação do  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ . Portanto, se o  $\text{NH}_4^+$  é a principal  
441 forma de N liberada pelo adubo, ela precisará ser oxidada a nitrato por meio da atividade  
442 dos microrganismos responsáveis pela nitrificação (Bezerra *et al.*, 2020). A atividade  
443 microbiana, por sua vez, depende de temperatura, água e matéria orgânica.

444 O pH do tratamento SN se manteve elevado ao longo de todo experimento. Isso  
445 comprova que a falta de um agente gerador de acidez (os adubos nitrogenados) permitiu  
446 que o pH se mantivesse elevado ao longo de 120 dias de avaliação (Figura 3). O aumento  
447 do pH do solo em função da irrigação com águas subterrâneas, resulta da reação alcalina  
448 do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) presente na água. A alcalinidade pode afetar a  
449 estabilidade estrutural do solo e a disponibilidade de nutrientes essenciais para o  
450 rendimento das forrageiras. Para gramíneas forrageiras a faixa de pH considerada ideal  
451 está entre 5,5 e 6,0. Em estudo realizado por Valenciano *et al.* (2024), à medida que o  
452 pH do solo se aproximou de 7,0, a disponibilidade da maioria dos micronutrientes  
453 catiônicos diminuiu, dificultando a absorção de nutrientes do capim BRS Paiaguás.  
454 Assim, a prática da fertilização com N torna-se útil como agente acidificante e para que  
455 as culturas obtenham elevados rendimentos em solos alcalinos (Braga *et al.*, 2018).

456 A acidez gerada pela aplicação dos fertilizantes nitrogenados no solo libera íons  
457 de  $\text{H}^+$ , que neutralizam a alcalinidade e promovem a solubilização do carbonato de cálcio  
458 presente em solos ricos em calcário (Kissel *et al.*, 2020). A acidificação causada por  
459 fertilizantes nitrogenados, por vezes, pode se tornar um problema na produção agrícola.  
460 Isso ocorre, pois a acidez do solo ocasiona, entre outras questões, a indisponibilidade  
461 de nutrientes para as plantas cultivadas. Silva *et al.* (2020b), caracterizando a química  
462 de um solo adubado com doses de N, observaram a diminuição do pH em água em 0,6  
463 (de 5,7 para 5,1), quando aplicados  $400 \text{ mg dm}^{-3}$  de N. Por outro lado, em casos de solos  
464 alcalinos, a aplicação de fertilizantes acidificantes pode ser uma solução, sendo capaz  
465 de diminuir o pH do solo e beneficiar o desenvolvimento e produção das culturas.

466 Mesmo diante de uma resposta em termos de acidificação do solo, a  
467 disponibilidade do P não foi afetada pelas diferentes fontes de N e S. A redução do pH  
468 em solos alcalinos é benéfica para a absorção do P, que na presença de alto pH e alta  
469 concentração de carbonatos no solo, pode se precipitar e se tornar indisponível para as  
470 plantas. Contudo, o P disponível no solo não variou em resposta dos adubos e épocas.

471 Isso é explicado pela baixa disponibilidade de P, que variou de 3,0 a 5,55 mg dm<sup>-3</sup> esses  
472 números são classificados como muito baixos de acordo o 5ª aproximação (1999) para  
473 solos com mais de 35% de argila em Minas Gerais.

474 Deve-se lembrar que a adubação com P no sulco de plantio fez parte do manejo  
475 de padronização das condições ambientais. Isso coloca o adubo concentrado em um  
476 local onde não foram realizadas amostragens para a coleta de solo. Vieira *et al.* (2021),  
477 estudando adsorção de fósforo em solos do semiárido brasileiro, relataram que a maior  
478 adsorção de P foi observada em solos com texturas mais argilosas, alcalinas e ricas em  
479 ferro e cálcio, condições semelhantes às deste estudo.

480 O teor de K no solo não respondeu aos diferentes tipos de adubação, mas  
481 respondeu ao avanço nas colheitas. Inicialmente, observou-se elevado teor de K no solo  
482 do campo experimental (Tabela 1), por isso não houve novas adubações. Esse teor  
483 elevado reduziu significativamente ao longo das colheitas evidenciando processos como  
484 extração pela cultura e perdas por lixiviação.

485 A redução no teor de K no solo ocorrida do corte 1 para o corte 4 foi de 42%. Os  
486 níveis de K relatados acima evidenciam a alta demanda por K por forrageiras tropicais.  
487 Por isso, plantas como o capim BRS Paiaguás exportam elevadas quantidades desse  
488 nutriente, principalmente quando são submetidas a colheitas frequentes, sem adubações  
489 de manutenção em curto prazo.

490 O processo de lixiviação também contribui para a redução progressiva do K, já  
491 que esse nutriente apresenta alta mobilidade no solo. O fluxo proveniente da água de  
492 irrigação e das chuvas pode carregá-lo para fora do alcance das plantas. De acordo  
493 Nascimento *et al.* (2024) o K também pode deixar o ecossistema das pastagens por meio  
494 do escoamento. Como o K que está ligado a argilas e materiais orgânicos, ele pode ser  
495 adsorvido em outras partículas finas do solo, sendo suscetível a erosão pela água de  
496 escoamento superficial.

497 As diferentes fontes de N e as épocas interagiram de forma a proporcionar  
498 variações complexas no O teor de Ca no solo (Tabela 4). Assim, a interação entre as  
499 plantas e a forma de N absorvida provome condições que podem modificar o Ca no solo.  
500 Nesse sentido, quando o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> é a forma predominantemente absorvido, há chance de  
501 aumento do pH do solo. Já quando o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> é a principal forma absorvida, há conseqüente  
502 redução do pH (Xiong *et al.*, 2021). Isso explica o aumento no teor de Ca das plantas  
503 adubadas com NA na segunda época. Assim, a absorção de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pelo capim BRS  
504 Paiaguás pode ter contribuído para aumento do pH do solo. Isso criou condições de

505 menor acidez e facilitou a solubilização do nutriente.

