

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA**

Fabiano Martins de Almeida

Médico Veterinário

**ACÚMULO DE MASSA SECA DE FORRAGEM,
CONCENTRAÇÃO E EXTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES
NA RECUPERAÇÃO DE PASTAGEM DE *Urochloa*
decumbens cv. Basilisk COM APLICAÇÃO DE POLIHALITA**

Dracena

2025

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
CAMPUS DE DRACENA**

Fabiano Martins de Almeida

Médico Veterinário

**ACÚMULO DE MASSA SECA DE FORRAGEM,
CONCENTRAÇÃO E EXTRAÇÃO DE MACRONUTRIENTES
NA RECUPERAÇÃO DE PASTAGEM DE *Urochloa*
decumbens cv. Basilisk COM APLICAÇÃO DE POLIHALITA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas – Unesp, Câmpus de Dracena como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Animal.

Orientador: Prof. Titular Cecílio Viega Soares Filho

Coorientador: Prof. Associado Reges Heinrichs

Dracena

2025

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
Campus de Dracena

A447a

Almeida, Fabiano Martins de

Acúmulo de massa seca de forragem, concentração e extração de macronutrientes na recuperação de pastagem de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk com aplicação de polihalita / Fabiano Martins de Almeida. -- Dracena: [s.n.], 2025.

55 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Dracena. Área do conhecimento: Produção Animal, 2025.

Orientador: Cecílio Viegas Soares Filho

Coorientador: Reges Heinrichs

1. *Brachiaria decumbens*. 2. Pastagens - Adubos e fertilizantes. 3. Fertilizantes potássicos. I. Título.

Bibliotecário Fábio S. Rosas
CRB 8/6665

IMPACTO ESPERADO NA SOCIEDADE

As pastagens são sistemas ecológicos importantes, mas sofrem degradação por fatores antropogênicos. Dada essa importância o governo brasileiro criou o PNCPD para incentivar práticas sustentáveis e o sequestro de carbono. A polihalita tem potencial na recuperação de pastagens por ser um fertilizante mineral marinho que fornece 4 dos 6 macronutrientes essenciais.

Pastures are crucial ecological systems, yet they experience degradation due to human activities. Recognizing their significance, the Brazilian government established the PNCPD to promote sustainable practices and carbon sequestration. Polyhalite shows promise in pasture recovery as it is a marine mineral fertilizer that supplies four of the six essential macronutrients.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Acúmulo de massa seca de forragem, concentração e extração de macronutrientes na recuperação de pastagem de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk com aplicação de polihalita

AUTOR: FABIANO MARTINS DE ALMEIDA

ORIENTADOR: CECILIO VIEGA SOARES FILHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências , pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **CECILIO VIEGA SOARES FILHO**
Data: 24/02/2025 16:19:31-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Titular CECILIO VIEGA SOARES FILHO (Participação Virtual)
Departamento de Produção e Saúde Animal / Faculdade de Medicina Veterinária - UNESP - Araçatuba

Documento assinado digitalmente
 **ADONIS MOREIRA**
Data: 26/02/2025 13:33:48-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Pesquisador Dr. ADÔNIS MOREIRA (Participação Virtual)
Departamento de Fertilização do Solo e Nutrição de Plantas / Embrapa Soja

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS SÉRGIO TIRITAN**
Data: 24/02/2025 16:38:32-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. CARLOS SÉRGIO TIRITAN (Participação Virtual)
Departamento de Solos e Nutrição de Plantas / Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE - Presidente Prudente/SP

Dracena, 24 de fevereiro de 2025

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Fabiano Martins de Almeida, nascido em 28 de novembro de 1995, na cidade de Dracena/SP, em 2012, foi estagiário na Secretaria de Meio Ambiente da cidade de Dracena, onde teve a oportunidade de conhecer o trabalho desenvolvido pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI). Através das vivenciadas neste período decidiu por cursar Medicina Veterinária.

Em 2015, iniciou seus estudos em Medicina Veterinária na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp), campus de Araçatuba, formando-se em 2022. Durante a graduação, participou de iniciações científicas e treinamentos técnicos em diversas áreas sobre tudo na de produção animal .

Em 2023, ingressou no mestrado em Ciência e Tecnologia Animal na Unesp, campus de Dracena, onde aprofundou seus estudos em forragicultura e processos laboratoriais relacionados ao tema, além de colaborar com as atividades desenvolvidas pelos colegas.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho sobretudo a Deus, por tudo que passei e sobre todas as coisas que apenas ele sabe, dedico também a minha família por todo apoio e todo carinho que sempre tiveram por mim, e aos amigos por toda paciência e pela amizade verdadeira.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me permitido chegar até aqui e por toda sua proteção, agradeço a minha família, meus pais Fabio e Neide e minha irmã Beatriz por todo carinho e todo o suporte, agradeço também aos meus colegas da turma de mestrado e aos colegas do laboratório por toda a ajuda que me deram durante a realização do experimento, além é claro de toda a equipe de funcionários da universidade por serem tão prestativos em me ajudar.

Agradeço aos meu orientadores professor Cecílio Viegas Soares Filho e professor Reges Heinrichs pelas oportunidades que me ofereceram, por todo apoio e especialmente por toda a paciência que tiveram. Agradeço a o Mauricio parte importantíssima destes últimos dois anos com quem dividi o experimento e muitos outros momentos, também a Flavia minha irmã de orientador, a Flaviane, a Gabriela, e a Lucila, mulheres que muito me emprestaram suas forças e sem as quais eu certamente não teria conseguido, além é claro de todos os alunos de iniciação científica que colaboraram de alguma forma com este resultado.

Não poderia deixar de agradecer aos colaboradores da universidade Alan, Fabio e tantos outros que colaboraram para que conseguíssemos chegar até aqui, essa é uma conquista de todos nós.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior – Brasil(CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado e pelo financiamento do programa de pós-graduação em ciência e tecnologia animal.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Proclamarei o decreto: o Senhor me disse: Tu és meu Filho, eu hoje te gerei.

Pede-me, e eu te darei os gentios por herança, e os fins da terra por tua possessão.

Tu os esmigalharás com uma vara de ferro; tu os despedaçarás como a um vaso de oleiro.

Agora, pois, ó reis, sede prudentes; deixai-vos instruir, juízes da terra.

Servi ao Senhor com temor, e alegrai-vos com tremor. Beijai o Filho, para que se não ire, e pereçais no caminho, quando em breve se acender a sua ira; bem-aventurados todos aqueles que nele confiam.

(Salmo 2, 7-12)

RESUMO

As pastagens estão entre os maiores sistemas ecológicos do mundo do mundo, cobrindo mais de 25% da superfície terrestre e desempenhando importantes papéis ecológicos, como a produção de forragens, promoção dos polinizadores e sequestro de carbono. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a recuperação de uma pastagem degradada de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk quanto a produção de massa seca da parte aérea, altura, concentração e extração de macro e micro nutrientes foliares adubado com polihalita. O experimento foi realizado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, UNESP - Campus de Dracena. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. O delineamento experimental foi realizado em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram os seguintes 1°- Controle (sem adubação), 2°- N + P + calagem, 3° - N + P + calagem + 30 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita, 4° - N + P + calagem + 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita, 5° - N + P + calagem + (30+30) kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita e 6° - 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita. A produção de massa seca acumulada do tratamento fertilizado com N + P + calagem + 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita foi superior aos demais. A recuperação da pastagem de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk foi efetiva com a aplicação de N+P+calagem+ 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita expressando maior produção de massa seca de forragem. A aplicação do fertilizante mineral polihalita isoladamente não foi efetiva no acúmulo de massa seca de forragem. A concentração de N e S foi maior no tratamento fertilizado com N+P+calagem+ 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita.

Palavras-chave: Gramíneas. Pastagens Adubos e fertilizantes. Fertilizantes potássicos.

ABSTRACT

Grasslands are among the largest ecological systems in the world, covering over 25% of the Earth's surface and playing crucial ecological roles such as forage production, supporting pollinators, and facilitating carbon sequestration. This study aimed to evaluate the recovery of a degraded pasture of *Urochloa decumbens* cv. Basilisk regarding aerial dry mass production, plant height, and the concentration and extraction of foliar macro and micronutrients fertilized with polyhalite. The experiment was conducted at the Teaching, Research, and Extension Farm of the School of Agrarian and Technological Sciences, UNESP - Dracena Campus. The soil in the area is classified as dystrophic Red-Yellow Latosol. The experimental design utilized randomized blocks with four replications. The treatments applied were as follows: 1° - Control (no fertilization), 2° - N + P + liming, 3° - N + P + liming + 30 kg ha⁻¹ of K₂O via polyhalite, 4° - N + P + liming + 60 kg ha⁻¹ of K₂O via polyhalite, 5° - N + P + liming + 60 (30+30) kg ha⁻¹ of K₂O via polyhalite, and 6° - 60 kg ha⁻¹ of K₂O via polyhalite. The accumulated dry mass production from the treatment with N + P + liming + 60 kg ha⁻¹ of K₂O via polyhalite was superior to the others. The recovery of the *Urochloa decumbens* cv. Basilisk pasture was effective with the application of N + P + liming + 60 kg ha⁻¹ of K₂O via polyhalite, resulting in higher forage dry mass production. Conversely, the application of polyhalite mineral fertilizer alone was ineffective in increasing forage dry mass accumulation. Additionally, nitrogen and sulfur concentrations were higher in the treatment fertilized with N + P + liming + 60 kg ha⁻¹ of K₂O via polyhalite.

Keywords: Grasses. Pastures Fertilizers. Potassium fertilizers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Representação da fórmula química da polihalita em 3 dimensões.	25
Figura 2- Entrada das dependências da UNESP	27
Figura 3 - Área do experimento no dia 1/11/2023 pré-implantação.....	28
Figura 4 - Temperaturas médias e precipitações no decorrer do experimento ano agrícola 2023/2024.....	29
Figura 5 Área do experimento após a calagem.....	32
Figura 6 - Leitura das análises de macronutrientes.....	35
Figura 7 - Produção de massa seca acumulada <i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk adubada com polihalita associadas a doses de N e P.	37
Figura 8 - Altura média das plantas de <i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk em função dos tratamentos com aplicação de polihalita associada ou não ao de N e P.	38
Figura 9 - Altura média das plantas (cm) em função dos cortes no capim <i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk com aplicação de polihalita associadas a doses de N e P. .	38
Figura 10 - Concentração de macronutrientes da parte aérea do <i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk, no período das águas, adubada com polihalita associadas ao N e P. ..	40
Figura 11 - Concentração de macronutrientes da parte aérea a) N, b) P, c) K, d) Ca, e) Mg e f) S no período da seca do <i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk adubada com polihalita associadas ao N e P.	41
Figura 12 – Extração de macronutrientes da parte aérea a) N, b) P, c) K, d) Ca, e) Mg e f) S no período das águas do <i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk adubada com polihalita associadas ao N e P.	42
Figura 13 – Extração de macronutrientes da parte aérea a) N, b) P, c) K, d) Ca, e) Mg e f) S no período da seca do <i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk adubada com polihalita associadas ao N e P. *, ** e ns, respectivamente, médias seguidas de letras distintas indicam diferença entre os tratamentos ao nível de 1%, 5% e não significativo pelo teste de mínimos quadrados médios. Fonte: o autor	43
Figura 14 – Em vermelho grânulos de polihalita encontrados no solo 180 dias após o início do experimento	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição percentual da polihalita.....	25
Tabela 2 - Resultado da análise química inicial do solo na profundidade de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm de profundidade	30
Tabela 3 – Resultado médio das análises químicas finais do solo na profundidade de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm de profundidade	31
Tabela 4 - Quantidades e doses de fertilizantes utilizadas no experimento	33
Tabela 5 - Efeito de tratamentos na avaliação da produção de massa seca de forragem de <i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk adubada com polihalita associadas a doses de N e P.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo Geral	18
2.1 Objetivos Específicos.....	18
3 REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1 Agenda 2030 e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável	19
3.1.2 Histórico das pastagens no Brasil	19
3.1.3 Pastagens: distribuição e ecologia	20
3.1.4 Degradação da fertilidade do solo e das pastagens e seus impactos ambientais.....	21
3.1.5 Os benefícios da recuperação de pastagens	22
3.1.6 Recuperação de pastagens no Brasil.....	23
3.1.7 A Polihalita como instrumento para a recuperação de pastagens.....	23
4 MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1 Local do Experimento	27
4.2 Dados Meteorológicos.....	28
4.3 Coleta e Análise do Solo	29
4.4 Espécie forrageira e instalação.....	32
4.5 Delineamento Experimental	33
4.6 Variáveis Avaliadas.....	34
4.6.1 Produção de massa seca total da parte aérea	34
4.6.2 Concentrações de macronutrientes da parte aérea da forrageira	34
4.7 Análise estatística	35
5.1 Alturas das Plantas	37
5.2 Concentração de Macronutrientes	39

5.3 Extração de Macronutrientes	41
6. Discussão.....	44
6.1 Produção de Massa Seca da Parte Aérea da Forragem	44
6.2 Concentração de Macronutrientes	46
6.3 Extração de Macronutrientes	50
7 CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

As pastagens estão entre os maiores sistemas ecológicos do mundo, cobrindo mais de 25% da superfície terrestre e desempenhando importantes papéis ecológicos, como a produção de forragens, regulação dos suprimentos de água doce, promoção dos polinizadores e sequestro de carbono. No entanto, as pastagens têm sofrido degradação em larga escala devido à agricultura intensiva, urbanização, mudanças climáticas e outros fatores antropogênicos (Török *et al.*, 2021). Segundo dados do atlas de pastagem do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás (LAPIG), em 2022 o Brasil possuía mais de 177 milhões de hectares de pastagens, o que equivale a 20% do território brasileiro (Lapig, 2024). Um levantamento realizado pelo instituto MapBiomas constatou que, em 2020, 53% das pastagens brasileiras apresentavam algum grau de degradação, sendo que 14% estavam severamente degradadas (Mapbiomas, 2021). Em 2022, o Brasil produziu 10,79 milhões de toneladas de carne bovina equivalente de carcaça e conseguiu reduzir a área de pastagens em 5,7% (Abiec, 2023). Segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), a produção de carnes bovina, suína e de frango deve crescer 22% em relação ao calendário agrícola 2022/23. Entretanto, há uma crescente pressão de consumidores e entidades públicas e privadas para que os sistemas de produção animal aumentem sua produtividade sem consumir mais recursos naturais (Bolfe *et al.*, 2024).

