

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

RAÍSSA TAVARES CORREIA

**ROCHAGEM: A APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA COMO ALTERNATIVA
SUSTENTÁVEL AOS FERTILIZANTES AGRÍCOLAS NO BRASIL.
UMA REVISÃO**

BURI - SP

2023

RAÍSSA TAVARES CORREIA

ROCHAGEM: A APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA COMO ALTERNATIVA
SUSTENTÁVEL AOS FERTILIZANTES AGRÍCOLAS NO BRASIL.
UMA REVISÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado como exigência parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de São Carlos.

Orientadora: Profa. Dr^a Cláudia Marisse dos Santos Rotta

BURI - SP

2023

Tavares Correia, Raíssa

Rochagem: A aplicação de pó de rocha como alternativa sustentável aos fertilizantes agrícolas no Brasil. Uma revisão. / Raíssa Tavares Correia -- 2023. 52f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri

Orientador (a): Cláudia Marisse dos Santos Rotta

Banca Examinadora: Flávio Gabriel Bianchini, Paola

Bruno Arab

Bibliografia

1. Agrominerais. 2. Fonte alternativa de nutriente. 3. Remineralizador . I. Tavares Correia, Raíssa. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Folha de Aprovação

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso do(a) candidato(a) Raíssa Tavares Correia, realizada em 14/03/2023:

Documento assinado digitalmente
 CLAUDIA MARISSE DOS SANTOS ROTTA
Data: 14/03/2023 10:00:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Cláudia Marisse dos Santos Rotta – Orientador(a)
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.

Documento assinado digitalmente
 PAOLA BRUNO ARAB
Data: 14/03/2023 12:10:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Paola Bruno Arab
Universidade Federal de Goiás.

Documento assinado digitalmente
 FLAVIO GABRIEL BIANCHINI
Data: 14/03/2023 21:15:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Flávio Gabriel Bianchini
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais, Joseane e Gilberto e aos meus irmãos, Robson e Rubens, que me incentivaram e apoiaram durante toda esta trajetória.

AGRADECIMENTO

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder saúde e força para enfrentar todas as adversidades encontradas ao longo da graduação.

Aos meus pais, Joseane e Gilberto, por sempre me apoiarem e incentivarem durante esta longa e árdua caminhada. Especialmente pelo amor e cuidado, que muitas das vezes foram demonstrados em forma de oração.

Aos meus irmãos, Robson e Rubens, por sempre estarem ao meu lado e me prestarem todo o apoio necessário. A minha cunhada, Letícia, que gentilmente me acolheu em sua casa durante os dois primeiros anos de graduação.

Agradeço a minha amiga, parceira, irmã e colega de quarto, Sandyellen, por tornar meus dias mais leves e felizes. Por todo o companheirismo, cuidado, paciência e atenção que teve comigo. Sobretudo, por aceitar dividir este grande e desafiador sonho, mesmo não tendo a mínima noção dos perrengues que iríamos passar.

Ao meu namorado, companheiro e amigo, Gustavo, por fazer parte de todos os momentos angustiantes e felizes comigo. Acima de tudo, por aguentar todas as minhas crises e nunca me deixar desistir.

Agradeço a todos os professores que fizeram parte da minha formação, desde o ensino fundamental à universidade.

A Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, que me permitiu vivenciar este grande dia, e também, pelo ensino de alta qualidade.

A minha professora e orientadora, Dr^a Cláudia Marisse dos Santos Rotta, por me oferecer todo o seu suporte, não somente neste trabalho, mas também, ao longo de todo o curso.

As minhas amigas, Júlia, Taynara e Amanda, colegas de sala que ao passar do tempo se tornaram irmãs e permaneceram comigo durante todas as fases do curso. Me aconselharam, apoiaram, incentivaram, enxugaram as minhas lágrimas, dançaram e cantaram comigo, e sobretudo, transmitiram muita força e fé para que eu continuasse.

Ao meu amigo, Jucimar, que tanto me ajudou, principalmente nos dois primeiros anos da graduação. Agradeço por acreditar em mim, até mesmo nos momentos em que eu mesma duvidei. Sou e sempre serei grata à Deus por Ele me conceder essa amizade.

A todos meus colegas, mesmo os que nem sempre tão próximos, por compartilharem diversas experiências e pelo suporte em toda esta trajetória.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos e amigas que tenho fora da universidade, especialmente pelo amor, cuidado e amparo que me ofereceram ao longo desses anos.

“Consagre ao Senhor tudo o
que você faz, e os seus planos
serão bem-sucedidos”

Provérbios 16:3

RESUMO

O Brasil tem se consolidado progressivamente em uma economia de pilar agroexportadora. Compreende-se que, conforme a produção agrícola aumenta, o consumo de fertilizantes químicos se intensifica. Aproximadamente 80% do fertilizante consumido no país é oriundo do exterior, enquanto que, do montante de insumo produzido no Brasil, por volta de 5% é exportado para países próximos. A rochagem, termo aplicado para evidenciar a técnica de fertilização natural dos solos com o uso de pós de rochas, surge como uma excelente alternativa sustentável aos fertilizantes agrícolas convencionais, uma vez que, o Brasil contém uma geodiversidade excepcional, apresentando tipos distintos de rochas com diferentes particularidades em diversos locais do país, além disso, o pó de rocha apresenta vantagens na esfera social e ambiental. Sendo assim, o presente trabalho teve como principal objetivo realizar um levantamento de dados da literatura especializada, de forma a compilar e comparar os resultados obtidos a respeito da eficiência e importância da rochagem. Para a realização deste trabalho foi realizada uma ampla pesquisa bibliográfica. A princípio efetuou-se o levantamento de trabalhos acadêmicos, dissertações, artigos, livros, anais e teses. As principais bases consultadas foram Google Acadêmico; *Scielo* e *Science Direct*. Com base nos trabalhos analisados, foi verificado que a prática de rochagem colabora para a reabilitação e a preservação das propriedades dos solos, além de diminuir a aplicação de insumos químicos, principalmente aqueles agregados em fórmulas com alta solubilidade. No geral, a aplicação de pó de rocha como alternativa aos fertilizantes convencionais apresenta-se como uma técnica efetiva e benéfica ecológica e economicamente.

Palavras - chave: Agrominerais. Fonte alternativa de nutriente. Remineralizador. Solo.

ABSTRACT

Brazil has progressively consolidated itself into an agro-export economy. It is a known fact that as agricultural production increases, the consumption of chemical fertilizers intensifies. About 80% of the fertilizer consumed in the country is imported, and 5% of the amount produced in Brazil is exported to nearby countries. Stonemeal, term applied to evidence the technique of natural soil fertilization with the use of rock dust, emerges as an excellent and sustainable alternative to conventional agricultural fertilizers, once Brazil has an exceptional geodiversity, presenting distinguished types of rocks with different particularities in different locations; in addition, rock powder is advantageous in the social and environmental sphere. Therefore, the main objective of this work was to carry out a survey of data from the specialized literature, in order to compile and compare the results obtained regarding the efficiency and importance of stonemeal. In order to develop this work, an extensive bibliographical research was carried out. At first, academic works, dissertations, articles, books, annals and theses were gathered. The main databases consulted were Google Scholar; Scielo and Science Direct. Based on the analyzed works, it was verified that the stonemeal contributes to the rehabilitation and preservation of soil properties, in addition to reduce the application of chemical inputs, mainly those aggregated in formulas with high solubility. In general, the application of rock dust as an alternative to conventional fertilizers is ecologically and economically effective.

Key-words: Agrominerals. Alternative nutrient source. Remineralizer. Soil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Série de Goldich (1938) apresentando a ordem de estabilidade dos minerais diante a velocidade do intemperismo.....	26
Figura 2 - Representação das séries de estabilidade para minerais das frações areias e silte ..	28
Figura 3 - Representação do pó de rocha MB-4.....	30
Figura 4 - Representação do pó de basalto	31
Figura 5 - Fluxograma para desenvolvimento do trabalho.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Macro e micronutrientes presentes em diferentes tipos de rocha.....	29
Tabela 2 - Teores foliares de macro e micronutrientes da soja fertilizada com pó de rocha mica xisto.....	42
Tabela 3 – Informações gerais sobre os trabalhos de sucesso na aplicação de pó de rocha.....	43
Tabela 4 – Vantagens e desvantagens do uso de pó de rocha como alternativa sustentável aos fertilizantes agrícolas.....	47
Tabela 5 - Especificações de natureza física dos remineralizadores.....	48
Tabela 6 - Resumo da Instrução Normativa n.º 05/2016, MAPA.....	49

LISTA DE EQUAÇÃO

Equação 1 - Reação de hidrólise da albita.....	24
Equação 2 - Mineral albita gerando caulinita com disponibilização de cátion (Na+1).....	25

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
DM - Pó de basalto + meio de cultura
DMA - Pó de basalto + meio de cultura + *Aspergillus niger*
FM – Pó de fonolito + meio de cultura
FMA - Pó de fonolito + meio de cultura + *Aspergillus niger*
IN - Instrução Normativa
MA - *Aspergillus niger* + meio de cultura
MAP – Fosfato monoamônico
MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MSPA - Matéria Seca da Parte Aérea das Plantas
NPK - Nitrogênio, Fósforo e Potássio
PB - Pó de basalto
PV - Pó de rocha + vinhaça
PVF - Pó de rocha + vinhaça + *Aspergillus niger*
TEST - Testemunha
UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina
UFAC - Universidade Federal do Acre
UFLA - Universidade Federal de Lavras
UFU - Universidade Federal de Uberlândia
UnB - Universidade de Brasília
UPE - Universidade de Pernambuco
UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VF - Vinhaça + *Aspergillus niger*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 A DEMANDA DE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA.....	17
3.2 ROCHAGEM.....	19
3.2.1 HISTÓRICO DA ROCHAGEM.....	20
3.2.2 IMPORTÂNCIA DA APLICAÇÃO DO PÓ DE ROCHA	21
3.3. PROCESSO DE DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DO PÓ DE ROCHA	23
3.4. PRINCIPAIS ROCHAS UTILIZADAS NA TÉCNICA DE ROCHAGEM	29
4. METODOLOGIA	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1 DESCRIÇÃO DOS TRABALHOS ANALISADOS	33
5.2 VANTAGENS AMBIENTAIS NO USO DE PÓ DE ROCHA NA AGRICULTURA	34
5.3 TRABALHOS DE SUCESSO DE APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA EM DIFERENTES CASOS ESPECÍFICOS.....	37
5.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA REMINERALIZAÇÃO COMO FONTE DE NUTRIENTES.....	45
5.5 PRINCIPAIS CRITÉRIOS PARA REGULARIZAÇÃO DO REMINERALIZADOR NO BRASIL, FRENTE AO MAPA	47
6. CONCLUSÃO	50
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1. INTRODUÇÃO

O uso intensivo do solo, para segurança de sistemas de produção sustentados em *commodities* agropecuários, vem influenciando negativamente as terras agrícolas, sobretudo as condições de fertilidade, podendo resultar em desequilíbrio ambiental e em óbice dos agricultores perdurarem em suas propriedades (SOARES, 2018). Uma das dificuldades encontradas no setor agrícola é a de ampliar ou preservar os resultados sem causar uma acentuada degradação dos sistemas ambientais do planeta, particularmente o solo. As alterações na qualidade do solo, cuja principal atividade impulsionadora é a agricultura, avançam a proporções preocupantes, ao mesmo tempo que, a terra cultivável suplementar é restringida, e assim, as tendências no aproveitamento das culturas agrícolas reduzem paulatinamente em diversos países. A intensificação agrícola sucederia em uma tensão significativa sobre as terras agrícolas efetivas e demanda progressos agudos na produção agrícola e na nutrição do solo (HAMER *et al.*, 2021).

O Brasil tem se consolidado progressivamente em uma economia de pilar agroexportadora, onde os rendimentos financeiros alcançados por meio da produção de *commodities* agrícolas tornam-se cruciais ao avanço do país nos próximos anos. Compreende-se que, conforme a produção agrícola aumenta, o consumo por fertilizantes químicos se intensifica. Contudo, a maior parte dos insumos agrícolas requerem ser importados, em razão de desprovisionamento de suprimento no mercado interno (VIANA *et al.*, 2021).

O aumento do uso de fertilizantes também é estimulado pela expansão econômica acelerada, especialmente em países emergentes, que ampliam o poder de consumo e, como consequência, a procura por alimentos. À vista disso, o destaque das *commodities* propende ao crescimento da produção agrícola universal, através da expansão de terras cultiváveis e aplicação demasiada de tecnologia, entre elas o uso de fertilizantes. Para suprir a demanda por alimentos será preciso expandir a produção mundial em 60% até o ano de 2050. Nessa conjuntura, o Brasil salienta-se como um dos fornecedores mais importantes do mundo (TRAGE, 2019).

Diante do exposto, a busca por processos mais acessíveis e, concomitantemente, com baixo potencial poluidor, acaba sucedendo em uma procura constante por fontes de nutrientes efetivas, mais viáveis economicamente e ambientalmente (PÁDUA, 2012).

