



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
***CAMPUS* CRATEÚS**
CURSO DE ENGENHARIA DE MINAS

HELENA MARIA ALVES MACHADO

**ROCHAGEM COMO UMA TÉCNICA SUPLEMENTAR AOS FERTILIZANTES
CONVENCIONAIS: UMA REVISÃO**

CRATEÚS
2023

HELENA MARIA ALVES MACHADO

ROCHAGEM COMO UMA TÉCNICA SUPLEMENTAR AOS FERTILIZANTES
CONVENCIONAIS: UMA REVISÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal do Ceará – *Campus* Crateús, como requisito à obtenção do título de graduação em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Me. Kennedy da Silva Ramos.

CRATEÚS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A479r Alves Machado, Helena Maria.
Rochagem como uma técnica suplementar aos fertilizantes convencionais : uma revisão / Helena Maria Alves Machado. – 2023.
80 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia de Minas, Crateús, 2023.
Orientação: Prof. Me. Kennedy da Silva Ramos.

1. Agrominerais. 2. Pó de rocha. 3. Remineralizador. I. Título.

CDD 622

HELENA MARIA ALVES MACHADO

ROCHAGEM COMO UMA TÉCNICA SUPLEMENTAR AOS FERTILIZANTES
CONVENCIONAIS: UMA REVISÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal do Ceará – *Campus* Crateús, como requisito à obtenção do título de graduação em Engenharia de Minas.

Aprovada em: / / .

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Kennedy da Silva Ramos (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Diones Oliveira Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Me. Bruno do Rêgo Soares
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus queridos e amados pais, Diana Alves
de Souza e Francisco Antonio Machado Braz.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de fazer o curso.

À distinta comunidade acadêmica de professores da Universidade Federal do Ceará, gostaria de expressar minha sincera gratidão. Cada um de vocês desempenhou um papel crucial na minha jornada acadêmica.

Ao estimado Prof. M.sc. Kennedy da Silva Ramos, com admiração e gratidão, expresso meu sincero reconhecimento pela sua orientação e suporte ao longo do desenvolvimento deste trabalho, por todos os conselhos durante a graduação, pela paciência com a qual guiou meu aprendizado e por instigar a curiosidade durante a academia e incentivar meu potencial.

A Prof. M.sc. Débora Nogueira, mesmo coorientando meu trabalho por apenas alguns meses, sua contribuição foi extraordinariamente valiosa.

Aos meus amados pais, àqueles que representam os alicerces da minha trajetória, quero dedicar estas palavras repletas de afeto e amor. Sem a presença constante do apoio incondicional de vocês, esta conquista não seria possível. Seu encorajamento, sacrifício e confiança inabalável em meu potencial foram as forças motrizes por trás de cada passo que dei. Agradeço por cada gesto de carinho que me fortaleceu e por serem os modelos de resiliência e determinação. Esta realização é não só minha, mas também de vocês, que sempre estiveram ao meu lado, nutrindo meus sonhos com amor, compreensão e apoio incondicional. Obrigada, meus queridos pais por serem a luz que guiou meu caminho até aqui.

Aos amigos da turma de graduação, em especial a Johnny Kelly, a quem dedico o espaço com imensa gratidão. Nossos momentos juntos não apenas aliviaram as tensões dos estudos, mas também se tornaram fontes de inspiração e apoio mútuo. Pela amizade, por todas as risadas, por todas as agonias que passamos juntos, por todas as viagens de campo juntos, por todos os estudos de grupos presenciais e online para fazer trabalhos, por compartilharmos os desafios e conquistas juntos, todas essas situações fizeram desta jornada uma experiência inesquecível.

A todos que participaram direta ou indiretamente do desenvolvimento desse trabalho de pesquisa, meu muito obrigada!

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação.”
(Simone de Beauvoir)

RESUMO

A remineralização de solos é uma técnica para fornecer nutrientes a solos esgotados, ou seja, de baixa fertilidade. Fertilidade que diminui decorrente da erosão, da lixiviação e pelos vários ciclos de cultivos. Atualmente, para sustentar os vários ciclos de cultivos e a alta produção em áreas reduzidas demandada pelo mercado utiliza-se dos fertilizantes químicos solúveis, que têm custo elevado, parte expressiva são importados, são lixiviados rapidamente e poluem os corpos d'água. Buscando melhorar isto a rochagem tem a proposta de suplementação nutricional as plantas a partir de pós de rochas regionais que contêm naturalmente os nutrientes essenciais, sendo eles macronutrientes e micronutrientes para o crescimento, como: fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco, manganês, enxofre, dentre outros, trazendo de volta a fertilidade e condicionamento do solo. Este estudo teve como objetivo apresentar um levantamento bibliográfico sobre a rochagem reunindo estudos e analisando a eficácia resultante de experimentos de campo publicados. A partir disso foi realizado uma pesquisa bibliográfica no portal de periódicos da CAPES, *Scielo (Scientific Electronic Library Online)*, Google Acadêmico e repositório da Universidade de Brasília (UnB), a partir da combinação de duas palavras-chave com a utilização do operador booleano *and*, utilizando a aba de pesquisa avançada das plataformas. Com base nos três estudos de caso analisados, onde: dois aplicaram pós de rochas em experimentos de campo e outro caracterizou resíduos provenientes de pilhas de estéril da mineração Ferbasa. Após a análise dos trabalhos, foi possível concluir nos trabalhos de experimentos de campo que as rochas influenciaram no aumento do nível de fertilidade dos solos e conseqüentemente trouxeram aumento nas produções de feijão preto e milho analisadas, pois demonstraram possuir minerais em sua composição química, que são macronutrientes e micronutrientes em quantidades para o desenvolvimento adequado das plantas. Para a caracterização de resíduos da mineração analisada, destaca-se a identificação de minerais suscetíveis à liberação, no entanto são necessários ensaios de campo para avaliar a eficácia e o efeito dos níveis de cromo e níquel presentes nas rochas. Em termos gerais, a aplicação de pós de rochas pode ser utilizada como fontes nutricionais suplementares para além de ser uma prática agroecológica.

Palavras-chave: agrominerais; pó de rocha; remineralizador.

ABSTRACT

Soil remineralization is a technique to provide nutrients to depleted soils, i.e. soils with low fertility. Fertility that decreases due to erosion, leaching and various crop cycles. Currently, in order to sustain the various crop cycles and the high production in reduced areas demanded by the market, soluble chemical fertilizers are used, which have a high cost, a significant part of which are imported, are leached quickly and pollute water bodies. Seeking to improve this, rocking has the proposal of nutritional supplementation of plants from regional rock powders that naturally contain essential nutrients, which are macronutrients and micronutrients for growth, such as: phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron, zinc, manganese, sulfur, among others, bringing back soil fertility and conditioning. The objective of this study was to present a bibliographic survey on rocking, gathering studies and analyzing the efficacy resulting from published field experiments. From this, a bibliographic search was carried out in the CAPES journal portal, Scielo (Scientific Electronic Library Online), Google Scholar and the repository of the University of Brasília (UnB), from the combination of two keywords with the use of the boolean operator and, using the advanced search tab of the platforms. Based on the three case studies analyzed, where: two applied rock powders in field experiments and another characterized residues from waste piles from Ferbasa mining. After the analysis of the works, it was possible to conclude in the field experiments that the rocks influenced the increase in the level of soil fertility and consequently brought an increase in the production of black beans and corn analyzed, as they demonstrated to have minerals in their chemical composition, which are macronutrients and micronutrients in quantities for the proper development of the plants. For the characterization of mining residues analyzed, the identification of minerals susceptible to release is highlighted, however, field trials are necessary to evaluate the efficacy and effect of the levels of chromium and nickel present in the rocks. In general terms, the application of rock powders can be used as supplementary nutritional sources in addition to being an agroecological practice.

Keywords: agrominerals; rock dust; remineralizer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo mundial de fertilizantes e custos dos anos 1960 a 2010.....	24
Figura 2 - Relação entre produção e importação de fertilizantes solúveis (NPK)	25
Figura 3 - Ranking das fontes de fertilizantes e os países mais consumidores	26
Figura 4 - Esquema do processo de intemperismo químico.....	28
Figura 5 - Processo de produção de biofertilizante aeróbico.....	29
Figura 6 - Processo de produção de biofertilizante anaeróbico.....	29
Figura 7 - Esquema de absorção de nutrientes (interceptação radicular).....	32
Figura 8 - Esquema da absorção de nutrientes (fluxo de massa).....	32
Figura 9 - Esquema da absorção de nutrientes (difusão).....	33
Figura 10 - Relação do crescimento e concentração de nutriente no tecido vegetal	35
Figura 11 - Perfil de alteração do solo.....	36
Figura 12 - Séries de reação de Bowen	38
Figura 13 - Tipos de origem geológica das rochas.....	40
Figura 14 - Elementos químicos mais abundantes na crosta terrestre.....	41
Figura 15 - Fragmentos de basalto	44
Figura 16 - Fragmentos de mármore	47
Figura 17 - Fragmentos de micaxisto	48
Figura 18 - Fragmentos de sienito	50
Figura 19 - Etapas para filtragem de publicações.....	51
Figura 20 - Fluxograma do processo de seleção das publicações. O número de artigos em cada etapa está indicado entre parênteses	54
Figura 21 - Fluxograma dos estudos de casos selecionados para revisão e respectiva autoria	55
Figura 22 - Precipitação e temperatura média do ar em Bom Progresso, Rio Grande do Sul (RS)	58
Figura 23 - MSPA das safras no Ano 1 e Ano 2	59
Figura 24 - Produção de grãos de feijão preto nas safras do Ano 1 e Ano 2.....	60
Figura 25 - Precipitação pluvial (mm), Umidade Relativa do Ar (%), Temperatura Mínima, Temperatura Máxima, Temperatura Média de Itumbiara, Goiás	63
Figura 26 - Influência do aumento das doses de pó de micaxisto FMS com a produtividade de milho em Itumbiara, GO.....	66
Figura 27 - (A) Serpentinó e (B) Fotomicrografia (LPX02) evidenciando os cristais de serpentinita.....	68

Figura 28 - (A) Serpentinita-flogopita mármore e (B) Fotomicrografia (LNX02) evidenciando lamelas de flogopita (mineral castanho-claro) e serpentinita (mineral branco)	68
Figura 29 - Classificação petrográfica e difração de raios X (DRX) para rochas da mina FERBASA	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações de natureza física dos remineralizadores	30
Tabela 2 - Composição média de magmas basálticos (valores em % em peso).....	45
Tabela 3 - Análise química de latossolo vermelho pré-semeadura da cidade de Bom Progresso (RS).....	57
Tabela 4 - Análise química do pó de basalto (PB)	58
Tabela 5 - Composição de um fertilizante organomineral	63
Tabela 6 - Análise química do solo de Itumbiara, Goiás.....	64
Tabela 7 - Análise química do remineralizador micaxisto (FMX).....	64
Tabela 8 - Resultados das características agrônômicas para a cultura de milho	65
Tabela 9 - Resultados dos tratamentos aplicados em função das variáveis de pesquisa para cultura de milho	66
Tabela 10 - Análise química das rochas da mineração FERBASA.....	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Forma de absorção e o papel dos nutrientes essenciais para o crescimento da planta (de várias fontes)	34
Quadro 2 - Horizontes típicos de alteração do solo	37
Quadro 3 - Termos utilizados para busca de publicações	52
Quadro 4 - Termos utilizados para busca de publicações	52
Quadro 5 - Esquema de doses aplicadas ao solo para segunda safra de milho	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

B	Boro
C	Carbono
Ca	Cálcio
CE	Ceará
Cl	Cloro
cm	Centímetros
Co	Cobalto
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Cu	Cobre
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fe	Ferro
g	Gramas
H	Hidrogênio
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
K	Potássio
kg	Quilo
km	Quilômetro
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Mg	Magnésio
Mg.ha ⁻¹	Megagrama por hectare

mm	Milímetro
Mn	Manganês
mol	Grandeza de quantidade de matéria
N	Nitrogênio
Ni	Níquel
O	Oxigênio
P	Fósforo
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total
S	Enxofre
SAE	Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos
t	Tonelada
EUA	United States of America
V	Vanádio
Zn	Zinco

LISTA DE SÍMBOLOS

\$ Dólar

° Grau

Mesh

μ Micro

‘ Minuto

% Porcentagem

“ Segundo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Objetivos	20
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo Geral</i>	20
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1	O mercado e o uso de fertilizantes no Brasil	22
2.2	Nutrição de plantas	26
2.2.1	Nutrientes fundamentais	26
2.2.2	<i>Liberação e absorção dos nutrientes do pó de rocha</i>	27
<i>2.2.2.1</i>	<i>Liberação</i>	27
<i>2.2.2.2</i>	<i>Absorção</i>	31
2.2.3	<i>Crescimento vegetal</i>	35
2.3	Solos	36
2.4	Rochas	39
2.5	Remineralizadores de solos	41
2.6	Aplicação de agrominerais em estudos e pesquisas	42
<i>2.6.1</i>	<i>Basalto</i>	43
<i>2.6.2</i>	<i>Mármore</i>	45
<i>2.6.3</i>	<i>Micaxisto</i>	47
<i>2.6.4</i>	<i>Sienito</i>	49
3	METODOLOGIAS	51
3.1	Critérios de pesquisa das publicações	51
3.2	Critérios de seleção e exclusão dos artigos	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1	Estudo de Caso A	56

4.2	Estudo de Caso B	62
4.3	Estudo de Caso C	67
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
	REFERÊNCIAS.....	73
	ANEXO A – MAPA DE SOLOS DO BRASIL	78
	ANEXO B – CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS - CONCEITO DAS CLASSES DO 1º NÍVEL CATEGÓRICO (ORDENS)	79

1 INTRODUÇÃO

A agricultura de cultivares anuais tem fundamental importância na alimentação mundial, mas também tem implicações significativas na perda de nutrientes do solo. O intensivo cultivo em diversas safras anuais, em reduzidas áreas, exauri os solos agrícolas, uma vez que as plantas retiram os nutrientes do solo para o seu crescimento, de forma que os processos de reposição geológico não conseguem renová-los na mesma proporção de tempo (VAN STRAATEN, 2007). A relevância social do solo é ressaltada por Teixeira *et al.*, (2009) p. 235, “ o solo é, sem dúvida, o recurso natural mais importante de um país, pois é dele que derivam os produtos para alimentar sua população.”

Além da perda de nutrientes em áreas de excessivo cultivo, os solos são afetados por agentes intempéricos, como chuvas intensas, ventos e compactação. Estes são fatores que aceleram a perda nutricional, o que causa empobrecimento de nutrientes do solo, acarretando perdas de: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , além de elevar a acidez (EMBRAPA, 2018). Com isto, se entende que a composição dos solos, conseqüentemente a sua fertilidade, é resultante da combinação de fatores geológicos e climáticos.

Desta forma, os agricultores são sujeitados a recorrer a fertilizantes químicos solúveis para restaurar a fertilidade dos solos agrícolas. Porém tais compostos apresentam desvantagens para os agricultores e o meio ambiente, como: perdas de fertilizantes e poluição das águas, através da lixiviação dos nutrientes para rios e lagos; emissões de gases do efeito estufa, causados pelos fertilizantes nitrogenados; acidificação do solo, acarretado pelo uso de fontes à base de sulfatos; salinização, pelo uso excessivo de fertilizantes, elevado custo; escassez de produção interna e dependência externa (THEODORO, 2000). À vista disso, estuda-se formas alternativas de produção de fontes nutricionais econômicas, localmente acessíveis e sustentável ambientalmente, que reduzam o uso de fertilizantes químicos (THEODORO *et al.*, 2006).

A rochagem é uma técnica que processa os fragmentos de rocha, através de processos de redução de tamanho (britagem e moagem), até a geração de um pó fino, para alcançar área e energia superficial mais elevada, tornando-se mais adequado para as reações químicas/biológicas que disponibilizarão nutrientes ao solo e tem como objetivo principal

melhorar quimicamente a estrutura do solo, seu pH e capacidade de retenção de água (THEODORO, 2000).

No Brasil, investigações com o uso de remineralizadores têm sido estudadas com maior intensidade nos últimos anos, com o objetivo principal de gerar fontes nutricionais para a produção agrícola do país, diminuindo assim a dependência externa e reduzindo o custo elevado da adubação química. Tendo em vista tal necessidade, a CPRM e a EMBRAPA vêm desenvolvendo pesquisas acerca da rochagem (BERGMANN, 2017).

Existe uma variedade de rochas (ígneas, metamórficas e/ou sedimentares) que são capazes de se tornar fontes multinutricionais para os solos degradados. Tais rochas estão presentes no Brasil e isso é descrito em vários trabalhos que mostram que os índices de fertilidade aumentaram com o uso da rochagem (THEODORO; LEONARDOS, 2011).

Assim, a rochagem, compreende uma possibilidade distinta de reintroduzir nutrientes aos solos de maneira estratégica com um manejo sustentável ambientalmente, classificando-se como uma técnica de remineralização dos solos e condicionamento físico a partir de pós de rochas que contém naturalmente os minerais essenciais para o desenvolvimento das plantas. Podendo se tornar uma técnica viável na agricultura, capaz de elevar os níveis de nutrientes nos solos e possibilitar o uso por mais de um ciclo de plantio, por ser uma fonte de baixa solubilidade, assim apresentando maior efeito residual ao longo das colheitas (VAN STRAATEN, 2007).

O estudo reunirá um embasamento teórico sobre rochagem e os métodos de disponibilização/exposição de íons minerais a partir de pós de rochas e sua absorção em plantios diversificados para entender/investigar/estudar o potencial de fornecer nutrientes aos solos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Apresentar um levantamento bibliográfico sobre rochagem reunindo estudos e analisar a eficácia resultante das experimentações de campo.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar um levantamento bibliográfico sobre o uso da rochagem;
- Apresentar as formas de disponibilização e absorção dos pós de rochas;
- Reunir trabalhos publicados na literatura sobre aplicação do pó de rocha;
- Analisar a eficácia por meio de estudos de casos no efeito da aplicação em culturas em diferentes contextos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão abordados: o mercado e o uso dos fertilizantes no Brasil, os conceitos fundamentais de nutrição de plantas, os solos, as rochas, os remineralizadores de solos e estudos de aplicação em diferentes rochas.