506 De maneira geral, o teor de Ca no solo foi menor nas últimas avaliações (Tabela  
507 4). Isso pode decorrer da extração do Ca pela forrageira que produziu elevada biomassa  
508 vegetal. Além disso, a acidificação resultante da adubação com N, sobretudo nos  
509 tratamentos SA, URS e UR pode resultar em maior solubilidade e absorção do Ca com  
510 o avanço das colheitas e da aplicação das doses de N.

511 Conforme observado nos resultados, o índice de clorofila (INCL) não respondeu  
512 aos diferentes tipos de adubos, mas respondeu às épocas. A ausência de efeito de  
513 adubação incluiu até o controle SN, que não diferiu estatisticamente dos tratamentos  
514 com N. Esse resultado tem a ver com o volume de biomassa vegetal produzido pela  
515 planta. De fato, a biomassa dos tratamentos adubados com N foi maior que aquele não  
516 adubado. Assim, os teores foliares de clorofila foram semelhantes, porém em  
517 quantidades de massa distintas, que explicaram melhor o efeito do tratamento.

518 Já o efeito de épocas sobre o INCL, sem considerar tratamentos com adubação,  
519 evidenciou diferenças significativas (Tabela 5). A primeira época apresentou o menor  
520 valor, que não diferiu estatisticamente da terceira época. Esse resultado indica que no  
521 início do experimento, a quantidade absorvida pelo capim pode ter sido baixa e levou a  
522 esses resultados. Com menos N absorvido, há limitação na síntese dos compostos que  
523 dependem de N como a clorofila e as proteínas do metabolismo. Ao não diferir  
524 estatisticamente do terceiro, há indícios de que a síntese de clorofila foi prejudicada,  
525 principalmente em relação aos cortes 2 e 4, que apresentaram maior INCL. Dessa forma,  
526 o índice de clorofila mostrou mais sensibilidade para discriminar a diferença ao longo dos  
527 meses de avaliação, mas não foi suficiente para evidenciar padrões de resposta aos  
528 adubos que adicionaram a mesma quantidade de N, porém em formas químicas  
529 diferentes (Tabela 5).

530 As estratégias de adubação com N e S não foram capazes de promover resposta  
531 produtiva diferente no capim BRS Paiaguás (Tabela 6). Contudo, o controle SN produziu  
532 significativamente menos massa seca de forragem (MSF). Esse padrão também ficou  
533 evidente em outras características agrônômicas como AP e NP (Tabela 6). Nesse  
534 sentido, as plantas adubadas com qualquer uma das fontes de N e S apresentaram-se  
535 mais altas e com mais perfilhos que o controle. De fato, o N é um dos principais fatores  
536 responsáveis por estimular o desenvolvimento vegetativo e perfilhamento da forrageira  
537 na ausência de estresse (Amaral *et al.*, 2020).

538 Ao ser absorvido, o N estimula o aumento da MSF por meio da emissão e

539 alongamento de folhas, que aumentam a atividade fotossintética da planta (Gastal;  
540 Lemaire, 2015; Braz et al., 2017). Para cada nova folha produzida no capim, há nova  
541 gema com potencial para formar novos perfilhos (Nabinger, 1996; Gastal; Lemaire,  
542 2015). De fato, o N desempenha função estrutural e metabólica, fazendo parte de  
543 aminoácidos, amidas, proteínas, clorofila, ácidos nucleicos, coenzimas e hexoaminas  
544 (Taiz *et al.*, 2017), todos fatores diretamente ligados à fotossíntese. A demanda por  
545 esses componentes aumenta na fase vegetativa e em períodos de rebrota, fazendo  
546 necessárias adubações de manutenção.

547 A MSF no presente estudo representou a quantidade de biomassa seca produzida  
548 ao longo de 30 dias de crescimento. Essa medida não diferencia tecidos verdes e  
549 senescidos (mortos) da planta e representa a produção bruta de biomassa. Nesse  
550 sentido a época 3 resultou em maior MSF, sendo estatisticamente superior as demais  
551 (Tabela 6). Isso é consequência da aplicação sucessiva das parcelas da adubação  
552 nitrogenada, mas também pode resultar do aumento da temperatura e da consolidação  
553 das chuvas. Outros fatores que podem ter levado ao aumento da MSF no terceiro corte  
554 são: i) a quantidade de adubos aplicada, já que nesse momento as plantas já tinham  
555 recebido a terceira parcela de N e a última de S, no caso de URS; ii) a condição ambiental  
556 favorável ao crescimento de forrageiras C<sub>4</sub>, resultante de aumento da temperatura e  
557 precipitação em novembro (Figura 1). Em seguida a época 3, observou-se elevada MSF  
558 na época 4, que não diferiu estatisticamente de 2. O ganho percentual de MSF entre o  
559 primeiro e o terceiro corte foi de 79,08%. Nota-se, também, que em todas as épocas, a  
560 AP no momento de colheita ficou acima do recomendado para capim BRS Paiaguás, que  
561 deve estar entre 20 e 40 cm (Montagner *et al.*, 2018).

562 A menor altura de planta (AP) observada no período 2 (tabela 6) pode estar  
563 associada a um problema registrado na irrigação. Na época 2 houve um desbalanço e  
564 excesso de irrigação, que pode ter causado maior lixiviação dos nutrientes, bem como  
565 saturação do solo. O aumento na lâmina de irrigação foi realizado para suprir a perda de  
566 água causada pelas ondas de calor desse período. Contudo, o aumento no fluxo de água  
567 criou condições propícias para a desnitrificação, um processo microbiológico em que o  
568 nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) é reduzido em condições de anaerobiose a formas gasosas de nitrogênio,  
569 como o N<sub>2</sub>O, e liberado para a atmosfera (Bezerra *et al.*, 2020). Esse fenômeno resulta  
570 em perda significativa de N do solo (Regan *et al.*, 2017). A perda, por sua vez, limitou a  
571 disponibilidade desse nutriente para o crescimento das plantas e impactou  
572 negativamente o desenvolvimento da cultura no segundo corte.