Diante disso é necessário encontrar alternativas para manter a posição produtiva do país, reduzindo os impactos ambientais da pecuária, como a produção de gases de efeito estufa e a degradação do solo. Nesse contexto, em dezembro de 2023, o governo federal brasileiro emitiu o Decreto Nº 11.815, criando o Programa Nacional de Conversão de Pastagens Degradadas em Sistemas de Produção Agropecuários e Florestais Sustentáveis (PNCPD). O programa visa converter pastagens degradadas em sistemas de produção sustentáveis, promovendo boas práticas agropecuárias e o sequestro de carbono (Brasil, 2023), com potencial para recuperar até 40 milhões de hectares de pastagens (Cambuim, 2024). De maneira que a recuperação destas áreas necessitará do uso de técnicas que englobam esforços científicos, técnicos e financeiros para seu sucesso como a adubação de pastagem.

A adubação de pastagem tem sido destacada pela sua capacidade de sequestro de CO₂, com comportamentos não lineares, onde o acúmulo de CO₂ é mais rápida nos primeiros anos após a adoção das práticas de manejo. Essas práticas devem ser mantidas constantemente para que o equilíbrio de sequestro de carbono seja igual a liberado na decomposição da matéria orgânica. E o comportamento assimétrico, onde após determinado período de tempo o acúmulo de carbono resultante da conversão de uma cultura arável para uma pastagem é em média metade do liberado na conversão de uma pastagem para uma cultura arável.

Tais constatações geram diversas implicações como as de que as estimativas do sequestro de carbono devem ser feitas apenas com relação aos períodos anteriores e atuais do manejo da pastagem, a de que a quantidade de carbono estocado é altamente dependente da duração da pastagem, e que a manutenção do aprisionamento destes estoques requer a continuidade das práticas de manejo da pastagem. (Soussana *et al.*, 2004). Pesquisadores na Irlanda concluíram que as pastagens não só possuem capacidade de sumidouro de CO₂, mas também podem proporcionar efeitos benéficos a longo prazo, tanto econômicos quanto climáticos, além de possuir forte capacidade de absorção de CO₂, mesmo quando submetidas a diferentes níveis de adubação nitrogenada e precipitação (Peichl; Leahy; Kiely, 2011).

A aplicação de fertilizantes nitrogenados é uma das mais estudadas devido a sua alta utilização e por induzir um aumento de biomassa através da emissão de folhas, aumento do número de perfilhos e aceleração da senescência da planta se a mesma não for devidamente manejada. No entanto, o aumento do suprimento de N leva a uma maior extração de K, de forma que o uso de fertilizantes potássicos na recuperação das pastagens se faz necessário para manter o aumento da produção frente à adubação nitrogenada (Avelino Cabral *et al.*, 2021).

A lixiviação do K é um fenômeno que pode ser encontrado em diversos tipos de solo, fatores como o baixo potencial das cargas encontradas nestes solos associadas a fertilizantes altamente solúveis podem ocasionar perdas significativas por lixiviação. Íons solúveis podem ser encontrados em fertilizantes, corretivos ou ainda na própria matéria orgânica, no entanto em situações de alta precipitação pluviométrica ou irrigação excessiva a infiltração de água no solo pode favorecer a lixiviação do K. Os principais agente envolvidos na lixiviação do K são a textura do solo, a capacidade de troca de cátions, o regime hídrico e a solubilidade do fertilizante. Desta forma o K quando presente na solução do solo o K pode se mover junto com o

fluxo da água e ser levado para profundidade inferiores ao sistema radicular (Mendes *et al.*, 2016) dessa forma o sucesso da adubação potássica depende em grande medida da escolha do fertilizante correto.

A polihalita é um sulfato hidratado que contém K, Ca e Mg, com a fórmula química $K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$ (Yermiyahu *et al.*, 2017). Suas principais vantagens incluem alta solubilidade de nutrientes, disponibilidade em diversas granulometrias, lenta liberação de nutrientes, baixo impacto ambiental e baixa pegada de carbono, sendo indicada para culturas sensíveis à presença de cloreto (Gokul *et al.*, 2023). O K é essencial para a fotossíntese, síntese de proteínas enzimáticas e regulação da água, enquanto o S é necessário para a produção de aminoácidos, vitaminas e enzimas. O uso da polihalita mostrou-se eficaz na adubação de cevada de inverno (*Hordeum vulgare*) e milho forrageiro (*Zea mays*) (Lillywhite *et al.*, 2020). O Ca possui funções variadas, como estruturais, nutricionais e de resposta ao estresse (Bhar, Chakraborty; Roy, 2023), e o Mg é vital na fotossíntese, produção de carboidratos e crescimento das culturas (Zhou *et al.*, 2024). Dessa forma, a polihalita, por conter quatro dos seis principais macronutrientes, apresenta-se como uma possível otimização da utilização de fertilizantes para a recuperação de áreas degradadas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a recuperação de uma pastagem degradada de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk quanto a produção de massa seca da parte aérea, altura, teores de macro nutrientes foliares sendo eles o N, P, K, Ca, Mg e S, e valor nutritivo em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico com manejo de adubação com polihalita, a fim de proporcionar geração de tecnologia para a recuperação de pastagens cultivadas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a recuperação de uma pastagem degradada de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk, submetida a um manejo de adubação com polihalita como fonte de K.

2.1 Objetivos Específicos

Avaliar a nutrição, crescimento, e desenvolvimentos do capim em área degradada em função da utilização de polihalita em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico com manejo de adubação com polihalita, a fim de proporcionar geração de tecnologia para a recuperação de pastagens cultivadas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Agenda 2030 e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

Em 2015 os estados membros das nações unidas estabeleceram a agenda 2030 na qual foram elencados 17 objetivos de desenvolvimento sustentável para serem atingidos até o respectivo ano. Hoje passados 9 anos desde o surgimento da agenda e apesar dos progressos obtidos em diversas áreas a maior parte dos objetivos se encontram estagnados ou ainda piores do que estavam quando os objetivos foram traçados em 2015. O número de pessoas que se encontram em situação de vulnerabilidade alimentar aumentou desde 2015 e em 2022 representava 9,2% da população mundial, os investimentos na agricultura também caíram em 2021 a América Latina e Caribe registraram o maior declínio no índice de orientação agrícola entre todas as regiões do registrando uma queda de 0,33 em 2015 para 0,21 em 2021. As questões climáticas também apresentam resultados desafiadores, o uso de combustíveis fósseis associado a fontes de energia insustentáveis, mal uso do solo, e padrões de consumo insustentáveis provocaram um aumento de 1,1°C quando comparado com os níveis pré-industriais. O que urge a humanidade a procurar por meios para frear de maneira rápida e sustentada as emissões de gases do efeito estufa (Desa, 2023).

3.1.2 Histórico das pastagens no Brasil

O Brasil é o maior exportador de carne bovina do mundo e segundo maior produtor de carne bovina no mundo isso graças a fatores como a disponibilidade de terra, água, luz solar adequada, rebanho de matriz zebuína, e o uso de gramíneas tropicais nas pastagens. Estimativas indicam que a população mundial deva aumentar 2 bilhões de pessoas até 2050 e com isso surge a necessidade de manter alimentada toda esta população o que implica na necessidade de aumentar a produção de carne. Entretanto os impactos da produção animal especialmente no que tange a produção de gases do efeito estufa apresentam um desafio global que é a necessidade de conciliar a agenda da segurança alimentar ao mesmo tempo em que se mitigam os efeitos das mudanças climáticas (Abiec, 2023).

A pecuária no Brasil teve início no século XVI, na época para reduzir a competitividade com a cana de açúcar explorada principalmente na região nordeste do país os pecuaristas optaram por instalar-se no interior do país, essa estratégia facilitou a disseminação da atividade pecuária bovina pelo interior do Brasil, no século XIX a região sul do país se tornou grande produtora de bovinos no país. Já no século XX o gado zebuino foi introduzido no país trazido da Índia, com isso ocorre a expansão do rebanho incentivada pelo estado e que se acelera durante os anos 60 através de incentivos a ocupação das regiões centro oeste e norte do país (Abiec, 2023). O gênero *Urochloa* compreende gramíneas perenes do tipo C4 utilizadas para pastagens no Brasil e em outros países da América do Sul, o interesse neste gênero ocorre devido a sua tolerância aos fatores como secas, baixa exigência nutricional, adaptabilidade a solos mais ácidos e resistência a diversas doenças. A *Urochloa* produz grande quantidade de biomassa e possui raízes profundas e vigorosas que conseguem explorar grandes volumes de solo, o que aumenta a matéria orgânica do solo (Baptistella *et al.*, 2020). O gênero é originário da África e foi introduzida no Brasil na década de 60, causando grande avanço na pecuária devido as suas características que permitiram que ela se adaptasse bem as condições nacionais, o que possibilitou a profissionalização da pecuária brasileira. Desta maneira a pecuária brasileira chegou a possuir 80% das pastagens cultivadas com capins do gênero *Urochloa*, entretanto embora apresentasse características positivas para a realidade nacional com o tempo a maior parte destas pastagens já nascia degradada (Araujo, 2005; Kluthcouski *et al.*, 2013).

3.1.3 Pastagens: distribuição e ecologia

Apesar de sua importância tanto no que diz respeito a sua questão ecológica quanto a sua questão produtiva as pastagens têm sofrido com a degradação em larga escala devido à agricultura intensiva, urbanização, mudanças climáticas e outros fatores antropogênicos (Török *et al.*, 2021). De acordo com dados do Atlas de Pastagem do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás (LAPIG), em 2022 o Brasil possuía mais de 177 milhões de hectares de pastagens, o que equivale a 20% do território brasileiro (Lapig, 2024). Além disso, um levantamento realizado pelo Instituto MapBiomass constatou

que, em 2020, 53% das pastagens brasileiras apresentavam algum grau de degradação, sendo que as pastagens severamente degradadas correspondiam a 14% do total (Mapbiomas, 2021).

3.1.4 Degradação da fertilidade do solo e das pastagens e seus impactos ambientais

A agricultura e pecuária estão entre os maiores produtores de gases do efeito estufa tanto devido a fermentação entérica produzida pelos animais quanto pelo manejo errôneo dos dejetos produzidos pelos mesmos, mas também pelo uso de quantidades excessivas de N e pela degradação da matéria orgânica (Bayu, 2020). Entretanto as variáveis climáticas como as chuvas e a temperatura possuem um papel importante na formação dos solos, de maneira que entender os impactos dos fenômenos climáticos no solo se faz importante para compreender as relações entre a produção de gases do efeito estufa, as mudanças climáticas e a produtividade agrícola. Para evitar os efeitos nocivos do manejo incorreto do solo foram desenvolvidas diversas técnicas envolvendo práticas como o manejo da fertilidade dos solos e o controle da erosão (Bayu, 2020).

