

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**INFLUÊNCIA DA ROCHAGEM NOS ATRIBUTOS
QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO E NA
PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO**

**BRUNO HARTHCOPF ESPÓSITO E JEREMIAS GOMES DAMACENO
MUNIZ**

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL**

2024

INFLUÊNCIA DA ROCHAGEM NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO

Bruno Harthcopf Espósito e Jeremias Gomes Damaceno Muniz

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Alessandra Mayumi Tokura Alovise

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal da Grande
Dourados, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Engenheiro Agrônomo.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

E77i Esposito, Bruno Harthcopf

Influência da Rochagem nos Atributos Químicos e Microbiológicos do Solo e na Produtividade da Cultura do Milho [recurso eletrônico] / Bruno Harthcopf Esposito, Jeremias Gomes Damasceno Muniz. -- 2024.

Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Alessandra Mayumi Tokura Alovisei.

TCC (Graduação em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024. Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. *Zea mays*. 2. Fertilizantes. 3. Pó de rocha. I. Muniz, Jeremias Gomes Damasceno. II. Alovisei, Alessandra Mayumi Tokura. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

INFLUÊNCIA DA ROCHAGEM NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO

Por

Bruno Harthcopf Esposito e Jeremias Gomes Damaceno Muniz

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÔNOMO

Aprovado em: 08 de fevereiro de 2024.



Documento assinado digitalmente
ALESSANDRA MAYUMI TOKURA ALOVISI
Data: 08/02/2024 12:53:48-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Alessandra Mayumi Tokura Alovisi
Orientadora – UFGD/FCA



Documento assinado digitalmente
PAULA PINHEIRO PADOVESE PEIXOTO
Data: 08/02/2024 22:20:08-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Paula Pinheiro Padovese Peixoto



Documento assinado digitalmente
MARIANE PORTO MUNIZ
Data: 09/02/2024 10:32:06-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof^a. Me. Mariane Porto Muniz

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente à Deus que tem dado forças e condições de chegarmos tão longe. Foi Deus quem nos ajudou nos momentos mais difíceis de nossas vidas, nos dando paciência, ânimo e confiança para prosseguir. Sem a sua forte mão, grande sabedoria e poder, não teríamos capacidade de seguir adiante.

Somos gratos também à instituição Universidade Federal da Grande Dourados e a Fazenda Experimental de Ciências Agrárias, pelo conhecimento compartilhado a nós alunos, à sociedade e toda a comunidade científica.

À nossa professora e orientadora Alessandra Mayumi Tokura Alovisei, que foi a nossa grande apoiadora neste projeto, compartilhando de seus conhecimentos e nos oferecendo total suporte na realização do mesmo, o que se estende também aos projetos de iniciação científica e a disciplina de fertilidade do solo.

Às nossas amigas Gêssica Figueiredo e Ana Caroline Telis, que são verdadeiras guerreiras. Carregam consigo grande espírito de companheirismo e união, sempre com humildade e perseverança em seus objetivos.

A todos os colaboradores da Fazenda Experimental de Ciências Agrárias, que nos ajudaram em todas as etapas de realização das atividades à campo, nos oferecendo suporte técnico e mão de obra para capinas, semeadura, pulverização e fornecimento de insumos.

Eu, Bruno Harthcopf Espósito, sou grato a Deus à minha mãe Marlene da Glória Harthcopf, a meu pai Celso Antônio Gonçalves Espósito, às minhas irmãs Maisa Harthcopf Espósito e Thais Harthcopf Espósito, que sempre estiveram presentes comigo durante toda minha graduação, me ajudando e incentivando nos momentos mais difíceis.

Eu, Jeremias Gomes Damaceno Muniz sou grato a Deus à meu pai Antônio José Muniz, meu irmão Isaque Gomes Damaceno Muniz, e; pelos amigos que fiz durante a graduação, Bruno Harthcopf Espósito, Gêssica Figueiredo e Ana Caroline Telis dos Santos, os quais tenho grande apreço e carinho. Agradeço a todos os meus professores que tive em minha caminhada na universidade, pois sem eles não chegaria até aqui.

ESPOSITO, B. H.; MUNIZ, J. G. D. M. **Influência da Rochagem nos Atributos Químicos e Microbiológicos do Solo e na Produtividade da Cultura do Milho**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2024.

RESUMO

Atualmente, o milho (*Zea mays*) é um dos cereais mais cultivados no Brasil, principalmente devido às suas características fisiológicas, alto potencial produtivo e bom preço de venda no mercado. Nesse sentido, ter um solo fértil e produtivo é sempre essencial para se manter um bom crescimento e desenvolvimento das culturas. Entretanto, devido à alta nos preços dos fertilizantes, buscar formas alternativas para fornecer nutrientes às plantas está se tornando cada vez mais comum, uma vez que os custos de produção estão ficando cada vez mais onerosos. Os pós de rochas podem cumprir bem esse papel, pois são importantes promotores de liberação de vários elementos químicos importantes para as plantas, gerando benefícios importantes tanto do ponto de vista financeiro, como também produtivo. Sendo assim, objetivou-se com o trabalho avaliar a influência da rochagem nos atributos químicos e microbiológicos do solo, concentração foliar e componentes de produção e produtividade do milho. O experimento foi conduzido em condições de campo na Fazenda Experimental de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (FAECA - UFGD), no município de Dourados MS. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com doze repetições. Foram avaliados, as características agrônômicas do milho: número de plantas de milho (NPLM), número de espigas de milho (NE), Diâmetro de colmo (DC), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), Número de fileiras de grãos por espiga (NFG), número de grãos por fileira (NGF), massa de 1000 grãos (M1000), produtividade de grãos (PG), peso de grão por espiga (PGE) e número de grãos por espiga (NGE); os atributos microbiológicos do solo: biomassa microbiana do solo (C-BMS), respiração microbiana (C-CO₂) e quociente metabólico (qC-CO₂); a análise foliar da cultura do milho: nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), e; atributos químicos do solo. Os dados foram submetidos à análise de variância e no caso de significância, as médias foram comparadas pelo teste t, a 5% de probabilidade. Na camada de 0-0,2 m de profundidade, os atributos químicos não foram influenciados pela aplicação do pó de basalto; na camada de 0,2-0,4 m de profundidade, o teor de potássio do solo nos tratamentos em que foi aplicado pó de basalto foi significativamente superior, com aumento de 83% no solo em relação ao tratamento que não recebeu pó de basalto; os atributos microbiológicos do solo e as concentrações foliares de N, P, Ca e Mg não foram influenciados pela rochagem; o número de fileiras (NF) foi influenciado pela aplicação do pó do basalto, com decréscimo de 3,3% o NF na área que recebeu o pó de basalto. Os demais componentes de produção não foram influenciados. Não foi verificada diferença significativa pelo emprego de pó de basalto no rendimento da cultura do milho, o que pode ser atribuído as adversidades climáticas.

Palavras-chave: *Zea mays*. Fertilizantes. Pó de rocha.

ABSTRACT

Nowadays, corn (*Zea mays*) is one of the most cultivated cereals in Brazil, mainly due to its physiological characteristics, high production potential and good sales price on the market. In this sense, having soil with adequate amounts of nutrients is always essential to maintain good growth and development of crops. However, due to rising fertilizer prices, looking for alternative ways to provide nutrients to plants is becoming increasingly common, as production costs are becoming increasingly expensive. Rock dust can fulfill this role well, as they are important promoters of the release of several important chemical elements for plants, generating important benefits from both a financial and productive point of view. Therefore, the objective of this work was to evaluate the influence of rock on the chemical and microbiological attributes of the soil and on corn productivity. The experiment was conducted under field conditions at the Fazenda Experimental de Ciências Agrárias of the Universidade Federal da Grande Dourados (FAECA - UFGD), in the municipality of Dourados MS. The experimental design was randomized blocks, with twelve repetitions each. The agronomic characteristics of corn were evaluated: number of corn plants (NPLM), number of corn ears (NE), stalk diameter (DC), ear diameter (DE), ear length (CE), Number of grains per ear (NFG), number of grains per row (NGF), mass of 1000 grains (M1000), grain yield (PG), grain weight per ear (PGE) and number of grains per ear (NGE); the microbiological attributes of the soil: soil microbial biomass (C-BMS), microbial respiration (C-CO₂) and metabolic quotient (qC-CO₂); leaf analysis of corn crops: nitrogen (N), phosphorus (P), calcium (Ca) and magnesium (Mg), and; chemical attributes of the soil. The data were subjected to analysis of variance and in case of significance, the means were compared using the t test, at 5% probability. In the 0-0.2 m depth layer, the chemical attributes were not influenced by the application of basalt powder; in the 0.2-0.4 m deep layer, the potassium content of the soil in the treatments in which basalt powder was applied was significantly higher, with an increase of 83% in the soil in relation to the treatment that did not receive basalt powder ; the microbiological attributes of the soil and the leaf concentrations of N, P, Ca and Mg were not influenced by rocking; the number of rows (NF) was influenced by the application of basalt powder, with a 3.3% decrease in NF in the area that received the basalt powder. The other production components were not influenced. No significant difference was found in the use of basalt powder in the yield of corn crops, which can be attributed to climatic adversities.

Keywords: *Zea mays*. Fertilizers. Rock dust.

SUMÁRIO

	Página
1 Introdução.....	1
2 Revisão bibliográfica.....	2
2.1 Cultura do milho: importância, produção, fisiologia e botânica.....	2
2.2 A importância da qualidade do solo para produção agrícola.....	6
2.3 Microbiologia do solo.....	8
2.4 Fertilizantes.....	10
2.5 Pó de rocha.....	12
2.6 Avaliação agronômica da rochagem.....	13
3 Material e métodos.....	16
3.1 Caracterização da área.....	16
3.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	17
3.3 Instalação e condução do experimento.....	17
3.4 Avaliações das variáveis químicas e microbiológicas do solo e da cultura do milho.....	18
3.4.1 Atributos químicos do solo.....	18
3.4.2 Avaliação da cultura do milho.....	18
3.4.3 Análise foliar da cultura do milho.....	17
3.4.4 Atributos microbiológicos do solo.....	20
3.5 Análise estatística.....	20
4 Resultados e discussão.....	20
4.1 Atributos químicos do solo.....	20
4.1.1 Camada superficial do solo (0,0-0,2 m).....	20
4.1.2 Camada subsuperficial do solo (0,2-0,4 m).....	21
4.2 Atributos microbiológicos do solo.....	22
4.3 Avaliação da cultura do milho.....	25
4.3.1 Análise foliar da cultura do milho.....	25
4.3.2 Componentes de produção e produtividade da cultura do milho.....	26
5 Conclusões.....	28
6 Referências bibliográficas.....	30

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores países produtores de grãos do mundo, ocupando a 4ª posição no ranking mundial na produção de grãos. A estimativa da safra de grãos 2022/23, mostra um crescimento de 3,3% de avanço na área plantada em comparação com a safra anterior e uma produção de 309,9 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2023). Esse valor representa um incremento de quase 13,8% de toneladas na produção nacional de grãos em relação a safra 2021/22. A cultura da soja lidera entre as mais produzidas no país com aproximadamente 151,4 milhões de toneladas, seguida do milho com 124,7 milhões de toneladas, com destaque para o 2º safra que apresentou no mesmo período uma produção de 95,6 milhões de toneladas (CONAB, 2023).

Para se ter bons rendimentos, faz-se necessário ter um bom ambiente produtivo, principalmente os que diz respeito a sanidade do solo. Para se ter melhor uso da terra e sustentabilidade do sistema agrícola, utilizar o milho consorciado com espécies forrageiras por exemplo, pode ser uma alternativa possível e recomendável. Contudo, de um ponto de vista técnico, a competição entre as culturas com base nas similaridades fotossintéticas, pode inviabilizar economicamente este sistema produtivo (FREITAS, 2013). Embora o milho produza boas quantidades de fitomassa de resíduos, quando cultivado isoladamente, não é capaz de promover uma cobertura de solo desejável, já que grande parte desse material fica retido nos colmos. Já forrageiras como as braquiárias, além de ter alta produção de massa seca, podem promover uma boa cobertura do solo protegendo o mesmo na entressafra, além de ter um sistema radicular agressivo que permite atingir grandes profundidades, contribuindo para a ciclagem de nutrientes, diminuindo perdas no veranico e gerando ganhos na produtividade (MECHI et al., 2016)

Grande parte dos solos brasileiros são ácidos e de baixa fertilidade, ou seja, são pobres em nutrientes para sustentar o desenvolvimento da maioria das culturas. Sendo assim, a aplicação de insumos que visam repor esses nutrientes para o solo é imprescindível, sendo os mais utilizados fertilizantes e corretivos, que têm como função básica corrigir o pH do solo e atender às exigências nutricionais das culturas, respectivamente (BERNARDI et al., 2002). Tendo em vista a alta necessidade da reposição química de nutrientes para o solo e a alta nos preços dos insumos agrícolas – principalmente dos fertilizantes, a utilização de pó de rocha pode ser uma alternativa funcional e economicamente viável nos sistemas produtivos (JÚNIOR et al., 2020a).