573 Os resultados observados para número de perfilhos (NP) indicam que o N é um  
574 nutriente realmente importante para essa característica. De fato, plantas adubadas com  
575 N produzem mais folhas, que também representam novas gemas com potencial de  
576 germinar e formar novos perfilhos (Gastal; Lemaire, 2015; Da Silva et al., 2015). Esse  
577 fator associado a condições favoráveis de crescimento (água, luz, temperatura e  
578 nutrientes) aumenta o desenvolvimento das gemas e a sobrevivência dos perfilos. Essa  
579 condição refletiu em aumento do NP de plantas adubadas em relação ao controle SN.

580 O fator época também não modificou o NP, o que aponta que as condições foram  
581 favoráveis à estabilidade do NP ao longo de todo o experimento. De acordo com  
582 Wasselai *et al.* (2020), o N aumenta a emissão de perfilhos e folhas e,  
583 conseqüentemente, a produção de massa de forragem. Como resultado, é possível  
584 aumentar a taxa de lotação animal no pasto (Wendling *et al.*, 2021). A resposta em  
585 termos de crescimento também é consequência da absorção de N, já que este aumenta  
586 a síntese de enzimas e proteínas necessárias para os tecidos em divisão e expansão  
587 celular.

588 Na análise do material morto (MORTO) não houve diferença significativa entre as  
589 épocas (Tabela 8). O fato observado indica que, ele se manteve estável entre as  
590 diferentes épocas de crescimento, com valores que variaram de 3,80% a 5,29%. Isso  
591 pode ser explicado pela fenologia do capim BRS Paiaguás em estágios iniciais de  
592 desenvolvimento, o capim acumula menos material morto, pois suas folhas ainda estão  
593 em vigor. Conforme o capim se desenvolve, ocorre a senescência foliar, levando à  
594 formação de mais material morto. No presente estudo, a colheita foi realizada em  
595 condição inferior à interceptação de 95% da luz e isso, associado ao resíduo de 20 cm,  
596 podem ter implicado na colheita de pouco material morto.

597 A estabilidade observada na porcentagem de material morto sugere que o capim  
598 não ultrapassou o ponto ideal de colheita em nenhuma das avaliações. Isso é importante,  
599 pois colher o capim antes do IAF crítico resulta em baixa quantidade de forragem  
600 senescente, o que se repetiu ao longo das colheitas. Além disso, fatores como  
601 temperatura, disponibilidade de água e o nível de nitrogênio aplicado também  
602 desempenharam um papel importante na manutenção dessa estabilidade. O capim  
603 recebeu adubação com N em quatro parcelas ao longo das avaliações, que estimularam  
604 o crescimento da forrageira. Contudo, ao não ultrapassar o ponto de colheita, o impacto  
605 sobre o acúmulo de material morto foi mínimo.

606 De acordo com Euclides *et al.* (2016), pastagens com maior participação de folhas,

607 em relação a colmo e material morto, apresentam estrutura mais adequada à apreensão  
608 pelos animais em pastejo, além de melhor valor nutritivo.

609 Nota-se que a proporção de material morto foi a menor entre os componentes  
610 morfológicos (folha e colmo). Isso indica que a planta não entrou em situação de estresse  
611 ou entrou em senescência em função da idade (Sade *et al.*, 2018), nem ultrapassou o  
612 IAF crítico (Gastal; Lemaire, 2015). Quando a planta ultrapassa o IAF crítico, a  
613 competição intraespecífica no pasto em monocultivo está elevada e sinaliza que a planta  
614 deve se alongar para posicionar novas folhas nos estratos mais altos do dossel. Além  
615 disso, nesse momento as folhas mais baixas entram em senescência por já se  
616 apresentarem por longo período ativas e por estarem muito sombreadas. Isso indica que  
617 todas as fontes de N supriram a demanda de nutrientes pelas plantas para se manifestar  
618 por meio de uma taxa de crescimento diferenciada da forrageira. Quando as plantas de  
619 um tratamento absorvem mais N e outros nutrientes como resposta, seu crescimento  
620 acelera e as plantas avançam mais rápido o crescimento e desenvolvimento do dossel.  
621 Como resultado, as plantas podem apresentar composições em termos de folhas,  
622 colmos e material morto diferenciada. Diferenças morfológicas como essas também  
623 podem ser mascaradas por altos coeficientes de variação residual.

624 A ausência de diferenças nas porcentagens de FOLHA e COLMO entre  
625 tratamentos adubados e SN pode ser associada ao maior nível de fertilidade (Tabela 1)  
626 e pela irrigação, que favorece o desenvolvimento vegetativo da forrageira. Além disso, a  
627 colheita da fração superior do dossel resulta em forragem com muitas folhas e menos  
628 colmos e material morto (Fonseca *et al.*, 2012). Essa estratégia favorece o consumo da  
629 forragem pelos animais em pastejo e melhora a composição nutricional da mesma.

630 Segundo Braz *et al.* (2017), o alongamento das folhas é o principal fator que  
631 contribui para o acúmulo de forragem quando as plantas são colhidas dentro da sua  
632 altura de manejo. Por esse motivo, plantas sem estresse e colhidas antes de atingirem  
633 95% de IL apresentarão elevada porcentagem de FOLHA em relação aos outros  
634 componentes morfológicos.

635 O acúmulo de material morto e o aumento da sua porcentagem na composição  
636 morfológica da forragem podem decorrer de estresse e de estágio de desenvolvimento  
637 avançado. No presente estudo, as plantas não atingiram o IAF crítico (95% de IL). Isso  
638 reduz a possibilidade de diferenças na porcentagem de MORTO sejam explicadas pelo  
639 estágio de desenvolvimento.