A degradação de pastagens é definida como “a queda acentuada e contínua na produtividade da pastagem, no decorrer do tempo”, este fenômeno é comum em todas as regiões do Brasil e causa prejuízos agrônômicos, econômicos e ambientais, pois reduz o potencial produtivo das áreas de pastagem, leva ao abandono dessas áreas, inviabiliza a produção de carne e leite, desvaloriza propriedades rurais e gera impactos ambientais negativos. De forma que a degradação das pastagens é um processo complexo que envolve múltiplas causas e consequências, tanto primárias quanto secundárias, as causas de degradação podem ser naturais, como condições climáticas adversas, ou antropogênicas, como manejo inadequado e sobrepastejo. Normalmente, mais de uma causa contribui para o processo de degradação, as consequências primárias, como a compactação do solo e a invasão por plantas daninhas, levam progressivamente à consequência secundária principal: a redução da capacidade de suporte da pastagem, resultando em menor disponibilidade de forragem e, conseqüentemente, na degradação da pastagem. Além disso a degradação da pastagem envolve fatores geográficos e temporais de maneira que

uma pastagem considerada produtiva em uma região em dado período seja considerada degradada em outra região e período. O que torna a utilização de indicadores para a quantificação dos níveis de degradação uma tarefa complexa pois a produtividade ideal da pastagem é relativa à produtividade que se consideraria ideal para aquela pastagem em particular (Dias-Filho, 2023; Dias-Filho, 2024).

3.1.5 Os benefícios da recuperação de pastagens

A degradação da pastagem leva a redução da matéria orgânica e com isso também provoca a diminuição de nutrientes como o N, P e S (Araújo Filho, 2006). Para que a recuperação de uma pastagem degradada tenha sucesso, é necessário focar na eliminação das causas relacionadas ao problema ao invés focar na mitigação das consequências. De maneira que é necessária a compreensão de todo o processo de degradação afim de ser possível identificar as causas e consequências relacionadas ao processo para que desta forma possam ser estabelecidas práticas de manejo mais eficientes em recuperar as pastagens ou ainda prolongar o uso das ainda produtivas (Dias-Filho, 2024). Desta forma a recuperação de pastagem pode ser um importante instrumento no sequestro de carbono visto a sua capacidade de restaurar a cobertura vegetal do solo e a manutenção das coberturas vegetais já existentes. Segundo Soussana *et al.* (2004), este comportamento se caracteriza entre o não-linear em que a absorção é mais rápida nos primeiros anos após a adoção das práticas de manejo, no entanto tais práticas devem ser mantidas constantes para que o equilíbrio entre o sequestro de carbono seja igual ao carbono liberado na decomposição da matéria orgânica. E o comportamento assimétrico onde após um período de tempo o acúmulo de carbono resultante da conversão de uma cultura arável para uma pastagem é em média metade do liberado na conversão de uma pastagem para uma cultura arável de maneira que a quantidade de carbono capturado é altamente dependente da duração da pastagem. Entretanto uma vez que os estoques de carbono chegam ao seu ponto de equilíbrio entre a captura e liberação do carbono os estoques do mesmo deixam de aumentar o que faz com que a manutenção das práticas de manejo da pastagem continuem sendo necessárias para evitar que os estoques sejam liberados. Desta forma o correto manejo das pastagens

pode também proporcionar ganhos no longo prazo tanto no âmbito econômico como no climático (Peichl *et al.*, 2011).

3.1.6 Recuperação de pastagens no Brasil

O tema das recuperações de pastagens tem ganhado cada vez mais atenção dos pesquisadores devido a questões como o funcionamento dos ecossistemas, manutenção da biodiversidade e o sequestro de carbono, mundialmente as pastagens possuem um importante papel no sequestro de CO₂ e como fonte de carbono. Sendo que as pastagens podem influenciar as mudanças ambientais através da sua grande capacidade de sequestro de carbono e de N, de maneira que o uso das pastagens para a recuperação do solo degradado demonstrou aumentar a biomassa acima do solo além de aumentar também a presença de N e P (Wu *et al.*, 2010). Com isso em dezembro de 2023 o governo federal brasileiro emitiu o decreto Nº 11.815, que instituiu o Programa Nacional de Conversão de Pastagens Degradadas em Sistemas de Produção Agropecuários e Florestais Sustentáveis – PNCPD. O foco do decreto é coordenar políticas públicas destinadas a conversão de pastagens degradadas em sistemas de produção agropecuários e florestais sustentáveis que promovam o fomento de boas práticas agropecuárias e o sequestro de carbono (Brasil, 2023). Desta forma o projeto pode resultar na recuperação de até 40 milhões de hectares de pastagens em áreas agricultáveis (Cambuim, 2024). Tal iniciativa impulsiona o tema da recuperação de pastagens degradadas que ganha ainda mais notoriedade com o avanço das pautas ambientais e climáticas.

3.1.7 A Polihalita como instrumento para a recuperação de pastagens

A polihalita é um sulfato hidratado que contém os macronutrientes K, Ca, Mg e S em sua composição, com a fórmula química $K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$ (Tabela 1), sendo que a polihalita não é uma mistura destes elementos, mas sim um único cristal (Yermiyahu *et al.*, 2017). Suas principais vantagens incluem a alta solubilidade dos nutrientes, disponibilidade em diversas granulometrias, liberação lenta de nutrientes, baixo impacto ambiental e reduzida pegada de carbono. Além disso, a polihalita é recomendada para culturas sensíveis à presença de cloreto (Gokul *et al.*, 2023), a

polihalita pode ser utilizada na forma de pó ou grânulos sendo que para isto não é necessária a utilização de processos químicos, bastando apenas a realização da moagem da mesma gerando desta forma uma menor pegada de carbono, tal característica a torna viável para uso na produção orgânica, tendo sido aprovada para uso na agricultura orgânica de países como o Reino Unido, Brasil, Estados Unidos, China, Itália, Canada, Alemanha, França, Holanda entre outros (Pramanick *et al.*, 2023).

O K é um nutriente essencial para a produção agrícola, ainda que o K não participe da composição estrutural da planta, sua importância se deve a sua participação no processo de fotossíntese onde ele atua regulando a taxa de produção de ATP, na síntese de proteínas enzimáticas onde ele serve como ativador de diversas enzimas além de ajudar a neutralizar diversos ânions regulando assim o pH, atua também na regulação da água e nutrientes através do xilema auxiliando na translocação de nitratos, fosfatos Ca, Mg e aminoácidos através do sistema (Prajapati; Modi, 2012). O S é necessário para a produção de aminoácidos, vitaminas e enzimas, participando também na composição de coenzimas, sulfolipídeos, polissacarídeos entre outros, estando associado ao crescimento da planta e a mecanismos de defesa contra pragas e doenças onde é encontrado na forma de metabólitos secundários biologicamente ativos ou na forma de precursores inativos que podem ser ativados em caso de um ataque de um patógeno ou praga, sendo portanto um nutriente fundamental para o correto crescimento da planta (Lillywhite *et al.*, 2020; Stipp; Casarin, 2006). O Ca possui funções variadas que abrangem funções estruturais, nutricionais e de resposta ao estresse (Bhar *et al.*, 2023), e o Mg por sua vez possui importância vital na fotossíntese, na produção dos carboidratos e conseqüentemente no crescimento das culturas (Zhou *et al.*, 2024), desta forma pode-se notar que dos 6 macronutrientes principais a polihalita possui 4, sendo, portanto, uma possível alternativa para a recuperação de áreas degradadas.

Diversos estudos foram conduzidos com a polihalita como fonte de fertilização mineral especialmente com relação ao potencial de adubação potássica sendo que a maior parte destes estudos estão focados na produção agrária em especial de culturas como a cevada e o milho onde se revelou uma eficiente fonte de K e S na nutrição das respectivas culturas (Lillywhite *et al.*, 2020). Na cana de açúcar onde propiciou menor porcentagem de fibras e melhorou a qualidade do caldo com uma maior extração do K (Gokul *et al.*, 2023). Na mostarda-castanha (*Brassica juncea* L.), onde

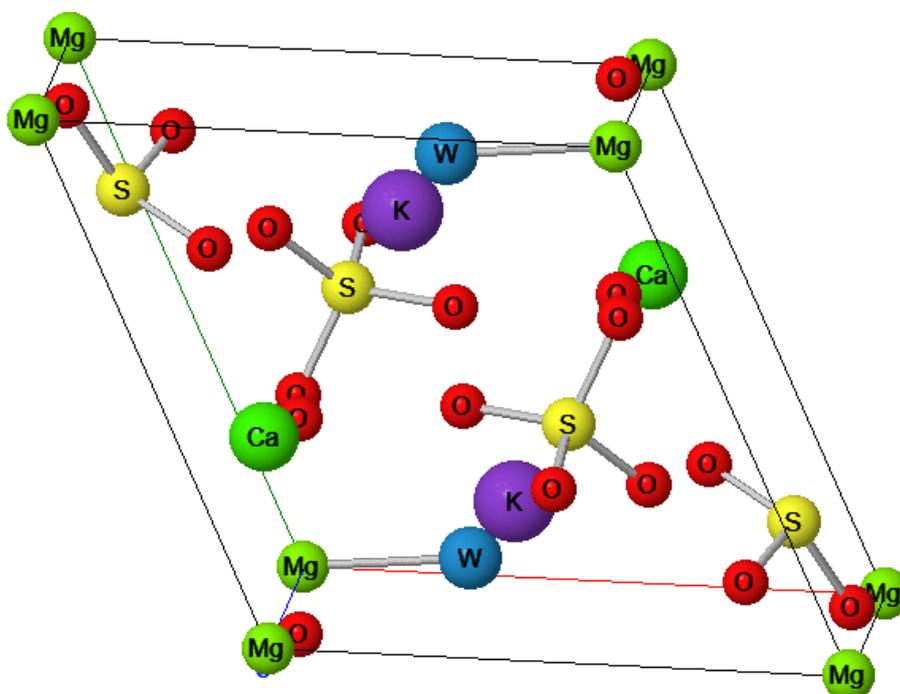
apresentou ganhos de produtividade e nutricionais (Pramanick *et al.*, 2023). e no trigo onde apresentou maior produção de matéria seca e menor lixiviação dos nutrientes (Yermiyahu *et al.*, 2017). de maneira que estudo com a polihalita em pastagens são relativamente raros o que torna o estudo da polihalita na recuperação de pastagens inédito.

Tabela 1 - Composição percentual da polihalita

Elemento	Porcentagem
K ₂ O	15,62
CaO	18,60
MgO	6,68
SO ₃	53,12
H ₂ O	5,98
Total	100,0

Fonte: Anthony *et al.* (2003).

Figura 1- Representação da fórmula química da polihalita em 3 dimensões.



Fonte: Mindat.org (2000).

Desta forma, conclui-se que a degradação de pastagens é um fenômeno de grande importância na produção agropecuária nacional. E que os impactos provocados pela perda de fertilidade dos solos se estendem aos setores ambientais, econômicos e até mesmo sociais. Desta forma a exploração dos recursos produtivos da pastagem e por consequência do solo não são compatíveis com os ideais modernos de desenvolvimento sustentável. O que torna o estudo e a aplicação de práticas de recuperação deste ecossistemas imprescindíveis para a manutenção da produtividade dos sistemas produtivos a pasto. E consequentemente da viabilidade econômica da atividade, assim como também para o sucesso da metas de desenvolvimento sustentável, combate as mudanças climáticas e consumo dos recursos minerais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do Experimento

O projeto de pesquisa foi realizado na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Unesp, Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Campus de Dracena, município de Dracena, estado de SP (Foto 1). O solo da área é caracterizado com textura média-arenosa e classificados como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (Santos *et al.*, 2018).

Figura 2- Entrada das dependências da UNESP



Fonte: Unesp Dracena (Unesp, 2023).

A área está ocupada com pastagem de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk implantada a aproximadamente, 20 anos, com aproximadamente 10 plantas por m² com baixo potencial de crescimento e recomposição. Para iniciar o estudo, foi realizada a demarcação das parcelas e aplicação dos tratamentos, a área foi então rebaixada com corte homogêneo, com altura de resíduo de 10 cm e se procedeu com a retirada da palha residual do solo (Figura 2).