A rochagem é uma tecnologia que tem como objetivo reduzir o uso desenfreado de insumos químicos, alterando parâmetros de fertilidade do solo, sem necessariamente interferir no equilíbrio ambiental de áreas agrícolas. O pó de rocha é feito a partir de minerais que passam por processos de trituração, em rochas cujo requisitos mínimos de eficiência agrícola sejam aproveitados na rochagem. Uma das vantagens de se utilizar pó de rocha é o seu baixo custo frente as altas oscilações de preços dos fertilizantes químicos no mercado, pois, além de ser ecologicamente correto, favorecem a resistência de plantas a estresses bióticos e abióticos; proporcionam maior velocidade de crescimento e sanidade das plantas; melhoram a fertilidade do solo, e; favorecem aumento da produtividade. Entretanto, como principal desvantagem do uso de pós de rocha, está a solubilização lenta dos nutrientes em relação aos fertilizantes solúveis, tanto em volume, quanto em prazo para as culturas. Contudo, existem no mercado alguns microrganismos que podem atuar na solubilização desses minerais, favorecendo a liberação de nutrientes para o solo, proporcionando aumento na produção e redução de custos, sem causar prejuízos ambientais (DALCIN, 2008; BRITO et al., 2019).

Nesse sentido, objetivou-se com o trabalho avaliar a influência da rochagem nos atributos químicos e microbiológicos do solo, concentração foliar e componentes de produção e produtividade do milho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A CULTURA DO MILHO: IMPORTÂNCIA, PRODUÇÃO, FISIOLOGIA E BOTÂNICA

O milho é uma das culturas mais cultivadas no mundo atualmente, utilizados principalmente na alimentação humana e animal, sendo amplamente aplicado nas indústrias. Além de apresentar alta produtividade, a cultura do milho possui outras vantagens, tanto para o produtor rural, como para empreendedores e para agroindústria. Possui participação em várias economias no mundo, tanto que, atualmente, elevados investimentos fomentam o melhoramento genético para aprimorar o desempenho agrônomo do milho no campo.

No Brasil, o milho é amplamente cultivado principalmente como de segunda safra, sendo cultivado entre os meses de janeiro a março. Além disso, a cultura do milho tem alta importância para o setor agropecuário, servindo principalmente como insumo no setor

agroindustrial em suas diversas aplicações, assumindo papel socioeconômico de grande importância em âmbito nacional e internacional (PINHEIRO et al., 2021).

Segundo a Confederação de Agricultura e Pecuária do Brasil, CNA (2022), na análise semestral e trimestral do ano de 2022, o setor agrícola teve um recuo de 2,48% na participação do PIB nacional. O baixo desempenho, segundo a instituição, é devido aos elevados custos dos insumos para a produção agrícola dentro da porteira. Na cidade de Dourados MS a produção de milho de segunda safra – no setor de agricultura empresarial, os fertilizantes tiveram uma participação média de 13,27% do custo total de produção, sendo o segundo maior da categoria, atrás apenas da aquisição de mudas e sementes (15,07%) (CNA, 2022; CONAB, 2023).

Com base nos dados apresentados, fica evidente que o milho é um dos cereais mais cultivados no Brasil, principalmente devido a suas características fisiológicas e potencial produtivo. Entretanto, atualmente, o preço de comercialização da saca de milho está sob constante queda, alcançando uma média de R\$ 47,50 reais para venda em atacado e R\$ 48,17 reais pelo produtor – esses valores foram publicados pela CONAB no período entre 01 de janeiro de 2024 à 22 de janeiro de 2024 (CONAB, 2024). O milho, dentre várias outras utilidades, pode ser usado como fonte de alimento, biocombustíveis, comercialização, farelo para alimentação de animais, produção de elementos espessantes, colantes e também na produção de óleos e de etanol. Em várias regiões do mundo, o milho tem se tornado a principal fonte de dieta humana, principalmente em regiões de clima tropical (DANFORTH, 2009).

O milho foi originado nas terras altas do México entre 7.000 e 10.000 anos atrás. A data arqueológica foi evidenciada quando o milho foi cultivado pela primeira vez entre os anos de 2000 a 2500 anos a.C. O local de domesticação foi nomeado como “Nac Nelsh” em uma região localizada no sul do Estado de Tamaulipas, no México. Na América Latina, existem 220 espécies de milho nos quais 65 são oriundas do México. A cultura é classificada com base na altitude e no ambiente em que foram inseridas. São dois principais grupos, um de clima tropical e outro de clima temperado, onde o primeiro é marcado por temperaturas mais elevadas e o segundo por ambientes mais frios. (SERNA-SALDIVAR, 2018).

Sobre suas características botânicas, o milho é pertencente a ordem Poales, família Poaceae, subfamília Panicoideae, tribu Maydeae, gênero *Zea*, espécie *Zea mays*. Se trata de uma planta herbácea e anual, possui um ciclo de cinco meses após o seu estabelecimento. É também uma planta monoica, onde as flores femininas estão inseridas nas axilas das folhas (espigas) e as masculinas na parte superior (panículas). Sobre a fenologia da espécie, esta é dividida em dois principais estádios, os vegetativos e os reprodutivos. A fase vegetativa é marcada pela emergência (VE) até o pendoamento (VT), enquanto que a fase reprodutiva é

dividida em florescimento (R1), grão leitoso (R2), grão pastoso (R3), grão farináceo ou duro (R4) e maturidade fisiológica (R6) (SILVA et al., 2021a).

O crescimento e desenvolvimento da cultura do milho é bastante variável e é extremamente dependente de fatores como temperatura, fotoperíodo, altitude e práticas de manejo agrônômico, principalmente às relacionadas a disponibilidade de água e nutrição, os quais atuam diretamente na maturação vegetal. A duração do ciclo pode ser precoce (até 110 dias), intermediário (110 a 120 dias) e tardio (maior que 120 dias) de acordo com cada variedade. Com base nesses aspectos, o melhoramento genético do milho buscou ao longo dos anos aprimorar sua tolerância a fatores abióticos, como temperaturas extremas, estresse hídrico, nutrientes, etc., e bióticos como ataque de insetos, doenças e plantas daninhas. Além disso, a sua composição nutricional foi alterada, onde componentes como matéria seca (48%), nitrogênio (1,44 %) e fósforo (0,69%) foram direcionados em grande quantidade para os grãos e potássio para o pedúnculo (DANFORTH, 2009).

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2022), a produção brasileira na safra 21/22 de milho 1º, 2º e 3º safra, alcançou um total de 113.272,1 toneladas de grãos, um aumento de quase 30,1% em relação à safra 20/21. A área destinada a essa produção, foi de 21.581,9 mil hectares, que também foi superior a safra 20/21, apresentando um aumento de quase 7,6%. A produtividade média atingida foi de 5.499 kg/ha, o que representa cerca de 3,3% a menos em relação à safra anterior, ou seja, a maior produção está ligada ao aumento da área utilizada e não necessariamente a produtividade. No Mato Grosso do Sul, o milho de segunda safra não foi constatado prejuízos na qualidade de grãos, porém eventos como ventos fortes e ataques de pragas provocaram tombamentos na cultura, fazendo com que a produtividade média no Estado se mantivesse praticamente inalterada (5.540 kg ha⁻¹).

A busca pela alta produtividade é sempre importante do ponto de vista financeiro. Entretanto, para que isso ocorra, a tomada de decisão sobre o manejo da cultura é crucial e importante. A escolha de um material genético por exemplo, é fundamental para a obtenção de seu máximo potencial produtivo dentro das condições do ambiente em que estão inseridos. Em geral, a escolha de uma cultivar correta, a fertilidade do solo, taxa de semeadura adequada, controle de plantas daninhas, pragas e doenças, são geralmente os principais fatores influenciam os resultados. Contudo, a precipitação excessiva ou deficitária, o tipo de solo e o sistema de produção adotado, podem estimular positivamente ou não, a produção final (KEERTHANA, 2021).

Fatores importantes como a qualidade do solo, começaram a ser amplamente discutidas no início da década de 1990. Onde eram descritas em publicações, a importância do solo para a qualidade ambiental e preocupações relacionadas a degradação de recursos naturais e sustentabilidade agrícola (Vazanni e Mielniczuk, 2009). Doran e Parkin (1994) define a qualidade do solo pela sua capacidade em exercer suas funções dentro dos moldes do ecossistema natural ou manejado, para que haja o sustento da produtividade vegetal e animal promovendo a manutenção ou incremento da qualidade do ar e da água, sendo capaz de conservar a sanidade de plantas, animais e do homem.

Portanto, conhecer as exigências da cultura do milho e correlaciona-las com as características edafoclimáticas de cada região é essencial para se evitar lacunas de produtividade. Nesse sentido, o bom planejamento e a boa gestão começam a assumir papéis importantes para o manejo e condução da cultura. O preparo e a conservação da qualidade do solo para a produção agrícola, a definição da data de plantio e a variedade a ser cultivada, são alvos de manejo agrônomo eficiente e que devem ser levados em conta dentro dos sistemas agrícolas (RIBEIRO, 2021).

2.2 A IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE DO SOLO PARA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Segundo Ibáñez e Jaume (2001), o solo é um complexo de sistema aberto, um corpo natural, na qual a biosfera, litosfera e hidrosfera se interagem entre si (IBÁÑEZ e JAUME, 2001). Entretanto, outros autores como Nortcliff et al. (1991), definem o solo como uma fina camada de terra, na qual a área de cobertura da superfície é resultado do intemperismo *in situ* do material rochoso, ou pelo acúmulo de minerais transportados pela água, vento ou gelo. As características que distinguem o solo para esse mineral intemperizado é principalmente o material orgânico presente. Dentro do sistema de produção, a matéria orgânica do solo começa a ser vista como um resultado da conservação e melhoramento do perfil do solo, e exerce elevada influencia na qualidade do ambiente – em regiões de climas tropicais e subtropicais – e na produtividade (SALOMÃO et al., 2020)

Nesse contexto, a estrutura do solo passa a exercer grande importância. É o resultado de uma organização espacial, que somado ao arranjo de partículas no solo, formam poros e canais. É um composto de qualidade que exerce controle significativo sobre a maioria dos processos físicos, químicos e biológicos que regem os solos, tanto àqueles que são naturais, como os antropogênicamente alterados. Além disso, são responsáveis pelo transporte e armazenamento de líquidos, gases e calor; penetração e proliferação de raízes; manutenção da

vida da biomassa do solo, e; decomposição e armazenamento de matéria orgânica (HUANG et al., 2012).

Em sistemas agrícolas, a definição de um solo de qualidade é dada pela sua capacidade de promover a sustentação e manutenção da produtividade biológica dentro do ecossistema, sem causar danos ambientais e mantendo a sanidade das plantas e dos animais. Pode ser avaliado de forma eficiente utilizando indicadores químicos, físicos e biológicos, técnica amplamente aplicada no mercado (CHAVES et al., 2022). Nesse sentido, a microbiologia do solo tem um papel consolidador, tanto dos atributos físicos, como químicos do solo, devido a sua complexidade em mediar fluxos de matéria e energia nesses sistemas. A microbiota do solo, pode realizar papéis biológicos importantes do ponto de vista produtivo, como ciclagem de nutrientes, formação de matéria orgânica, promoção da estabilidade de agregados do solo e pela emissão de micélios, como é o caso por exemplo de fungos micorrízicos arbusculares (TOMÁS, 2022). Compreender o comportamento e a dinâmica dos microrganismos do solo, permite avaliar práticas de uso do solo, auxiliando na sua manutenção ou aprimorando sua qualidade a longo prazo.

O estudo de como as plantas crescem, como variam durante o seu desenvolvimento e como se comportam às mudanças, têm sido objeto de estudo há milhões de anos. Nessa vertente, o solo desempenha um papel fundamental, que vai desde o fornecimento de água e estrutura para fixação de plantas, até o suporte para comunidades de organismos ali presentes. O suprimento de água e nutrientes para o desenvolvimento dos vegetais é imprescindível para sua subsistência. E para que estes elementos sejam metabolizados pela planta, primeiramente devem ser absorvidos pelas membranas da raiz, através dos pelos radiculares. Qualquer forma de interferência nesse complexo, podem resultar em prejuízos no desenvolvimento e produtividade das culturas (GREGORY, 2013).

