

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
ÁREA CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**RAVISA DE OLIVEIRA MAGALHÃES**

**USO DO PÓ DE BASALTO COMO REMINERALIZADOR DO SOLO EM  
PASTAGEM DE *Urochloa brizantha* cv MARANDÚ E SEUS EFEITOS NA  
QUALIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA**

**UBERLÂNDIA - MG  
2024**

**RAVISA DE OLIVEIRA MAGALHÃES**

**USO DO PÓ DE BASALTO COMO REMINERALIZADOR DO SOLO EM  
PASTAGEM DE *Urochloa brizantha* cv MARANDÚ E SEUS EFEITOS NA  
QUALIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, para a obtenção do título de mestre em Agronomia.

Área de Concentração: Agronomia

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres

Coorientadora: Prof<sup>ta</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriane de Andrade Silva

**UBERLÂNDIA-MG**

**2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

M188u 2024 Magalhães, Ravisa de Oliveira, 1994-  
    Uso do pó de basalto como remineralizador do solo em pastagem de *Urochloa brizantha* cv marandú e seus efeitos na qualidade do solo e produtividade da cultura [recurso eletrônico] / Ravisa de Oliveira Magalhães. - 2024.

    Orientador: José Luiz Rodrigues Torres.  
    Coorientadora: Adriane de Andrade Silva.  
    Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-graduação em Agronomia.  
    Modo de acesso: Internet.  
    Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.5152>  
    Inclui bibliografia.  
    Inclui ilustrações.

    1. Agronomia. I. Torres, José Luiz Rodrigues, 1965-, (Orient.). II. Silva, Adriane de Andrade, 1977-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Agronomia. IV. Título.

---

CDU: 631

    André Carlos Francisco  
    Bibliotecário Documentalista - CRB-6/3408



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
Secretaria da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia  
Rodovia BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP  
38400-902  
Telefone: (34) 2512-6715/6716 - www.ppgagro.iciag.ufu.br - posagro@ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 011/2024, PPGAGRO				
Data:	Vinte e oito de junho de dois mil e vinte e quatro	Hora de início:	09:00	Hora de encerramento:	12:00
Matrícula do Discente:	12212AGR011				
Nome do Discente:	Ravisa de Oliveira Magalhães				
Título do Trabalho:	USO DO PÓ DE BASALTO COMO FONTE DE NUTRIENTES PARA PASTAGEM DE <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu				
Área de concentração:	Produção Vegetal				
Linha de pesquisa:	Uso e Recuperação de Solos e Resíduos na Agricultura				

Reuniu-se na sala 1C 212A - Campus Glória, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Araújo Hulmann Batista - UFU; Beno Wendling - UFU; Angélica Araújo Queiroz - IFTM; José Luiz Rodrigues Torres - IFTM orientador do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr. José Luiz Rodrigues Torres, apresentou a Comissão Examinadora e o(a) candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao(a) discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do(a) discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o(a) senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Essa dissertação possui mérito para ser indicada como destaque do Programa? ( X ) SIM ( ) NÃO ( )

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Jose Luiz Rodrigues Torres, Usuário Externo**, em 01/07/2024, às 18:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Araína Hulmann Batista, Professor(a) do Magistério Superior**, em 02/07/2024, às 08:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Angelica Araujo Queiroz, Usuário Externo**, em 02/07/2024, às 11:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Beno Wendling, Professor(a) do Magistério Superior**, em 05/07/2024, às 13:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5495058** e o código CRC **FF1A0231**.

Dedico este trabalho a Deus, ao meu amado esposo Bruno, e aos melhores avós do mundo, Silvestre e Maria dos Anjos. A vocês com todo meu amor.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que sempre me sustentou e direcionou.

Ao meu esposo, Bruno, por todo companheirismo, ajuda e amor dedicados a mim e à nossa família, especialmente nos momentos em que precisei ser ausente para me dedicar a este trabalho.

Aos meus avós, Silvestre e Maria dos Anjos, que são exemplos de superação de vida, amor, fé e família.

Aos meus pais, Edgar e Maria.

À Layla, Apollo e Paçoca, por serem a minha alegria diária, e por me fazerem sentir amada.

Às minhas irmãs, Ludy, Petra e Eduarda, pelo apoio emocional e incentivo durante o caminho de estudos.

Às minhas amigas, que trabalharam comigo durante os experimentos e me ajudaram a chegar até aqui, Camila, Mara e Viviane.

Aos tios, tias, primos e primas que foram motivos de alegria e bom ânimo ao longo desta caminhada.

Aos meus orientadores e amigos, professores José Luiz Rodrigues Torres e Adriane de Andrade Silva, que me orientaram e direcionaram ao longo desta jornada.

Aos meus amigos e colegas, que contribuíram de alguma forma para que esse trabalho pudesse ser desenvolvido.

Ao corpo docente do programa de pós-graduação em Agronomia, que durante esse período de formação mostraram-se disponíveis para orientar no que fosse necessário.

A todos os professores e professoras que tive a honra de aprender ao longo de todo o percurso acadêmico para o meu desenvolvimento pessoal e científico.

Agradeço a Prefeitura Municipal de Uberlândia, pelo apoio e incentivo às pesquisas com o Remineralizador de Solo: Pó de Basalto. E pela oportunidade de participar da equipe de pesquisa e desenvolvimento do uso agrícola desse produto.

Agradeço à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), à Pró-reitora de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPP-UFU), ao Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – UFU pelo incentivo a pesquisa e ao desenvolvimento sustentável e ambiental dos sistemas agropecuários.

## RESUMO

Apesar de grande produtor de bovinos, o Brasil possui muitas áreas de pastagens em estágio avançado de degradação. O pó de basalto surge como uma alternativa à essas áreas, devido sua abundância na região, e seu baixo valor agregado, com possibilidade de amenizar as carências de correção, e suplementação nutricional das plantas e do solo. Neste estudo objetivou-se avaliar a utilização de diferentes doses de pó de basalto no desenvolvimento e na qualidade nutricional de pastagens formadas por *Urochloa brizantha* cv Marandú. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, em parcelas subdivididas no tempo, onde foram avaliadas nove doses de pó de basalto aplicadas no plantio 1 – Dose zero (sem pó de basalto); 2 – 2,0; 3 – 4,0; 4 – 6,0; 5 – 8,0, 6 – 10,0; 7 -12,0; 8 – 14,0 e; 9 – 16 t ha<sup>-1</sup> de pó de basalto e; 10 – Adubação mineral, com a aplicação de 300 kg ha<sup>-1</sup> de formulado mineral 08-28-16, com 3 repetições. Foram realizadas as avaliações de produtividade (MF e MS) aos 60, 12 e 180 dias após a aplicação dos tratamentos (DAAT), análise foliar dos tecidos vegetais (180 e 365 DAAT), e atributos químicos do solo (270 DAAT). A produção de massa fresca (MF) e massa seca (MS) da braquiária foi significativamente superior na dose de 6 t ha<sup>-1</sup>, em relação a adubação mineral convencional. Aos 180 dias a partir da dose de 8 t ha<sup>-1</sup> de pó de basalto, foram observados os acúmulos nutricionais mais significativos nas plantas para a maioria dos nutrientes avaliados. Não foram observados impactos significativos no pH e CTC do solo, nem nos macronutrientes (P, K, Ca, S, Mg), entretanto, observou-se maiores teores de micronutrientes no solo (B, Cu, Fe, Mn e Zn), que superam ou equiparam-se à adubação mineral convencional, contudo, em doses maiores (14 t ha<sup>-1</sup>) que podem encarecer e tornar inviável sua utilização. Sugere-se mais tempo de avaliação e novos estudos para comprovar a viabilidade, a interação e o residual do pó de basalto no solo.

**Palavras-chave:** fertilizante mineral, pó de rocha, adubação de pastagens renovação, produção de forragem.

## ABSTRACT

Despite being a large producer of cattle, Brazil has many pasture areas in an advanced stage of degradation. Basalt powder appears as an alternative remineralizer, as it is abundant in the Uberlândia region, as an input with low added value, to make up for correction needs, and supplementation with fertilizers. This study aimed to evaluate the use of different doses of basalt powder in the development and nutritional quality of pastures formed by *Urochloa brizantha* cv Marandú. The design used was completely randomized, in plots subdivided over time, where nine doses of basalt dust applied in planting 1 – Zero dose (without basalt dust) were evaluated; 2 – 2.0; 3 – 4.0; 4 – 6.0; 5 – 8.0, 6 – 10.0; 7 -12.0; 8 – 14.0 e; 9 – 16 t ha<sup>-1</sup> of basalt dust and; 10 – Mineral fertilization, with the application of 300 kg ha<sup>-1</sup> of mineral formula 08-28-16, with 3 repetitions. Productivity assessments (MF and MS) were carried out at 60, 12 and 180 days after application of treatments (DAAT), foliar analysis of plant tissues (180 and 365 DAAT), and soil chemical attributes (270 DAAT). The production of fresh mass (FM) and dry mass (DM) of brachiaria was significantly higher at a dose of 6 t ha<sup>-1</sup>, in relation to conventional mineral fertilization. At 180 days after a dose of 8 t ha<sup>-1</sup> of basalt powder, the most significant nutritional accumulations were observed in the plants for most of the nutrients evaluated. No significant impacts were observed on soil pH and CEC, nor on macronutrients (P, K, Ca, S, Mg), however, higher levels of micronutrients were observed in the soil (B, Cu, Fe, Mn and Zn), which they surpass or are equivalent to conventional mineral fertilizers, however, in higher doses (14 t ha<sup>-1</sup>) which can make their use more expensive and unfeasible. More time for evaluation and new studies are suggested to prove the viability, interaction and residual of basalt dust in the soil.

**Keywords:** mineral fertilizer, rock dust, fertilization, pasture renewal, forage production.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura °C ocorrida no período de janeiro a dezembro de 2023, na área experimental da cidade de Uberlândia - MG. Fonte: INMET (2023) .....	11
Figura 2 -	Ajuste das curvas de regressão para Análise de regressão das doses de pó de basalto utilizadas para os valores dos macronutrientes N e K (A), Ca, S e P (B), em solo sob cultivo de braquiária em Uberlândia, MG.....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização físico-química do pó de basalto aplicado no solo, em comparação às exigências do MAPA. ....	12
Tabela 2 - Massa fresca (MF) de <i>Urochloa brizantha</i> cv Marandú, cultivada sob diferentes doses de pó de basalto e épocas de corte, Uberlândia- MG. ....	17
Tabela 3 - Produção de massa seca (MS) de <i>Urochloa brizantha</i> cv Marandú cultivada sob diferentes doses de pó de basalto e épocas de corte, Uberlândia- MG. ....	18
Tabela 4 - Determinação do índice de eficiência agronômica (IEA) das doses de pó de basalto utilizadas na produção de massa fresca (MF) e seca (MS) de <i>Urochloa brizantha</i> cv Marandú, Uberlândia, MG. ....	20
Tabela 5 - Altura de planta (AP) de <i>Urochloa brizantha</i> cv Marandú cultivada sob diferentes doses de pó de basalto e épocas de corte, Uberlândia- MG. ....	21
Tabela 6 - Potencial hidrogeniônico (pH), teor de P, K, Ca, Mg, acidez potencial (H + Al) e Matéria orgânica (MO) no solo aos 270 dias após aplicação das doses de pó de basalto, em área com pastagem de <i>Urochloa brizantha</i> cv Marandú em Uberlândia, MG. ....	23
Tabela 7 - Teor de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) no solo aos 270 dias após aplicação das doses de pó de basalto, em área com pastagem de <i>Urochloa brizantha</i> cv Marandú em Uberlândia, MG. ....	27
Tabela 8 - Análise foliar de <i>Urochloa brizantha</i> cv Marandú, aos 180 e 365 dias após o corte, cultivada sob diferentes doses de pó de basalto, em Uberlândia- MG. ....	29

## SUMÁRIO

<b>I. INTRODUÇÃO</b> .....	2
<b>II. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	4
1. A importância das pastagens no contexto nacional e mundial .....	4
2. Principais características da pastagem de braquiária .....	5
3. Panorama dos fertilizantes no Brasil .....	7
4. O pó de basalto e sua mineralogia .....	8
<b>IV. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	10
1. Caracterização da área experimental .....	11
1.1 Localização .....	11
1.2. Tipo de solo .....	11
1.3. Clima da região .....	12
2. Delineamento experimental .....	12
3. Caracterização da fonte e implantação do experimento .....	13
4. Avaliações.....	15
4.1. Análise do solo.....	15
4.2. Análises de desempenho agrônomico .....	15
4.2.1. Altura da planta.....	15
4.2.2. Massa fresca.....	15
4.2.3. Massa seca .....	16
4.2.4. Índice de eficiência Agrônomico .....	16
5. Análise Foliar.....	16
6. Análise estatística dos dados.....	16
<b>IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	17
4.1. Atributos agrônomicos da pastagem.....	17
4.2. Atributos do solo.....	23
4.3. Análise nutricional da planta .....	29
<b>V – CONCLUSÕES</b> .....	33
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	34

## I INTRODUÇÃO

De acordo com o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), no Brasil, cerca de 45% das áreas rurais estão destinadas a pastagens. Em Minas Gerais, esse número é ainda maior, uma vez que 51% de todas as áreas rurais do estado estão destinadas à pecuária extensiva. Essas áreas de origem nativas ou cultivadas, quando recebem manejo nutricional adequado, com reposição dos nutrientes extraídos pelas plantas regularmente, podem tornar-se perenes, com relatos de pastos com vida útil de 20 anos (Aragão Pereira, 2020).

