



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
CENTRO REGIONAL DE CIÊNCIAS NUCLEARES DO NORDESTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS E
NUCLEARES

KARINA MARIA DA SILVA

**EFICIÊNCIA DA LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES VEGETAIS DE PÓ DE ROCHA
DE TREMOLITA-ACTINOLITA XISTO UTILIZADO NO CULTIVO DE MILHO E
SOJA**

Recife
2024



**CARACTERIZAÇÃO E SIMULAÇÃO DE RESERVATÓRIOS, ENERGIAS RENOVÁVEIS
E BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL**

Apoio



Gestão



KARINA MARIA DA SILVA

**EFICIÊNCIA DA LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES VEGETAIS DE PÓ DE ROCHA
DE TREMOLITA-ACTINOLITA XISTO UTILIZADO NO CULTIVO DE MILHO E
SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre(a) em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Área de concentração: Fontes Renováveis de Energia.

Orientadores: Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas e Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes
Coorientadora: Dra. Jéssica Rafaella de Sousa Oliveira

Recife

2024

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Silva, Karina Maria da.

Eficiência da liberação de nutrientes vegetais de pó de rocha de tremolita-actinolita xisto utilizado no cultivo de milho e soja / Karina Maria da Silva. - Recife, 2024.

66f.: il.

Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2024.

Orientação: Ana Dolores Santiago de Freitas e Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes.

Coorientação: Jéssica Rafaella de Sousa Oliveira.

1. Zea mays L; 2. Glycine max (L.) Merrill; 3. Coproduto de mineração; 4. Agricultura de baixo carbono; 5. Produção sustentável. I. Menezes, Ana Dolores Santiago de Freitas e Dr. Rômulo Simões Cezar. II. Oliveira, Jéssica Rafaella de Sousa. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

CDD 621.042

KARINA MARIA DA SILVA

**EFICIÊNCIA DA LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES VEGETAIS DE PÓ DE ROCHA
DE TREMOLITA-ACTINOLITA XISTO UTILIZADO NO CULTIVO DE MILHO E
SOJA**

Dissertação Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociência - CTG, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Área de Concentração: Fontes Renováveis de Energia.

Aprovado em: 05/08/2024

BANCA EXAMINADORA

Dr. Jean Cheyson Barros dos Santos (Examinador Externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Dra. Cybelle Souza de Oliveira (Examinadora Externa)
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

Dra. Juscélia da Silva Ferreira (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Dedico à minha família pelo suporte emocional sempre que necessário.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me permitido chegar até aqui.

Aos meus orientadores, Rômulo Menezes, Ana Freitas e Jéssica, pelos ensinamentos, confiança e generosidade. Em especial, a Ana, uma das pessoas que tive o primeiro contato ao ingressar no mestrado e que me incentivou nessa jornada com muita dedicação. Obrigada!

Aos amigos que me incentivaram e me acompanharam durante a realização das atividades no mestrado: Juscélia, Sandra, Alcileia, Bruna e a todos que, de alguma forma, também participaram. Obrigada pelas alegrias compartilhadas!

À minha família, por acreditar em mim, pelo apoio e incentivo para alcançar os meus objetivos.

À Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP e à Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, por meio do Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP/FINEP, suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas qualificadas na Cláusula de P, D&I da Resolução ANP Nº 50/2015. Em particular ao PRH 48.1 “Caracterização e Simulação de Reservatórios, Energias Renováveis e Biotecnologia Ambiental” (PROCESSO ANP Nº48610.201019/2019-38), sediado no Departamento de Energia Nuclear do Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE, pelo apoio financeiro.

E a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte dessa caminhada.

A vida é uma corrida que não se corre sozinho. E vencer não é chegar, é aproveitar o caminho sentindo o cheiro das flores e aprendendo com as dores causadas por cada espinho.
(BRÁULIO BESSA, 2018).

RESUMO

No cenário atual de mudanças climáticas, é urgente a busca por um novo modelo de produção de biomassa, com mínima utilização de fertilizantes químicos tradicionais. Nesse sentido, a prática da rochagem surge como uma alternativa para o aproveitamento de resíduos oriundos do setor de mineração, que visa fornecer nutrientes para o desenvolvimento de cultura. O milho e a soja são culturas energéticas de importância estabelecida para produção de etanol e biodiesel, respectivamente, mas que podem ter seu uso expandido para novas formas de produção de energia a partir de suas biomassas. Desta forma, este trabalho tem por objetivo geral avaliar a eficiência de liberação de nutrientes de um coproduto de mineração de resíduos minerais, produzido na Paraíba pela Agroforte Seridó LTDA, para cultivo de duas culturas energéticas de características contrastantes. Foram realizados experimentos de incubação e de cultivo de plantas em casa de vegetação, utilizando doses crescentes de um coproduto de mineração (pó de rocha), em diferentes solos. A análise petrográfica demonstrou que no pó de rocha utilizado predominam anfibólios da série tremolita-actinolita, e em menor proporção, quartzo e feldspato (potássico e plagioclásios), contendo 7,77% de MgO, 3,28% de K₂O e 4,07% de CaO. Os resultados mostraram que a disponibilidade de K aumentou aos 90 dias de incubação no Latossolo e no Espodossolo, inclusive no tratamento controle. A liberação mais significativa de Ca foi observada a partir dos 60 dias de incubação, ocorrendo o inverso com o Mg, que teve maiores teores nos dois primeiros ciclos. As variáveis altura e matéria seca da parte aérea apresentaram melhores resultados no segundo ciclo de cultivo, para o milho cultivado no Latossolo, apresentando valores máximos de 47 cm e 6,50 g planta⁻¹, respectivamente. Não foram observadas diferenças significativas entre as doses de pó de rocha utilizadas nos parâmetros avaliados. Conclui-se que o pó de rocha apresenta nutrientes com potencial para influenciar positivamente no desenvolvimento do milho e da soja, no entanto, há necessidade de analisar mais ciclos produtivos para visualizar os efeitos residuais da utilização deste pó de rocha para ambas as culturas a longo prazo.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; *Glycine max* (L.) Merrill; coproduto de mineração; agricultura de baixo carbono, produção sustentável

ABSTRACT

In the current scenario of climate change, it is urgent to search for a new model of biomass production, with minimal use of traditional chemical fertilizers. In this sense, the practice of rocking appears as an alternative for the use of waste from the mining sector, which aims to provide nutrients for the development of crops. Corn and soy are energy crops of established importance for the production of ethanol and biodiesel, respectively, but their use can be expanded to new forms of energy production from their biomass. Therefore, the general objective of this work is to evaluate the efficiency of nutrient release from a co-product of mineral waste mining, produced in Paraíba by Agroforte Seridó LTDA, for the cultivation of two energy crops with contrasting characteristics. Incubation and plant cultivation experiments were carried out in a greenhouse, using increasing doses of a mining co-product (rock dust), in different soils. Petrographic analysis demonstrated that in the rock powder used, amphibole from the tremolite-actinolite series predominates, and to a lesser extent, quartz and feldspar (potassic and plagioclase), containing 7.77% MgO, 3.28% K₂O and 4.07 % CaO. The results showed that K availability increased after 90 days of incubation in the Latosol and Spodosol, including in the control treatment. The most significant release of Ca was observed after 60 days of incubation, the opposite occurring with Mg, which had higher levels in the first two cycles. The variables height and dry matter of the aerial part showed better results in the second cultivation cycle, for corn grown in the Latosol, presenting maximum values of 47 cm and 6.50 g plant⁻¹, respectively. No differences were observed between the rock powder doses used in the evaluated parameters. It is concluded that rock dust presents nutrients with the potential to positively influence the development of corn and soybean, however, there is a need to analyze more production cycles to visualize the residual effects of using this rock dust for both crops in the long term.

Keywords: *Zea mays* L.; *Glycine max* (L.) Merrill; mining co-product; low carbon agriculture; sustainable production.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ensaio de incubação de solos com pó de rocha.....	28
Figura 2 – Germinação do milho e da soja.....	29
Figura 3 – 1º ciclo de cultivo em casa de vegetação.....	30
Figura 4 – Fotomicrografias da amostra PRS01: a) e b) anfibólitos da série tremolita-actinolita apresentando clivagens típicas (a: polarizador descruzado (PD); b: polarizador cruzado (PC); c) e d) anfibólitos da série tremolita-actinolita alterando a talco(?) nas bordas (seta) (c: PD; d: PC); e) e f) núcleos reliquiares de clinopiroxênio em anfibólitos (e: PD; f: PC). (Tr-Act: tremolita-actinolita; Tlc: talco; Cpx: clinopiroxênio; Amp: anfibólitos).....	34
Figura 5 – Fotomicrografias da amostra AM01: a) e b) pseudomorfos de anfibólitos formados por epidoto e hidróxidos de ferro (a: PD; b: PC); c) grãos de quartzo e feldspato (PC); d) pseudomorfo de anfibólitos formados por clorita (seta) (PC); e) e f) mica branca (e: PD; f: PC). (Amp: anfibólitos; Fds: feldspato; Qtz: quartzo; Chl: clorita; Ms: moscovita).....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização química dos solos utilizados nos experimentos.....	26
Tabela 2 – Análise granulométrica dos solos utilizados nos experimentos.....	27
Tabela 3 – Fases minerais identificadas na amostra PRS01, com indicação de sua composição química e proporção modal (volume) na rocha.....	33
Tabela 4 – Valores de pH de abrasão das amostras estudadas.....	36
Tabela 5 – Especificação de Natureza Física da amostra PRS01 e garantias granulométricas; em negrito, garantias atendidas pela amostra.....	36
Tabela 6 – Teores dos elementos (%) obtidos para a amostra PRS01 e garantias exigidas na IN n° 5 10/03/2016 MAPA; PF = Perda ao Fogo; SB = Soma de Bases (K ₂ O + CaO + MgO).....	38
Tabela 7 – Teores de potássio (K ⁺) no solo após 7, 30, 60 e 90 dias de incubação com diferentes doses de pó de rocha (0, 100, 200, 300, 400 e 500% da recomendação).....	39
Tabela 8 – Teores de cálcio (Ca ²⁺) no solo após 7, 30, 60 e 90 dias de incubação com diferentes doses de pó de rocha (0, 100, 200, 300, 400 e 500% da recomendação).....	41
Tabela 9 – Teores de magnésio (Mg ²⁺) no solo após 7, 30, 60 e 90 dias de incubação com diferentes doses de pó de rocha (0, 100, 200, 300, 400 e 500% da recomendação).....	42
Tabela 10 - pH do solo após 7, 30, 60 e 90 dias de incubação com diferentes doses de pó de rocha (0, 100, 200, 300, 400 e 500% da recomendação).....	43
Tabela 11 - Altura de plantas (AP) cultivadas em vasos em dois solos de texturas contrastantes, com diferentes doses de pó de rocha, e em três ciclos de 45 dias.....	44
Tabela 12 – Massa seca da parte aérea (MS) de plantas de milho e soja cultivadas em vasos, em dois solos de texturas contrastantes com diferentes doses de pó de rocha, e em três ciclos de 45 dias.....	45
Tabela 13 – Teores de potássio (K) na parte aérea de plantas de milho e soja cultivadas em vasos, em dois solos de texturas contrastantes com diferentes doses de pó de rocha, e em três ciclos subsequentes de 45 dias.....	46
Tabela 14 – Teores de cálcio (Ca) na parte aérea de plantas de milho e soja cultivadas em vasos, em dois solos de texturas contrastantes com diferentes doses de pó de rocha, e em três ciclos subsequentes de 45 dias.....	47

Tabela 15 – Teores de magnésio (Mg) na parte aérea de plantas de milho e soja cultivadas em vasos, em dois solos de texturas contrastantes com diferentes doses de pó de rocha, e em três ciclos subsequentes de 45 dias.....	48
Tabela 16 - Cálcio (Ca) acumulado nas plantas de milho após 135 dias de aplicação de diferentes doses de pó de rocha.....	49
Tabela 17 - Cálcio (Ca) acumulado nas plantas de soja após 135 dias de aplicação de diferentes doses de pó de rocha.....	50
Tabela 18 - Magnésio (Mg) acumulado nas plantas de milho após 135 dias de aplicação de diferentes doses de pó de rocha.....	50
Tabela 19 - Magnésio (Mg) acumulado nas plantas de soja após 135 dias de aplicação de diferentes doses de pó de rocha.....	51
Tabela 20 - Potássio (K) acumulado nas plantas de milho após 135 dias de aplicação de diferentes doses de pó de rocha.....	51
Tabela 21 - Potássio (K) acumulado nas plantas de soja após 135 dias de aplicação de diferentes doses de pó de rocha.....	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 O milho e a soja e sua utilização como culturas energéticas.....	17
2.2 Remineralizadores	19
2.3 Rochagem na agricultura	21
2.3.1 Pó de rocha.....	22
2.3.1.1 <i>Principais nutrientes fornecidos para as culturas.....</i>	<i>23</i>
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Resíduo de mineração utilizado	25
3.2 Coleta e caracterização dos solos utilizados nos experimentos	26
3.3 Experimentos	28
3.3.1 Teste de incubação.....	28
3.3.2 Teste de eficiência agrônômica em casa de vegetação.....	29
3.4 Análises laboratoriais	30
3.4.1 Amostras de solo.....	30
3.4.2 Amostras de plantas.....	31
3.5 Análise estatística.....	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1 Caracterização do Remineralizador	33
4.2 Teores de potássio, cálcio e magnésio nos solos incubados	39
4.3 Altura e massa seca da parte aérea das plantas.....	44
4.4 Teores de potássio, cálcio e magnésio na parte aérea das plantas ..	46
4.5 Ca, Mg e K acumulado nas plantas de milho e soja ao longo de 135 dias.....	49
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

O aquecimento global e às mudanças climáticas são resultantes das emissões de gases de efeito estufa (GEE) que recobrem a Terra, sendo ocasionados por atividades antrópicas, como a geração de eletricidade e calor por meio da queima de combustíveis fósseis, pela mineração e outros processos industriais que liberam gases, pela conversão de florestas pelo desmatamento; além de causas de origem natural, como atividades vulcânicas, oscilações oceânicas, o magnetismo terrestre e os superciclos (tectonismo, vulcanismo e raios cósmicos) (OLIVEIRA et al., 2017; ONU, 2021).