A fertilidade do solo, é um dos fatores de produção mais importante dentro do sistema de produção, cuja a definição pode ser expressa pela capacidade do solo em suprir elementos essenciais para o crescimento das plantas sem causar toxicidade. Porém, o solo é um sistema aberto, onde muito desses elementos são exportados via grãos, fixados por diversas interações que ocorrem no solo, ou mesmo removidos por processos de lixiviação e erosão (FOTH e ELLIS, 2018; RODRIGUES, 2020). Nesse sentido, para corrigir deficiências e desbalanços nutricionais que comumente ocorrem nas culturas, são utilizados fertilizantes, que são importantes promotores de crescimento, produção e qualidade do material vegetal. Tanto fertilizantes como defensivos químicos, podem ser aplicados ou pulverizados através de soluções, suspensões, emulsões, ou em forma de sólidos para o solo e plantas (WHITE, 2013).

As condições físicas, químicas e a qualidade do solo, têm efeito profundo no suprimento de nutrientes para as plantas, bem como na capacidade do vegetal em ter acesso a esses elementos (OMAFRA, 2006). Porém, quando os fertilizantes são aplicados em doses excessivas, podem trazer consequências indesejáveis, como por exemplo a contaminação e eutrofização do lençol freático, acidificação do solo e emissões de gases tóxicos para a atmosfera. Por isso é sempre importante buscar o equilíbrio no sistema, para que se forneça nutrientes para as plantas em níveis adequados, sem que haja danos ao meio ambiente e no desenvolvimento vegetal e/ou animal (RODRIGUES, 2020).

Com relação às características de solo em Mato Grosso do Sul, as principais classes encontradas na região são, Latossolo Vermelho Distrófico (23,4%), Neossolo Quartzarênico (16,5%) e Latossolo Vermelho Distroférico (10,8%), que juntos compõe aproximadamente a metade de sua área. Esses solos são comumente de baixa fertilidade, implicando sempre na necessidade de adoção de medidas para corrigir e adubar o solo. Contudo, o uso de insumos para a realização de tais manejos, estão ficando cada vez mais onerosos, devido aos elevados custos empregados em corretivos e sobretudo nos fertilizantes (INOCÊNCIO, 2009).

2.3 MICROBIOLOGIA DO SOLO

Recentemente, o estudo relacionado ao potencial que os microrganismos possuem dentro do sistema de produção, tem dado ênfase para explorar e estudar assuntos relacionados a atividade microbiana habitantes no solo. Desde o começo do século XIX, os microrganismos do solo têm ganhado importância, sendo considerados primariamente como indutores de processos bioquímicos que são benéficos para o ecossistema (ADHYA et al., 2017). Esses organismos são responsáveis por diferentes processos de decomposição de substâncias orgânicas, transformações de elementos e também ciclagem de nutrientes, que são essenciais para a produção animal e vegetal. Entretanto, existem microrganismos que são nocivos e danosos e agem como patógenos, afetando diretamente ou liberando substâncias tóxicas no ecossistema do solo.

O melhor entendimento sobre a microbiologia do solo é, portanto, importante para interpretar seus impactos na agricultura e no ambiente. Estudiosos não focam apenas na diversidade de microrganismos no solo, mas também nas suas interações com o ambiente e outros organismos existentes (ADHYA et al., 2017). Segundo Paul (2015), a maioria da biomassa presente no solo (C-BMS) está localizada nos primeiros 10 cm do perfil e vai diminuindo à medida que se avança em profundidade. Aproximadamente 65% dessa biomassa,

é encontrada 25 cm do solo a partir da superfície e abaixo disso, a densidade é declinada em uma magnitude de um para três. Bactérias Gram negativas, fungos e protozoários, são mais concentrados na superfície, ao passo que, bactérias Gram negativas, Actinobactérias e Arqueobactérias tendem a aumentar em profundidade (Paul, 2015).

As plantas sobrevivem em um ambiente complexo, sendo submetidas a vários agentes bióticos e abióticos. Como todo sistema biológico, esses agentes tendem a interagir com o corpo da planta. Os microrganismos estão em uma porção maior dentro do ecossistema, onde juntamente com as plantas, têm desenvolvido mecanismos moleculares capazes de interagir entre si, criando uma espécie relação benéfica. Essa relação mutualística, gera benefícios não só para os microrganismos, mas também para as plantas. Quase 80% de espécies de plantas, incluindo samambaias, angiospermas, gimnospermas lenhosas e gramíneas, podem ser encontradas em simbiose com fungos micorrízicos (ectomicorizas, endomicorizas, micorizas vesículas arbusculares, ericoide e micorizas orquidóides). Essa associação simbiótica, visa biologicamente melhorar o crescimento de plantas através do aprimoramento na absorção de nutrientes, enquanto que os fungos são beneficiados com carboidratos, lipídios e instalação nas raízes (HAKEEM, 2016).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) na história da evolução, teve seu ciclo de vida e estrutura genética praticamente inalterada, conservando características morfológicas e fisiológicas, sendo até mesmo qualificados como “fósseis vivos”. Quando os FMA colonizam as raízes das plantas, são formadas estruturas intracelulares diferenciadas chamadas de arbúsculos. Para crescer dentro do córtex das raízes, os FMA desenvolvem um micélio extrarradicular extensivo no perfil do solo, sendo o comprimento muito variável entre as espécies. Os FMA são capazes de translocar nutrientes e minerais presentes no solo para o interior do sistema radicular das plantas, principalmente fosfato e água, sendo, portanto, um importante mecanismo contra estresse hídrico e nutricional. Além do mais, a simbiose pode dar resistência aos vegetais contra estresse biótico, como por exemplo ataques de patógenos, e estresse abiótico, como filtros à metais pesados presentes no solo. Uma importante função do micélio extrarradicular, é a formação de uma hifa em comum, capaz de unir diferentes plantas, gerando benefícios ainda mais significativos para ambos (DIXON e TILSTON, 2010).

O solo é um ambiente estruturado, capaz de abrigar uma riqueza de organismos de diversas atividades e funções. Entre estes, os microrganismos possuem um papel central, sendo como já mencionado, mediadores de diversos processos no solo. Para entende-los, não basta apenas caracterizar a composição das comunidades de microrganismos presentes, mas também mensurar taxas com que esses processos ocorrem no solo e estabelecer uma relação entre elas

(BALDRIAN, 2019; ELSAS et al., 2019). Segundo Trivedi et al. (2019), em seu estudo sobre “perdas da diversidade funcional microbiana reduz a taxa de processos “chave” do solo”, relatam que organismos são responsáveis por influenciar funções ecossistêmicas especializadas como nitrificação, desnitrificação e fluxo de metano. Esse conhecimento segundo os autores, é essencial para o desenvolvimento de novos entendimentos sobre consequências que comunidades de microrganismos podem causar no ambiente, seja positiva ou negativa.

Dentre às variáveis passíveis de serem avaliadas e que podem refletir a atividade de microrganismos, é a biomassa microbiana (C-BMS). A matéria orgânica e a biomassa microbiana estão intimamente relacionadas, onde alterações da matéria orgânica podem ser antecipadamente detectadas através de mensuração da biomassa microbiana (JUNIOR, 2021). A C-BMS é a parte viva e mais biologicamente ativa da matéria orgânica, comumente expressa por μg de C g^{-1} de solo seco ou mg de C kg^{-1} de solo (BONATO, 2021). A respiração basal (C- CO_2), além de estar também relacionada a matéria orgânica do solo, é um parâmetro que reflete a velocidade de decomposição de resíduos orgânicos, onde sua elevada atividade pode gerar liberação de nutrientes para as plantas de forma mais rápida. A respiração basal microbiana é geralmente expressa por μg g^{-1} solo dia^{-1} ou mg de C- CO_2 Kg^{-1} solo hora^{-1} (BONATO, 2021; NOVAK et al., 2022).

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) indica a eficiência microbiana e é obtida através da razão entre C- CO_2 e C-BMS. De forma geral, um baixo quociente metabólico representa uma certa economia no gasto energético microbiano e indica que o ambiente está consideravelmente estável ou próximo do seu estado de equilíbrio. Por outro lado, valores elevados indicam que a biomassa microbiana do solo passa por algum tipo de “estresse”, como por exemplo metais pesados, limitações de nutrientes, baixo pH, etc., e/ou; de perturbação de ordem ambiental, como cultivo, queimada, temperatura do solo, umidade, etc. (SILVA et al., 2021b).

2.4 FERTILIZANTES

O uso de fertilizantes mineral, é um dos grandes fatores que mantém a segurança alimentar nos dias atuais. Mais de 48% de 7 bilhões de pessoas que vivem hoje em nosso planeta, se sustentam através do aumento da produção favorecida pelo uso de fertilizantes. Sem fertilizantes, estima-se que o mundo produziria metade dos alimentos básicos que atualmente é produzido, além de que, áreas florestais, também deveriam ser inclusas nos sistemas de produção agrícola para garantir a segurança e o sustento da população. Há projeções em que a população mundial em 2050 chegará à marca de 9 bilhões de pessoas. A FAO's (Food and

Agriculture Organization of the United Nations), estimou que na agricultura mundial, a produção em 2050 pode alcançar um valor superior a 60% comparada com a apresentada em 2005/2007 (REETZ, 2016).

Segundo Chand (2014), o fertilizante é qualquer material natural ou fabricado, seco ou líquido, que é adicionado ao solo a fim de suprir as necessidades nutricionais de uma ou mais plantas. A eficiência do uso desses produtos, é o resultado de uma série de interações entre o genótipo da planta e o ambiente, incluindo fatores bióticos e abióticos. O solo representa, neste contexto, suporte para o crescimento das plantas e reserva de água e nutrientes. Alguns fatores como, textura do solo, conteúdo de água, reações que ocorrem no solo, salinidade e escassez de nutrientes, exercem grande influência na eficiência de uso de fertilizantes (BARŁÓG et al., 2022).

A aplicação de fertilizantes, melhora a qualidade de recuperação de produtos em atividades agrícolas, sendo um dos segmentos mais importantes para a agricultura, principalmente os fertilizantes não orgânicos, como fosfatos, nitratos, amônios e potássicos. Entretanto o uso excessivo desses químicos, podem resultar em graves problemas ambientais, justamente em função dos metais pesados que alguns desses produtos podem conter, como mercúrio (Hg), cádmio (Cd), arsênio (As), chumbo (Pb), cobre (Cu), níquel (Ni), e; radionuclídeos como urânio (^{238}U), tório (^{232}Th) e polônio (^{210}Po). Além disso, caso não bem manejado, os fertilizantes podem causar poluição de água, do solo e do ar, contudo, a sedimentação, presença de determinados nutrientes, diluição, pressão de aplicação, filtração e alguns métodos físicos e químicos, podem ser fatores efetivos que podem mitigar esses processos, principalmente no que diz respeito a prevenção contra a eutrofização dos cursos d'água (SAVCI, 2012).

Em 2021, foi realizado no Brasil o IV Congresso Brasileiro de Rochagem (CBR) com a finalidade de promover o estabelecimento de novos paradigmas e ferramentas entre os setores produtivos. O uso de remineralizadores está crescendo em ritmo acelerado, tanto que há ações governamentais estaduais e federais, que fomentam a promoção da divulgação dos benefícios trazidos por esses insumos por meio de veículos de comunicação como televisão, sites, jornais, revistas e outros, afim de expandir o uso desses produtos. O CBR é realizado a cada dois anos, e são feitas reuniões entre instituições/empresas privadas e públicas como o Ministério de Minas e Energia (MME); Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTIC), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Um dos objetivos é divulgar pesquisas sobre a prospecção e avaliação de fontes regionais de nutrientes, bem como

a normatização para o uso de remineralizadores, liberação de nutrientes, intemperismo do solo, interação mineral-planta-microrganismos, avaliação e desenvolvimento de remineralizadores para a agricultura (RODRIGUES, 2020; THEODORO, 2021).

2.5 PÓ DE ROCHA

No Brasil, existem vários tipos de pó de rocha que podem ser encontrados no mercado, são algum deles fonolito, kamafigito, biotita xisto, micaxisto, basalto e silito glauconíticos (TEIXEIRA et al., 2012; SOUZA et al., 2016; TOMAZ, 2020; FERREIRA, 2021; EUTRÓPIO, 2021; FLAUZINO, 2023). Em Mato Grosso do Sul, do sul ao norte do Estado ocorrem rochas basálticas, rochas alcalinas no Fecho dos Morros e Morro Pão de Açúcar e calcários e fosfatos na Serra da Bodoquena (DETTMER, 2021).