O pastejo de animais em solos de áreas tropicais altamente intemperizadas, demanda atenção a reposição de nutrientes no sistema, uma vez que, são áreas mais ácidas, de baixa fertilidade natural e clima favorável à rápida decomposição dos resíduos orgânicos e ciclagem de nutrientes.

Por isso, quando mal manejadas nutricionalmente, tendem a um declínio de produção, que pode ser indicado por baixos teores de matéria verde e seca, baixa qualidade de forragem, presença de erosões e baixa capacidade de produção animal, uma vez que as plantas não conseguem se reestabelecer e propiciam a perda de cobertura do solo (Dias Filho, 2017).

Contudo, a utilização de insumos minerais para a fertilização de áreas agrícolas através de fontes prontamente disponíveis de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), tem se tornado cada vez mais onerosa (Anda, 2022; Rajão *et al.*, 2022) e, se considerar a crescente dependência do Brasil pela importação desses produtos (SAE, 2020), a tendência é que a situação se agrave ainda mais, tornando urgente a demanda por novas fontes que possam ser utilizadas como fertilizantes para reduzir os custos e atender as demandas das plantas.

Materiais diversos como lodo de esgoto, resíduos industriais e de animais, compostos orgânicos, restos de alimentos e mais recentemente os pós de rocha têm sido amplamente estudados como alternativas aos fertilizantes minerais (Pádua, 2012; Souza *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2018; Luchese *et al.*, 2021).

Pensando nos pós de rocha como remineralizadores de solo, o pó de basalto é uma rocha interessante a ser estudada, devido sua abundante exploração na região do triângulo mineiro, bem como, sua vasta composição mineral (Campo, 2019), que podem facilitar a utilização desse produto em lavouras da região.

Considerando o potencial de utilização do pó de basalto na agricultura, surge a hipótese de que o mesmo possa ser utilizado como remineralizador de solo como fonte de macro e micronutrientes, melhorando a qualidade do solo e os atributos agronômicos da planta. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi de avaliar diferentes doses de pó de basalto em pastagem de *Urochloa brizantha* cv Marandú e seus efeitos e na qualidade do solo e produtividade da cultura.

## II. REVISÃO DE LITERATURA

### 1 A importância das pastagens no contexto nacional e mundial

A formação de pastagens tem sido a base de atividades pecuárias, servindo de alimentação para produção de carne e de leite em diferentes países do mundo, especialmente nas Américas Central e do Sul. As áreas atribuídas a pecuária, com cultivo de espécies forrageiras diversas para a produção animal, ocupam cerca de dois terços das terras agricultáveis no planeta (Borghi *et al.*, 2018).

No Brasil, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2017) cerca de 45% das áreas de propriedades rurais são destinadas a pastagens. Em Minas Gerais, o uso das terras para pastagens é ainda maior, cerca de 51%. Isso porque Minas é um importante pecuarista no país e está em 2º lugar na produção de bovinos, 5º lugar na produção de galináceos e 4º lugar na produção de suínos.

Historicamente, o Cerrado brasileiro sempre foi mais explorado no setor da pecuária, abrangendo os avanços da atividade. Segundo Borghi *et al.* (2018), as primeiras áreas agricultáveis no Cerrado foram implantadas em meados de 1970, com foco na pecuária com o cultivo de pastagens oriundas da África, como gênero *Andropogon* e *Urochloa* spp., responsáveis pelo desenvolvimento regional e os bons resultados do país na produção animal. Esses resultados perduram até hoje, a exemplo do que ocorreu no ano de 2020, em que o Brasil foi o país com a maior quantidade de bovinos do mundo, respondendo por 14,3% do rebanho mundial (Embrapa, 2021).

Devido ao sistema de produção atual, com alimentação a base de forragem, o Brasil detém uma das maiores áreas dessa cultura no planeta, condição essa que torna o produto nacional mais competitivo no mercado por diminuir os custos de produção e influir positivamente o padrão de qualidade dos produtos (Dias-Filho, 2013).

No ranking dos 100 maiores produtores de leite do Brasil (2022), realizado pela Milk Point, observou-se que grande parte dos produtores que figuram a lista trabalham com animais confinados recebendo alimentação volumosa no cocho. Esses produtores apresentaram um custo médio por litro de R\$ 1,96 considerando sistemas de “Compost Barn” e “Free stall”. Já os grandes produtores que trabalham com piquetes, seja rotacionado ou de descanso, atingiram um custo médio de R\$ 1,85, demonstrando a capacidade de alta produção com baixo custo, no manejo alimentar do animal no pasto.

Cânovas Delfino *et al.* (2022) analisaram propriedades de bovinocultura com produções de leite até 300 L dia<sup>-1</sup>, e notaram que onde a alimentação foi baseada no pastejo rotativo, os índices de produção foram maiores e até mesmo não diferiram de sistemas de semiconfinamento (volumoso no cocho), contudo, as propriedades trabalhadas com pastejo contínuo ou alternados apresentaram os piores resultados do estudo, evidenciando que há potencial produtivo de proteína animal a pasto, quando bem manejado, com tecnologias que favoreçam a qualidade e perenidade da forragem.

Dias Filho (2017) e Martha Júnior. (2007) comentam que um dos principais fatores responsáveis pela degradação de pastagens é a falta de adubação de manutenção nas áreas como meio de diminuir custos, mantendo a produção extensiva. Entretanto, isso traz impactos ambientais negativos, sobretudo ao solo.

## 2 Principais características da pastagem de braquiária

Conhecidamente, o gênero *Urochloa* spp é uma das principais opções de forrageiras no cerrado.

A espécie *Urochloa brizantha* tem sido uma das mais difundidas (Dias-Filho *et al.*, 2013), através de suas quatro principais cultivares: Marandú, Xaraés, BRS Paiaguás e BRS Piatã.

Da Silva Souza *et al.* (2020) destacaram como alternativa para sistemas de pastejo intermitente, em condições de restrições hídricas, as cultivares Marandú e Xaraés, uma vez que, ambas conseguiram apresentar melhores produções de massa de forragem.

A cultivar Marandú é a que mais se destaca, em função de algumas características específicas, como: resistência a solos ácidos, boa produção de forragem com elevado rendimento de matéria seca, boa capacidade de rebrota e perfilhamento, tolerância ao frio e também à presença de elevados teores de alumínio e manganês do solo, e, a principal característica que a difere das outras espécies de braquiária, que é sua resistência ao ataque das cigarrinhas-das-pastagens (Rocha *et al.*, 2023)

Sobre as necessidades nutricionais de gramíneas para pastejo, Martha Junior *et al.* (2007) comentam que plantas forrageiras tropicais, ao contrário do que se imagina, possuem uma elevada demanda de nutrientes, especialmente nitrogênio e potássio, sendo demandado entre 96 a 160 kg ha<sup>-1</sup> de N e 96 a 240 kg ha<sup>-1</sup> de K para a produção de 8 t ha<sup>-1</sup>

<sup>1</sup> de matéria seca de braquiária, a depender do tipo de solo e sua fertilidade, e também, de características intrínsecas a cada cultivar de pasto.

Os autores comentam ainda que os fertilizantes fosfatados são os menos demandados na cultura em termos quantitativos, desempenhando, contudo, papel fundamental na estrutura das plantas. E também é importante considerar que além dos 3 macronutrientes citados (N-P-K), as plantas, incluindo os pastos, não completam seu ciclo vital se houver falta de qualquer um dos nutrientes, considerando macronutrientes e micronutrientes.

No caso da *Urochloa brizantha* cv Marandú, apesar de altamente adaptável às adversidades, a disponibilidade de nutrientes no solo é um fator limitante para que a planta atinja boas características morfológicas de perfilhamento e aparecimento de novas folhas, por exemplo. A baixa disponibilidade de N no solo causa, dentre outros problemas, a diminuição do crescimento da planta, enquanto que a baixa disponibilidade de P impacta negativamente no número de perfilhos por planta (Do Vale Bezerra, 2020).

Apesar de apresentar menor exigência em fósforo (P), o incremento desse elemento ao solo cultivado com pasto pode favorecer sua produção. Segundo Faria *et al.* (2015), a fosfatagem natural realizada em plantio, com gramíneas mais exigentes e responsivas como o capim Mombaça contribui com aumento na produtividade do capim, e se esta for associada a coberturas com nitrogênio e potássio, os resultados são notáveis para características morfogênicas e produtivas.

Colmán Ribelatto *et al.* (2019) comentam que através do aporte nutricional com adubação química, especialmente o N, que é um dos nutrientes mais limitantes para o desenvolvimento das pastagens, tanto a matéria seca, quanto à altura do dossel da cultivar Marandú apresentaram aumentos significativos, denotando novamente, a importância dos nutrientes, mesmo em gramíneas tropicais consideradas rústicas.

Algumas alternativas como sistemas mistos de produção podem auxiliar o manejo nutricional de áreas de pastagens em rotação de culturas, porém, em áreas de pastejo permanentes, a situação é diferente, pois a pastagem se torna a cultura principal do solo, embora os produtores não a enxergam como tal, indisponibilizando recursos de adubação frequentes para manutenção das plantas.

No sentido de otimizar a utilização de insumos, Vilela *et al.* (2011) relatam que áreas de integração lavoura-pecuária oferecem uma melhor estabilidade da produção de forragens, em virtude do investimento em fertilidade do solo realizado para as lavouras,

o que contribuiu para que as pastagens sejam mais produtivas nos períodos chuvosos, e tenham mais qualidade e volume nos períodos secos do ano, aproveitando o residual dos fertilizantes e a palhada das culturas como aporte mineral.

Independente do sistema adotado fica claro a necessidade do cultivo de pasto sob a perspectiva de uma cultura comercial, onde o aporte nutricional das plantas necessita ocorrer para que se garanta bons índices de produtividade da planta e do animal, além da conservação do solo. Contudo, é importante ressaltar que fontes solúveis de nutrientes são, além de onerosas, finitas, trazendo assim a cada dia, uma urgência por novas alternativas para manter a produtividade.

### 3 Panorama dos fertilizantes no Brasil

De acordo com a SAE (2020), o Brasil consome aproximadamente 8% dos fertilizantes minerais produzidos no mundo, sendo o 4º país que mais consome. Nossa produção agrícola é muito importante para a economia nacional, sendo que oito dos dez produtos mais exportados no ano de 2019 foram do agronegócio, e isso explica a alta demanda por fertilizantes. Os autores comentam ainda que mais de 80% dos fertilizantes consumidos no Brasil são importados e dos nutrientes que compõem o NPK em torno de 76% de nitrogênio (N), 55% de fósforo (P) e 94% de potássio (K) utilizados na produção agrícola vem de outros países.

A importação de fertilizantes em 2022 cresceu 13,1% no mês de janeiro em comparação ao mesmo período do ano anterior, em contrapartida, nossa produção interna também aumentou, cerca de 14,3%. Isso, porém, não supre as demandas do setor nem impacta no preço de mercado desses insumos, uma vez que, a importação nesse mês foi de aproximadamente 3 milhões de toneladas de fertilizantes, contra uma produção interna na ordem de 593.969 toneladas (Anda, 2022).

O elevado custo de utilização dos fertilizantes minerais é hoje uma das dificuldades encontradas no setor, e quando se considera estabelecimentos pequenos, familiar ou subdesenvolvidos, o despreparo tecnológico e o baixo poder aquisitivo dos agricultores também se tornam fatores limitantes ou impeditivos ao seu uso (Lapido-Loureiro *et al.*, 2008).

O país é o quarto maior consumidor global de fertilizantes minerais e é responsável somente por 2% da produção (IFA, 2021), sendo as principais barreiras para

produção interna de fertilizantes: o alto custo e indisponibilidade de reservas minerais consideráveis, tornando um desafio o aumento da capacidade produtiva tanto pelos setores públicos quanto pelos privados (Marin *et al.*, 2016).

Países como a China, Rússia e Bielorrússia controlam o mercado mundial do insumo e seus problemas políticos, logísticos e energéticos, além da pandemia do novo coronavírus, modificaram, nos últimos anos, a economia do planeta colocando os produtores em alerta (Faep; Senar, 2021). Nesse cenário, os produtores rurais precisam procurar alternativas para garantir solos férteis de maneira a não impactar o custo de produção e, ao mesmo tempo, aumentar a produtividade e a produção. Para mitigar essa dependência, novas pesquisas e novas tecnologias sobre fontes inovadoras de fertilizantes estão se destacando no mercado agrícola.

Rajão *et al.* (2022), Lapido-loureiro *et al.* (2008) e Alovisei *et al.* (2021) comentam sobre o uso de pó de rocha (rochagem) como complemento a adubação de culturas, pois trata-se de um produto natural com solubilidade mais lenta, e pluralidade de nutrientes.