Figura 3 - Área do experimento no dia 1/11/2023 pré-implantação

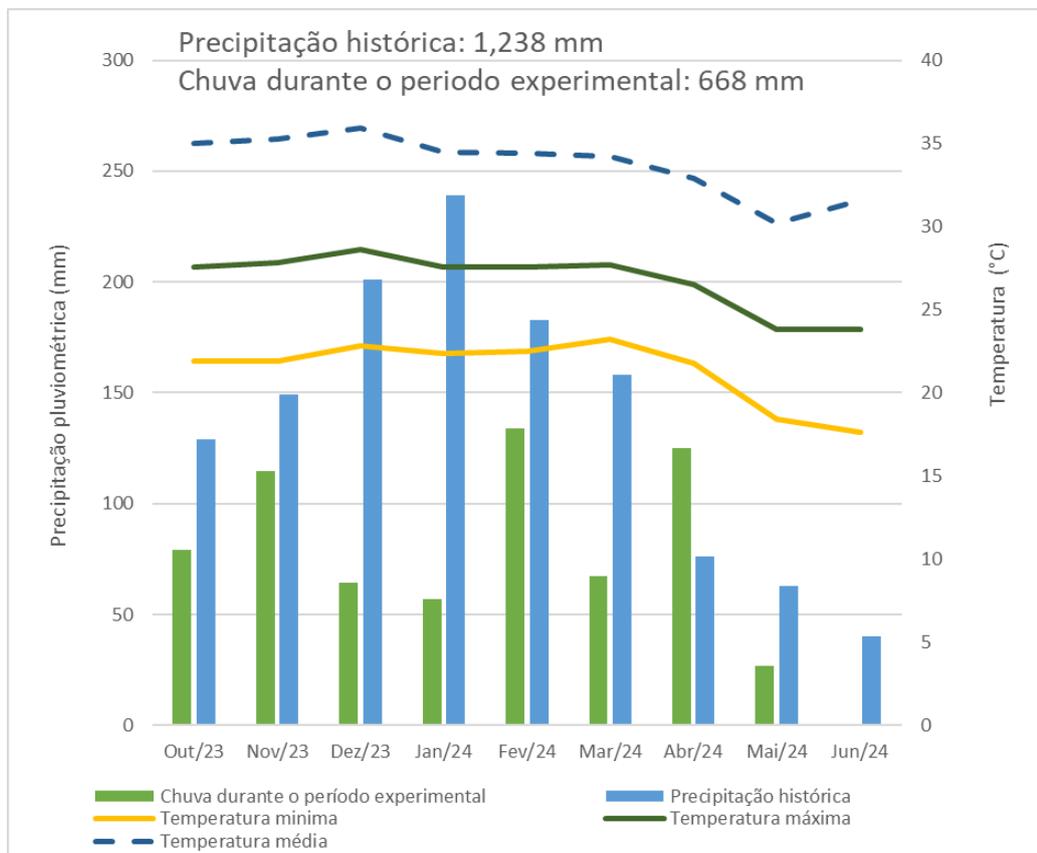


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Dados Meteorológicos

Durante a realização dos experimentos foram coletados os registros meteorológicos diários da estação meteorológica, aproximadamente há 300 m da área experimental mais próxima para cada local de teste (Figura 3).

Figura 4 - Temperaturas médias e precipitações no decorrer do experimento ano agrícola 2023/2024



Fonte: Clima FEIS (Unesp, 2024).

4.3 Coleta e Análise do Solo

Antes da instalação do experimento e após o seu término, o solo foi amostrado nas profundidades 0-20 cm e 20-40 cm, para caracterização química inicial (P, K, S, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Zn, pH, Al, matéria orgânica, soma de bases, capacidade de troca de cátions e saturação por bases através da metodologia de Raij *et al.* (2001) utilizando a técnica da resina trocadora de íons para o P, K, Ca e Mg, para o S foi utilizado a técnica de extração com solução de fosfato de Ca, para o Boro foi utilizado a extração com água quente e para o cobre, ferro, manganês e zinco foi utilizada a solução de DTPA, o pH foi determinado através do uso de CaCl_2 ; a matéria orgânica foi determinada com o uso de colorimetria; e o H + Al com o uso de solução tampão SMP, os resultados estão expressos na Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 2 - Resultado da análise química inicial do solo na profundidade de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm de profundidade

Resultado da análise do solo			Prof. de 0-20 cm	Prof. de 20-40 cm
M.O.	Matéria Orgânica	g/dm ³	9,6	9,6
pH	pH Cloreto de Ca	CaCl ₂	4,79	4,6
P	P Resina	mg/dm ³	4,3	3,58
S	S	mg/dm ³	2,3	2,8
K	K	mmolc/d m ³	1,7	0,8
Ca	Ca	mmolc/d m ³	8,5	9,5
Mg	Mg	mmolc/d m ³	1,7	1,2
Al	Alumínio	mmolc/d m ³	1	2
H+Al	Hidr. + Alumínio	mmolc/d m ³	21	22
B	Boro	mg/dm ³	-	-
Cu	Cobre	mg/dm ³	1,08	0,67
Fe	Ferro	mg/dm ³	15,05	16,1
Mn	Manganês	mg/dm ³	16,62	19,67
Zn	Zinco	mg/dm ³	0,63	0,18
SB	Soma de Bases	mmolc/d m ³	12	12
CTC	Cap. De toca de Cátions	mmolc/d m ³	33	34
V%		%	36	34
m%		%	8	15

Fonte: Laboratório de Fertilidade do solo, Nutrição de Plantas e Fertilizantes FCAT/Unesp, Dracena (2024).

Tabela 3 – Resultado médio das análises químicas finais do solo na profundidade de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm de profundidade

Fonte : Laboratório de Fertilidade do solo, Nutrição de Plantas e Fertilizantes FCAT/Unesp, Dracena (2024).

Resultado da análise do solo			Tratamento 1		Tratamento 2		Tratamento 3		Tratamento 4		Tratamento 5		Tratamento 6	
			0 a 20 cm	20 a 40 cm										
M.O.	Matéria Orgânica	g/dm ³	9,0	7,6	9,9	6,7	11,3	9,3	9,1	7,0	9,0	6,6	9,4	6,6
pH	pH Cloreto de Ca	CaCl ²	4,6	4,4	4,6	4,5	4,6	4,4	4,4	4,3	4,5	4,3	4,7	4,4
P	P Resina	mg/dm ³	1,8	1,6	4,2	1,4	5,7	1,4	6,2	1,8	6,4	2,1	3,1	1,6
S	S	mg/dm ³	3,5	3,0	3,2	2,5	6,3	11,1	11,9	19,5	11,4	18,2	9,3	17,7
K	K	mmolc/dm ³	2,1	1,7	2,3	2,3	2,3	1,2	2,3	1,8	2,3	2,4	2,5	1,9
Ca	Ca	mmolc/dm ³	12,0	15,5	15,6	12,4	13,4	16,0	12,9	11,3	12,8	13,6	12,2	15,1
Mg	Mg	mmolc/dm ³	3,6	2,8	4,7	4,5	5,8	3,1	4,6	3,1	4,0	4,2	5,7	3,2
Al	Alumínio	mmolc/dm ³	1,0	2,8	1,8	2,0	1,5	2,5	2,8	3,5	2,8	2,8	1,5	2,3
H+Al	Hidr. + Alumínio	mmolc/dm ³	20,0	32,1	21,2	19,5	20,3	20,2	22,6	22,9	20,5	22,0	18,6	20,4
B	Boro	mg/dm ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu	Cobre	mg/dm ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe	Ferro	mg/dm ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	Manganês	mg/dm ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	Zinco	mg/dm ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SB	Soma de Bases	mmolc/dm ³	17,7	20,0	22,6	19,2	21,4	20,4	19,7	16,2	19,1	20,2	20,3	20,2
CTC	Cap. De toca de Cátions	mmolc/dm ³	37,7	52,1	48,8	38,7	41,7	40,6	42,3	39,1	39,6	42,2	38,9	40,6
V%		%	46,9	42,5	50,5	49,5	51,5	50,5	46,7	42,0	48,1	48,1	52,3	50,0
m%		%	5,4	12,8	7,3	9,3	6,6	10,8	12,2	17,0	11,5	11,8	6,5	10,21

A calagem foi realizada a lanço para realizar a correção da acidez do solo através do método de saturação por bases, afim de atingir o valor de 50% (Cantarella *et al.*, 2022) (Figura 4).

Figura 5 Área do experimento após a calagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 Espécie forrageira e instalação

A espécie forrageira utilizada no experimento foi a *Urochloa decumbens* cv. Basilisk, anteriormente ao início do experimento foi realizado o rebaixamento da área a 10 cm do solo bem como a retirada da palha remanescente do solo. O experimento foi dividido em 24 parcelas de 3m de largura por 4m de comprimento totalizando 12m² com 1m entre as parcelas e 1,5m entre os blocos. Em seguida procedeu-se para a aplicação dos tratamentos realizada 35 dias após a calagem das parcelas, os nutrientes foram aplicados a lanço conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Quantidades e doses de fertilizantes utilizadas no experimento

No	Tratamentos	(kg/ha)					
		N ¹	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO ²	MgO ²	S
1	Controle (sem adubação)	0	0	0	0	0	0
2	N + P + calagem	75	60	0	184,5	63,3	0
3	Trat 2+ 30 kg ha ⁻¹ K ₂ O via polihalita	75	60	30	220,6 ³	75,7 ³	40,6
4	Trat 2+ 60 kg ha ⁻¹ K ₂ O via polihalita	75	60	60	256,8 ³	88,1 ³	81,3
5	Trat 2+ 60 (30+30) kg ha ⁻¹ K ₂ O via polihalita	75	60	30+30 ⁴	256,8 ³	88,1 ³	81,3
6	60 kg ha ⁻¹ K ₂ O via polihalita	0	0	60	72,3	24,8	81,3

Nutrientes aplicados no 1º ano agrícola (2023/2024).

1 Dose dividida em três aplicações iguais, na instalação do experimento e duas após o primeiro e o segundo; 2 Quantidade dependente da necessidade de calagem recomendada para saturação por base de 50%. 3 Quantidade de CaO e MgO fornecido por meio da polihalita e acrescida a quantidade fornecida por meio da calagem. 4 Aplicação na instalação do experimento e após o segundo corte, junto com a terceira dose de N. Polihalita: 14% K₂O, 16,9% CaO, 5,8% MgO e 19% S. Fonte:

Elaborado pelo Autor.

4.5 Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram os seguintes 1º- Controle (sem adubação), 2º- 75 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ + calagem, 3º- 75 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ + calagem e 30 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita, 4º - 75 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, calagem e 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita, 5º - 75 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, calagem e 60 (30 + 30) kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita e 6º - 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita. A fonte de N utilizada foi nitrato de amônio (NH₄NO₃), a fonte de P utilizada foi o MAP, a fonte de K utilizada foi o fertilizante polihalita (14% K₂O, 16,9% CaO, 5,8% MgO e 19% S). A quantidade de nutrientes que foi aplicada anualmente está descrita na Tabela 4. As parcelas foram formadas por 12m² (4 m x 3 m), descartando-se 0,5 m das bordaduras para formar a área útil para as avaliações. O espaçamento entre parcelas e entre blocos foi de 1m e 1,5m, respectivamente. Os tratamentos foram aplicados em superfície, a lanço de forma homogênea em toda parcela.

4.6 Variáveis Avaliadas

4.6.1 Produção de massa seca total da parte aérea

A produção de massa seca total de forragem foi medida por meio da amostragem da forragem em um retângulo de 0,5 m² (1 m x 0,5 m) posicionado em pontos representativos de cada parcela, e então cortada a 15cm do solo. Foram realizados 4 cortes sendo três nos períodos das águas (janeiro, fevereiro e março) e um do período seco (junho). Os cortes foram realizados sempre que pelo menos uma das parcelas experimentais atingia aproximadamente 45 cm de altura, independentemente de as demais parcelas terem atingido ou não essa altura respeitando o desenvolvimento fenológico das plantas. Foi retirada uma subamostra, que foi imediatamente pesada e seca em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, até peso constante, para o cálculo da matéria seca produzida por hectare.

4.6.2 Concentrações de macronutrientes da parte aérea da forrageira

Para determinar a concentração de macronutrientes na parte aérea total da forragem foi utilizada a amostra na qual foi determinada a massa seca total de forragem, amostrada no segundo corte (período das chuvas) e outra amostra do quarto corte representativa do período seco (inverno) (Foto 5). As amostras foram moídas em moinho tipo Willey e seguiu a metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). O acúmulo dos macronutrientes foi calculada em função da concentração do nutriente versus produção de massa seca da parte aérea.

Figura 6 - Leitura das análises de macronutrientes.



Fonte : Elaborado pelo autor.

4.7 Análise estatística

Os dados foram testados quanto a normalidade dos erros e homogeneidade de variância. Os resultados para a produção de massa seca acumulada foi avaliada estatisticamente pela análise da variância e comparação de médias pelo teste de Scott-Knott (Pimentel-Gomes; Garcia, 2002), em delineamento de blocos ao acaso em esquema de parcela subdividida utilizando o software estatístico sisvar (Ferreira, 2011). Os demais dados foram analisados estatisticamente pela análise da variância e comparação de médias pelo teste de menores quadrados médios em delineamento de blocos ao acaso (Pagliari *et al.*, 2022) a nível de significância de 5%, para tanto foi utilizado o software estatístico SAS Software versão 3.81 (Enterprise Edition)(SAS Institute Inc., 2025) , utilizando o procedimento PROC GLIMMIX.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da análise de variância da produção média de massa seca de forragem nos períodos de avaliação apresentaram diferença significativa para o efeito dos tratamentos, dos cortes e da interação tratamento versus cortes (Tabela 5).