2.1 O mercado e o uso de fertilizantes no Brasil

O início da indústria de fertilizantes no Brasil se deu com a produção de intermediários fosfatados, que mesmo em níveis insuficientes, marcou a introdução do desenvolvimento da indústria de fertilizantes no país. No início dos anos 70 houve um crescimento no setor agrícola que passou a ser um significativo fator para a exportação de matérias-primas para a produção de fertilizantes químicos, decorrente do aumento da demanda de fertilizantes, tal comportamento conferiu, anos depois, um investimento estatal, para que houvesse produção de matérias-primas básicas e intermediárias (KULAIF; FERNANDES, 2010).

O agronegócio permaneceu apresentando consistência na produtividade em 1970, devido ao investimento em pesquisa de melhoramento vegetal por instituições públicas e privadas e pelos agricultores (BAMBERG *et al.*, 2016). Por aspectos como: elevada extensão territorial, condições climáticas, propriedades dos solos e existência de mercado demandante, o Brasil tornou-se uma potência agrícola e com isto um grande consumidor de fertilizantes, desde o século passado (DE MIRANDA, 2018).

A independência na produção de fertilizantes fosfatados, durante a década de 1980, no Brasil, quase foi atingida com o auxílio de programas de incentivo (GONÇALVES; FERREIRA; SOUZA, 2008 *apud* SAE, 2020). Os fertilizantes fosfatados conseguiram apresentar solidez na produção, mas os nitrogenados e os potássicos até então foram insuficientes na produção até meados dos anos 90 (KULAIF; FERNANDES, 2010).

A dependência de importação de insumos agrícolas faz com que se procure alternativas regionais para esse obstáculo. Considerando que o Brasil não possui grandes jazidas de potássio e as de fosfato são insuficientes, isto leva a que o país importe quase 70% dos insumos químicos consumidos. O que o torna dependente da importação vinda de países como EUA, Rússia, Canadá e Marrocos, que são detentores dos preços dos insumos, pelo fato

de que as maiores reservas e os maiores produtores estão em tais países (THEODORO *et al.*, 2006). Além disso, desequilibra desfavoravelmente a balança comercial nacional.

O que entra em acordo com Kulaif e Fernandes (2010), que afirmam que a matéria-prima é uma *commodity* com cotação internacional, sendo este o fator mais restritivo relacionado à produção de fertilizantes.

Por vezes, os cultivos agrícolas não possuem os solos mais adequados para seu desenvolvimento, pois o seu cultivo se dá em uma área agrícola definida por questões topográficas, financeiras, disponibilidade do zoneamento rural e outras. Sendo estes solos explorados frequentemente por plantas de crescimento rápido e de grande produtividade (VAN STRAATEN, 2007). Inegavelmente tal situação leva a exaustão do solo, o que acarreta decréscimo das produções seguintes, por consequência ocasiona um crescimento vegetal ineficiente, levando a uma circunstância de inviabilização da área agrícola em curto espaço de tempo. Contudo, os fertilizantes e condicionadores de solos podem reverter esta condição.

Os preços dos fertilizantes solúveis podem sofrer grandes variações a depender das condições de mercado e do contexto geopolítico internacional. Como exemplo, o que se sucedeu em 2008, pouco tempo antes da recessão. O preço médio da ureia, que é a matéria-prima principal para a geração de fertilizantes nitrogenados, custava 200 US\$/t em 2004, e no final de 2008, chegou a 835 US\$/t (VAN STRAATEN, 2010). Exemplo semelhante de aumento se deu com a guerra entre Rússia e Ucrânia que fez o preço disparar recentemente e causou uma sensação de escassez e risco à segurança alimentar mundial (KÖNIG; SÁ; JANK, 2022).

Segundo Theodoro (2000), a eutrofização/poluição de corpos d'água, a alta concentração de compostos nitrogenados na atmosfera e o endividamento de pequenos agricultores são consequências do uso de fertilizantes químicos.

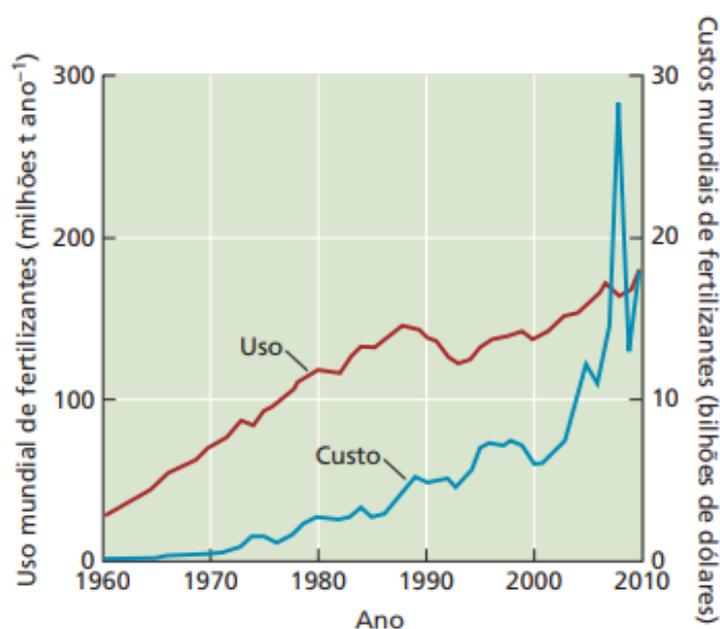
Os fertilizantes químicos em sua maioria são fabricados em um país e consumido por outros países, em virtude disso ocasiona-se o incremento no preço do produto, como consequência os produtores de pequeno porte utilizam doses menores do que as recomendadas, uma subdose. Tal prática não ocasiona uma concentração de nutrientes adequada para o crescimento vegetal, ou seja, restringe a produtividade agrícola de produtores de pequeno porte (VAN STRAATEN, 2007).

Para a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO) existe uma relação entre a produção de alimento pela agricultura mundial e a desnutrição, diante disso, é prudente perceber a importância dos insumos agrícolas nesse processo, pois tal agente sustenta a constância da produção agrícola e barateia os alimentos, os tornando mais acessíveis (ROCHA; LEÃO, 2010).

Logo, uma possível solução para o problema da desnutrição de pessoas em países em desenvolvimento seria aumentar a produção em larga escala dos recursos agrícolas, de forma sustentável, para satisfazer as necessidades alimentares.

No mercado, exige-se uma alta demanda por produtos agrícolas (alimentos, madeiras, fibras, óleos, extratos e ceras) o que faz os produtores utilizarem dos fertilizantes, principalmente, nitrogenados, fosfatados e potássicos. Por essa razão o consumo anual mundial de fertilizantes (Figura 1) aumentou 113 milhões t/ano de 1960 para 1990, representando um aumento de cerca de 476%. Demonstrando a alta necessidade do mercado por fertilizantes e o consumo continuou aumentando. Em 2010, foi consumido mundialmente cerca de 180 milhões t/ano (TAIZ *et al.*, 2016).

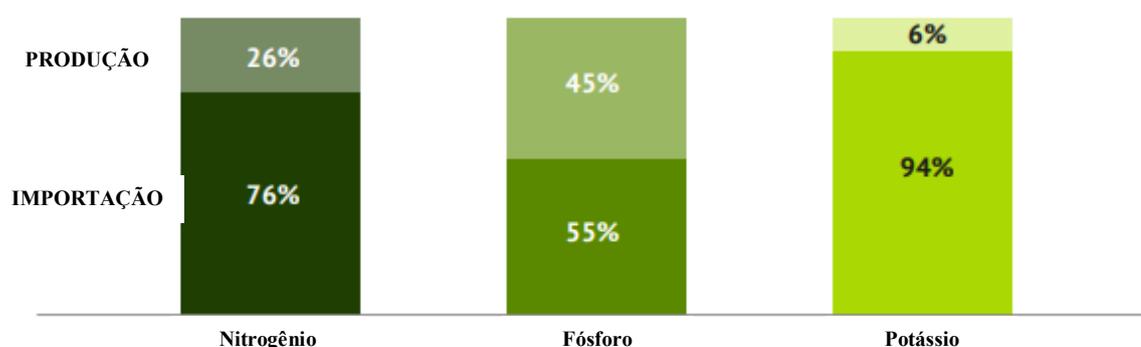
Figura 1 - Consumo mundial de fertilizantes e custos dos anos 1960 a 2010



Fonte: TAIZ *et al.* (2016).

A porcentagem da produção nacional e importação dos fertilizantes (N, P e K) (Figura 2) mostra o potássio sendo uma das fontes com maior dependência, com 94% de demanda externa. Logo em seguida, os fertilizantes fontes de nitrogênio, com dependência de 76% e fósforo em terceiro, com um pouco mais da metade do consumido advindo da importação (SAE, 2020).

Figura 2 - Relação entre produção e importação de fertilizantes solúveis (NPK)



Fonte: Adaptado de MAPA *apud* SAE (2020).

Isto representa uma vulnerabilidade na segurança alimentar no Brasil, devido ao consumo de fertilizantes (N, P, K) ser dependente da produção externa, com uma porcentagem correspondente de aproximadamente 80% das necessidades internas de fertilizantes químicos. Isto demonstra a importância de estratégias para a redução da dependência de países estrangeiros.

IBRAM (2022), mostra o *ranking* dos principais países consumidores de fertilizantes no ano de 2020 (Figura 3), com o Brasil ocupando as principais posições de topo entre os maiores consumidores de fertilizantes NPK. Tendo maior dependência de fertilizantes a base de potássio, além disso ocupa o quarto lugar mundial, com 8% em consumo de fertilizantes NPK, tais dados expressam a importância de práticas que induzam a redução destas fontes advindas do mercado exterior. Por esta razão, em 2022, foi criado o Plano Nacional de Fertilizantes (PNF) que visa um conjunto de estratégias que envolvem diversos setores para reduzir a dependência externa, balanceando a produção interna e a importação.

Figura 3 - Ranking das fontes de fertilizantes e os países mais consumidores



Fonte: GlobalFert (2021b *apud* IBRAM 2022).

2.2 Nutrição de plantas

2.2.1 Nutrientes fundamentais

As plantas têm a necessidade de obter elementos químicos básicos para que ocorram os seus crescimentos. Tais nutrientes são categorizados como: macro e micronutrientes. Os macronutrientes são os elementos que precisam estar disponíveis em maior quantidade, em contrapartida os micronutrientes necessitam ser disponibilizados em quantidades inferiores (CHAVES, 2010).

Nessa perspectiva, os elementos químicos: carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), cloro (Cl) e molibdênio (Mo), são categorizados como essenciais para o crescimento adequado da planta (TAIZ *et al.*, 2016).

Para Chaves (2010), nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio são macronutrientes e zinco, ferro, manganês, cobre, boro, molibdênio e cloro são micronutrientes.

Estes elementos são referenciados como essenciais, em razão de não existir outro que substitua sua função. Assim sendo, sem ele a planta não consegue se desenvolver completamente, pois os elementos atuam diretamente no metabolismo dela (VAN STRAATEN, 2007).

As plantas são seres vivos sésseis, neste sentido é necessário que os elementos fundamentais para a sua sobrevivência estejam ao alcance do seu corpo. Desse modo, os nutrientes minerais devem estar disponíveis nos solos, em contato com as raízes e as diversas espécies se adaptaram para explorarem ambientes específicos (TAIZ *et al.*, 2016).

2.2.2 Liberação e absorção dos nutrientes do pó de rocha

2.2.2.1 Liberação

O intemperismo age no pó de rocha de modo a liberar os nutrientes presentes de forma lenta, diferente do que acontece com fertilizantes químicos que têm alta solubilidade. Tal divergência de características evidencia uma vantagem dos remineralizadores, que é a de conseguir fornecer nutrientes por um período de tempo superior (THEODORO *et al.*, 2012). A liberação de nutrientes pode ocorrer em até quatro ou cinco anos (THEODORO; ALMEIDA, 2013).

Sobre a conceituação de intemperismo e sua importância, podemos afirmar que:

Habitamos a superfície da Terra e dependemos, para viver, dos materiais disponíveis. Estes, em sua maior parte, são produto das transformações que a crosta terrestre sofre na interação com a atmosfera, a hidrosfera e a biosfera, ou seja são produtos do intemperismo. [...] O intemperismo é o conjunto de modificações de ordem física (desagregação) e química (decomposição) que as rochas sofrem ao aflorar na superfície da Terra. Os produtos do intemperismo, rocha alterada e solo, estão sujeitos aos processos do ciclo supérgeno – erosão, transporte, sedimentação – os quais acabam levando à denudação continental, com o consequente aplainamento do relevo. (TEIXEIRA *et. al*, 2009, p. 140).

O intemperismo químico é um processo geológico que ocorre na superfície terrestre através da mudança da estrutura química dos minerais em consequência da atividade de agentes e com efeito de obter uma condição de estabilidade química os minerais se reorganizam, conforme mostra a Figura 4. Estes processos podem ocorrer das seguintes maneiras:

a) hidratação e solubilização, que corresponde a interação química entre os sedimentos de rocha ou minerais e moléculas de água, originando minerais hidratados e uma solução de sais;

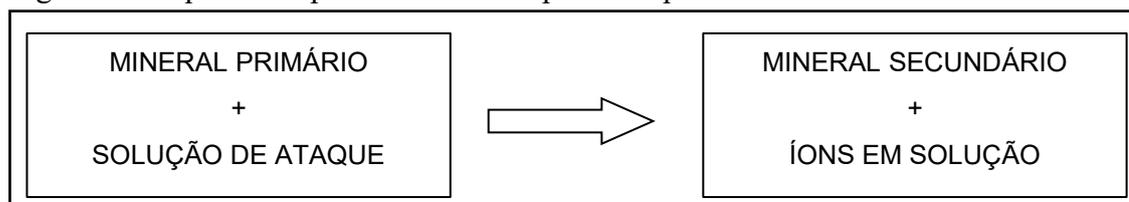
b) hidrólise, ocorre a partir da quebra da molécula mineral em compostos químicos mais simples, causada pela água, a partir da substituição de íons de metais, silicatos e/ou carbonatos por íons de hidrogênio (H^+) e hidroxila (OH^-);

c) oxidação e redução, que são respectivamente, a perda de elétrons da superfície do mineral e a redução do receptor de elétrons;

d) complexação, ocorre através da decomposição dos minerais por meio ligação de compostos orgânicos (molécula ligante) com íons metálicos (KAMPF; CURI; MARQUES, 2009).

Os compostos orgânicos, também são citados por Chaves (2010), estando presente nas raízes das plantas. Como o ácido húmico, que solubiliza o fosfato presente na rocha fosfática e têm influência para a dissolução dos minerais a partir do intemperismo químico para a nutrição de plantas.

Figura 4 - Esquema do processo de intemperismo químico



Fonte: Adaptado de KAMPF; CURI; MARQUES (2009).

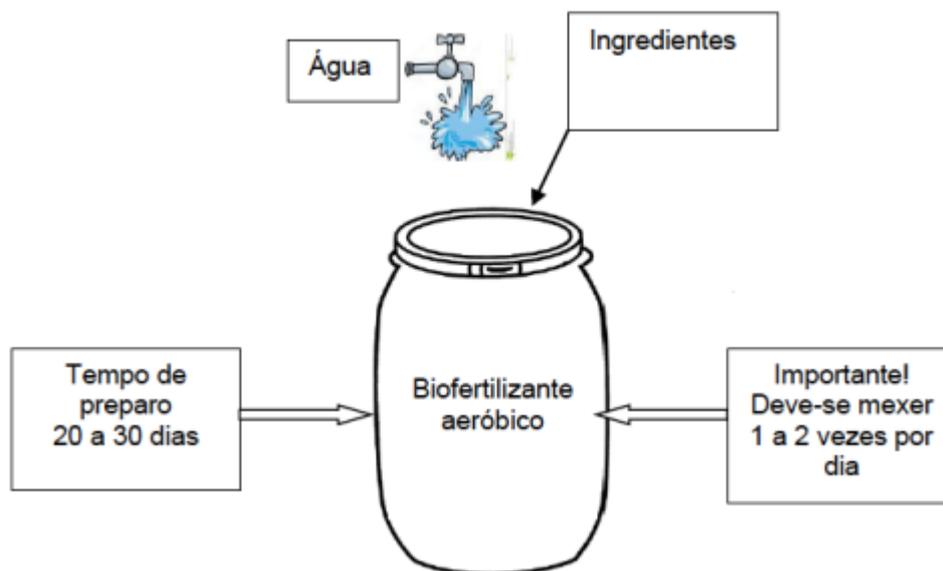
Lopes-Assad *et. al.*, 2010; Lima *et. al.*, 2010; Lima *et. al.*, 2009; Souza, 2010 *apud* Carvalho (2012), citam os seguintes processos biológicos que podem interferir na degradação do mineral:

a) biofertilizante (Figura 5 e 6), é um líquido gerado a partir da fermentação com ou sem presença do ar com compostos (dejetos animais e/ou resíduos) e água;

b) compostagem, consiste da inserção de resíduos de alimentos inseridos em conjunto ao solo;

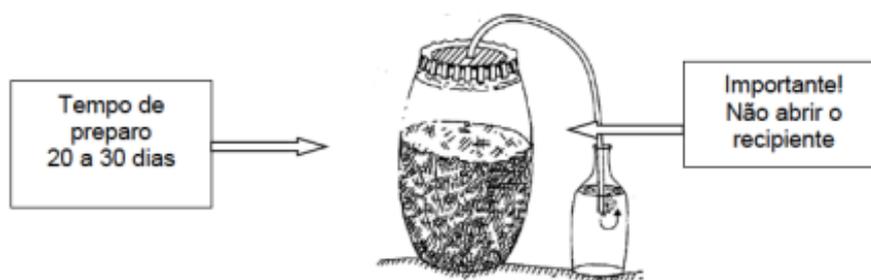
c) vermicompostagem, baseia-se na utilização de húmus de minhoca.

Figura 5 - Processo de produção de biofertilizante aeróbico



Fonte: Adaptado de MOREIRA (2006).

Figura 6 - Processo de produção de biofertilizante anaeróbico



Fonte: MOREIRA (2006).

Além disso, o crescimento vegetal ocorre de forma saudável quando é disponível luz solar e água para que ocorra a sintetização dos elementos metabólicos (TAIZ *et al.*, 2016).

A irrigação também contribui para a quebra da estrutura dos minerais (THEODORO *et al.*, 2006), seja por hidrólise, hidratação, acidólise e oxidação.