O Brasil é um dos países que mais se destaca quando o assunto é uso de tecnologias concernentes ao manejo do solo e uso adequado de fertilizantes (MORAES, 2021). O cultivo de plantas tropicais em seus diferentes ciclos, favoreceu o a produção de diversas culturas em todo o território nacional. Entretanto, a agricultura brasileira precisa se adequar a uma sociedade cada vez mais exigente, principalmente no que se refere ao desenvolvimento sustentável pautado no uso racional de fontes alternativas de fertilizantes, que possibilite a produção de alimentos de uma forma mais renovável (MORAES, 2021).

A maioria dos solos brasileiros são altamente intemperizados, ácidos e de baixa capacidade de troca de cátions (CTC). Contudo, com a correção da acidez do solo e da fertilidade, torna-se possível a produção de plantas. A correção da fertilidade do solo, geralmente é realizada através da aplicação de fertilizantes solúveis, para suprir as exigências de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) das plantas, além de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) pelo uso de corretivos (LUCHESE et al., 2021).

O uso de pós de rocha na agricultura, tem ganhado cada vez mais foco na agricultura nacional, principalmente como uma forma alternativa de adubação em sistemas orgânicos de produção. Nesses sistemas, existem restrições sobre o uso de fertilizantes solúveis e o uso de remineralizadores podem suprir as necessidades nutricionais das plantas de forma eficiente e econômica. Através da aplicação de pó de rocha, fatores físicos e químicos do solo são melhorados, minimizando impactos ambientais e garantindo uma boa produtividade. Alguns tipos de rochas utilizadas nos remineralizadores, fornecem nutrientes para o crescimento completo de plantas por um período superior a cinco anos após a sua incorporação no solo. (CUNHA et al., 2021; RAMOS, 2022).

A Lei Nº 12.890, de 10 de dezembro De 2013, cita o remineralizador como um material de origem mineral que tenha sofrido unicamente processos de redução, sendo classificados de tamanho por processos mecânicos e que ainda exerçam influências sobre os índices de fertilidades do solo através da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como efeitos de melhorias nas propriedades físicas, físico-químicas ou sobre a atividade biológica do solo. A eficiência do pó de rocha é dependente da geoquímica, mineralogia, granulometria advindas das rochas moídas e das condições edafoclimáticas, sendo estas promotoras de transformações mineralógicas das rochas do solo na rizosfera (SOUZA, 2022).

Efeitos positivos da aplicação de pó de rocha tem sido reportado em vários estudos nos continentes, especialmente locais onde prevalecem solos muito intemperizados e ácidos, como África, Ásia, América Central e América do Sul (SWOBODA, 2016). Nesses solos, os processos de intemperização das rochas levaram milhões de anos para acontecer, originando solos mais “velhos” e profundos, sem quaisquer indícios das rochas primárias. Uma vez que a intemperização é favorecida por condições levemente a fortemente acidas, a aplicação de pó de rocha como emenda do solo pode favorecer ambientes mais quentes e úmidos, onde a taxa de dissolução, e, portanto, disponibilização de nutrientes, podem ser aprimoradas (SWOBODA, 2016).

2.6 AVALIAÇÃO AGRONÔMICA DA ROCHAGEM

Em um estudo realizado por Ramos et al. (2022), avaliou-se os efeitos do uso de pó de rocha (remineralizadores) para aumentar os níveis de fertilidade do solo. Neste trabalho, os autores realizaram o levantamento de vários estudos que trataram de aspectos relacionados a remineralização do solo, absorção de contaminantes em efluentes e sequestro de carbono. Segundo os autores, os remineralizadores contribuiu de maneira significativa para o aumento da produtividade agrícola, restauração de áreas degradadas, descontaminação cursos d’água e sequestro de carbono, isso baseado em várias pesquisas feitas ao redor do mundo. O pó de rocha, segundo os autores, pode ser uma importante opção para a produção de alimentos, especialmente em países tropicais onde há elevado número de importações de insumos químicos, como o Brasil.

Segundo Swoboda et al. (2022), em seus estudos foi constatado que o uso de pó de rocha pode não ser um “avanço” autossuficiente em sistemas de produção sustentáveis, mas podem contribuir para evitar a fome zero, consumo e produção sustentável, efeito mitigatório sobre influências de mudanças climáticas e recuperação de áreas degradadas. Com base nos

dados apresentados pelos autores, com a aplicação do pó de rocha houve aumento no rendimento, principalmente em solos ácidos e oxidícos. Houve incremento nas concentrações de K, Ca, Zn e Fe^{2+} , P e do pH de 0,2 a 2 unidades; de enzimas como sacarase, catalase, fosfatase, urease, xilanase e protease; de atividades como nitrificação e respiração basal; da biomassa do solo; redução de alumínio (Al) e manganês (Mn) tóxico, e; da capacidade de campo (CC) em solos arenosos.

Almeida Júnior et al. (2020) utilizaram pó de rocha “basalto gabro” em doses crescentes com objetivo de avaliar as variáveis tecnológicas do híbrido de milho DK 390 PRO. Para o estande final, o tratamento com dose zero de pó de rocha foi inferior aos outros tratamentos que continham doses maiores. Entretanto, todos os tratamentos com pó de rocha foram iguais estatisticamente. Já a produtividade, foi superior no tratamento em que continha a maior dose (30 t ha^{-1}) com $7761,75 \text{ Kg ha}^{-1}$, sendo igual estatisticamente aos tratamentos T2 (6 t ha^{-1}) ao T10 ($27,6 \text{ t ha}^{-1}$), enquanto que o peso de mil grãos foi maior em T2 e T5 (305,00 gramas). Com base nesses resultados, é possível constatar que há a possibilidade de utilizar o pó de rocha na cultura do milho como fonte alternativa de adubação do solo.

Dettmer (2021) realizou um trabalho intitulado “Uso de pó de rocha como fonte alternativa de adubação em cultivos anuais para as culturas de soja e milho, sob contextos técnicos e econômicos no Mato Grosso do Sul”. Neste experimento, o autor avaliou economicamente o uso da rochagem como fonte alternativa de adubação em culturas de soja e milho segunda safra em três safras subsequentes (2018/19, 2019/20 e 2020/21). No tratamento I foi utilizado NPK, enquanto que nos tratamentos II e III receberam doses de 12 e 6 Mg ha^{-1} , respectivamente. Os melhores resultados em termos de produtividade (kg ha^{-1}) e retorno econômico ($\text{R\$ ha}^{-1}$), foram verificados no tratamento III, onde foram utilizadas doses de 6,00; 2,50 e $0,25 \text{ Mg ha}^{-1}$. Segundo o autor, o pó de rocha demonstrou ser boa alternativa em termos técnicos e econômicos.

Alovisi et al. (2014) avaliaram a produtividade de milho em resposta a utilização de pó de rochas basalto e serpentinito em doses crescentes de 0, 2, 4, 8, 16 t ha^{-1} . Segundo os autores, as variáveis de produtividade, tamanho de espiga, diâmetro de espiga e número de fileiras de grãos de milho, não apresentaram interações entre si com doses de pó de basalto com e sem a utilização de bioativo. Neste caso, tanto as doses de serpentinito quanto as de pó de basalto, não influenciaram o rendimento e a produtividade de grãos de milho.

Silva et al. (2019) realizaram um trabalho com objetivo de avaliar características agronômicas da cultivar M-SOY 8372 (soja) adubada em diferentes doses de pó de rocha. As doses eram crescentes e variaram de 0,0 a 27 Mg ha^{-1} entre os tratamentos. Segundo os

resultados apresentados, conforme as doses aumentaram houve também um incremento significativo, tanto em número de vagens por planta, quanto em produtividade, obtendo respectivamente valores máximos de 80 vagens por planta e 5,5 Mg ha⁻¹. Já o peso de mil grãos foi pouco variável e não apresentaram médias significativamente diferentes entre si, onde se teve médias que variaram entre 130 a 155 g entre os tratamentos. Neste trabalho, os autores concluíram que o pó de rocha teve grande eficiência se comparado aos fertilizantes já adotados na atualidade, podendo até mesmo substituí-los sem perder em produtividade.

Em um experimento realizando em Hernandarias no Paraguai por Marques et al. (2020) na safra 2016/17, avaliou-se a eficiência agrônômica de fertilizantes a base de húmus, pó de rocha e minerais na produção da soja. Embora a produtividade não seja tão variável entre os tratamentos, os autores concluem que, a mistura de 30% de húmus com pó de rocha, juntamente com 70 % de NPK nas formulações 4:40:10 e 4:30:10, foram os mais promissores para a produção de soja em Latossolos. Esta mistura, segundo os autores, repôs 30% da composição e obteve 100% dos resultados apresentados pelos fertilizantes minerais, o que mostra que o pó de rocha pode ser utilizado de diversas formas e podem garantir uma boa rentabilidade através da promoção do crescimento e desenvolvimento de plantas, desde que aplicados de forma adequada e em doses corretas e controladas.

Em consequência da alta demanda por produção de alimentos em países produtores como o Brasil, ocorre o uso excessivo do solo, gerando impactos ambientais severos, principalmente no que diz respeito a diversidade e qualidade biológica. A utilização de microrganismos como bioindicadores de qualidade do solo, tem sido amplamente empregados em função do seu importante papel na conservação dos ecossistemas, sensibilidade a variações ambientais e na produção agrícola (SANTOS, 2014).

A biossolubilização do pó de rocha através de microrganismos, pode reduzir o tempo de solubilização dos nutrientes oriundos desse material, culminando num ambiente mais favorável a microbiota do solo bem como para o seu funcionamento, o que pode implicar em diminuições consideráveis de gastos com corretivos e fertilizantes (SOUZA,2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O experimento foi instalado na Fazenda Experimental de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (FAECA - UFGD), no município de Dourados – MS, com latitude 22°13'16" S, longitude de 54°48'2" W e altitude de 430 metros. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico, de textura muito argilosa (SANTOS et al., 2018).

O clima da região, conforme a classificação de Köppen é do tipo Cwa (clima mesotérmico úmido, verões quentes e invernos secos (FIETZ, 2008), com precipitação média anual de 1.400 mm. Os dados climáticos referentes aos valores médios de precipitação pluviométrica e de temperatura foram obtidos na estação meteorológica da EMBRAPA Agropecuária Oeste- Guia clima, situada na cidade de Dourados/MS., durante os períodos de avaliação do experimento (Figura 1).

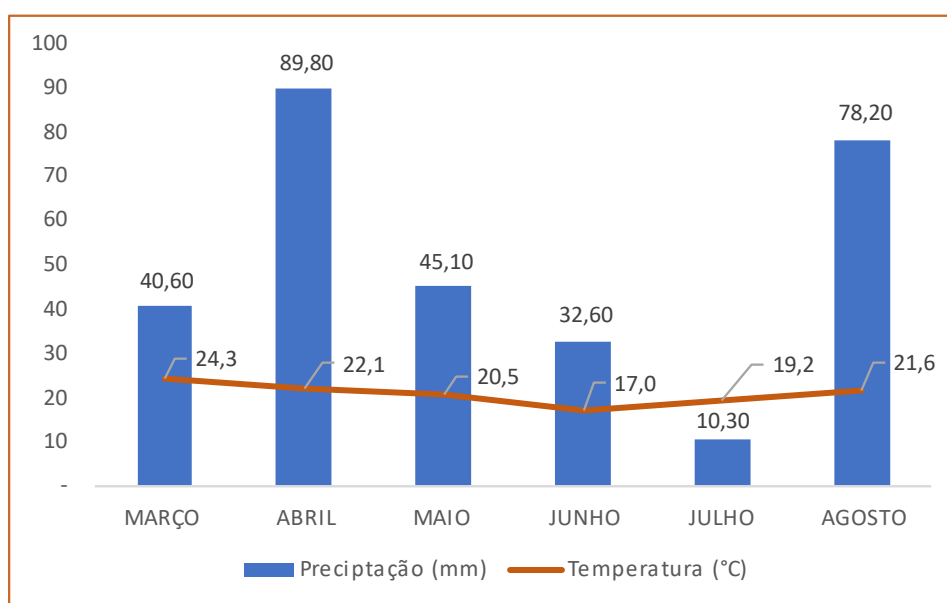


Figura 1. Dados mensais de precipitação pluvial acumulada (mm) e temperatura média (C°) (Tmed). Fonte: Embrapa Agropecuária Oeste – Guia clima (2023).