Dessa maneira, estudos são estimulados em todo o mundo com o intuito de atender padrões ambientais para o progresso das culturas. Nesse contexto, destaca-se a técnica da

rochagem, que, baseia-se na aplicação de pó de rocha como provedor de nutrientes, tendo pesquisas associadas às condições nutricionais da planta, e às exigências ambientais e do solo para a sua utilização (BRITO *et al.*, 2019).

A rochagem surge como uma excelente alternativa sustentável aos fertilizantes agrícolas convencionais, uma vez que o Brasil contém uma geodiversidade excepcional, sendo capaz de prover tipos distintos de rochas com diferentes particularidades em diversos locais do país. Além disso, o pó de rocha apresenta vantagens na esfera social e ambiental (BRITO *et al.*, 2019).

No Brasil, no ano de 2013, ocorreu, através da Lei Complementar n.º 12.890, de 10 de dezembro de 2013, a previsão legal sobre o uso dos remineralizadores de solo. Esta lei alterou a Lei dos Fertilizantes n.º 6.894/1980, que trata sobre a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes que deve ser exercida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), órgão pertencente ao governo federal. A Lei n.º 12.890/13 introduziu uma nova categoria na lista de insumos agrícolas: os remineralizadores (Brasil, 2013). Nas bibliografias, é frequente se deparar com diferentes sinônimos para o termo remineralizador, como pó de rocha, agrominerais, petrofertilizantes ou fontes alternativas de nutrientes (LAPIDO-LOUREIRO & RIBEIRO, 2009).

A Lei 12.890/13 define remineralizador como um material de origem mineral que tenha sido sujeito a diminuição e classificação de tamanho por meio de processos mecânicos e que modifique os padrões de fertilidade do solo através da adição de macro e micronutrientes para as plantas, como também proporciona a melhoria das características físicas ou físico-químicas ou da operação biológica do solo (BRASIL, 2013).

A rochagem é uma técnica de grande relevância para o meio ambiente, para o agronegócio, e principalmente para a agricultura familiar, por possuir um risco financeiro abaixo dos convencionais e que reduz a dependência das importações de fertilizantes químicos (VIANA *et al.*, 2021).

Ante o exposto, a rochagem é uma temática que exige uma intensa exploração e dedicação em razão do seu potencial social, econômico e ambiental. Esta técnica apresenta inúmeros benefícios, como diminuição nos custos de produção, principalmente para pequenos agricultores; ausência de contaminação do solo e recursos hídricos; e incremento econômico para atividade mineral, onde o reaproveitamento dos resíduos minerais gera novos produtos a serem comercializados, de maneira a sortir e ampliar as receitas do empreendimento.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo realizar um levantamento de dados da literatura especializada, de forma a compilar e comparar os resultados obtidos a respeito da eficiência e importância da técnica de rochagem como uma alternativa mais sustentável de fertilização.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar, com base em bibliografia já existente, as vantagens ambientais no uso de pó de rocha na agricultura.
- Apresentar trabalhos de sucesso de aplicação de pó de rocha em diferentes casos específicos.
- Apresentar um embasamento teórico sobre as vantagens e desvantagens da remineralização como fonte de nutrientes.
- Levantar os principais critérios para regularização do remineralizador no Brasil, frente ao MAPA.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A demanda de fertilizantes na agricultura brasileira

O Brasil é considerado um país com grande potencial agrícola, sendo o agronegócio o motivador de aproximadamente metade das exportações brasileiras. As exportações de produtos oriundos do agronegócio vêm expandindo progressivamente desde o ano de 1994, e a produção agrícola tende a avançar gradativamente mais. O Brasil, nos dias atuais, é responsável por volta de 8% do consumo mundial de fertilizantes, tornando-se o quarto país do mundo, depois da China, Índia e Estados Unidos (SAE-PR, 2020).

O nutriente principal aplicado nos solos brasileiros é o potássio, somando 38% do consumo total de fertilizantes. Em seguida, tem-se o fósforo (33%), e por fim, o nitrogênio, com 29%. Unidos, estes compõem a sigla NPK, bastante aplicada no meio rural. As culturas agrícolas que mais necessitam de aplicação de fertilizantes são: o milho, a soja e a cana-de-açúcar, aditando mais de 73% do consumo nacional (IBRAM, 2022).

A celeridade da intensificação da demanda brasileira por fertilizantes químicos tem superado a intensificação da proposta nacional e seu atendimento tem sucedido por meio do

crescimento de importações. Dessa maneira, o Brasil se tornou um forte importador de fertilizantes entre os anos de 1992 e 2020. Aproximadamente 80% do fertilizante consumido no país é oriundo do exterior e, do montante produzido no Brasil, por volta de 5% é exportado para países próximos (TEIXEIRA, 2021).

A necessidade de ampliação da produção de alimentos em larga escala global pleiteia o crescimento da demanda de fertilizantes, carecendo de grandes subsídios para a produção desse insumo agrícola (TEIXEIRA, 2021). Diante disso, pesquisas de novos insumos fertilizantes, que atendam às particularidades alimentares e à responsabilidade socioeconômica e ambiental, são estimuladas mundialmente (PÁDUA, 2012).

Os fertilizantes são determinados, segundo a Lei n.º 6.894/80, como uma substância mineral ou orgânica, podendo ser natural ou sintética, provedora de um ou mais nutrientes vegetais (BRASIL, 1980). Conforme Trage (2019), os fertilizantes são um dos insumos agrícolas fundamentais, pois auxiliam na reposição de nutrientes, quando estes são removidos do solo por efeito das colheitas.

O MAPA é o órgão federal incumbido pela regulamentação da produção e comercialização de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes no país, constituído por um complexo de leis, decretos, instruções normativas, portarias e normas internas. A Lei 6.894/80 é a base da legislação atual relacionada aos fertilizantes. Esta lei dispõe quanto a inspeção e fiscalização da produção e comercialização de insumos agrícolas no Brasil e estabelece as atribuições do MAPA para executar as ações de fiscalização e a exigência do registro das empresas e de seus produtos.

No ano de 2013, ocorreu no Brasil a alteração da Lei dos Fertilizantes com base na Lei 12.820/2013. Esta alteração foi essencial na introdução do marco legal que concede a comercialização e a aplicação dos remineralizadores de solos no país, dado que estes passam a ser aceitos como uma categoria de insumo atribuído à agricultura, bem como os fertilizantes tradicionais. Dessa forma, esta Lei tem como objetivo expandir, de modo mais sustentável, o rendimento agrícola do Brasil e comprometer-se com a segurança alimentar.

Perante o exposto, fica perceptível a relevância de se estudar os remineralizadores como uma fonte alternativa aos fertilizantes convencionais e de baixo investimento para a sua aplicação, visto que eles apresentam em sua composição elementos primordiais para a nutrição das plantas.

3.2 Rochagem

A rochagem é uma expressão que provém de rocha e representa o uso direto, na agricultura, do pó de rochas pulverizadas, como fonte de fertilização de aplicação imediata (FERNANDES *et al.*, 2010).

A rochagem trata-se de uma tecnologia fundamentada na incorporação de pó de diferentes tipos de rocha, e que objetiva retroceder a aplicação demasiada de fertilizantes convencionais (altamente solúveis), assim como passar a ser uma prática naturalmente compreendida por agricultores, principalmente os familiares, em razão dos seus princípios e, especialmente, dos custos relacionados (THEODORO *et al.*, 2012).

A técnica de rochagem pode-se caracterizar como uma prática alternativa eficiente na função de colaborar para a reabilitação e preservação dos solos, além de diminuir ao mínimo a aplicação de compostos químicos, principalmente aqueles incluídos em formas fortemente solúveis, como é o caso das formulações NPK (FERNANDES *et al.*, 2010).

A rochagem é um termo aplicado para evidenciar a técnica de fertilização natural dos solos com o uso de pós de rochas, também chamados agrominerais e remineralizadores. Os remineralizadores, em específico, são os pós de rochas que seguem os critérios determinados pelo MAPA para comercialização, contudo, os pós de rochas são remineralizadores contanto que detenham nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas. Quanto ao processo de produção, as rochas passam pelas fases de moagem e peneiramento, sem sofrerem qualquer tipo de alteração química, passando somente por diminuição de tamanho (EUTRÓPIO, 2021).

A rochagem pode ser compreendida como uma técnica agrícola de inserção de pó de rochas e/ou minerais ao solo, sendo alguns casos singulares desta técnica a calagem e a fosfatagem natural (LEONARDOS *et al.*, 1976).

Segundo Theodoro (2000), a rochagem também pode ser definida como um tipo de remineralização onde o pó de rocha auxilia no processo de rejuvenescimento de solos lixiviados ou improdutivos. Ainda conforme a autora, a prática da rochagem baseia-se, em suma, na procura por um equilíbrio na fertilidade do solo, na preservação dos recursos naturais e em um sistema de produção cada vez mais sustentável.

A rochagem atua como um tipo de “fertilizante inteligente”, por possuir baixa solubilidade, o pó de rocha, quando aplicado no cultivo, libera os nutrientes vagarosamente, e assim, as plantas absorvem a proporção que necessitam durante o seu crescimento, abstendo as perdas por lixiviação dos nutrientes na água e reduzindo conseqüentemente os custos (THEODORO *et al.*, 2012).

Segundo Neto (2018), a rochagem, pretrofertilização e remineralização são expressões empregues para indicar a técnica de fertilização do solo que faz uso do processo natural de aplicação de partículas minerais. A rochagem introduz ao meio porções minerais fragmentadas possibilitando restabelecer os nutrientes minerais em solos exauridos pelos processos de intemperismo, lixiviação ou até mesmo pelo próprio manejo inadequado e intenso. Conforme Soares (2018), essa técnica pode ser compreendida como uma reserva de nutrientes, visto que proporciona às plantas somente a quantia relevante para aquele momento.

3.2.1 Histórico da rochagem

O emprego de fertilizantes para a melhoria das condições do solo iniciou em 900 a.C com o uso de esterco, principalmente de gado, ovinos e cavalos. O salitre ou nitrato de potássio foi reportado pelo filósofo Teofrasto e Plínio como pertinente para fertilizar as culturas (SILVEIRA, 2016).

Com o aumento da população, no século XIX, a aplicação de esterco e de guano não era suficiente para atender a demanda, portanto o químico Justus Von Liebig sugeriu que os agrários da época utilizassem em suas terras as substâncias minerais presentes nos vegetais. Desse modo, no ano de 1840, o químico produziu o fosfato de cálcio concentrado, entretanto, o composto não foi bem absorvido pelas plantas. Nesse mesmo período, outros pesquisadores descobriram fosfatos artificiais dissolvendo coprólitos em ácido sulfúrico. No ano de 1914, já era conhecida a utilização dos superfosfatos, assim como se acentuou a aplicação de nitratos sintéticos (SILVEIRA, 2016).

A aplicação de pó de rocha ao solo com intenções agrícolas já era popular na antiguidade. Plínio (62-113 d.C) alegava que o calcário, uma rocha sedimentar constituída por minerais que possuem quantidades acima de 30% de carbonato de cálcio, deveria ser despejado no solo com a finalidade de construir uma camada de espessura fina, sendo então, uma forma de adubação satisfatória para culturas por uma longa data (LAPIDO-LOUREIRO & NASCIMENTO, 2009).

Benjamin Franklin, em meados do século XVIII, realizou um experimento utilizando o gesso agrícola, onde constatou que houve crescimento e progresso das pastagens que receberam o gesso. No século XIX, diversos estudos foram realizados por intermédio de tais práticas agrícolas. Estes trabalhos procederam em impactos significativos para o conhecimento da aplicação de rochagem, dentre estes, tem-se os estudos de Julius Hensel e Missoux referente ao emprego de rocha total como fonte de nutrientes (SILVEIRA, 2016).

No século XX, Lacroix atraía atenção para o grande potencial de nutrientes integrados na maior parte das rochas. Keller, em 1948 e 1950, despertava atenção para a capacidade de dezenas de variedades de rochas como fonte de cálcio, potássio e micronutrientes. Estudos experimentais efetuados por Lewis e Eisenmenger, em 1948, confrontaram o resultado de potássio para 22 plantações de pequeno período. D’Hotman de Vilieres, no ano de 1947, propunha a utilização de pó de basalto em solos de regiões úmidas. O estudo foi fundamentado em uma sequência de experimentos de campo, com longa duração, que apresentaram um acréscimo significativo na produção de cana-de-açúcar (THEODORO, 2000).

Na perspectiva de fertilidade, o remineralizador, com seu conjunto de nutrientes e baixa solubilidade, é o insumo mais sustentável para ser aplicado em solos tropicais grandemente lixiviados e constantemente cultivados (THEODORO, 2000).

No Brasil, na década de 1950, a aplicação de pós de rocha na agricultura foi previamente proposta por Josué Guimarães e Vlademir Ilchenko. Os trabalhos de ambos pesquisadores atraíram a atenção para as capacidades das rochas de Cedro do Abaeté/MG, Serra da Mata da Corda/MG e Poços de Caldas/MG (THEODORO, 2000).

Posteriormente, Othon Henry Leonardos, professor na Universidade de Brasília, efetuou estudos marcantes referentes ao tema. As primeiras pesquisas agronômicas foram efetuadas por Lima *et al.*, em 1969, e Lopes *et al.*, em 1971 (THEODORO, 2000).