A granulometria é um fator que se deve conferir substancialmente, pois uma granulometria fina (fração argila), ou seja menor 0,002 mm, faz com que os íons minerais alcancem a liberação em um curto tempo e granulometrias maiores (cascalho grosseiro), ou seja 2 a 20 mm, promovem a liberação dos minerais em um período posterior, dessa forma, esta composição de granulometrias é propícia para que se tenha oferta de curto e longo período, assim como também influencia positivamente a permeabilidade e a porosidade do solo, todavia a granulometria fina é imprescindível (THEODORO *et al.*, 2006).

O tratamento ou processamento de minérios compreende práticas com a finalidade de modificar a granulometria, a concentração, dentre outros fatores (LUZ, 2010).

Partindo desse conceito, para que ocorra a liberação dos nutrientes é necessário que as rochas estejam com granulometria adequada e estas são classificadas em: *filler*, pó ou farelo (MAPA, 2016). A Tabela 1 indica as granulometrias enquadradas em tais denominações.

Tabela 1 - Especificações de natureza física dos remineralizadores

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

Fonte: MAPA (2016).

A redução de tamanho das rochas é feita a partir do processamento das rochas em duas operações unitárias:

a) britagem: consiste de uma etapa inicial do processo de cominuição, tendo uma redução de tamanho, variando de 6 a 8:1, considerada pequena, quando comparada a etapa de

moagem, para tal processo utiliza-se de equipamentos chamados de britadores (CHAVES; PERES, 2003). A granulometria final desta etapa gera partículas em média de 2 cm, por consequência irá ser a granulometria necessária para entrada na próxima etapa, intitulada de moagem (LUZ, 2010);

b) moagem: é o processo também de redução de tamanho que necessita de uma alimentação de partículas com tamanho em média de 2 centímetros, e por isso antes de tal processo, devem submeter-se a britagem. A moagem é uma fragmentação fina que reduz partículas, resultando numa relação de redução de 20 vezes e para moagem fina de 100 a 200 vezes, resultando em um produto bastante fino, que pode chegar até 20 # (CHAVES; PERES, 2003).

2.2.2.2 Absorção

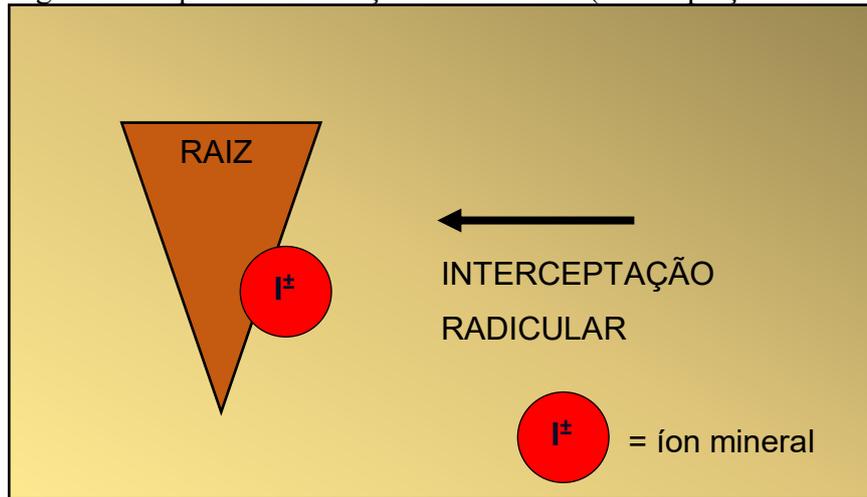
A absorção dos nutrientes acontece essencialmente a partir de três mecanismos, que são:

a) interceptação radicular, definida como absorção nutricional e se processa na interface raiz-solo (Figura 7);

b) fluxo de massa, (Figura 8) a absorção dos nutrientes dá-se junto ao processo de absorção de água pelas raízes, na qual os nutrientes são carreados simultaneamente;

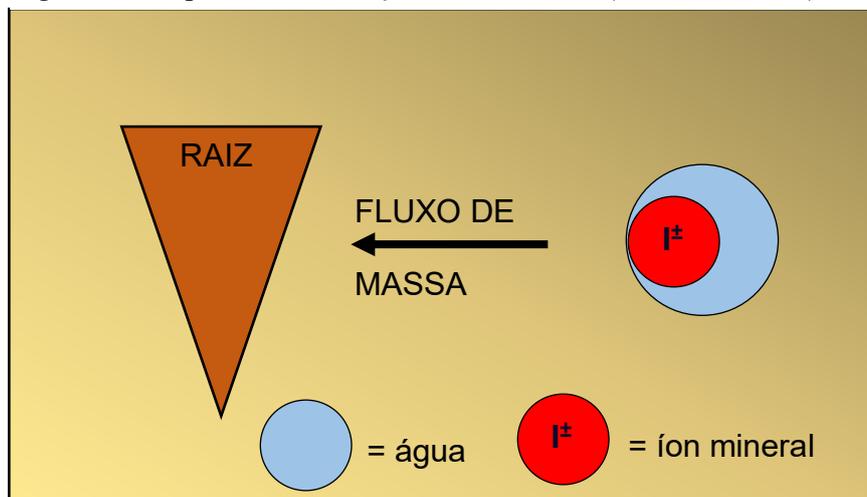
c) difusão, (Figura 9) o processo inicia quando a planta absorve nutrientes da interface solo-raiz, gerando zonas com diferentes concentrações de nutrientes (na interface solo-raiz com concentrações menores e em partes distais com concentrações maiores) e a solução busca permanecer com concentrações similares, deste modo, os nutrientes tendem a se aproximar da zona de raízes (BARBER, 1995 *apud* VAN STRAATEN, 2007).

Figura 7 - Esquema de absorção de nutrientes (interceptação radicular)



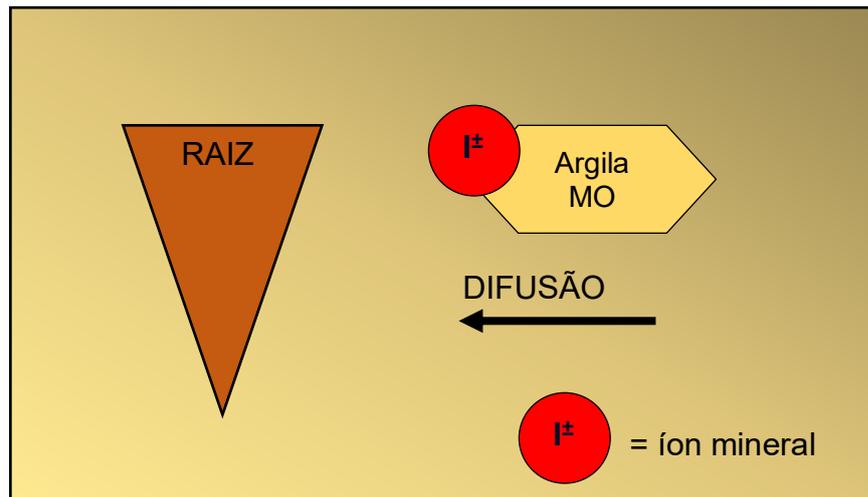
Fonte: Adaptado de PAULETTI (2012).

Figura 8 - Esquema da absorção de nutrientes (fluxo de massa)



Fonte: Adaptado de PAULETTI (2012).

Figura 9 - Esquema da absorção de nutrientes (difusão)



Fonte: Adaptado de PAULETTI (2012).

Os nutrientes têm funções e mobilidades diferentes no vegetal, como também são percebidos indícios da sua falta. Além disso, outro fator a ser avaliado é o tipo de rocha e a quantidade liberada de nutriente de acordo com a necessidade nutricional dos cultivos. Segundo o IBRAM (2022), o milho, a soja e a cana-de-açúcar são as espécies que requerem uma quantidade superior de nutrientes para o crescimento adequado.

O Quadro 1 mostra a forma em que os macros e micronutrientes são absorvidos e descreve sua função para o desenvolvimento vegetal.

Quadro 1 - Forma de absorção e o papel dos nutrientes essenciais para o crescimento da planta (de várias fontes)

Elemento	Formas de absorção	Papel no crescimento da planta
Macronutrientes, principalmente de ar e água		
Oxigênio (O), Hidrogênio (H), Carbono (C)	H ₂ O, CO ₂	Fotossíntese, abastecimento de água, constituintes da maioria dos compostos de nutrientes.
Macronutrientes, principalmente de soluções de solo		
Nitrogênio (N)	NO ³⁻ , NH ₄ ⁺	Constituinte de todas as proteínas, clorofila e em coenzimas e ácidos nucleicos.
Fósforo (P)	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	Importante na transferência de energia como parte do trifosfato de adenosina. Constituinte de muitas proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos e substratos metabólicos.
Potássio (K)	K ⁺	Pouco ou nenhum papel como constituinte de compostos vegetais. Funções em mecanismos regulatórios, na fotossíntese, translocação de carboidratos, síntese de proteínas, etc.
Cálcio (Ca)	Ca ²⁺	Componente da parede celular, o cálcio desempenha um papel na estrutura e permeabilidade das membranas.
Magnésio (Mg)	Mg ²⁺	Constituinte da clorofila, ativador enzimático.
Enxofre (S)	SO ₄ ²⁻	Constituinte importante das proteínas vegetais.
Micronutrientes, principalmente de soluções de solo		
Boro (B)	HBO ₃	Importante na translocação de açúcar e metabolismo de carboidratos.
Cloro (Cl)	Cl ⁻	Ativa sistema para a produção de O ₂ na fotossíntese.
Cobre (Cu)	Cu ²⁺	Catalisador para a respiração, constituinte da enzima.
Ferro (Fe)	Fe ²⁺	Síntese de clorofila e em enzimas para a transferência de elétrons.
Manganês (Mn)	Mn ²⁺	Controla vários sistemas de redução de oxidação; formação de O ₂ na fotossíntese.
Molibdênio (Mo)	MoO ₄ ²⁻	Na enzima nitrogenase, necessária para a fixação de nitrogênio.
Zinco (Zn)	Zn ²⁺	Em sistemas enzimáticos que regulam várias atividades metabólicas.
Níquel (Ni)	Ni ²⁺	Essencial para ativar a uréase; necessário para a germinação das sementes.

Fonte: Tradução nossa (VAN STRAATEN, 2007, p. 46).

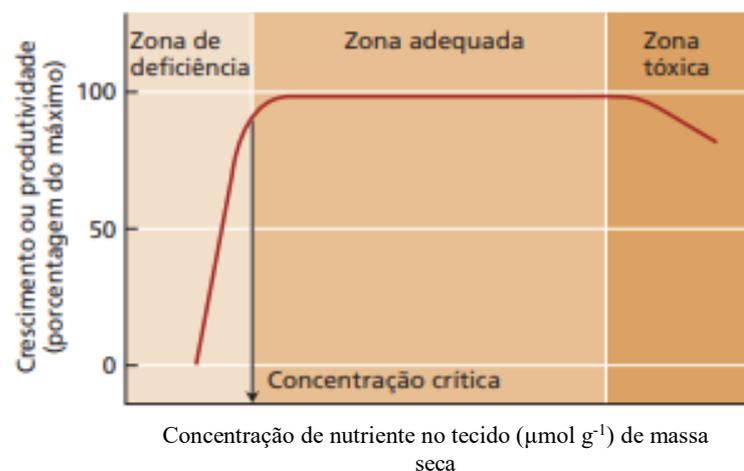
2.2.3 Crescimento vegetal

Para Taiz *et al.* (2016) durante o crescimento do vegetal ocorre necessidades nutricionais diferentes e a concentração dos nutrientes no vegetal irá depender de dois fatores principais: a absorção e a diluição.

A Figura 10 demonstra o resultado do progressivo aumento das concentrações de nutrientes, através de análises químicas do tecido vegetal e os relaciona com a influência no crescimento e/ou aumento da produtividade, com base nisto, evidenciou-se a divisão em três principais zonas.

A primeira, chamada de zona de deficiência, ocorre quando a concentração dos nutrientes está inferior, e por essa razão compromete o desenvolvimento. Na segunda zona, intitulada de adequada, o nível de crescimento/produtividade é máximo e este comportamento permanece em uma faixa constante mesmo com o aumento das concentrações, até entrar na terceira zona, chamada de tóxica, causando decréscimo da produtividade, significando que os níveis de nutrientes estão acima do ideal, ocasionando a deficiência no crescimento. Tendo em vista tais cenários, há uma concentração mínima de nutrientes para que se alcance o crescimento adequado e localiza-se no limite entre a zona de deficiência e a zona adequada, tal região é chamada de ponto de concentração crítica (TAIZ *et al.*, 2016).

Figura 10 - Relação do crescimento e concentração de nutriente no tecido vegetal



Fonte: Adaptado de TAIZ *et al.* (2016).

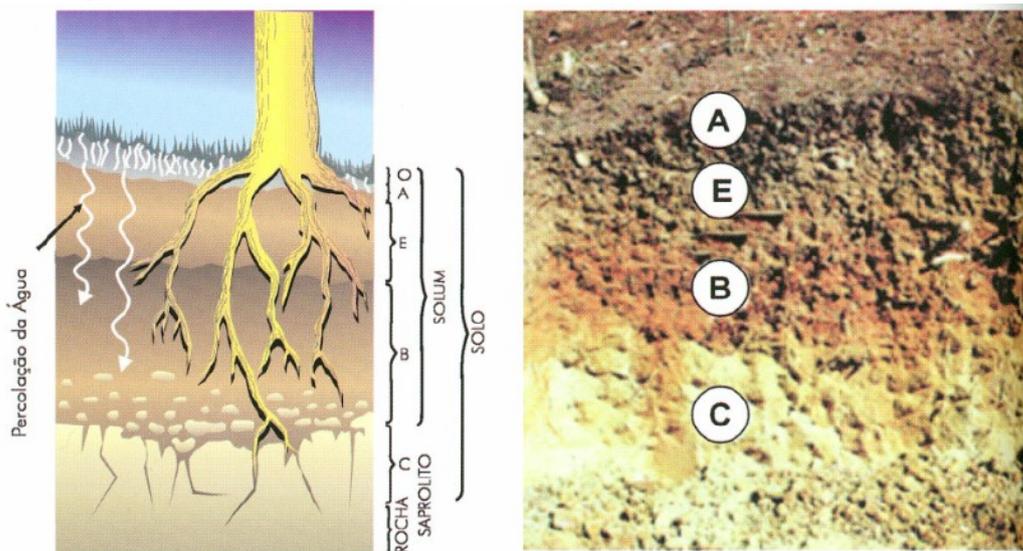
2.3 Solos

Para Teixeira *et. al.* (2009, p. 157) o solo pode ter conceitos diferentes para o agricultor ou agrônomo, engenheiro, geólogo, arqueólogo e hidrólogo, a depender da sua aplicação, mas define o mesmo como, “[...] o produto do intemperismo, do remanejamento e da organização das camadas superiores da crosta terrestre, sob ação da atmosfera, da hidrosfera, da biosfera e das trocas de energia envolvidas.”

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos descreve o solo como um material que ocupa toda a extensão do continente e é formado por materiais minerais, como também por matéria orgânica, ar e água (EMBRAPA, 2018).

Os solos apresentam um perfil de estratificação típico (Figura 11) com características diferentes delimitadas por horizontes de estratificação e o Quadro 2, define cada horizonte.

Figura 11 - Perfil de alteração do solo



Fonte: TEIXEIRA *et. al.* (2009).

Quadro 2 - Horizontes típicos de alteração do solo

Horizonte O	Formado por material orgânico em desintegração.
Horizonte A	Formado por matéria orgânica e processos biológicos.
Horizonte E	Zona ocupada por raízes das plantas, com alta atividade biológica e com presença de soluções minerais dissolvidas e também com certa quantidade de material orgânico.
Horizonte B	Também chamado de zona de acumulação, recebe os minerais dissolvidos pela lixiviação da zona E, com característica argilosa.
Horizonte C	É composto por saprolito (rocha alterada) e com pouca matéria orgânica, sendo esta a última camada de solo.

Fonte: Adaptado de TEIXEIRA *et. al.* (2009).

A EMBRAPA realiza estudos sobre os solos do Brasil e sua classificação desde 1960, o Anexo A mostra o mapa de classificação dos solos brasileiros, evidenciando a expressiva área com solos alterados.

Para tal classificação, dividida em seis níveis, são empregados dois critérios de diferenciação, que são: bases e critérios, a base está ligada à formação do solo e o critério elementos de diferenciação de classes. Além disso, o Sistema de Classificação de solos conceitua treze classes, de acordo com o primeiro nível categórico, conforme mostrado no Anexo B.

Os intemperismos físico e químico, a erosão hídrica, a salinização, a lixiviação e a absorção radicular das plantas geram solos degradados, que podem ser definidos como solos com deficiência nutricional, sendo necessário repor os nutrientes, a fim de sustentar as safras anuais (VAN STRAATEN, 2007).

A série de Bowen (Figura 12) descreve a ordem de cristalização fracionada dos minerais a partir do resfriamento de magmas e se divide em duas. A primeira é a série contínua, de estrutura igual e composição química diferente, cristalizam-se primeiro os minerais ferromagnesianos com teores de sílica menores e à medida que a temperatura diminui a porcentagem de sílica aumenta. Já na segunda, série descontínua, de estrutura e composição química diferente, ocorre a cristalização do plagioclásio cálcico (anortita) e com a redução da temperatura também ocorre a redução do cálcio e aumento de sódio, até chegar no plagioclásio sódico (albita) com cristalização em menor temperatura (TEIXEIRA *et. al.*, 2009).

Figura 12 - Séries de reação de Bowen



Fonte: TEIXEIRA *et. al.* (2009).

Os solos apresentam intemperismos em graus diferentes associados a suas ligações moleculares. Os minerais que se cristalizam primeiro na série de Bowen apresentam menor resistência ao intemperismo, como é o caso da olivina e ortopiroxênio, aumentando assim a fertilidade do solo, já os últimos na série, como o quartzo, apresentam maior resistência ao intemperismo (BEZERRA, 2010).

A fertilidade do solo é definida como a capacidade química do solo para manter o crescimento do vegetal, sendo necessário ter concentrações de cátions como: Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺ e uma baixa concentração de cátions como: Al³⁺ e H⁺ (VAN STRAATEN, 2007).

Tais íons, de nutrientes, necessitam estar dissolvidos e disponíveis em solução para que ocorra a absorção pelas raízes das plantas, na qual são absorvidos majoritariamente. Em contrapartida, o solo não fértil ou degradado pode ser entendido como um solo que não consegue sustentar o crescimento vegetal, devido a deficiência nutricional (VAN STRAATEN, 2007).