640 As folhas de gramíneas forrageiras possuem um tempo de duração ou vida útil,

641 que pode ser medido por meio de estudos de morfogênese (Duru; Ducrocq, 2000).  
642 Quando as folhas atingem esse tempo, iniciam um processo de senescência e  
643 contribuem para o aumento do material morto. Esse período costuma coincidir com o IAF  
644 crítico, ou 95% de IL pelo dossel forrageiro. A adubação nitrogenada em estudo  
645 semelhante com capim BRS Piatã (*U. brizantha*) também evidenciou que melhora a  
646 eficiência de colheita por meio de maior porcentagem de FOLHA e menor porcentagem  
647 de MORTO (Silva *et al.*, 2020). Isso também ocorreu no capim BRS Paiaguás com o  
648 aumento na porcentagem de FOLHA nas plantas adubadas e aumento da porcentagem  
649 de MORTO no tratamento controle SN (Tabela 8).

650 Contudo, deve-se lembrar de que a biomassa aérea do tratamento SN foi  
651 significativamente menor que os demais (Tabela 6). Isso foi resultado da limitação  
652 imposta pela deficiência de N ao capim BRS Paiaguás, que reduziu o crescimento de  
653 acordo com a disponibilidade de N. Nesse sentido, processos como a senescência e a  
654 realocação contribuíram para fornecer N à zona de divisão e manter a emissão de folhas  
655 mais novas. Esse aspecto da planta ajuda a entender a ausência de variação observada  
656 no INCL adubadas e não adubadas. O INCL foi medido na última folha expandida, que  
657 faz parte dos tecidos priorizados para alocação do N.

658 O manejo de desfolhação utilizado também teve impacto na porcentagem de  
659 MORTO, já que esse acumula principalmente na parte mais baixa do dossel. Assim, a  
660 colheita da forragem acima de 20 cm resulta em mais folhas e colmos e menos material  
661 morto. A redução na proporção de material MORTO foi notada em estudos onde as  
662 alturas de resíduo se distanciaram do nível do solo nas espécies *U. decumbens* e *U.*  
663 *brizantha*, indicando que a forragem morta realmente costuma se concentra mais  
664 próxima ao solo (OLIVEIRA *et al.*, 2021; OLIVEIRA *et al.*, 2024).

665 O IAF resulta da relação entre os fatores do ambiente e as características  
666 morfogênicas e estruturais da planta. Assim, condições como a presença de N, e o  
667 aumento progressivo da temperatura e a presença de umidade e luz estimulam a  
668 expansão da área foliar da planta que se torna mais eficiente na interceptação da luz.  
669 Silva *et al.* (2020) avaliando três ciclos de pastejo em função da aplicação de doses  
670 nitrogenadas relataram que a maior IL de 95 % foi obtida com a aplicação de 450 kg ha<sup>-1</sup>  
671 de N em capim BRS Piatã. Demonstrando assim, que as forrageiras respondem a  
672 sucessivos cortes e adubação nitrogenada, corroborando como os resultados obtidos  
673 neste.

674 Deve-se destacar que o IAF do capim BRS Paiaguás foi significativamente menor

675 no controle SN (Tabela 7) e evidenciou que a falta de N de fato limitou o desenvolvimento  
676 vegetativo da parte aérea. Contudo, as diferentes formas de N presentes nos adubos  
677 não modificaram essa resposta. Já em relação ao efeito das épocas de avaliação, notou-  
678 se maior IAF na terceira colheita, que pode indicar o momento onde as plantas já tinham  
679 recebido maior parte do N e houve melhoria nas condições climáticas do campo  
680 experimental (Figura 1).

681 A IL apresenta correlação com o IAF e apresentou um padrão de resposta  
682 semelhante (Tabela 7), com uma pequena diferença em relação à segunda colheita que  
683 não diferiu estatisticamente da terceira. Segundo Coelho *et al.* (2020), a interceptação  
684 de luz (IL) e o índice de área foliar (IAF) são características da pastagem que possuem  
685 correlação direta com o crescimento da planta e seu estado morfofisiológico. Portanto, o  
686 aumento do IAF gera o aumento da capacidade de interceptação luminosa do dossel e,  
687 conseqüentemente, o capim produz mais massa de forragem.

688 O estudo do teor foliar de macro e micronutrientes não evidenciou diferenças  
689 significativas entre as fontes de N e S (Tabela 8). Apenas o teor de N foliar nos  
690 tratamentos adubados se mantiveram maiores que o controle SN. Esse resultado  
691 evidencia que aplicar fontes de N (com ou sem S) é uma estratégia efetiva de intensificar  
692 a produção de pastagens irrigadas. Nesse sentido, houve ganho no teor foliar do  
693 nutriente associado a produção significativamente maior de biomassa de forragem. Isso  
694 aponta que a quantidade de N absorvida pelas plantas adubadas foi consideravelmente  
695 maior que as do controle.

696 Já as concentrações foliares de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio  
697 (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe) não modificaram  
698 em resposta às fontes de N e S, se mostrando estatisticamente iguais ao controle (Tabela  
699 8). Os teores das bases e de micronutrientes como Mn e Fe apresentaram-se elevados  
700 no solo e não limitaram a absorção.

701 Por outro lado, a resposta dos teores foliares de nutriente às duas épocas  
702 consideradas (1 e 4) ficou evidente tanto entre macro quanto entre micronutrientes  
703 (Tabela 8). Teores foliares de N, P e K caíram significativamente da primeira para a  
704 última colheita. Na época 1, as plantas encontravam-se em condições de maior  
705 disponibilidade de P e K no solo associada com limitações ao crescimento (menor  
706 temperatura) que ficaram refletidas na menor produção registrada. Mesmo com menor  
707 produção, os nutrientes foram absorvidos e permaneceram mais concentrados no tecido,  
708 que em épocas de maior crescimento como a 4. Essa característica é comum em

709 forrageiras C4, que apresentam diluição ou redução da concentração foliar de nutrientes  
710 móveis na planta (Wang *et. al.*, 2023). Isso está associado ao aumento da biomassa da  
711 planta, representada pelo aumento da espessura da parede celular vegetal.