Devido os efeitos das mudanças climáticas, há um crescente interesse na prevenção ambiental e desenvolvimento sustentável, que motiva a busca por alternativas viáveis para a destinação correta de resíduos gerados em diversos setores, como o de mineração, que, na maioria das vezes, são dispostos inadequadamente no meio ambiente, resultando em impactos ambientais, que podem comprometer a fauna e flora (MANHÃES; HOLANDA, 2008).

Uma das iniciativas para utilização adequada dos resíduos de mineração é a rochagem, que procura fornecer nutrientes para o desenvolvimento de culturas, sem afetar o equilíbrio ambiental, reduzindo a utilização de fertilizantes minerais convencionais (MORAES, 2021). A proximidade entre a área de origem do resíduo e a área de aplicação é considerada muito importante e deve ser respeitada, visando a redução de custos e de emissões de gases gerados pelos meios de transporte, inviabilizando a aplicação (PÁDUA, 2012).

Segundo a Embrapa (2022), o Brasil utiliza atualmente 8% de todo o fertilizante produzido no mundo, estando na quarta posição entre os maiores consumidores, atrás apenas da China, Índia e Estados Unidos. Porém a produção nacional desse insumo é pequena e, para suprir a demanda da agricultura, o país importa mais de 85% das fontes de nutrientes, que podem representar mais de 40% dos custos de produção de algumas culturas.

Diante disso, o panorama geopolítico internacional aponta para a necessidade de um novo modelo de produção de biomassa, com utilização de produtos e processos

que dispensem a utilização de fertilizantes químicos tradicionais e possibilitem a diminuição de emissões de carbono (ERTHAL; ZAMBERLAN; SALAZAR, 2018).

Para manter ou aumentar a produtividade de culturas com potencial bioenergético, e diminuir o impacto ambiental dos cultivos, é necessário o desenvolvimento de produtos e de pacotes tecnológicos eficientes para promover o desenvolvimento, produtividade e tolerância aos estresses bióticos e abióticos nas plantas (VALLE; LORENZI, 2014).

Os fertilizantes químicos tradicionais são insumos de alto custo e que se tornarão inviáveis em diversos modelos de produção. Como consequência, a produtividade será reduzida, caso as culturas se tornem dependentes apenas do fornecimento de nutrientes do solo. Nos últimos anos, a utilização de fertilizantes naturais foi crescente, tendo a finalidade de minimizar o uso de produtos químicos, propiciar produtos agrícolas de melhor qualidade nutricional e reduzir o uso de fertilizantes industriais, que aumentam o custo da produção agrícola (ARAÚJO et al., 2018).

A deficiência de nutrientes para as plantas é um fator limitante para a exploração agropecuária. Os nutrientes que compõem o ciclo vital das plantas são retirados da natureza, e a insuficiência ou o desequilíbrio entre eles pode implicar na absorção deficiente de alguns e excessiva de outros (DOMINGOS; LIMA; BRACCINI, 2015; SOUSA, 2019).

Gramíneas de sistema fotossintético C4 apresentam alta eficiência fotossintética e de utilização de água, além de potencial de alta produção de biomassa (MORAIS et al., 2012; PEDROSO et al., 2014), o que as torna de grande interesse para utilização como culturas energéticas para produção de etanol e outros biocombustíveis (LIMA et al., 2014). O milho é uma cultura energética estratégica para cultivo em áreas pouco apropriadas para cana-de-açúcar, cultura tradicional para produção mundial de biocombustíveis (LOPES; DANTAS; FERREIRA, 2019a).

A possibilidade de produção de grande quantidade de biomassa com utilização mínima de fertilizantes industrializados tradicionais, realça a importância da busca por fontes alternativas de nutrientes para essa cultura.

A soja, por sua vez, vem merecendo atenção crescente como cultura energética, sendo numerosas as pesquisas para definir manejos mais tecnicizados para a cultura, que dispensa qualquer aplicação de fertilizantes nitrogenados por ser capaz de se beneficiar do processo de Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) (HUNGRIA; NOGUEIRA, 2022).

A utilização de tecnologias alternativas, que utilizam produtos ou processos que promovem o crescimento e a tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos, assim como a utilização de fontes alternativas de nutrientes, são soluções promissoras para o desafio de aumento da produtividade agrícola e diminuição do impacto ambiental dos cultivos.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo geral avaliar a eficiência de liberação de nutrientes de um coproduto de mineração de resíduos minerais, produzido na Paraíba pela Agroforte Seridó LTDA, para cultivo de duas culturas energéticas de características contrastantes. Como objetivos específicos foram definidos: 1) determinar a liberação dos nutrientes K, Ca e Mg para a solução do solo em doses crescentes do pó de rocha em Espodossolo e Latossolo; e, 2) testar a capacidade do pó de rocha de atuar diretamente na nutrição e produção de biomassa do milho e da soja cultivados em Espodossolo e Latossolo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O milho e a soja e sua utilização como culturas energéticas

O crescimento populacional e o desenvolvimento tecnológico nos últimos anos aumentaram o consumo energético e acentuaram a necessidade de uma matriz energética confiável e sustentável (VELLOSO; MARTINS; PEREIRA, 2019), principalmente, por esse aumento estar relacionado ao uso de fontes energéticas de petróleo e derivados, que não são renováveis. Em decorrência da crescente necessidade do uso de fontes energéticas alternativas renováveis, com baixo impacto ambiental, destaca-se a biomassa vegetal como fonte energética a ser utilizada (SANTOS et al., 2015).

O milho (*Zea mays* L.), pertencente à família Poaceae, é originário da América Central e cultivado em praticamente todas as regiões do mundo (LOPES; DANTAS; FERREIRA, 2019b). É um dos principais cereais produzidos em escala mundial, amplamente adotado na agricultura familiar e utilizado, principalmente, para a alimentação animal (BORGES et al., 2014; MEDEIROS et al., 2018). Os nutrientes mais exigidos pela cultura são, principalmente, o Nitrogênio (N) e o Potássio (K), seguidos pelo Fósforo (P), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) (FERREIRA, 2012).

O milho é favorecido pelas condições agroclimáticas e técnicas de cultivo, entretanto, fatores climáticos como a radiação solar, temperatura e precipitação influenciam no crescimento e desenvolvimento da cultura, afetando diretamente a produtividade (MALDANER et al., 2014).

O etanol do milho é usado como biocombustível em diversos países, tendo sido inicialmente utilizado como uma alternativa a dependência do petróleo, devido a disponibilidade, o baixo custo de produção e por ser considerado mais limpo, em comparação aos combustíveis fósseis. Mas, ainda há preocupações quanto a produção desse biocombustível, que também pode impulsionar a concorrência com outras culturas alimentícias, além da possibilidade de afetar o mercado de alimentos, visto que o milho é um ingrediente fundamental na alimentação animal (SOUZA; QUEIROZ, 2023).

Atualmente, cerca de 60% do etanol produzido no mundo é fabricado a partir do milho e 25% de cana-de-açúcar; o Brasil, em segundo lugar, responde por

aproximadamente 26,7% da produção mundial, porém, para os próximos anos, espera-se que a produção de etanol cresça mais lentamente devido à maior eficiência dos veículos que reduz a demanda por gasolina e, portanto, por etanol (VIDAL, 2022).

Estudos avaliaram a cultura do milho como fonte energética: 1) balanço energético em diferentes sistemas de produção de milho (CAMPOS et al., 2004); 2) produção de biocombustível a partir do milho (SALLA et al., 2010); 3) análise dos fluxos de energia do sistema de produção de milho para silagem (MARTINS et al., 2015); e 4) avaliação do desempenho da produção do etanol a partir do milho (DONKE, 2016).

Alguns autores também analisaram a influência da aplicação do pó de rocha como fertilizante na cultura de milho, levando em consideração parâmetros como altura das plantas, diâmetro de colmos, números de folhas, produtividade de matéria seca e produtividade de grãos, como também, teores nutricionais foliares, obtendo-se resultados positivos na produtividade do milho e maior acúmulo de nutrientes no tecido foliar do milho, quando os pós de rocha basáltica foram utilizados isolados ou associados à cama de poedeiras e a adubação com S elementar (GHIZZONI et al., 2021; REIS, 2021; WRITZL et al., 2019).

Além de se destacar mundialmente no setor produtivo de milho, o Brasil também tem grande representação na produção mundial de soja, estando em primeiro lugar (SILVA; NUÑEZ, 2023). A soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) pertence à família Fabaceae, é uma das leguminosas mais importantes no setor agrícola devido ao seu alto potencial produtivo, sendo utilizada para alimentação humana e animal, estendendo seu uso a diversos processos industriais (SILVA et al., 2020). Dentre os nutrientes mais exigidos pela soja estão o N e o K, seguidos de P, S, Ca e Mg, sendo o N obtido predominantemente pelo processo de FBN atmosférico (PÁDUA, 2012).

A soja destaca-se entre as matérias-primas utilizadas no Brasil para a produção de biodiesel, por ser uma oleaginosa facilmente explorada e cultivada, devido as condições edafoclimáticas. O biodiesel apresenta vantagens em relação ao combustível fóssil pelas baixas emissões de material particulado, como compostos de enxofre e dióxido de carbono, vindo de matéria-prima renovável (NASCIMENTO et al., 2020).

O biodiesel tem como principal fonte de matéria-prima os óleos vegetais de colza (20%), de soja (25%) e de palma (30%), e o óleo de cozinha residual representa 20%. A União Europeia representa cerca de 32% da produção mundial de biodiesel, sendo os maiores produtores a França, Alemanha, Espanha e Holanda; os Estados Unidos respondem por aproximadamente 18% da produção mundial, utilizando óleo de soja e de cozinha residual como matérias-primas; e o Brasil é o quarto maior produtor mundial de biodiesel, representando em torno de 12,2%, tendo como principal matéria-prima o óleo de soja (VIDAL, 2022).

Foram desenvolvidas pesquisas que avaliaram o uso da soja no setor energético: 1) o processo de obtenção de biodiesel a partir do óleo de soja, onde verificou-se uma diminuição do consumo de combustível quando o teor do mesmo na mistura está na faixa de até 20% (FERRARI; OLIVEIRA; SCABIO, 2005); 2) análises químicas, físicas e cromatográficas de biodiesel produzido a partir do óleo de soja, tendo sido alcançados elevados rendimentos na produção do biodiesel (NASCIMENTO et al., 2020); e 3) análise de cultivares de soja com alto teor de óleo em diferentes épocas de plantio para fins energéticos, onde duas cultivares apresentaram maior teor de óleo: RAÇA (22,49%) e STS820 (21,53%), podendo ser utilizadas para o desenvolvimento de biocombustíveis (SOUZA et al., 2020).

Além da importância da soja como cultura energética, outros estudos também avaliaram os efeitos da adubação da soja com pó de rocha de basalto, apresentando resultados positivos, mantendo-se as características agronômicas elevadas (população de planta, altura de planta, altura de inserção de primeira vagem, número de galhos, número de vagens de um grão, número de vagens de dois grãos, número de vagens de três grãos, número de vagens por planta, número de grãos por planta, peso de mil grãos, produtividade em quilograma por hectare), gerando resultados promissores quando utilizado em substituição ou como complementação ao uso de adubos altamente solúveis (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2020; ALOVISI et al., 2023; AMARAL et al., 2020; RIBEIRO et al., 2023).

2.2 Remineralizadores

A Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, foi instituída para tratar da inspeção e fiscalização da produção e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes,

estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, sendo alterada pela Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013, que passou a incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinada à agricultura. E, a partir de então, remineralizador foi definido como todo 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 físico-químicas ou da atividade biológica do solo (BRASIL, 2013).

A Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016, do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registros, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores destinados à agricultura (BRASIL, 2016).