2.4 Rochas

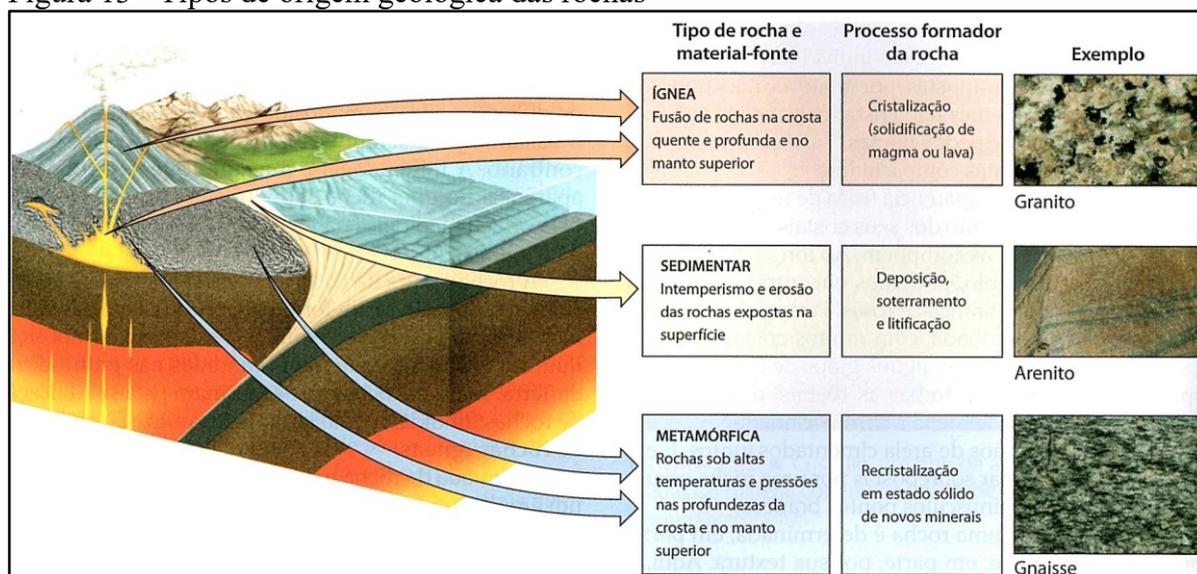
Grotzinger e Jordan (2013, p. 74), definem rocha como um: “[...] agregado sólido de minerais ou, em alguns casos, matéria sólida não mineral que ocorre naturalmente.” Quantos aos minerais eles são definidos como:

Um mineral é um sólido homogêneo, com composição química definida, mas que pode variar dentro de intervalos restritos, formados por processos naturais inorgânicos, cujos átomos se encontram organizados em um arranjo periódico tridimensional. (TEIXEIRA *et. al.*, 2009, p. 133).

O ciclo das rochas é entendido como o conjunto de transformações pelas quais uma rocha converte-se em outra. Como ponto de partida desse ciclo, em zonas de subducção ocorre a formação de rochas ígneas ou magmáticas a partir da cristalização de magmas. A partir destas rochas e com a ação de pressão e temperatura dão origem as rochas metamórficas. Posteriormente, as rochas resultantes destes processos, sejam elas ígneas ou metamórficas estão sujeitas ao intemperismo, seguido pelo transporte, sedimentação, cimentação e compactação. Por fim, essas rochas sofrem processos de mudanças originando rochas metamórficas (GROTZINGER; JORDAN, 2013).

As rochas são agrupadas conforme a origem de sua formação (Figura 13) em três categorias principais: ígneas, sedimentares e metamórficas. No primeiro grupo, as rochas ígneas, formadas a partir da solidificação e cristalização de magmas. Podem ser divididas em intrusivas, se o resfriamento ocorre no interior da terra ou extrusivas, quando resultam de fundidos vulcânicos eruptivos. Posteriormente, as rochas sedimentares, originam-se a partir do transporte, sedimentação e atuação dos processos diagenéticos, que transformarão os sedimentos em rocha. Por último, as rochas metamórficas, originadas decorrente de altas temperaturas, porém abaixo do ponto de fusão das rochas já existentes, modificando a composição química ou textura (POPP, 2017).

Figura 13 - Tipos de origem geológica das rochas



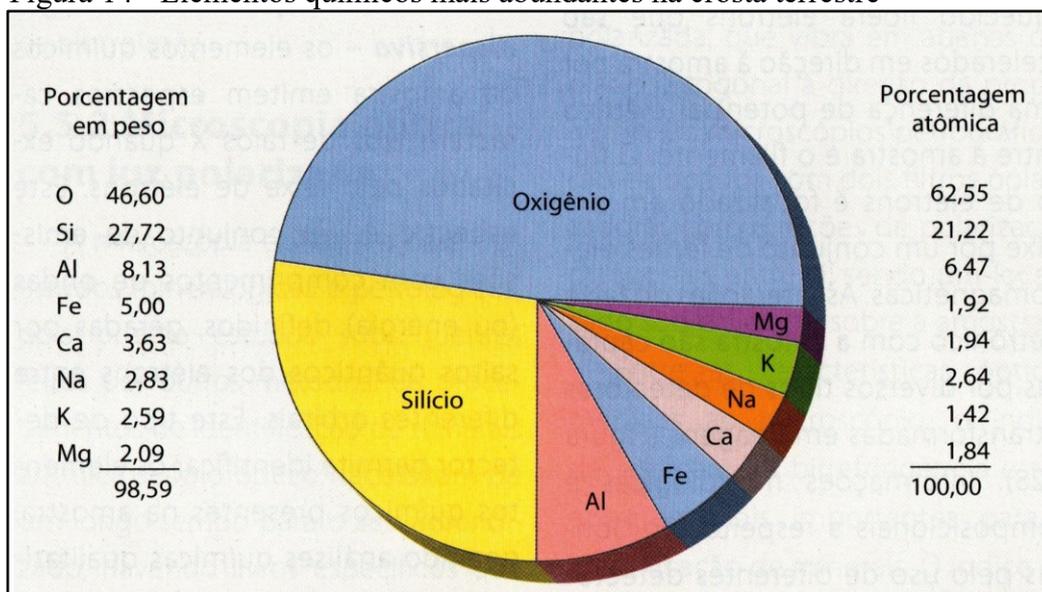
Fonte: GROTZINGER; JORDAN (2013).

A crosta terrestre é formada majoritariamente apenas por oito elementos (Figura 14), constituídos por: oxigênio, silício, alumínio, ferro, cálcio, sódio, potássio e magnésio. Divididos em silicatos e não silicatos (TEIXEIRA *et. al.*, 2009).

No primeiro grupo, dos silicatos, classe mais abundante e conseqüentemente de maior importância subdivide-se em seis classes: nesossilicatos, sorossilicatos, ciclossilicatos, inossilicatos, filossilicatos e tectossilicatos, que variam de acordo com a relação entre sílica e oxigênio (MENEZES, 2012).

O segundo grupo, dos não silicatos, que representa um décimo dos minerais da crosta terrestre, são compostos por: carbonatos, formado pelo radical $(\text{CO}_3)^{2-}$, por exemplo: dolomita e calcita; sulfatos, como exemplo: gipsita e barita, com radicais $(\text{SO}_4)^{2-}$; sulfetos, compostos pelo radical enxofre associado a metais formando galena, pirita e calcopirita; haletos, composto por radicais de halogênios, originando silvita, halita e fluorita; óxidos, com minerais de superóxido, constituído pelos principais metais, como exemplo: cromita, hematita e magnetita; fosfatos, como a apatita, com radical $(\text{PO}_4)^{3-}$ e elementos nativos, formados essencialmente a partir de um elemento, como: cobre, ouro, prata e diamante (TEIXEIRA *et. al.*, 2009).

Figura 14 - Elementos químicos mais abundantes na crosta terrestre



Fonte: TEIXEIRA *et. al.* (2009).

2.5 Remineralizadores de solos

De acordo com a Lei 12.890 de dezembro de 2013, remineralizador é descrito como:

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

A aplicação de remineralizadores nos solos é chamada de rochagem. Esta pode ser caracterizada como uma técnica simples e com baixo custo que busca devolver a fertilidade do solo, obtendo resultados em crescimento e produtividade da planta. Como também em acessibilidade, em razão do Brasil deter uma vasta disponibilidade de rochas, o que diminui o desequilíbrio do agroecossistema gerado no modelo de produção em larga escala (THEODORO *et al.*, 2012).

Theodoro (2000), utiliza a expressão “fertilizar a terra com a terra”, para descrever a função dos remineralizadores derivados de rochas, que são adicionados aos solos. Além disso, destaca a importância dos remineralizadores para pequenos e médios produtores, visto

que o custo inferior dos remineralizadores, em comparação aos fertilizantes o torna acessível e fornece estabilização do pequeno produtor.

Para Leonardos *et al.* (1976, *apud* THEODORO *et al.*, 2012), a rochagem pode ser conceitualizada como a tecnologia que rejuvenesce os solos com acréscimo de agrominerais, que são rochas moídas, melhorando assim os níveis de fertilidade do solo.

A necessidade de adicionar nutrientes aos solos sobrevém do déficit de fertilidade dos solos, como por exemplo, os latossolos, que são expostos a processos químicos e físicos altamente laterizados, desta forma possuem fertilidade comprometida. Outro fator que influencia na fertilidade são os tipos de rochas subjacentes (VAN STRAATEN, 2007).

De acordo com Martins (2020), os remineralizadores apresentam vantagens como a capacidade de troca catiônica (CTC), aumentam o pH do solo, diminuem a perda de nutrientes e estimulam a atividade biológica do solo. A capacidade de troca catiônica quantifica as cargas negativas do solo. Os nutrientes, em sua maioria, apresentam-se na forma de cátions, de modo que as cargas opostas do solo, exercem a atração, de maneira que, os nutrientes fiquem acessíveis as raízes, para que ocorra a adsorção/absorção (Informação Verbal)¹.

Além disso, com o uso de remineralizadores de solo, o índice de fertilidade equivale ou até supera em 30% a fertilidade, quando comparados às fontes de fertilizantes convencionais (THEODORO; ALMEIDA, 2013).

2.6 Aplicação de agrominerais em estudos e pesquisas

Para Kulaif e Fernandes (2010, p.1) os agrominerais “[...] são aqueles produtos da indústria extrativa mineral que fornecem os elementos químicos para a indústria de fertilizantes ou para utilização direta pela agricultura”.

Conforme citado acima, os autores deixam claro que, os agrominerais podem ser fontes minerais nutricionais de aplicação direta na agricultura, bem como, tal fonte possibilita o aumento da fertilidade de solos agrícolas de maneira física. Além disso, todos os nutrientes fundamentais para as plantas são de origem geológica, com exceção do nitrogênio (VAN STRAATEN, 2010).

¹ Informação Fornecida por Éder Martins no Webinar Remineralizadores e sua importância na renovação e construção da fertilidade dos solos, em julho de 2020.

De acordo com Van Straaten (2007, 2010), existem agrominerais que necessitam ser parcialmente modificados, com a finalidade de adquirir a capacidade de solubilidade e nessa perspectiva, serem passíveis de disponibilização dos nutrientes para as plantas. Para isso, é necessária uma preparação por processos físicos, químicos ou biológicos de modo que, as plantas possam se beneficiar dos nutrientes.

Em contraste disto, determinadas rochas contêm naturalmente as concentrações adequadas, isto é, são de uso direto, e são exemplos disso, fosfato sedimentar, sais de potássio, gesso, dolomita, calcário e vários outros minerais (VAN STRAATEN, 2007, 2010).

Nos subtópicos seguintes são descritas as definições de quatro rochas utilizadas em trabalhos de diversos autores, sua mineralogia e os nutrientes passíveis de liberação de cada e os resultados mediante experimentações de campo.

2.6.1 Basalto

O basalto (Figura 15) é uma rocha ígnea extrusiva mais abundante da crosta terrestre, originada dos derrames de magma vulcânico, de textura afanítica, de coloração escura e densidade média $2,74 \text{ g/cm}^3$ (TEIXEIRA *et. al.*, 2009).

É constituído por feldspatos plagioclásios, augita ou hornblenda, e de forma secundária é constituído de biotita, olivina, magnetita, apatita e ilmenita (SCHUMANN, 2008).

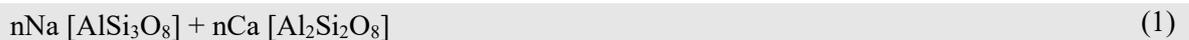
Figura 15 - Fragmentos de basalto



Fonte: Próprio autor (2021).

As características principais dos constituintes do basalto são:

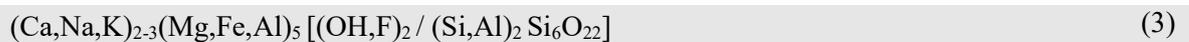
a) O feldspato plagioclásio (1) é um mineral pertencente ao grupo dos feldspatos, sendo um componente importante de rochas ígneas ricas em silício (SCHUMANN, 2008).



b) A augita (2) é um mineral básico das rochas ígneas, pertencente à classe dos inossilicatos, sendo a mais comum do grupo do piroxênio (NEVES *et al.*, 2018).



c) A hornblenda (3) que é parte principal de rochas ígneas e pertence ao grupo dos anfibólios (SCHUMANN, 2008).



A composição média dos basaltos de acordo com Teixeira *et al.* (2009) é ilustrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição média de magmas basálticos (valores em % em peso)

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	Total
50,83	2,03	14,07	2,88	9,05	0,18	6,34	10,42	2,23	0,82	0,23	0,91	100,00

Fonte: Adaptado de Teixeira *et al.*, (2009).

O basalto também pode ser entendido como uma rocha silicatada fonte de multinutrientes para o solo, como, magnésio (Mg) e cálcio (Ca) (BEZERRA, 2010).

Os micronutrientes presentes no basalto são o cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), ferro (Fe), cobalto (Co), níquel (Ni) e vanádio (V) (LEVINSON, 1974 *apud* VAN STRAATEN, 2007).

Segundo Alovisi *et al.* (2020) que realizou estudos sobre o pó de basalto com adição e não de bioativos, sendo utilizado as seguintes doses de pó de basalto: 0, 2, 4, 8 e 16 Mg.ha⁻¹, assim foi possível verificar aumento de teores de cátions de Mg e Ca quando aplicados em Latossolos Vermelhos Distroféricos e dessa forma, atesta-se o pó de basalto como uma fonte alternativa de fertilizante.

Batista *et al.* (2016), fez estudo com o basalto associado com calcário em pastagens degradadas em Latossolo Vermelho Amarelo. Utilizando dosagens em cima da recomendação de 100 kg.ha⁻¹ e com base no teor de potássio da rocha utilizando as seguintes doses: 0, 960, 1920, 3840, 5760 e 7680 kg.ha⁻¹. E obteve bons resultados e verificou que o basalto pode ser aplicado no manejo da fertilidade do solo.

Melo *et al.* (2012), executaram pesquisas com o Latossolo Amarelo Distrófico e com incremento de doses de basalto com diâmetro menor que 0,053 mm, com a incorporação de húmus ao solo para catalisar o processo de liberação de nutrientes e utilizaram as seguintes doses de pós de basalto: 0, 2, 4, 8, 12, 24, 48 e 96 t.ha⁻¹. Estes obtiveram resultados no aumento de Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis, porém com pouco acréscimo ao solo, além do aumento de Zn, Fe e Cu, e melhora do pH que foi de 4,8 para 5,5 após 180 dias de incubação.

2.6.2 Mármore

O mármore (Figura 16) é uma rocha originada a partir da metamorfização do calcário a altas temperaturas e pressões. Por ser de precipitação química em solução

supersaturada em carbonato de cálcio, concentrações que outros sais comuns estão solúveis, por esta razão pode ser uma rocha monomineral. De cor branca ou clara com manchas de tons variados.

Os componentes secundários do mármore são: clorita (4), epídoto (5), mica (6), granada (7), limonita (8), pirita (9), quartzo (10) e serpentinita (11) (SCHUMANN, 2008).

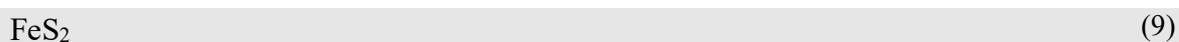
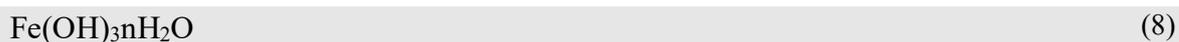
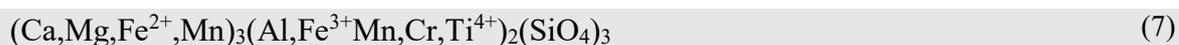
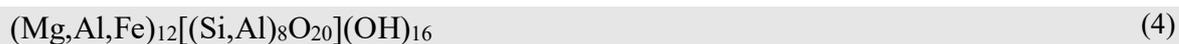


Figura 16 - Fragmentos de mármore



Fonte: Próprio autor (2021).

Raymundo *et al.* (2013), efetuaram estudos com pó da serragem de mármore, a fim de verificar a resposta do mármore com relação a acidez do solo. Para isso foi utilizado o solo Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico de natureza ácida e a dose de mármore necessária para regulagem da acidez foi calculada com base no Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT), e como referência foi utilizado as Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (1999), desta maneira fizeram a minoramento e majoramento com base na quantidade calculada. Os resultados mostraram aumento da concentração de Ca, Mg e pH do solo, além de diminuir o Al, portanto o pó da serragem de mármore pode ser utilizado como corretivo da acidez de solos.

2.6.3 Micaxisto

O micaxisto (Figura 17), é uma rocha metamórfica, gerada a partir do metamorfismo de rochas argilosas e arenosas (TEIXEIRA *et al.*, 2009), possui densidade 2,64 a 3,05.

Com relação a sua composição principal é constituído de: moscovita (12), geralmente com grãos visíveis a olho nu e quartzo (10).



(12)

Secundariamente é constituído de biotita (13), cianita (14), clorita (4), grafita (15), granada (7), estauroлита (16) e sillimanita (17) (SCHUMANN, 2008).