712 Jin *et al.* (2024) estudando estratégias de adaptação das plantas com adição de  
713 N e P observaram que diferentes níveis de nutrientes, como o N, pode influenciar nas  
714 estratégias de uso de recursos pelas raízes, que ajustam suas características  
715 morfológicas e fisiológicas para maximizar a absorção de nutrientes durante o  
716 crescimento inicial, quando a demanda é maior.

717 Os teores foliares de N encontrados no presente estudo são classificados dentro  
718 da faixa de 13,0 a 20,0 g de N kg<sup>-1</sup> de MS considerada suficiente para a espécie forrageira  
719 (Quaggio *et. al.*, 2022). De acordo a faixa de teores adequados do boletim 100, os níveis  
720 de P foliar devem estar entre 0,8 a 3,0 g de P kg<sup>-1</sup> de MS. Assim, mesmo diante da baixa  
721 disponibilidade de P observada ao longo do experimento, o capim BRS Paiaguás  
722 absorveu quantidades dentro do ideal.

723 Já o teor foliar de K reduziu significativamente na quarta época (Tabela 8). A  
724 disponibilidade deste nutriente no solo pode variar ao longo do tempo da avaliação e  
725 passar por processos como a extração e lixiviação. No início, o teor no solo foi  
726 considerado alto, o que motivou a não realização de adubações (Tabela 1). Contudo, a  
727 irrigação e o elevado nível de produtividade da forrageira levaram a redução significativa  
728 do K no solo (Tabela 3), que se manifestaram na forma de menor teor foliar de K na  
729 época 4. Mesmo assim, o teor foliar permaneceu entre 12,0 a 30,0 g de K kg<sup>-1</sup> de MS e  
730 foi considerado satisfatório conforme as recomendações presentes no Boletim 100  
731 (Quaggio *et. al.*, 2022).

732 O teores foliares de Ca e Mg também responderam a época, mas aumentaram da  
733 primeira para a quarta colheita (Tabela 8). Tanto na época 1 quanto na época 4, os teores  
734 foliares de Ca se encontraram dentro da faixa adequada para essa espécie forrageira  
735 (de 3,0 a 6,0 g de Ca kg<sup>-1</sup> de MS). Esse nutriente estava presente em grandes  
736 quantidades no solo desde o início do trabalho e, ainda, sofreu oscilações conforme os  
737 tipos de adubo e as épocas. A variação mais representativa foi o aumento conforme o  
738 tempo, que pode estar associado a disponibilização em função da acidificação do solo e  
739 da adição via água de irrigação. Já os teores encontrados neste estudo para o Mg foliar  
740 também estão adequados para a faixa de 1,5 a 4,0 g kg<sup>-1</sup> no tecido foliar descritos no  
741 Boletim 100 (Quaggio *et. al.*, 2022). O teor de Mg no solo também se elevou ao longo  
742 das colheitas e pode ter refletido em maior teor foliar.

743 As épocas de avaliação não modificaram os teores foliares dos micronutrientes S,  
744 B, Cu, Mn e Fe (Tabela 8). Particularmente o S estava presente em dois dos tratamentos  
745 testados no experimento, que foram SA e URS. Nesse sentido, foram adicionados 60  
746 kg/ha de S na sua forma elementar no tratamento URS e 55 kg/ha de S na forma de  
747 sulfato no tratamento SA. Essas quantidades não foram suficientes para que as plantas  
748 expressassem maior absorção e variação na concentração de S nos tecidos. Também,  
749 a baixa mobilidade do S na planta sugere que, após sua incorporação nas folhas, o  
750 elemento não é facilmente redistribuído para outras partes, limitando seu transporte para  
751 órgãos em desenvolvimento ou em necessidade de reposição nutricional. Portanto,  
752 independentemente da fonte de fertilizante utilizada, o fornecimento de S foi capaz de  
753 manter os teores dentro da faixa adequada para a planta de 0,8 a 2,5 g kg<sup>-1</sup> de S foliar  
754 na matéria seca de acordo o Boletim 100.

755 Os teores foliares de Zn também foram marcados por redução entre a primeira e  
756 a última colheita (Tabela 8). Durante a translocação de nutrientes, uma planta pode  
757 redistribuir Zn para diferentes partes, como raízes e caules, em vez de acumular Zn nas  
758 folhas, resultando em uma concentração menor do nutriente nas folhas na quarta época.  
759 Isso se deve a taxa de absorção do Zn diminuir se a planta atingir um estágio de  
760 crescimento em que a absorção do mesmo não é tão exigida quanto nas fases iniciais.  
761 De forma geral os teores de micronutrientes encontrados estão dentro da faixa  
762 considerada com exceção do boro no tratamento SN que se manteve a baixo da faixa  
763 adequada de 10,0 a 25,0 g kg<sup>-1</sup>. Já os demais descritos na tabela de teores, como o Zn  
764 de 20,0 a 50,0; Cu de 4,0 a 12,0; Mn 40,0 a 250,0 e Fe de 50,0 a 250,0 g kg<sup>-1</sup>,  
765 considerados adequados para forrageiras conforme o Boletim 100.

766

### 767 **Conclusões**

768 O sulfato de amônio mostrou-se eficiente na acidificação do solo, com  
769 redução do pH ao longo das épocas avaliadas, sendo eficiente no aumento do  
770 teor de nitrogênio foliar na forrageira.

771 O índice de clorofila é eficiente para identificar variações causadas pelas  
772 épocas avaliadas, mas não as causadas pelas diferentes fontes de N e S.