O experimento foi desenvolvido no ano agrícola 2023, porém, desde 2014 essa área já era cultivada com culturas anuais, após correção e preparo do solo. O pó de basalto tem sido aplicado desde a safra da soja 2021/22, sendo reaplicado novamente na 2023/24. Desde então,

os tratamentos de sucessão de culturas, caracterizado pelo cultivo de soja na primeira safra e milho solteiro na segunda safra (safrinha) foram implantados todos os anos no mesmo local.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental em blocos casualizados, com doze repetições. As parcelas foram constituídas por 8 linhas de cultivo de milho de 15 metros de comprimento, espaçadas em 0,9 m, perfazendo uma área total de 105 m². Os tratamentos utilizados foram milho com e sem pó de rocha e a cultivar de milho foi a K9606VIP3 da empresa KWS.

A granulometria do pó de basalto aplicado no experimento está em acordo com as normas da ABNT para classificação de corretivos e fertilizantes, sendo que 100% do produto passou em peneira de malha 0,84 mm e 50% em peneira de malha 0,3 mm. O valor de pH (suspensão 1:1) do material é de 9,7 e a composição química total da rocha basáltica é de: SiO₂: 51,4%, CaO: 8,32%, MgO: 3,58%, K₂O: 3,42%; Zn: 56,5 mg kg⁻¹, Cu: 182 mg kg⁻¹, Ni: 3,77 mg kg⁻¹, B: 107 mg kg⁻¹, Cl: 798 mg kg⁻¹, Co: 9,65 mg kg⁻¹, Fe: 22.000 mg kg⁻¹, Mn: 394 mg kg⁻¹, os elementos Cd, As, Pb, Hg e Mo se encontravam abaixo da faixa de quantificação. Os elementos macro e micro foram determinados por espectrometria de emissão, ICP. O pó de basalto foi aplicado manualmente na superfície das parcelas 30 dias antes da semeadura da soja, safra 2021/22, sem incorporação, na dose de 7 Mg ha⁻¹.

3.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

A semeadura do milho foi realizada em sistema plantio direto no dia 20 de março de 2024. Foi utilizada a semeadora-adubadora modelo pneumático com 6 linhas de milho equipada para plantio direto, com linhas espaçadas entre si em 0,9 m, reguladas para distribuir 5 sementes por metro na profundidade de 2 a 5 cm, objetivado um estande final de 50.000 plantas por hectare.

A adubação de semeadura para todos os tratamentos foi de 150 kg ha⁻¹ do formulado 00-02-20 e no estágio fenológico V2 da cultura, realizou-se a adubação de cobertura com 200 kg ha⁻¹ de N, utilizando a ureia (45% de N) como fonte de N.

Durante a condução do experimento, foram realizados manejo das plantas daninhas e controle de pragas e doenças quando necessário de acordo com as recomendações para a cultura.

3.4 AVALIAÇÕES DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DO SOLO E DA CULTURA DO MILHO

3.4.1 Atributos químicos do solo

Antes da semeadura do milho foi coletado solo nas profundidades de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, retirando-se quatro amostras compostas em cada profundidade por parcela, cada uma constituindo uma repetição. As análises químicas do solo foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do solo da Faculdade de Ciências Agrárias-UFGD, localizada em Dourados-MS. Foram analisados: pH em água, pH CaCl₂, M.O, Ca, Mg, K, P Melich-1, Al e H+Al de acordo com metodologia de Claessen (1997) e estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos químicos do solo antes da semeadura do milho, nas profundidades de 0,0-0,2 e 0,2 - 0,4 m, com e sem pó de rocha. Dourados-MS. 2024.

Profundidade (cm)	pH (CaCl ₂)	pH (H ₂ O)	M.O	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V%
			g dm ⁻³	mg dm ⁻³						Cmol.dm ⁻³		%
Sem pó de rocha												
0-20	5,45	6,10	46,59	13,60	0,28	10,26	5,29	3,21	0,0	15,83	19,05	83,01
20-40	5,39	6,05	46,29	13,29	0,26	10,84	5,26	3,29	0,0	16,36	19,65	82,99
Com pó de rocha												
0-20	5,32	5,99	49,00	15,21	0,42	10,19	5,41	3,00	0,0	16,02	19,02	83,64
20-40	5,41	6,07	47,50	15,09	0,42	11,04	5,51	3,46	0,0	16,97	20,44	82,79

Após a colheita do milho foram coletadas amostras de solo, nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m, para a determinação dos atributos químicos do solo, de acordo com metodologia de Claessen (1997).

3.4.2 Avaliação da cultura do milho

Para avaliação dos componentes de produção e produtividade foram amostradas duas linhas centrais de cinco metros excluindo-se a bordadura de 7,5 m de cada extremidade, perfazendo uma área útil de 9,0 m² por parcela, onde foram determinadas as variáveis referentes aos componentes produtivos do milho sendo:

I - Número de plantas de milho (NPLM) e número de espigas de milho (NE): determinadas pela contagem de plantas e espigas em duas linhas centrais com cinco metros de comprimento correspondendo a uma área útil de 9,0 m² em cada parcela e os resultados foram extrapolados para 1 hectare.

II - Diâmetro de colmo (DC), diâmetro de espiga (DE) e comprimento de espiga (CE): as determinações foram realizadas após a colheita manual da área útil. Diâmetro de espiga e de colmo: utilizará paquímetro digital, em milímetros, tomando-se a medida na parte central da espiga e do colmo. Comprimento de espiga: utilizará régua graduada em milímetros, tomando-se a distância entre a base e a ponta da espiga. Estas avaliações foram feitas em dez espigas e colmos sem palha, escolhidos ao acaso em cada parcela.

III - Número de fileiras de grãos por espiga (NFG) e número de grãos por fileira (NGF): após a colheita do milho, realizará a contagem do número de fileiras de grãos por espiga e do número de grãos por fileira. Foram utilizadas dez espigas por parcela.

IV - Massa de 1000 grãos (M1000): foi determinada de acordo com as Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009).

V - Produtividade de grãos (PG): foi determinada após a debulha das espigas colhidas dentro de cada parcela com área útil de 9,0 m², onde os grãos foram pesados em balança de precisão de duas casas decimais. O rendimento de grãos de milho foi determinado com o teor de umidade de 13%; para corrigir a umidade dos grãos utilizará a equação: $(D = [(U_a - U_c) / (100 - U_c)] \cdot 100)$ onde U_a = umidade atual do produto e U_c = umidade de comercialização (13%). Para calcular a matéria seca de grãos, foi utilizada a equação: $U' = [U / (100 - U)] \cdot 100$, onde U é a umidade atual dos grãos e U' é a % para a correção da umidade) sendo os valores expressos em kg ha⁻¹ (Silva, 2008).

VI - Peso de grão por espiga (PGE): foi obtido pela divisão da produtividade de grãos em kg ha⁻¹ pelo número de espigas por hectare.

VII - Número de grãos por espiga (NGE): foi obtido através equação: (peso de grão por espiga/massa de 1000 grãos) x 1000.

3.4.3 Análise foliar da cultura do milho

Na ocasião do florescimento foram coletadas 10 folhas diagnósticas para a determinação da concentração de N, P, K, Ca e Mg, conforme metodologia descrita em Malavolta et al. (1997).

No laboratório de Fertilidade do Solo da UFGD, procedeu-se a secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 72 h e moagem em moinho tipo Wiley, utilizando-se a peneira com malha de 20 mesh (0,85 mm). A análise química de amostras de tecido foliar foi efetuada conforme Malavolta et al. (1997), os resultados foram expressos em g kg⁻¹.

3.4.4 Atributos microbiológicos do solo

No estágio fenológico R1 (florescimento) foram retiradas quatro amostras compostas do solo na profundidade de 0-0,1 m, cada uma constituindo uma repetição para a determinação da análise microbiológica. As análises microbiológicas foram realizadas no laboratório de Microbiologia da FCA/UFGD.

Para a determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), foi utilizada a metodologia de Vance et al. (1987), adaptada por Silva et al. (2007). A respiração microbiana (C-CO₂) foi obtida pelo método padrão descrito por Amadori et al. (2009). O quociente metabólico (qC-CO₂) foi gerado a partir da razão entre C-CO₂ e C-BMS (ANDERSON e DOMSCH, 1990).

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de variância e no caso de significância, e as médias foram comparadas pelo teste t de Student, a 5% de probabilidade, por meio de software estatístico SISVAR®.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

4.4.3 Camada superficial do solo (0,0-0,2 m)

Não houve efeito da aplicação de pó de basalto ($p < 0,01$) para nenhuma das variáveis analisadas na camada de 0-0,2 m (Tabela 2). Entretanto, de acordo com Sousa e Lobato (2004), os valores de pH, M.O, P, K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC e V% estão dentro dos níveis de suficiências de adequados a altos para o desenvolvimento da cultura.

Tabela 2. Resumo da análise de variância e análise de teores médios dos atributos químicos do solo, acidez do solo (pH), matéria orgânica (M.O), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%), da camada de 0,0-0,2 m, sob efeito da aplicação ou não do pó de basalto. Dourados – MS, 2024.

Fator de variação	pH (CaCl ₂)	pH (H ₂ O)	M.O	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V%
Pó de basalto (P)	0,34ns	0,67ns	0,78ns	0,70ns	0,65ns	0,43ns	0,64ns	0,48ns	0,64ns	0,3,5ns	0,71ns
Média	4,96	5,82	3,12	30,17	114,08	8,12	3,75	3,79	12,12	16,04	76,12
C.V. (%)	9,52	7,0	22,54	45,88	35,01	15,51	22,50	36,84	17,84	14,25	10,40
Pó de basalto											
Sem	4,92 a	5,75 a	3,08 a	24,50 a	110,33 a	7,92 a	3,67 a	3,58 a	11,92 a	15,58 a	76,75 a
com	5,00 a	5,92 a	3,17 a	35,83 a	117,83 a	8,33 a	3,83 a	4,00 a	12,33 a	16,50 a	75,50 a

**, *, ns: significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

4.4.4 Camada subsuperficial do solo (0,2-0,4 m)

Houve efeito da aplicação do pó de basalto ($p < 0,01$), somente para a variável potássio (Tabela 3). Observou aumento no teor de potássio de 83% no solo do tratamento que recebeu pó de basalto. Esse resultado demonstra que o pó de basalto tem efeito potencial, como fonte de K (Tabela 3). De acordo com Sousa e Lobato (2004), os valores de pH, M.O, P, K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC e V% estão dentro dos níveis de suficiências de adequados para o desenvolvimento das culturas anuais.

Tabela 3. Resumo da análise de variância e análise de teores médios dos atributos químicos do solo, acidez do solo (pH), matéria orgânica (M.O), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%), da camada de 0,2-0,4 m, sob efeito da aplicação ou não do pó de basalto. Dourados – MS, 2024.

Fator de variação	pH (CaCl ₂)	pH (H ₂ O)	M.O	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V%
Pó de basalto (P)	0,99ns	0,59ns	0,50ns	0,13ns	0,002**	0,29ns	0,33ns	0,99ns	0,20ns	0,10ns	0,48ns
Média	5,08	5,71	2,58	13,21	27,58	6,04	2,37	3,67	8,58	12,17	69,29
C.V. (%)	10,27	6,38	22,85	57,72	36,87	21,44	25,78	26,0	20,78	15,14	10,96
Pó de basalto											
Sem	5,08 a	5,75 a	2,50 a	10,67 a	19,50 b	5,75 a	2,25 a	3,67 a	8,08 a	11,50 a	68,17 a
Com	5,08 a	5,67 a	2,67 a	15,75 a	35,67 a	6,33 a	2,50 a	3,67 a	9,08 a	12,83 a	70,42 a

**, *, ns: significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

De maneira similar aos resultados encontrados neste experimento, Fonseca et al. (2012) ao avaliar atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico afetados pela aplicação de pó de basalto, constatou um aumento no teor de K até os 60 dias após a incubação nas doses de 8 Mg ha⁻¹ e 12 Mg ha⁻¹. Segundo os autores, a atividade do K no ambiente em volta dos minerais micáceos resulta na dissolução desses minerais, onde em condições de ambientes naturais a precipitação e a formação de fases secundárias em função da supersaturação é o principal mecanismo na dissolução dos silicatos. Os autores afirmam que as reações de dissolução dos elementos que compõe a rocha, nem sempre são liberados e mantidos em solução na mesma proporção estequiométrica dos minerais.

Alovisi et al. (2021) constataram incrementos nos teores de K, Ca e Mg, que segundos os autores, são cátions que são liberados lentamente no solo por estarem presentes em minerais de baixa solubilidade e de alteração lenta. Melo et al. (2012) também constataram essa liberação lenta desses mesmos cátions em doses de até 100 Mg ha⁻¹ utilizando o pó de basalto. Portanto, embora não foram verificados aumento nos teores de Ca e Mg, o maior teor de K neste experimento pode estar relacionado à essa liberação lenta pelo pó de basalto ao longo dos anos.