Enfim, no século XXI os trabalhos enfatizam principalmente fontes de potássio e fósforo, sendo sucedidos eventos de grande destaque como o I, II, III e IV Congressos Brasileiros de Rochagem ocorridos em 2009, 2013, 2016 e 2021, respectivamente (EUTRÓPIO, 2021).

3.2.2 Importância da aplicação do pó de rocha

Assis (2013) afirma que a prática de rochagem é considerada uma forma viável de atender à necessidade nutricional de solos com baixa fertilidade. Em regiões de clima tropical, os solos se tornam mais pobres nutricionalmente devido aos seus fatores e processos de formação, o que acarreta muitas perdas durante a implantação de determinadas lavouras. Com base nesta dificuldade, surge o dever de aplicar fertilizantes no solo para que ocorra um bom progresso das culturas.

Os fertilizantes químicos, além de possuírem uma alta solubilidade, ou seja, se dispersam precipitadamente através da lixiviação, precedem, na grande maioria, da importação, tornando o processo mais custoso aos produtores. Sendo assim, há uma vulnerabilidade econômica, em virtude da necessidade de importações, dado que é um insumo vital para a

produção agrícola no Brasil. À vista disso, a fim de não se sujeitar a insumos que possuem facilidade em se perder através do processo de lixiviação, a técnica de rochagem surge como uma alternativa muito promissora, e além disso, esta prática atende muitas questões relacionadas aos impactos negativos dos insumos químicos mais usuais (ASSIS, 2013).

Conforme Theodoro (2000), a utilização do pó de rocha na agricultura é muito eficiente, a medida em que a rocha empregada detenha ampla variedade mineralógica e, por consequência, química, englobando assim a maior parte dos macros e micronutrientes fundamentais para o crescimento das plantas. A autora ainda enfatiza algumas vantagens do uso de pó de rocha em comparação aos insumos convencionais de fertilização, visto que os convencionais apresentam uma atividade instantânea, oferecendo assim, os nutrientes ao solo por um curto período de tempo, sendo o excedente conduzido para os cursos d'água e lençol freático. Ainda, os remineralizadores, em oposição aos fertilizantes químicos, nutrem o solo de maneira gradual, proporcionando uma adubação mais efetiva e prolongada.

A aplicação de pó de rocha como alternativa aos fertilizantes convencionais surgiu com a finalidade de diminuir as despesas geradas na produção das lavouras, pois é uma técnica muito eficiente, mesmo quando introduzida *in natura*, colaborando para o aumento da fertilidade do solo através do suprimento de macronutrientes essenciais como potássio, fósforo, enxofre, cálcio e magnésio, bem como micronutrientes como cobre, ferro, zinco e manganês, para a área de interação planta e solo (SOUZA, 2019).

A técnica de rochagem também promove a relação entre os campos da economia, a agricultura e a mineração, que particularmente não possuem correlação e que são vistos geralmente como atividades impulsionadoras de degradação ambiental (SOUZA, 2019).

Os minerais existentes no pó de rocha são capazes de assegurar de maneira regular, ao longo do tempo, o abastecimento contínuo de nutrientes às plantas, visto que a liberação das substâncias ocorre gradualmente. O uso de pó de rocha permite a diminuição da adsorção de fósforo, em virtude da grande quantidade de silicatos, além disso, sua aplicação permite o fornecimento de macro e micronutrientes, sendo capaz de oferecer determinados nutrientes que não estão presentes em fertilizantes solúveis provedores de NPK (SOUZA, 2019).

O pó de rocha possui liberação prolongada em solos de caráter ácidos e desprovidos de nutrientes, e sua aplicabilidade não apresenta degradação do meio ambiente. Geralmente, os pós são regionalmente acessíveis, alguns deles como resíduos de mineração, pois podem apresentar poucos gastos e permitir uma boa fertilidade ao solo (SOUZA, 2019).

Diversas pesquisas associadas a eficácia do pó de rocha na microbiota do solo e de seu aglomerado apontam como é importante a aplicação desse pó, principalmente dos fosfatados,

para a funcionalidade do solo e para integrar substratos destinados à mudas (AGUIAR *et al.*, 2020).

3.3. Processo de disponibilização de nutrientes do pó de rocha

O solo origina-se da atuação síncrona e integrada dos organismos e clima que agem sobre um material de origem, normalmente uma rocha, que abrange certa paisagem ou relevo, ao longo de um determinado período de tempo. No decorrer de sua composição o solo sofre o efeito de diferentes processos de formação, tais como: perdas, modificações, transportes e adições. A ocorrência desses processos estabelece a alteração da rocha em solo, diferenciando-se desta por ser composto de uma série vertical de camadas que apresentam diferentes granulometrias, espessuras, cores, capacidade de nutrientes de plantas e matéria orgânica (LIMA, *et al.*, 2007).

O conteúdo de base é a matéria-prima a partir da qual os solos iniciam seu processo de formação, podendo ser do tipo mineral, no caso da rocha ou sedimentos, ou solo orgânico, que é composto por materiais orgânicos (por exemplo: resíduos vegetais). Os materiais rochosos são considerados os mais notáveis por abrangerem um espaço territorial maior quando comparado com as extensões do solo orgânico (LIMA, *et al.*, 2007). As rochas podem ser classificadas conforme o seu modo de formação em metamórficas, magmáticas ou ígneas e sedimentares (DAMASCENO, 2017).

As rochas ígneas ou magmáticas são geradas através da solidificação do magma, que foi criado na litosfera. As rochas sedimentares são agregados unificados de rochas (metamórfica, sedimentares ou ígneas), bem como sobras de organismos. Por fim, as rochas metamórficas são formadas a partir de outros tipos de rocha que, distante de seus locais de origem e sujeitas à fatores como: temperatura, pressão, existência de fluidos e período de tempo dos processos, tem-se suas características modificadas através do processo chamado de metamorfismo (DAMASCENO, 2017).

Conforme o tipo de material de origem, os solos podem ser apontados como argilosos, férteis ou inférteis, arenosos. É essencial ressaltar que uma mesma rocha poderá gerar solos com características muito distintas, de acordo com a alteração dos demais fatores de formação (LIMA, *et al.*, 2007).

Os nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas, como potássio, fósforo, magnésio e cálcio, origina-se dos minerais existentes nas rochas que, ao se fragmentar pela ação do intemperismo, disponibilizam ao solo esses elementos para serem assimilados pelos vegetais (LIMA, *et al.*, 2007).

Segundo Harley e Gilkes (2000), no que se refere aos mecanismos de dissolução mineral, a liberação de nutrientes do arranjo mineral para a solução do solo possui inferências diretas na disponibilização de nutrientes e no desenvolvimento das plantas, sendo que a solubilização dos nutrientes existentes nos minerais pode ocorrer por meio de processos físicos, químicos e biológicos. O intemperismo é considerado o processo principal compreendido na solubilização dos minerais, principalmente pelo efeito da água da chuva que atua sobre os minerais presentes nas rochas e os dissociam, resultando na formação de novos minerais e solutos, disponibilizando, por meio disso, nutrientes integrantes do arranjo mineral da rocha.

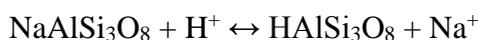
Segundo Barbosa (2014), o processo de intemperismo estende-se como a modificação física e química da rocha junto à superfície terrestre. Dessa forma, é destacado como um processo antecedente a desnudação (termo geológico que se refere a extração da superfície de uma área por ação erosiva), estimulando o material rochoso para o desgaste erosivo, alterando-o física e quimicamente.

O intemperismo físico é responsável pelo processo de desagregação das rochas sem a ocorrência de qualquer modificação química, compreendendo o fracionamento estrutural dos minerais que constituem o material rochoso, que modo que este fique suscetível à decomposição (BARBOSA, 2014).

O intemperismo químico, por sua vez, depende da ocorrência dos processos químicos de dissolução, oxidação e hidrólise, que modificam a composição dos minerais (BARBOSA, 2014).

A hidrólise, especialmente, compreende a reação entre íons H^+ e OH^+ (oriundos da dissociação da água) e um mineral, gerando a quebra das ligações O entre os íons metálicos (manganês, magnésio, ferro, cálcio, etc.) e o silício nos silicatos e o carbono nos carbonatos. Como produção tem-se a troca dos íons alcalinos (cálcio, potássio, sódio, etc.) pelo H^+ , com o decorrente colapso e fragmentação do arranjo. A hidrólise é uma das mais importantes reações que ocorrem durante a decomposição de silicatos e carbonatos. A equação 1 apresenta um exemplo sinóptico da hidrólise da albita (KAMPF *et al.*, 2009).

Equação 1 - Reação de hidrólise da albita.



O intemperismo biológico pode ocorrer através da ação dos organismos vivos ou da matéria orgânica oriunda do processo de decomposição, de modo que este tipo de intemperismo é uma variação dos processos químicos, possuindo como agentes fundamentais os seres vivos (BARBOSA, 2014).

O intemperismo químico será evidenciado por intermédio das reações químicas que acontecem entre as rochas e o meio ambiente, de maneira a proporcionar a base fundamental para elucidar os processos de fertilização por meio da aplicação de pó de rocha (THEODORO, 2000).

Majoritariamente, há uma série nas reações químicas estimuladas pelo intemperismo, na qual os elementos sódio, cálcio e magnésio desgastam mais depressa quando comparados ao potássio e à sílica, seguidos pelo alumínio e ferro. Dessa maneira, rochas ricas em minerais ferro-magnesianos e cálcicos, tal como os basaltos, são intemperizadas mais facilmente, quando confrontadas com os granitos. Nesse tipo de intemperismo, a água transporta inúmeras substâncias como o oxigênio livre, o dióxido de carbono, os ácidos orgânicos e ácidos nitrogenados, que reagem com os minerais presentes nas rochas. (THEODORO, 2000).

Conforme Eutrópio (2021), o intemperismo químico pode envolver processos distintos, entre eles a hidrólise, considerada como um processo extensamente disperso junto às rochas na composição dos solos. As rochas, compostas por minerais, são sujeitas, durante o processo de hidrólise, à intemperização através do contato com solução ácida, que opera na quebra das ligações químicas presentes entre os elementos químicos integrantes dos minerais, em virtude da ação do hidrogênio na água, onde uma fração do CO₂ é dissolvido na água, atribuindo acidez à mesma, desprendendo-o para o meio circundante aquoso, no qual rearranjam-se em solução constituindo novos minerais, denominados de argilominerais, e/ou óxidos de ferro e óxidos de alumínio.

Ainda, existe durante a liberação de elementos químicos, a disponibilização de nutrientes às plantas, onde são principalmente lixiviados durante a formação do solo, levando em consideração um grande período de tempo para constituição dos mesmos. Estes novos minerais gerados irão integrar a parcela de argila dos solos (EUTRÓPIO, 2021). A Equação 2 apresenta a ação do intemperismo do feldspato sódico (albita), gerando caulinita (argilomineral) com disponibilização de cátion (Na⁺):

Equação 2 - Mineral albita gerando caulinita com disponibilização de cátion (Na⁺)



O intemperismo é geralmente um processo demorado e gradativo, que pode levar milhares ou até milhões de anos para alterar consideravelmente as rochas. Contudo, existe um auxílio maior no intemperismo químico e na decorrente liberação dos nutrientes contidos nos minerais, os quais poderão permanecer na solução e também serem assimilados nas cargas negativas do solo; ao longo do crescimento das plantas, essas poderão utilizá-los, quando

ficarem diretamente na solução, ou logo em seguida, quando estiverem integrados as cargas negativas do solo, de onde poderão ser substituídos por outros cátions oriundos da solução (EUTRÓPIO, 2021).

No intemperismo químico acontecem alterações químicas e mineralógicas em virtude do contato da rocha com a meio de superfície. Os minerais são percolados através de soluções aquosas ricas principalmente em CO_2 e muitos de seus componentes são lixiviados. À vista disso, novos ciclos minerais são gerados dos remanescentes do processo de modificação, com composições química e mineralógica correspondente do material de origem e do meio de formação. Sendo assim, o intemperismo químico interfere no fornecimento e na capacidade de nutrientes, como também nas estruturas e outros fatores mineralógicos (LIMA, 2020).

Goldich em 1938, notou que a resistência dos minerais ao intemperismo está associada a sua sequência de formação na ordem de cristalização magmática estabelecida por Bowen, ou melhor, a sensibilidade ao intemperismo de um certo mineral é equivalente a sua ordem de cristalização. Portanto, Goldich ao pesquisar sobre os minerais existentes em sedimentos, sob diferentes condições ambientais, desenvolveu uma série de estabilidade ou vulnerabilidade para minerais silicatos mais comuns (LIMA, 2020).

Figura 1 - Série de Goldich (1938) apresentando a ordem de estabilidade dos minerais diante a velocidade do intemperismo.