773 A adubação nitrogenada, independentemente da fonte, aumenta a  
774 produtividade, IAF e interceptação luminosa do capim BRS Paiaguás e a falta de  
775 adubação com nitrogênio reduz a produtividade e aumenta a proporção de  
776 forragem morta.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. D. M., & SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMARAL, A. G. *et al.* Efeito de diferentes doses de adubação nitrogenada sobre o teor de clorofila, dinâmica do perfilhamento e composição morfológica em cultivares de milho no Cerrado. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 4, p. 21643-21659, apr. 2020.

BEZERRA, J. D. V. *et al.* Características produtivas, morfogênicas e estruturais de cultivares de *Brachiaria brizantha* cultivadas em dois tipos de solo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 1-15, e129972947, 2020.

BRAGA, D. F. *et al.* Nitrogen and phosphorus fertilization of sunflower crop in alkaline Cambisol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 2, p.101-106, 2018.

BRAZ, T. G. S., MARTUSCELLO, J. A., SANTOS, M. E. R., & PEREIRA, V. V. Partial correlation analysis in the study of morphogenesis and herbage accumulation in *Panicum maximum* cv. 'Tanzânia'. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.47: 09, e20161058, 2017.

BOUBAKRY, C., AGYIN-BIRIKORANG, S., ADU-GYAMFI, R., CHAMBERS, R. A., TINDJINA, I., & ANGZENAA, A. B. Improving agronomic effectiveness of elemental sulfur to increase productivity in sulfur-deficient soils. **Agronomy Journal**, v. 115, n. 6, p. 3131-3143, 2023.

CECATO, U.; CASTRO, C. R. C.; CANTO, M. W.; PETERNELLI, M.; ALMEIDA JÚNIOR, J.; JOBIM, C. C. & Cano, C. C. P. Perdas de forragem em capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia-1) manejado sob diferentes alturas sob pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, p.295-301. 2001.

CAVALCANTI, A.C., PARTELLI, F.L, GONTIJO, I., DIAS, J.R.M., FREITAS, M.S.M & CARVALHO. Establishment of leaf nutrient patterns for the nutritional diagnosis of *Urochloa brizantha* pastures in two seasons. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 43, p. e50359, 2021.

COELHO, J. J., DA SILVA SANTOS, E. R., DA CUNHA, M. V., DOS SANTOS, M. V. F., JÚNIOR, J. C. B. D., & DE MELLO, A. C. L. Correlations between plant height and light interception in grasses by different light meter devices. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, n. 4, out. 2020.

DA SILVA, A. R., FARIAS, L. N., & DE MEIRA GUSMÃO, A. O. Produção de *Brachiaria brizantha* cv Piatã sob pastejo de ovinos em áreas adubadas com nitrogênio na estação das águas. **International Journal of Development Research**, v. 10, n. 07, p. 37512-37516, 2020.

DA SILVA, T. R. *et al.* Estratégias de diferimento da BRS Paiaguás (*Urochloa brizantha*) na região da Mata Atlântica. In: XXVI Workshop de Iniciação Científica da Embrapa Gado

de Leite PIBIC/CNPq 2021-2022, 2022, Juiz de Fora. Anais [...]. Juiz de fora: **Embrapa Gado de Leite**, 2022. 157 p.

DHALIWAL, S.S.; NARESH, R.K.; MANDAL, A.; SINGH, R.; DHALIWAL, M.K. Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up. A review. **Environ. Sust. Indic.** v.1, p. 100007, 2019.

DOMINGUES, A.A; SANTOS, A.J.M; BACKES, C. *et al.* Adubação nitrogenada do capim paiaguás: produção e nutrição. **Rev. Agric. Neotrop**, v.8, p.e5918, 2021.

DOS SANTOS, J. B., SILVA, A. N., DE OLIVEIRA CRUZ, J. DOS SANTOS, R. B., & DA SILVA, R. Características agronômicas e avaliação econômica do milho sob diferentes doses de nitrogênio na forma de ureia comum e peletizada. **Revista Agri-Environmental Sciences**, Palmas, v. 6, e020015, 2020.

DURU, Michel; DUCROCQ, Helene. Growth and senescence of the successive grass leaves on a tiller. Ontogenic development and effect of temperature. **Annals of Botany**, v 85, n. 5, p. 635-643, 2000.

EUCLIDES, V. P. B. *et al.* Animal performance and sward characteristics of two cultivars of *Brachiaria brizantha* (BRS Paiaguás and BRS Piatã). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, n. 3, p. 85-92, 2016.

FILGUEIRA, V.; ARAÚJO, E. A. de; AMARAL, E. F. do; BARDALES, N. G.; SILVA, J. de F.; SALES, N. C. da C. Caracterização pedoambiental como subsídio à criação de unidade de conservação no município de Jordão, estado do Acre. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**, v. 17, n. 2, p. 509-525, 2022. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1146655>. Acesso em: 23 set. 2024

FONSECA L., MEZZALIRA J. C., BREMM C., FILHO R. S. A., GONDA H. L., & CARVALHO P. C. F. Management targets for maximising the short-term herbage intake rate of cattle grazing in *Sorghum bicolor*. **Livestock Science**, v. 145, n. 1-3, p. 205-211, 2012.

GERMANO, L.H. E; VENDRUSCOLO, M.C; DANIEL, D.F; DALBIANCO, A.B. Produtividade e características agronômicas de *Brachiaria brizantha* cv. Paiaguás exposta a diferentes doses de nitrogênio sob corte. **Boletim de Indústria Animal**, v. 75, 2018.

GRACIANO, V. Sintomas de deficiência nutricional em plantas de capim BRS Paiaguás (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Paiaguás). São Carlos: **Embrapa Pecuária Sudeste**, 2021. 27 p. – (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 138).