Na comparação entre as médias do primeiro corte, os tratamentos adubados com N + P + calagem + 30 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita; N + P + calagem + 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita; e N + P + calagem + 60 (30 + 30) kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita foram superiores aos demais. Para o segundo corte, o tratamento N + P + calagem foi superior. Na comparação entre as médias do terceiro corte, os tratamentos adubados com N + P + calagem + 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita e N + P + calagem + 60 (30 + 30) kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita foram superiores aos demais. No quarto corte, o tratamento N + P + calagem + 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita foi superior aos demais.

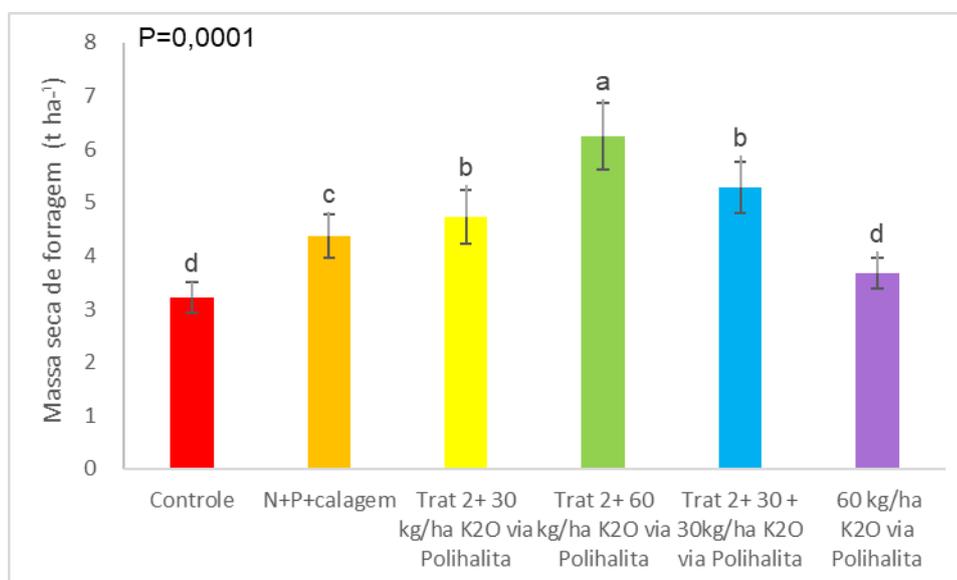
Tabela 5 - Efeito de tratamentos na avaliação da produção de massa seca de forragem de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk adubada com polihalita associadas a doses de N e P em Kg ha⁻¹

Tratamentos	Janeiro	Fevereiro	Março	Junho
Controle	1174Da	572Cc	579Dc	892Db
N + P + calagem	1679Ba	892Ac	755Bd	1046Cb
N + P + calagem + 30 kg ha ⁻¹ K ₂ O via Polihalita	1837Aa	819Bc	782Bd	1291Bb
N + P + calagem + 60 kg ha ⁻¹ K ₂ O via polihalita	2079Aa	748Cc	1387Ab	2024Aa
N + P + calagem + 60 (30 + 30) kg ha ⁻¹ K ₂ O via polihalita	1851Aa	691Cc	1371Ab	1366Bb
60 kg/ha ⁻¹ K ₂ O via polihalita	1182Ca	687Bb	666Cb	1138Ca

Médias seguidas por letras distintas maiúscula na coluna e minúsculas na linha diferem entre si para efeito de tratamentos e cortes ao nível de 5% pelo teste de mínimos quadrados médios. Fonte: elaborado pelo autor.

Os dados da análise de variância da produção acumulada de massa seca de forragem foram significativos para a variável tratamentos. O tratamento que recebeu fertilização nitrogenada mais P, mais calagem e acrescido de 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita foi superior aos demais. O tratamento controle e o tratamento que recebeu apenas 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita foram inferiores aos demais (Figura 7).

Figura 7 - Produção de massa seca acumulada *Urochloa decumbens* cv. Basilisk adubada com polihalita associadas a doses de N e P

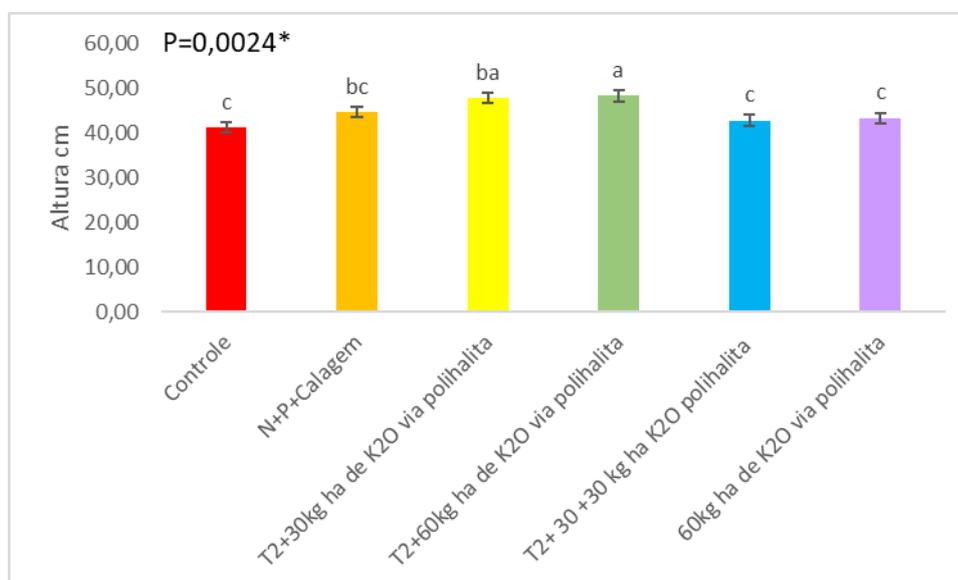


Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de 5% pelo teste Scott Knott. Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1 Alturas das Plantas

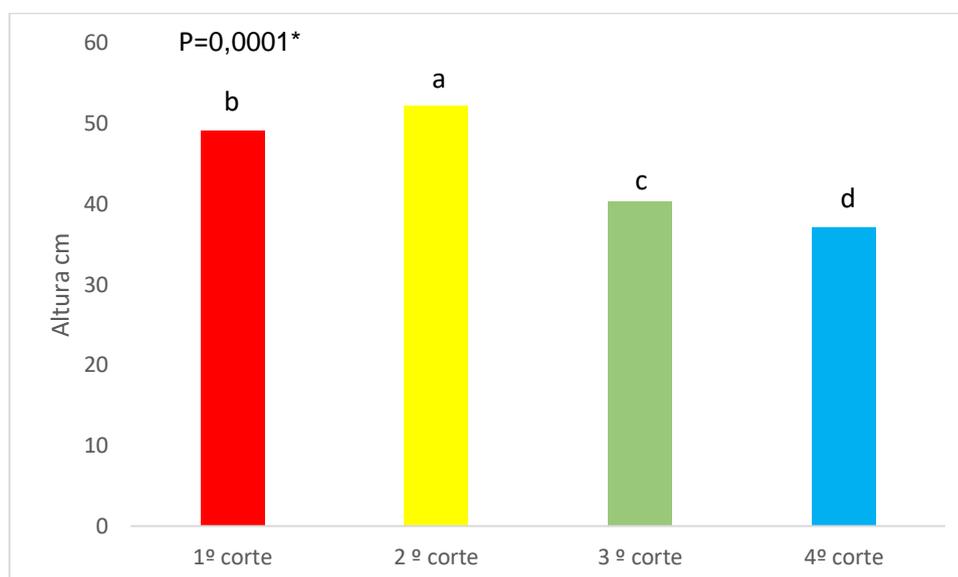
Os dados da análise de variância da altura das plantas foram significativos para o efeito dos tratamentos e dos cortes, não apresentando efeito de interação tratamentos versus cortes. Os tratamentos fertilizados com N + P + calagem + 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita e N + P + calagem + 30 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita foram superiores aos demais (Figura 8). Para o efeito dos cortes, o segundo foi superior aos demais (Figura 9).

Figura 8 - Altura média das plantas de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk em função dos tratamentos com aplicação de polihalita associada ou não ao de N e P



Médias seguidas de letras distintas indicam diferença entre os tratamentos pelo teste de mínimos quadrados médios à 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9 - Altura média das plantas (cm) em função dos cortes no capim *Urochloa decumbens* cv. Basilisk com aplicação de polihalita associadas a doses de N e P

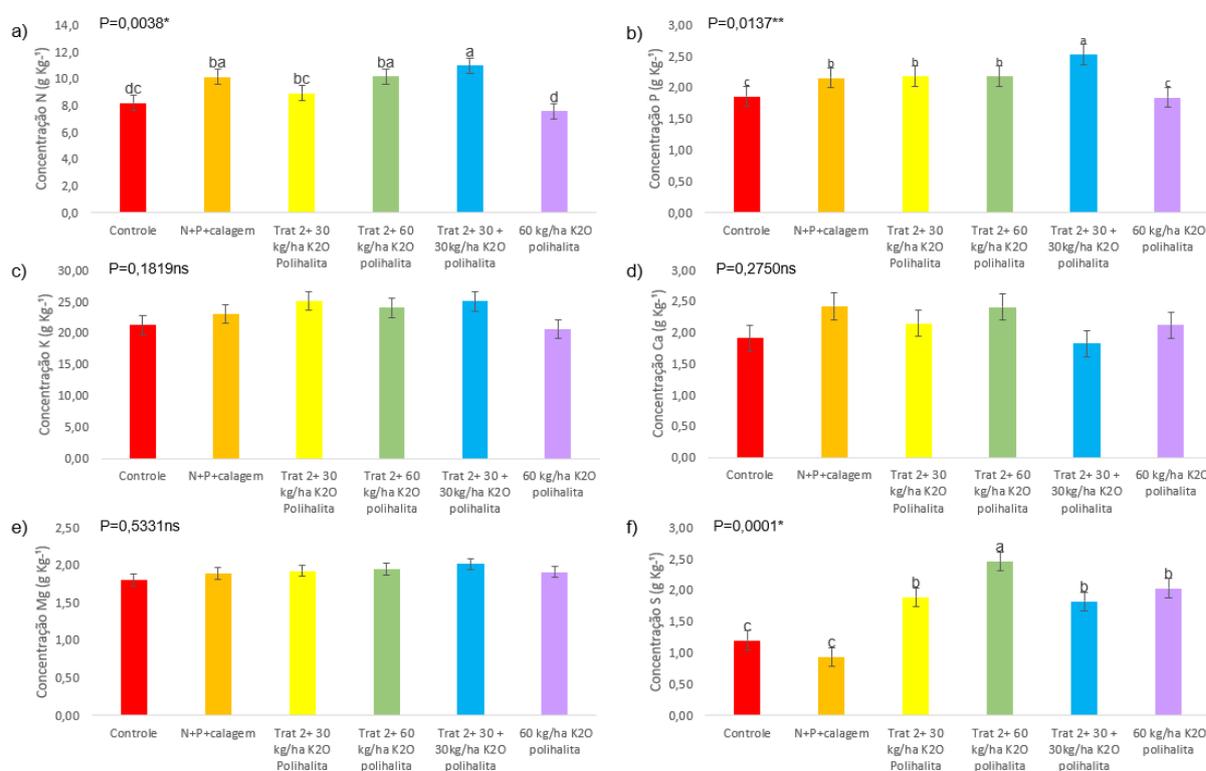


Médias seguidas de letras distintas indicam diferença entre os tratamentos pelo teste de mínimos quadrados médios à 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 Concentração de Macronutrientes

Os dados da análise de variância da concentração de macronutrientes para o período das águas estão representados na Figura 10. A concentração de N foi superior no tratamento fertilizado com N + P + calagem + 60 (30 + 30) kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita, seguido dos tratamentos fertilizados com N + P + calagem e N + P + calagem + 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita. Para a concentração de P, o tratamento N + P + calagem + 60 (30 + 30) kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita foi superior aos demais, seguido dos tratamentos N + P + calagem, N + P + calagem + 30 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita e N + P + calagem + 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita. Os macronutrientes K, Ca e Mg não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos. A concentração de S no tratamento fertilizado com N + P + calagem + 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita foi superior aos demais, sendo que os tratamentos controle e N + P + calagem foram inferiores aos demais.