Estabilidade dos minerais	Velocidade do intemperismo	
Mais estável	Menor	
Óxidos de Fe (hematita)	↓	
Hidróxidos de Al (gibbsita)		
Quartzo		
Argilominerais		
Muscovita		
Ortoclásio		
Biotita		
Albita		
Anfibólitos		
Piroxênios		
Anortita		
Olivina		
Calcita		
Halita		
Menos estável		Maior

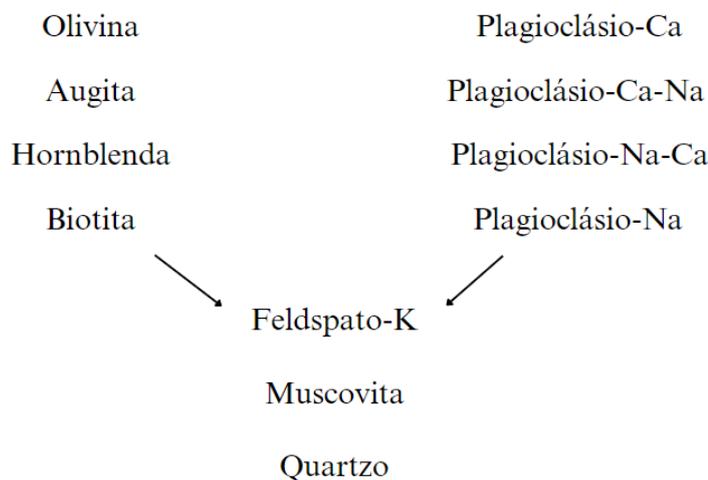
Fonte: Lima, 2020.

Os minerais que mais resistem ao intemperismo químico são os que contém maior teor de sílica, como por exemplo o quartzo e os óxidos de ferro e alumínio, por serem resultados do intemperismo de minerais primários compostos por elementos que apresentam baixa mobilidade. As ligações químicas que compõem esses minerais são, maioritariamente, covalentes, outra condição que proporciona maior resistência. Em contrapartida, os minerais que apresentam menor resistência são compostos por cátions como potássio, magnésio e cálcio e compreendem ligações iônicas, tornando-os mais vulneráveis ao intemperismo, sendo modificados com grande facilidade (LIMA, 2020).

Ao estudar os grupos de minerais existentes em sedimentos sob diferentes estados ambientais, Goldich (1938) gerou séries de estabilidade para partículas de dimensão silte e areia, que explicam a estabilidade relativa (ou a vulnerabilidade ao intemperismo) dos minerais silicato primários mais comuns (Figura 2). Esta ordem é análoga à série de cristalização dos minerais frequentes em rochas ígneas, denominada de série de reação de Bowen (1928), a qual envolve uma sequência de reações químicas que retratam a cristalização de minerais em rochas ígneas através do magma (KAMPF *et al.*, 2009).

Na série de Bowen, a olivina é o primeiro mineral a sofrer a cristalização através de um magma enriquecido de magnésio e silicatos, por esse motivo, este mineral é classificado como primário. Na proporção em que o magma esfria, novos minerais iniciam o processo de cristalização através dos constituintes remanescentes, fazendo com que diminua a concentração de silicatos e magnésio presentes no magma para a geração de olivina. Diante disso, o grau de cristalização da olivina é maior em rochas ígneas que se originam sob condições de temperaturas mais altas. A ligação entre a série de Goldich (estabilidade mineral relativa) e a sequência de cristalização (série de reação de Bowen) é elucidada pelo grau de desequilíbrio entre o meio de alta temperatura do magma, onde o mineral se origina, e a baixa temperatura do meio terrestre, onde o mineral sofre o intemperismo (KAMPF *et al.*, 2009).

Figura 2 - Representação das séries de estabilidade para minerais das frações areias e silte



Fonte: Adaptada por KAMPF *et al.* (2009).

Os minerais localizados nas posições mais altas do diagrama de estabilidade, por exemplo a olivina e os plagioclásios-Ca (anortita), são intemperizados com mais facilidade e são os primeiros a desvanecer das frações areia e silte do solo como consequência da interferência do intemperismo químico. Já os minerais posicionados na base do diagrama, por exemplo o quartzo e a muscovita, são os que mais apresentam resistência ao processo de intemperismo, sendo previstos em solos fortemente intemperizados (KAMPF *et al.*, 2009).

O basalto é uma rocha ígnea vulcânica, de aspecto fino e escuro. A sua coloração (cinza escuro a preto) é resultante da presença intensa dos elementos químicos: Ca, Mg e Fe. O basalto origina-se através de um rápido resfriamento do magma na superfície terrestre, e composição mineralógica é normalmente compreendida por minerais silicatos, como piroxênios, plagioclásios cálcicos e olivinas. Quanto ao teor de sílica, esta rocha possui uma ordem de 50%, em peso (EUTRÓPIO, 2021).

Os minerais mencionados previamente, observados nas Séries anteriores, são solidificados sob condições de elevadas temperaturas. Logo, são minerais com alta facilidade de intemperizar, quando confrontados com minerais que foram originados sob condições de temperaturas mais baixas (EUTRÓPIO, 2021).

O basalto possui baixo teor em SiO₂ quando comparado com rochas ácidas, por exemplo, que possuem teores superiores a 65%, ou rochas intermediárias, que apresentam teores entre 52 e 65%. Portanto, esta rocha ígnea tem alta capacidade de liberar grande porção de elementos químicos que atuam como nutrientes para plantas. Essas observações, são essenciais, devido ao basalto ser considerado uma fonte de matéria-prima relevante para a

fertilização dos solos agrícolas, visto que geralmente atende os critérios necessários para o pó de rocha ser considerado um remineralizador, conforme estabelece a Instrução Normativa 05/2016 do MAPA (EUTRÓPIO, 2021).

3.4. Principais rochas utilizadas na técnica de rochagem

A técnica de rochagem consiste em uma alternativa mais sustentável e viável economicamente, principalmente por efeito do seu processo de beneficiamento, que exige baixo investimento, pois compreende somente a moagem das rochas utilizadas na composição do produto; e também em virtude da disponibilização gradativa de nutrientes que reduz as perdas por lixiviação e contribui para uma atuação a longo prazo do produto empregado (SOUZA, 2019). Diferentes tipos de rochas podem ser aplicados no processo de remineralização dos solos, podendo cada uma oferecer distintos grupos de nutrientes, dependendo de cada situação e tipo de plantio (GUIMARÃES, 2022).

Desse modo, Van Straaten (2007), mencionando A. A. Levinson (1974), apontou os principais tipos de rochas eficientes no processo de disponibilização de macro e micronutrientes, como é apresentado na Tabela 1. Importante ressaltar que são diversos os nutrientes que o pó de rocha pode ofertar, diante disso, previamente a aplicação da técnica de rochagem, é fundamental analisar qual nutriente o solo em estudo está necessitando.

Tabela 1 - Macro e micronutrientes presentes em diferentes tipos de rocha.

Tipos de rocha	Nutrientes
Rochas ígneas ultramáficas	Cr, Co, Ni, Fe, Mn
Basaltos	Cu, Zn, Mn, Fe, Co, Ni, V
Granitos	Ba, Li, W, Rb, Mo, Cu, Zn, Cl, Si, K
Carbonatitos	F, Nb, K, P, Mg, Ca
Xisto negro	Cu, Zn, Cd, Se, Ni, Mo, V, Fe, B
Xisto vermelho/arenito	Se, As, Mo, Cu

Fonte: Van Straaten (2007) apud Levinson (1974).

O pó de rocha MB-4 é o nome comercial dado ao produto constituído por rochas com altas concentrações de silicatos de magnésio, ferro e cálcio, enriquecidos de potássio, fósforo e

enxofre, e também, com variados micronutrientes, como zinco, cobalto, cobre, manganês, entre outros. Essas rochas quando articuladas, proporcionam ao solo os nutrientes de maneira mais completa, possuindo a atribuição também de realizar a correção do mesmo (ARAÚJO, 2014).

A granulometria do MB-4 foi desenvolvida especificamente com o objetivo de proporcionar o melhor ao solo, de tal forma, a disponibilizar os nutrientes presentes no pó de rocha para suprir as deficiências das plantas, por um período de tempo mais prolongado e diminuir as perdas ocasionadas por lixiviação (SUASSUNA, 2014). A Figura 1 apresenta os detalhes do pó de rocha MB-4.

Figura 3 - Representação do pó de rocha MB-4



Fonte: Araújo, 2014.

O pó de basalto é obtido a partir da rocha basáltica que sofre processos mecânicos, como a moagem. Este tipo de pó auxilia na composição de argila fértil, proporcionando ferro, cálcio, magnésio e uma alta variedade de nutrientes. Ainda, esse tipo de rocha encontra-se associada aos solos mais férteis do mundo (ARAÚJO, 2014). A Figura 4 apresenta os detalhes do pó de basalto.

Figura 4 - Representação do pó de basalto

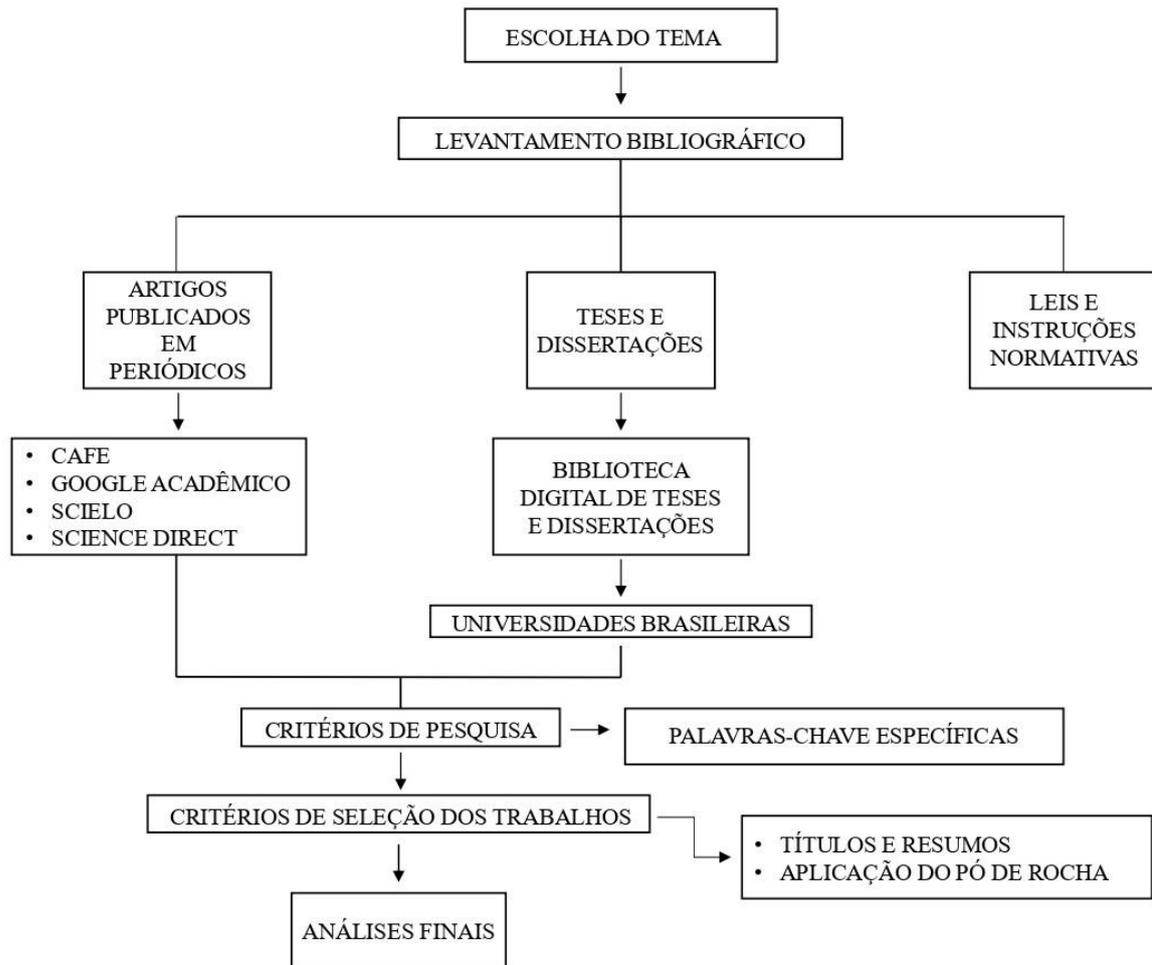


Fonte: Mineralle Agro, 2023.

4. METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido com base nas diferentes etapas apresentadas pelo Fluxograma da Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma para desenvolvimento do trabalho.



Fonte: Autora, 2023.

A escolha do tema deveu-se, principalmente, a um grande interesse pela área de aproveitamento de resíduos de mineração. Contudo, depois dos primeiros estágios da pesquisa bibliográfica, o foco do trabalho se alterou, tornou-se mais focado em entender o funcionamento da prática de rochagem, bem como a possibilidade desta prática ser uma alternativa mais sustentável de fertilização. Além disso, conforme a pesquisa foi se aprofundando, surgiram novos horizontes a serem estudados, dentre eles, as vantagens ambientais ao utilizar o pó de rocha em solos agrícolas, e os principais critérios para regularização do remineralizador no Brasil.