Os remineralizadores de solo são fontes multielementares de nutrientes que apresentam baixa e/ou gradual solubilidade e relativamente baixa concentração de nutrientes. Devido a essas características, protocolos específicos foram criados para classificação desses produtos com os objetivos de: a) testar a capacidade dos remineralizadores em alterar positivamente uma ou mais variáveis respostas da cultura-alvo ou do solo; e, b) demonstrar que o produto atua na nutrição e/ou desenvolvimento da planta, direta ou indiretamente, ou no condicionamento do solo, melhorando uma ou mais características do solo favoráveis ao crescimento e à produção vegetal (EMBRAPA, 2019).

Portanto, os remineralizadores são uma categoria específica de insumo agrícola, estabelecida por meio da legislação nº 12.890/2013, que pode alterar os índices de fertilidade do solo, sendo, em geral, fontes de Ca, Mg e K, e alguns poucos remineralizadores também fornecem Fósforo (P) e Silício (Si) em quantidades significativas; a maioria dos produtos também fornece micronutrientes, além de melhorar as propriedades do solo. Já o pó de rocha é a rocha apresentada na forma de pó resultante da sequência de etapas de britagem, moagem e classificação por tamanho de partículas para uso agrícola (MARTINAZZO et al., 2022).

2.3 Rochagem na agricultura

Na busca por tecnologias alternativas que reduzam os descartes de resíduos de minas e pedreiras no meio ambiente e, ao mesmo tempo, que promovam a adição de elementos essenciais à nutrição vegetal, a rochagem surge como uma prática de baixo valor agregado e de fácil alcance do pequeno ao grande produtor, que possibilita o desenvolvimento local e regional e pode minimizar os impactos decorrentes da dependência de fertilizantes tradicionais (BRITO et al., 2019).

Essa prática consiste no uso do pó de rocha como fertilizante, ou seja, na aplicação de rochas moídas, que contenham, preferencialmente, quantidades significativas de macronutrientes e de micronutrientes ao solo (RIBES et al., 2012).

O uso da rochagem pode ser viável e sustentável, como adubação do solo e reposição de elementos minerais exportados a partir de culturas, baseando-se na aplicação de pó de certos tipos de rochas que vão contribuir positivamente para a fertilidade do solo (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2020).

Além da possibilidade de alterar positivamente os parâmetros de fertilidade do solo, a rochagem é uma tecnologia que pretende reverter o uso desmedido de insumos químicos, proporcionando o equilíbrio entre os diferentes elementos que compõem os agroecossistemas (THEODORO et al., 2006).

As rochas silicáticas, um dos materiais mais utilizados na rochagem, podem fornecer uma grande variedade de nutrientes porque são formadas por minerais como biotita, flogopita, feldspatos, e por apresentarem teores significativos de Ca, Mg, K e micronutrientes. Assim, a eficiência agrônômica dessa técnica passa pela origem da rocha, mineralogia e composição química, além das características do solo e outros fatores relacionados ao tratamento aplicado (SOUZA, 2014).

Na literatura, muitas pesquisas avaliaram a utilização da rochagem na agricultura, salientando a importância e as vantagens dessa prática na nutrição vegetal, como também, em termos sustentáveis (BRITO et al., 2019; CARVALHO, 2012; PRATES et al., 2022; SOUZA, 2014; SOUZA, 2016).

2.3.1 Pó de rocha

O pó de rocha é um resíduo oriundo de processo de britagem, exploração mineral em pedreiras e corte de rochas, que, ao ser utilizado como produto remineralizador de solo, pode gerar lucros e vantagens para o setor de mineração, principalmente porque esse material muitas vezes é desperdiçado no meio ambiente e, quando comparado aos fertilizantes químicos, minimizam os impactos ambientais (BRITO et al., 2019; LAJÚS et al., 2021).

Os nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas, como cálcio, magnésio e potássio, originam-se dos minerais existentes nas rochas, que disponibilizam esses elementos ao solo para serem assimilados pelas plantas (CORREIA, 2023). No entanto, devido a diferença de solubilidade dos minerais, tem sido desenvolvidas pesquisas que visem acelerar o processo de solubilização para atender a demanda nutricional das culturas (BRANDÃO, 2012).

Cola e Simão (2012) investigaram o uso da rochagem no Brasil, com ênfase na solubilização de potássio, e destacaram que o pó de rocha passa por três processos para solubilização e disponibilização de nutrientes às plantas:

Físicos – Os nutrientes minerais têm mobilidade própria e materiais mais finos (tamanho de argila e silte, ou seja, respectivamente, menores que 0,002 mm e entre 0,002 e 0,05 mm) disponibilizam mais facilmente seus principais elementos. Portanto, o fator granulométrico pode influenciar nas características de permo-porosidade do solo e potencializar a oferta de macro e micronutrientes;

Químicos – O intemperismo e a utilização de soluções extratoras. O primeiro ocorre por meio da ação da água da chuva, que atuará nos minerais que compõem as rochas e o decompõem e, o último, refere-se a diversas soluções extratoras utilizadas para monitorar o teor de nutrientes, como o potássio, liberado no solo e que será absorvido pela planta;

Biológicos – Tem a finalidade de aumentar a solubilização dos nutrientes a partir de estudos sobre os microorganismos do solo para medir os nutrientes presentes na biomassa.

2.3.1.1 Principais nutrientes fornecidos para as culturas

Os nutrientes retirados pelas plantas da natureza podem ser orgânicos, como o Carbono (C), Oxigênio (O) e o Hidrogênio (H), e os minerais, que se dividem, do ponto de vista quantitativo, em macronutrientes e micronutrientes, quanto a exigência pelos vegetais (DOMINGOS; LIMA; BRACCINI, 2015).

As rochas moídas, que são os rejeitos de mineradoras e pedreiras, denominadas de pó de rocha, têm potencial de melhorar a fertilidade do solo por ter diversas quantidades de macronutrientes e micronutrientes (NAGATANI et al., 2023), dentre os quais, pode-se destacar o Ca, Mg e o K.

O Cálcio é um macronutriente responsável pela rigidez da parede celular, também exercendo papel na absorção iônica, sendo fundamental na manutenção da integridade estrutural e funcional das membranas e, na sua ausência, há redução de crescimento de tecidos meristemáticos, prejuízos nas extremidades de crescimento e folhas novas (LANGE et al., 2021). O Magnésio, que está presente na molécula de clorofila, é um macronutriente que atua como intermediário na produção de carboidratos. Além disso, é um importante ativador enzimático em muitos processos da vida das plantas, sendo cofator de quase todas as enzimas fosforilativas que forma uma ponte entre o ATP e o ADP e a molécula da enzima, fundamental em processos como a fotossíntese e a respiração (ARAÚJO; SANTOS; CAMACHO, 2013; LUENGO et al., 2018; LANGE et al., 2021).

O Mg é o oitavo elemento mais abundante na crosta terrestre e o segundo cátion mais abundante nas plantas, porém a maior parte do Mg do solo está incorporado na estrutura cristalina dos minerais e não está disponível diretamente para absorção pelas plantas, sendo o íon Mg^{2+} a única forma disponível desse nutriente para absorção pelas culturas (CHEN et al., 2018).

Na nutrição vegetal, a relação do Ca e Mg está relacionada as suas propriedades químicas muito similares, como o grau de valência e a mobilidade, havendo competição pelos sítios de adsorção no solo e na absorção pelas raízes e, como resultado, a presença excessiva de um pode afetar os processos de adsorção e absorção do outro (SALVADOR; CARVALHO; LUCCHESI, 2011).

A deficiência de Ca e Mg ocorre, geralmente, em solos ácidos e arenosos por causa da alta lixiviação e dos efeitos antagônicos com outros cátions durante sua absorção pelas raízes, principalmente com o Alumínio (Al), e a fertilização excessiva com Potássio (K), que pode levar a deficiências de Ca e Mg nas plantas (CAKMAK, 2014). A deficiência é induzida nesses solos porque a lixiviação remove o Ca e Mg para as camadas profundas, deixando a zona radicular mal suprida destes (BOSE; BABOURINA; RENGEL, 2011). Precipitação intensa em regiões tropicais levam à lixiviação de Ca e Mg, a toxicidade de alumínio e altos níveis de elementos concorrentes, como K, Ca, Amônio (NH_4^+) e Sódio (Na) (GUO et al., 2016).

O Potássio se apresenta predominantemente na forma iônica K^+ (PERIN et al., 2010). É um dos macronutrientes mais utilizados na adubação das culturas, sendo fundamental para o desenvolvimento de frutos, translocação de metais, balanço iônico e ativação enzimática, que influencia na qualidade e produtividade dos produtos (LOPES-ASSAD et al., 2006).

É preciso conhecer a mineralogia e as formas de K nos solos para indicar o suprimento e disponibilidade desse nutriente para as plantas, visto que os teores insuficientes de K disponível na maioria dos solos brasileiros contrastam com as exigências de tal nutriente pelas culturas, o que promove um aumento no consumo de adubos potássicos (RIBEIRO et al., 2010).

No Brasil, a grande maioria do Cloreto de Potássio (KCl) utilizado na agropecuária é importada, devido as reservas brasileiras serem pequenas, gerando custos totais anuais elevados para o país, porém a abundância de várias rochas silicáticas que contêm K apresentam um potencial uso como fertilizante em sua forma moída (pó de rocha) (BARBOSA FILHO et al., 2006; CASTRO et al., 2022).

Processos físicos, químicos e biológicos voltados a solubilização de K a partir de fragmentos rochosos vêm sendo estudados ao longo dos anos e o sucesso desses métodos pode reduzir a dependência da aquisição internacional e, conseqüentemente, implicará na redução de custos (COLA; SIMÃO, 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Resíduo de mineração utilizado

Neste trabalho foi utilizado um subproduto de mineração (pó de rocha) produzido pela Agroforte Seridó LTDA, estabelecimento cadastrado no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) sob nº PB 001032-4, localizado no município de Junco do Seridó/PB. A caracterização geológica do pó de rocha foi realizada e/ou acompanhadas pela Reminera Soluções em Geologia e Meio Ambiente LTDA (registrada no MAPA sob nº PE-00827). As análises seguiram as especificações e garantias para registro de remineralizador de solo no Brasil, estabelecidas pelo MAPA por meio da Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016.

Para a descrição petrográfica, foi confeccionada uma seção delgada (tamanho 5,5 x 2,5 cm) de rocha pelo método de impregnação com resina. A seção foi analisada em microscópio petrográfico Zeiss Scope.A1 do Laboratório de Petrologia Sedimentar (LPS/LITPEG/UFPE). A análise modal incluiu contagem de 1000 pontos distribuídos regularmente com auxílio de um *charriot* de passo acoplado ao microscópio.

Para especificação de natureza física (análise granulométrica), foram utilizadas as peneiras 4,75 mm (ABNT nº 4), 2,36 mm (ABNT nº 7), 2,00 mm (ABNT nº 10), 0,85 mm (ABNT nº 20) e 0,30 mm (ABNT nº 50), e balança de precisão. A peneira 2,36 mm (ABNT nº 7) foi utilizada no lugar da peneira 2,80 mm (ABNT nº 8), sem prejuízo quanto à avaliação da respectiva garantia granulométrica.

Para análise do pH de abrasão da amostra, foi utilizado o medidor de pH de bolso AKSO AK-90 (resolução de 0,1; exatidão de $\pm 0,1$). A análise seguiu o método proposto por Grant (1969).

Para as análises geoquímicas, foi utilizado um espectrômetro de fluorescência de raios-X Rigaku modelo ZSX Primus II, equipado com tubo de Rh e 7 cristais analisadores. Após quarteamento manual, a amostra foi seca em estufa a 110°C. Uma porção de amostra seca foi prensada em cápsula de alumínio com 30 toneladas de força.

Arsênio (As) e Cádmio (Cd) foram analisados pelo método Espectrometria de Emissão Óptica / US EPA Method 200.7; o Chumbo (Pb) foi analisado pela

Fluorescência de Raios-X; e o Mercúrio (Hg) foi analisado com o Analisador Direto De Mercúrio – DMA / US EPA Method 7473-3.

3.2 Coleta e caracterização dos solos utilizados nos experimentos

Foi realizada a coleta de dois solos, os quais foram coletados na camada superficial, na profundidade de 0-20 cm do perfil, sendo um Espodossolo, da Estação Experimental de Itapirema (IPA), no município de Goiana - PE, e um Latossolo, coletado em uma propriedade rural no município de Paudalho – PE.

Os solos foram secos ao ar livre, peneirados em malha de 2 mm e homogeneizados. Subamostras foram separadas para determinação do pH em água (proporção solo:água de 1:2,5); do sódio (Na^+), potássio (K^+), fósforo (P) (extraídos com Mehlich⁻¹ e dosados por fotometria de emissão de chama (Na^+ e K^+) e colorimetria (P)); cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), alumínio (Al^{3+}) (extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e dosados por titulometria); hidrogênio (H^+); soma de bases (S); capacidade de troca catiônica (CTC); saturação por bases (V%); saturação por alumínio (m%) (Tabela 1). Todas as análises foram realizadas seguindo metodologias propostas pela Embrapa (2017).