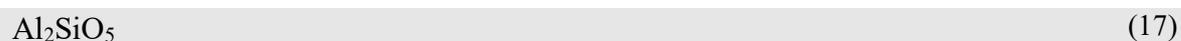
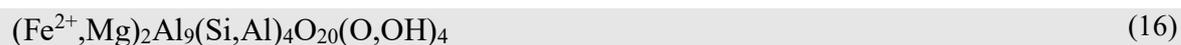
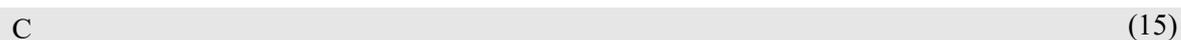
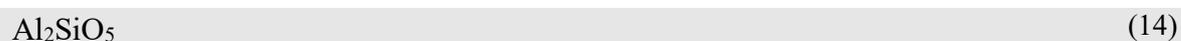


Figura 17 - Fragmentos de micaxisto



Fonte: Próprio autor (2021)

O potencial agrônômico de rochas fontes de K, como o micaxisto, vêm sendo estudado desde os anos 70, tais estudos utilizaram a rocha *in natura* ou modificada por processos de acidificação e/ou processos térmicos, possuindo resultados positivos quando passados por processos de modificação, além do processo de cominuição, a fim de aumentar a disponibilização de K (MARTINS *et al.*, 2008).

Segundo Junior *et al.* (2021), que realizou estudos em Argissolo Vermelho com micaxisto e no cultivo de soja, em plantio direto e utilizou das seguintes doses: 0, 4.000, 8.000, 12.000, 16.000, 20.000, 24.000 kg.ha⁻¹ de pó de micaxisto. Os autores conseguiram demonstrar o aumento da produtividade por hectare em 32,7%, no tratamento 2, isto é, a dose de 4.000 kg.ha⁻¹ confrontando a dose zero, que não houve nenhuma adição.

Amaral *et al.* (2020), realizam estudos com diferentes fontes de fertilizantes para avaliar a interferência na fertilidade do solo. Uma das fontes testadas foi o pó de micaxisto, com dose de 5 t.ha⁻¹ com o plantio de soja, em Latossolo Vermelho Distrófico, demonstrou bons resultados em termos de fertilidade, podendo ser utilizado como fonte alternativa de fertilizante.

2.6.4 Sienito

O sienito (Figura 18) é uma rocha ígnea plutônica, gerada a partir do lento resfriamento de rochas em fusão. Apresentando como componentes principais o feldspato de ortoclásio e plagioclásio, quartzo e dentre os feldspatóides, em especial a nefelina. Como composição secundária apresenta biotita, augita, zircão, apatita, magnetita e ilmenita, com densidade média de 2,62 a 2,85 e textura granular (SCHUMANN, 2008). Os sienitos podem ser indicados pela sua riqueza em Na e K, além dos minerais máficos serem ricos em Na e/ou K (TEIXEIRA *et al.*, 2009). Dentre os componentes principais, temos as seguintes composições químicas:

a) O feldspato plagioclásio (1);

b) O feldspato ortoclásio (18) do sub grupo dos feldspatos alcalinos (SAMPAIO *et al.*, 2008);



(18)

c) O quartzo (10) (SCHUMANN, 2008);

d) A nefelina (19), é um mineral aluminossilicato de sódio, com baixo teor de sílica, sendo assim, um feldspatóide, associada a presença de piroxênio sódico, anfibólio alcalino e biotita (SAMPAIO *et al.*, 2008).

(Na,K)(AlSiO₄)

(19)

Figura 18 - Fragmentos de sienito



Fonte: Próprio autor (2021).

Tavares (2017), estudou o efeito da disponibilização do potássio e silício a partir do processo de compostagem, como método de catalisação da solubilização de K e Si, utilizando da compostagem comum e a compostagem do tipo *bokashi*, com milho e soja e averiguou resultados positivos com a compostagem comum na disponibilização de K e Si.

Santos *et al.* (2016), demonstrou o aumento da solubilidade do sienito expostos a substâncias húmicas, em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, utilizando as seguintes doses: 0, 75, 150, 225, 300 kg K₂O.ha⁻¹, além disso tal remineralizador mostrou que ocorreu menor absorção de Al³⁺.

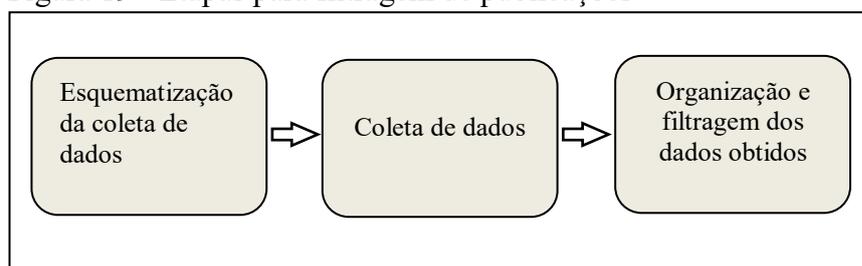
Soares *et al.* (2015), realizaram estudos acerca do aumento da disponibilidade de potássio a partir da ativação mecanoquímica, com adição de CaO, logo depois seguido de tratamento térmico, que foi testado em temperaturas que variam de 600°C a 1000°C e posteriormente utilizada a técnica *quenching*, isto é, o resfriamento abrupto do pó de sienito. Diante disso, houve resultados de aumento da solubilidade quando a ativação realizou-se com 30% de CaO, utilizando a temperatura de 900°C, obteve-se aumento de 0,22 para 2,30% de solubilidade.

3 METODOLOGIAS

Para a realização desta revisão foi feita uma pesquisa bibliográfica acerca da rochagem, com enfoque na capacidade de liberação e disponibilização de elementos essenciais para o desenvolvimento das culturas através de pós de rochas e também com ênfase no impacto da técnica no crescimento e produtividade das culturas.

Para a seleção das publicações seguiu-se a sequência ilustrada na Figura 19 para posterior análise dos dados. As publicações foram categorizadas de forma sistemática, com definição de parâmetros de pesquisa, que foram: delimitação das plataformas de pesquisa, período de tempo, idioma e combinação dos termos de busca.

Figura 19 - Etapas para filtragem de publicações



Fonte: Próprio autor (2023).

3.1 Critérios de pesquisa das publicações

As pesquisas foram feitas utilizando as seguintes bases de dados bibliográficos: Portal de periódicos da CAPES, Google Acadêmico, Scielo (*Scientific Electronic Library Online*) e repositório da Universidade de Brasília (UnB). Considerando que, se a plataforma apresentar mais de trinta resultados, apenas os 30 primeiros serão selecionados.

O período de tempo determinado para a coleta de publicações foi definido de 2000 a 2023. Todavia, durante as pesquisas foram observadas apenas publicações mais recentes do período citado, então este critério foi reconsiderado. As publicações foram filtradas no idioma português.

Foram utilizados os termos de busca apresentados na Quadro 3. Na primeira coluna desta tabela estão descritos termos similares que indicam o nome da técnica. Na segunda coluna foram listados termos que direcionam as publicações que aplicaram a técnica em cultivos e avaliaram a eficiência da remineralização, com exceção do último termo que foi utilizado com o objetivo de encontrar publicações que usem como remineralizador um resíduo

da mineração. Dessa forma, alinha-se duas práticas sustentáveis, a rochagem e a utilização de resíduos. A busca foi feita nos campos de pesquisa avançada das plataformas e utilizou o operador booleano *and*, a partir de uma combinação entre a primeira e segunda coluna do Quadro 3.

Quadro 3 - Termos utilizados para busca de publicações

Rochagem	Teste
Remineralizador de solo	Experimento
Pó de rocha	Ensaio
Agromineral	Aplicação
	Resíduos da mineração

Fonte: Próprio autor (2023).

Para a geração da combinação dos termos foi feito uma tabela dispoendo em colunas os termos similares da rochagem e em linhas os termos que indicam a aplicação em testes. As combinações dos termos da busca foram feitas com o cruzamento entre linhas e colunas, de acordo com a Quadro 4, obtendo um total de 20 combinações.

Quadro 4 - Termos utilizados para busca de publicações

	Teste	Experimento	Ensaio	Aplicação	Resíduos da mineração
Rochagem	Rochagem <i>and</i> teste	Rochagem <i>and</i> experimento	Rochagem <i>and</i> ensaio	Rochagem <i>and</i> aplicação	Rochagem <i>and</i> resíduos da mineração
Remineralizador de solo	Remineralizador de solo <i>and</i> teste	Remineralizador de solo <i>and</i> experimento	Remineralizador de solo <i>and</i> ensaio	Remineralizador de solo <i>and</i> aplicação	Remineralizador de solo <i>and</i> resíduos da mineração
Pó de rocha	Pó de rocha <i>and</i> teste	Pó de rocha <i>and</i> experimento	Pó de rocha <i>and</i> ensaio	Pó de rocha <i>and</i> aplicação	Pó de rocha <i>and</i> resíduos da mineração
Agromineral	Agromineral <i>and</i> teste	Agromineral <i>and</i> experimento	Agromineral <i>and</i> ensaio	Agromineral <i>and</i> aplicação	Agromineral <i>and</i> resíduos da mineração

Fonte: Próprio autor (2023).

Como o trabalho visa avaliar a efetividade da aplicação dos pós de rochas em cultivos como uma alternativa à suplementação convencional de solos, não foi levado em consideração para os termos de busca o tipo de rocha utilizado, do mesmo modo, o processo de solubilização, seja ele químico ou biológico.

3.2 Critérios de seleção e exclusão dos artigos

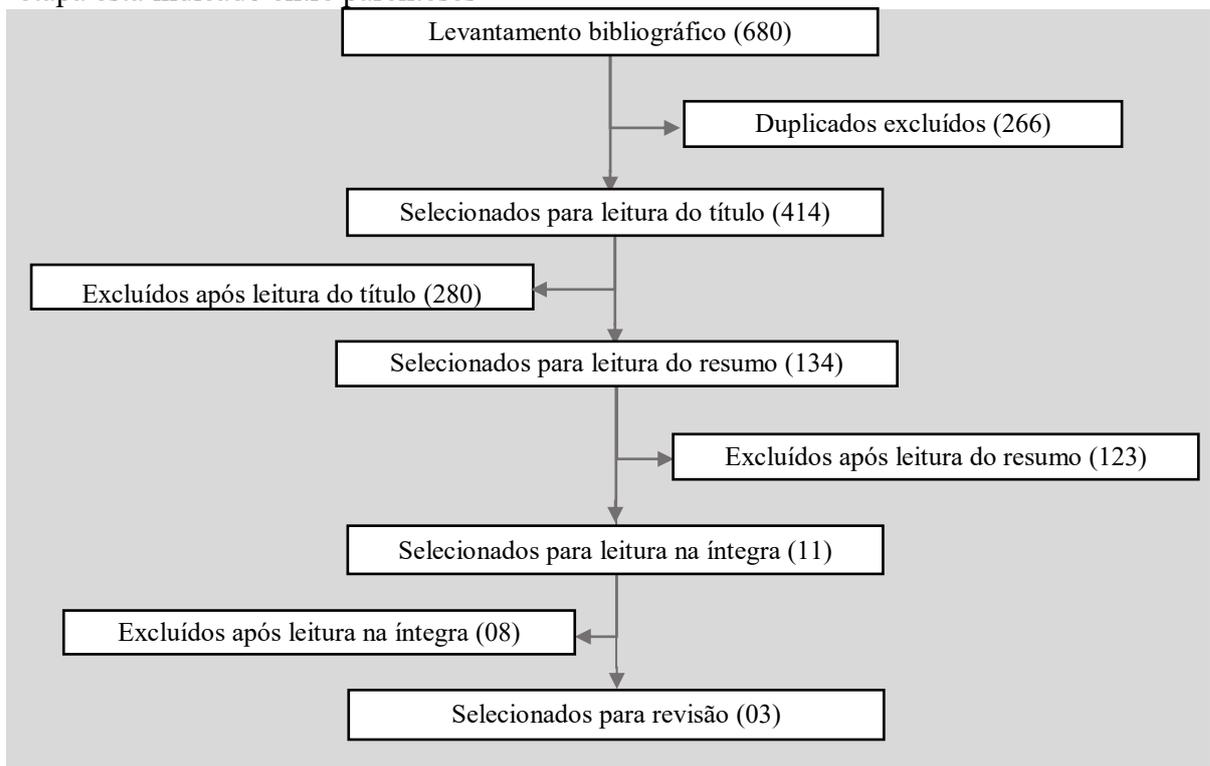
Para o processo de seleção das publicações (Figura 20) prosseguiu-se os critérios citados no subtópico anterior e como produto foi gerado uma base de dados no *software Microsoft Excel*, levando em consideração o título e a plataforma de coleta.

Posteriormente, o levantamento das publicações, se deu a análise dos títulos e exclusão de documentos duplicados. Logo após a leitura global dos títulos foram excluídos a série de trabalhos com temas com outras vertentes da rochagem, como: recobrimento de sementes com pó de rocha, mapeamento agrogeológico, controle de pragas de sementes com pó de rocha, que são temáticas que diferem da proposta de enfoque, efetividade e liberação dos elementos.

Em seguida, a leitura dos resumos foram efetuadas e geraram uma grande compreensão da variabilidade das rochas aplicadas, como: basalto, sienito, kamafigito, calcário, mármore, vermiculita, granito, piroxenito, ametista, ágata, micaxisto e fonólito, associada as combinações de diferentes: solos e processos de dissolução para liberação dos elementos, aplicada a diferentes culturas, como: sorgo, soja, milho, feijão, alface, oleaginosas, batata doce, cebola, café, dentre outros. Como fator de exclusão, nesta etapa, foram deliberadamente excluídas as pesquisas com resultados negativos, em razão da revisão concentrar-se numa aplicação que gera resultados benéficos.

Após a seleção vinda dos resumos foram feitas as leituras na íntegra e notou-se uma quantidade de artigos de grande contribuição e como critério de seleção foram escolhidos os que utilizaram diferentes concentrações sem a incorporação de fertilizantes convencionais na mistura, com isso a eficiência do pó de rocha é vista de forma mais notória.

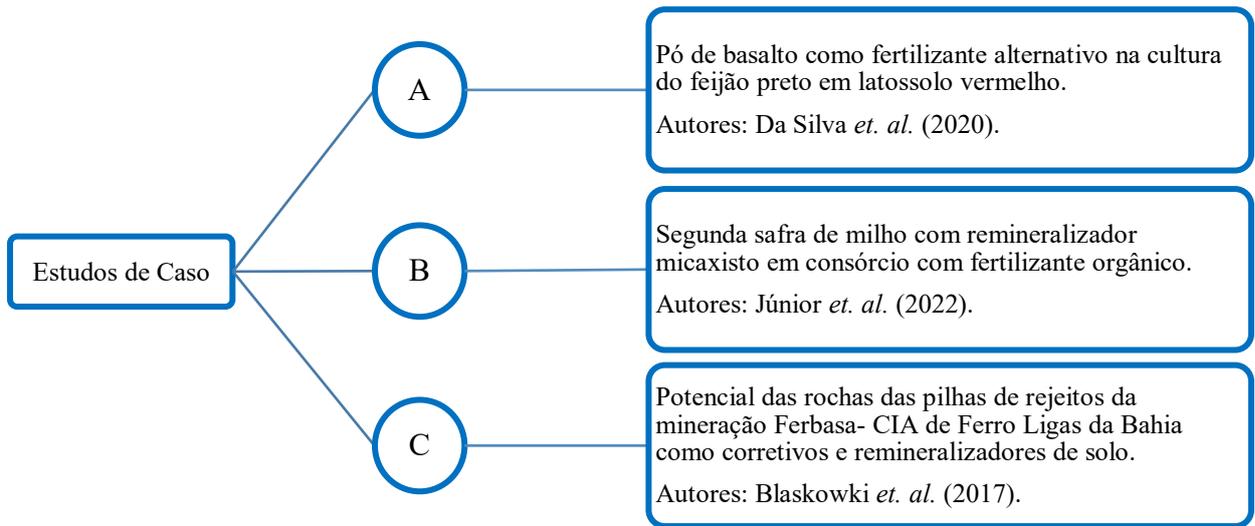
Figura 20 - Fluxograma do processo de seleção das publicações. O número de artigos em cada etapa está indicado entre parênteses



Fonte: Próprio autor (2023).

Após esse processo, selecionaram-se três estudos de casos para revisão, intitulados como A, B e C, conforme representado na Figura 21.

Figura 21 - Fluxograma dos estudos de casos selecionados para revisão e respectiva autoria



Fonte: Próprio autor (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados com as discussões dos trabalhos selecionados no capítulo anterior. Com ênfase em avaliar a efetividade da rochagem aplicada nas culturas e seus impactos no crescimento, aumento de produtividade e aumento da massa seca da parte aérea da planta.

Os estudos de caso analisados levam em consideração uma série de fatores que fazem com que cada teste e seu resultado seja específico para as condições aplicadas. Entre as variáveis da técnica estão: o tipo de solo e rocha, a cultura aplicada, as doses de pó de rocha aplicada, o processo de solubilização e o clima local.

Baseado na constituição das rochas e em trabalhos de autores que realizaram estudos sobre tais rochas e seu efeito na fertilidade de solos são esperados aumento de diferentes teores de nutrientes no solo de acordo com as diferentes rochas.

4.1 Estudo de Caso A

No trabalho de Da Silva *et.al.* (2020), com título: Pó de basalto como fertilizante alternativo na cultura do feijão preto em latossolo vermelho, investigou-se a interferência da incorporação de pó de basalto (PB) na produção de feijão preto. Cogitou-se a hipótese de aumento da produtividade com o aumento das doses de pó de basalto aplicado em latossolo vermelho distrófico típico. O objetivo geral é analisar a influência do aumento de doses de pó de basalto na matéria seca da parte aérea (MSPA) e na quantidade de grãos.

Os autores ainda atribuem vantagens da rochagem no aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), por meio da adição de cargas negativas líquidas no solo, redução da lixiviação com nutrientes advindos do pó de rocha e na capacidade de disponibilizar múltiplos nutrientes. E enfatizam a necessidade de pesquisas na área para a incorporação de alimentos orgânicos e o aumento da agricultura sustentável.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018, p. 93), latossolo pode ser definido como:

São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo. Os solos são virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo e têm capacidade de troca de cátions de fração argila baixa [...].

Esse conceito justifica a falta de nutrientes presentes no solo utilizado, ocasionando deficiência no crescimento do feijão preto, além disso a região é utilizada a décadas para o cultivo de grãos e outras espécies, esses fatores são contribuintes para a perda de nutrientes, tendo então a necessidade de reposição.

Antes da aplicação do pó de rocha e da semeadura foi realizada a análise química do latossolo a fim de identificar os nutrientes e as deficiências existentes. A Tabela 3 mostra os atributos químicos do solo, compreendendo os seguintes parâmetros: pH^a= Potencial hidrogeniônico; V= Saturação por bases; MOS= Matéria orgânica do solo; P= Fósforo; K= Potássio; H+Al= Acidez potencial; Ca= Cálcio; Mg= Magnésio.