Figura 10 - Concentração de macronutrientes da parte aérea do *Urochloa decumbens* cv. Basilisk, no período das águas, adubada com polihalita associadas ao N e P

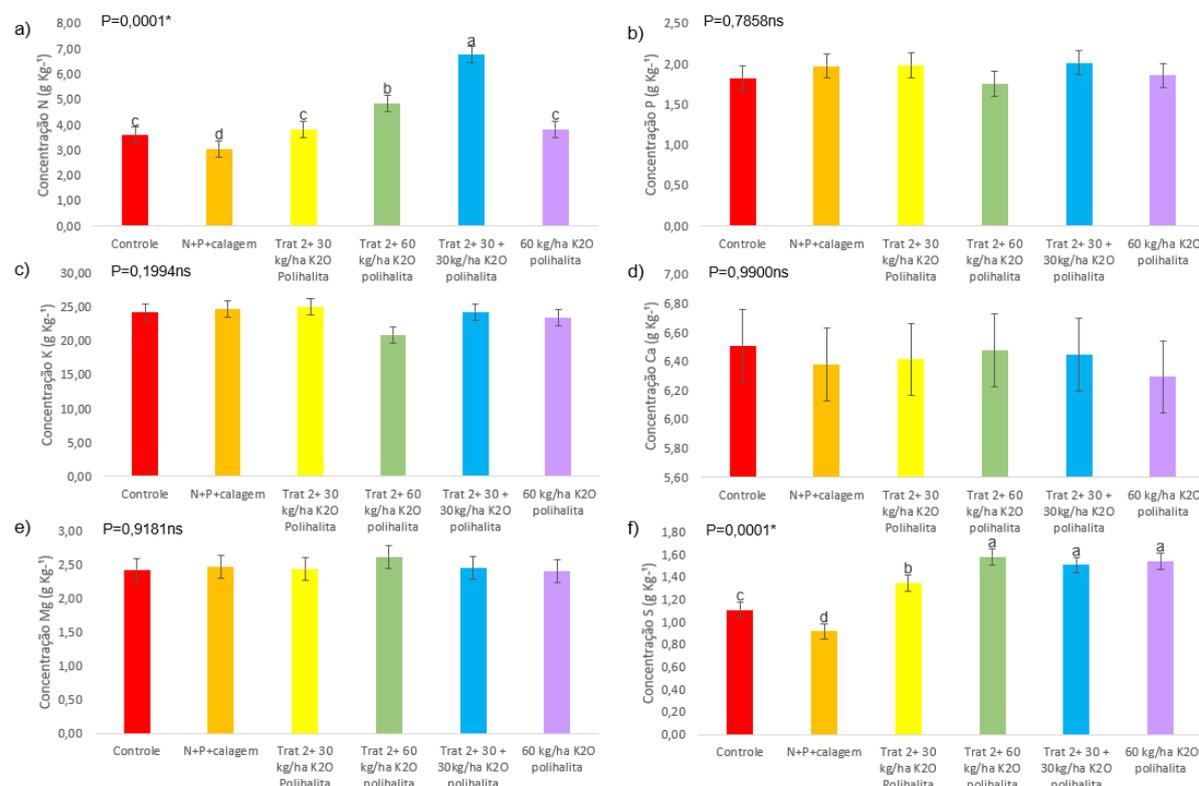


*, ** e ns, respectivamente, médias seguidas de letras distintas indicam diferença entre os tratamentos ao nível de 1%, 5% e não significativo pelo teste de mínimos quadrados médios.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados da análise de variância da concentração de macronutrientes para o período da seca estão representados na Figura 11. A concentração de N foi superior no tratamento adubado com N + P + calagem + 60 (30 + 30) kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita em relação aos demais. As concentrações de P, K, Ca e Mg não apresentaram diferença significativa. A concentração de S foi superior nos tratamentos N + P + calagem + 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita, N + P + calagem + 60 (30 + 30) kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita e 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita, não diferindo entre si e sendo superiores aos demais.

Figura 11 - Concentração de macronutrientes da parte aérea a) N, b) P, c) K, d) Ca, e) Mg e f) S no período da seca do *Urochloa decumbens* cv. Basilisk adubada com polihalita associadas ao N e P



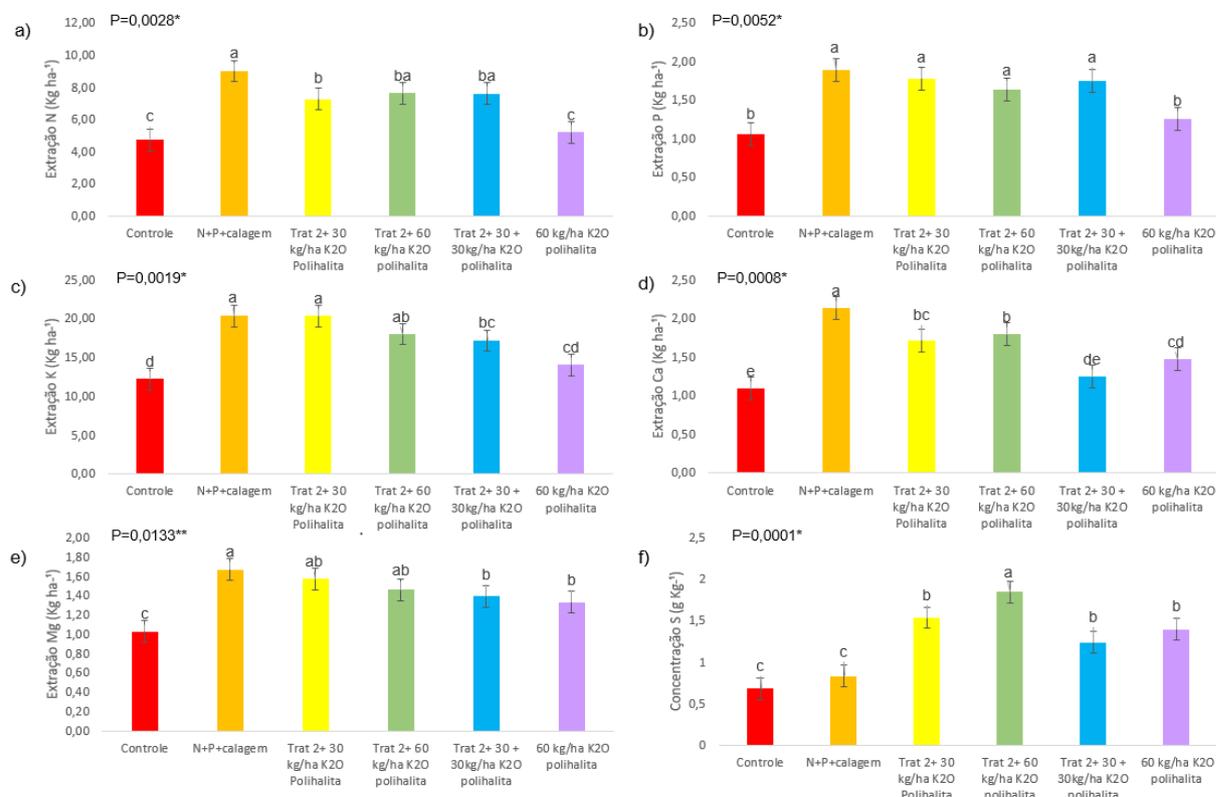
*, ** e ns, respectivamente, médias seguidas de letras distintas indicam diferença entre os tratamentos ao nível de 1%, 5% e não significativo pelo teste de mínimos quadrados médios.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3 Extração de Macronutrientes

Com relação à extração de macronutrientes, a análise do período das águas apresentou significância para todos os nutrientes (Figura 12). Para a extração de N, o tratamento N + P + calagem foi superior aos demais. Para P, todos os tratamentos que envolviam o uso da adubação completa foram superiores. Na extração de K, os tratamentos N + P + calagem e N + P + calagem + 30 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita foram superiores aos demais. Para a extração de Ca e Mg, o tratamento N + P + calagem foi superior aos demais. Já para a extração do macronutriente S, o tratamento N + P + calagem + 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita foi superior.

Figura 12 – Extração de macronutrientes da parte aérea a) N, b) P, c) K, d) Ca, e) Mg e f) S no período das águas do *Urochloa decumbens* cv. Basilisk adubada com polihalita associadas ao N e P

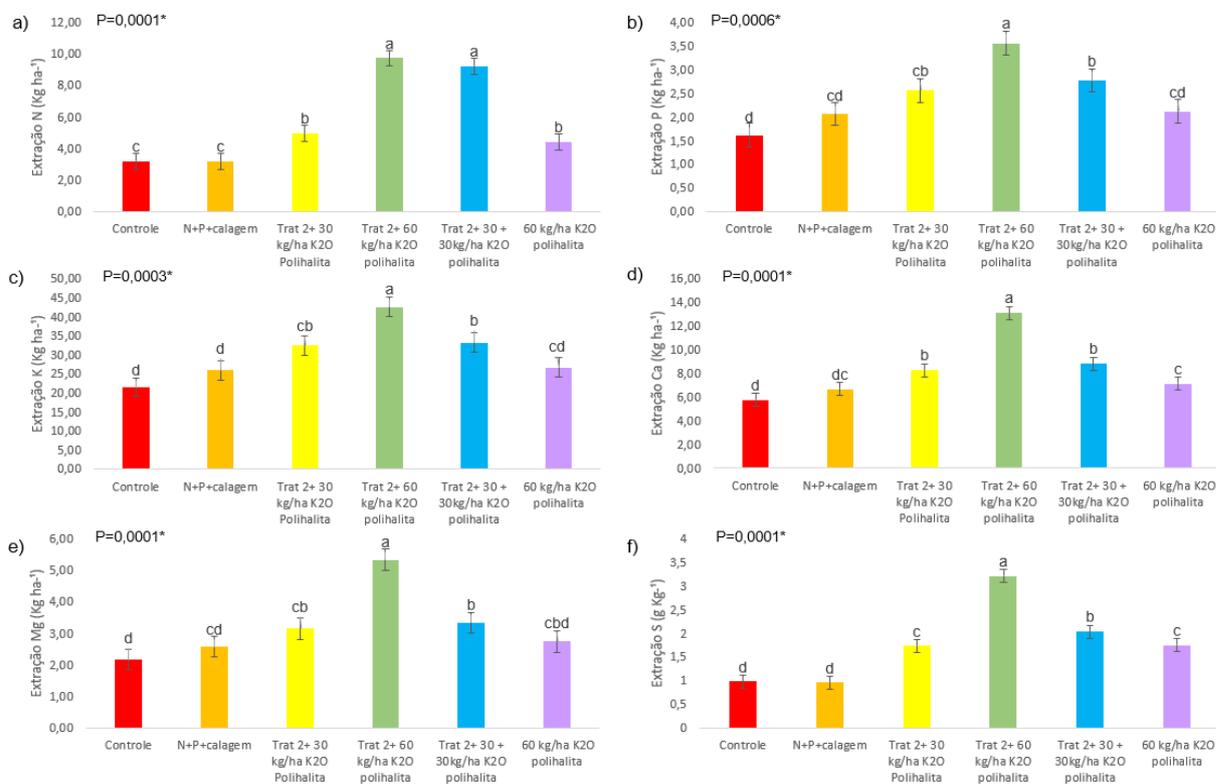


*, ** e ns, respectivamente, médias seguidas de letras distintas indicam diferença entre os tratamentos ao nível de 1%, 5% e não significativo pelo teste de mínimos quadrados médios.

Fonte: Elaborado o autor.

Ainda com relação à extração de macronutrientes, a análise do período da seca apresentou significância para todos os nutrientes (Figura 12). A extração do macronutriente N apresentou significância nos tratamentos fertilizados com N + P + calagem + 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita e N + P + calagem + 60 (30 + 30) kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita, sendo superiores aos demais. Para a extração dos macronutrientes P, K, Ca, Mg e S, apenas o tratamento fertilizado com N + P + calagem + 60 kg ha⁻¹ de K₂O foi superior aos demais.

Figura 13 – Extração de macronutrientes da parte aérea a) N, b) P, c) K, d) Ca, e) Mg e f) S no período da seca do *Urochloa decumbens* cv. Basilisk adubada com polihalita associadas ao N e P



*, ** e ns, respectivamente, médias seguidas de letras distintas indicam diferença entre os tratamentos ao nível de 1%, 5% e não significativo pelo teste de mínimos quadrados médios. Fonte: o autor.

6 DISCUSSÃO

6.1 Produção de Massa Seca da Parte Aérea da Forragem

Durante o transcorrer do experimento, foram registrados índices pluviométricos e temperaturas máxima e mínima, conforme apresentado na Figura 3. O acumulado de precipitação pluvial correspondeu a apenas 54% do registrado na série histórica. Este déficit hídrico pode ter impactado diretamente na produtividade, visto que condições de baixa precipitação dificultam solubilização da polihalita (Huang *et al* 2020).

Analisando os dados apresentados na Tabela 5, verificamos que Os tratamentos fertilizados com N + P + calagem + 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita e N + P + calagem + 60 (30 + 30) kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita apresentaram maior produção de massa seca em comparação aos demais (Tabela 3). Destaca-se que para estes tratamentos o primeiro e o quarto cortes foram os mais produtivos, no primeiro corte, a adubação estava recente, permitindo maior disponibilidade de nutrientes. No quarto corte, mesmo durante o período de seca, o capim gozou de tempo suficiente para absorver os nutrientes aplicados. A produção acumulada foi inferior à relatada por Meirelles *et al.* (2023) para *Urochloa decumbens*, possivelmente devido ao menor volume de precipitação no período experimental.