De modo geral, o residual da aplicação do pó de basalto não influenciou os atributos químicos analisados, nas duas camadas avaliadas, após quatro safras (2021/2022, 2022, 2022/2023 e 2023), no sistema soja-milho. Entretanto, reconhece-se que os efeitos do pó de basalto extrapolam as respostas normalmente observadas com os fertilizantes solúveis, especialmente pelos benefícios aditivos, como condicionamento do solo, de forma que na dose de 7 Mg ha⁻¹ não foi evidenciado desequilíbrios nutricionais.

Os dados apresentados referem-se aos principais resultados observados na segunda safra (safra 2023), com o cultivo do milho. Vale ressaltar que o experimento continua sendo amostrado e analisado periodicamente. Essa é a estratégia do estudo, para que se obtenham informações do efeito residual da aplicação do pó de basalto.

4.5 ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO

A Tabela 4 apresenta o resumo da análise de variância das variáveis C-CO₂ liberado, Carbono da biomassa microbiana (C-BMS) e Quociente Metabólico (qCO₂) obtidos nos tratamentos com e sem aplicação do pó basalto. Observa-se que não houve diferença para nenhuma variável analisada, obtendo médias de 7,0 mg C por 100 g de CO₂ liberado, 81,83 mg

de C por kg de solo (C-BMS) e $38,08 \times 10^{-3}$ de qCO_2 . Portanto, o uso do pó de rocha não interferiu na microbiota do solo e na sua atividade, corroborando com Tebar et al. (2021) que, analisando o efeito residual do pó de rocha basáltica nos atributos químicos e biológicos do solo na soja, constatou que a utilização do remineralizador não trouxe efeitos sobre a atividade microbiana do solo.

Tabela 4. Resumo da análise de variância e análise dos valores médios dos atributos microbiológicos do solo, carbono da biomassa microbiana (C-BMS), C- CO_2 liberado e quociente metabólico (qCO_2) da camada de 0-0,1 m, em relação a aplicação ou não do pó de basalto, Dourados – MS, 2024.

Fator de variação	C-BMS (mg C. kg ⁻¹ solo seco)	C- CO_2 (μ g g ⁻¹ solo dia ⁻¹)	qCO_2 (μ g C- CO_2 μ g ⁻¹ C-BMS h ⁻¹)
Pó de basalto	0,22ns	0,27ns	0,53ns
Média	81,83	7,00	38,08
CV (%)	37,37	45,28	70,40
Pó de basalto			
Sem	73,67 a	7,75 a	41,58 a
Com	90,00 a	6,25 a	34,58 a

ns: não significativo a 5%. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

A biomassa microbiana do solo possui uma estreita relação com a matéria orgânica do solo, podendo ser detectada com antecedência quando a última passa por alguma alteração (REIS JUNIOR e MENDES, 2007). Lourente et al. (2012) avaliaram os atributos químicos e microbiológicos do solo por meio de correlações canônicas e constataram que a matéria orgânica do solo, influenciou muito mais a C-BMS do que os demais atributos.

Feigl et al (1995), citados por Junior e Mendes (2007), encontraram valores médios de C-BMS que variaram entre 536 mg C kg⁻¹ solo a 635 mg C kg⁻¹ solo seco em áreas sob condições de vegetação nativa da Mata de Galeria e do Cerradão em Latossolos da Amazônia. Já Pfenning et al (1992), citados por Junior e Mendes (2007), obtiveram um valor de 822 mg C kg⁻¹ solo na camada de 0 a 5 cm em Latossolo Amarelo Distrófico em Manaus sob área de vegetação nativa. Portanto, valores mais elevados tendem a ocorrer com mais frequência em solos com maiores quantidades de matéria orgânica.

Costa et al (2006) avaliaram a qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto com 8 e 10 anos de cultivo. O carbono da biomassa

microbiana encontrado, foi de 256 e 358 mg C kg⁻¹ solo seco em sistema de plantio direto e de 310 e 228 mg C kg⁻¹ solo em sistema convencional, respectivamente. Isso demonstra que os níveis de C-BMS obtidos neste trabalho estão bem abaixo do esperado, sendo necessário adotar práticas culturais que visem elevar os teores de matéria orgânica do solo e torne o sistema de produção mais produtivo e mais sustentável.

Os valores da respiração microbiana (C-CO₂) encontrados foram similares aos de Santos (2021), que avaliou *Azospirillum* em milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária em solos de cerrado. Foi verificado que a C-CO₂ não diferiu estatisticamente entre os tratamentos, porém quando se avaliou o tipo de solo foram obtidos valores médios de 6,11 e 9,72 µg⁻¹ solo dia⁻¹ para textura arenosa e média, respectivamente.

A respiração microbiana do solo é resultado de uma interação de condições abióticas do solo como a temperatura, umidade e aeração (TEIXEIRA, 2023). Além disso, a quantidade de CO₂ liberada pela respiração dos microrganismos está relacionada também à matéria orgânica do solo. Porém esta é uma variável que deve ser analisada com outros indicadores para que assim se tenha conclusões mais assertivas (SANTOS, 2021).

Bröring (2013) descreveu em seu trabalho que a maior respiração microbiana foi detectada em área de vegetação nativa, com 380 mg g⁻¹ dia⁻¹ quando comparado com pastagem, reflorestamento de eucalipto, reflorestamento de pinus, integração lavoura-pecuária e sistema plantio direto. O autor também aponta que a C-CO₂ é mais elevada em áreas de vegetação nativa quando comparado às áreas voltadas a agricultura, isso ocorre devido à alta cobertura vegetal proporcionado nesses locais o que acaba favorecendo a maior diversidade e atividade da microbiota do solo, devido ao fornecimento constante de nutrientes à comunidade microbiana (SANTOS, 2016). Portanto, com base no exposto, o uso do pó de basalto neste trabalho não trouxe de forma significativa, influência sobre a respiração basal microbiana.

O quociente metabólico (qCO₂) reflete muito bem condições de estresse microbiano, onde valores mais elevados podem ter uma relação direta com o incremento da atividade da microbiota no solo, resultado de um aumento da respiração microbiana (SILVA et al., 2020). Microrganismos que possuem maior eficiência metabólica, perdem menos carbono na forma de CO₂ na respiração e incorpora mais aos seus tecidos (REIS JUNIOR e MENDES, 2007). Por outro lado, condições estressantes e/ou perturbações ambientais, favorecem o aumento da demanda por carbono em decorrência da liberação de CO₂ pela atividade da biomassa microbiana, na tentativa de estabelecer sua manutenção no solo. Gallo et al (2019) verificaram em seu trabalho que, o quociente metabólico excedeu 80 µg C-CO₂ µg⁻¹ C-BMS h⁻¹ no milho solteiro na camada de 0-0,1 m, condições estas que os autores relataram como

estressantes aos microrganismos quando comparado aos sistemas consorciados, que são mais estáveis e próximos do equilíbrio. Isso demonstra que a utilização do pó de basalto não ocasionou nenhum tipo de estresse metabólico microbiano nesse sentido.

4.6 AVALIAÇÃO DA CULTURA DO MILHO

4.6.3 Análise foliar da cultura do milho

Os resultados obtidos permitiram constatar que, o uso de pó de basalto, não influenciou as concentrações de nitrogênio (N), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no tecido foliar (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da análise de variância e concentrações médias de nitrogênio (N) potássio (K), fósforo (P), Cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foliar, em relação a aplicação ou não do pó de basalto, Dourados – MS, 2024.

Fator de variação	N	K	P	Ca	Mg
Pó de rocha	0,77 ns	0,77 ns	0,45 ns	0,52 ns	0,37 ns
Média (g kg ⁻¹)	24,10	22,76	1,98	3,32	1,81
CV (%)	16,82	13,52	12,79	15,49	17,60
Pó de basalto					
Sem	23,66 a	22,57 a	2,02 a	3,39 a	1,86 a
Com	24,35 a	22,94 a	1,94 a	3,25 a	1,75 a

ns: não significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos corroboram com as observações feita por Reis (2021), que verificou que as concentrações de nutrientes de plantas de milho em sucessão ao cultivo de plantas de cobertura não diferiram estatisticamente entre os tratamentos com e sem pó de rocha. Entretanto, Silva (2007) trabalhou com a aplicação de pó de basalto em solo de textura muito argilosa e, observou aumento nos teores de fósforo disponível, o que não foi observado neste experimento.

Seguindo os valores de referência para interpretação dos resultados de análise de tecidos propostos Martinez et al (1999) para a cultura do milho, o Ca (0,25-0,40 dag kg⁻¹) e K

(1,75-2,25 dag kg⁻¹) estão dentro da faixa recomendada, os demais nutrientes como P (0,25-0,35 dag kg⁻¹), N (2,75-3,25 dag kg⁻¹) e Mg (0,25-0,40 dag kg⁻¹) estão abaixo do ideal.

Segundo Gott et al (2014), a aplicação de doses muito elevadas de K resulta em um efeito antagônico à absorção e do teor de Mg na folha. Provavelmente, os teores médios mais altos encontrados na camada de 0,2-0,4 m (Tabela 3), podem ter contribuído com a redução da absorção de Mg pelas plantas, e consequentemente, à sua baixa concentração no tecido foliar.

Já o P possui um efeito sinérgico à absorção de N, de forma que o aumento na sua disponibilidade pode levar a um incremento na absorção de N pelas plantas, uma vez que o P está diretamente envolvido em processos de transferência de energia metabólica, na regulação de reações enzimáticas e no alongamento do sistema radicular, condições estas que propiciam maior absorção de N que é um elemento extremamente móvel no solo (SOUZA e LOBATO, 2004; SICHOCKI, 2014). Embora neste experimento os teores de P e o N estejam em níveis abaixo do ideal nas folhas, não foram detectados sintomas típicos de deficiência de N pelo amarelecimento da ponta para base em forma de “V”, ou de P pelo aparecimento de tons de roxos nas pontas e margens, que são casos mais severos de desnutrição por esses elementos na cultura do milho (COELHO et al., 2007).

O Ca possui uma relação antagônica ao magnésio, em que níveis elevados deste elemento, podem resultar em diminuição na absorção de Mg pelas plantas de milho, o que pode justificar os níveis mais baixos de Mg no tecido foliar encontrados neste experimento (MARTINEZ et al., 1999; SALVADOR et al., 2011).

4.6.4 Componentes de produção e produtividade da cultura do milho

Não foi verificado efeito do uso do pó de basalto para as variáveis analisadas, com exceção do número de fileiras de grãos por espiga (NF) (Tabela 6), que apresentou um aumento de 3,3% em relação à área que não recebeu o pó de basalto. Obteve-se uma média de 15,33 fileiras de grãos por espiga no tratamento com pó de basalto e de 15,83 fileiras de grãos por espiga no tratamento sem pó de basalto. Os valores encontrados no presente estudo estão próximos aos valores indicados pela empresa produtora das sementes, que é de 16 a 18 números de fileiras de grãos por espiga.

O número de fileiras de grãos é uma característica associada a produtividade, entretanto, não foi observado esse aumento na área onde não foi adicionado o pó de basalto (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo da análise de variância e valores médios de altura de planta (ALT), diâmetro do colmo (DC), diâmetro da espiga (DE), comprimento da espiga (CE), número de fileiras de grãos por espiga (NF), número de fileiras de grãos por espiga (NFG), peso de 1000 grãos (P1000) e produtividade (PROD) do milho, em relação a aplicação ou não do pó de basalto, Dourados – MS, 2024.

Fator de variação	ALT	DC	DE	CE	NF	NGF	P1000	PROD
Pó de basalto	0,90 ns	0,21 ns	0,18 ns	0,34 ns	0,007**	0,06 ns	0,43 ns	0,58 ns
Média	203,96	21,62	44,29	12,62	15,58	25,42	230,75	2905,08
CV (%)	3,90	3,54	2,90	4,85	2,37	4,44	6,55	11,38
Pó de basalto								
Sem	204,17 a	21,42 a	44,67 a	12,7 5a	15,83 a	25,92 a	228,25 a	2943,17 a
Com	203,75 a	21,83 a	44,92 a	12,50 a	15,33 b	24,92 a	233,25 a	2867,00 a

** e ns: significativo a 1% e não significativo, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade.

Os dados obtidos de produtividades permitem inferir que as condições climáticas (Figura 1) foram os fatores que mais influenciaram nos resultados, as quais não foram favoráveis a cultura do milho durante a safra, uma vez que a produção média foi de apenas 2.905 kg ha⁻¹, bem abaixo da média nacional (5.443 kg ha⁻¹).