Tabela 3 - Análise química de latossolo vermelho pré-semeadura da cidade de Bom Progresso (RS)

Camadas cm	pH ^a H ₂ O	V %	MOS %	Argila g.kg ⁻¹	P mg.kg ⁻¹	K mg.kg ⁻¹	H + Al mmolc .dm ⁻³	Ca mmolc .dm ⁻³	Mg mmolc .dm ⁻³
0-10	5,6	64,5	3,5	172,1	10,2	156,4	2,8	3,1	3,5
10-20	5,2	59,3	2,4	160,6	8,7	80,3	2,9	2,6	2,7

Fonte: Da Silva *et.al.* (2020).

De maneira paralela, a análise química do pó de basalto (Tabela 4) foi feita e contém os seguintes parâmetros: Ca= Cálcio; Mg= Magnésio; Al= Alumínio; H + Al= Acidez potencial; V= Saturação por bases; S= Enxofre; P= Fósforo; K= Potássio; Cu= Cobre; Zn= Zinco; Fe= Ferro; Mn= Manganês.

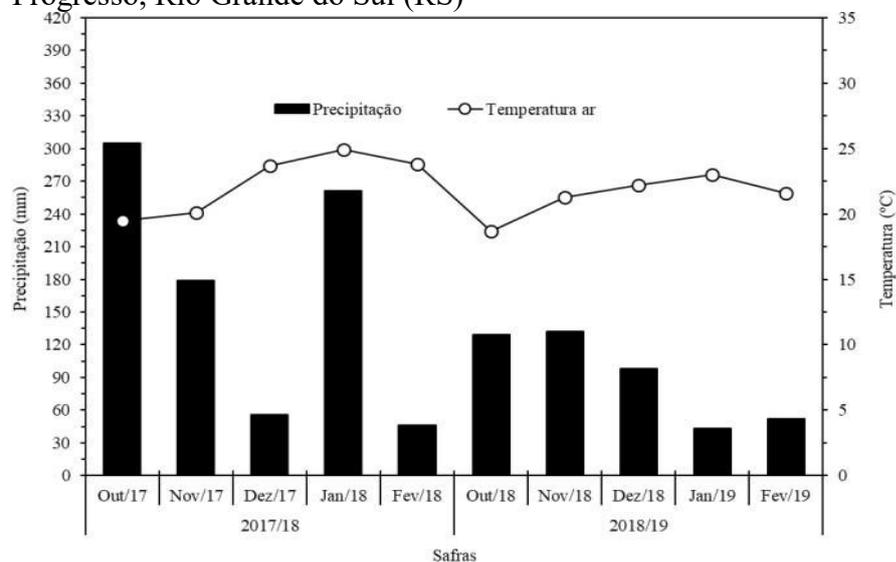
Tabela 4 - Análise química do pó de basalto (PB)

Ca	mmolc.dm⁻³	12,7
Mg	mmolc.dm⁻³	2,4
Al	mmolc.dm⁻³	0,0
H + Al	mmolc.dm⁻³	0,0
V	%	96
S	mg dm⁻³	7
P	mg dm⁻³	349,0
K	mg dm⁻³	72
Cu	mg dm⁻³	13,7
Zn	mg dm⁻³	3,1,8
Fe	mg dm⁻³	430
Mn	mg dm⁻³	3,4

Fonte: Adaptado de Da Silva *et.al.* (2020).

O esquema experimental utilizado foi o de delineamento de blocos casualizados (DBC), isto é, de forma heterogênea, conduziu-se em plantio direto, durante dois anos, em condições naturais e sem irrigação, na cidade de Bom Progresso, Rio Grande do Sul. De acordo com a classificação *Köpen* o clima é temperado úmido e com verão quente. Observa-se uma maior variação de precipitação e temperatura para a primeira safra, enquanto, na segunda safra, esses valores exibem uma menor variação. A Figura 22 mostra a precipitação e temperatura média para os dois anos experimentais.

Figura 22 - Precipitação e temperatura média do ar em Bom Progresso, Rio Grande do Sul (RS)



Fonte: Da Silva *et.al.* (2020).

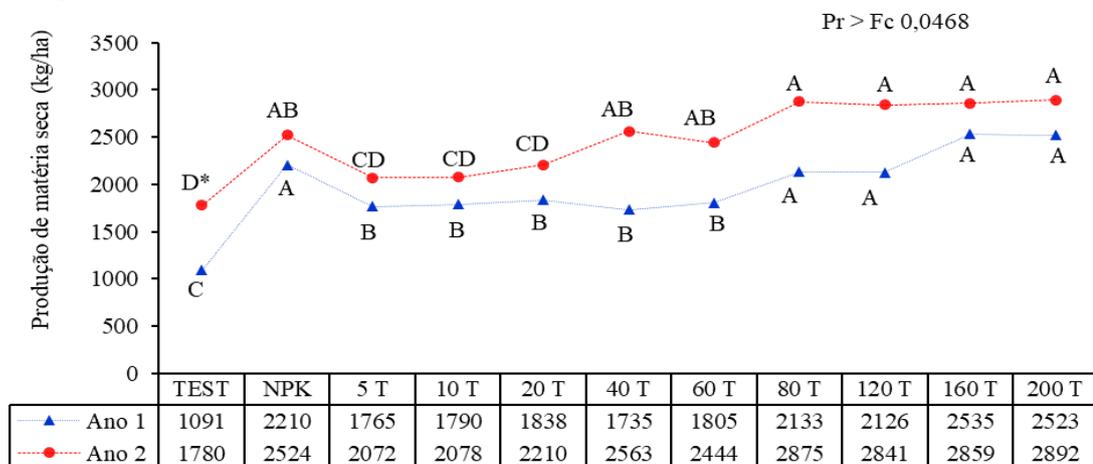
A aplicação do pó de basalto foi feita em um único lanço, antes do início da primeira safra. Os testes foram realizados em triplicatas, cada um com área de 6 m², sendo aplicada as seguintes doses de pó de basalto: 5, 10, 20, 40, 60, 80, 120, 160 e 200 t/ha. Para efeito de comparação também foi feita uma aplicação de NPK (superfosfato triplo) com dosagem obedecendo o manual de adubação e calagem do Rio Grande do Sul e outra sem adubação chamada de *test*. A segunda safra foi conduzida da mesma forma, exceto na aplicação do pó de basalto que não houve.

Para a determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA) as plantas foram coletadas em um metro linear em cada um dos blocos de 6 m² e levadas ao laboratório para secagem a 65 °C até obter massa constante. Já a coleta do feijão foi realizada em metragem duas vezes maior e pesados na umidade de 13%.

Para a primeira variável analisada, MSPA, Da Silva *et. al.* (2020), apresentaram em forma de gráfico (Figura 23) a produção nas duas safras (Ano 1 e Ano 2) e observou-se que a amostra *test* apresenta os menores valores nas duas safras analisadas, quando comparados com qualquer outro teste.

Também é possível ver um aumento crescente na produção de MSPA com o aumento da dose de pó de basalto (PB). O maior valor de produção foi 2.535 kg/ha de MSPA, no Ano 1, referente a dosagem de 160 t/ha, para o Ano 2, a dose de 200 t/ha fez uma produção de 2.892 kg/ha.

Figura 23 - MSPA das safras no Ano 1 e Ano 2



*Letras iguais, na mesma linha para cada ano de cultivo, não diferem pelo teste de Tukey 5%.

Fonte: Da Silva *et.al.* (2020).

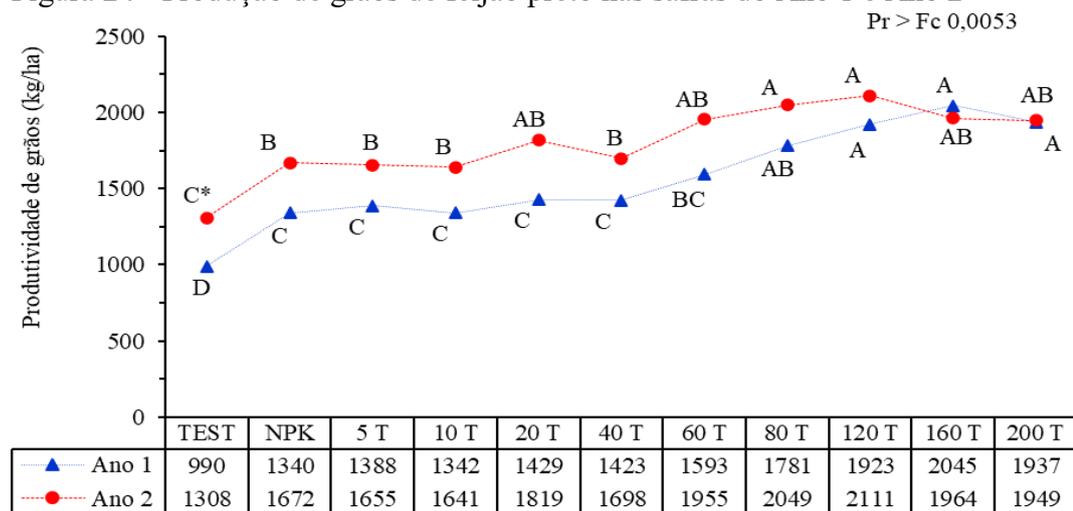
A segunda variável analisada foi a produção de grãos de feijão em kg/ha. Assim como na MSPA, existe uma tendência de aumento na produção com o aumento das doses de PB. Da mesma forma, as menores produções são advindas da amostra *test*, sem adubação, com 990 t/ha e 1.308 t/ha, nas safras dos Anos 1 e Ano 2, respectivamente.

A maior produção alcançada foi 2.045 kg/ha no Ano 1, referente a amostra de 160 t/ha, já no Ano 2, a maior produção foi 2.111 kg/ha, referente a dose de 120 t/ha. A Figura 24, mostra a produção de grãos nas safras do Ano 1 e Ano 2.

Conforme indica o gráfico (Figura 24) houve redução da produção de grãos de feijão para as dosagens mais altas. No Ano 1, a redução foi de 5,3%, referente a passagem da dose de 160 t/ha para 200 t/ha, semelhante a isso, no Ano 2, com redução de 7,0% da produção de grãos, na passagem 120 t/ha para 160 t/ha.

Os autores não discutem tal redução de produção, porém pode-se associar a doses tóxicas a planta de feijão, ocasionando a redução de produção. É de se esperar que doses acima de 200 t/ha gerem maiores declínios na produção.

Figura 24 - Produção de grãos de feijão preto nas safras do Ano 1 e Ano 2



* Letras iguais, na mesma linha para cada ano de cultivo, não diferem pelo teste de Tukey 5%.

Fonte: Da Silva *et.al.* (2020).

A distribuição uniforme das chuvas e da temperatura do ar foram fatores apontados para uma possível justificativa de melhores resultados da segunda safra, tanto para MSPA quanto para produção de grãos.

Da Silva *et. al.* (2020) apontaram os resultados positivos obtidos de MSPA e quantidade de grãos, devido a capacidade do pó de rocha disponibilizar os nutrientes em lenta solubilização e conseqüentemente lenta disponibilidade ao solo. Outro fator discutido com base nos resultados obtidos foi a utilização da variedade de feijão preto de espécie crioula Uirapuru, quando comparado com outros trabalhos que obtiveram resultados melhores a partir da utilização com sementes melhoradas.

Há uma série de fatores que não podem ser controlados no delineamento de blocos casualizados (DBC) e estes fatores influenciam diretamente no crescimento do feijão, como: tempo de reação, atividade biológica do solo, radiação solar, chuvas e temperatura.

No trabalho não é citado a granulometria do pó de basalto utilizado, porém de acordo com o MAPA, as granulometrias aceitas para o pó se enquadrar como remineralizador são: *filler*, pó ou farelo. Nessas granulometrias ocorrem maiores reações de ataque do intemperismo, de modo que granulometrias menores irão acelerar os processos de intemperismo, como: hidratação, solução, hidrólise, oxidação, redução e complexação.

Com isto, o pó de basalto pode ser uma fonte alternativa aos fertilizantes químicos, pois apresentou resultados positivos nas duas variáveis analisadas (MSPA e produção de grãos), porém atribui-se a necessidade de grande quantidade para apresentar tal influência na produção, todavia, não há necessidade de reposição em todos os ciclos de cultivo, pois o pó apresenta cinética de liberação lenta (DA SILVA *et. al.*, 2020).

Os estudos mostraram a eficácia do pó de basalto no crescimento do feijão preto nas doses aplicadas de maiores concentrações, variando de 80 t/ha a 200 t/ha de pó de basalto (PB). Os resultados mais significativos em matéria seca da parte aérea (MSPA) foram alcançados na dose de 160 t/ha de PB para a safra do Ano 1 (2.535 kg/ha) e para o Ano 2 (2.892 kg/ha) na dose de 200 t/ha de PB. Para a produção de grãos, os valores mais altos foram de 2.045 kg/ha, na dose 160 t/ha de PB e 2.111 kg/ha na dose de 120 t/ha.

Em termos de comparação entre a aplicação de NPK e a dose de melhor produtividade de pó de basalto, temos um aumento de 14,7% no Ano 1 e 14,6% no Ano 2, para a matéria seca da parte aérea (MSPA) e 52,6% e 26,25% para a produção de grãos, nos anos 1 e 2, respectivamente. Esses resultados destacam a eficácia desta técnica sob tais condições.

4.2 Estudo de Caso B

O trabalho de JÚNIOR *et. al.* (2022), com título: segunda safra de milho com remineralizador micaxisto em consórcio com fertilizante orgânico, tem como objetivo investigar a aplicação do micaxisto associado a um fertilizante organomineral, na cultura de milho Dow 433 e analisar os resultados através dos seguintes critérios, intitulados por “biometria das plantas”, que são: pesagem de mil grãos (PMG), altura de planta (AP), população de plantas (PP), altura de inserção da primeira espiga (AIPE) e produtividade em quilograma por hectare ($P \text{ kg.ha}^{-1}$).

Os experimentos foram conduzidos em sistema plantio direto (SPD) utilizando o delineamento de blocos casualizados (DBC), replicados em quadruplicada. Foram estruturados em sete dosagens e denominados de: T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7. Os tratamentos de T2 a T7 consistiram de incrementos de pó de micaxisto FMS, variando de 4.000 kg.ha^{-1} até $24.000 \text{ kg.ha}^{-1}$, conforme detalhado no Quadro 5.

Nesses tratamentos também foram aplicados a mesma dose de fertilizante organomineral (1.000 kg.ha^{-1}) em todas as parcelas, exceto na primeira (T1), na qual não houve aplicação, com intento de controle de resultados e denominada de controle absoluto.

Quadro 5 - Esquema de doses aplicadas ao solo para segunda safra de milho

Testes	Doses
T1	$0,0 \text{ kg.ha}^{-1}$ controle absoluto
T2	4.000 kg.ha^{-1} micaxisto + 1.000 kg ha^{-1} fertilizante orgânico
T3	8.000 kg.ha^{-1} micaxisto + 1.000 kg ha^{-1} fertilizante orgânico
T4	$12.000 \text{ kg.ha}^{-1}$ micaxisto + 1.000 kg ha^{-1} fertilizante orgânico
T5	$16.000 \text{ kg.ha}^{-1}$ micaxisto + 1.000 kg ha^{-1} fertilizante orgânico
T6	$20.000 \text{ kg.ha}^{-1}$ micaxisto + 1.000 kg ha^{-1} fertilizante orgânico
T7	$24.000 \text{ kg.ha}^{-1}$ micaxisto + 1.000 kg ha^{-1} fertilizante orgânico

Fonte: Adaptado de JUNIOR *et.al.* (2022).

O fertilizante organomineral tem a função de contribuir na liberação dos minerais do pó de micaxisto a partir de interações químicas em que o fertilizante organomineral atua na disponibilização dos íons minerais do micaxisto. Sua composição (Tabela 5) é essencialmente formada por matéria orgânica e minerais (nitrogênio, fósforo e potássio) em pH 9,03.

Tabela 5 - Composição de um fertilizante organomineral

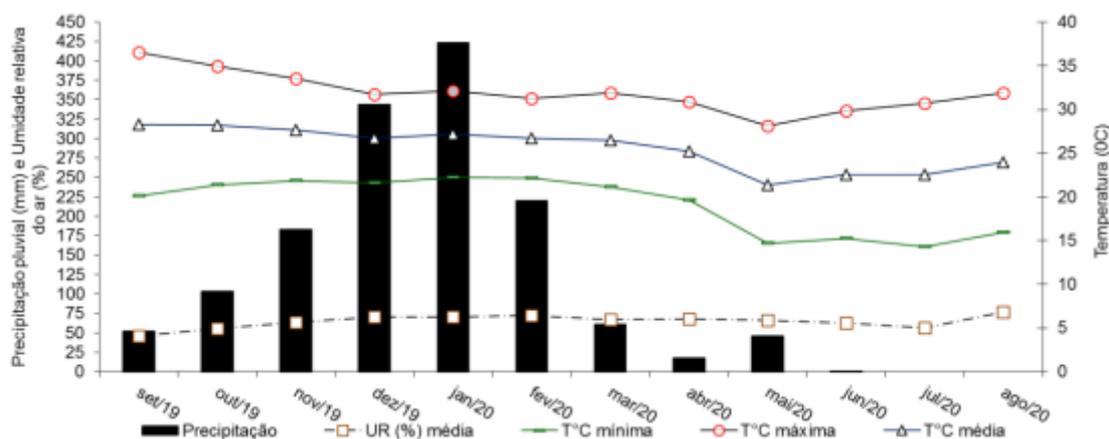
Macronutrientes					
%					
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S
2,80	3,0	3,0	6,6	0,67	2,10
Micronutrientes					
%		ppm			
Fe	Na	Mn	Cu	Zn	B
0,25	0,51	210	247	512	218

Fonte: Adaptado de JUNIOR *et.al.* (2022).

Os testes foram desenvolvidos em Itumbiara, GO, que de acordo com a classificação *Köpen*, apresenta clima tropical úmido com inverno seco e chuvas no verão (ALVARES *et. al.*, 2020 *apud* JUNIOR *et. al.*, 2022), com precipitação nos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março e temperatura média anual da região de 25 °C.