JIN, X.; ZHU, J.; WEI, X.; XIAO, Q.; XIAO, J.; JIANG, L.; XU, D.; SHEN, C.; LIU, J.; HE, Z. Adaptation Strategies of Seedling Root Response to Nitrogen and Phosphorus Addition. **Plants**, v. 13, n. 4, p. 536, 2024. <https://doi.org/10.3390/plants13040536>

KISSEL, D. E.; BOCK, B. R.; OGLES, C. Z. Thoughts on acidification of soils by nitrogen and sulfur fertilizers. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v. 3, n. 1, jul. 2020.

LEITE, R. D. C., SANTOS, A. C. D., SANTOS, J. G. D. D., LEITE, R. D. C., OLIVEIRA, L. B. T. D., & HUNGRIA, M. Mitigation of Mombasa Grass (*Megathyrsus maximus*) Dependence on Nitrogen Fertilization as a Function of Inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, p. e0180234, 2019.

MACKIEWICZ-WALEC, E.; OLSZEWSKA, M. Biostimulants in the Production of Forage Grasses and Turfgrasses. **Agriculture**, v. 13, n. 9, p. 1-33, 2023..

MARTINS, G.; NOGUEIRA, W. A.; GAMA, T. C. M. Influência da inoculação de *Azospirillum Brasiliense* e adubação química nitrogenada no desempenho produtivo de capim braquiária Piatã. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 8, p. 84508-84517, 2021.

MEHLICH, A. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 9, n. 6, p. 477-492, 1978.

MELO, A. F. *et al.* Desempenho produtivo de cultivares de *Brachiaria brizantha* (syn. *Urochloa brizantha*) submetidas à adubação orgânica. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, e10710716212, 2021.

MERLOTI, L. F., BOSSOLANI, J. W., MENDES, L. W., ROCHA, G. S., RODRIGUES, M., ASSELTA, F. O., TSAI, S. M. Investigating the effects of *Brachiaria* (Syn. *Urochloa*) varieties on soil properties and microbiome. **Plant and Soil**, p. 1-18, 2023.

MEZZOMO, W.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D.; TORRES, R. R.; KIRCHNER, J. H.; PEREIRA, A. C. Características biométricas do capim sudão (BRS Estribo) sob diferentes lâminas suplementares de irrigação. **Irriga, Botucatu**, v. 26, n. 1, p. 165-185, 2021.

MONTAGNER, D. B. ARAUJO, A. R. de., EUCLIDES, V. P. B., MACEDO, M. C. M., ZIMMER, A. H. ANDRADE, R. A. S. Potencial produtivo dos capins BRS Piatã e BRS Paiaguás em sistema de integração lavoura-pecuária. **Embrapa Gado de Corte**. Campo Grande, MS. 28 p., 2018.

MOHANAVELU, A., NAGANNA, S. R., & AL-ANSARI, N. Irrigation induced salinity and sodicity hazards on soil and groundwater: An overview of its causes, impacts and mitigation strategies. **Agriculture**, v. 11, n. 10, p. 983, 2021.

MSIMBIRA, L. A.; SMITH, D. L. The roles of plant growth promoting microbes in enhancing plant tolerance to acidity and alkalinity stresses. **Sustainable Food Systems**, v. 4, p. 106, 2020.

NABINGER, C. Princípios da exploração intensiva de pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 1996, Piracicaba. Anais [...]. Piracicaba: ESALQ, 1996. p. 59-121.

NASCIMENTO, A. R. L. Manejo da adubação nitrogenada em solo alcalino cultivado com sorgo Sudão. **Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology**, v. 6, n. 2, p. 72-80, 2020.

NASCIMENTO, D. B. D., LOPES, M. L. S., IZIDRO, J. L. P. S., BEZERRA, R. C. A., GOIS, G. C., AMARAL, T. N. E. D., & COELHO, J. J. Ciclagem de Nitrogênio, Fósforo e Potássio em Ecossistemas de Pastagem. **Ciência Animal Brasileira**, v. 25, p. e-76743, 2024.

OLIVEIRA, V. A. V., DA SILVA, R. B., VELOSO, A. C. R., ALVES, M. A., DOS SANTOS, M. M., PASSETTI, R. A. C.,... BRAZ, T. G. S. Pre-defoliation canopy height for signal grass 'Basilisk' in silvopastoral systems. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 45, n. 4, p. 1081-1094, 2024.

OLIVEIRA, V. A. V, BRAZ, T.G. S, SILVA, R.B, VELOSO, A.D.C.R, RUFINO, L.D.A, MARTUSCELLO, J.A, & BARROS, L.V. Defoliation heights for palisade grass cv. Marandu in silvopastoral system. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 73, n. 03, p. 665-674, 2021.

PAIVA FILHO, S. V. *et al.* Atributos físicos do solo em área com capim brizantha e ruziziensis. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. 11, n. 1, p. 366-374, out. 2021.

PIMENTEL-GOMES, F. Curso de estatística experimental. 14. ed. Piracicaba: Nobel, 2000. 477 p.

PINHO, A. G. P. *et al.* Eficiência da ureia de liberação controlada e convencional nas características produtivas do capim *Urochloa brizantha* cv. Paiaguás. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.8, n.1, p. 700-712, jan. 2022.

POWLSON, David S.; DAWSON, Chris J. Use of ammonium sulphate as a sulphur fertilizer: Implications for ammonia volatilization. **Soil Use and Management**, v. 38, n. 1, p. 622-634, 2022.

QUAGGIO, JOSÉ A.; ALCÂNTARA, P.B.; Cantarella, Heitor; PAULINO, V.T.; Villa, M.R.. 3.12. Forrageiras. Em: CANTARELLA, H; QUAGGIO, J.A.; MATTOS JR, D, BOARETTO, R.M.; RAIJ, B. VAN. (Org.). Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo – Boletim 100. 3ed.CAMPINAS. **Instituto Agrônomo de Campinas**.v. 1, p. 428-436, 2022.