#### 4 O pó de basalto e sua mineralogia

O pó de basalto origina-se da mineração das rochas basálticas, geralmente com foco em aproveitamento na construção civil, sob a forma de britas e pedras ornamentais. Lourenço Junior (2011) diz que esse processo mecânico de moagem da rocha acelera o processo de disponibilização dos nutrientes, o que em condições naturais necessitaria muito tempo para a degradação e liberação dos nutrientes.

A rocha basáltica é composta especialmente pelos minerais plagioclásios e piroxênios (Hartmann, 2014), e é neles que estão contidos os nutrientes que poderão ser disponibilizados às plantas. Os feldspatos da série dos plagioclásios presentes na rocha basáltica, são ricos em Ca e ou Na, e pobres em K, característica que se deve a estrutura essencial do mineral constituída por cadeias tridimensionais de tetraedros de  $\text{SiO}_4$  e  $\text{AlO}_4$  ligados entre si pelo O dos tetraedros, que gera excesso de cargas negativas e permite a entrada de cátions (Ca, Na ou K) monovalentes para cada tetraedro. Esses cátions podem ocupar posições de ligação entre os tetraedros, tornando-os mais difíceis de serem disponibilizados, como ocorre na maioria das vezes com o K (Melo *et al.*, 2019).

Melo *et al.* (2019) comentam que, em menor extensão, outros cátions também podem assumir posições nos tetraedros, como é o caso do Fe (ferro), Pb (chumbo), Rb

(rubídio) e Cs (césio), que apresentam inclusive, um certo grau de substituição isomórfica entre eles. Neste caso, eles são considerados na agricultura como metais pesados, e conhecer sua participação na composição da rocha é crucial para determinar se a mesma deve ou não ser utilizada em áreas agrícolas, evitando-se contaminar o ambiente.

No caso do piroxênio, esse mineral também é conhecido como mineral ferromagnésiano, devido predominância desses elementos na composição da rocha, entretanto, também pode apresentar Ca e resíduos de K em sua estrutura. Além disso, os piroxênios são menos resistentes ao intemperismo em comparação aos plagioclásios, e contribuem com a reserva de micronutrientes dos solos formados com basalto, através da substituição do Fe por Al (especialmente na goethita) e Ni (níquel), Ti (titânio), Mn (manganês), Co (cobalto), Cr (cromo), Cu (cobre) e Zn (zinco) na estrutura dos novos óxidos formados via intemperismo (MELO *et al*, 2019). São minerais importantes especialmente nos Latossolos oxídicos.

Além disso, alguns autores como Souza *et al.*, (2017), Melo *et al.*, (2012) e Luchese *et al.*, (2021) comentam que a granulometria do produto aplicado pode influenciar nas propriedades físicas do solo, aumentando a CTC através da grande superfície específica da fração coloidal que se forma a partir da degradação da rocha, melhorando a estruturação do solo devido ao cálcio presente na composição, e outros benefícios oriundo dos demais minerais presentes, como elevação de pH e elevação dos teores de nutrientes no solo e nas plantas.

Em um estudo analisando o efeito do pó de rocha basáltica em um Latossolo Amarelo ácido com baixa CTC, Melo *et al.* (2012) concluíram que, no ambiente controlado, em casa de vegetação com o solo incubado e umidade constante, o insumo foi capaz de reduzir a acidez ativa e aumentar dos teores de cálcio, magnésio, zinco, ferro e cobre. Contudo, os autores alertam para o fato de que o produto pode ser considerado fonte alternativa de fertilizante e corretivo, desde que haja uma prévia análise da sua composição, granulometria e condições do solo, sendo que esses dois últimos fatores afetam diretamente a degradação do pó de rocha, agilizando ou atrasando a liberação de nutrientes.

Ao comparar o efeito do pó de basalto com o calcário nas culturas de milho e soja, Luchese *et al.* (2021) notaram que o uso do pó de basalto fomentou um maior crescimento de parte aérea das duas culturas em comparação com o calcário. Além disso, aumentou o pH e as concentrações de Ca e P no solo, ainda que o aumento do P não tenha gerado

aumento na absorção das plantas. Outro ponto positivo foi o acréscimo do transporte de Mg para as plantas, porém, sem aumento significativo deste elemento na solução do solo.

Souza *et al.* (2017) em seu trabalho com pó de rocha a base de biotita gnaiss e anfíbolito na cultura do milho entre outros resultados também notaram um favorecimento na elevação do pH e da CTC do solo, característica essa que melhora a eficiência de absorção das fontes solúveis de fertilizantes já comumente usadas, otimizando o uso deste recurso, que é responsável por boa parte do custo de produção agrícola atual.

Contudo, por se tratar de um insumo utilizado em sua forma desintegrada, porém, com características químicas mantidas intactas, torna-se muito necessário atentar-se à sua composição para evitar possíveis contaminantes. Martinazzo *et al.* (2020) comentam que devido a considerável variabilidade nos teores de metais pesados nas rochas, é complexo, porém, necessário, estabelecer limites máximos desses metais nos produtos que serão destinados ao uso como insumo agrícola.

A lei 12.890, foi lançada para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e caracteriza-o da seguinte maneira:

[...] o material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo (Brasil, 2013, art. 1).

Além da lei que regulamenta os pós de rochas como insumos agrícolas, questões como suas definições, classificação, especificações, garantias, tolerâncias, entre outras informações são previstas pela IN nº 5 de 2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2016), dando maior respaldo aos agricultores para que possam ter acesso a produtos com padronização.

## IV MATERIAL E MÉTODOS

### 1 Caracterização da área experimental

#### 1.1 Localização

O estudo foi conduzido na fazenda experimental Água Limpa, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), que fica localizada no município de Uberlândia-MG, entre as coordenadas geográficas de 19°05'16'' de latitude sul, 48°21'11'' de longitude oeste, a 804 metros de altitude, no período entre Janeiro de 2022 e Janeiro de 2023.

A área experimental se tratava de uma área de pastagem de *Urochloa decumbens*, utilizada como planta de cobertura do solo do setor de fruticultura, sem manejo nutricional, o que a caracterizou como uma área de pastagem degradada, com a presença de algumas espécies de vegetação espontânea como grama cuiabana e plantas daninhas. A implantação se deu há mais de 10 anos, entre dois campos de fruticultura.

Posteriormente aos tratos culturais, foram aplicados os tratamentos e realizada a semeadura de *Urochloa brizantha* cv Marandú.

#### 1.2 Tipo de solo

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (LVd), de textura arenosa, que apresentou a análise granulométrica de 750, 50 e 200 g kg<sup>-1</sup> de areia, silte e argila, respectivamente, na camada de 0 a 20 cm, tendo os seguintes atributos químicos: pH (em H<sub>2</sub>O) 5,9; 42,9 mg dm<sup>-3</sup> de P (Mehlich), 63,0 mg dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup>, 1,90 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>2+</sup>, 0,75 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg<sup>2+</sup>, 2,49 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H + Al, 2,81 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de CTC efetiva, teores de micronutrientes: 0,18 mg dm<sup>-3</sup> de B, 0,97 mg dm<sup>-3</sup> de Cu, 9,0 mg dm<sup>-3</sup> de Fe, 1,89 mg dm<sup>-3</sup> de Mn e 3,79 mg dm<sup>-3</sup> de Zn.

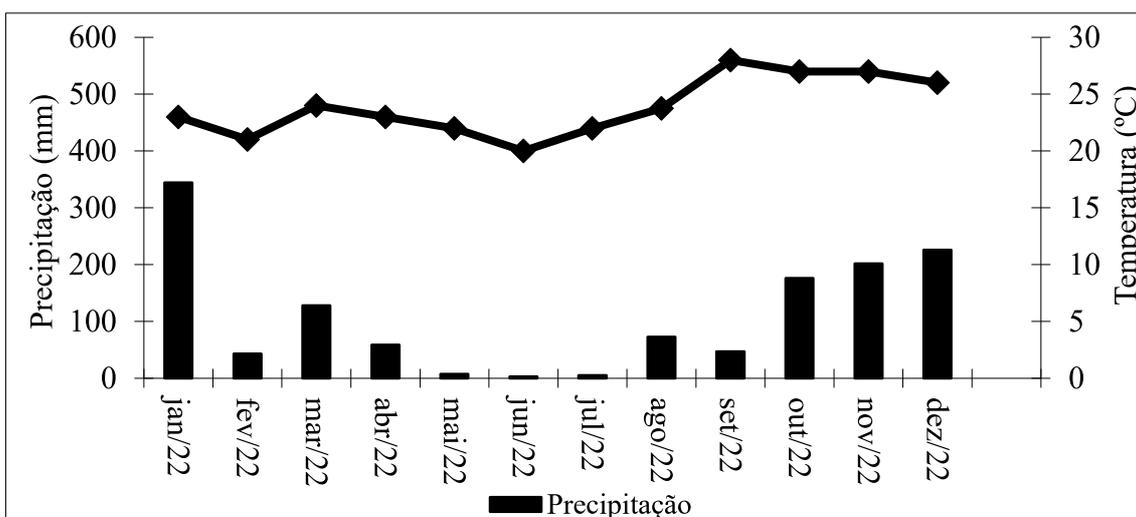
Representando um solo característico da região de Uberlândia, com cobertura de pastagem degradada, que de acordo com a Ribeiro *et al* (1999), a classificação agrônômica do pH é boa (entre 5,5 – 6,0), P muito bom (> 30 mg dm<sup>-3</sup>), K classificado como médio (41 – 70 mg dm<sup>-3</sup>), assim como os teores de Ca (1,21 -2,40 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), Mg (0,4 -0,90 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Já os teores de H + Al (Acidez potencial - entre 1,01 e 2,50 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) é considerada baixa, e a CTC efetiva (t), considerada média (2,31 a 4,60 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)

<sup>3</sup>). Em relação aos micronutrientes, são considerados muito baixo o Manganês (Mn) (< 2,0), baixo o Boro (B) (0,16 – 0,35) e o Fe (9-18), o cobre Cu é considerado médio (0,8 - 1,2), e alto o teor de Zn (> 2,2).

### 1.3 Clima da região

O clima da região é classificado como Aw, tropical quente, segundo a classificação atualizada de Koppen, com verões chuvosos e inverno seco e frio. A temperatura média anual gira em torno de 22,3°C e a pluviosidade média anual foi de 1342 mm (Inmet, 2022). No período em que foi conduzido o estudo a precipitação acumulada foi de 1.316,2 mm, e a temperatura média de 23,9 °C, com distribuição mensal apresentada na figura 1.

Figura 1 - Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura (°C) ocorrida no período de janeiro de 2022 a janeiro de 2023, na área experimental da cidade de Uberlândia - MG.



Fonte: INMET (2022).

## 2 Delineamento experimental

Definiu-se a área experimental utilizando-se das técnicas para reforma da pastagem, com preparo com aração profunda e duas gradagens (aradora e niveladora) para controle das plantas invasoras. A seguir as parcelas foram demarcadas com 4m de comprimento e 5m de largura, perfazendo um total de 20,0 m<sup>2</sup> totais, com área útil de 12m<sup>2</sup>.

O estudo foi conduzido no campo em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em parcelas subdivididas no tempo, onde foram avaliados nove doses de pó de basalto, como tratamento principal, que configuram os tratamentos: T1 = 0,0; T2 = 2,0; T3 = 4,0; T4 = 6,0; T5 = 8,0; T6 = 10,0; T7 = 12,0; T8 = 14,0; T9 = 16 t ha<sup>-1</sup> de pó de basalto e T10 = adubação mineral com a dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> do formulado NPK 8-28-16; no tratamento secundário (tratamento adicional). As parcelas foram subdivididas em quatro épocas de corte, simulando o pastejo animal: aos 60, 120, 180 e 360 dias após a aplicação dos tratamentos (DAAT), ocorrendo respectivamente nos meses de fevereiro, abril e junho de 2022 e início de janeiro de 2023, todos com três repetições.

### 3 Caracterização da fonte e implantação do experimento

O pó de basalto utilizado no estudo apresentou granulometria dentro dos seguintes parâmetros:  $< 2\text{mm} \leq 0,3 \text{ mm}$ , classificando-se como pó, de acordo com a IN 05 de 2016 do MAPA. Além disso, apresentou as seguintes características químicas no momento da sua aplicação no solo, que está de acordo com as exigências estabelecidas para a comercialização do produto (Brasil, 2016) (Tabela 1, de acordo com Campo, 2019).

**Tabela 1.** Caracterização físico-química do pó de basalto aplicado no solo, em comparação às exigências do MAPA.

Parâmetro	Resultado	Exigências	Unidade
pH	9,3	Conforme declarado pelo fabricante	-
K <sub>2</sub> O	1,1	igual ou superior a 1%	%
CaO	9,0	Não especificado	%
MgO	5,7	Não especificado	%
CaO + MgO+K <sub>2</sub> O	15,8	Soma de Ca+Mg+K igual ou superior a 9%	%
P	< 1%	Não exige declaração para teores abaixo de 1%	
As	3,0	Até 15 ppm	ppm
Cd	2,0	Até 10 ppm	ppm
Hg	<0,1	Até 0,1 ppm	ppm
Pb	12,0	Até 200 ppm	ppm

Análise realizada no Laboratório da CAMPO, que tem como responsável Técnico o Doutor Fernando Vilela, CRQ - MG 02102119.