O uso da adubação completa através do tratamento N + P + calagem + 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita apresentou resultados superiores na recuperação da pastagem (Figura 7). Tal efeito deve-se provavelmente ao fato de o tratamento apresentar adubação completa de macronutrientes em doses elevadas, possibilitando um melhor desenvolvimento das plantas e maior resistência às adversidades climáticas enquanto preservavam seu potencial produtivo (Berg *et al.*, 2005). Doses superiores de fertilização completa geram maior produtividade por proporcionarem maior oferta de nutrientes de maneira balanceada, permitindo maior aproveitamento do potencial de desenvolvimento da planta (Wang *et al.*, 2020). Em contrapartida, plantas adubadas somente com polihalita não apresentaram resposta significativa na produção de massa seca, evidenciando que a ausência de N e P pode atuar como um fator limitante no seu desenvolvimento. No entanto, no tratamento com N + P + calagem + 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita, houve concentrações significativamente superiores para os macronutrientes Ca e S. Este efeito deve-se provavelmente ao "efeito diluição", em que o crescimento acentuado das plantas resulta em menor

concentração de alguns nutrientes em tratamentos com maior produtividade (Jarrell; Beverly, 1981).

Desta forma mesmo com a dificuldade de solubilização do fertilizante e escassez de recursos hídricos enfrentada durante o experimento o uso da polihalita associada a fontes de N e P permitiu que as plantas apresentassem diferenças de produtividade em relação ao tratamento controle. Podemos verificar a composição do fertilizante polihalita na Tabela 1 em que o N e o P estão ausentes e as gramíneas forrageiras tropicais são muito responsivas a estes dois macronutrientes bem como a interação com os demais.

Yermiyahu *et al.*, (2017) conduzindo experimentos com a cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) nos períodos de 2015 a 2016 onde utilizaram diferentes doses de polihalita. Os autores constataram que a produção apresentou uma resposta positiva e foi significativamente maior a massa seca em todas as doses de polihalita avaliadas.

Heinrichs *et al.* (2013) encontraram produções de massa seca de forragem superior aos encontrados neste experimento comparando com a mesma quantidade de N aplicada. Os autores conduziram o experimento com *Urochloa decumbens*, onde avaliaram os efeitos da adubação nitrogenada e sulfatada via nitrato de amônio e sulfato de Ca onde foi constatada interação significativa para os tratamentos adubados com N e S, proporcionando assim uma maior produção de novas folhas em virtude da adubação nitrogenada quando comparada aos tratamentos adubados com doses menores de N.

Soares Filho *et al.* (2018) avaliaram o capim Mulato II onde utilizaram o biofertilizante orgânico proveniente do esterco bovino afim de avaliar seus efeitos no status nutricional do capim. Os autores constataram que o uso do biofertilizante orgânico proporcionou um aumento da produção de massa seca da parte aérea do capim Mulato. A utilização dos fertilizantes promoveu o acúmulo de nutrientes na parte aérea. Estes resultados corroboram com os encontrados neste trabalho onde verificamos que a fertilização obtivemos uma resposta positiva em termos de acúmulo de massa seca de forragem e concentração e a extração de macronutrientes na parte aérea do capim.

Os efeitos da produção de massa seca no período das chuvas e da seca também podem ser observados nas análises dos respectivos períodos, durante a análise do período seco os teores de concentração de cálcio foram inferiores aos

encontrados no período da seca. Achados semelhantes foram encontrados nas extrações dos macronutrientes K, Ca, Mg e S, onde se observou teores menores no período das águas em relação ao encontrado no período da seca. Este achado pode ser explicado através do efeito de diluição, onde o crescimento proporcionado pelo maior aporte hídrico no período que corresponde ao segundo corte apresentou os maiores resultados de matéria seca (Jarrell; Beverly, 1981).

Paralelamente a análise do quarto corte apresentou teores de macronutrientes mais elevados, no entanto também apresentou os menores índices de matéria seca entre todos os cortes, de maneira que neste caso pode-se observar o efeito de concentração onde devido á menor produção de biomassa foi possível a ocorrência de um maior teor de macronutrientes (Jarrell; Beverly, 1981).

Desta forma a baixa produtividade da massa seca de forragem observada em nosso experimento quando comparada com os demais se deve provavelmente em virtude da baixa precipitação pluvial ocorrida no período experimental. Outro fator muito relevante foi que o déficit hídrico dificultou a solubilização da polihalita de maneira que ainda foi possível encontrar material do adubo depositado na superfície do solo ao fim do período experimental.

6.2 Concentração de Macronutrientes

A concentração de macronutrientes na parte aérea do capim *Urochloa decumbens* cv. Basilisk foi influenciada pelo déficit hídrico, o qual resultou na dificuldade de potencializar a solubilização por fluxo de massa do fertilizante polihalita. Resultados similares foram encontrados por Huang *et al.* (2020), que avaliaram os efeitos da aplicação da polihalita com outros fertilizantes em situações de precipitação simulada reportando que o uso de polihalita combinado com precipitações simuladas em solos arenosos levou a um aumento positivo da concentração de cálcio na planta, que variou entre 43% e 86%. Além disso também foi observado a ocorrência de redução significativa da concentração de enxofre na planta. Constatou-se, ainda, que o uso da polihalita resultou em um aumento significativo na produção de cenouras, demonstrando que as características de solubilidade da polihalita se comportaram como um fertilizante de ação prolongada durante a condução do experimento. Esses

resultados sugerem que os experimentos devem ser conduzidos em condições de umidade do solo adequada e, sobretudo, por um período de avaliação maior.

Huang *et al.* (2020) encontraram resultados compatíveis com os obtidos neste experimento, relatando que, além de apresentar solubilidade menor quando comparada a outros fertilizantes, a polihalita apresentou material residual semanas após a sua aplicação. Na sequência, os autores realizaram a semeadura de milho para avaliar os efeitos residuais do uso do fertilizante e não encontraram diferença significativa na extração de macronutrientes.

Na presente pesquisa, durante a condução do experimento, foram observados resíduos do fertilizante polihalita no término do experimento (Figura 13). Yermiyahu *et al.* (2017) relataram que, durante a condução dos experimentos realizados nos anos de 2015 e 2016, a concentração de nutrientes encontrada no fluido lixiviado do tratamento controle foi maior do que a da polihalita, indicando que os fertilizantes minerais usados no tratamento controle são mais solúveis do que a polihalita.

Desta forma podemos observar que o comportamento da polihalita se aproxima do comportamento dos fertilizantes de liberação lenta assim como relatado por Huang *et al.* (2020).

Figura 14 – Em vermelho grânulos de polihalita encontrados no solo 180 dias após o início do experimento



Fonte: Elaborado pelo autor.

As concentrações dos nutrientes N e Ca apresentaram variações inferiores as encontradas na literatura, sendo que as concentrações de N foram entre 7,57 e 10,98 g kg⁻¹ (Figura 9a) e as de Ca 1,83 a 2,43 g kg⁻¹ (Figura 9d), ambas análises inferiores as recomendadas por Quaggio *et al.* (2022).

Já os elementos P e Mg apresentaram concentrações dentro das recomendadas por Quaggio *et al.* (2020), sendo 1,84 e 2,53 g kg⁻¹ (Figura 9b) e 1,81 e 2,02 g kg⁻¹ (Figura 9e) respectivamente.

Heinrichs *et al.* (2013) relataram resultados superiores, em que a adubação nitrogenada no capim *Urochloa decumbens* cv. Basilisk elevou a concentração do nutriente nas folhas verdes e nos colmos + bainha, registrando valores que variaram entre 18,1 e 26,9 g kg⁻¹. Os valores relatados pelos autores foram superiores aos encontrados no presente experimento, e a razão para tal achado provavelmente se deve ao fato de a pastagem estar em estágio inicial de recuperação e ter o desenvolvimento da parte aérea comprometido pela baixa precipitação pluvial ao

longo do período experimental. Soares Filho *et al.* (2018) relataram teores superiores de Ca e observaram um efeito linear decrescente, que variou de 2,9 a 4,0 g kg⁻¹.

Heinrichs *et al.* (2013) encontraram teores inferiores de P aos obtidos neste experimento, sendo o nível médio de concentração 0,74 g kg⁻¹, levemente abaixo do limite inferior proposto por Quaggio *et al.* (2022). Soares Filho *et al.* (2018), avaliando o capim Mulato II, relataram valores inferiores aos registrados neste experimento. Os autores observaram que houve um aumento na concentração de P após quatro cortes com a adubação com biofertilizante orgânico, registrando valores que variaram entre 1,0 e 1,5 g kg⁻¹. Os valores Mg encontrados por Soares Filho *et al.* (2018) foram de 3,1 a 3,5 g kg⁻¹, sendo superiores aos obtidos neste experimento.

Os níveis de concentração de K identificados na análise realizada no período das águas variaram entre 20,07 e 25,07 g kg⁻¹ (Figura 9c), estando, em sua maior parte, de acordo com o recomendado por Quaggio *et al.* (2022) (faixa ideal de 12 a 25 g kg⁻¹). Heinrichs *et al.* (2013) reportaram um valor médio de 16,56 g kg⁻¹, inferior ao obtido neste experimento. Soares Filho *et al.* (2018) encontraram uma faixa de variação similar, de 15,0 a 24,0 g kg⁻¹, aos valores encontrados neste trabalho.

No caso do S, Yermiyahu *et al.* (2017) reportaram que as concentrações de S variaram em seus experimentos, sendo que, no primeiro, não houve resposta significativa para o elemento. No entanto, os dois experimentos seguintes apresentaram um aumento significativo na concentração de S, demonstrando que a adubação com polihalita foi mais eficiente na absorção do S do que o tratamento controle. Esses resultados corroboram com os obtidos no presente trabalho. Soares Filho *et al.* (2018) relataram que a concentração de S diminuiu de maneira linear devido ao efeito de diluição na produção de massa seca, e os valores variaram entre 1,1 e 3,4 g kg⁻¹, sendo superiores ao encontrado em nosso experimento e levemente superiores ao sugerido por Quaggio *et al.* (2022) (faixa ideal de 0,8 a 2,5 g kg⁻¹). A concentração de S (2,46 g kg⁻¹) foi significativamente superior no tratamento fertilizado com N + P + calagem + 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita em relação aos demais.

A concentração de macronutrientes no período da seca (Figura 10), de maneira geral, foi reduzida para o N, P e S, enquanto os demais nutrientes, K, Ca e Mg, apresentaram um leve aumento. Os resultados encontrados para todos os macronutrientes, exceto o N (3,04 a 6,77 g kg⁻¹), estão na faixa ideal de concentração

sugerida por Quaggio *et al.* (2022). A maior concentração de N na planta ($6,77 \text{ g kg}^{-1}$) foi encontrada no tratamento fertilizado com N + P + calagem 60 ($30+30$) kg ha^{-1} de K_2O via polihalita. No entanto, a concentração de S foi significativamente superior em todos os tratamentos adubados com polihalita.

6.3 Extração de Macronutrientes

Durante o experimento, a extração de macronutrientes apresentou variações entre os tratamentos e entre as estações. No período das águas, as extrações de N, P e K foram mais elevadas nos tratamentos com adubação completa. Os teores de nutrientes foram, respectivamente, de $4,72$ a $9,01 \text{ kg ha}^{-1}$, $1,06$ a $1,89 \text{ kg ha}^{-1}$ e $12,20$ a $20,32 \text{ kg ha}^{-1}$, conforme apresentado na Figura 12.

Entretanto apesar de apresentarem teores de extração mais elevados em virtude dos tratamentos com adubação completa, apenas o K e S apresentaram teores parcialmente compatíveis com os encontrados por Garcia, Riggo e Cecilio (2015) ($15,89$ a $26,86 \text{ kg ha}^{-1}$ e $1,83$ a $2,04 \text{ kg ha}^{-1}$ respectivamente). Todos os demais macronutrientes apresentaram teores inferiores aos encontrados por Rezende *et al.* (2022) e Mendonça *et al.* (2014) para o período das águas, os teores encontrados na análise do período das águas está ilustrado na Figura 12.

Já no período da seca, houve um aumento significativo na extração de todos os macronutrientes, compatível com a maior produção de biomassa observada nesse período. Apesar das limitações hídricas impostas pelo período da seca, o tratamento N + P + calagem + 60 kg ha^{-1} de K_2O via polihalita manteve uma performance relativamente superior. Dessa forma, os tratamentos fertilizados com polihalita apresentaram maiores concentrações de Mg e S. Paralelamente, o tratamento fertilizado apenas com polihalita apresentou menor extração dos macronutrientes N, P, K e Ca quando comparado com seus homólogos, o que indica que, para o correto desempenho da forrageira, é necessária a adubação completa.