Tabela 1 – Caracterização dos solos utilizados nos experimentos

Local	P	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Al^{3+}	H^+	S	CTC	V	m
	mg/dm ³	H ₂ O	cmolc/dm ³								%	
Espodossolo	4	4,50	0,35	0,65	0,02	0,03	0,90	5,4	1,1	7,4	14	46
Latossolo	4	5,20	5,75	2,20	0,05	0,10	0,05	4,6	8,1	12,8	63	1

A granulometria (proporções de areia, silte e argila) foi determinada pelo método da pipeta, permitindo definir a classe textural de cada amostra (Tabela 2).

Tabela 2 - Análise granulométrica dos solos utilizados nos experimentos

Local	Classe textural	Composição granulométrica (%)			
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
Espodossolo	Areia	59	31	2	8
Latossolo	Franco-Arenoso	49	25	8	18

3.3 Experimentos

Para determinar o potencial do pó de rocha para utilização como remineralizador de solo, foi seguido o protocolo para avaliação da eficiência agrônômica de remineralizadores de solo sugerido pela Embrapa (2019).

Os experimentos foram conduzidos no Departamento de Energia Nuclear (DEN) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), localizado em Recife – PE (Latitude – 8°03'28.044", Longitude – 34°57'21.96"), com altitude de 10 m. O clima na região, segundo a classificação de Koppen, é do tipo Am, com temperatura média de 18 °C no mês mais frio e com média de precipitação pluvial anual superior a 700 mm.

3.3.1 Teste de incubação

O teste de incubação foi iniciado em 25 de novembro de 2022. O pó de rocha foi aplicado na granulometria <2 mm em diferentes doses de interesse, nos dois solos coletados. Foram utilizados 120 recipientes de material inerte, contendo 1 kg de solo (Figura 1), sendo aplicadas as doses referentes a 0, 100, 200, 300, 400 e 500% da recomendação de potássio para cada cultura e análise de solo, conforme Cavalcanti (2008). As doses correspondem à aplicação de 80, 160, 240, 320 e 400 kg de K₂O ha⁻¹ para o milho e 60, 120, 180, 240 e 300 kg de K₂O ha⁻¹ para a soja. O teste teve duração de 90 dias.

Figura 1 – Ensaio de incubação de solos com pó de rocha



Fonte: A autora (2022).

Os tratamentos foram testados com 5 repetições e, após aplicadas as doses de pó de rocha, as amostras foram homogeneizadas e, em seguida, aplicada água destilada para que a umidade do solo incubado fosse elevada até 80% da capacidade de campo, também sendo feitas pequenas perfurações nas tampas dos recipientes para favorecer as trocas gasosas.

Foram coletadas, aproximadamente, 50g de amostras de solo de cada parcela experimental, aos 7, 30, 60 e 90 dias de incubação, para avaliação da disponibilidade de Ca, Mg e K para a solução do solo. Após secagem ao ar, procedeu-se à determinação do pH em água (1:2,5) e dos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , utilizando as soluções extratoras: KCl 1 mol L^{-1} para Ca^{2+} e Mg^{2+} , e duplo-ácida (Mehlich 1) para K^+ . As leituras de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram obtidas por espectrofotometria de absorção atômica (EAA) e o K^+ foi determinado por fotômetro de chama, seguindo a metodologia descrita em Embrapa (2009).

3.3.2 Teste de eficiência agrônômica em casa de vegetação

O primeiro experimento em casa de vegetação teve início no dia 10 de outubro de 2022, tendo duração total de 135 dias. O experimento foi conduzido utilizando os mesmos solos e doses de pó de rocha testados no experimento de incubação.

O experimento foi conduzido utilizando um esquema fatorial ($2 \times 2 \times 6$) com delineamento em blocos casualizados, com 5 repetições, totalizando 120 vasos com capacidade de 1,7 litros. Os vasos foram utilizados para cultivos sucessivos de milho (*Zea mays* L), variedade CMS-36, e soja (*Glycine max* (L.)), variedade FT 3191 IPRO.

Após a aplicação das doses de pó de rocha nos vasos preenchidos com solo, foi realizada a homogeneização. Em seguida, os vasos foram regados e a semeadura foi realizada, sendo utilizadas 3 sementes por vaso (Figura 2).

Figura 2 – Germinação do milho e da soja



Fonte: A autora (2022).

Durante a condução do experimento, a rega foi realizada diariamente e com aplicação manual. Aos 10 dias após a emergência, foi feita a seleção e desbaste, deixando-se uma plântula por vaso (Figura 3).

Figura 3 - 1º ciclo de cultivo em casa de vegetação



Fonte: A autora (2022).

Visando suprir a deficiência de N e P durante o desenvolvimento das culturas, foram realizadas adubações utilizando-se ureia como fonte de N (apenas para o milho) e superfosfato simples como fonte de P (milho e soja), de acordo com Cavalcanti (2008).

Foram realizados três cultivos sucessivos, com 45 dias de duração, nos mesmos vasos e com as mesmas espécies de plantas. Ao término de cada ciclo, a parte aérea das plantas foi coletada, acondicionada em sacos de papel e identificada. As plantas foram secas em estufa a 65 °C por 72 horas e pesadas para a obtenção da matéria seca da parte aérea (MS). Após a pesagem, as plantas de milho e soja foram moídas, armazenadas em sacos plásticos e encaminhadas para digestão e análises laboratoriais.

3.4 Análises laboratoriais

3.4.1 Amostras de solo

Foram analisados os teores disponíveis de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e pH nas amostras de solo, de acordo com a metodologia descrita em Embrapa (2009).

A determinação do pH foi realizada por meio de eletrodo combinado, imerso em suspensão solo/água na proporção de 1:2,5. Sendo assim, pesados 10 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em copo plástico e adicionados 25 mL de água destilada, misturando-os com bastão individual e deixando em repouso por 1 hora. Após o

período de repouso, a mistura foi agitada novamente com o bastão e, em seguida, o eletrodo foi colocado na suspensão homogeneizada para a leitura do pH.

A leitura do K^+ no solo foi feita por meio de uma solução extratora duplo-ácida (Mehlich 1), que consiste na mistura de ácido clorídrico e ácido sulfúrico. Foram pesados 10 g de TFSA e colocados em Erlenmeyer de 125 mL e adicionados 100 mL da solução extratora duplo-ácida, sendo essa mistura levada para agitação durante 5 minutos em agitador horizontal. Posteriormente, o material foi deixado em repouso durante uma noite para decantação (16 horas). Os extratos foram filtrados e reservados para determinação em fotômetro de chama.

Para as leituras de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo, foi realizada a extração a partir de uma solução extratora de KCl 1 mol/L⁻¹. Foram pesados 10 g de TFSA e colocada em Erlenmeyer de 125 mL, sendo adicionados 100 mL da solução extratora e, essa mistura, levada para agitação durante 5 minutos em agitador horizontal. Em seguida, o material foi deixado em repouso durante uma noite para decantação (16 horas). Os extratos foram filtrados e uma alíquota retirada para determinação de Ca e Mg, cujas leituras foram obtidas por espectrofotometria de absorção atômica (EAA).

3.4.2 Amostras de plantas

Foram pesadas 0,5 g de amostras de plantas em tubo digestor de 80 mL para determinação dos teores totais de Ca, Mg e K no tecido vegetal, de acordo com a metodologia descrita em Embrapa (2009).

Foi realizada a digestão úmida das amostras em sistema aberto, usando bloco digestor como fonte de calor e solução nitro-perclórica ($HNO_3 + H_2O_2$) para digerir a matéria seca. Adicionou-se 8 mL da solução ácida nos tubos, sendo levados para o bloco digestor, que foi aquecido até alcançar a temperatura de 120 °C, permanecendo nesta temperatura por 1 hora até cessar o desprendimento do vapor castanho de NO_2 . Após isto, a temperatura foi elevada a 200 °C, mantendo-se até cessar o desprendimento do vapor branco de $HClO_4$, totalizando 4 horas no bloco digestor. Foi feita uma prova em branco para cada bateria de amostras, adotando os mesmos procedimentos das demais amostras, exceto a adição da matéria seca para digestão.

Depois da digestão, as amostras ficaram esfriando e, em seguida, foram transferidas para balão de 25 mL e seu volume completado com água destilada. Os extratos foram armazenados em frascos de 100 mL, e as leituras de Ca, Mg e K realizadas por espectrofotometria de absorção atômica (EAA) e em fotômetro de chama, respectivamente.

Os teores acumulados dos nutrientes nos tecidos vegetais de milho e soja foram calculados a partir da matéria seca e dos teores totais de Ca, Mg e K, de acordo com a equação 1 (adaptada de LAVIOLA; DIAS, 2008):

$$\text{Equação 1: NA macro (mg)} = \text{MS (mg)} \times \text{concentração do nutriente (\%)} / 100$$

Em que:

NA macro = quantidade do macronutriente acumulado na matéria seca da parte aérea (MS) produzida pelas plantas testadas.

3.5 Análise estatística

A análise estatística dos dados das amostras de plantas e de solo foi realizada por meio do programa estatístico Assistat e os efeitos significativos comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do Remineralizador

Análise petrográfica

Na seção delgada, predominam anfibólios da série tremolita-actinolita, e em menor proporção, quartzo e feldspato (potássico e plagioclásio). Minerais opacos, moscovita, clinopiroxênio e titanita ocorrem como minerais acessórios. Hidróxidos de ferro, epidoto, clorita, talco e argilominerais ocorrem como minerais alteração (Tabela 3).

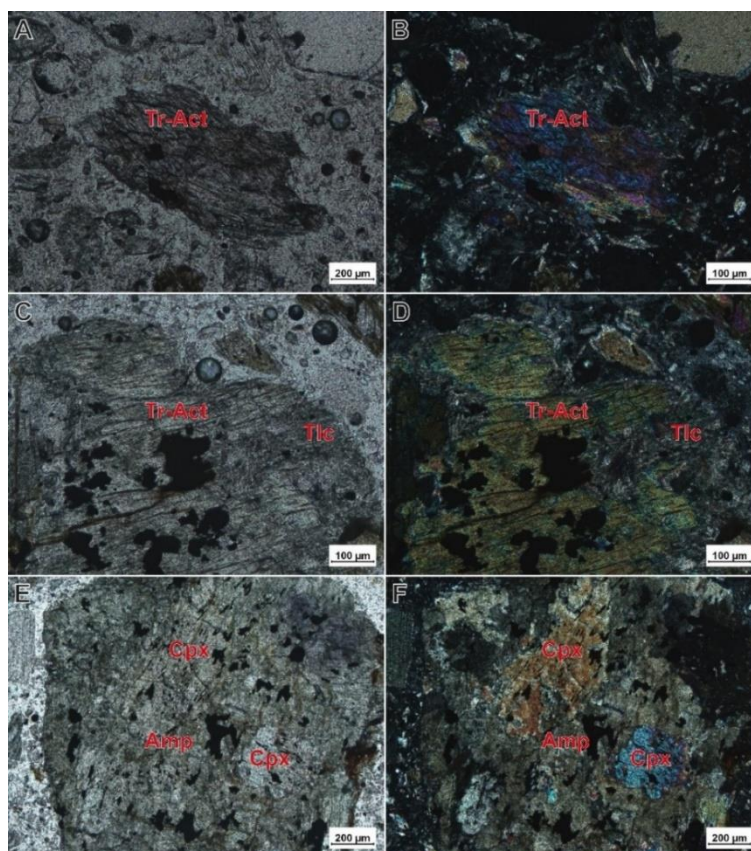
Tabela 3 - Fases minerais identificadas na amostra PRS01, com indicação de sua composição química e proporção modal (volume) na rocha

Minerais	Fórmula Química	Vol. na rocha (%)
Primários		
Tremolita-actinolita	$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	47,8
Quartzo	SiO_2 (sílica) livre	15,2
Feldspato Indiscriminado	KAlSi_3O_8 e/ou $(\text{Na}, \text{Ca})\text{Al}(\text{Al}, \text{Si})\text{Si}_2\text{O}_8$	8,5
Feldspato Potássico	KAlSi_3O_8	3,5
Acessórios e Secundários		
Pseudomorfos de anfibólios (hidróxido $\text{Fe} \pm$ epidoto)	$\text{FeOOH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$; $\text{Ca}_2(\text{Fe}, \text{Al})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$	8,5
Minerais Opacos	Incluem Fe_3O_4 ; Fe_2O_3	5,8
Moscovita	$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$	4,2
Clinopiroxênio	$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$	2,3
Clorita	$(\text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe})_{12}[(\text{Si}, \text{Al})_8\text{O}_{20}](\text{OH})_{16}$	2,1
Talco	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	0,9
Titanita	CaTiSiO_5	0,2
Hornblenda	$(\text{Na}, \text{K})_0\text{-Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al}, \text{Ti})_5(\text{Si}_6\text{Al}_2)_8\text{O}_{22}(\text{OH}, \text{O})_2$	0,2
Argilominerais	-	0,2

Os anfibólios tremolita-actinolita ocorrem em grãos de tamanhos variados (<0,3-2 mm) (Figuras 4a, b), às vezes, formando partículas de até 3,5 mm. Localmente, altera a talco e clorita, e alteração dos anfibólios e formação de hematita (Figuras 4c, d). Microfraturas são frequentes, às vezes, preenchidas por hidróxidos de ferro.