Fatores abióticos que podem reduzir a produtividade do milho são déficit hídrico, encharcamento, nutrientes, CO₂, temperatura e radiação solar, onde efeitos prolongados desses fatores podem levar a um baixo rendimento pela cultura, principalmente a falta de precipitação (GALON et al., 2010). Nessa vertente, foi possível constatar – com base nos dados de precipitação e temperatura média encontrados na Tabela 1, que as condições climáticas durante a produção do milho avaliado neste experimento, não foram favoráveis. A falta de chuva em fases críticas da cultura pode ter comprometido significativamente a produtividade, mesmo havendo uma boa precipitação e temperatura favorável na fase de semeadura da cultura. Segundo Souza (2010), o milho requer uma precipitação de 400 a 700 mm durante a safra para a obtenção de boas produtividades. Embora neste experimento durante a safra tenha atingido uma precipitação média de 451 mm, à falta de chuva em épocas críticas no desenvolvimento da cultura pode ter levado à baixa produtividade.

Na cultura do milho, o florescimento é dos estádios de maior vulnerabilidade à seca, podendo causar reduções significativas na fertilidade da planta causando a abscisão de flores, impedindo a antese, diminuindo a massa de grãos, e consequentemente, a produtividade, como foi constatado neste experimento (SOUZA et al., 2022). Durante o florescimento da cultura do milho, foi observado que entre os meses de maio e junho, houve baixos índices de pluviosidade

e seca (Tabela 1). Outro fator que evidenciou o problema da falta de chuva durante safra é a alta incidência de espigas com falhas na granação, que foram observações feitas por Cardoso et al. (2010), que atribuíram a restrição hídrica à redução na relação grão/espiga, número de espigas e produtividade da cultura do milho.

Com base nos dados obtidos, nenhuma das variáveis diferiram estatisticamente entre os tratamentos com e sem pó de rocha, com exceção do NF, corroborando com os encontrados por Alovisi et al (2014), que avaliaram os caracteres de produtividade do milho em resposta a utilização de pós de rocha. Contudo, os resultados mostrados na Tabela 6 se mostraram inferiores a trabalhos realizados por outros autores para o mesmo híbrido cultivado (ZORZI, 2023; ALOVISI et al., 2014).

Em suma, mesmo que as condições químicas do solo estivessem adequadas para as duas camadas de solo avaliadas – conforme constatados nas Tabelas 2 e 3, o desenvolvimento e produtividade das plantas não foram satisfatórios, visto que, as condições climáticas, principalmente falta de precipitação nos momentos críticos da cultura, interferiu negativamente na produtividade do milho.

5 CONCLUSÕES

- Na camada de 0-0,2 m de profundidade, os atributos químicos não foram influenciados pela aplicação do pó de basalto após dois anos da instalação do experimento;
- Na camada de 0,2-0,4 m de profundidade, o teor de potássio do solo nos tratamentos em que foi aplicado pó de basalto foi significativamente superior, com aumento de 83% no solo em relação ao tratamento que não recebeu pó de basalto. Os demais atributos químicos não foram influenciados pela rochagem nesta camada;
- Os atributos microbiológicos do solo C-CO₂ liberado, carbono da biomassa microbiana (C-BMS) e quociente metabólico (qCO₂) não foram influenciados pela rochagem;
- As concentrações foliares de N, P, Ca e Mg não foram influenciadas pela rochagem;

- O número de fileiras (NF) foi influenciado pela aplicação do pó do basalto, com decréscimo de 3,3% o NF na área que recebeu o pó de basalto. Os demais componentes de produção não foram influenciados.
- Não foi verificada diferença significativa pelo emprego de pó de basalto no rendimento da cultura do milho, o que pode ser atribuído as adversidades climáticas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADHYA, T. K.; MISHRA, B. B.; ANNAPURNA, K.; VERMA, D. K.; KUMAR, U. **Advances in Soil Microbiology: Recent Trends and Future Prospects**. 2° ed. Singapore: Springer, 2017. 240 p.
- ALOVISI, A. M. T.; ARAUJO, L. R. C.; TAQUES, M. M.; TERUEL, H. H. Produtividade do milho em resposta a utilização de pós de rochas. ENEPEX, 8° ENEPE UFGD 5° EPEX UEMS, **Anais**, 2014.
- ALOVISI, A. M. T.; TAQUES, M. M.; ALOVISI, A. A.; TOKURA, L. K.; DUPAS, E.; SILVA, J. A. M.; CASSOL, C. J.; GNING, A. **Pó de basalto como remineralizador de solos**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral/Ministério de Minas e Energia–SGM/MME Secretaria de Defesa Agropecuária/Ministério de Agricultura, Agropecuária e Abastecimento–SDA/MAPA Secretaria de Empreendedorismo e Inovação/Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação–SEMPI/MCTI Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária–Embrapa Cerrados e Embrapa Clima Temperado Serviço Geológico do Brasil–CPRM/MME, p. 163, 2021.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Application of e co-physiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 22, n.2, p.251–255, 1990.
- AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. São Paulo: Difel, 1986. 179p.
- BATAGLIA, O. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, A. M. C.; GALLO, J. R. **Análise química das plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1978. 31p. (Circular, 87).
- BALDRIAN, P. The known and the unknown in soil microbial ecology. **FEMS microbiology ecology**, v. 95, n. 2, p. 9, 2019.
- BARŁÓG, P.; GRZEBISZ, W.; ŁUKOWIAK, R. Fertilizers and fertilization strategies mitigating soil factors constraining efficiency of nitrogen in plant production. **Plants**, v. 11, n. 14, p. 1855, 2022.
- BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. Fertilidade do Solo e Demanda por Nutrientes no Brasil. **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**, p. 61, 2002.
- BRÖRING, J. M. **Dinâmica do carbono em sistemas de uso do solo no Oeste e Planalto de Santa Catarina**. 2013. Dissertação (Mestre em Manejo do solo) - Universidade Do Estado De Santa Catarina – SC, 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes. Brasília: SNDA/DNDV CLAV**, 2009. 399p.
- BRITO, R. S.; BATISTA, J. F.; MOREIRA, J. G. V.; MORAES, K. N. O.; SILVA, S. O. Rochagem na agricultura: importância e vantagens para adubação suplementar. **South American Journal of basic education, technical and technological**, v. 6, n. 1, 2019.
- CARDOSO, M. J. BASTOS, E. A.; PACHECO, C. A. P.; ROCHA, L. M. P.; GUIMARÃES, L. J. M.; GUIMARÃES, P. E. O.; PARENTONI, S. N.; SILVA, A. R. Rendimento de Grãos e

Componentes de Rendimento de Híbridos Comerciais de Milho sob Deficiência Hídrica. In: **XXVIII CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**. 2010.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. PITTA, G. V. E.; ALVES, V. M. C. **Cultivo do milho**. Embrapa, 2007.

CHAND, S. **Terminology of Soil Fertility, Fertilizer and Organics**. 1º ed. New Delhi: Daya Publishing House, 2014. 116 p.

CHAVES, J. S.; SILVA, L. S.; MATOS, S. M.; PEREIRA, H. R.; MELO, J. J. S.; SILVA, A. F.; SANTOS, E. J.; SILVA, R. P.; BRITO, W. A.; LEITE, J. L. Parâmetros microbiológicos do solo em sistema de produção consorciado sob manejo orgânico. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, p. e237111032643-e237111032643, 2022.

CLAESSEN, M. E. C. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).

CONAB. Série Histórica - Custos - Milho 2ª Safra - 2005 a 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao/item/16269-serie-historica-custos-milho-2-safra-2005-a-2021>>. Acesso em: 27 de março de 2023.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira, Brasília**. Brasília – DF, v.9- Safra 2021/22- Décimo segundo levantamento, n.9, p. 88, setembro, 2022.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira, Brasília**. Brasília – DF, v.9- Safra 2022/23- Sexto levantamento, n.9, p. 88, setembro, 2023.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C. A.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 777-788, 2005.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **Alta dos Custos Pressiona PIB do Agronegócio no Primeiro Semestre Recuo de 2,48%**. Brasília, 2022. 19 p.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1185-1191, 2006.

CRUZ, J. C.; FILHO, I. A. P.; ALVARENGA, R. C.; NETO, M. M. G.; VIANA, J. H.; OLIVEIRA, M. F.; SANTANA, D. P. **Manejo da cultura do Milho**. Circular técnica nº87. P 12, Sete Lagoas, MG, 2006.

CUNHA, G. O. M.; ALMEIDA, J. A. Agronomic potential of four rock powders, pure or mixed, as soil remineralizers. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 17, p. e169101724828-e169101724828, 2021.

DALCIN, G. **Seleção de Microrganismos Promotores da Disponibilidade de Nutrientes Contidos em Rochas, Produtos e Rejeitos de Mineração**. 2008. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal de Santa Catarina – SC. 2008.

DANFORTH, A. T. **Corn Crop Production: Growth, Fertilization and Yield**. 1º ed. New York: Nova Science Publisher, Inc. 2009. 390 p.

DETTMER, C. A. **Uso de Pó de Rocha Como Fonte Alternativa de Adubação em Cultivos Anuais Para as Culturas de Soja e Milho, Sob Contextos Técnicos e Econômicos no Mato Grosso do Sul**. 2021. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária) - Universidade Católica Dom Bosco Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária – MS. 2021.

DIXON, G. R.; TILSTON, E. L. **Soil Microbiology and Sustainable Crop Production**. 1º ed. New York: Springer, 2010. 451 p.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (Org). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. **Defining soil quality for a sustainable environment**, v. 35, p. 1-21, 1994.

ELSAS, J. D. V.; TREVORS, J. T.; ROSADO, A. S.; NANNIPIERI, P. **Modern Soil Microbiology**. 3º ed. New York: CRC Press, 2019. 500 p.

FEIGL, B. J.; SPARLING, G. P.; ROSS, D. J.; CERRI, C. C. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool sizes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, p. 1467 – 1472, 1995.

FREITAS, M. A. M. **Impacto do Consórcio Milho-Braquiária no Crescimento, Características Nutricionais e Fisiológicas do Milho e na Atividade da Microbiota do Solo**. 2013. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa – MG. 2013.

FOTH, H. D.; ELLIS, B. G. **Soil Fertility**. 2º ed. Londres: CRC Press, 2018. 53 p.

FONSECA, J. A.; HANISCH, A. L.; ALAVADI, A. A. B. J.; SAPAGNOLLO, E. **Atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico típico afetados pela aplicação de pó de basalto**. 2012.

GALLO, A. S.; ARAUJO, T. S.; ARAUJO, F. S.; SANTOS, L. C.; GUIMARÃES, N. F. SILVA, R. F. Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 347-357, 2019.

GALON, L.; TIRONI, S. P.; ROCHA, A. A.; SOARES, E. R.; CONCENÇO, G.; ALBERTO, C. M. Influência dos fatores abióticos na produtividade da cultura do milho. **Revista Tropical-Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 4, n. 3, p. 18, 2010.

GOMES, M. B.; MORAES, M. F. Extração e exportação de nutrientes pela soja em sistema de longo tempo em rotação de culturas. In: **X Mostra da Pós-Graduação: Direitos Humanos, trabalho coletivo e redes de pesquisa na Pós-Graduação**. 2018.

GOTT, R. M.; AQUINHO, R. A.; CARVALHO, M. X.; SANTOS, L. P. D.; NUNES, P. H. M. P.; COELHO, B. S. Índices diagnósticos para interpretação de análise foliar do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1110-1115, 2014.

GREGORY, P. J.; NORTCLIFF, S. **Soil Conditions and Plant Growth**. 11^o ed. Reino Unido: Blackwell Publishing, 2013. 496p.

HAKEEM, K. R.; AKHTAR, M. S. **Plant, Soil and Microbes: Mechanisms and Molecular Interactions**. 2^o ed. Switzerland: Springer, 2016. 443 p.

HUANG, P. M.; LI, Y.; SUMNER, M. E. **Handbook of Soil Sciences: Properties and Processes**. 2^o ed. New York: CRC Press, 2012. 1424 p.

IBÁÑEZ, J. J.; JAUME, B. The search for a new paradigm in pedology: a driving force for new approaches to soil classification. **European Soil Bureau**, n.7, p. 93-110, 2001.

INOCÊNCIO, M. F.; NOVELINO, J. O.; PAIM, L. R.; GUTIERREZ, R. S. Efeito da aplicação de basalto triturado nas características químicas de amostras de solo do estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 145-151, 2009.

JUNIOR, A. O.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A. D. **Sistemas de Produção**. Embrapa, 54 p. 2020a.