REGAN, K.; STEMPFHUBER, B.; SCHLOTTER, M.; RASCHE, F.; PRATI, D.; PHILIPPOT L.; BOEDDINGHAUS, R. S.; KANDELER, E.; MARHAN, S. Spatial and temporal dynamics of nitrogen fixing, nitrifying and denitrifying microbes in an unfertilized grassland soil, **Soil Biology and Biochemistry**, v. 109, p. 214-226, 2017.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G., ALVAREZ V., V.H. **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa, MG. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.28.

SADE N.; WILHELMI, M. DEL M. R.; UMNAJKITIKORN, K.; BLUMWALD, E. Stress-induced senescence and plant tolerance to abiotic stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 69, n. 4, p. 845-853, 2018.

SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L. A Aspectos geológicos e pedológicos dos solos do

município de Montes Claros - MG. **Caderno de Ciências Agrárias**. v. 13, p. 1-18, 2021.

SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M. Adubação de pastagens em sistemas de produção animal. Viçosa: **Editora UFV**, 2016. 311p.

SCHLATTER, G. B. Rentabilidade do milho com uso de diferentes fontes e épocas de aplicação de nitrogênio. 2023. 19 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, 2023.

SILVA, G. S. F., DE ANDRADE JÚNIOR, A. S., CARDOSO, M. J., & DE ARAÚJO NETO, R. B.. Dinâmica da água no solo e produtividade em consórcio de milho e *Brachiaria ruziziensis*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, p. e59809, 2020.

SOUZA, J.P de; TOWNSEND, C.R; ARAÚJO, S.R do C.; OLIVEIRA, G.A de. Características morfogênicas, estruturais e agrônômicas de gramíneas tropicais: uma revisão. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 8, pág. e942986588, 2020.

SOUZA, R. M. Potencial produtivo e estratégia de manejo da desfolhação para pastejo intermitente em três híbridos do gênero *Urochloa*. 2020. 28 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, 2020.

TAIZ, L. *et al.* Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TAN, L. *et al.* Development of a low-cost portable device for pixel-wise leaf SPAD estimation and blade-level SPAD distribution visualization using color sensing. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 190, p. 106487, 2021.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análises de solos, plantas e outros materiais 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).

TEIXEIRA, P.C., DONAGEMMA, G.K., FONTANA, A., & TEIXEIRA, W.G. Manual de Métodos de Análise de Solo (3ª ed.). **Embrapa**, Brasília (2017).

VALENCIANO, M.N.; DE MORAIS, E.G.; ROSA, S.D.; SILVA, C.A. Soil Solution Properties of Tropical Soils and *Brachiaria* Growth as Affected by Humic Acid Concentration. **Soil Systems**, v.8, n.3, p.86, 2024. <https://doi.org/10.3390/soilsystems8030086>

VERAS E. L.L, DIFANTE G. S., GURGEL A. L.C, COSTAC. M., EMERENCIANO NETO J. V., RODRIGUES J. G., COSTA A. B.G, PEREIRA M. G., & ÍTAVO L. C.V. Tilling capacity of *Brachiaria* cultivars in the Brazilian Semi-Arid Region during the dry season. **Tropical Animal Science Journal**, v. 43, n. 2, p. 133-140, 2020.

VIEIRA, M. D.S.; OLIVEIRA, F.H.T.D.; GURGEL, M.T.; SANTOS, H.C.; TAVARES, H.A.M. Phosphorus sorption isotherms in soils of the semiarid region of Brazil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 34, n. 1, p. 166 – 176 jan. – mar., 2021.

WANG, Y., LIU, S., SHI, H. Comparison of climate change impacts on the growth of C3 and C4 crops in China. **Ecological Informatics**, v. 74, p. 101968, 2023.

WASSELAI, J. H. T. *et al.* Produção de forragem e características agronômicas de capim-piatã sob doses de nitrogênio. **Boletim de Indústria Animal**, v. 77, p. 1-14, 2020.

WENDLING, I. J. *et al.* Sistemas silvipastoris: uma alternativa viável para áreas montanhosas do Espírito Santo. In: GONÇALVES, F. G. *et al.* (org.). Sistemas integrados de produção: pesquisa, desenvolvimento e tecnologias. Guarujá: **Científica Rural**, 2021. p. 184-216.

XIONG, H.; MA, H.; HU, B.; ZHAO, H.; WANG, J.; RENNENBERG, H.; SHI, X.; ZHANG, Y. A fertilização com nitrogênio estimula a assimilação de nitrogênio e modifica a partição de nitrogênio nas folhas do broto de primavera de árvores cítricas (*Citrus reticulata* Blanco). **Journal of Plant Physiology**, Jena, v.267, p.153556, 2021.

YANG, F., SUI, L., TANG, C., LI, J., CHENG, K., & XUE, Q. Sustainable advances on phosphorus utilization in soil via addition of biochar and humic substances. **Science of the Total Environment**, v. 768, p. 145106, 2021.

YUE, X. *et al.* Evaluation of both SPAD Reading and SPAD Index on estimating the plant nitrogen status of winter wheat. **International Journal of Plant Production**, v. 14, p. 67-75, 2020.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adubação com diferentes fontes nitrogenadas foi capaz de aumentar ganhos na produção de forragem, além de ter apresentado menores variações na produção de material morto.

O sulfato de amônio foi capaz de reduzir as unidades pH do solo alcalinos utilizado no presente estudo, demonstrando que a fonte foi capaz de acidificar o solo. Essa resposta também é capaz de impactar na disponibilidade de nutrientes essenciais para a nutrição mineral da forrageira, sendo estratégia útil para controlar os efeitos da alcalinidade no solo.

Sugere-se ainda são necessários mais estudos que explorem diferentes regimes de aplicação de nitrogênio, incluindo frequência e doses mais elevadas, para determinar o efeito no crescimento e na qualidade da forragem em diferentes condições de manejo.