Clinopiroxênio altera a anfibólios (tremolita-actinolita) nas bordas e ao longo da clivagem (Figuras 4e, f).

Figura 4 - Fotomicrografias da amostra PRS01: a) e b) anfibólios da série tremolita-actinolita apresentando clivagens típicas (a: polarizador descruzado (PD); b: polarizador cruzado (PC); c) e d) anfibólios da série tremolita-actinolita alterando a talco(?) nas bordas (seta) (c: PD; d: PC); e) e f) núcleos reliquiais de clinopiroxênio em anfibólios (e: PD; f: PC). (Tr-Act: tremolita-actinolita; Tlc: talco; Cpx: clinopiroxênio; Amp: anfibólios)



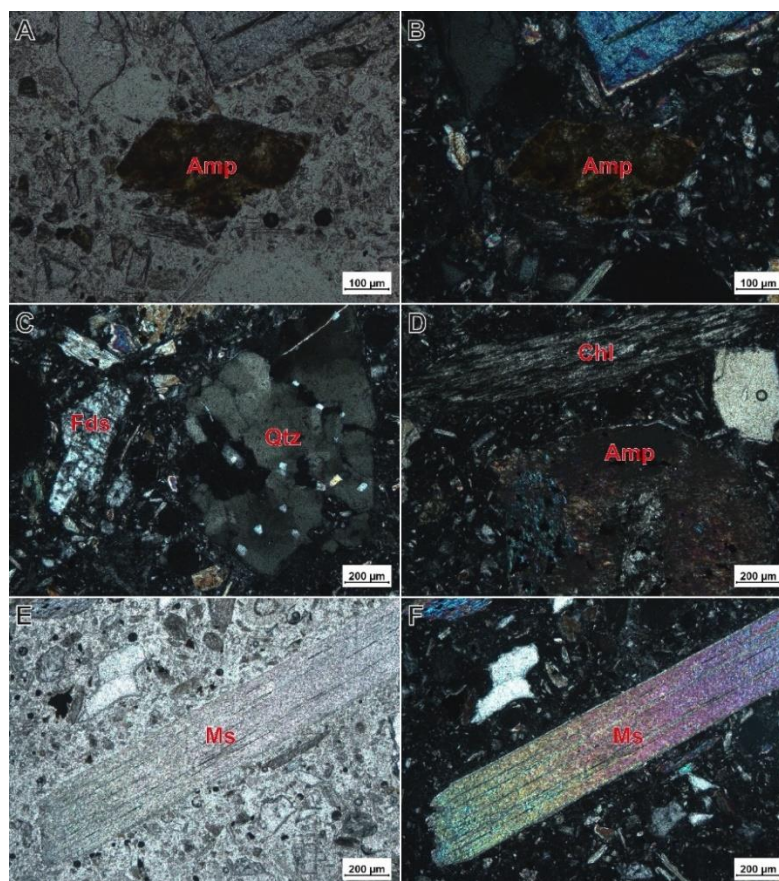
A atração da amostra ao ímã de neodímio indica mineral magnético, o que sugere que os minerais opacos incluem magnetita (corroborada pela cor cinza à luz oblíqua). Alguns cristais apresentam reflexos vermelhos, sugerindo alteração a

hematita. Manchas de coloração laranja/amarela frequentemente associados a esses minerais constituem epidoto e óxidos e hidróxidos de ferro, provavelmente, trata-se de biotita (CÂMARA et al., 2021) (Figuras 5a, b).

O feldspato potássico é o microclina, e ocorre em grãos de até 2 mm (geralmente, <0,7 mm) com microfraturas irregulares e argilização ausente a moderada. Plagioclásio ocorre em grãos <0,3 mm, às vezes, com microfraturas e argilização ausente a moderada. Quartzo ocorre monocristalino, em grãos de até 3 mm (geralmente, <1 mm), às vezes, com microfraturas (Figuras 5c, d).

Mica branca ocorre em lamelas esparsas de até 8 mm (Figuras 5e, f), algumas com inclusões de opacos ao longo da clivagem.

Figura 5 - Fotomicrografias da amostra: a) e b) pseudomorfos de anfibólios formados por epidoto e hidróxidos de ferro (a: PD; b: PC); c) grãos de quartzo e feldspato (PC); d) pseudomorfo de anfibólios formados por clorita (seta) (PC); e) e f) mica branca (e: PD; f: PC). (Amp: anfibólios; Fds: feldspato; Qtz: quartzo; Chl: clorita; Ms: moscovita)



pH de abrasão

A IN nº5 (BRASIL, 2016) não especifica valores, mas determina a tolerância de uma (1,0) unidade para menos em relação ao valor declarado. Martins (2013) recomenda que o valor de pH de abrasão de rochas silicáticas utilizadas para fins de rochagem seja $\geq 7,0$, uma vez que rochas com pH alcalino são compostas por elementos químicos alcalinos e alcalinos-terrosos (K, Ca, Mg).

A amostra PRS01 apresentou valores próximos a 7,0, podendo ser considerado favorável para fins de rochagem (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores de pH de abrasão da amostra estudada

Amostra	Valor de pH de abrasão
PRS01	6,9

Especificação de Natureza Física

A amostra PRS01 atende a todas as garantias granulométricas para a especificação de natureza física pó (Tabela 5), sendo a garantia de 100% de partículas passantes na peneira 2,00 mm (ABNT nº 10) atendida dentro da tolerância de 5% para menos (mínimo de 95%).

Tabela 5 - Especificação de Natureza Física da amostra PRS01 e garantias granulométricas; em negrito, garantias atendidas pela amostra

PRS01				
Peneira	Partículas Passantes (%)	Garantias Granulométricas (IN nº 5/2016, ANEXO I)		
		Filler	Pó	Farelado
4,75 mm (ABNT nº4)	99,95	-	-	100% passantes
2,80 mm (ABNT nº7)	-	-	-	mín. 80% passantes
2,36 mm (ABNT nº8)	96,44	-	-	-
2,00 mm (ABNT nº10)	94,99	-	100% passantes	-
0,85 mm (ABNT nº20)	74,43	-	mín. 70% passantes	máx. 25% passantes

0,30 mm (ABNT nº50)	53,92	100% passantes	mín. 50% passantes	-
---------------------	-------	-------------------	---------------------------	---

Análises Litogeoquímicas

Seguindo as orientações da IN nº 5 do MAPA (BRASIL, 2016) a respeito das especificações e garantias para registro de pó de rocha como remineralizador (Capítulo I, Seção III, Subseção I, Art. 4º), seguem resultados de análise de macro e micronutrientes (incluindo soma de bases e teor de óxido potássio).

Macronutrientes

Para a soma de bases ($K_2O + CaO + MgO$) e K_2O são exigidos teores mínimos para registro de remineralizador de solo. Para o P_2O_5 , o MAPA não exige especificação/garantia mínima. Entretanto, para ser declarado, o fósforo precisa ter teor mínimo de 1%.

Teor de Óxido de Potássio

Os dados obtidos mostram que PRS01 possui teor de K_2O de 3,28% (Tabela 6), obedecendo assim à garantia, visto que, em relação à concentração de K_2O , o MAPA determina que essa deve ser igual ou superior a 1% (com tolerância de 25% para menos) para registro de remineralizador.

Soma de Bases

A SB obtida para a amostra PRS01 foi de 15,12% (Tabela 6). De acordo com o MAPA, a soma de bases (SB) é determinada pela soma dos óxidos de cálcio, magnésio e potássio ($CaO + MgO + K_2O$), e deve ser $\geq 9\%$ na rocha para configurá-la como possível agromineral capaz de fornecer suprimento representativo de nutrientes essenciais ao solo. O MAPA determina a tolerância de até 10% para menos da SB, sem ultrapassar 1,5 unidade.

Micronutrientes

Exemplos de micronutrientes disponibilizados por meio da rochagem: B (Boro), Cl (Cloro), Cu (Cobre), Fe (Ferro), Mn (Manganês), Mo (Molibdênio), Zn (Zinco), Na (Sódio), Co (Cobalto), Si (Silício) e Ni (Níquel). A amostra PRS01 apresenta teores declaráveis de Si, Fe e Ni.

A IN nº5 (BRASIL, 2016) não exige teores mínimos de micronutrientes para registro de remineralizador, mas determina os teores mínimos que esses devem possuir para que sejam declarados (tabela 6). Uma tolerância de 25% para menos é admitida para cada um.

Tabela 6 - Teores dos elementos (%) no pó de rocha estudado. PF = Perda ao Fogo; SB = Soma de Bases ($K_2O + CaO + MgO$)

Na ₂ O	0,31		
MgO	7,77		
Al ₂ O ₃	19,07		
SiO ₂	52,92		
P ₂ O ₅	0,06		
SO ₃	0,04		
Cl	0,26		
K₂O	3,28		
CaO	4,07		
TiO ₂	0,17		
Cr ₂ O ₃	0,11		
MnO	0,09		
Fe ₂ O _{3T}	6		
Co ₂ O ₃	0,01		
NiO	0,07		
CuO	<0,01		
ZnO	0,01		
Rb ₂ O	0,03		
SrO	<0,01		
ZrO ₂	<0,01		
Nb ₂ O ₅	<0,01		

Macronutrientes	Teor obtido (%)	Garantia IN Nº 5 10/03/16
K₂O	3,28	≥ 1%
SB	15,12	≥ 9%

Micronutrientes Declaráveis	Teor obtido (%)	Garantia IN Nº 5 10/03/16
Si	24,74	> 0,05%
Fe	4,2	> 0,1%
Ni	0,05	> 0,005%

PbO	0,01
PF	5,73
Total	100

AMOSTRA: PRS-01				
Parâmetro	Resultado	Unidade	GM ¹	Método
As	< 0,12	Ppm	≤ 15 ppm	Espectrômetro de Emissão Óptica / US EPA Method 200.7
Cd	3,13	Ppm	≤ 10 ppm	Espectrômetro de Emissão Óptica / US EPA Method 200.7
Pb	< 20	Ppm	≤ 200 ppm	Fluorescência de Raios-X Portátil
Hg	< 0,025	Ppm	≤ 0,1 ppm	Analizador Direto De Mercúrio – DMA / US EPA Method 7473-3

Os anfibólios tremolita-actinolita, fase mineral mais abundante do pó de rocha estudado, são fontes importantes dos macronutrientes Ca^{+2} e Mg^{+2} , além de ser facilmente intemperizado (reatividade alta na interação água-solo-planta), o que já é demonstrado por seus minerais de alteração (clorita e talco). Esses últimos também constituem fontes de Si^{+4} , Mg^{+2} e Fe^{+2} , junto à hornblenda e epidoto (também fontes de Ca^{+2}). Além disso, tem-se a biotita como uma fonte de K^{+} .

4.2 Teores de potássio, cálcio e magnésio nos solos incubados

Considerando as doses de pó de rocha baseadas na recomendação para a cultura do milho, pôde-se constatar que a disponibilidade de K^{+} aumentou aos 90 dias de incubação no Espodossolo e no Latossolo, inclusive no tratamento controle (sem adição de pó de rocha) (Tabela 7).

Tabela 7 – Teores de potássio (K^{+}) no solo após 7, 30, 60 e 90 dias de incubação com diferentes doses de pó de rocha (0, 100, 200, 300, 400 e 500% da recomendação)

K^{+} (cmolc.kg⁻¹)								
<i>Recomendação para Milho</i>								
Dose (%)	Espodossolo				Latossolo			
	7	30	60	90	7	30	60	90
0	0,08Abc	0,05Ab	0,02Ab	0,18Aa	0,11Ab	0,10Ab	0,09Bb	0,31Aa

100	0,08Ab	0,05Abc	0,03Abc	0,26Aa	0,10Ab	0,11Ab	0,09Bb	0,31Aa
200	0,09Ab	0,05Abc	0,03Ac	0,26Aa	0,09Ab	0,10Ab	0,09Bb	0,31Aa
300	0,07Ab	0,05Abc	0,03Ac	0,26Aa	0,09Ab	0,09Ab	0,09Bb	0,30Aa
400	0,06Ab	0,04Abc	0,03Ac	0,25Aa	0,09Ab	0,10Ab	0,09Bb	0,32Aa
500	0,07Ab	0,04Ac	0,04Ac	0,18Aa	0,10Ab	0,10Ab	0,23Aa	0,31Aa
<i>Recomendação para Soja</i>								
Dose (%)	Espodossolo				Latossolo			
	7	30	60	90	7	30	60	90
0	0,05Ab	0,04Ab	0,02Ab	0,18Aa	0,11Ab	0,10Ab	0,24Aab	0,32Aa
100	0,07Aa	0,04Aa	0,03Aa	0,09Aa	0,11Ab	0,10Ab	0,31Aa	0,32Aa
200	0,05Aa	0,04Aa	0,03Aa	0,17Aa	0,12Ab	0,10Ab	0,25Aab	0,32Aa
300	0,05Ab	0,04Ab	0,03Ab	0,25Aa	0,11Ab	0,09Ab	0,32Aa	0,32Aa
400	0,05Ab	0,04Ab	0,03Ab	0,26Aa	0,12Ab	0,09Ab	0,17Aab	0,33Aa
500	0,05Ab	0,05Ab	0,03Ab	0,26Aa	0,11Ab	0,09Ab	0,16Aa	0,31Aa

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Aos 60 dias, o teor de K^+ disponível foi maior no Latossolo incubado com a dose equivalente a 500% da recomendação da adubação para o milho. Para as demais doses e para o Espodossolo, não foram observadas diferenças na disponibilização de K^+ durante o período de incubação.