De acordo com a Instrução Normativa (IN) nº 5, de 10/12/2016 (Brasil, 2016), o remineralizador atende as exigências para a classificação do Pó de basalto, quanto ao uso na agricultura. O produto está enquadrado na Classe "E", pois utiliza exclusivamente matéria-prima de origem mineral ou sintética, que também atende ao descrito no Art. 4º, quanto as garantias em relação à soma de bases (CaO, MgO, K<sub>2</sub>O), que deve ser igual ou superior a 9% em peso peso<sup>-1</sup>; em relação ao teor K<sub>2</sub>O, deve ser igual ou superior a 1% em peso peso<sup>-1</sup> e o pH foi de 9,3. Em relação aos metais pesados, na IN nº5, o teor de arsênio (As) permitido é de 15 mg kg<sup>-1</sup>, de Cádmio (Cd) e chumbo (Pb) o teor foi 80 e 94% menor que o exigido na legislação, respectivamente, enquanto o teor de mercúrio (Hg) foi menor que 0,1 mg kg<sup>-1</sup>.

Após a demarcação das parcelas foram aplicados os tratamentos em área total, a seco, e posteriormente foram incorporados com auxílio de uma enxada, a uma profundidade de até 0,15 m no solo. Os tratamentos contendo pó de basalto não receberam nenhum tipo de adubação ou corretivos de solo no plantio.

Dois dias após a aplicação dos tratamentos foram semeadas as sementes de braquiária (*Urochloa brizantha* cv. Marandú) com valor cultural de 50%, a lanço na quantidade de 12 kg ha<sup>-1</sup> de semente, que correspondia 6 kg ha<sup>-1</sup> de sementes puras e viáveis.

Após cada avaliação dos atributos agronômicos da braquiária, toda a parcela era uniformizada por meio de roçada a uma altura de 0,15 a 0,20 m do solo, com roçadeira costal, simulando o pastejo realizado pelos animais em sistema de pastejo intermitente e a MF produzida eram rasteladas para fora das parcelas, e posteriormente, todas as parcelas recebiam uma adubação de reposição equivalente a 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, com a fonte solúvel de sulfato de amônio (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (concentração da fonte de N 20%, e S 22 %).

## 4 Avaliações

### 4.1 Análise do solo

Foram coletadas amostras compostas de solo em cada parcela, na profundidade de 0,0 a 0,20 m, aos 270 dias após a aplicação do pó de basalto no solo, que foram encaminhadas para um laboratório de análise de fertilidade do solo. Nestas amostras foi determinado o pH em água, H + Al, os teores de macronutrientes (P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Mn, Zn, B), de acordo com a metodologia desenvolvida por Claessen (1997).

### 4.2 Análises de desempenho agronômico

#### 4.2.1 Altura da planta

As avaliações para a altura da planta (AP) foram realizadas no dossel da pastagem aproximadamente aos 60, 120, 180 e 360 dias após a aplicação dos tratamentos (DAAT), utilizando uma régua graduada de 1,20 m para medir da base (rente ao solo) ao ápice das folhas da braquiária, tendo a média de 3 pontos escolhidos aleatoriamente na parcela, a cada avaliação.

#### 4.2.2 Massa fresca

A avaliação da massa fresca (MF) foi realizada aos 60, 120, 180 e 360 DAAT, para tal foram realizadas amostragens utilizando o método do quadrado de área conhecida

de 0,50 x 0,50 m (0,25m<sup>2</sup>), que foi lançado aleatoriamente dentro de cada parcela em seguida todo material vegetal existente na área delimitada com altura acima de 0,15 m do solo foi coletada, e pesados ainda no campo, seguindo a metodologia de Salman (2006).

#### 4.2.3 Massa seca

Após a determinação da MF, uma parte das amostras com massa conhecida foi encaminhada ao laboratório para determinação da massa seca (MS). O material vegetal foi colocado em sacos de papel perfurados e secos em estufa de circulação de ar a 65 °C por 72 horas ou até atingir massa constante, quando foram pesados em balança analítica de precisão, com os resultados convertidos em kg ha<sup>-1</sup>.

#### 4.2.4 Índice de eficiência Agronômica

Para avaliar a eficiência agronômica da dose de pó de basalto, adotou-se o índice de eficiência agronômica (IEA) o qual expressa à relação percentual do aumento de produção de massa fresca ou seca obtida com a fonte em estudo (pó de basalto) e o valor obtido com a fonte mineral utilizada como referência, que foi obtido através da equação 1.

$$IEA (\%) = \frac{y_2 - y_1}{y_3 - y_1} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Em que:  $Y_1$  = Produção de massa fresca (MF) ou seca (MS) obtida pela parcela onde não houve aplicação de pó de basalto;  $Y_2$  = Produção de MF ou MS obtida pela fonte que está sendo testada com a dose avaliada;  $Y_3$  = Produção obtida com a fonte de fertilizante mineral, na dose recomendada.

## 5 Análise Foliar

Para avaliação do estado nutricional das plantas foram coletadas amostras da parte aérea da pastagem aos 180 e 365 dias após a aplicação do pó de basalto, que foram encaminhadas para o laboratório para análise foliar. Após seco, o material foi moído para determinação das concentrações de macro e micronutrientes, utilizando metodologia de Claessen (1997).

## 6 Análise estatística dos dados

As pressuposições de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias foram checadas utilizando os testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Em seguida foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F, e quando significativa às médias foram comparadas pelo teste de Skott-Knot ( $p < 0,05$ ), com auxílio do programa R-Stúdio. Foi realizada análise de regressão para as doses de pó de basalto, quando estas apresentaram diferença estatística entre si utilizando o programa Sigmaplot versão 2012.

#### **IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

##### **4.1 Atributos agronômicos da pastagem**

Comparando os valores obtidos para MF, pode-se verificar que onde foram aplicadas as doses de pó de basalto e a adubação mineral, aos 60 dias após o plantio (DAAT) nas doses zero (23,54 t ha<sup>-1</sup>), 4,0 (21,98 t ha<sup>-1</sup>) e 16,0 t ha<sup>-1</sup> (20,64 t ha<sup>-1</sup>), a produção de massa fresca (MF) foi inferior à adubação mineral (26,86 t ha<sup>-1</sup>), enquanto que nas demais doses a produção foi estatisticamente igual ( $p < 0,05$ ). Já aos 120 e 180 DAT não houve diferenças entre os valores de produção da pastagem estudada (Tabela 2).

Aos 360 DAAT, a produção de MF foi superior nas doses de 2,0 (40,20 t ha<sup>-1</sup>); 4,0 (33,28 t ha<sup>-1</sup>); 6,0 (68,12 t ha<sup>-1</sup>); 8,0 (31,72 t ha<sup>-1</sup>), 12,0 (33,32 t ha<sup>-1</sup>) e 16,0 t ha<sup>-1</sup> (60,32 t ha<sup>-1</sup>), enquanto que nas doses zero (29,96 t ha<sup>-1</sup>), 10,0 (27,16 t ha<sup>-1</sup>) e 14,0 t ha<sup>-1</sup> (28,08 t ha<sup>-1</sup>) foram estatisticamente iguais ao que foi observado na adubação mineral (Tabela 2).

**Tabela 2** Massa fresca (MF) de *Urochloa brizantha* cv Marandú, cultivada sob diferentes doses de pó de basalto e épocas de corte, Uberlândia- MG.

Tratamentos	Massa Fresca (MF)			
	Dias após o plantio			
	60	120	180	360
Doses t ha <sup>-1</sup>	.....t ha <sup>-1</sup> .....			
0	23,54 bB+	13,22 aC	16,60 aC	29,96 eA
2	26,88 aB	6,57 aD	11,92 aC	40,20 cA+
4	21,98 bB+	8,44 aD	14,24 aC	33,28 dA+
6	30,60 aB	11,22 aC	15,04 aC	68,12 aA+
8	28,00 aA	9,18 aB	12,92 aB	31,72 dA+
10	31,80 aA	8,30 aC	16,52 aB	27,16 eA
12	30,44 aA	9,20 aC	20,40 aB	33,32 dA+
14	28,80 aA	14,40 aB	15,04 aB	28,08 eA
16	20,64 bB+	9,94 aD	15,36 aC	60,32 bA+
Mineral	26,86 aA	10,54 aB	15,24 aB	28,24 eA
Teste F Dose	37,18**			
Teste F Época	492,58**			
Interação	19,00 **			
CV% Época	9,15			
CV% Dose	13,61			

Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna ou maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (\*\* = p<0,05). CV = coeficiente de variação; Mineral = adubação mineral com NPK; + = dose de pó de basalto difere da adubação mineral (NPK) pelo teste de Dunnett (p<0,05).

De forma geral, os valores de produção de MF foram significativamente superiores aos 60 e 360 DAAT. Vale destacar que as amostras de MF foram colhidas nos meses de fevereiro/2022 e janeiro/2023, quando a precipitação acumulada foi de 344 e 43 mm, respectivamente, enquanto que os piores valores de produção ocorreram aos 120 DAAT, nas doses de 2,0 (6,57 t ha<sup>-1</sup>), 4,0 (8,44 t ha<sup>-1</sup>) e 16,0 (9,44 t ha<sup>-1</sup>), corte este que ocorreu no mês de abril, quando ocorreu somente 59 mm de precipitação (Figura 1).

Para a produção de massa seca (MS), os valores obtidos aos 60 DAAT onde foram aplicadas as doses de pó de basalto foram estatisticamente iguais entre si e inferiores nas doses zero (4,92 t ha<sup>-1</sup>), 4,0 (4,88 t ha<sup>-1</sup>), 10 (4,30 t ha<sup>-1</sup>) e 16,0 t ha<sup>-1</sup> (4,30 t ha<sup>-1</sup>), quando comparados ao valor obtido na adubação mineral (5,49 t ha<sup>-1</sup>), enquanto que aos 120 e 180 DAT não houve diferenças entre os valores de produção (Tabela 3).

Aos 360 DAAT, a produção de MS foi significativamente superior (p<0,05) nas doses zero (6,26 t ha<sup>-1</sup>), 2,0 (9,11 t ha<sup>-1</sup>); 4,0 (7,14 t ha<sup>-1</sup>); 6,0 (13,33 t ha<sup>-1</sup>); 8,0 (6,50 t ha<sup>-1</sup>), 12,0 (6,43 t ha<sup>-1</sup>) e 16,0 t ha<sup>-1</sup> (11,73 t ha<sup>-1</sup>), padrão este semelhante ao que foi observado na produção de MF, enquanto que nas doses 10,0 (5,91 t ha<sup>-1</sup>) e 14,0 t ha<sup>-1</sup> (5,19 t ha<sup>-1</sup>) foram estatisticamente iguais (p<0,05) ao que foi observado na adubação mineral (5,22 t ha<sup>-1</sup>).

**Tabela 3.** Produção de massa seca (MS) de *Urochloa brizantha* cv Marandú cultivada sob diferentes doses de pó de basalto e épocas de corte, Uberlândia- MG.

Tratamentos	Massa seca - MS			
	Dias após o plantio			
	60	120	180	360
Doses (DS)	.....t ha <sup>-1</sup> .....			
0	4,92 bB+	2,76 aC	3,53 aC	6,26 dA+
2	6,04 aB	1,47 aD	2,85 aC	9,11 cA+
4	4,88 bB+	1,87 aD	3,35 aC	7,14 dA+
6	5,79 aB	2,30 aC	3,20 aC	13,33 aA+
8	4,92 aA	1,89 aB	2,70 aB	6,50 dA+
10	4,30 bA+	1,81 aD	3,82 aC	5,91 eB
12	6,34 aA	1,91 aC	4,26 aB	6,43 dA+
14	5,92 aA	2,96 aB	3,29 aB	5,19 eA
16	4,30 bB+	2,07 aB	3,41 aC	11,73 bA+
Mineral	5,49 aA	2,15 aB	3,42 aC	5,22 eA
Teste F Dose	31,31**			
Teste F Época	516,06**			
Interação	20,20**			
CV% Época	8,74			
CV% Dose	12,59			

---

Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna ou maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (\*\* =  $p < 0,05$ ). CV = coeficiente de variação; Mineral = adubação mineral com NPK; + = dose de pó de basalto difere da adubação mineral (NPK) pelo teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ).

De acordo com a Embrapa (1984) vários estudos indicam uma produção de MS para a *Urochloa brizantha* cv Marandú na ordem de 4 a 8 t ha<sup>-1</sup> por ano em latossolos, sem considerar incrementos de adubação. Considerando esse valor como parâmetro, todas os tratamentos atenderam a expectativa da cultura aos 360 dias após o plantio, entretanto, os tratamentos 2, 6 e 16 t ha<sup>-1</sup> superaram a média de produção da cultura.