Para a realização deste trabalho foi realizada uma ampla pesquisa em relação a aplicação do pó de rocha como alternativa sustentável aos fertilizantes convencionais. A princípio efetuou-se o levantamento de trabalhos acadêmicos, dissertações, artigos, livros, anais e teses. O levantamento bibliográfico foi baseado em publicações de periódicos científicos, obtidos por

intermédio da Plataforma Cafe (Comunidade Acadêmica Federada), além de publicações de teses e dissertações através da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações. As principais bases consultadas para a elaboração do trabalho foram Google Acadêmico; Scientific Electronic Library Online - Scielo e Science Direct.

Os trabalhos acadêmicos, dissertações e teses consultados foram de universidades brasileiras como: Universidade de Pernambuco (UPE), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Universidade de Brasília (UnB), Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Universidade Federal do Acre (UFAC), Universidade Federal de Lavras (UFLA) e Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Além disso, realizou-se consultas à legislação pertinente a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, ofertados à agricultura, bem como os decretos e as instruções normativas.

Em todas as bases consultadas foram aplicadas as seguintes palavras-chave: “rochagem”, “pó de rocha”, “remineralizador” e “rochagem como alternativa sustentável”. As pesquisas foram efetuadas em inglês e português. Posteriormente, estes materiais foram separados com base na leitura dos títulos e resumos. Por ser um tema ainda pouco desenvolvido, a data de publicação não foi considerada como um critério de seleção. Após o estudo desses materiais, foram separados os dados e informações necessárias para o desenvolvimento do trabalho. Além disso, foram analisados e discutidos os resultados apresentados em estudos científicos conceituados, sobretudo os que envolvem a aplicação da técnica de rochagem em sistemas de uso distintos. Esta análise foi efetuada com intuito de compilar os resultados promissores que esta prática tem fornecido.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação dos trabalhos analisados

Fazendo uso dos critérios definidos para a fase de pesquisa, foram localizados 9 trabalhos que tratavam das vantagens ambientais no uso de pó de rocha na agricultura. Os estudos foram publicados entre os anos de 2000 e 2018. Todos os trabalhos apresentados são de origem nacional, dado que foi identificada, ao longo das buscas, uma dificuldade ao tentar encontrar estudos internacionais que tratavam, de forma direta ou indiretamente, deste tópico. Além disso, por mais que seja um tema abordado em diversos trabalhos nacionais, o tema não

é discutido de forma tão aprofundada. Geralmente, os trabalhos focam mais nas vantagens agrícolas e em pesquisas de comprovação da eficiência agrônômica da técnica.

Quanto aos trabalhos de sucesso de aplicação de pó de rocha em diferentes casos específicos, foram encontradas 2 pesquisas publicadas nos anos de 2012 e 2013 e 2 pesquisas mais recentes, ambas publicadas no ano de 2020. A busca para atender esse objetivo específico foi mais custosa, visto que foram analisados, além dos resumos, o teor dos resultados apresentados em cada trabalho estudado.

Ainda, durante a consulta priorizou-se selecionar trabalhos com cenários e culturas diferentes, critério este que tornou a pesquisa ainda mais complexa. Ao longo desta busca, foram observados diferentes trabalhos desenvolvidos sobre uma cultura em específico e, por outro lado, verificou-se uma carência de estudos relacionados a testes de eficiência agrônômica em outros tipos de culturas. Acredita-se que isso ocorre devido ao fato de o pó de uma determinada rocha ser um produto muito específico (cada rocha possui características singulares), que deve ser aplicado em quantidades adequadas para cada tipo de cultivo e solo, exigindo, dessa maneira, mais pesquisas e estudos nesta área.

Para o levantamento das vantagens e desvantagens da remineralização como fonte de nutrientes, foram selecionados 6 trabalhos, sendo 1 destes de origem internacional. Os estudos foram publicados entre os anos de 2006 e 2022. Quanto às vantagens, foram encontrados diversos trabalhos que abordam sobre o tema. No que se refere as desvantagens da aplicação da técnica, notou-se uma ausência de conteúdo.

Quanto aos principais critérios para regularização do remineralizador no Brasil, frente ao MAPA, foram apresentadas partes das Instruções Normativas (INs) n.º 05/2016 e 06/2016, pois atendem diretamente este tópico. As instruções definem as especificidades permitidas e as garantias mínimas para os remineralizadores de solos no Brasil.

5.2 Vantagens ambientais no uso de pó de rocha na agricultura

A prática de rochagem possui a capacidade de modificar positivamente os padrões de fertilidade dos solos sem influenciar a estabilidade do meio ambiente (THEODORO *et al.*, 2006).

Esta técnica colabora para a reabilitação e a preservação das propriedades dos solos, além de diminuir a aplicação de insumos químicos, principalmente aqueles agregados em fórmulas com alta solubilidade, como as formulações de NPK (SOARES, 2018). Theodoro (2000) considera esta tecnologia um método de fertilização sustentável no decorrer do tempo, por apresentar a vantagem de restituir aos solos uma fração dos nutrientes retirados, sem

interferir no equilíbrio químico natural. A autora também afirma que a aplicação do pó de rocha é uma técnica considerada ambientalmente saudável e ecologicamente correta, pois exige menor quantidade de energia, quando comparada aos insumos químicos tradicionais.

Ainda, o pó de rocha pode ser utilizado na agricultura orgânica, onde o uso de insumos químicos é proibido. A aplicação dos pós de rocha está prevista na Instrução Normativa 46/11, que determina o regimento técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção, desse modo, outorgado para produção vegetal orgânica, desde que, respeite os limites máximos de metais pesados estabelecidos no Anexo VI dessa instrução.

Conforme Theodoro e Leonardos (2011) a aplicação do pó de rocha garante que não ocorrerá o risco de contaminação do solo e dos rios em caso de uso em excesso, ao contrário das formulações NPK. O fósforo em excesso no meio ambiente pode motivar diversos efeitos negativos, principalmente na qualidade das águas superficiais (KLEIN e AGNE, 2012). Para esses autores, um dos processos ocasionados pelo excesso de fósforo nas águas é a eutrofização.

De acordo com Barreto *et al.*, (2013) a eutrofização corresponde ao aumento demasiado de nutrientes na água, podendo ser ocasionada por drenagem de insumos químicos agrícolas, águas pluviais de centros urbanos, detergentes, entre outros. Ocorre que, no momento em que estes efluentes e resíduos elevam a concentração de nutrientes (especialmente os fosfatos) de cursos d'água e lagos, são capazes de gerar uma intensa eutrofização. Os nutrientes instigam o desenvolvimento de plantas e algas, que influenciam no uso da água para consumo humano ou lazer.

O fósforo e nitrogênio existentes em cursos d'água e rios são nutrientes essenciais ao funcionamento da cadeia alimentar, contudo, quando lançados em grandes concentrações em águas superficiais e expostos à um bom estado de luminosidade, possibilitam o enriquecimento do ambiente, causando a eutrofização. A eutrofização pode provocar a modificação de diversos parâmetros da água, como por exemplo, o sabor, odor, coloração, turbidez e a diminuição de oxigênio dissolvido, acarretando o crescimento exagerado de plantas aquáticas e a mortalidade de peixes (BARRETO *et al.*, 2013).

Além dos riscos relacionados à eutrofização, segundo Souza *et al.*, (2018), os fertilizantes fosfatados possuem diferentes concentrações de cádmio, níquel, zinco, cromo e chumbo em consequência de suas origens. Ainda que os níveis de metais pesados em solos cultiváveis sejam consideravelmente baixos, a aplicação ininterrupta de fosfato, somada as particularidades do solo em que será utilizado, no decorrer de um longo espaço de tempo, poderá ocasionar em acúmulo significativo de alguns destes metais.

Pádua (2012), aborda que o impacto negativo de metais pesados e elementos-traço dependem, sobretudo, da fração acumulada e das formas químicas em que se demonstram no solo. O fato destes metais ocorrerem no solo em formas solúveis, oclusas, trocáveis, complexadas ou precipitadas é o que estabelece o seu potencial poluidor/degradador. O autor ainda cita que, dos estudos realizados com a técnica de rochagem no Brasil, não existem registros de vicissitudes referentes à contaminação no solo ou sobre toxicidade às plantas.

Conforme Neto (2018), a rochagem, além de ser vista como uma alternativa prometedora para o setor agrícola, também é considerada uma forma de reaproveitamento de resíduos provenientes do processo de britagem em minerações. Durante o beneficiamento do minério existe uma parcela de material lavrado que poderia ser transformada de resíduo para subproduto. Ocorre que, o setor de beneficiamento, especialmente nas pedreiras, se depara com problemas associados às partículas minerais que quando apresentam propriedades fora dos critérios exigidos pelo mercado, se tornam resíduos e precisam de destinos ambientalmente corretos.

O pó de rocha é o principal resíduo gerado no decorrer dos processos de britagem e corte do material rochoso na extração mineral. Dessa forma, no Brasil, tem-se estimulado a pesquisa e aplicação deste resíduo remineralizador do solo como uma forma de diminuir os gastos da produção agrícola, sem a necessidade de obtenção de insumos tradicionais (NETO, 2018).

Segundo Theodoro *et al.* (2006), a aplicação de pó de rocha como um meio de restabelecer as condições de fertilidade dos solos sem interferir no equilíbrio ambiental pode se tornar um sistema singular de produção que intensifica a solução para dois dos grandes setores do Brasil: a mineração e a agricultura. Contudo, conforme os autores, é preciso ressaltar que a aplicação deste material remineralizador (resíduo de mineração) está sujeito a alguns requisitos fundamentais, sendo eles:

I - o resíduo deve apresentar quantidades mínimas de macro-elementos (conter micro-elementos também é essencial) e não dispor de contaminantes;

II - é necessário estar acessível próximo ao local em que será utilizado, pois do contrário, as despesas de transporte do material tornam a aplicação inviável economicamente;

III - é adequado que sejam efetuadas análises de fertilidade do solo que acolherá o material, como também do pó de rocha que será aplicado para remineralizar o solo. Dessa maneira, será possível identificar a situação natural do solo antes do uso do material, de modo a favorecer o monitoramento das alterações no decorrer do tempo;

IV - é recomendável que se aplique o pó de rocha paralelamente a materiais de origem orgânica, provenientes, a título de exemplo, da adubação verde ou da compostagem.

5.3 Exemplos de sucesso na aplicação de pó de rocha

Os experimentos realizados para atestar a eficácia da técnica de rochagem em solos agrícolas apresentam diferentes modos de obtenção de macro e micronutrientes, dado que durante os ensaios é necessário levar em conta o tipo de solo que receberá o remineralizador, as condições climáticas do local, as espécies de plantas que serão beneficiadas, e o tipo de rocha que será transformado em pó. Por esse motivo, as técnicas são conduzidas de forma diferente, como exemplo tem-se a aplicação de pó de rocha combinado com outro tipo de fertilizante, condicionante ou adubo, ou apenas a utilização do remineralizador.

No trabalho de Brandão (2012), intitulado "Pó de rocha como fonte de nutrientes no contexto da agroecologia", o principal objetivo foi examinar alternativas para agilizar a solubilização de minerais contidos em pó de rocha. No primeiro experimento da pesquisa, o intuito foi avaliar o efeito do fungo *Aspergillus niger* linhagem CCT4355 e da vinhaça na solubilização de minerais presentes em pó de basalto. O ensaio in vitro compreendeu os tratamentos: vinhaça + *A. niger* (VF), pó de rocha + vinhaça (PV) e pó de rocha + vinhaça + *A. niger* (PVF). Conforme o resultado da análise química, o pó de basalto utilizado no experimento apresentou 50,31 % de SiO₂; 12,62% de Fe₂O₃; 0,84 % de K₂O; 13,94% de Al₂O₃; 2,24% de Na₂O; 6,91 % de MgO; 10,16 % de CaO; e 1,02 de TiO₂. Quanto a sua granulometria, o pó apresentou resultado inferior a 0,053 mm.

Verificou-se que em PV a solubilização de cálcio, magnésio, potássio, zinco e cobre foi superior quando comparado com o PVF, destacando o potencial solubilizador da vinhaça. Quanto aos teores de ferro e manganês observou-se entre os tratamentos uma diferença considerável, sendo que o tratamento PVF alcançou os teores mais notáveis desses elementos. Os teores de cálcio foram superiores no tratamento PV quando comparados aos outros tratamentos. No que se refere aos teores de potássio e magnésio, não houve diferença expressiva entre os tratamentos.

Portanto, a autora concluiu que a aplicação de vinhaça como meio de cultura para *Aspergillus niger* em ensaios de solubilização de pó de basalto favoreceu aumento na disponibilização de micronutrientes como ferro e zinco solúveis depois de 35 dias de incubação. Por fim, a autora relata que misturas de vinhaça e pó de rocha apresentam alta capacidade e potencial para fabricação de biofertilizante de baixo custo.

O segundo ensaio da pesquisa de Brandão (2012) objetivou avaliar o efeito de *A. niger* na liberação de nutrientes dos pós de fonolito e de basalto em testes de solubilização *in vitro*, fazendo uso de meio de cultura líquido adaptado para *A. niger*. Os tratamentos admitidos foram: pó de fonolito + meio de cultura (FM), pó de fonolito + meio + *A. niger* (FMA), pó de basalto + meio de cultura (DM), pó de basalto + meio de cultura + *A. niger* (DMA) e *A. niger* + meio de cultura (MA). Conforme os resultados das análises químicas, o pó de fonolito apresentou 54,8% de SiO₂; 3,29% de Fe₂O₃; 8,46% de K₂O; 21,3% de Al₂O₃ e 6,07% de Na₂O. Já o pó de basalto, apresentou em sua composição 50,31% de SiO₂; 12,62% de Fe₂O₃; 0,84% de K₂O; 13,94% de Al₂O₃; 2,24% de Na₂O; 6,91% de MgO; 10,16% de CaO e 1,02% de TiO₂.