Para as doses de pó de rocha recomendadas para a cultura da soja, foi observado o mesmo comportamento do milho, aos 90 dias de incubação, houve maior liberação de K^+ nos dois solos e em todas as doses testadas, porém isto também foi observado no tratamento testemunha. Sendo assim, é possível dizer que o K^+ disponibilizado pelos tratamentos não foi expressivo.

Barbosa Filho et al. (2006) observaram, no geral, uma liberação máxima de K^+ , a partir de rochas silicáticas, aos 90 dias de incubação de solos contrastantes, havendo menores teores de K nos solos arenosos. Os autores relacionam este resultado à granulometria, visto que a composição do pó de rocha pode sofrer variações e determinada granulometria pode não conter minerais como biotita, que libera K^+ para o solo.

Bolland e Baker (2000), ao realizar experimentos em casa de vegetação e em campo, não obtiveram uma liberação significativa de K^+ do pó de rocha de granito, contendo biotita, em solos arenosos deficientes de potássio. Escosteguy e Klamt (1998) notaram um aumento nos teores de K^+ em um Latossolo Vermelho, após um

período de 300 dias de incubação, com aplicação de pó de rochas basálticas, no entanto, os teores também não foram expressivos.

A biotita é uma fonte de K e, nos latossolos, solos com alto grau de intemperismo, os efeitos dos tratamentos aplicados são mais perceptíveis por causa da ausência de biotita.

Com relação ao Ca^{2+} , de modo geral, entre as doses, os maiores teores foram encontrados entre os 60 e 90 dias de incubação (Tabela 8).

Tabela 8 – Teores de cálcio (Ca^{2+}) no solo após 7, 30, 60 e 90 dias de incubação com diferentes doses de pó de rocha (0, 100, 200, 300, 400 e 500% da recomendação)

Ca^{2+} (cmolc.kg⁻¹)								
<i>Recomendação para Milho</i>								
Dose (%)	Espodossolo				Latossolo			
	7	30	60	90	7	30	60	90
0	4,30Aa	3,06Ab	3,98Aa	4,35Aa	8,41Aab	7,58Ab	9,71Aa	9,88Aa
100	3,86ABb	3,42Ab	4,09Aa	4,67Aa	6,85Bb	6,32Ab	8,56Aa	9,35Aa
200	3,99ABab	2,93Ab	4,21Aa	4,66Aa	8,36Ab	6,49Ab	9,67Aa	10,40Aa
300	3,54Bab	3,05Ab	4,04Aa	4,21Aa	6,96Bb	6,52Ab	9,15Aa	6,65Bb
400	3,61ABb	3,21Ab	4,12Aa	4,52Aa	7,65Bb	7,74Ab	9,78Aa	7,31Bb
500	3,45Bb	3,21Ab	3,97Aab	4,40Aa	6,20Bb	6,91Ab	9,24Aa	8,00Aba
<i>Recomendação para Soja</i>								
Dose (%)	Espodossolo				Latossolo			
	7	30	60	90	7	30	60	90
0	3,41Ab	3,37ABb	4,07Aa	4,41Aa	6,17Ab	7,06Bb	9,43Aa	6,70Ab
100	3,30Ab	3,60ABb	4,25Aa	4,32Aa	7,15Ab	9,94Aa	9,73Aa	7,24Ab
200	3,12Ab	3,44ABb	3,85Aa	4,39Aa	7,21Ab	9,39Aa	9,40Aa	7,01Ab
300	3,45Aa	3,69Aa	4,03Aa	4,10Aa	6,32Ab	8,48Ba	8,77Aa	6,77Ab
400	3,79Aa	2,74Bb	3,94Aa	4,49Aa	7,00Ab	8,16Ba	8,69Aa	6,55Ab
500	3,50Ab	2,47BCc	3,99Aa	4,40Aa	6,21Ab	7,99Bab	8,54Aa	6,59Ab

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No Latossolo, nas doses testadas para soja, os valores significativos se concentraram aos 60 dias de incubação.

O incremento significativo de Ca^{2+} em 60 dias, período anterior ao que foi observado para o K^+ , provavelmente se deve a maior disponibilidade de Ca^{2+} nos solos, que promoveu a sua aproximação às raízes em maior quantidade (MEDEIROS et al., 2008). Além disso, quase 50% do volume do pó de rocha utilizada é constituído

de anfibólitos tremolita-actinolita, ricos em cálcio, que disponibilizam os íons de cálcio, sendo um mineral susceptível ao intemperismo. Lange et al. (2021) verificaram que maiores concentrações de Ca podem reduzir a absorção de K e Mg, o que pode justificar inicialmente o incremento significativo do Ca.

Houve diferença significativa na disponibilidade do Mg^{2+} ao longo do período de incubação (Tabela 9).

Tabela 9 – Teores de magnésio (Mg^{2+}) no solo após 7, 30, 60 e 90 dias de incubação com diferentes doses de pó de rocha (0, 100, 200, 300, 400 e 500% da recomendação)

Mg^{2+} (cmolc.kg⁻¹)								
<i>Recomendação para Milho</i>								
Dose (%)	Espodossolo				Latossolo			
	7	30	60	90	7	30	60	90
0	1,00Aa	0,47Bb	0,02Ac	0,06Ac	2,68Aa	2,37Aab	2,08Ab	2,19Aab
100	0,98Aa	0,64ABb	0,07Ac	0,05Ac	2,09Ba	2,03Aa	1,68Ab	2,04Aa
200	1,06Aa	0,60Bb	0,11Ac	0,09Ac	2,53Aa	2,06Ab	2,07Ab	2,26Aab
300	0,91Aa	0,55Bb	0,08Ac	0,06Ac	2,22ABa	2,28Aa	1,94Aa	2,01Aa
400	1,05Aa	0,78Aa	0,11Ab	0,14Ab	2,38ABa	2,66Aa	1,96Aa	2,18Aa
500	1,06Aa	0,85Aa	0,15Ab	0,16Ab	2,11ABa	2,46Aa	1,82Aa	2,28Aa
<i>Recomendação para Soja</i>								
Dose (%)	Espodossolo				Latossolo			
	7	30	60	90	7	30	60	90
0	0,97Aa	0,80Aa	0,07Ab	0,05Ab	2,01Ba	2,04Aa	1,95ABb	2,03Aa
100	0,95Aa	0,73Aa	0,08Ab	0,06Ab	2,83Aa	2,35Ab	2,07Ab	2,26Aa
200	0,60Ba	0,81Aa	0,03Ab	0,09Ab	2,45ABa	2,32Ab	1,97ABb	2,15Aa
300	1,05Aa	0,84Aa	0,07Ab	0,09Ab	2,14Ba	2,76Ab	1,99Abc	2,07Ab
400	1,01Aa	0,47Bb	0,08Ac	0,08Ac	2,58ABa	1,94Ab	1,42Bb	2,13Aa
500	1,08Aa	0,28Bb	0,12Ab	0,17Ab	2,31ABa	1,79Ab	1,86ABb	1,90Ab

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para as doses recomendadas para o milho e a soja, as maiores concentrações de Mg^{2+} ocorreram durante os dois primeiros períodos, devido a susceptibilidade dos minerais máficos, como o anfibólio, havendo uma redução nesses valores nas duas últimas coletas (60 e 90 dias).

A menor disponibilidade do Mg^{2+} no solo aos 90 dias de incubação pode ser justificada pelos maiores teores de K^+ neste mesmo período, já que são nutrientes que apresentam competição antagônica. Na disponibilidade do K^+ no solo, a relação

Ca+Mg/K trocável é sugerida como um índice importante para sua avaliação (OLIVEIRA; CARMELLO; MASCARENHAS, 2001).

Todos os tratamentos promoveram um leve aumento do pH do solo até os primeiros 30 dias de incubação, porém, não houve diferença significativa nesse período (Tabela 10).

Tabela 10 - pH do solo após 7, 30, 60 e 90 dias de incubação com diferentes doses de pó de rocha (0, 100, 200, 300, 400 e 500% da recomendação)

pH								
<i>Recomendação para Milho</i>								
Dose (%)	Espodossolo				Latossolo			
	7	30	60	90	7	30	60	90
0	4,76Aa	4,47Aa	4,59Aa	4,35Aa	5,57Aa	5,45Aa	5,47Aa	5,43Aa
100	4,66Aa	4,40Aa	4,38Aa	4,39Aa	5,49Aa	5,48Aa	5,27Ab	5,30ABab
200	4,73Aa	4,45Aab	4,27Ab	4,20Ab	5,53Aa	5,51Aa	5,44Aa	5,38Aba
300	4,87Aa	4,57Aab	4,33Ab	4,19Ab	5,54Aa	5,48Aa	5,41Aab	5,22Bb
400	4,81Aa	4,69Aa	4,69Aa	4,04Ab	5,60Aa	5,55Aab	5,40Ab	5,34ABb
500	4,84Aa	4,64Ab	4,42Ab	4,16Aa	5,58Aa	5,46Aa	5,36Ab	5,27ABb
<i>Recomendação para Soja</i>								
Dose (%)	Espodossolo				Latossolo			
	7	30	60	90	7	30	60	90
0	4,88Aa	4,70Aa	4,28Ab	4,17Ab	5,43Aa	5,26Aab	5,19Ab	5,23Ab
100	4,76Aa	4,60Aa	4,26Aa	4,08Aa	5,37Aa	5,26Aab	5,18Ab	5,14ABb
200	4,85Aa	4,61Aa	4,26Ab	4,09Ab	5,35Aa	5,26Aab	5,17Ab	5,13ABb
300	4,79Aa	4,69Aa	4,23Ab	4,10Ab	5,34Aa	5,22Aa	5,14Ab	5,06Bb
400	4,81Aa	4,65Aa	4,32Aa	4,11Ab	5,32Aa	5,32Aa	5,17Ab	5,12ABb
500	4,97Aa	4,79Aa	4,34Ab	4,27Ab	5,27Aa	5,32Aa	5,18Ab	5,13ABb

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

D'Oliveira, Rocha e Duarte (2023) notaram que, normalmente, doses crescentes de pó de rocha aplicadas no solo causam aumento significativo no pH, resultado que difere dos obtidos neste estudo.

A aplicação do pó de rocha de tremolita-actinolita xisto não contribuiu significativamente para a elevação do pH do solo após 90 dias de incubação. A resistência dos solos a alteração de pH está relacionada ao poder tampão, caracterizado pela elevada acidez potencial, principalmente para o Espodossolo (Campanharo et al., 2007).

4.3 Altura e massa seca da parte aérea das plantas

A análise estatística demonstrou que houve interações significativas para a variável altura entre os fatores testados, sendo, de maneira geral, os melhores resultados obtidos no segundo ciclo de cultivo (C2) (Tabela 11).

Tabela 11 - Altura de plantas (AP) cultivadas em vasos em dois solos de texturas contrastantes, com diferentes doses de pó de rocha, e em três ciclos de 45 dias

Altura de planta (cm)						
<i>Milho</i>						
Dose (%)	Espodossolo			Latossolo		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
0	24,8Ab	38,7Aa	27,5Bb	22,4Ab	44,0Aa	43,0Aa
100	15,8Ab	31,2Aa	36,6Aa	22,0Ab	41,5Aa	43,2Aa
200	15,0Ab	33,0Aa	32,0Aba	26,0Aa	42,4Aa	37,5Aa
300	23,8Ab	35,0Aa	37,0Aa	24,2Aa	37,6Aa	37,7Aa
400	22,6Ab	30,6Aab	31,0Aba	26,4Ab	47,0Aa	45,6Aa
500	18,2Ac	31,8Ab	42,75Aa	23,2Ab	45,0Aa	38,5Aab
<i>Soja</i>						
Dose (%)	Espodossolo			Latossolo		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
0	19,6Aab	23,0Aa	18,25Ab	25,8Aa	30,0Aa	23,4Aa
100	18,8Aa	21,6Aa	18,6Aa	21,8Ab	29,8Aa	25,0Aab
200	20Aa	20Aa	20Aa	23,2Ab	30,25Aa	24,0Ab
300	19,6Aa	21,2Aa	20Aa	21,2Ab	28,4Aa	22,0Ab
400	19,4Aa	22,2Aa	20Aa	24,2Aab	29,25Aa	23,8Ab
500	18,4Aa	22Aa	19,5Aa	21,8Aa	26,6Aa	23,4Aa

C1 – ciclo 1; C2 – ciclo 2; C3 – ciclo 3.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Diante dos resultados, nota-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos para a variável altura de planta do milho e da soja.