Da Silva e Lambert (2019), testando diferentes fontes de fertilizantes no plantio de braquiária cv. Marandú, incluindo uma fonte formada exclusivamente por pó de rocha e comparada a adubação química, afirmaram que a neutralização do Al<sup>+3</sup> contribui diretamente para o desempenho da pastagem, saindo a frente dos demais tratamentos no que diz respeito às características de MF, MS e altura de plantas (AP). Os autores também concordam que resultados positivos do pó de rocha poderiam ter sido encontrados com maior tempo de avaliação, pois é um produto que necessita de maior tempo de reação no solo.

Pode-se destacar ainda que na utilização da dose de 6,0 t ha<sup>-1</sup> de pó de basalto ocorreu a maior produção de MF e MS aos 60, 120, 180 e 360 DAAT (Tabela 2 e 3), corroborando com resultados obtidos por Nascimento (2023) em seu trabalho testando o mesmo pó de basalto em couve manteiga (*Brassica oleracea* var. *viridis*), onde também a dose de 6 t ha<sup>-1</sup> de pó de basalto propiciou os maiores ganhos na produtividade da cultura, impactando o tamanho e o número de folhas de couve por planta.

Através do índice de eficiência agrônômica (IEA) foi possível identificar a superioridade das doses de 6,0 t ha<sup>-1</sup> e de 16,0 t ha<sup>-1</sup> de pó de basalto, que superaram todos os outros tratamentos nos parâmetros MF e MS (Tabela 4).

Foi possível verificar ainda com o IEA, que todas as doses de pó de rocha estudadas, com exceção da MF na dose de 4 t ha<sup>-1</sup>, foram superiores a aplicação de adubação mineral, como pode ser verificado na tabela 4.

**Tabela 4.** Determinação do índice de eficiência agrônômica (IEA) das doses de pó de basalto utilizadas na produção de massa fresca (MF) e seca (MS) de *Urochloa brizantha* cv Marandú, Uberlândia, MG.

Doses	IEA	
	MF	MS
t ha <sup>-1</sup>	.....%.....	
0	0	0
2	106	119
4	96	106
6	155	154
8	101	104
10	104	113
12	115	116
14	107	107
16	131	132
Mineral	100	100

Fonte: a autora (2024).

Avaliando o efeito condicionador e nutricional de um remineralizador de solos obtido de resíduos de mineração, Souza (2022) notou incrementos de MS de 42,44% em solo arenoso e 38,47% em solo argiloso para doses de 45,33 t ha<sup>-1</sup> e 48,42 t ha<sup>-1</sup> de pó de basalto, respectivamente testando doses do pó de rocha incubadas por 120 no desenvolvimento de milho, resultados estes semelhantes aos obtidos neste estudo.

Avaliando pó de basalto hidrotermalizado em áreas de pastagens nativas com *Andropogon* e *Paspalum notatum*, Korchagin *et al.* (2016) notaram incrementos sutis com aumento de 26% da MS na dose final de 16 t ha<sup>-1</sup>, após 674 dias da aplicação, passando de 5.264 kg ha<sup>-1</sup> para 6.654 kg ha<sup>-1</sup> de MS. As diferenças em incrementos de MS observadas pelos autores podem estar relacionadas a diferença na formação do material, forma de aplicação do mesmo, e demais fatores como solo e clima diferentes.

Analisando somente as doses de pó de basalto observou-se que ocorreu interação entre adubação e épocas de corte, contudo, ao aplicar a análise de regressão para as doses de pó de basalto não foi possível obter um ajuste da curva de regressão, pois não houve

diferenças significativas entre os valores médios de produção, que apresentaram coeficientes de correlação ( $R^2$ ) menores que 20% para MF e MS.

Para o parâmetro altura de plantas (AP) observou-se que houve um crescimento uniforme do tamanho das plantas não havendo diferenças significativas entre as doses e épocas de corte e nem interação entre os mesmos (Tabela 5). Contudo, pode-se notar uma tendência de decréscimo de crescimento à medida que a precipitação diminui nos meses de fevereiro (60 DAAT), abril (60 DAAT) e junho (60 DAAT), voltando a aumentar no mês de janeiro de 2023 (360 DAAT) conforme os dados meteorológicos da época de condução do trabalho (Figura 1).

**Tabela 5.** Altura de planta (AP) de *Urochloa brizantha* cv Marandú cultivada sob diferentes doses de pó de basalto e épocas de corte, Uberlândia- MG.

Tratamento	Altura de Planta - AP			
	Dias após o plantio			
	60	120	180	360
Dose t ha <sup>-1</sup>	.....cm.....			
0	78,33	60,00	36,00	58,11
2	85,00	56,67	33,67	58,44
4	81,67	58,33	36,89	58,96
6	81,67	60,00	36,33	59,33
8	85,00	60,00	39,11	61,37
10	73,33	56,67	32,22	54,07
12	85,00	61,67	39,33	62,00
14	81,67	60,00	41,67	61,11
16	75,00	56,67	42,67	58,11
Mineral	85,00	63,33	37,89	62,07
Teste F Dose	0,70 <sup>ns</sup>			
Teste F Época	524,70 <sup>ns</sup>			
Interação	0,57 <sup>ns</sup>			
CV% Época	14,49			
CV% Dose	12,76			

---

Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna ou maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (\*\* =  $p < 0,05$ ). CV = coeficiente de variação; Mineral = adubação mineral com NPK; + = dose de pó de basalto difere da adubação mineral (NPK) pelo teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ).

Em seu estudo, Neto *et al.* (2016) observaram que o uso de pó de basalto em doses de até  $4 \text{ t ha}^{-1}$  apresentou resultados inferiores tanto para MS quanto para a altura de pastagens de aveia e azevém, em comparação ao manejo convencional, composto por adubação química e calagem. Os autores atribuíram os resultados obtidos à neutralização do  $\text{Al}^{+3}$  através da calagem, por se tratar de área com grande concentração do elemento, além disso, afirmaram que o pó de basalto poderia ter apresentado melhores resultados se fosse avaliado por mais tempo, haja visto que as avaliações da área duraram dez meses.

Em seu estudo, avaliando diferentes estratégias de uso de agrominerais na recuperação de áreas degradadas e na produção da pastagem, Jorge (2015) notou efeito superior ( $p < 0,05$ ) da dose de  $7,0 \text{ t ha}^{-1}$  de biotita-xisto em comparação à adubação mineral convencional com calcário, a partir dos 100 dias de avaliação para o parâmetro altura de plantas. Antes disso, o pó de rocha mostrou-se inferior para este parâmetro em gramíneas do gênero *Andropogon*, que receberam o pó de rocha e o fertilizante mineral no fornecimento de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de K.

## 2 4.2. Atributos do solo

Para o pH e o teor de Mg no solo, não houve diferença para as doses de pó de rocha testadas (Tabela 6).

Em relação ao teor de P, as doses de 2 e  $12 \text{ t ha}^{-1}$  apresentaram teores mais elevados deste nutriente, tanto para extração Melich1, quanto para a extração resina e as demais doses não apresentaram incremento do nutriente ao solo, em relação à adubação mineral, passando de  $42,9 \text{ mg dm}^{-3}$  antes da implantação do experimento para 90,1 e  $77,3 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente. Já para K, S, Ca e Mg, algumas das doses de pó de basalto se igualaram aos resultados obtidos com a adubação mineral, sem, contudo, apresentar acréscimos relevantes destes nutrientes no solo (Tabela 6).

**Tabela 6.** Potencial hidrogeniônico (pH), teor de P, K, Ca, Mg, acidez potencial (H + Al) e Matéria orgânica (MO) no solo aos 270 dias após aplicação das doses de pó de basalto, em área com pastagem de *Urochloa brizantha* cv Marandú em Uberlândia, MG.

Dose	pH	P (Melich1)	P (resina)	K	S	Ca	Mg	H + Al
	CaCl <sub>2</sub>	.....cmolc dm <sup>-3</sup> .....						
0	5,5	48,6 c	23,30 b	25,8 a	9,70 c	2,0 a	1,1	2,1 b+
2	5,5	90,1 a+	63,46 a	33,0 a	9,40 c	1,7 b+	1,0	2,1 b+
4	5,4	21,3 e+	28,05 b	16,0 c+	11,63 b	2,2 a	1,0	2,5 a
6	5,4	27,0 e+	24,30 b	22,5 b+	10,86 b	1,7 b+	0,9	2,3 b+
8	5,4	15,5 e+	19,70 b+	16,5 c+	11,46 b	2,2 a	1,0	2,5 a
10	5,3	41,5 d+	42,00 b	19,7 b+	9,40 c	2,1 a	0,9	2,4 b+
12	5,3	77,3 b+	65,75 a	28,0 a	9,63 c	2,1 a	1,0	2,8 a
14	5,3	40,5 d+	69,15 a	23,0 b+	8,06 c	2,0 a	1,0	2,7 a
16	5,3	52,4 c	40,50 b	15,0 c+	14,70 a	2,0 a	0,9	2,6 a
Mineral	5,3	49,3 c	53,33 a	29,3 a	13,86 a	2,1 a	0,8	2,7 a
F	1,26 <sup>ns</sup>	66,21**	6,46**	7,72**	19,25**	4,62**	1,19 <sup>ns</sup>	3,19*
CV (%)	2,03	10,75	21,35	16,72	7,62	6,80	12,09	9,40

Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna ou maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (\*\* = p<0,05). CV = coeficiente de variação; Mineral = adubação mineral com NPK; + = dose de pó de basalto difere da adubação mineral (NPK) pelo teste de Dunnett (p<0,05).

Considerando os métodos de extração, os teores de P apresentados na extração Mehlich1 foram superiores que os apresentados no método de extração por resina em todos os tratamentos, exceto nas doses de 4, 8, 10 e 14 t ha<sup>-1</sup> de pó de basalto e no tratamento mineral.

Sobral *et al* (2008) ao comparar diferentes formas de extração de nutrientes do solo, observou que no método Mehlich 3 houve maior extração de K que o Mehlich 1 e a menor extração foi encontrada para resina. O mesmo foi notado para a análise de P, contudo, em teores de P menores que 11,6 mg.dm<sup>-3</sup> a resina extraiu mais do que o método ácido. Isso mostra que os teores de P presentes no solo podem ter sido alterados pelo método utilizado, que apresenta maior ou menor poder de extração.

O método Mehlich de extração remove formas inorgânicas e orgânicas da solução, que apesar de estarem presentes no solo, demorariam mais para estar disponíveis às

plantas, devido aumento na dessorção dos compostos orgânicos (Sobral *et al.*, 2008). Entretanto, considerando que a presença de P na composição da rocha basáltica é mínima, e considerando ainda que a área utilizada no estudo possui histórico limitado, as alterações de P obtidas na análise de solo, não podem ser atribuídas ao uso do pó de basalto, mas sim, a fatores externos que necessitam de maiores estudos e acompanhamentos.

De acordo com as garantias do pó de basalto utilizadas no estudo, a cada 2,0 toneladas do produto aplicadas ao solo obteve-se os seguintes valores de nutrientes: 180 kg ha<sup>-1</sup> de CaO; 114 kg ha<sup>-1</sup> de MgO e 22 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Entretanto, as doses de pó de basalto não interferiram diretamente sobre esses elementos, ou sobre qualquer outro parâmetro avaliado, tendo, na maioria das vezes, apresentado valores próximos ao fertilizante mineral.

Em seu estudo avaliando doses maiores de 33, 66 e 99 t ha<sup>-1</sup> de pó de basalto como remineralizador de solo, em ambiente controlado e solo arenoso, Luchese *et al.* (2021) notaram que houve aumento do pH e do teor de Ca do solo na maioria dos tratamentos avaliados, devido a liberação de Ca e Mg, além do consumo de H<sup>+</sup> na reação  $KAlSi_3O_8$ . No solo argiloso isso não foi visto, devido ao maior efeito tamponante do meio, em contrapartida, para os teores de Mg houve pouca alteração no solo em função do remineralizador.

Segundo Bastos *et al.* (2008), nos solos tropicais a disponibilidade de P aplicado via fertilizante tem sido limitada em razão da grande quantidade de óxidos de Fe e Al, pois é um elemento que tem a difusão como principal mecanismo de movimentação no solo, entretanto o transporte é baixo devido à forte interação do P com os colóides do solo. Hinsinger (2001) destaca que este movimento lento ocorre principalmente em função da sua elevada reatividade e por estar frequentemente com teor inferior ao adequado para diversas culturas, podendo apresentar indisponibilidade à planta.

Em seu estudo utilizando o pó de basalto e avaliando o desenvolvimento e nutrição do feijão comum e as propriedades químicas de um Cambissolo Húmico, Ferreira *et al.* (2009) também não notaram efeito positivo do pó de basalto sobre o pH do solo, contudo, observaram que houve elevação nos teores de Ca, Mg e P, sendo que este último, não atribuiu totalmente ao efeito residual do pó de basalto e, sim ao método de extração (Mehlich1) utilizado na análise de solo, que pode superestimar os valores de P disponível.

Avaliando diferentes doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico, Melo *et al.* (2012) notaram aumento nos teores de Ca, Mg e micronutrientes, entretanto, o incremento foi relativamente baixo, apenas 0,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup> de Ca para 48 t ha<sup>-1</sup> testadas, utilizando um pó de basalto com os mesmos teores de cálcio que o produto encontrado em Uberlândia, MG (aproximadamente 9%). Os autores sugerem que as reservas desse elemento na rocha devem estar presentes em minerais de baixa solubilidade e lenta alteração, propiciando baixa liberação dos mesmos no solo, e baixas alterações químicas, o que não impede que seus benefícios nutricionais sejam aproveitados pelas plantas, especialmente as de ciclo mais longos.