A partir dos resultados obtidos, verificou-se que os tratamentos que envolviam o fungo e pó de rocha apresentaram uma maior variação de pH, em virtude da presença do pó de basalto, o que retrata o grande conteúdo de minerais ricos em magnésio e cálcio existentes neste tipo de rocha. Em relação aos teores de cálcio, observou-se que estes foram superiores nos tratamentos com pós de rocha e o meio de cultura, não apresentando variações entre os dois tipos de pós, apontando que, na falta do fungo, não houve disponibilização do cálcio integrado no pó de basalto (BRANDÃO, 2012).

Ainda, conforme os resultados, o potássio compreendido nos minerais existentes no pó de fonolito, foi o elemento que demonstrou maior solubilização por *A. niger*. O trabalho ainda traz informações de que duas fontes de potássio frequentemente aplicadas na agricultura orgânica são as cinzas vegetais, com aproximadamente 10% de potássio em sua composição, e esterco bovino curtido, com aproximadamente 5% de potássio. Dessa maneira, o pó de fonolito com aproximadamente 8% de potássio pode ser considerado uma alternativa promissora para adubação orgânica (BRANDÃO, 2012).

Por fim, verificou-se que *A. niger* conseguiu fornecer ácidos orgânicos que solubilizaram os pós de rocha e interagiram de distintas maneiras com os nutrientes. O elemento que demonstrou maior solubilização através do fungo *A. niger* foi o potássio em pó de fonolito. Portanto, o pó de fonolito pode ser apontado para a fabricação de biofertilizante potássico (BRANDÃO, 2012).

O último ensaio da pesquisa consistiu nas misturas de vermicomposto e pó de basalto. Este ensaio teve dois objetivos principais, o primeiro consistiu em estabelecer a disponibilidade de nutrientes em bioproduto decorrente da vermicompostagem, elaborada com acréscimo de pó de basalto, e o segundo, foi examinar o efeito do pó de rocha, com ou sem vermicompostagem, em lavoura de curta duração, fazendo uso de abobrinha italiana (*Cucurbita pepo*) como espécie indicadora (BRANDÃO, 2012).

Para atendimento do primeiro objetivo, foram realizados dois tratamentos, sendo o primeiro chamado de T1 (a aplicação de pó de basalto + vermicomposto) e o segundo de T2 (somente o vermicomposto). Já para atendimento do segundo objetivo do trabalho, foi estruturado um experimento em uma área experimental de 215 m². O delineamento experimental empregado foi em blocos casualizados constando de cinco tratamentos realizados em cinco vezes. Os tratamentos foram divididos em: T1 = vermicomposto + pó de basalto, T2 = vermicomposto, T3 = pó de basalto, T4 = adubação convencional e T5 sem adubação (BRANDÃO, 2012).

Com base nos resultados obtidos, a umidade e os teores de nutrientes em T1 foram inferiores aos apresentados em T2, com exceção do cobre. Conforme a autora, este resultado pode ser derivado de condições como o curto intervalo de tempo disponível para solubilização dos nutrientes existentes no pó de basalto, granulometria do pó e as características mineralógicas do basalto (BRANDÃO, 2012).

O uso de pó de basalto nas camadas do vermicomposto favoreceu o aumento do pH do produto alcançado ao final de 55 dias de incubação, porém a vermicompostagem não conseguiu liberar nutrientes existentes no pó de basalto (BRANDÃO, 2012).

O uso de vermicomposto, com e sem adição de pó de rocha, apresentou efeito similar à fertilização convencional, afirmando a relevância da vermicompostagem em plantações que são cultivadas sem adição de insumos industrializados. O experimento indicou que a vermicompostagem não ocasionou aumento na taxa de disponibilidade de nutrientes de pó de basalto para plantações de ciclo curto (BRANDÃO, 2012).

Por fim, a pesquisa objetivou, de modo geral, cooperar para o melhor entendimento da técnica de rochagem como fonte alternativa para fertilização de solos agrícolas (BRANDÃO, 2012).

No trabalho de Souza *et al.* (2013), denominado “Uso da rochagem como fonte alternativa de nutrientes na produção de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) para a indústria de etanol” o objetivo foi analisar os efeitos comparativos do pó de rocha com relação ao cloreto de potássio quanto às características fisiológicas e produtivas da plantação de cana-de-açúcar.

O estudo foi realizado em Palmas, TO, em um solo caracterizado como de baixa fertilidade natural, e os tratamentos foram estabelecidos conforme duas técnicas de aplicação da rochagem: a primeira em substituição e a segunda em complementação ao fertilizante convencional de potássio, o cloreto de potássio (KCl). Além disso, foram consideradas porções crescentes de pó de rocha com intuito de testar qual a dose ideal para a cultura. O pó de rocha

aplicado corresponde a um resíduo de mineração originado do Garimpo de Esmeraldas de Monte Santo, TO (Biotita Xisto). Quanto a composição química, o material apresentou 3% de K_2O ; 9% de CaO e 15% de MgO . No local onde foi realizado o estudo existia antes uma pastagem degradada. O solo de classificação Neossolo Quartzarênico, possui acidez moderada e baixa quantidade de potássio, conforme os resultados alcançados pela análise do solo (SOUZA *et al.*, 2013).

Conforme os resultados obtidos, o pó de rocha pode ser aplicado como fonte alternativa de potássio, com resultados similares ao fertilizante convencional (KCl), e que a plantação respondeu satisfatoriamente ao aumento das porções de pó de rocha. Ainda, os resultados indicaram que a produção dos distintos tratamentos avaliados demonstrou uma produtividade superior quando comparada à média do Estado do Tocantins na safra 2011/2012, e com resultados significativos quanto à qualidade da matéria-prima para a usina de açúcar e álcool. Os tratamentos que compreenderam a aplicação de doses mais elevadas de pó de rocha (120 e 240 $kg \cdot ha^{-1}$ de K_2O) discrepam de forma positiva dos outros tratamentos, pois apresentaram uma produção de aproximadamente 106 $t \cdot ha^{-1}$ (SOUZA *et al.*, 2013).

Ainda, verificou-se que a cana-soca aponta que o pó de rocha possui efeito residual significativo sobre o cultivo de cana-de-açúcar. Importante ressaltar que, a cana-de-açúcar é uma planta perene em sua condição natural, contudo no cultivo extensivo se torna semiperene.

Por fim, conforme os resultados alcançados, quanto ao desenvolvimento fisiológico das plantas os autores puderam assegurar que, para todos os critérios analisados, o pó de rocha apresentou resultado similar ou superior ao KCl. Os resultados obtidos quanto às características produtivas das respectivas plantações e tratamentos possibilitam afirmar que o pó de rocha de Biotita Xisto possui efeito como fonte alternativa de nutrientes para a cultura de cana-de-açúcar (SOUZA *et al.*, 2013).

No trabalho de Silva *et al.* (2020), intitulado “Pó de basalto como fertilizante alternativo na cultura do feijão preto em Latossolo vermelho”, o objetivo principal foi analisar o efeito de doses de pó de basalto na produção de matéria seca da parte aérea das plantas (MSPA) e de grãos de feijão preto cultivados em solo classificado como Latossolo vermelho. O estudo foi desenvolvido ao longo de dois anos experimentais, no município de Bom Progresso, RS. O trabalho compreendeu as safras 2017/18 e 2018/19, em delineamento de blocos casualizados, com três repetições, concluindo 33 parcelas empíricas, cada uma formada de 6 m^2 . Os tratamentos constituíram em: 5, 10, 20, 40, 60, 80, 120, 160, 200 $t \cdot ha^{-1}$ de pó de basalto; fertilização química NPK (nitrogênio, fósforo e potássio); e uma testemunha - TEST (sem PB e NPK).

No primeiro ano de estudo, referente à safra 2017/18, a produção de MSPA alternou nos diversos tratamentos. A maior produção de MSPA (2535 kg ha⁻¹) foi alcançada nas plantas que receberam 160 t ha⁻¹ de pó de basalto, cerca de 14,7 e 132% superior que os tratamentos realizados com a fertilização química e testemunha (TEST), nesta ordem. Já no segundo ano de estudo, referente à safra 2018/19, as maiores produções de MSPA foram verificadas nos tratamentos de 80 a 200 t ha⁻¹, com valores alterando de 2841 a 2892 kg ha⁻¹. Análogo ao visto na MSPA, a produção de grãos de feijão preto nos dois anos de estudo também apresentou tendência de progresso com o aumento das doses de pó de basalto (SILVA *et al.*, 2020).

As conclusões tiradas pelos autores consistiram em que a produção de MSPA e grãos de feijão apontou tendência crescente quanto às doses de pó de basalto, ou melhor, quanto maior a dose do pó de rocha basáltica, maior foi a produção de MSPA e de grãos, com valores alternando de 1091 a 2892 kg ha⁻¹ e 989 a 2111 kg ha⁻¹, por esta ordem. Doses de 80 a 200 t ha⁻¹ de PB proporcionam as maiores produções de MSPA e produção de grãos da cultura do feijão preto. Por fim, o aumento da dosagem e do tempo residual de uso do pó de basalto demonstram tendência de crescimento na produção de MSPA e grãos do feijão preto (SILVA *et al.*, 2020).

Na pesquisa de Amaral *et al.* (2020), denominado "Características agronômicas da soja em função da adubação com pó de rocha e biofertilizante" o objetivo foi avaliar a aplicação de tipos distintos de fertilizantes nos componentes de produção e produtividade de grãos de soja cultivados no cerrado. A pesquisa foi realizada na safra 2016-2017, em área de pesquisa pertencente à fazenda Paulo Uchôa, situada no município de Urutaí - GO. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados no sistema em faixas com cinco repetições. A pesquisa dispôs como tratamento oito variedades de fontes como adubação e um tratamento testemunha que não sofreu nenhum tipo de adubação.

O primeiro tratamento foi o pó de rocha mica xisto 5 t ha⁻¹; o segundo foi o pó de rocha mica xisto 5 t ha⁻¹ + 250 kg ha⁻¹ de fosfato monoamônico (MAP) + 100 kg KCl ha⁻¹; o terceiro foi a aplicação de pó de rocha mica xisto 5 t ha⁻¹ + 125 kg de MAP ha⁻¹ + 50 kg KCl ha⁻¹; o quarto foi 250 kg de MAP ha⁻¹ + 100 kg de KCl ha⁻¹; o quinto foi o tratamento sem adubação (testemunha); o sexto foi 250 kg de MAP ha⁻¹ + 100 kg de KCl ha⁻¹ + inoculante turfoso; o sétimo foi 250 kg de MAP ha⁻¹ + 100 kg de KCl ha⁻¹ + inoculante líquido; o oitavo foi a aplicação de biofertilizante pó de rocha + esterco bovino 3 t ha⁻¹ sem inoculação; e o nono, que foi a aplicação de biofertilizante pó de rocha + esterco bovino 3 t ha⁻¹ + inoculante líquido (AMARAL *et al.*, 2020).

Com base nos resultados alcançados, verificou-se que o pó de rocha quando aplicado em conjunto com o esterco pode demonstrar valores significativos de nitrogênio (N), ainda superiores do que quando utilizado somente o pó de rocha, evidenciado que esta combinação poder ter favorecido a disponibilização deste nutriente à cultura (AMARAL *et al.*, 2020).

A aplicação de pó de rocha mica xisto 5 t ha⁻¹, apresentou os seguintes teores foliares de macronutrientes e micronutrientes da soja fertilizada:

Tabela 2 - Teores foliares de macro e micronutrientes da soja fertilizada com pó de rocha mica xisto

Macro e Micronutrientes	Pó de rocha mica xisto 5 t ha ⁻¹
N (g kg ⁻¹)	40,9 bc
P (g kg ⁻¹)	2,2 bc
K (g kg ⁻¹)	19,9 b
Ca (g kg ⁻¹)	11,8 cd
Mg (g kg ⁻¹)	5,3 ab
S (g kg ⁻¹)	3,0 bc
B (mg kg ⁻¹)	38,0 de
Zn (mg kg ⁻¹)	61,3 b
Fe (mg kg ⁻¹)	150,3 c
Mn (g kg ⁻¹)	93,3 b
Cu (g kg ⁻¹)	11,0 b

Fonte: Adaptado de Amaral *et al.*, 2020

A partir dos resultados obtidos foi possível observar que o primeiro tratamento apresentou o maior valor de produtividade, contudo não diferindo dos resultados alcançados no segundo tratamento. Dessa maneira, os resultados adquiridos na primeira safra, depois de 130 dias da rochagem, mostram-se como satisfatórios, visto que a produtividade alcançada equivale à média alcançada com a aplicação de fertilizantes minerais. Os autores concluíram que o pó de rocha se apresentou como um método promissor, tanto como fonte de fertilizante, quanto em substituição ou aprimoramento à aplicação de adubos com alta solubilidade (AMARAL *et al.*, 2020).