Para o cultivo do milho no Espodossolo, as plantas obtiveram altura máxima de 42,75 cm no ciclo 3, quando se utilizou uma dose de 500% da recomendação. No Latossolo, a maior média ocorreu no tratamento com 400% da recomendação, com uma média de altura de planta de 47 cm.

Ribeiro (2023) obteve altura média de planta de 110,10 cm para a soja cultivada em Latossolo com aplicação de pó de rocha silicática, valor acima dos observados neste trabalho para ambos os solos e culturas.

Para a variável matéria seca da parte aérea, não houve diferença significativa entre as doses testadas (Tabela 12).

Tabela 12 – Massa seca da parte aérea (MS) de plantas de milho e soja cultivadas em vasos, em dois solos de texturas contrastantes com diferentes doses de pó de rocha, e em três ciclos de 45 dias

Massa seca da parte aérea (g)						
<i>Milho</i>						
Dose (%)	Espodossolo			Latossolo		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
0	0,41Ab	3,02Aa	2,15Aa	1,58Ab	5,30Aa	3,10Ab
100	0,34Ac	4,09Aa	2,64Ab	1,43Ab	4,64Aa	3,76Aab
200	0,31Ac	4,17Aa	2,05Ab	1,73Ab	5,67Aa	2,66Ab
300	0,46Ac	4,09Aa	3,21Ab	1,71Ab	5,17Aa	2,39Ab
400	0,71Ab	2,92Aa	1,61Aab	1,73Ab	4,78Aa	3,20Aab
500	0,63Ab	3,23Aa	2,37Aa	1,51Ab	6,50Aa	2,93Ab
<i>Soja</i>						
Dose (%)	Espodossolo			Latossolo		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
0	0,76Ab	1,59Aa	1,04Aab	1,81Ab	4,36Aa	2,51Ab
100	0,74Ab	1,56Aa	1,12Aab	1,78Ab	4,31Aa	2,65Ab
200	0,80Ab	1,52Aa	1,16Aab	1,69Ab	4,28Aa	2,46Ab
300	0,92Aa	1,45Aa	1,01Aa	1,63Ab	4,07Aa	2,27Ab
400	0,93Ab	1,56Aa	0,84Ab	2,00Ab	3,93Aa	2,37Ab
500	0,84Ab	1,80Aa	1,04Ab	1,72Ab	3,45Aa	2,44Ab

C1 – ciclo 1; C2 – ciclo 2; C3 – ciclo 3.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As análises de comparações de médias mostraram que as produções de matéria seca na parte aérea do milho foi significativamente superior no segundo ciclo (C2), com valores de MS variando de 2,92 - 4,17 g planta⁻¹ no Espodossolo e 4,64 - 6,50 g planta⁻¹ no Latossolo.

Para as plantas de soja, observou-se o mesmo comportamento, com maiores médias ocorrendo no ciclo 2 (C2), com 1,45 – 1,80 g planta⁻¹ no Espodossolo e 3,45 – 4,36 g planta⁻¹ no Latossolo.

De acordo com Luchese et al. (2023), os maiores ganhos de matéria seca da parte aérea de milho e soja são mais evidentes em solos mais argilosos do que em

solos arenosos, o que corrobora com os resultados obtidos neste trabalho. Ribeiro (2023) também observou maior produção de matéria seca em plantas de soja cultivadas em Latossolo, porém o valor médio obtido para MS foi de 21,08 g por planta.

4.4 Teores de potássio, cálcio e magnésio na parte aérea das plantas

Não houve diferença nos teores de K entre as doses avaliadas. No entanto, observou-se diferença significativa entre C1, C2 e C3 (Tabela 13).

Tabela 13 – Teores de potássio (K) na parte aérea de plantas de milho e soja cultivadas em vasos, em dois solos de texturas contrastantes com diferentes doses de pó de rocha, e em três ciclos subsequentes de 45 dias

K (g/kg)						
<i>Milho</i>						
Dose (%)	Espodossolo			Latossolo		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
0	12,14Aa	5,33Ab	2,79Ab	8,56Aa	3,36Aab	3,21Ab
100	11,30Aa	6,07Aab	3,04Ab	7,75Aa	5,06Aa	2,93Aa
200	14,24Aa	3,30Ab	2,93Ab	7,80Aa	5,31Aa	2,88Aa
300	13,11Aa	3,99Ab	3,03Ab	9,34Aa	6,01Aab	2,45Ab
400	10,87Aa	4,15Ab	3,77Ab	9,41Aa	4,73Aab	2,73Ab
500	13,20Aa	3,56Ab	3,37Ab	12,34Aa	5,11Aa	2,44Ab
<i>Soja</i>						
Dose (%)	Espodossolo			Latossolo		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
0	9,93Aa	8,29Aa	8,86Aa	9,10Aa	4,43Ab	5,37Ab
100	10,39Aa	6,98Aa	7,58Aa	10,43Aa	5,35Ab	4,16Ab
200	11,51Aa	6,34Ab	8,31Aab	9,26Aa	5,36Ab	4,85Ab
300	9,42Aa	9,26Aa	7,95Aa	9,93Aa	4,81Ab	4,69Ab
400	10,04Aa	7,53Aa	5,95Aa	9,30Aa	5,22Ab	5,02Ab
500	10,81Aa	8,52Aa	8,13Aa	8,14Aa	5,24Aa	5,06Aa

C1 – ciclo 1; C2 – ciclo 2; C3 – ciclo 3.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Maiores teores de K na parte aérea de plantas de milho e soja ocorreram no C1, ou seja, houve maior absorção deste nutriente em 45 dias após sua aplicação no solo, com disponibilidade reduzida no C2 e C3, aos 90 e 135 dias após aplicação do pó de rocha, respectivamente.

Segundo Borkert et al. (2005), o período de maior acúmulo de K na parte aérea da soja ocorre próximo dos 50 dias, já que ela se encontra no estágio R2, que compreende o período de floração plena, sendo, portanto, o ciclo de 45 dias deste trabalho considerado um bom período para avaliação do acúmulo deste nutriente na parte aérea das plantas.

Para o Ca, observa-se que não houve influência dos tratamentos nos teores desse elemento na parte aérea das plantas em cada ciclo, porém foram observadas diferenças significativas entre C1, C2 e C3 em alguns tratamentos para as duas culturas e nos dois solos testados (Tabela 14).

Tabela 14 – Teores de cálcio (Ca) na parte aérea de plantas de milho e soja cultivadas em vasos, em dois solos de texturas contrastantes com diferentes doses de pó de rocha, e em três ciclos subsequentes de 45 dias

Ca (g/kg)						
<i>Milho</i>						
Dose (%)	Espodossolo			Latossolo		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
0	7,63Aa	4,93Ab	6,79Aa	8,66Aa	7,17Aa	7,37Aa
100	7,02Aab	4,88Ab	7,89Aa	12,19 Aa	6,25Aa	6,57Aa
200	7,71Aa	5,52Aa	7,44Aa	9,93Aa	5,64Ab	7,92Aab
300	7,83Aa	4,56Ab	6,22Aab	10,98Aa	6,17Ab	6,39Aa
400	6,67Aa	5,66Aa	7,32Aa	9,60Aa	6,74Aa	7,10Aa
500	7,77Aa	6,32Aa	6,41Aa	11,21Aa	5,12Ab	7,56Aab
<i>Soja</i>						
Dose (%)	Espodossolo			Latossolo		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
0	8,09Aa	9,68Aa	11,36Aa	13,58Aa	13,08Aa	14,57Aa
100	7,94Ab	11,93Aab	13,77Aa	15,62Aa	15,09Aa	15,24Aa
200	8,34Ab	10,06Aab	14,06Aa	16,61Aa	11,12Ab	15,68Aa
300	8,13Aa	11,50Aa	11,66Aa	14,54Aa	11,95Aa	15,05Aa
400	7,88Ab	11,90Aab	14,10Aa	13,21Aa	12,43Aa	14,51Aa
500	7,42Aa	10,64Aa	11,40Aa	14,36Aa	12,81Aa	15,17Aa

C1 – ciclo 1; C2 – ciclo 2; C3 – ciclo 3.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados obtidos para o Ca na parte área das plantas foram mais expressivos no Latossolo, principalmente para cultura da soja. Teores significativos na disponibilidade de Ca para a soja são essenciais pela importância do elemento

para o desenvolvimento da planta, contribuindo para o crescimento do sistema radicular e no estabelecimento da cultura por fazer parte da parede celular (LANGE et al., 2021).

Para o Mg, houve diferença significativa para a cultura do milho entre os tratamentos avaliados, com os maiores teores desse nutriente no tratamento com 400% da recomendação no Espodossolo e no tratamento com 100% da recomendação no Latossolo (Tabela 15).

Tabela 15 – Teores de magnésio (Mg) na parte aérea de plantas de milho e soja cultivadas em vasos, em dois solos de texturas contrastantes com diferentes doses de pó de rocha, e em três ciclos subsequentes de 45 dias

Mg (g/kg)						
<i>Milho</i>						
Dose (%)	Espodossolo			Latossolo		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
0	7,53Aa	5,48Ab	7,27ABa	7,76Aa	7,20Aa	7,84Aa
100	7,11Aa	5,86Aa	7,39Aba	8,54Aa	7,04ABb	7,46Aab
200	7,43Aa	6,84Aa	7,63Aba	7,42Aa	5,70ABb	7,66Aa
300	7,82Aa	5,56Ab	6,09Bb	8,12Aa	6,50ABb	7,11Aab
400	7,22Aa	6,73Aa	7,96Aa	8,13Aa	7,11Aa	7,74Aa
500	7,80Aa	6,99Aa	7,39Aba	8,40Aa	5,58Bb	8,06Aa
<i>Soja</i>						
Dose (%)	Espodossolo			Latossolo		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
0	5,92Aa	6,20Aa	6,57Aa	5,89Aa	6,58Aa	6,85Aa
100	5,64Aa	6,32Aa	7,02Aa	6,36Aa	6,73Aa	7,55Aa
200	5,77Aa	5,41Aa	7,31Aa	6,43Aa	6,47Aa	7,48Aa
300	6,13Aa	6,70Aa	6,87Aa	6,06Ab	6,54Aab	7,57Aa
400	6,07Aa	7,03Aa	6,78Aa	5,78Aa	6,27Aa	6,98Aa
500	5,99Aa	6,49Aa	7,03Aa	6,08Ab	7,17Aab	7,57Aa

C1 – ciclo 1; C2 – ciclo 2; C3 – ciclo 3.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A redução da disponibilidade de cátions, como Mg^{2+} , e o intemperismo de alguns minerais pode estar relacionada a neoformação de minerais, a ligação de óxidos de Fe e Al, prejudicando os efeitos expressivos a curto prazo (MELO; PEREZ, 2009; REIS, 2021).

Observa-se que, para a cultura da soja cultivada no Latossolo, os tratamentos 300 e 500% da recomendação apresentou melhores resultados no ciclo 3 (C3).

Caires et al. (2002), ao avaliar plantas de milho, verificaram que as concentrações de K, Ca e Mg no tecido foliar indicam que a redução no teor de K ocorreu ao mesmo tempo em que aumentaram os teores de Ca e Mg nas folhas, o que enfatiza o efeito substitutivo do K por Ca e Mg, e destaca o antagonismo existente entre o Mg e o K.

4.5 Ca, Mg e K acumulado nas plantas de milho e soja ao longo de 135 dias

Uma abordagem que pode indicar a contribuição da liberação de nutrientes dos minerais utilizados é a integralização das quantidades totais extraídas pelas plantas. Diante disso, foram calculadas as quantidades acumuladas na parte aérea do milho e da soja em cada ciclo, a partir do produto das quantidades de biomassa e teores de K, Ca e Mg. O somatório das quantidades acumuladas nos três ciclos indica a extração total dos nutrientes ao longo dos ciclos do experimento.

O maior acúmulo de Ca na parte aérea das plantas de milho após 135 dias de aplicação do pó de rocha ocorreu no tratamento 200% para o Espodossolo, com acréscimos de 17,5% comparado ao tratamento testemunha (Tabela 16).

Tabela 16 - Cálcio (Ca) acumulado nas plantas de milho após 135 dias de aplicação de diferentes doses de pó de rocha

.....Acumulado.....												
(mg)												
Espodossolo							Latossolo					
	0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500
C1	4,29	2,83	3,00	4,30	6,03	6,36	15,37	16,43	18,91	20,87	12,94	16,18
C2	17,16	19,98	25,36	20,13	15,33	18,3	40,47	23,80	29,14	27,95	32,55	36,89
C3	14,88	20,55	15,64	19,10	12,76	15,28	23,43	28,13	19,37	15,94	22,41	17,63
Total	36,3	43,3	44,0	43,5	34,1	40,0	79,3	68,4	67,4	64,8	67,9	70,7

C1 – ciclo 1; C2 – ciclo 2; C3 – ciclo 3.

Para as plantas de soja, o maior acúmulo de Ca foi observado no tratamento 100% no Espodossolo, ao longo de 135 dias de avaliação, com acréscimos de aproximadamente 30% em relação a dose testemunha. Já para o Latossolo, o maior acúmulo foi verificado na mesma dose, porém, com valor próximo ao observado na dose testemunha (Tabela 17).