Durante os meses de novembro a fevereiro ocorre maior precipitação. A temperatura média apresenta pouca variação, indo de 22°C a 27°C aproximadamente e umidade com média aproximada de 50%. A Figura 25, mostra os valores de precipitação pluvial, umidade relativa do ar, temperatura mínima, temperatura máxima, temperatura média, para os meses que foram realizados os cultivos.

Figura 25 - Precipitação pluvial (mm), Umidade Relativa do Ar (%), Temperatura Mínima, Temperatura Máxima, Temperatura Média de Itumbiara, Goiás



Fonte: Agritempo (2020 *apud* JUNIOR *et.al.*, 2022).

Para a identificação dos atributos químicos do solo (Tabela 6) e do pó de rocha foi realizada a Difração de Raios X (DRX). Para o solo, a profundidade da coleta foi de 0 a 0,20 m, considerando os elementos: pH= potencial hidrogeniônico; P= Fósforo; K= Potássio; Ca= Cálcio; Mg= Magnésio; Al= Alumínio; H + Al= Acidez potencial; CTC= Capacidade de troca catiônica; V= Saturação por bases e M.O.= Matéria orgânica.

Tabela 6 - Análise química do solo de Itumbiara, Goiás

Profundidade (cm)	pH	P (Mel)	K ⁺	Ca	Mg	Al	H+Al	S.B.	CTC	V	M.O.
	- CaCl ₂	mg dm ⁻³				cmolc dm ⁻³				%	g dm ⁻³
0 – 20	5,3	5,2	0,3	3,0	1,3	0,0	4,4	4,4	8,8	50,3	29,5

Fonte: JUNIOR *et.al.* (2022).

A granulometria do pó de rocha apresentada pelos autores está na faixa de 0,3 mm a 1,0 mm. Todavia, não descreve o pó de acordo com a faixa granulométrica do MAPA com porcentagem passante de acordo com o Tabela 1, que descreve as condições granulométricas para enquadramento como remineralizador de solo.

Para o pó de rocha também foi realizada a difração de raios X para identificação da porcentagem em massa dos óxidos descritos na Tabela 7, entretanto com limite quantificável abaixo da concentração. O pó de rocha apresenta teor de óxido de sílica superior a 30% e uma soma de bases (CaO, MgO e K₂O) que atinge 9,18%, superando o limite mínimo de 9%. Além disso, em relação ao teor no mínimo de 1% admitido, o pó de rocha contém 3,7%.

Tabela 7 - Análise química do remineralizador micaxisto (FMX)

Base úmida	Óxidos analisados (%) em massa									
Amostra	SiO ₂	Mo	Co mg/kg	FeHF	MnO	MgO	CaO	BHF	K ₂ O	P ₂ O ₅
	30,2	25,0	22,4	3,96	<0,05	2,26	3,22	0,1	3,7	<1,0

(<LQ= Concentração abaixo do limite quantificável)

Fonte: Adaptado de JUNIOR *et.al.* (2022).

Dado o experimento, não houve resultados positivos entre os blocos quadruplicados em nenhum dos parâmetros analisados, que foram: população de plantas (PP), altura da planta (AP), altura de inserção da primeira espiga (AIPE), peso de mil grãos (PMG) e produtividade em quilograma por hectare (P), indicados como não significativo (ns) na Tabela 8.

Somente verificou-se resultado positivo na produtividade de grãos, para indicar efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade, indicado com o símbolo de asterisco (*), conforme Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados das características agrônômicas para a cultura de milho

FV	PP	AP (m)	AIPE (m)	PMG	P kg. ha⁻¹
Bloco	ns	ns	ns	ns	ns
Tratamentos	ns	ns	ns	ns	*
Erro	-	-	-	-	-
CV%	9,55	14,24	15,22	8,38	22,54
DMS	1,12	0,64	0,23	36,60	713,93

Os símbolos “*** e **” reportam-se ao nível de significância sendo: **significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns: não significativo ($p < 0,05$).

Fonte: Adaptado de JUNIOR *et.al.* (2022).

Com relação a esta variável produtividade que respondeu de forma positiva a aplicação do pó de micaxisto, a Tabela 9, mostra o efeito na produtividade com o aumento do pó de micaxisto FMS.

A dose aplicada no tratamento 7 (24.000 +1.000) foi a que apresentou maior produtividade com 2.960 kg.ha⁻¹, em contrapartida a dose de menor produtividade (zero ou dose controle), teve produtividade de 1.375 kg.ha⁻¹, sendo a menor dentre todos os tratamentos.

Os autores tratam altura de planta (AP) e altura de inserção da primeira espiga (AIPE) na unidade centímetros, todavia seria um valor pequeno para plantas de milho, para efeito foi considerado a unidade como metros para as Tabelas 8 e 9 apresentadas a seguir. Trabalhos como o de Repke *et. al.*, (2012) que verificou a influência do crescimento das plantas de milho com utilização de cinco espécies híbridas de milho, mostrou um crescimento médio de altura de plantas de 1,956 metros.

Tabela 9 - Resultados dos tratamentos aplicados em função das variáveis de pesquisa para cultura de milho

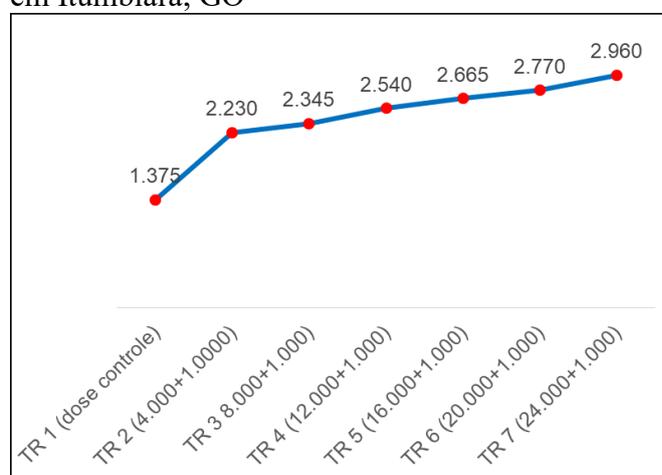
TR	D kg.ha ⁻¹	PP	AP (m)	AIPE (m)	PMG	P kg.ha ⁻¹
1	Zero	3,00	2,00	1,15	193,50	1.375 e
2	4.000+1.000	3,10	2,00	1,20	190,00	2.230 d
3	8.000+1.000	3,00	1,75	1,00	194,00	2.345 d
4	12.000+1.000	3,20	2,00	1,08	176,50	2.540 bc
5	16.000+1.000	3,00	2,00	1,22	185,00	2.665 b
6	20.000+1.000	3,30	2,00	1,16	191,50	2.770 b
7	24.000+1.000	3,00	1,75	1,20	176,50	2.960 a
CV%	-	9,55	14,24	15,22	8,38	22,54
DMS	-	1,12	0,64	0,23	36,60	713,93

TR= tratamentos; D kg.ha⁻¹= Dose em quilograma por hectare; PP= População de planta; AP= altura de planta; AIPE= altura de inserção da primeira espiga; PMG= peso de mil grãos e P kg.ha⁻¹= Produtividade em quilograma por hectare, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de JÚNIOR *et.al.* (2022).

Por conseguinte, o pó de rocha associado ao fertilizante organomineral tem influência positiva na produtividade com o aumento crescente das doses de pó de micaxisto (Figura 26). Apresentou crescimento de 115,2% no tratamento 7 (TR 7), em comparação ao controle zero, com ausência de incorporação de doses de remineralizador e fertilizante organomineral.

Figura 26 - Influência do aumento das doses de pó de micaxisto FMS com a produtividade de milho em Itumbiara, GO



Fonte: JUNIOR *et.al.* (2022).

Aqui entra-se em discussão a viabilidade, em razão ao custo (pó de micaxisto FMS + fertilizante organomineral), quando comparado ao fertilizante químico. Também é

necessário levar em consideração o tempo de reposição, haja vista a necessidade de menor reaplicação do remineralizador, pois seu efeito é gradativo nos cultivos subsequentes, além de alcançar uma produção sustentável ambientalmente, para isso tem-se necessidade de realização de testes de comparação de produção e custos.

De forma geral os resultados apresentados mostram a efetividade no tratamento de pó de micaxisto para a região com suas condições de temperatura, umidade, características do solo, dentre outros, com aumento de 115,2% em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ na produtividade de milho.

4.3 Estudo de Caso C

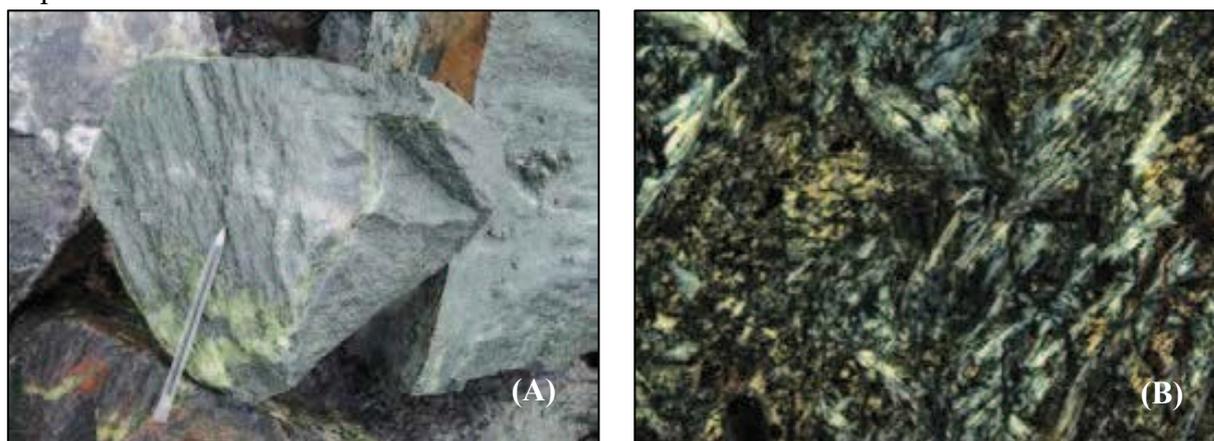
O trabalho foi publicado nos anais do III Congresso Brasileiro de Rochagem, com título: Potencial das rochas das pilhas de rejeitos da mineração Ferbasa-CIA de Ferro Ligas da Bahia como corretivos e remineralizadores de solo.

Tem como objetivo principal realizar a caracterização química e mineralógica do material descartado em pilhas de estéril de uma mina de cromita e analisar a viabilidade para as plantas de uma fonte de multinutrientes, bem como a capacidade de redução da acidez de solos agricultáveis e a conformidade com a Instrução Normativa MAPA nº 05 e 06/2016.

As amostras de rochas analisadas foram coletadas das minas Coitezeiro (Campo Formoso, BA) e Ipueira (Andorinha, BA), compreendendo as variedades como serpentinito (Figura 27 (A)), peridotito/lherzolito, serpentina mármore, wollastonita mármore e serpentina-flogopita mármore (Figura 28(A)).

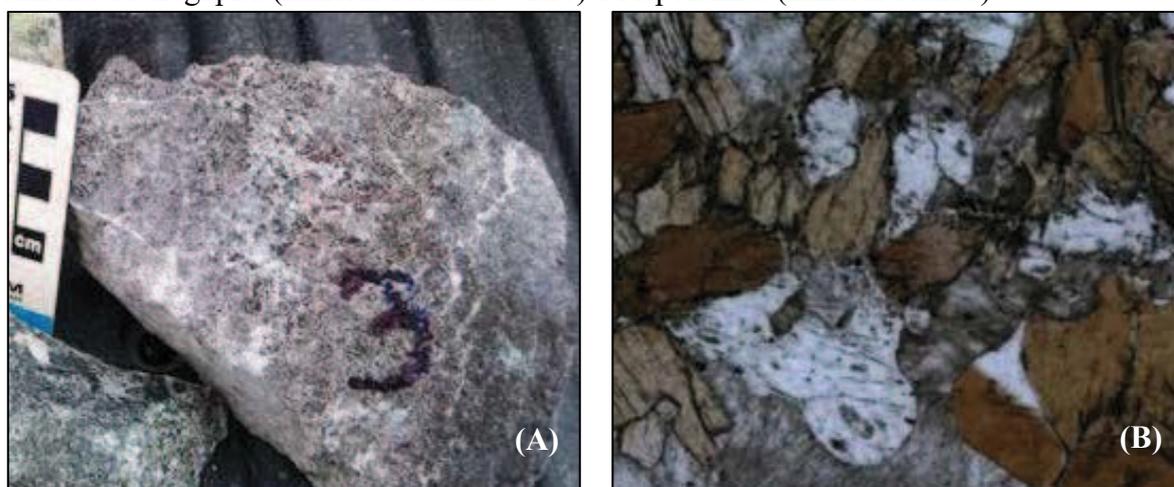
Submetidas a difratometria de raios X, e revelaram-se teores acima de 30% de MgO. Na sequência, despontou-se o Fe_2O_3 variando entre 1,77% e 10,8%, das rochas wollastonita mármore e peridotito/lherzolito, respectivamente.

Figura 27 - (A) Serpentinito e (B) Fotomicrografia (LPX02) evidenciando os cristais de serpentinita



Fonte: BLASKOWSKI *et. al.* (2017).

Figura 28 - (A) Serpentinita-flogopita mármore e (B) Fotomicrografia (LNX02) evidenciando lamelas de flogopita (mineral castanho-claro) e serpentinita (mineral branco)



Fonte: BLASKOWSKI *et. al.* (2017).

Em análise comparativa a Instrução Normativa (IN) nº 5/2016, os índices de K_2O precisam exceder 1% para qualificarem um remineralizador de solos, entretanto, apenas a serpentina-flogopita mármore atingiu tal parâmetro segundo os padrões da IN nº 5/2016.

O óxido de cálcio desempenha um papel essencial na regulação do pH dos solos. Para as amostras analisadas os valores variam de 0,04% pertencente ao serpentinito e 23,01% da rocha wollastonita mármore.

As análises não apresentam nenhum elemento potencialmente tóxico (EPT) as plantas (arsênio, cádmio, mercúrio e chumbo). A Tabela 10, mostra a análise química das rochas citadas, considerando os seguintes atributos: Fe_2O_3 = óxido de ferro; CaO = óxido de

cálcio; MgO= óxido de magnésio; K₂O= óxido de potássio; SB= soma de bases; Cu= cobre; Zn= zinco; Co= cobalto; V= vanádio; Cr= cromo e Ni= níquel (BLASKOWSKI *et. al*, 2017).

Das rochas que foram objetivo de análise, principalmente o serpentinito, exibem altos teores de cromo (7.516,0 ppm), embora a instrução normativa nº 5, não estabeleça padrões específicos para este elemento, o cromo na forma solúvel é excessivamente tóxico, demandando testes rigorosos para avaliar o potencial como remineralizadores de solos (BLASKOWSKI *et. al*, 2017). Também é destacado os níveis prejudiciais de níquel superiores a 500 ppm que atuam de maneira prejudicial às plantas.

Para esses dois casos de elementos prejudiciais (cromo e níquel) ao crescimento das plantas, capazes de gerar toxicidade, os autores enfatizam a necessidade de estudos e aplicação em campos para avaliar e validar a eficácia no crescimento sob influência dos pós de rochas. Uma alternativa a esses elementos em níveis tóxicos é a utilização da técnica de *blendagem* que se baseia na combinação calculada entre pós de rochas para reduzir os elementos em níveis tóxicos.

Tabela 10 - Análise química das rochas da mineração FERBASA

Procedência	Classificação dos tipos de rochas identificadas em cada procedência	Fe ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	SB	Cu	Zn	Co	V	Cr	Ni
		%						ppm				
Mina Coitezeiro	Serpentinito	5,52	0,04	30,00	<0,01	30,04	16,5	8,0	58,4	19,0	7.516,0	1.404,6
Mina Ipueira	Peridotito/lherzolito	10,80	0,33	30,00	0,16	30,49	9,3	1,0	80,6	10,0	604,0	1.614,1
Mina Ipueira	Serpentina mármore	2,10	16,20	27,22	0,50	43,92	14,4	11,0	34	15,0	36,0	56,8
Mina Ipueira	Wollastonita mármore	1,77	23,01	24,34	<0,01	47,35	37,1	15,0	6,7	2,0	48,0	20,5
Mina Ipueira	Serpentina-flogopita mármore	4,57	12,46	18,15	5,38	35,99	27,1	47,0	20,6	59,0	52,0	58,5

Fonte: BLASKOWSKI *et. al*, (2017).

Também foi realizada a análise petrográfica das rochas (Figura 29) que indicam presença de minerais do topo da série de cristalização de Bowen e contribuem para a solubilização e conseqüente disponibilização dos nutrientes presentes nas rochas para as plantas. Dentre os minerais presentes primeiro na série de Bowen destacam-se os contidos nas rochas: peridotito/lherzolito (olivina, piroxênio, plagioclásio) e a serpentinita mármore

(olivina metamorfisada), ambas da mina Ipueira. A concentração de serpentinita varia entre as rochas de 0% a 92%, sendo este um filossilicato hidratado de ferro, magnésio e sílica.

As rochas estudadas pelos autores são fontes potenciais de magnésio e cálcio, micronutrientes essenciais ao crescimento das plantas.

Figura 29 - Classificação petrográfica e difração de raios X (DRX) para rochas da mina FERBASA

Procedência	Classificação Petrográfica	DRX	Composição Modal
FERBASA - Cava Coitezeiro	Serpentinito	Serpentina dominante. Magnetita, clorita, e hydrotalcita e clinopiroxênio pode estar presentes em menor quantidade.	Serpentina 92% Opacos 5% Talco 3%
FERBASA - Mina Ipueira	Peridotito/lherzolito	Serpentina dominante. Clinopiroxênio, magnetita e biotita em menor quantidade.	Serpentina 60% Olivina 15% Clinopirox. 8% Hiperstênio 3% Opacos 10% Carbonato 1% Flogopita 3% Clorita
FERBASA - Mina Ipueira	Serpentina mármore (metaultrabásica serpentinizada e enriquecida em carbonato por alteração hidrotermal)	Dolomita abundante, seguido de serpentina, mica e calcita.	Serpentina 48% Carbonato 40% Biotita 8% Opacos 3% Clorita-Tr
FERBASA - Mina Ipueira	Wollastonita mármore	Dolomita abundante, seguida de calcita e serpentina (provável crisotila). Pequena quantidade de Apatita. Sodalita Tr	Carbonato 48% Epidoto 25% Wollastonita 18% Opacos 5% Flogopita 3%
FERBASA - Mina Ipueira	Serpentina-flogopita mármore (rocha ultrabásica, serpentinizada, enriquecida em flogopita e carbonato)	Biotita (flogopita) dominante, com clinopiroxênio e serpentina subordinados	Flogopita 45% Serpentina 35% Carbonato 15% Opacos 5% Titanita tr

Fonte: BLASKOWSKI *et. al*, (2017).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou a técnica de rochagem aplicada por meio de diversas rochas, sob condições de cultivos variados, em diferentes solos, apresentando resultados efetivos no crescimento das plantas.