A Tabela 3 a seguir apresenta o tema, autores, ano de publicação, objetivo geral e resultados alcançados dos trabalhos de sucesso na aplicação de pó de rocha.

Tabela 3 – Informações gerais sobre os trabalhos de sucesso na aplicação de pó de rocha

Tema	Autores	Ano de publicação	Objetivo	Resultados
Pó de rocha como fonte de nutrientes no contexto da agroecologia	Brandão	2012	Examinar alternativas para agilizar a solubilização de minerais contidos em pó de rocha.	<ul style="list-style-type: none"> - Misturas de vinhaça e pó de rocha apresentam alta capacidade e potencial para fabricação de biofertilizante de baixo custo. - O pó de fonolito com aproximadamente 8% de potássio pode ser considerado uma alternativa promissora para adubação orgânica. - A vermicompostagem não conseguiu liberar nutrientes existentes no pó de basalto.
Uso da rochagem como fonte alternativa de nutrientes na produção de cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>) para a indústria de etanol	Souza <i>et al.</i>	2013	Analisar os efeitos comparativos do pó de rocha com relação ao cloreto de potássio quanto às características fisiológicas e produtivas da plantação de cana-de-açúcar.	<ul style="list-style-type: none"> - O pó de rocha pode ser aplicado como fonte alternativa de potássio, com resultados similares ao fertilizante convencional (KCl). - Apresentou resultados significativos quanto à qualidade da matéria-prima para a usina de açúcar e álcool. - Quanto ao desenvolvimento fisiológico das plantas, para todos os critérios analisados, o pó de rocha apresentou resultado similar ou superior ao KCl. - O pó de rocha de Biotita Xisto possui efeito como fonte alternativa de nutrientes para a cultura de cana-de-açúcar.

Tema	Autores	Ano de publicação	Objetivo	Resultados
Pó de basalto como fertilizante alternativo na cultura do feijão preto em Latossolo vermelho	<i>Silva et al.</i>	2020	Analisar o efeito de doses de pó de basalto na produção de matéria seca da parte aérea das plantas (MSPA) e de grãos de feijão preto cultivados em solo classificado como Latossolo vermelho.	<ul style="list-style-type: none"> - A produção de MSPA e grãos de feijão apontou tendência crescente quanto às doses de pó de basalto. - O aumento da dosagem e do tempo residual de uso do pó de basalto demonstram tendência de crescimento na produção de MSPA e grãos do feijão preto.
Características agronômicas da soja em função da adubação com pó de rocha e biofertilizante.	<i>Amaral et al.</i>	2020	Avaliar a aplicação de tipos distintos de fertilizantes nos componentes de produção e produtividade de grãos de soja cultivados no cerrado.	<ul style="list-style-type: none"> - O pó de rocha se apresentou como um método promissor, tanto como fonte de fertilizante, quanto em substituição ou aprimoramento à aplicação de adubos com alta solubilidade. - O pó de rocha quando aplicado em conjunto com o esterco pode apresentar valores significativos de nitrogênio.

Fonte: Autora, 2023.

5.4 Vantagens e desvantagens da remineralização como fonte de nutrientes

A técnica de rochagem compreende uma série de vantagens ambientais, sociais e econômicas, contudo, assim como outros métodos, esta também apresenta algumas desvantagens. Dentre as vantagens da aplicação do pó de rocha, quando confrontada aos fertilizantes convencionais, enfatiza-se por ser considerado um subproduto ecologicamente correto, por permitir maior celeridade na fase de crescimento e saúde das plantas, exigir baixo investimento e ser um acréscimo para a produtividade, e também, por aprimorar as condições de fertilidade do solo (BRITO *et al.*, 2019).

A aplicação de pó de rocha nos solos agrícolas, com intuito de aumentar a fertilidade do mesmo, possibilita às plantas uma maior resistência quanto aos estresses abióticos e bióticos, visto que este remineralizador incentiva o crescimento das raízes, fazendo com que estas se tornem mais rígidas. Dessa forma, os nutrientes são disponibilizados vagarosamente, e isso possibilita que não haja o carreamento destes através da lixiviação, fato que acontece com os fertilizantes químicos tradicionais (GUIMARÃES, 2022). A autora afirma ainda que os solos tropicais são prevaletentes no Brasil, e este tipo de solo, normalmente, são intensamente pobres em nutrientes e constantemente lixiviados, o que atrapalha o desenvolvimento das culturas agrícolas. Face ao exposto, o uso de remineralizadores nos solos brasileiros tem grande potencial.

Conforme Theodoro (2020), os custos para compra de pós de rocha são muito inferiores em relação aos fertilizantes químicos, e a disponibilização de nutrientes pode se prolongar por até 4 ou 5 anos subsequentes, devido a sua liberação duradoura de substâncias. Quanto à produtividade, a autora afirma que esta demonstra-se similar ou superior à alcançada através da fertilização química. O nível de umidade é superior nos locais onde o pó de rocha é lançado, o que evidencia que os argilominerais existentes nas rochas dispõem de alto potencial de retenção de água.

A combinação de pós de rocha com adubo orgânico apresenta-se essencial para o crescimento das plantas, destacando que a junção das fertilizações organominerais podem atender as deficiências de macro e micronutrientes presentes nas plantas. Lavouras de ciclo longo (como por exemplo, a cana-de-açúcar) e espécies florestais, demonstram bom desenvolvimento, visto que usufruem por um maior período de tempo os nutrientes liberados conforme a exigência de cada espécie. Por fim, quanto às lavouras de ciclo curto (como por exemplo, o milho) demonstram efeitos com produção similar ou moderadamente superior quando confrontadas à fertilização convencional (THEODORO 2020).

Segundo Welter *et al.* (2011), o uso de pó de rocha na agricultura também consiste em uma alternativa viável econômica e ecologicamente, visto que, para a fabricação do remineralizador, não há necessidade de aplicação de qualquer insumo de origem química, já que o processo se baseia somente na moagem das rochas utilizadas na composição do produto.

Além disso, Welter (2010) afirma que a técnica de rochagem promove a diminuição da mão-de-obra no processo de aplicação, dado que o lançamento do remineralizador não precisa ser realizado frequentemente, em virtude do seu efeito duradouro. Ainda segundo o autor, o uso do pó de rocha proporciona a correção do pH do solo, bem como a não-salinização, e a não-absorção em demasia de potássio, favorecendo assim, a absorção de magnésio e cálcio, além de promover a fixação do fósforo solúvel através da presença da sílica.

Segundo Welter (2010), a aplicação do pó de rocha eleva o estoque nutricional do solo; intensifica a resistência das plantas aos ataques de doenças, pragas e geadas, em razão do seu desenvolvimento nutricional; e reduz a necessidade do uso de fertilizantes químicos, pesticidas e herbicidas.

Conforme Guimarães (2022), o pó de rocha não é dissolvido celeremente, à vista disso, este produto não degrada o meio ambiente, já que ele atua através dos microrganismos e raízes espontaneamente, o que torna o processo mais prolongado. Brito *et al.* (2019), afirma que esta disponibilização lenta pode apresentar impactos positivos, em razão dos efeitos residuais que podem ser usufruídos pelas próximas plantações futuramente cultivadas no local. Entretanto, este processo pode ser acelerado, como por exemplo, através da inserção de microrganismos inoculados.

Como desvantagem da técnica, tem-se os gastos com a logística do material, especialmente quando a distribuidora do pó de rocha se localiza longe do local de aplicação, dificultando assim, o uso do mesmo, devido às despesas de deslocamento (THEODORO, 2020). Ainda, conforme Van Straaten (2006), um dos grandes desafios considerados para a aplicação da rochagem é o fato de alguns materiais terem pequenas concentrações de nutrientes e baixa solubilidade, sendo esses aspectos negativos quanto a efetividade agrônômica das plantações.

Conforme Brito *et al.* (2019), uma das desvantagens da rochagem é o período e intensidade de aplicação, em outras palavras, é necessário liberar os nutrientes nas doses e no período corretos de cada cultura introduzida, e, em virtude disso, é preciso utilizar grandes quantidades com granulometrias finas para ocorrer uma boa inserção. Mesmo que o pó de rocha possua baixa solubilidade ou pouca concentração de nutrientes, estas condições terminam favorecendo o aumento de despesas associadas a esta técnica.

A Tabela 4 a seguir apresenta as principais vantagens e desvantagens do uso de remineralizadores como fonte de fertilização sustentável aos solos agrícolas.

Tabela 4 – Vantagens e desvantagens do uso de pó de rocha como alternativa sustentável aos fertilizantes agrícolas

Vantagens	Desvantagens
Método de fertilização sustentável	Baixa solubilidade
Pode ser aplicado na agricultura orgânica	Alguns materiais apresentam baixa concentração de nutrientes
Permite maior celeridade na fase de crescimento e saúde das plantas	Tempo de fornecimento dos nutrientes
Incrementa as condições de fertilidade do solo	Maior custo de frete
Exige baixo investimento Reduz o uso de agrotóxicos	Exige uma série de análises e estudos antes de sua aplicação
Não influencia na estabilidade do meio ambiente	-
Não apresenta riscos de contaminação ao solo e aos cursos d'água	-
Pode ser utilizado como uma forma de reaproveitamento de resíduos	-

Fonte: Autora, 2023.

5.5 Principais critérios para regularização do remineralizador no Brasil, frente ao MAPA

O MAPA é órgão do governo federal encarregado pelo gerenciamento das políticas públicas de incentivo à agropecuária, pelo estímulo do agronegócio e pela regularização e normatização de serviços ligados ao setor (MAPA, 2023).

A Instrução Normativa MAPA n.º 05 de 10 de março de 2016, define todo regulamento para os remineralizadores da seguinte maneira “Art. 1º Ficam estabelecidas as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura (BRASIL, 2016).”

A IN 5/2016 apresenta as principais particularidades que as rochas devem possuir para serem consideradas remineralizadores de solos. Esta instrução estabelece que é preciso o pó de

rocha ofertar às plantas elementos como potássio, cálcio e magnésio. Diante disso, o pó de rocha deverá possuir o teor de óxido de potássio (K_2O) igual ou superior a 1% em peso/peso; e a soma de bases, CaO (óxido de cálcio) + MgO (óxido de magnésio) + K_2O (óxido de potássio), deve ser equivalente ou superior a 9% em peso/peso.

Conforme a IN 5/2016, não serão registrados no MAPA, ficando proibida a produção, importação e comercialização no Brasil de remineralizadores que possuam os seguintes parâmetros: o teor de Cádmio (Cd) superior a 10 ppm; teor de Arsênio (As) maior que 15 ppm; teor de Mercúrio (Hg) superior a 0,1 ppm; e Chumbo (Pb) superior a 200 ppm. Estes limites são estabelecidos com intuito de assegurar que a aplicação do pó de rocha não ofereça risco à saúde humana e animal. No que se refere ao SiO_2 (dióxido de silício) livre, a IN 5/2016 estabelece que o produto não será registrado nos casos em que possuir teor superior a 25% em volume/volume.

O Anexo I da IN 5/2016 se refere às especificações de natureza física dos remineralizadores, os termos são representados na Tabela 5.

Tabela 5 - Especificações de natureza física dos remineralizadores.

ESPECIFICAÇÃO DE NATUREZA FÍSICA	GARANTIA GRANULOMÉTRICA	
	Peneira	Partículas Passantes (peso/peso)
<i>Filler</i>	0,3 mm (ABNT no 50)	100 %
Pó	2,0 mm (ABNT no 10)	100 %
-	0,84 mm (ABNT no 20)	70 % mínimo
-	0,3 mm (ABNT no 50)	50 % mínimo
Farelado	4,8 mm (ABNT no 4)	100 %
-	2,8 mm (ABNT no 7)	80 % mínimo
-	0,84 mm (ABNT no 20)	25 % máximo

Fonte: IN 5/2016, MAPA.

Em relação ao registro dos remineralizadores no MAPA, a IN 5/2016, exige que o pó de rocha passe pela efetivação de ensaios agrônômicos realizados por instituições oficiais ou credenciadas de pesquisa, acompanhado com plantas e, necessariamente, em casa de vegetação ou em campo, apresentando no final das pesquisas, de forma conclusiva, que o pó de rocha

analisado disponibiliza os nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas e, à vista disso, se convém ao propósito a que se dirige.

Tabela 6 - Resumo da Instrução Normativa n.º 05/2016, MAPA.

TABELA RESUMO DA INSTRUÇÃO NORMATIVA N.º 05/2016, MAPA			
Especificações e garantias mínimas	Limite de minerais quimicamente inertes	Limites máximos de elementos potencialmente tóxicos – ppm	Comprovação de eficiência agrônômica
CaO, MgO, K ₂ O ≥ 9 %	Quartzo (Sílica livre) - SiO ₂ < 25 %	Arsênio (As): 15 ppm	É obrigatório comprovar a eficiência agrônômica do pó de rocha por meio de ensaios, testes e pesquisas.
K ₂ O > 1 %		Cádmio (Cd): 10 ppm	
		Mercúrio (Hg): 0,1 ppm	
		Chumbo (Pb): 200 ppm	

Fonte: Autor, adaptado da IN 5/2016.