Com relação ao K, considerando que na dose de 16 t ha<sup>-1</sup> de pó de basalto foi aplicado o equivalente a 176 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, esperava-se um maior incremento deste nutriente no solo, entretanto, o teor de K encontrado para esta dose foi o menor valor observado (15,0 mg dm<sup>-3</sup>). Este fato pode se dar, devido a posição do cátion K na rocha, que assume, na maioria das vezes, pontos de ligação estruturais, entre os tetraedros de silício. Neste caso, a ligação torna-se muito forte, tornando o mineral muito resistente ao intemperismo, que por sua vez, acaba não sendo disponibilizado às plantas (MELO *et al.*, 2019).

Deste modo, é possível supor que o pó de basalto é um material com alta heterogeneidade, em função de seus minerais de alta resistência ao intemperismo (plagioclásios), que fazem com que seus componentes sejam retidos na sua estrutura, e não se tornem disponíveis ao solo e as plantas. Para além disso, os piroxênios que também o compõem e que são mais sensíveis ao intemperismo, admitem pouco K em sua estrutura, dando mais espaço a outros minerais, como os micronutrientes, que não mais facilmente liberados no solo (Melo *et al.*, 2019).

Avaliando a utilização do pó de basalto em um Argissolo sob pastagem nativa, nas mesmas doses de pó de basalto, Korchagin *et al.* (2018) obtiveram resultados semelhantes, onde o P e o K não foram influenciados significativamente pelas doses do produto utilizado. Nesta mesma linha de pesquisa, Luchese *et al.* (2020) testando o pó de basalto nas doses de 33, 66 e 99 t ha<sup>-1</sup>, notaram que houve redução nos teores de K e P totais em solo mais argiloso, contudo, os autores perceberam uma melhoria dos teores de um solo franco-argiloso após o seu cultivo com soja e milho.

Em seu estudo com doses de pó de basalto na produção de mudas de pessegueiro, Knapik e Angelo (2007), verificaram que o tratamento com pó de basalto obteve valores

de K considerado baixo, enquanto que nos demais tratamentos os valores foram considerados médios. Os autores justificaram que no pó de basalto esse elemento pode estar preso a estruturas cristalinas, não aparecendo nas análises por não estar prontamente solúvel às plantas, fato este que pode ser benéfico, uma vez que os nutrientes poderão ser disponibilizados ao longo do tempo para as plantas, fato que talvez possa ter acontecido também neste estudo.

Devido a sua elevada mobilidade no solo quando aplicado via adubação mineral, o K pode esgotar-se completamente em substratos com pH 5,0 ou menos, na forma solúvel, em processos de lixiviação, principalmente em áreas irrigadas (May, 1984). Kavaleridze (1978) destaca que a rocha basáltica reduzida a pó pode fornecer quantidades apreciáveis de nutrientes ao solo, a sua aplicação proporciona a adição de colóides negativos devido à presença da sílica, que possibilitam a retenção por absorção de cátions de sais nutrientes, como Ca, Mg e K, impedindo que eles sejam levados pela água, o que pode ser uma vantagem na utilização deste produto.

Hartmann (2014) e Beerling *et al.* (2020) e Theodoro *et al.* (2021), confirmaram as hipóteses testadas em seu estudo, uma vez que mostram que o uso de remineralizadores, derivados das rochas basálticas, combinados ou não com fontes orgânicas, mostrou-se eficaz para fertilizar o solo para alguns P, K, Ca, Mg e S e alguns micronutrientes, além disso, comprovaram ainda que os pós de rocha possuem um efeito residual de mais longo prazo, quando comparados aos fertilizantes solúveis.

Em relação aos micronutrientes observou-se que o pó de basalto apresentou incrementos para todos os elementos analisados, com destaque para a dose de 14 t ha<sup>-1</sup>, onde todos os micronutrientes apresentaram resultados significativamente superior as outras doses testadas e ao fertilizante mineral, enquanto que nos elementos Fe e Zn, as doses de pó de basalto e de mineral foram estatisticamente iguais (Tabela 7). O Cu e o Zn, foram os micronutrientes que independente das doses testadas e da fertilização mineral, estavam dentro da faixa considerada alta (> 1,8 mg dm<sup>-3</sup> e > 2,2 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente), de acordo com Ribeiro *et al.*, (1999).

De acordo com Ribeiro *et al.* (1999), teores de B entre 0,36-0,60 mg dm<sup>-3</sup> podem ser considerados médios, > 61 mg dm<sup>-3</sup> é considerado bom. Deste modo, todos os tratamentos apresentaram teores bom a médio para este nutriente. Já para o nutriente Fe, os teores apresentados nos tratamentos podem ser considerados bons (9 – 12 mg dm<sup>-3</sup>), com exceção das doses de 0, 4, 8 e 12 t ha<sup>-3</sup>, que ficaram abaixo da faixa considerada boa

para este nutriente. Ao contrário do Mn, que nenhum dos tratamentos atingiu o teor considerado alto ( $> 12 \text{ mg dm}^{-3}$ ).

**Tabela 7.** Teor de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) no solo aos 270 dias após aplicação das doses de pó de basalto, em área com pastagem de *Urochloa brizantha* cv Marandú em Uberlândia, MG.

Tratamentos					
Doses	B	Cu	Fe	Mn	Zn
t ha <sup>-1</sup>	.....mg dm <sup>-3</sup> .....				
0	0,53 b	9,43 b	7,50 b+	4,50 b+	5,80 b+
2	0,46 b	9,53 b	10,00 a	4,70 b+	5,83 b+
4	0,43 b	10,07 b	7,00 b+	3,57 c	6,50 b+
6	0,60 a+	9,63 b	10,50 a	4,07 c	5,90 b+
8	0,43 b	10,00 b	7,50 b+	3,43 c	11,13 a+
10	0,70 a+	9,40 b	9,00 a	6,23 a+	3,00 b+
12	0,63 a+	9,57 b	7,33 b+	4,17 c	10,16 a
14	0,70 a+	11,80 a+	9,33 a	5,53 a+	9,27 a+
16	0,50 b	9,77 b	9,00 a	2,87 c	6,03 b+
Mineral	0,36 b	9,77 b	9,00 a	2,70 c	12,23 a
F	2,28**	2,84*	5,92**	8,68**	4,74**
CV %	24,99	7,31	9,99	15,76	30,76

Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (\*\* =  $p < 0,05$ ; \* =  $p < 0,01$ ). CV = coeficiente de variação; + = tratamento difere da adubação mineral pelo teste de Dunnett ( $p < 0,05$ ).

Avaliando doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico, Melo *et al.* (2012) notaram aumentos nos teores disponíveis no solo de zinco (Zn), ferro (Fe) e cobre (Cu), a medida que as doses aplicadas de pó de basalto também aumentavam, com um efeito padrão linear. Os autores utilizaram o remineralizador até a dose de 96 t ha<sup>-1</sup> com intervalos entre doses maiores, e avaliaram os resultados do pó de basalto em incubação por 180 dias em um Latossolo, diferente do presente estudo, onde as maiores doses propiciaram maiores incrementos, entretanto, não houve padrão linear crescente de disponibilidade dos nutrientes a medida que as doses aumentavam.

Ao quantificar os atributos químicos de solos agrícolas submetidos à aplicação de pó de basalto hidrotermalizado e efeitos na produção vegetal, Korchagin *et al.* (2018) observaram que o incremento de Cu após 674 dias de aplicação do pó de basalto hidrotermalizado, aumentava  $0,1 \text{ mg kg}^{-1} \text{ t}^{-1}$  aplicada, resultando ao final do estudo, em um aumento de 24% após a aplicação das  $16 \text{ t ha}^{-1}$ .

Considerando a diferença das doses utilizadas por Melo *et al.* (2012) e Luchese *et al.* (2020) e as doses utilizadas no presente trabalho, há um indicativo de que o efeito do pó de basalto na nutrição do solo como um todo é mais perceptível em doses maiores (acima de  $40 \text{ t ha}^{-1}$ ). Entretanto, não inviabiliza a sua utilização em doses menores, uma vez que, notou-se semelhanças de comportamento do pó de basalto e do fertilizante mineral em relação ao solo, porém, o pó de basalto possui um custo menor.

### 3 4.3. Análise nutricional da planta

De forma geral, todas as doses de pó de basalto utilizadas proporcionaram maiores teores de N nas folhas, quando comparado à adubação mineral. Enquanto que para os teores de P obtidos, o maior teor só ocorreu na dose de  $6,0 \text{ t ha}^{-1}$ , para o K os maiores teores ocorreram nas doses 0, 2,0; 4,0; 6,0 e  $8,0 \text{ t ha}^{-1}$ , para o Ca com exceção da dose de  $10,0 \text{ t ha}^{-1}$  todas apresentaram maiores teores em comparação à adubação mineral, os maiores teores para Mg foram nas doses de 0, 2,0; 6,0;  $8,0 \text{ t ha}^{-1}$  e para o S os teores foram menores apenas nas doses de  $12,0$  e  $16,0 \text{ t ha}^{-1}$  (Tabela 8).

Avaliar a taxa de absorção de nutrientes das culturas gera informações importantes que podem ser utilizadas para otimizar o manejo da adubação. De acordo com Schunke, (2001), a demanda nutricional da *Urochloa brizantha* possui a seguinte sequência para os macros e micronutrientes: N>P>K>Ca>Mg>S>B>Cl>Cu, sendo a demanda por N a principal.

De acordo com os resultados de análises obtidos verificou-se que o tratamento com fertilizante mineral não atingiu os teores desejáveis de N para a cultura, que são de 13 a  $20 \text{ g kg}^{-1}$  segundo Ribeiro *et al* (1999). Nas doses de 0 a  $10 \text{ t ha}^{-1}$  e na dose de  $16 \text{ t ha}^{-1}$  de pó de basalto, as plantas apresentaram teor de N dentro do limite desejável, enquanto que as demais doses apresentaram teores de N abaixo do limite (RIBEIRO *et al*, 1999) (Tabela 8).

Para os demais elementos, Ribeiro *et al* (1999) indica as faixas de suficiência a seguir: de 0,8 a 3; 12 a 30; 3 a 6; 1,5 a 4 e 0,8 a  $2,5 \text{ g kg}^{-1}$  para P, K, Ca, Mg e S,

respectivamente. Em todos os tratamentos testados, as plantas apresentaram teores nutricionais dentro da faixa de suficiência para a cultura, com os maiores valores ocorrendo nas doses de 0 a 8 t ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 8.** Análise foliar de *Urochloa brizantha* cv Marandú, aos 180 e 365 dias após o corte, cultivada sob diferentes doses de pó de basalto, em Uberlândia- MG.

Tratamento	Análise nutricional das folhas					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Doses t ha <sup>-1</sup>	.....g kg <sup>-1</sup> .....					
	Dose					
0	14,97 c+	2,20 b	24,83 c+	5,78 b+	4,63 a+	3,13 a+
2	13,15 c+	2,15 b	24,75 c+	5,32 c+	4,63 a+	2,53 b+
4	18,58 a+	2,20 b	24,83 c+	5,35 c+	3,98 b	2,68 b+
6	16,95 b+	2,73 a+	24,67 b+	6,80 a+	4,67 a+	2,63 b+
8	19,60 a+	2,08 b	30,00 a+	5,33 c+	4,63 a+	2,53 b+
10	14,58 c+	2,13 b	21,33 d	4,52 e	3,62 b	1,90 c+
12	11,97 d+	2,03 b	20,50 d	4,83 d+	3,97 b	1,43 d
14	12,77 d+	2,03 b	21,00 d	4,12 f+	3,48 b	2,33 c+
16	13,78 c+	1,87 b	21,50 d	4,18 f+	3,70 b	1,55 d
Mineral	10,72 d	1,97 b	20,50 d	4,60 e	3,75 b	1,38 d
	Época					
180	15,00 a	2,18 a	24,00 a	4,90 b	4,08 a	2,30 a
365	14,42 a	2,11 a	23,38 a	5,26 a	4,13 a	2,12 b
Teste F Dose	29,80**	8,53**	19,50**	77,50**	8,66**	39,54**
Teste F Época	3,03 <sup>ns</sup>	1,60 <sup>ns</sup>	1,71 <sup>ns</sup>	37,75*	0,26 <sup>ns</sup>	8,42**
Interação	10,95**	4,05**	6,31**	10,28**	0,79 <sup>ns</sup>	28,49**
CV% Doses	10,18	9,68	7,58	3,69	7,75	8,25
CV % Época	8,30	8,86	7,94	5,07	11,46	12,57

Médias seguidas por letras iguais minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (\*\* = p<0,05; \* = p<0,01). CV = coeficiente de variação; + = tratamento difere da adubação mineral pelo teste de Dunnett (p<0,05).