JÚNIOR, J. J. A.; SMILJANIC, K. B.; MATOS, F. S. A.; PEROZINI, A. C.; SOUSA, J. V. A.; JUNIOR, L. F.; SILVA, R. F.; ARAÚJO, S. L.; DUTRA, J. M.; DUTRA, J. M.; LIBERATO, P. V. Análise das variáveis tecnológicas do milho em função das doses crescentes de condicionador pó de rocha. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 88440-88446, 2020b.

JUNIOR, M. F. **Atividade da biomassa microbiana em diferentes sistemas de plantio**. Monografia (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos. 2021.

JUNIOR, F. B. R.; MENDES, L. C. **Biomassa microbiana do solo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 38p (DOCUMENTOS 205).

KARGES, K.; KIMURA S. D. B.; WATSON, C. A.; STODDARD, F. L.; HALWANI, M.; RECKLING, M. Agro-economic prospects for expanding soybean production beyond its current northerly limit in Europe. **European Journal of Agronomy**, v. 133, p. 9, 2022.

KEERTHANA, S.; RAMAKRISHNAN, R.; PATHAK, N.; GHOSH, D.; KOUTU, G. K.; NAGRE, S.; GONTIA, A. S.; SHARMA, R. KUMAR, A.; SHARMA, S.; VINOTH, R.; JAIN, V. Soybean Physiology and Yield Response to Seed Rate and Sowing Method. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 33, n. 15, p. 11, 2021.

LEHMANN, J.; KLEBER, M. The contentious nature of soil organic matter. **Nature**, v.528, n.7580, p.60- 68, 2015.

LOPES, M. M. O.; COSTA, G. L.; ASSAD, L. L. M. Solubilização de pó de basalto por meio de vinhaça: variação de pH e nutrientes disponíveis. **Engenharia Ambiental**, v.10, n. 2, p. 175-188, 2013.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; MARCHETTI, M. E.; SOUZA, C. F.; SOUZA, C. M. A.; GONÇALVES, M. C.; FACHINELLI, R. Atributos Químicos e Microbiológicos do Solo Avaliados por meio de Correlações Canônicas. **FertBio**, p. 4, 2012.

LUCHESI, A. V.; PIVETTA, L. A.; BATISTA, M. A.; STEINER, F.; GIARETTA, A. P. S.; CURTIS, J. C. D. Agronomic feasibility of using basalt powder as soil nutrient remineralizer. **African Journal of Agricultural Research**, v. 17, n. 3, p. 487-497, 2021.

MARQUES, M. L. S.; JESUS, J. M. I.; SANTOS, W. M.; SILVA, J. W. G.; MARTINS, A. L. S.; MARQUES, V. S. Agronomic efficiency of fertilizers based on humus, rock powder, and minerals on soybean yield in Paraguay-PY. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 7, n. 3, p. 90-96, 2020.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5a Aproximação)**. Viçosa, MG: CFSEMG/UFV, 1999. p.143-168.

MECHI, I. A.; SANTOS, A. L. F.; FACHINELLI, R.; CECCON, G. Anos de Consórcio de Milho safrinha com braquiária sobre a Produtividade da Soja em Sucessão. **Anais...** 31º Congresso Nacional de Milho e Sorgo. Dourados, MS, 2016.

MELO, V. F.; UCHÔA, S. C. P.; DIAS, F. O.; BARBOSA, G. F. B. Doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico da savana de Roraima. **Acta amazônica**, v. 42, p. 471-476, 2012.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; JUNIOR, F. B. R.; LOPES, A. A. C. **Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2018. 23p (Circular Técnica - INFOTECA-E).

MICHALOVICZ, L.; KÖLLN, O. T.; MEERT, L.; NASCIMENTO, R.; MÜLLER, M. M. L. Características Químicas de um Latossolo Bruno após Quatro Anos de Adição De Pó de Basalto e Biofertilizantes. **Cadernos de Agroecologia**, v. 4, n. 1, 2009.

MORAES, L. N. **Uso de Pó de Rocha na Agricultura Brasileira**. 2021. Monografia (Bacharelado em Engenharia Agrônoma) - Universidade de Brasília Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, 2021.

NORTCLIFF, S.; HULPKE, H.; BANNICK, C. G., TERYTZE, K.; KNOO, G.; BREDEMEIER, M.; SCHULTE-BISPING, H. Definition, Function, and Utilization of Soil. In: CHADWICK, S. S. **Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry**. 5º ed. Hoboken: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 1991, p.399-419.

OLIVEIRA, C. M.; OLIVEIRA, E.; CANUTO, M. CRUZ, I. Controle químico da cigarrinha-do-milho e incidência dos enfezamentos causados por mollicutes. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 42, p. 297-303, 2007.

OMAFRA, K. R. **Soil Fertility Handbook**. Publication 611. Toronto, Canada. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2006.

PAUL, E. A. **Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry**. 4º ed. Colorado: Academic Press, 2015. 603 p.

PFENNING, L.; EDUARDO, B. P.; CERRI, C. C. Os métodos da fumigação-incubação e fumigação-extração na estimativa da biomassa microbiana de solos da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 31-37, 1992.

PINHEIRO, L. S.; GATTI, V. C. M.; OLIVEIRA, J. T.; SILVA, J. N.; SILVA, V. F. A.; SILVA, P. A. Características agro econômicas do milho: uma revisão. **Natural Resources**, v. 11, n. 2, p. 13-21, 2021.

RAMOS, C. G.; HOWER, J. C.; BLANCO, E.; OLIVEIRA, M. L. S.; THEODORO, S. H. Possibilities of using silicate rock powder: An overview. **Geoscience Frontiers**, v. 13, n. 1, p. 101185, 2022.

RABOT, E.; WIESMEIERB, M.; SCHLÜTERA, S.; VOGELA, H. J. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. **Geoderma**, v. 314, p. 122-137, 2018.

REETZ, H. F. **Fertilizers and their Efficient Use**. 1º ed. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2016, 114 p.

REIS, W. **Aplicação de pó de rocha e enxofre elementar associado a plantas de cobertura do solo, na disponibilidade de nutrientes para a cultura do milho**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2021.

RODRIGUES, R. B. **Influência da Rochagem nos Atributos Químicos do Solo e na Produtividade da Soja**. 2020. Monografia (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2020.

SABATO, E. de O.; BARROS, AC da S.; DE OLIVEIRA, I. R. **Cenário e manejo de doenças disseminadas pela cigarrinha no milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 10 p.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2011.

SANTOS, M. B.; RUY, R.; CEREZINI, P.; KUWANO, B. H.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Indicadores microbiológicos e bioquímicos de qualidade em solo de baixa fertilidade natural com diferentes manejos de calagem e adubação fosfatada. In: Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 8., 2013, Londrina. **Resumos expandidos...** Londrina: Embrapa Soja, 2013. (Embrapa Soja. Documentos, 339)., 2014.

SANTOS, G. R.; SANTOS, E. M. C.; LIRAM E. S.; GOMES, D. L.; ARAUJO, K. D. Respiração microbiana do solo relacionada ao conteúdo de água no solo e a temperatura do solo, na época do Equinócio de primavera, em Olho D'Água do Casado, Semiárido de Alagoas. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 885-893, 2016.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 590 p.

SANTOS, C. M. G. **Azospirillum em milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária em solos de cerrado**. 2021. Dissertação (Pós-Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados – MS, 2021.

SAVCI, S. Investigation of effect of chemical fertilizers on environment. **Apcbee Procedia**, v. 1, p. 287-292, 2012.

SBRUSSI, C. A. G.; ZUCARELI, C. Germinação de sementes de milho com diferentes níveis de vigor em resposta à diferentes temperaturas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 215-226, 2014.

SERNA-SALDIVAR, S. O. **Corn: Chemistry and Technology**. 3º ed. Monterrey: Elsevier. 2018. 647 p.

SICHOCKI, D.; GOTT, R. M.; FUGA, C. A. G.; AQUINO, L. A.; RUAS, R. A. A.; NINES, P. H. M. P. Resposta do milho safrinha as doses de nitrogênio e de fósforo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 48-58, 2014.

SILVA, J. S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**, Viçosa: Aprenda Fácil, 2008. 560p.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação do Carbono da Biomassa Microbiana do Solo**. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 2007. 6 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 98).

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. 68p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, 2007.

SILVA, V. J. A.; JÚNIOR, J. J. A.; MATOS, F. S. A.; SMILJANIC, K. B. A.; FERREIRA, M. C.; MIRANDA, B. C. Avaliação dos Caracteres Agronômicos da Soja Tratada com Doses crescentes de Pó de Rocha. In: **Anais Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar (ISSN-2527-2500) & Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar**. 2019.

SILVA, D. F.; GARCIA, P. H. M.; SANTOS, G. C. L.; FARIAS, I. M. S. C.; PÁDUA, G. V. G.; PEREIRA, P. H. B.; SILVA, F. E.; BATISTA, R. F.; NETO, S. G.; CABRAL, A. M. D. Características morfológicas, melhoramento genético e densidade de plantio das culturas do sorgo e do milho: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e12310313172-e12310313172, 2021a.

SILVA, M. O.; SANTOS, M. P.; SOUZA, A. C. P.; SILVA, R. L. V.; MOURA, I. A. A.; SILVA, R. S.; COSTA, K. D. S. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 6853-6875, 2021b.

SILVA, T. C.; VIANA, T. V. A.; SOUZA, G; G.; BLUM, S. C; SOUZA, A. M.; AZEVEDO, B. M. Atributos químicos e atividade microbiológica em Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo com e sem queima em condições de semiárido. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 16, p. 575-588, 2020.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2º ed. Brasília: Embrapa, 2004. 420 p

SOUSA, R. A. **Características produtivas do milho híbrido utilizando geopolímeros de acrilato de potássio em condições de estresse hídrico**. 2022. Monografia (Bacharelado em Zootecnia) – Universidade Federal do Maranhão – MA, 2022.

SOUZA, B. L.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F.; BRANDÃO, E. O. Determinação do coeficiente de cultura do milho (*Zea mays* L.) sob condições de semiárido brasileiro. In: **XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**. 2010. p. 5.

SOUZA, M. D. B. **Efeito de Rochagem, Vinhaça e Plantas de Cobertura no Desenvolvimento do Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e em Atributos Químicos do Solo**. 2016. Dissertação (Mestre em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) - Universidade Federal de São Carlos - SP. 2016.

SOUZA, G. V. L. **Avaliação da Eficiência Agronômica do Pó de Rocha Basáltica como Remineralizador de Solos**. 2022. Monografia (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Câmpus de Jaboticabal - SP. 2022.

SWOBODA, P. **Rock dust as agricultural soil amendment: a review**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Agrônômica) – Universiteit Stellenborch University, Graz. 2016.

SWOBODA, P.; DÖRING, T. F.; HAMER, M. Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review. **Science of The Total Environment**, v. 807, p. 150976, 2022.

TEIXEIRA, A. M. S.; SAMPAIO, J. A.; SANTOS, F. M. G.; MEDEIROS, M. E. Avaliação da rocha fonolito como fertilizante alternativo de potássio. **Holos**, v. 5, p. 21-33, 2012.

TEIXEIRA, M. F. D. **Atributos microbiológicos do solo inoculado com solubilizadores de fosfato no cultivo do milho com residual de fósforo**. 2023. Monografia (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul, 2023.

TOMÁS, V. D. O. **Metodologias associadas à saúde do solo**. 2022. Monografia (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – RS. 2022.

THEODORO, S. H.; MONTE, M. B. M.; MARTINS, E. S. Nota da comissão organizadora. **Anais...** 4º Congresso brasileiro de rochagem. Rio de Janeiro, RJ, 2021.

TOSCANI, R. G. S.; CAMPOS, J. E. G. Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados. **Geociências**, v. 36, n. 2, p. 259-274, 2017.

TRIVEDI, C.; BAQUERIZO, M. D.; HAMONTS, K.; LAI, K.; REICH, P. B.; SINGH, B. K. Losses in microbial functional diversity reduce the rate of key soil processes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 135, p. 267-274, 2019.

VANCE, E. D; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 19, n.6, p. 703-707, 1987.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 33, p. 743-755, 2009.

WHITE, R. E. **Principles and Practices of Soil Science: The Soil as a Natural Resource**. 4º ed. United Kingdom: Blackwell Publishing, 2013. 387 p.

YOEMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. Commun. **Soil Sci. Plant Anal**, 19(13): 1467-1476. 1988.

ZORZI, M. G. **Dinâmica populacional de *Daubulus maydis*, potencial produtivo e perda de umidade de híbridos de milho na 2ª safra de 2022**. Monografia (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos. 2023.