Os teores aferidos durante a análise do período da seca estão representados na Figura 13, onde pode se observar valores mais elevados para os macronutrientes presentes na polihalita em comparação com a análise do período das águas. desta forma foi constatado que o tratamento fertilizado com N + P + calagem + 60 kg ha^{-1} de K_2O via polihalita apresentou os maiores valores de extração para todos os macronutrientes.

Lillywhite *et al.* (2020) relataram efeitos semelhantes com relação às concentrações e extrações em seu experimento com cevada (*Hordeum vulgare*) e milho (*Zea mays*), onde houve diferença significativa na extração do K, mas não na concentração do mesmo. Ainda assim, foi observado um efeito positivo na produção de biomassa. No mesmo experimento, verificou-se uma maior disponibilidade de S, e os efeitos sobre a produção de biomassa tiveram um rendimento positivo e significativamente relacionado à extração de S.

Yermiyahu *et al.* (2017) encontraram que as concentrações de K aumentavam de acordo com a dose de polihalita até o limiar de 1500 kg ha⁻¹. No entanto, a partir desse ponto, não havia mais absorção ao se elevar novamente a dose. Os autores também constataram que as concentrações de Ca e Mg na parte aérea das plantas diminuíram à medida que se aumentou a dose de polihalita aplicada. Entretanto, a extração de ambos os minerais aumentou, o que sugere que os níveis de Ca e Mg não são um problema para a produção de biomassa. A pesquisa constatou que, quanto ao S, só foi possível observar diferença significativa com o uso de doses muito elevadas, e, de modo geral, a resposta do S foi negativa. Segundo os autores, essa resposta significativa na extração e não significativa na concentração sugere que o fertilizante possui a capacidade de fornecer os nutrientes, mas a planta não seria capaz de utilizá-los plenamente.

O uso da polihalita apresentou resultado positivo na recuperação de pastagem de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk. Entretanto, essa eficiência parece ser dependente da realização da adubação completa com a utilização dos demais macronutrientes. Além disso, durante a condução do experimento, foi possível observar que o fertilizante mineral polihalita ainda apresentava material residual depositado no solo 180 dias após o início do experimento. Sua solubilidade apresentou comportamento semelhante ao de um fertilizante de liberação lenta, cujos efeitos são observados em escalas de tempo maiores.

7 CONCLUSÃO

O ambiente solo e ambiente planta foram melhorados com o fornecimento de polihalita associada a doses de nitrogênio e fósforo através do tratamento N+P+calagem+ 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita, expressando maior produção de

massa seca de forragem, e maior extração do macronutriente K, as concentrações de N e S também foram maiores para este tratamento.

Desta forma o uso da adubação completa proposta no tratamento N+P+calagem+ 60 kg ha⁻¹ de K₂O via polihalita foi efetiva na recuperação da pastagem de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk, a aplicação do fertilizante mineral polihalita de forma isolada não foi efetiva no acúmulo de massa seca de forragem.

REFERÊNCIAS

- ABIEC, A. B. DAS I. E. DE C. **Beef Report 2023**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2023/>. Acesso em: 6 abr. 2024.
- ANTHONY, J. W.; BIDEAUX, R. A.; BLADH, K. W.; NICHOLS, M. C. **Handbook of mineralogy**. [S.l.]: Mineralogical Society of America, 2003. v. 1
- ARAUJO, A. C. G.; FALCÃO, R.; SIMÕES, K. C. R.; CARNEIRO, V. T. DE C. Identificação de acessos de *Brachiaria* com interesse ao estudo da apomixia facultativa. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia**, [s.l.], v. 74, p. 29, 2004.
- ARAÚJO FILHO, J. A. D. Adubação organo-mineral para a recuperação da produção de forragem em uma pastagem nativa degradada. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais [...]** João Pessoa: SBZ; UFPB, 2006. 4 f. 1 CD-ROM.
- AVELINO CABRAL, C. E.; CABRAL, C. H. A.; SANTOS, A. R. M.; MOTTA, A. M.; MOTA, L. G. Impactos técnico-econômicos da adubação de pastos. **Nativa**, [s.l.], v. 9, n. 2, p. 173–181, 14 maio 2021.
- BAPTISTELLA, J. L. C.; DE ANDRADE, S. A. L.; FAVARIN, J. L.; MAZZAFERA, P. *Urochloa* in tropical agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [s.l.], v. 4, p. 119, 5 ago. 2020.
- BAYU, T. Review on contribution of integrated soil fertility management for climate change mitigation and agricultural sustainability. **Cogent Environmental Science**, [s.l.], v. 6, n. 1, p. 1823631, jan. 2020.
- BERG, W. K.; CUNNINGHAM, S. M.; BROUDER, S. M.; JOERN, B. C.; JOHNSON, K. D.; SANTINI, J.; VOLENEC, J. J. Influence of phosphorus and potassium on alfalfa yield and yield components. **Crop Science**, [s.l.], v. 45, n. 1, p. crops2005.0297, jan. 2005.
- BHAR, A.; CHAKRABORTY, A.; ROY, A. The captivating role of calcium in plant-microbe interaction. **Frontiers in Plant Science**, [s.l.], v. 14, p. 1138252, 3 mar. 2023.
- BOLFE, É.; SANO, E.; MASSRUHÁ, S.; VICTORIA, D.; BAYMA, G.; OLIVEIRA, A. DE. Potencial de expansão agrícola em áreas de pastagem degradadas no Brasil. **Agroanalysis**, [s.l.], v. 44, n. 03, p. 47, mar. 2024.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR, D.; BOARETTO, R. M.; RAJI, B. V. **Boletim 100**: recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: [s.n.], 2022.
- DESA, U. N. D. OF E. AND S. A. (DESA). **The sustainable development goals report special edition**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/?_gl=1*7rbz9w*_ga*MTg0MzkyNjI5OC4xNzIz

MDIyNTA1*_ga_TK9BQL5X7Z*MTcyMzAyMjg5Ny4xLjEuMTcyMzAyMjk1OS4wLjAuMA. Acesso em: 7 ago. 2024.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens**: conceitos, processos e estratégias de recuperação e de prevenção. Belém, PA: [s.n.], 2023.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens**: função das plantas daninhas. [S.l.]: Embrapa Amazonia Oriental, 2024. p. 16 (Documentos)

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, dez. 2011.

GOKUL, D.; KARTHIKEYAN, P. K.; POONKODI, P.; BABU, S.; IMAS, P.; PERELMAN, A.; SRIRAMACHANDRASEKHARAN, M. V. Effect of polyhalite and muriate of potash on quality attributes of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) in Inceptisols. **Journal of Applied and Natural Science**, [s.l.], v. 15, n. 4, p. 1326–1331, 20 dez. 2023.

HEINRICH, R.; GRANO, F. G.; BUENO, L. G. D. F.; SOARES FILHO, C. V.; FAGUNDES, J. L.; REBONATTI, M. D.; OLIVEIRA, K. D. Brachiaria sp yield and nutrient contents after nitrogen and sulphur fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 37, n. 4, p. 997–1003, ago. 2013.

HUANG, C.; YERMIYAHU, U.; SHENKER, M.; BEN-GAL, A. Effect of leaching events on the fate of polyhalite nutrient minerals used for crop fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, [s.l.], v. 43, n. 16, p. 2518–2532, 1 out. 2020.

JARRELL, W. M.; BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies. *In*: **ADVANCES in Agronomy**. [S.l.]: Elsevier, 1981. v. 34. p. 197–224.

KLUTHCOUSKI, J.; CORDEIRO, L. A. M.; CECCON, G.; OLIVEIRA, P. DE. **Braquiária na agropecuária brasileira**: uma história de sucesso. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 17–26.

LAPIG, A. DAS P. B. **Atlas de pastagens**. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2024. Disponível em: <https://atlasdaspastagens.ufg.br>. Acesso em: 7 abr. 2024.

LILLYWHITE, R. D.; WILTSHIRE, J. J. J.; WEBB, J.; MENADUE, H. The response of winter barley (*Hordeum vulgare*) and forage maize (*Zea mays*) crops to polyhalite, a multi-nutrient fertilizer. **The Journal of Agricultural Science**, [s.l.], v. 158, n. 4, p. 269–278, maio 2020.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. DE. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

MAPBIOMAS. **Pastagens brasileiras ocupam área equivalente a todo o Estado do Amazonas**. [S.l.: s.n.]. c2025. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2021/10/13/pastagens-brasileiras-ocupam-area-equivalente-a-todo-o-estado-do-amazonas/>. Acesso em: 7 abr. 2024.

MENDES, W. D. C.; ALVES JÚNIOR, J.; CUNHA, P. C. R. D.; SILVA, A. R. D.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D. Potassium leaching in different soils as a function of irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 20, n. 11, p. 972–977, nov. 2016.

PAGLIARI, P.; GALINDO, F. S.; STROCK, J.; ROSEN, C. Use of repeated measures data analysis for field trials with annual and perennial crops. **Plants**, [s.l.], v. 11, n. 13, p. 1783, 5 jul. 2022.

PEICHL, M.; LEAHY, P.; KIELY, G. Six-year stable annual uptake of carbon dioxide in intensively managed humid temperate grassland. **Ecosystems**, [s.l.], v. 14, n. 1, p. 112–126, jan. 2011.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentação agrônômica e florestais exposições com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002.

PRAJAPATI, K.; MODI, H. A. **The importance of potassium in plant growth: a review**. [S.l.: s.n.], 2012. v. 1.

PRAMANICK, B.; MAHAPATRA, B. S.; DATTA, D.; DEY, P.; SINGH, S. P.; KUMAR, A.; PARAMANIK, B.; AWASTHI, N. An innovative approach to improve oil production and quality of mustard (*Brassica juncea* L.) with multi-nutrient-rich polyhalite. **Heliyon**, [s.l.], v. 9, n. 3, p. e13997, mar. 2023.

QUAGGIO, J. A. Forrageias. In: BOLETIM 100: recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico (IAC), 2022.

SANTOS, H. G. DOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília-DF: EMBRAPA, 2018.

SAS INSTITUTE INC. **SAS Software**. [S.l.]: SAS Institute Inc., 2025. Disponível em: <https://welcome.oda.sas.com>. Acesso em: 15 jan. 2025

SOARES FILHO, C. V.; CAVAZZANA, J. F.; HEINRICHS, R.; VENDRAMINI, J. M. B.; LIMA, G. C.; MOREIRA, A. The Impact of organic biofertilizer application in dairy cattle manure on the chemical properties of the soil and the growth and nutritional status of urochroa grass. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [s.l.], v. 49, n. 3, p. 358–370, 4 fev. 2018.

SOUSSANA, J. -F.; LOISEAU, P.; VUICHARD, N.; CESCHIA, E.; BALESSENT, J.; CHEVALLIER, T.; ARROUAYS, D. Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. **Soil Use and Management**, [s.l.], v. 20, n. 2, p. 219–230, jun. 2004.

STIPP, S. R.; CASARIN, V. A importância do enxofre na agricultura brasileira. **Informações Agrônômicas**, v. 129, 2010.

THE HUDSON INSTITUTE OF MINERALOGY. **Polyhalite**. Keswick: Hudson Institute of Mineralogy, 2000. Disponível em: <https://www.mindat.org/min-3259.html>. Acesso em: 28 fev. 2025.

TÖRÖK, P.; BRUDVIG, L. A.; KOLLMANN, J.; N. PRICE, J.; TÓTHMÉRÉSZ, B. The present and future of grassland restoration. **Restoration Ecology**, [s.l.], v. 29, n. S1, p. e13378, abr. 2021.

WANG, Z.; HASSAN, M. U.; NADEEM, F.; WU, L.; ZHANG, F.; LI, X. Magnesium Fertilization Improves Crop Yield in Most Production Systems: A Meta-Analysis. **Frontiers in Plant Science**, [s.l.], v. 10, p. 1727, 24 jan. 2020.

WU, G.L.; LIU, Z.H.; ZHANG, L.; HU, T.M.; CHEN, J.M. Effects of artificial grassland establishment on soil nutrients and carbon properties in a black-soil-type degraded grassland. **Plant and Soil**, [s.l.], v. 333, n. 1–2, p. 469–479, ago. 2010.

YERMIYAHU, U.; ZIPORI, I.; FAINGOLD, I.; YUSOPOV, L.; FAUST, N.; BAR-TAL, A. Polyhalite as a multi nutrient fertilizer: potassium, magnesium, calcium and sulfate. **Israel Journal of Plant Sciences**, [s.l.], v. 64, n. 3–4, p. 145–157, 6 dez. 2017.

ZHOU, H.; PENG, J.; ZHAO, W.; ZENG, Y.; XIE, K.; HUANG, G. Leaf diffusional capacity largely contributes to the reduced photosynthesis in rice plants under magnesium deficiency. **Plant Physiology and Biochemistry**, [s.l.], v. 209, p. 108565, abr. 2024.