Em seu estudo, Korchagin *et al.* (2018) apresentaram resultados semelhantes de demanda nutricional das plantas, entretanto, os nutrientes mais acumulados pela cultura, em ordem decrescente foram  $K > Ca > Mg > P$ , com valores semelhantes ao do presente estudo, com exceção do K, onde as plantas exportaram do solo entre 58 e 76 kg ha<sup>-1</sup>, comportamento este que pode se explicar considerando a diferença de demanda entre espécies, uma vez que os autores trabalharam com pastagem nativa, mais rústica e adaptada e conseqüentemente, menos exigente.

Martha Junior *et al.* (2007) afirmam que as pastagens tropicais melhoradas podem demandar de 96 até 240 kg ha<sup>-1</sup> de K, a depender da produtividade de MS. Considerando as doses de pó de basalto aplicadas, e o seu aporte nutricional na dose máxima de 16 t ha<sup>-1</sup>, foram adicionados cerca de 176 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, entretanto, não se pode afirmar o quanto deste total aplicado foi de fato disponibilizado para a cultura.

Analisando as interações significativas que ocorreram entre as doses e as épocas de corte observou-se que somente para o Mg não foi significativa, que todas as análises apresentaram baixo coeficiente de variação (entre 3,69% e 12,57%), o que mostra que houve baixa variabilidade de resultados (Tabela 6), demonstrando que a maior causa de variação foi de fato a aplicação das doses de pó de rocha.

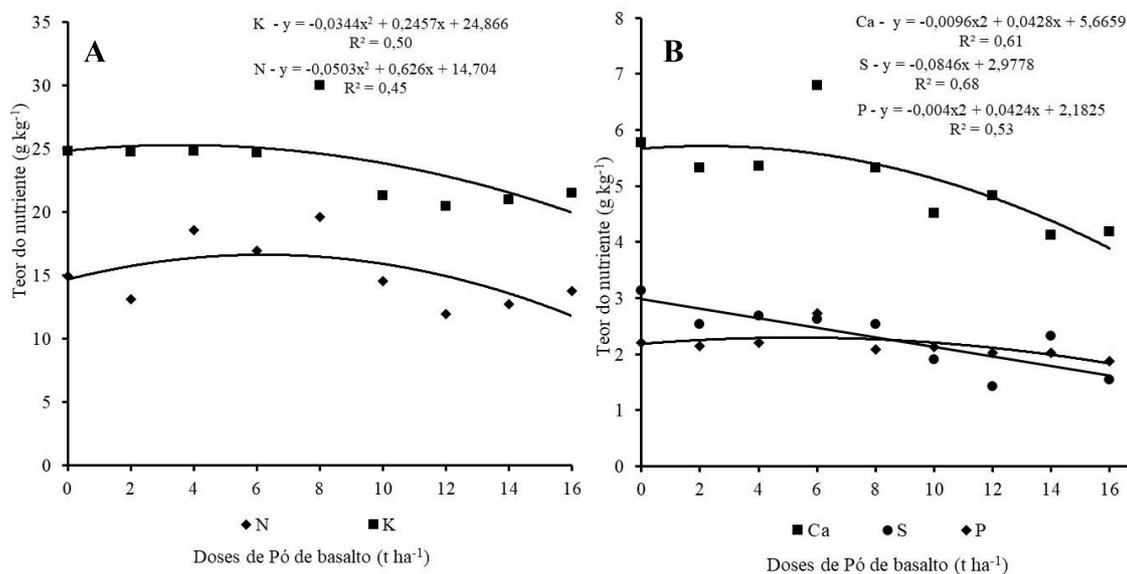
O N e o K são os nutrientes exigidos em maiores quantidades pela maioria das culturas, por isso, são também os mais abundantes nos tecidos vegetais, chegando a valores de quatro, cinco ou mais vezes superiores aos acumulados nos resíduos em relação ao P (BRADY, 1989), fato este também comprovado neste estudo.

Através de análise de regressão, observou-se maior acúmulo dos nutrientes N e K (Figura 2A), na folha nas doses de 6,22 e 3,60 t ha<sup>-1</sup> do pó de basalto, respectivamente. A partir dessas doses, o acúmulo de N e K apresentou queda.

O mesmo ocorreu para o Ca e o P, com acúmulo máximo destes nutrientes nas doses de 2,23 e 5,30 t ha<sup>-1</sup> do pó de basalto (Figura 2 B), respectivamente. Enquanto que para o S à medida que aumentaram as doses, menor foi o teor do nutriente na planta (Figura 2B).

Confirmando tais resultados, Ferreira *et al.* (2009) ao testarem o pó de basalto no desenvolvimento do feijoeiro durante doze meses, não notaram incrementos relevantes em Ca, Mg e Zn, tanto no solo quanto na planta, em doses de 2,5 a 10 t.ha<sup>-1</sup>, com teores permanecendo contudo, dentro da faixa de suficiência para a cultura.

**Figura 2.** Ajuste das curvas de regressão para análise de regressão das doses de pó de basalto utilizadas para os valores dos macronutrientes N e K (A), Ca, S e P (B), em solo sob cultivo de *Urochloa brizantha* cv Marandú, em Uberlândia, MG.



Fonte: a autora (2024).

Alovisi *et al.* (2021) notaram uma queda nos teores de P em folhas de leguminosa – soja –, que receberam pó de basalto, com comportamento parecido ao encontrado no presente trabalho, onde a concentração do elemento caiu de modo linear às doses aplicadas, que foram de 2,5 a 10 t. ha<sup>-1</sup>.

Já Da Silva (2007) não notou alterações relevantes nos teores de N, P e K nas folhas de feijão, após 1 ano de aplicação do pó de basalto, apesar de que, os valores encontrados se mantiveram dentro das faixas de suficiência para a cultura, entretanto, os resultados foram estatisticamente menores do que o tratamento que recebeu fertilizante mineral solúvel padrão.

## V – CONCLUSÕES

Nas condições que este estudo foi conduzido e com base nos resultados encontrados, pode-se concluir que:

O pó de basalto não apresentou impactos significativos no pH e CTC do solo, nem nos macronutrientes (P, K, Ca, S, Mg), entretanto, apresentou teores de micronutrientes no solo (B, Cu, Fe, Mn e Zn), que superam ou equiparam-se à adubação mineral convencional, contudo, em doses maiores ( $14 \text{ t ha}^{-1}$ ) que podem encarecer e tornar inviável sua utilização. Em termos de produtividade, para MS e MF de *Urochloa brizantha* cv Marandú, a dose de  $6 \text{ t ha}^{-1}$  de pó de rocha apresentou melhores incrementos, em relação a adubação mineral convencional. Contudo, os resultados carecem de mais tempo de acompanhamento, para que se entenda melhor a interação e o residual do pó de basalto no solo.

## REFERÊNCIAS

ALOVISI, A. M. T. *et al.* Uso do pó de rocha basáltica como fertilizante alternativo na cultura da soja. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e33710615599-e33710615599, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i6.15599.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). **Pesquisa setorial**. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: [http://anda.org.br/pesquisa\\_setorial/](http://anda.org.br/pesquisa_setorial/). Acesso em: 27 jan 2024.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JR, W. **AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**, versão 1.1. 0.626. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2011.

BASTOS, A. L. *et al.* Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.2, p.136–142, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000200005>

BEERLING, D. J. *et al.* Potential for large-scale CO<sub>2</sub> removal via enhanced rock weathering with croplands. **Nature**, v. 583, n. 7815, p. 242-248, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/S41586-020-2448-9>.

BORGHI, E. *et al.* Recuperação de pastagens degradadas. *In: Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação*. Brasília, DF: Embrapa, v. 4, p. 105-138, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/188650/1/Recuperacao-pastagens.pdf>. Acesso em: 21 maio 2022

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. São Paulo: Freitas Bastos, 1989. 878p.

BRASIL. Instrução Normativa MAPA Nº 05, de 10 de março de 2016. Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**: sessão1. Brasília, DF, p. 10, 14 mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília: MAPA, 2017.240 p

CAMPO – CENTRO DE TECNOLOGIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL. **Análise Química Pó de Basalto**. Paracatu: Campo, 2023.

CÂNOVAS DELFINO, J. L. *et al.* Influência do sistema de produção na produtividade de leite no interior do estado de São Paulo, brasil. **Veterinária e Zootecnia**, Botucatu, v. 27, p. 1–11, 2020. DOI: 10.35172/rvz. 2020.v27.506. Disponível em: <https://rvz.emnuvens.com.br/rvz/article/view/506>. Acesso em: 18 maio. 2022.

CARMO, C. A. F. de S. *et al.* **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. [S.l.]: Embrapa, 2000. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/62212/1/Metodo-de-analise-de-tecido.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2024.

CLAESSEN, M. E. C. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/330804>. Acesso em: 24 jun 2024

COL, L. Z. Reaproveitamento de Resíduos Provenientes da Mineração: Pó de Rocha na Rochagem de Hortaliças: Uma Revisão Integrativa. *In*: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE DA FEA, 24., 2022, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: USP, 2022. p. 1-19. Disponível em: <https://engemausp.submissao.com.br/24/anais/arquivos/190.pdf?v=1707998866>. Acesso em: 15 fev. 2024.

COLMÁN RIBELATTO, P. J. *et al.* Atributos químicos do solo e produção de *Urochloa brizantha* cv. Marandu. **Investigación Agraria**, v. 21, n. 2, p. 108-116, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2019.diciembre.108-116> - Disponível em: [http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2305-06832019000200108&lng=es&nrm=iso&tlng=pt](http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2305-06832019000200108&lng=es&nrm=iso&tlng=pt). Acesso em: 13 set. 2024.

DA SILVA, J. A; LAMBERT, R. A. Sources of phosphorus (P) in different times of application in the culture of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Revista Agrária Acadêmica**, v. 2, n. 2, p. 27-36, 2019. DOI: 10.32406/v2n22019/27-36/agrariacad Disponível em: <https://agrariacad.com/wp-content/uploads/2019/04/rev-agr-acad-v2-n2-2019-p27-36.pdf>. Acesso em: 15 mar 2024.

DA SILVA SOUZA, J. *et al.* **Avaliação do pontecial de produção de ovinos de corte em pastagens de *Urochloa brizantha* (syn. *Brachiaria*) no nordeste do Brasil**. 2020. DOI: <http://hdl.handle.net/1843/34884>. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/34884/1/TESE%20FINAL-%20JOELMA%20SOUZA-21.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2024.

DA SILVA, A. **Efeito da aplicação de pó de basalto nas propriedades químicas do solo, na nutrição e produtividade do feijoeiro e na absorção de nutrientes por *Eucalyptus benthamii***. 2007. Tese (Mestrado em Manejo do Solo) - Centro de ciências agroveterinárias, Programa de pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2007. Disponível em: [https://www.cav.udesc.br/arquivos/id\\_submenu/826/alinne\\_da\\_silva\\_jaime\\_antonio\\_de\\_almeida\\_31\\_1.pdf](https://www.cav.udesc.br/arquivos/id_submenu/826/alinne_da_silva_jaime_antonio_de_almeida_31_1.pdf). Acesso em: 05/02/2024.

DE FARIA, A. J. G. *et al.* Adubação nitrogenada e potássica na produtividade do capim Mombaça sobre adubação fosfatada. **Journal of bioenergy and food science**, v. 2, n. 3, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.18067/jbfs.v2i3.24>. Disponível em: <http://periodicos.ifap.edu.br/index.php/JBFS/article/view/24/66>. Acesso em: 10 jan. 2024.

DE SÁ SOUZA, Marcondes *et al.* Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de pastagens tropicais. **Pubvet**, v. 12, p. 172, 2018. DOI:

<https://doi.org/10.22256/pubvet.v12n5a91.1-9>. Disponível em:

<https://www.pubvet.com.br/uploads/0b7fd1ca77d07672f36961a2fdf0eafc.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2024.

DIAS FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: o que é e como evitar**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 24 p. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1070416/1/TC1117CartilhaPastagemV04.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2023.

DIAS-FILHO, M. B.; FERREIRA, J. N. As pastagens e o meio ambiente. *In*: REIS, R.; BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R. (ed.). **Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros**. Jaboticabal: Maria de Lourdes Brandel-ME, p. 93-105, 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Moacyr-Dias-Filho/publication/278411519\\_As\\_pastagens\\_e\\_o\\_meio\\_ambiente/links/5580d0f308aea3d7096e50fd/As-pastagens-e-o-meio-ambiente.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Moacyr-Dias-Filho/publication/278411519_As_pastagens_e_o_meio_ambiente/links/5580d0f308aea3d7096e50fd/As-pastagens-e-o-meio-ambiente.pdf). Acesso em: 05 jan 2024.

DIFANTE, G. dos S. *et al.* Características morfogênicas e estruturais do capim-marandú submetido a combinações de alturas e intervalos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 955-963, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000500003>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbz/a/ysrLXrD3r4NgZK5gb3NFj3B/?lang=pt>. Acesso em: 15 jan. 2024.

DO VALE BEZERRA, J. D. *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. e129972947-e129972947, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.2947>. Disponível em:

<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/2947/3285>. Acesso em: 20 jan. 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). ***Brachiaria brizantha* cv Marandú**. Campo Grande: EMBRAPA, 1984. 31 p. (Documentos).

Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/317899>. Acesso em: 13 set. 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Brasil é o quarto maior produtor de grãos e o maior exportador de carne bovina do mundo, diz estudo**. [S.l.], 01 jun 2021 Portal: Embrapa. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62619259/brasil-e-o-quarto-maior-produtor-de-graos-e-o-maior-exportador-de-carne-bovina-do-mundo-diz-estudo#:~:text=Brasil%20tem%20o%20maior%20rebanho%20bovino%20do%20mu> Acesso em: 17 fev.2022.

FAEP; SENAR-PR. Federação da Agricultura do Estado do Paraná e Administração Regional do Estado do Paraná. **Boletim informativo**, ano 36, n. 1552, p. 1-36, 2021.

Disponível em: [https://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2021/12/BI\\_1552\\_web.pdf](https://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2021/12/BI_1552_web.pdf). Acesso em: 10 set. 2024.

FERREIRA, E. R. N. C. *et al.* Pó de basalto, desenvolvimento e nutrição do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e propriedades químicas de um Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 8, n. 2, p. 111-121, 2009. Disponível em: <file:///C:/Users/Acer/Downloads/editorinchief,+1Ferreira.pdf>. Acesso em 14 fev. 2024.

GALINDO, F. S. *et al.* Acúmulo de matéria seca e nutrientes no capim-mombaça em função do manejo da adubação nitrogenada. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 3, p. 1-9, 2018. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v5i3.2132>. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/2132>. Acesso em: 13 set. 2024.

HARTMANN, L. A. A história natural do Grupo Serra Geral desde o Cretáceo até o Recente. **Ciência e Natureza**, v. 36, p. 173-182, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X13236>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/13236>. Acesso em: 13 set. 2024.

HINSINGER, P. Biology availability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review. **Plant and Soil**, v. 237, p. 173-195, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1013351617532>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1013351617532>. Acesso em: 13 set. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agro 2017**. [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/2013-agencia-de-noticias/releases/28943-ibge-retrata-cobertura-natural-dos-biomas-do-pais-de-2000-a-2018.html#:~:text=hist%C3%B3ricas%20de%20ocupa%C3%A7%C3%A3o,-,Em%202018%2C%2044%2C61%25%20das%20%C3%A1reas%20agr%C3%ADcolas%20e%2042,para%20as%20%C3%A1reas%20de%20silvicultura>. Acesso em: 01 dez 2023.

Associação Internacional da Indústria de Fertilizantes (IFA). **Consumo de fertilizantes: Tendências históricas por país ou região**. Paris, 2021. Portal: IFA. Disponível em: [https://www.ifastat.org/databases/graph/1\\_1](https://www.ifastat.org/databases/graph/1_1). Acesso em 25 fev. 2021.

JORGE, V. S.; DA SILVA SOUZA, F. N. Avaliação de diferentes estratégias de uso de agrominerais na recuperação de áreas degradadas e na produção da pastagem. **Agri-environmental sciences**, v. 1, n. 2, 2015. DOI: <https://doi.org/10.36725/agries.v1i2.92>. Disponível em: <https://revista.unitins.br/index.php/agri-environmental-sciences/article/view/92>. Acesso em: 13 set. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Dados históricos anuais**. [S.l.], 2022. Portal: INMET. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 13 set. 2024.

JUNIOR, H. S. F. Incubação de basalto preto colunar de paraúna e sua utilização como fonte de agrominerais. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 4., 2021, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: [s.n.], 2021.

KAVALERIDZE, W. C. **Nossos solos: formação, vida dinâmica, tratamento e conservação**. 2. ed. Curitiba: [s.n.], 1978. 168 p.

KNAPIK, J. G.; ANGELO, A. C. Pó de basalto e esterco equino na produção de mudas de *Prunus sellowii* Koehne (Rosaceae). **Floresta**, v. 37, n. 3, p. 427-436, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.br/floresta/article/view/9939>.

Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/9939>. Acesso em: 13 set. 2024.

KORCHAGIN, J. *et al.* Atributos químicos de solos agrícolas submetidos à aplicação de pó de basalto hidrotermalizado e efeitos na produção vegetal. *In*: DONATO, M.; DUARTE, L. C. **Gemas, joias e mineração: pesquisas aplicadas no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, p. 98-107, 2016.

KORCHAGIN, J. *et al.* **Critérios mineralógicos, químicos e físicos para uso agrônomo de pó de basalto hidrotermalizado no sul do Brasil**. 2018. 172 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2018. DOI: <http://tede.upf.br:8080/jspui/handle/tede/1766>. Disponível em: <http://tede.upf.br:8080/jspui/bitstream/tede/1766/2/2019JacksonKorchagin.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; MELAMED, R. FIGUEIREDO NETO, J. **Fertilizantes agroindústria & sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM, 2008.

LOURENÇO JUNIOR, B. A. **Desenvolvimento de laranjeira 'Pera' Citrus Sinensis (L.) Osbeck enxertada em limoeiro 'Cravo' (Citrus Limonia) e cultivada em pó de basalto**. 2011. 80 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu, 2011. Disponível em: <http://acervodigital.unesp.br/handle/11449/92095>. Acesso em: 13 set. 2024.

LUCHESE, A. V. *et al.* Agronomic feasibility of using basalt powder as soil nutrient remineralizer. **African Journal of Agricultural Research**, v. 17, n. 3, p. 487-497, 2021. DOI: 10.5897/AJAR2020.15234. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/657684E66350>. Acesso em: 06 fev. 2024.

MARIN, F.R.; PILAU, F.G.; SPOLADOS, H.F.; OTTO, R. Intensificação sustentável da agricultura brasileira: cenários para 2050. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n.3, p. 108-124, 2016. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1160/1016>. Acesso em: 13 set. 2024.

MARTHA JUNIOR, G.B.; VILELA, L.; SOUSA, D.M.G. Uso de Fertilizantes em Pastagens. *In*: CERRADO: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. p.43-64. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/203801/1/Livro.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

MARTINAZZO, R. *et al.* (ed.). **Micronutrientes e metais pesados em agrominerais: uma caracterização a partir de rochas do escudo sul-rio-grandense e da Bacia do Paraná**. Pelotas: Embrapa, 2020.

- MAY, J. T. Basic concepts of soils management. *In*: SOUTHERN pine nursery handbook. [S.I.]: USDA. For. Serv., Southern Region, 1984. Cap. 1, p.1-25.
- MELO, V. F.; CASTILHOS, R. M. V.; PINTO, L. F. S. IV Reserva mineral do Solo. *In*: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. Química e mineralogia do solo: conceitos básicos e aplicações. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2019. p. 252 – 321
- MELO, V. F., UCHÔA, S. C. P., DIAS, F. D. O., & BARBOSA, G. F. Doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico da savana de Roraima. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 4, p. 471-476, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000400004>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/qC96cXyTLRN5PHCJXq534PN/?lang=pt>. Acesso em: 13 set. 2024.
- LEVANTAMENTO top 100 2021: Os 100 maiores produtores de leite do Brasil. Piracicaba, 2021. Portal: MILKPOINT. Disponível em [https://www.milkpoint.com.br/top100/top100-2021.pdf?utm\\_source=top100&utm\\_medium=download&utm\\_campaign=marco2022](https://www.milkpoint.com.br/top100/top100-2021.pdf?utm_source=top100&utm_medium=download&utm_campaign=marco2022). Acesso em: 18 maio. 2022
- NAGATANI, Kalebe KI *et al.* Eficiência da Aplicação do Pó de Rocha na Fase Vegetativa da Cultura do Milho. **Revista Processos Químicos**, v. 17, n. 33, p. 69-74, 2023. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Barbosa-33/publication/374714962\\_Eficiencia\\_da\\_Aplicacao\\_do\\_Po\\_de\\_Rocha\\_na\\_Fase\\_Vegetativa\\_da\\_Cultura\\_do\\_Milho/links/65649a7b3fa26f66f430e3cc/Eficiencia-da-Aplicacao-do-Po-de-Rocha-na-Fase-Vegetativa-da-Cultura-do-Milho.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Barbosa-33/publication/374714962_Eficiencia_da_Aplicacao_do_Po_de_Rocha_na_Fase_Vegetativa_da_Cultura_do_Milho/links/65649a7b3fa26f66f430e3cc/Eficiencia-da-Aplicacao-do-Po-de-Rocha-na-Fase-Vegetativa-da-Cultura-do-Milho.pdf). Acesso em 13 jun. 2024.
- NASCIMENTO, V. R. R. **Remineralizador a base de pó de basalto no cultivo de couve-manteiga**. Tese (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), Uberlândia, MG, 2023.
- NETO, C. K. *et al.* Produção de matéria seca do consórcio aveia com azevém cultivados sob doses de pó de basalto. **Agrarian Academy**, v. 3, n. 06, 2016. DOI: 10.18677/Agrarian\_Academy\_2016b20. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2016b/Producao%20de%20matéria.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.
- PÁDUA, E.J. **Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/76755/1/Alvaro-Dissertacao-Eduane.pdf>. Acesso em 05 fev. 2024
- RAJÃO, R.; MANZOLLI, B.; SOARES-FILHO, B.; GALÉRY, R. **A crise dos fertilizantes no Brasil**: da tragédia anunciada às falsas soluções. São Paulo, 2022. Portal: Sociedade Brasileira Para o Progresso da Ciência. Disponível em: [http://portal.sbpnet.org.br/wp-content/uploads/2022/04/crise\\_fertilizantes.pdf](http://portal.sbpnet.org.br/wp-content/uploads/2022/04/crise_fertilizantes.pdf). Acesso em: 01 dez. 2023.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999.

ROCHA, A. C. *et al.* Diferentes tipos de adubação para o capim *Brachiaria brizantha* Marandu. **Nativa–Revista de Ciências Sociais do Norte de Mato Grosso**, v. 12, n.2, 2023. Disponível em: <https://www.revistanativa.com.br/index.php/nativa/article/view/483/777>. Acesso em: 09 nov 2023.

SECRETARIA ESPECIAL DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS (SAE). **Produção nacional de fertilizantes**: Estudo Estratégico. [S.l.], julho. 2020. Portal: GOV.BR Disponível em: [https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae\\_publicacao\\_fertilizantes\\_v10.pdf](https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae_publicacao_fertilizantes_v10.pdf) Acesso em: 21 janeiro. 2024.

SALMAN, A. K. D. **Método do quadrado para estimar a capacidade de suporte de pastagens**. Rondônia: Embrapa, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/710690/1/ct84pastagem.pdf>. Acesso em: 13 set. 2024.

SANTOS, J. T. *et al.* Resíduos sólidos orgânicos: uma análise cienciométrica acerca da utilização da compostagem para a geração de adubo. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 12, p. 01-23, 2018. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsdv7i12.498> Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5606/560659019018/html/>. Acesso em: 10 jul. 2024.

SANTOS, M. E. R. *et al.* Características morfogênicas e estruturais de perfilhos de capim-braquiária em locais do pasto com alturas variáveis. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 535-542, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000300010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/KBxy3H9tCwSD5N9Y7sGNXWF/?lang=pt>. Acesso em: 12 jul. 2024.

SCHUNKE, R. M. **Interações entre adubação de pastagens e suplementação mineral de bovinos**. Campo Grande: Embrapa, 2001. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/105093/1/Interacao-entre-a-adubacao-de-pastagens-1.pdf>. Acesso em: 15 maio 2024.

SOBRAL, L. F.; SILVEIRA, K. R.; VIANA, R. D. Correlações entre os métodos Mehlich 1, Mehlich 3 e resina para análise de P e K em solos dos Tabuleiros Costeiros. Aracaju, Embrapa. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 33, 16 p., 2008. Disponível em: [http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2008/bp\\_33.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2008/bp_33.pdf)

SOUZA, G. V. L. **Avaliação da eficiência agrônômica do pó de rocha basáltica como remineralizador de solos**. 2022. Tese (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, Jaboticabal, SP, 2022. DOI: <http://hdl.handle.net/11449/236116>. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/ba180513-1995-485c-8ecb-8178a47646c6>. Acesso em: 12 jun. 2024.

SOUZA, F. N. S.; OLIVEIRA, C. G.; MARTINS, ÉDER S.; ALVES, J. M. Efeitos condicionador e nutricional de um remineralizador de solos obtido de resíduos de mineração. **Agri-environmental sciences**, v. 3, n. 1, p. 1-14, 30 set. 2017. DOI: <https://doi.org/10.36725/agries.v3i1.204>. Disponível em: <https://revista.unitins.br/index.php/agri-environmental-sciences/article/view/204>. Acesso em: 10 maio 2024.

THEODORO, S. H. *et al.* Rochas basálticas para rejuvenescer solos intemperizados. **Revista Liberato**, v. 22, n. 37, p. 01-120, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.31514/rliberato.2021v22n37>. Disponível em: [https://revista.liberato.com.br/index.php/revista/article/view/681/pdf\\_1](https://revista.liberato.com.br/index.php/revista/article/view/681/pdf_1). Acesso em: 23 fev. 2024.

VILELA, L. *et al.* Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/Bc4Wp3CY9494yN9zdHzNGBP/?lang=pt>. Acesso em: 23 fev. 2024.