Segundo Viana (2021), a Instrução Normativa n.º 6 de março de 2016 determina que nos casos de regularização de remineralizadores, é necessário comprovar que o pó de rocha age de maneira isolada ou simultaneamente no desenvolvimento, nas diversidades geoquímicas do solo e no rendimento da cultura, tal como é apresentado:

“Altera a Instrução Normativa nº 53 de 2013, que estabelece as disposições e critérios para as definições, a classificação, o registro e renovação de registro de estabelecimento, o registro de produto, a autorização de comercialização e uso de materiais secundários, o cadastro e renovação de cadastro de prestadores de serviços de armazenamento, de acondicionamento, de análises laboratoriais, de empresas geradoras de materiais secundários e de fornecedores de minérios, a embalagem, rotulagem e propaganda de produtos, as alterações ou os cancelamentos de registro de estabelecimento, produto e cadastro e os procedimentos a serem adotados na inspeção e fiscalização da produção, importação, exportação e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes e materiais secundários; o credenciamento de instituições privadas de pesquisa; requisitos mínimos para avaliação da viabilidade e eficiência agrônômica e elaboração do relatório técnico-científico para fins de registro de fertilizante, corretivo e biofertilizante na condição de produto novo, de conformidade com o disposto no art. 15 do Anexo do Decreto nº 4.954 de 2004 (BRASIL, 2016).”

A IN 5/2016 e IN 6/2016 permitem a aplicação e a comercialização dos remineralizadores no Brasil.

6. CONCLUSÃO

No geral, a aplicação de pó de rocha como alternativa aos fertilizantes convencionais apresenta-se como uma técnica efetiva e benéfica ecológica e economicamente. O uso de pó de rocha possibilita a modificação dos padrões de fertilidade do solo sem interferir, de forma negativa, no equilíbrio e qualidade do meio ambiente. Os fertilizantes convencionais, além de serem altamente solúveis, em sua maior parte, provém da importação, o que torna o processo mais oneroso.

Uma dificuldade enfrentada ao aplicar o remineralizador no solo é a lenta solubilização. Contudo, esse óbice não é considerado como um impacto totalmente negativo, em virtude dos seus efeitos residuais que podem ser aproveitados futuramente, podendo os nutrientes serem absorvidos de acordo com a precisão de cada planta. Ainda, o processo de solubilização do pó de rocha pode ser acelerado com o auxílio de outras técnicas que podem complementar a remineralização.

As pesquisas e trabalhos desenvolvidos na área, com intuito de atestar a eficiência agrônômica da técnica, têm comprovado que a aplicação de pó de rocha, em diferentes casos, apresenta resultados similares ou até mesmo superiores em relação à aplicação de fertilizantes químicos convencionais.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, compreendeu-se a importância econômica da rochagem, que visa a diminuição de despesas durante a produção; o crescimento do mercado interno, em razão da atenuação das importações, e conseqüentemente, um produto final por um preço mais acessível aos produtores rurais; social, pois permite o progresso dos agricultores familiares; e por fim, o ambiental, considerando que a aplicação de pó de rocha assegura a não ocorrência de contaminação dos cursos d'água e do solo em caso de uso em excesso, em oposição às formulações NPK. Ademais, o remineralizador pode se tornar um subproduto, por meio do reaproveitamento de resíduos de mineração, desde que estes atendam os critérios estabelecidos na legislação brasileira.

Por fim, convém enfatizar que a aplicação de pó de rocha em solos agrícolas apresenta resultados promissores, entretanto faltam políticas públicas que despertem o interesse dos produtores no uso de remineralizadores em suas culturas. Além disso, a rochagem ainda é uma técnica pouco estudada, o que exige o desenvolvimento de novas pesquisas e estudos, especialmente quanto a análise do desempenho agrônômico de pós de diferentes tipos de rochas em diversos tipos de culturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, B.A.C *et al.* **Efeito da aplicação de pó de rocha fosfatada no desenvolvimento inicial de mudas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby.** Revista Desafios, Gurupi, v. 7, n. 1. p. 46, 2020.
- AMARAL, G. C. *et al.* **Características agronômicas da soja em função da adubação com pó de rocha e biofertilizante.** Revista Cultura Agronômica, Ilha Solteira, v. 29, n.4. p. 437-447, 2020.
- ARAÚJO, J.F. *et al.* **Rochagem na agricultura agroecológica. Centro de Agroecologia, Energias Renováveis e Desenvolvimento Sustentável.** Cartilha agroecologia, Salvador, v.6. p. 11-25, 2014.
- ASSIS, L. B. *et al.* **Desafios em soberania e segurança alimentar: a utilização da rochagem como fonte alternativa e sustentável.** In: II Congresso Brasileiro de Rochagem. Poços de Caldas, p. 125-138, 2013.
- BARBOSA, H. M. S. **Intemperismo biogeoquímico e ciclagem de nitrogênio pela interação do líquen *Cladonia substellata* Vainio com granito e basalto.** 2014. Tese (Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, p. 52-56, 2014.
- BARRETO, L. V *et al.* **Eutrofização em rios brasileiros.** Enciclopédia Biosfera. Centro Científico Conhecer, Itapetinga-BA, p. 2168 – 2169, 2013.
- BRANDÃO, J. A. V. **Pó de rocha como fonte de nutrientes no contexto da agroecologia.** 2012. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de São Carlos, Araras, p. 23 – 41, 2012.
- BRASIL. Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. **Altera a Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 dez. 2013.
- BRASIL. Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980. **Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 dez. 1980.
- BRITO, R. S *et al.* **Rochagem na agricultura: importância e vantagens para adubação suplementar.** SAJEBTT, Rio Branco, UFAC. South American Journal of Basic Education, Technical and Technological, Rio Branco, v.6, n.1, p. 528-540, 2019.
- DAMASCENO, G.C. **Geologia, mineração e meio ambiente.** Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas, p.13-26, 2017.
- EUTRÓPIO, G. R. **Revisão bibliográfica: Resultados promissores com o uso de pó de basalto em solos e nutrição de plantas.** 2021. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, p. 14-26, 2021.
- FERNANDES, F. R. C. *et al.* **Agrominerais para o Brasil.** 1. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 89-99, 2010.

GUIMARÃES, A. **Estudo de Caso de Rochagem em diferentes sistemas de uso**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, p. 6-26, 2022.

HAMER, M. *et al.* **Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review**. Science of the Total Environment. Elsevier. Bonn – Alemanha, p. 2-4, 2021.

HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. **Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview**. Nutrient Cycling in Agroecosystems, v.56, p. 20-21, 2000.

IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração (2022). **Governo Federal lança Plano Nacional de Fertilizantes para reduzir importação dos insumos**. [S. l.], 11 mar. 2022. Disponível em: <<https://ibram.org.br/noticia/governo-federal-lanca-plano-nacional-de-fertilizantes-para-reduzir-importacao-dos-insumos/>>. Acesso em: 1 dez. 2022.

KAMPF, N. *et al.* **Intemperismo e Ocorrência de minerais no ambiente do solo**. In: V.F. Melo, L.R.F. Alleoni (eds.) Química e mineralogia do solo. Parte I – Conceitos básicos. SBCS, Viçosa, p.: 338-351, 2009.

KLEIN, C; AGNE, S. A. A. **Fósforo de nutriente à poluente**. Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. v (8), nº 8, p. 1713-1719, 2012.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; RIBEIRO, R. C. C. **Fertilização natural: rochagem, agricultura orgânica e plantio direto: breve síntese conceitual**. Rio de Janeiro: CETEM/Petrobrás, p. 149-160, 2009.

LEONARDOS, O. H.; FYFE, W.S. & KROMBERG, B. (1976). **Rochagem: método de aumento de fertilidades em solos lixiviados e arenosos**. Congresso Bras. Geol. Ouro Preto. Anais. SBG. p. 137-145.

LIMA, A. P. B. **Gênese de solos em topossequências no sudoeste de Mato Grosso - Brasil**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Faculdade de Agronomia - Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo. Porto Alegre, p. 31-32 2020.

LIMA, V. C. *et al.* **O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio**. Universidade Federal do Paraná. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. Curitiba - Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. p.1-3, 2007.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2023). **Carta de serviços**. Documento gerado em 04 de janeiro de 2023. p. 4 - 9.

MINERALLE AGRO. Disponível em: < <https://mineralleagro.com.br/>>. Acesso em: 24 jan. 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa (IN) nº 05**. Brasil, 2016. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/ptbr/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-5-de-10-3-16-remineralizadores-e-substratos-para-plantas.pdf/view>>. Acesso em: 18 de jan. de 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa (IN) n.º 06**. Brasil, 2016. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=317445>>. Acesso em: 18 jan. de 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa (IN) n.º 46**. Brasil, 2011. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/organicos/legislacao/portugues/instrucao-normativa-no-46-de-06-de-outubro-de-2011-producao-vegetal-e-animal-regulada-pela-in-17-2014.pdf/view>> . Acesso em 26 jan. 2023.

NETO, J. B. **Aproveitamento do pó de rocha basáltica proveniente da atividade mineral na forma de resíduo para a aplicação na técnica de rochagem utilizada na agricultura**. 2018. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia de Minas) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, p. 12 – 13, 2018.

PÁDUA, E. J. **Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas) - Universidade de Lavras. Lavras, p. 10-32, 2012.

SAE. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Produção nacional de fertilizantes**. 2 julho de 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae_publicacao_fertilizantes_v10.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2022. p. 3-7.

SILVA, D. W. *et al.* **Pó de basalto como fertilizante alternativo na cultura do feijão preto em Latossolo vermelho**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. Editora Verde, v.15, n.4, p. 373-378, 2020.

SILVEIRA, R. T. G. **Uso de rochagem pela mistura de pó de basalto e rocha fosfatada como fertilizante natural de solos tropicais lixiviados**. 2016. 107 f. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) - Universidade de Brasília, Brasília, p. 15-19, 2016.

SOARES, G. J. **Influência da rochagem no desenvolvimento de sistemas agroflorestais e na captura de dióxido de carbono atmosférico**. 2018. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural) - Universidade de Brasília, p. 1-5, 2018.

SOUZA, A. K *et al.* **Poluição do Ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores**. ACTA Biomedica Brasiliensia, v. 9, n.º 3, p. 97 – 98, 2018.

SOUZA, F. N. S. *et al.* **Uso da rochagem como fonte alternativa de nutrientes na produção de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) para a indústria de etanol**. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Florianópolis, p. 1-3, 2013.

SOUZA, W. S. **Uso da rochagem para remineralização de solos de baixa fertilidade**. 2019. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, p. 16-20, 2019.

STRAATEN, P. V. **Agrogeology. The use of Rocks for Crops**. Univ. of Guelph, Guelph, Ontario, Canadá, p. 265-268, 2007.

STRAATEN, P. V. **Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Canadá, p. 731-747, 2006.

SUASSUNA, C. F. **Uso do pó de rocha (MB-4), como fertilização mineral de substratos na produção de mudas de cajueiro em dois ambientes.** 2014. 21 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciado em Ciências Agrárias) – Universidade Estadual da Paraíba, Catolé do Rocha, p. 6, 2014.

TEIXEIRA, M. J. **Análise do Mercado de Fertilizantes no Brasil no período de 2016 a 2020.** CPS, XII FATEC LOG. 2021. Disponível em: <<https://fateclog.com.br/anais/2021/93-84-1-RV.pdf>>. Acesso em: 04 jan. 2023 p. 1-11.

THEODORO, S. H *et al.* **Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes.** Espaço & Geografia, v.9, n. 2, Brasília, p. 266 – 267, 2006.

THEODORO, S. H. & LEONARDOS, O. H. **Rochagem: uma questão de soberania nacional.** In XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica, Gramado, p. 337 – 340, 2011.

THEODORO, S. H. **A Fertilização da Terra pela Terra: Uma Alternativa de Sustentabilidade para o Pequeno Produtor Rural. Brasília.** 2000. Tese de doutorado - Universidade de Brasília, p. 127 – 150, 2000.

THEODORO, S.H *et al.* **A Importância de uma Rede Tecnológica de Rochagem para a Sustentabilidade em Países Tropicais.** Revista Brasileira de Geografia Física 06, Brasília, p. 1390-1393, 2012.

THEODORO, S.H. **Cartilha da Rochagem.** Gráfica e Editora Ideal, 2011. 2a edição revisada (online). Brasília, p. 18 – 21, 2020.

TRAGE, D. R. **Estudo do mercado de fertilizantes no Brasil por meio de previsões estatísticas.** 2019. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, p. 25 – 62, 2019.

VIANA, L. S. B *et al.* **A remineralização de solos como iniciativa ao desenvolvimento sustentável.** Research, Society and Development, v. 10, n. 14, p. 2-10, 2021.

WELTER, M. K *et al.* **Efeito da aplicação de pó de basalto do desenvolvimento inicial de mudas de camu-camu (*Myrciaria dubia*).** Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, v. 33, n. 3, p. 923 – 925, 2011.

WELTER, M.K. **Doses de pó de basalto no desenvolvimento inicial de mudas de fruteiras nativas da amazônia.** 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Boa Vista, p. 4-7, 2010.