Para o estudo de caso A de Da Silva *et.al.* (2020), foi possível concluir a eficácia do pó de basalto no crescimento do feijão preto nas doses aplicadas de maiores concentrações, variando de 80 t/ha a 200 t/ha de pó de basalto (PB) para as duas variáveis analisadas, que foram matéria seca da parte aérea (MSPA) e produção de grãos. Para a aplicação desta rocha em grande escala é necessário analisar por quantos cultivos o pó de rocha continua agindo na disponibilização de nutrientes aos cultivos e a viabilidade econômica de tal pó de rocha, haja vista a grande quantidade para influenciar na MSPA e produção de grãos de feijão.

Para o estudo de caso B de Júnior *et. al.* (2022), embora não tenham sido observadas diferenças significativas na população de planta, altura de planta, altura de inserção da primeira espiga e peso de mil grãos, obtiveram aumento em mais de 115,2% na produtividade em kg/ha na dose mais alta. Essa melhoria resultou da combinação de pó de micaxisto (FMS) e o fertilizante organomineral (24.000 kg/ha pó de micaxisto FMS + 1.000 kg/ha de fertilizante organomineral) no tratamento 7 (TR 7), gerando uma produção de milho de 2.960 kg/ha. A principal desvantagem deste estudo se dá na quantidade de pó de rocha utilizado e isto afeta a viabilidade econômica da técnica para as condições utilizadas.

Para considerar a utilização do pó de basalto e do pó de micaxisto em outros locais é necessário levar em conta uma série de fatores como clima, radiação solar, solo, cultura. Todos esses fatores influenciaram diretamente nos resultados alcançados na sua aplicação.

Para o estudo de caso C, a utilização de rejeitos tem sido uma alternativa que vem sendo bastante estudada na atualidade, visando um desenvolvimento mais sustentável. Embora os rejeitos da mineração não foram empregados no crescimento de plantas, Blaskowski *et. al.* (2017) realizaram estudos de caracterização química e mineralógica que mostraram os rejeitos como fontes potenciais de magnésio, ferro e cálcio, contudo, a presença de cromo e níquel levantam preocupações quanto à possível toxicidade. Pra isso é necessária experimentação em campo para avaliar o efeito de cromo e níquel no crescimento das plantas.

A utilização da rochagem como técnica para rejuvenescer os solos apresenta muitas vantagens quando comparada à fertilização convencional. As principais vantagens são: ser uma prática agroecológica, um dos principais benefícios da técnica é o incentivo à agricultura sustentável; reduz a poluição, pois incentiva o consumo de pós de rochas ao invés do consumo de fertilizantes industrializados; fornece uma gama de nutrientes liberados gradualmente evitando gastos com aplicações frequentes; é viável economicamente, pois quando comparado aos fertilizantes convencionais representam custo inferior e possui fornecimento regional; além de ser viável ambientalmente, pois a técnica não polui corpos de água e contribui na redução de emissões de CO₂.

REFERÊNCIAS

- ALOVISI, A. M. T. *et. al.* **Uso de pó de basalto como remineralizador de solos.** Ponta Grossa, PR. Editora Atena, 2020. p. 84-93
- ALVARES, C.A; STAPE, J.L; SENTELHAS, P.C; GONÇALVES, J. L. de M. end SPAROVEK G. 2013. **Köppen's Climate Classification Map for Brazil.** Meteorologische Zeitschrift 711–728. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil. Acesso em: 19 nov. 2023.
- AMARAL, G. C. BERTI, M. P. S. SILVA, A. A. JUNIOR, G. S. S. CUSTÓDIO, J. P. C. PEIXOTO, W. A. **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.
- BAMBERG, A. SILVEIRA, C. MARTINS, E. BERGMANN, M. MARTINAZZO, R. THEODORO, S. H. **Dos pós de rocha aos Remineralizadores: passado, presente e desafios.** *Separata de:* III Congresso Brasileiro de Rochagem, 2016, Pelotas. Anais. p.15 – 22.
- BATISTA, N. T. F. *et. al.* **Atributos químicos de um latossolo vermelho amarelo sob cultivo de soja e sorgo submetido ao uso de basalto moído.** In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 3., 2016, Pelotas. Anais... Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília, DF: Embrapa Cerrados; Assis, SP: Triunfal, 2017., 2016. p. 241-247
- BERGMANN, M. **Remineralizadores do Brasil: O trabalho da CPRM – Serviço Geológico do Brasil.** In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 3., 2016, Pelotas. Anais... Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília, DF: Embrapa Cerrados; Assis, SP: Triunfal, 2017., 2016. p. 71-89
- BEZERRA, M. S. **O potencial dos Agrominerais Alternativos na Região do Nordeste do Brasil.** Série de Rochas e Minerais industriais v. 15. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 49p.
- BLASKOWSKI, A. E. *et. al.* **Potencial das rochas das pilhas de rejeitos da mineração Ferbasa-CIA de Ferro Ligas da Bahia como corretivos e remineralizadores de solo.** Anais, III Congresso Brasileiro de Rochagem, Pelotas, 2017. p. 122-127
- BRASIL. Lei nº12.890 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: República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 16 de dezembro de 2013. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112890.htm. Acesso em: 18 out. 2021.
- CARVALHO, A. M. X. **Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico.** Universidade Federal de Viçosa. Tese de Doutorado, Viçosa, 2012.

CHAVES, A. P. PERES, A. E. C. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios: britagem, peneiramento e moagem**. 2 ed. v. 3, Signus Editora, São Paulo, 2003.

CHAVES, A. P. Rotas tecnológicas convencionais e alternativas para a obtenção de fertilizantes. *Separata de*: FERNANDES, F.R.; LUZ, A.B.; CASTILHOS, Z.C. (Eds). **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p.45-60, 2010.

DA SILVA *et. al.* **Pó de basalto como fertilizante alternativo na cultura do feijão preto em Latossolo vermelho**. Revista Verde, Pombal, Paraíba, Brasil, v. 15, n.4, p.373-378 out.-dez., 2020. Disponível em:

<[DE MIRANDA, E. E. **Áreas cultivadas no Brasil e no mundo**. AgroANALYSIS, v. 38, n. 2, p. 25-27, 2018.](https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/15599/14148/203005#:~:text=(2020)%2C%20o%20p%C3%B3%20de,fonte%20de%20nutrientes%20%C3%A0s%20plantas.></p>
</div>
<div data-bbox=)

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **MAPA DE SOLOS DO BRASIL**. Mapas Embrapa Solos, 2011.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5º ed. Embrapa Solos, Brasília, 2018.

GROTZINGER, J. JORDAN, T. **Para Entender a Terra**. Bookman Editora, 2013.

IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração. **Governo Federal lança Plano Nacional de Fertilizantes para reduzir importação dos insumos**. 2022. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/governo-federal-lanca-plano-nacional-de-fertilizantes-para-reduzir-importacao-dos-insumos/>. Acesso em: 01 nov. 2023

JÚNIOR, J. J. A. *et. al.* **Segunda Safra de milho com remineralizador micaxisto em consórcio com fertilizante orgânico**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 8, n. 4, p. 29979-29991, abril, 2022. Disponível em: <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/46985/pdf>>

JUNIOR, J. J. de A. *et al.* **Implantação da cultura de soja utilizando como fertilizante o remineralizador de solo micaxisto**. Agricultura sustentável e lucrativa. Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

KAMPF, N. CURI, N. MARQUES, J. J. **Química e mineralogia do solo**, part I: Cap. V - Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. Viçosa: Rev. Brasileira de Ciências do Solo. p. 333-379. 2009.

KÖNIG; SÁ; JANK. **A guerra e a dependência externa brasileira no setor de fertilizantes**. 2022. Disponível em: <<https://www.insper.edu.br/noticias/a-guerra-e-a-dependencia-externa-brasileira-no-setor-de-fertilizantes/>> Acesso em: 15 dez 2023.

KULAIF, Y.; FERNANDES, F. R. C. **Panorama dos agrominerais no Brasil: atualidades e perspectivas**. In: Agrominerais para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. Cap.1, p. 1-22.

LUZ, Adão Benvido da. SAMPAIO, João Alves. FRANÇA, Sílvia Cristina A. **Tratamento de Minérios**. 5 ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2010.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa nº5, de 10 de março de 2016**. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Dispõe das definições, classificação, exigências, especificações, garantias e registro, das tolerâncias, do registro, da embalagem, rotulagem e propagando de produtos, das disposições finais**. 5 de março de 2016. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-5-de-10-3-16-remineralizadores-e-substratos-para-plantas.pdf/view>>

MARTINS *et al.* Agrominerais – Rochas Silicáticas como Fontes Minerais Alternativas de Potássio para a Agricultura. *In Separata*: LUZ, A. B. LINS, F. A. F. 2 ed. **Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações**. CETEM-MCT, Rio de Janeiro, 2008.

MARTINS, E. **Possibilidades tecnológicas de construção de solos com remineralizadores**. *Separata de*: Webinar – Remineralizadores e sua importância na renovação e construção da fertilidade dos solos. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=VAF3DuHIIgk&t=2616s>. Acesso: 16 out. 2021.

MELO, V. F. *et al.* **Doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico da savana de Roraima**. *Acta Amazonica*, v. 42, p. 471-476, 2012.

MENEZES, S. O. **Minerais comuns e de importância econômica: um manual fácil**. Oficina de Textos, São Paulo, 2 ed. 2012.

MOREIRA, V.R.R, CAPELESSO, E. **Orientações para uma Agricultura de Base Ecológica no Pampa Gaúcho**, Gráfica Instituto de Menores, Bagé, 2006.

NEVES, P. C. P. SCHENATO, F. BACHI, F. A. **Introdução à Mineralogia Prática**. Editora da ULBRA. Canoas. 4 ed. 2018.

PAULETTI, V. **ABSORÇÃO RADICULAR, TRANSPORTE E REDISTRIBUIÇÃO DE NUTRIENTES**. Docs UFPR, 2012. Disponível em: < <https://docs.ufpr.br/~nutricao/plantas/absor12.pdf>>. Acesso em: 09 set 2023.

POPP, J. H. **Geologia Geral**. Editora LTC, Rio de Janeiro, 7 ed. 2017.

RAYMUNDO, V. NEVES, M. A. CARDOSO, M, S. N. BREGONCI, I. S. LIMA, J. S. S. FONSECA, A. B. **Resíduos da serragem de mármore como corretivo da acidez de solo**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande-PB, v.17, nº1, p. 47-53, 2013.

RAYMUNDO, V. NEVES, M. A. CARDOSO, M, S. N. BREGONCI, I. S. LIMA, J. S. S. FONSECA, A. B. **Resíduos da serragem de mármore como corretivo da acidez de solo**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande-PB, v.17, nº1, p. 47-53, 2013.

ROCHA, N. C. LEÃO, M. **O Direito Humano à Alimentação Adequada e o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional**. Brasília, ABRANDH, 2010.

SAE - SECRETARIA ESPECIAL DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS. **Produção Nacional de Fertilizantes**. Brasil, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae_publicacao_fertilizantes_v10.pdf. Acesso em: 25 jul. 2021.

SAMPAIO, J. A. FRANÇA, S. C. A. BRAGA, P. F. A. **Nefelina Sienito**. In *Separata: Rochas e Minerais industriais* 2 ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2008.

SANTOS *et al.* **Nutrição de milho após adição de sienito e substâncias húmicas**. *Separata de: III Congresso Brasileiro de Rochagem*, 2016, Pelotas. Anais. p.427 – 434.

SCHUMANN, W. **Guia dos Minerais**. Disal Editora. Barueri, São Paulo, 2008.

SOARES, T.H. DA LUZ, A. B. FELIX, A. A. S. **A rocha sienito como fonte de potássio para a agricultura: estudos de ativação e reação com CaO**. In *Separata: ENTMME*, XXVI, Poços de Caldas, MG. Anais, 2015.

TAIZ, Lincoln. Zeiger, Eduardo. Møller, Ian Max. Murphy, Angus. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal** – 6ed. Artmed Editora, f.444, 2016. 888p.

TAVARES, L. F. **Disponibilização de potássio e silício de remineralizador pelo processo de compostagem**. Universidade Federal de Viçosa, Tese de Mestrado, Minas Gerais, 2017.

TEIXEIRA, W. TOLEDO, M. C. M. FAIRCHILD, T. R. TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2º ed. Companhia Editora Nacional. São Paulo, 2009.

THEODORO, S. F. LEONARDOS, O. H. **Rochagem: uma questão de soberania nacional**. XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica, Gramado, RS, 2011.

THEODORO, S. H. **A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural**. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, p. 225. 2000.

THEODORO, S. H. LEONARDOS, O. ROCHA, L. E. REGO, G. K. **Experiências de uso de rochas silicáticas como fontes de nutrientes**. *Revista Espaço e Geografia*, v.9, nº2, p. 264-292, out. 2006.

THEODORO, S. H. *et. al.* **A importância de uma Rede Tecnológica de Rochagem para a Sustentabilidade em Países Tropicais**. *Revista Brasileira de Geografia Física*. v.6, p.1390-1407, 2012.

THEODORO, S. H.; ALMEIDA, E. **Agrominerais e a construção da soberania em insumos agrícolas no Brasil**. *Revista Agriculturas*, v. 10, nº1, p. 22-28, março 2013.

VAN STRAATEN, P. **Agrogeology: The use of rocks for crops**. Enviroquest Ltd., Ontario, 2007.

VAN STRAATEN, P. Rochas e minerais como fertilizantes alternativos na agricultura: uma experiência internacional. *Separata de*: FERNANDES, F.R.; LUZ, A.B.; CASTILHOS, Z.C. (Eds). **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p.235-264, 2010.

**ANEXO B – CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS - CONCEITO DAS CLASSES DO 1º
NÍVEL CATEGÓRICO (ORDENS)**

Argissolos	Compreendem solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter aluminico. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para ser enquadrado nas classes dos Luvisolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos.
Cambissolos	Compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, desde que em qualquer dos casos não satisfaçam aos requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes Vertissolos, Chernossolos, Plintossolos e Organossolos. Têm sequência de horizontes A ou hístico, Bi, C, com ou sem R.
Chernossolos	Compreendem solos constituídos por material mineral que têm como características diferenciais: alta saturação por bases e horizonte A chernozêmico sobrejacente a horizonte B textural ou B incipiente, ambos com argila de atividade alta ou sobrejacente a horizonte C carbonático, horizonte cálcico ou petrocálcico ou ainda sobrejacente à rocha, quando o horizonte A apresentar alta concentração de carbonato de cálcio.
Espodossolos	Compreendem solos constituídos por material mineral com horizonte B espódico subjacente a horizonte eluvial E (álbico ou não), ou horizonte A, que pode ser de qualquer tipo, ou ainda a horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos. Esses solos apresentam, usualmente, sequência de horizontes A, E, B espódico, C, com nítida diferenciação de horizontes.
Gleissolos	Compreendem solos minerais, hidromórficos, que apresentam horizonte glei dentro de 50 cm a partir da superfície ou a profundidade maior que 50 cm e menor ou igual a 150 cm desde que imediatamente abaixo de horizontes A ou E (com ou sem gleização)(4) ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos. Não apresentam textura exclusivamente arenosa em todos os horizontes dentro dos primeiros 150 cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico ou lítico fragmentário, tampouco horizonte vértico em posição diagnóstica para Vertissolos. Horizonte plânico, horizonte plintico, horizonte concrecionário ou horizonte litoplântico, se presentes, devem estar à profundidade superior a 200 cm a partir da superfície do solo
Latossolos	Compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico.
Luvisolos	Compreendem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural com argila de atividade alta e saturação por bases alta, imediatamente abaixo de horizonte A ou horizonte E.
Neossolos	Compreendem solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso que não apresenta alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem (como maior resistência ao intemperismo ou composição químico-mineralógica), seja em razão da influência dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos.
Nitossolos	Compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B nítico, textura argilosa ou muito argilosa (teores de argila iguais ou maiores que 350 g kg-1 de TFSA) desde a superfície do solo, estrutura em blocos subangulares ou angulares ou prismática, de grau moderado ou forte, com cerosidade expressiva e/ou caráter retrátil.
Organossolos	Compreendem solos pouco evoluídos, com preponderância de características devidas ao material orgânico, de coloração preta, cinzenta muito escura ou brunada, resultantes de acumulação de resíduos vegetais, em graus variáveis de

	decomposição, em condições de drenagem restrita (ambientes de mal a muito mal drenados) ou saturados com água por apenas poucos dias durante o período chuvoso, como em ambientes úmidos e frios de altitudes elevadas.
Planossolos	Compreendem solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B imediatamente subjacente, adensado, geralmente de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta, constituindo, por vezes, um horizonte pã, responsável pela formação de lençol d'água sobreposto (suspenso) e de existência periódica durante o ano.
Plintossolos	Compreendem solos minerais formados sob condições de restrição à percolação da água sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, de maneira geral imperfeitamente ou mal drenados, e se caracterizam fundamentalmente por apresentar expressiva plintitização com ou sem petroplintita na condição de que não satisfaçam aos requisitos estipulados para as classes dos Neossolos, Cambissolos, Luvisolos, Argissolos, Latossolos, Planossolos ou Gleissolos.
Vertissolos	Compreendem solos constituídos por material mineral apresentando horizonte vértico e pequena variação textural ao longo do perfil, insuficiente para caracterizar um horizonte B textural. Apresentam pronunciadas mudanças de volume com o aumento do teor de água no solo, fendas profundas na época seca e evidências de movimentação da massa do solo sob a forma de superfícies de fricção (slickensides). Podem apresentar microrrelevo tipo gilgai e estruturas do tipo cuneiforme inclinadas e formando ângulo com a superfície horizontal. Essas características resultam da grande movimentação da massa do solo que se contrai e fendilha quando seca e se expande quando úmida. São de consistência muito plástica e muito pegajosa devido à presença comum de argilas expansíveis ou mistura destas com outros argilominerais.