Tabela 17 - Cálcio (Ca) acumulado nas plantas de soja após 135 dias de aplicação de diferentes doses de pó de rocha

.....Acumulado.....												
(mg)												
Espodossolo						Latossolo						
	0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500
C1	5,97	5,56	5,64	6,41	7,68	5,86	24,32	21,10	19,10	22,07	24,93	21,29
C2	13,91	21,17	13,38	16,89	17,92	17,38	62,47	61,30	45,61	48,86	48,87	45,98
C3	11,55	18,02	12,56	11,81	17,85	11,24	37,62	42,82	37,00	34,37	35,30	36,60
Total	31,4	44,8	31,6	35,1	43,5	34,5	124,4	125,2	101,7	105,3	109,1	103,9

C1 – ciclo 1; C2 – ciclo 2; C3 – ciclo 3.

Levando em considerando que as plantas dos ciclos 2 e 3 foram cultivadas apenas com o residual dos tratamentos com o pó de rocha, os teores de Ca acumulado no ciclo 3 demonstraram que os minerais presentes continuam sendo solubilizados e permanecem disponibilizando nutrientes para as plantas com o passar do tempo.

Para o milho, a dose 200% foi a que proporcionou maior acúmulo de Mg no Espodossolo, onde o incremento comparado à dose testemunha foi de 21% (Tabela 18).

Tabela 18 - Magnésio (Mg) acumulado nas plantas de milho após 135 dias de aplicação de diferentes doses de pó de rocha

.....Acumulado.....												
(mg)												
Espodossolo						Latossolo						
	0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500
C1	4,24	2,87	2,89	4,32	6,50	6,25	13,81	11,47	14,21	16,11	11,35	12,12
C2	19,59	23,94	31,22	24,37	18,74	20,02	40,55	27,05	30,12	29,28	34,41	39,64

C3	15,54	19,26	15,99	19,85	14,47	17,29	24,21	31,38	18,53	17,41	24,57	18,97
Total	39,4	46,1	50,1	48,6	39,7	43,6	78,6	69,9	62,9	62,8	70,3	70,7

C1 – ciclo 1; C2 – ciclo 2; C3 – ciclo 3.

Nas plantas de soja, a dose 400% foi a que proporcionou maior acúmulo de Mg no Espodossolo, com 20% a mais do nutriente acumulado em relação à testemunha (Tabela 19).

Tabela 19 - Magnésio (Mg) acumulado nas plantas de soja após 135 dias de aplicação de diferentes doses de pó de rocha

.....Acumulado.....												
(mg)												
Espodossolo						Latossolo						
	0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500
C1	4,36	3,94	3,90	4,75	5,95	4,58	10,34	8,45	7,41	9,18	10,93	9,73
C2	8,91	11,07	7,15	9,68	10,58	10,57	31,61	27,30	26,98	26,72	24,35	25,84
C3	6,66	9,18	6,45	7,17	8,56	6,95	17,71	21,17	17,59	17,30	16,85	17,54
Total	19,9	24,2	17,5	21,6	25,1	22,1	59,7	56,9	52,0	53,2	52,1	53,1

C1 – ciclo 1; C2 – ciclo 2; C3 – ciclo 3.

Para as plantas de milho, observou-se um incremento de K na dose 100% no Espodossolo, 22% superior ao tratamento testemunha. No Latossolo, o maior acúmulo ocorreu no tratamento com a dose 500%, 23% maior que a testemunha (Tabela 20).

Tabela 20 - Potássio (K) acumulado nas plantas de milho após 135 dias de aplicação de diferentes doses de pó de rocha

.....Acumulado.....												
(mg)												
Espodossolo						Latossolo						
	0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500
C1	6,29	4,29	5,48	7,95	10,03	9,84	16,18	11,22	15,14	19,33	14,99	17,39
C2	17,88	26,27	15,25	16,52	11,76	10,21	21,39	19,01	30,30	27,72	22,70	37,33

C3	6,04	8,20	6,44	9,79	5,56	7,87	10,04	12,64	8,01	5,91	8,59	7,51
Total	30,21	38,76	27,16	34,26	27,34	27,92	47,60	42,86	53,44	52,96	46,27	62,23

C1 – ciclo 1; C2 – ciclo 2; C3 – ciclo 3.

Ramos et al. (2021) verificaram uma absorção acumulativa significativa de nutrientes como K, Ca e Mg na parte aérea de milho, cultivado em Latossolo vermelho com adição de pó de rocha dacítica, em relação ao tratamento controle, salientando-se que a solubilidade dos minerais no pó de rocha e a liberação de nutrientes ainda aumentam ao longo do tempo, visto que a solubilidade dos minerais difere. Porém, neste trabalho, observou-se um incremento significativo apenas para o K, nas doses 200, 300 e 500%, para o milho cultivado no Latossolo, quando comparado ao tratamento testemunha.

Nas plantas de soja, o acúmulo de K foi 10% superior ao encontrado na testemunha na dose 500% no Espodossolo (Tabela 21).

Tabela 21- Potássio (K) acumulado nas plantas de soja após 135 dias de aplicação de diferentes doses de pó de rocha

.....Acumulado.....												
(mg)												
Espodossolo						Latossolo						
	0	100	200	300	400	500	0	100	200	300	400	500
C1	7,29	7,24	7,78	7,84	10,02	8,52	14,87	16,08	12,13	14,81	17,57	13,68
C2	11,39	12,05	8,26	12,86	11,30	14,53	21,13	21,89	22,50	19,51	20,38	18,53
C3	9,01	9,88	8,38	7,85	7,49	7,72	14,10	11,53	11,48	10,68	11,65	12,21
Total	27,69	29,17	24,43	28,55	28,81	30,78	50,11	49,51	46,12	45,0	49,61	44,34

C1 – ciclo 1; C2 – ciclo 2; C3 – ciclo 3.

Conceição et al. (2022) apontaram que o pó de rocha pode aumentar os níveis de K, Ca e Mg no solo, como aconteceu principalmente no Espodossolo. Além disso, os mesmos autores, afirmam que o milho pode apresentar acúmulos de macro e micronutrientes até cinco vezes maiores, quando aplicado o pó de rocha, o que contribui para a nutrição vegetal.

O Espodossolo foi o solo que melhor respondeu nutricionalmente a aplicação de pó de rocha. Portanto, a aplicação do pó de rocha melhora a nutrição de plantas e fertilidade do solo, principalmente os mais arenosos. Ribeiro (2023), ao analisar o acúmulo de nutrientes na parte aérea de soja, constatou resultados semelhantes, notando-se que houve maior acúmulo de Ca e Mg, quando as plantas foram cultivadas no solo de textura arenosa. O mesmo autor verificou ainda um maior acúmulo de K, quando as plantas de soja foram cultivadas em Latossolo, diferentemente do resultado apresentado neste estudo, onde o acúmulo de K foi notável no Latossolo apenas para a cultura do milho.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O pó de rocha PRS01 atende a todas as garantias estabelecidas pelo MAPA para registro como remineralizador de solo.

Diante dos resultados obtidos neste trabalho, recomenda-se as doses 100% e 200% para as culturas de soja e milho, respectivamente. Para ambos os solos estudados, sugere-se a dose 100% do pó de rocha aplicado.

O pó de rocha apresenta nutrientes com potencial para influenciar positivamente no desenvolvimento do milho e da soja, mas ainda há necessidade de analisar mais ciclos produtivos para visualizar os efeitos residuais da sua utilização para ambas as culturas a longo prazo.

Não são esperados efeitos rápidos na nutrição das culturas por meio da aplicação de pós de rocha aos solos, visto que esta prática é considerada como uma poupança para a reserva de nutrientes, a fim de evitar o esgotamento do solo e, consequentemente, propiciar a sustentabilidade agrícola.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA JÚNIOR, J. J.; LAZARINI, E.; SMILJANIC, K. B. A.; SIMON, G. A.; MATOS, F. S. A.; BARBOSA, U. R.; SILVA, V. J. A.; MIRANDA, B. C.; SILVA, A. R. Análise das variáveis tecnológicas na cultura da soja (*Glycine max*) com utilização de remineralizador de solo como fertilizante. **Brazilian Journal Development**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 56835-5684, 2020.
- ALOVISI, A. M. T.; TOKURA, W. I.; KAI, P. M.; TAQUES, M. M.; CASSOL, C. J.; SILVA, R. S.; ALVES, J. C.; LEITE, J. L. N.; LIMA, N. D. Atributos químicos do solo e componentes agronômicos na cultura da soja pelo uso do pó de basalto. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 9, p. 14220-14237, 2023.
- AMARAL, G. C.; BERTI, M. P. S.; SILVA, A. A.; SILVA JÚNIOR, G. 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.
- ARAÚJO, E. O.; SANTOS, E. F.; CAMACHO, M. A. Absorção de cálcio e magnésio pelo algodoeiro cultivado sob diferentes concentrações de boro e zinco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 383-389, 2013.
- ARAÚJO, N. C.; GADELHA, A. J. F.; BAKKER, A. P.; LIMA, V. L. A.; BANDEIRA, F. A. Crescimento do feijão vigna fertirrigado com água amarela como fonte alternativa de fertilizante. **Holos**, Natal, v. 2, n. 34, p. 103-110, 2018.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SANTOS, D. F.; COUTO, P. A. Aplicação de rochas silicáticas como fontes alternativas de potássio para a cultura do arroz de terras altas. **Revista Espaço e Geografia**, v. 9, n. 1, p. 63-84, 2006.
- BESSA, B. **A corrida da vida**. 2018. Disponível em: <<https://www.brauliobessa.com/post/a-corrida-da-vida>>. Acesso em: 25 mai. 2024.
- BOLLAND, M. D. A.; BAKER, M. J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 56, n. 1, p. 59-68, 2000.

BORGES, T. K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M.; SILVA, D. D.; SILVA JÚNIOR, V. P. Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zea mays* L.) em semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.l.], v. 38, n. 6, p. 1862-1873, dez. 2014.

BORKERT, C. M.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. O potássio na cultura da soja. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L., eds. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p.671-722, 2005.

BOSE, J.; BABOURINA, O.; RENGEL, Z. Role of magnesium in alleviation of aluminium toxicity in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 7, p. 2251-2264, 2011.

BRANDÃO, J. A. V. **Pó de rocha como fonte de nutrientes no contexto da agroecologia**. 2012. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2012.

BRASIL. Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 10 mar. 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>>. Acesso em: 25 abr. 2024.

BRASIL. Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Altera a Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado a agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 11 dez. 2013. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12890.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2012.890%2C%20DE%2010,agricultura%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.>. Acesso em: 22 fev. 2023.

BRITO, R. S.; BATISTA, J. F.; MOREIRA, J. G. V.; MORAES, K. N. O.; SILVA, S. O. Rochagem na agricultuta: importância e vantagens para adubação suplementar.

South American Journal of Basic Education, Technical and Technological, Rio Branco, v. 6, n. 1, p. 528-540, 2019.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p.1011-1022, 2002.

CAKMAK, I. Major functions of calcium and magnesium in crop plants. In: 16TH WORLD FERTILIZER CONGRESS OF CIEC, 16., 2014, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CIEC, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Lima-15/publication/276420820_Vermicompost_biostimulants_nutrients_and_auxin_for_root_growth/links/5559d9c608ae980ca610f0e4/Vermicompost-biostimulants-nutrients-and-auxin-for-root-growth.pdf#page=30>. Acesso em: 25 abr. 2024.

CÂMARA, E. R. G.; SANTOS, J. C. B.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SCHULZE, S. M. B. B.; CORRÊA, M. M.; FERREIRA, T. O.; SOUSA, J. E. S.; SOUZA JÚNIOR, V. S. Parent rock–pedogenesis relationship: How the weathering of metamorphic rocks influences the genesis of Planosols and Luvisols under a semiarid climate in NE Brazil. **Geoderma**, v. 385, p. 114878, 2021.

CAMPANHARO, M.; LIRA JÚNIOR, M. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, F. J.; COSTA, J. V. T. Avaliação de métodos de necessidade de calagem no Brasil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 1, p. 97-105, 2007.

CAMPOS, A. T.; ZONIN, W. J.; SILVA, N. L. S.; GOUVEA, A.; GRECO, M. Balanço de energia em sistemas orgânico e convencional de produção de milho. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. **Proceedings online...** Campinas, 2004. Disponível em: <<https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/21277604>>. Acesso em: 22 fev. 2023.

CARVALHO, A. M. X. **Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico**. 2012. 116 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

CASTRO, J. P. V.; LEANDRO, W. M.; BRASIL, E. P. F.; FERREIRA, K. R. S.; OLIVEIRA, C. B. A.; PASSOS, P. B. Eficiência agronômica de remineralizador do solo de micaxisto na sucessão milheto-soja. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, p. e76111435864, 2022.

CAVALCANTI, F. J. A. **Recomendação de adubação para o estado de Pernambuco: 2. aproximação**. 3.ed. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, 2008. 212p.

CHEN, Z. C.; PENG, W. T.; LI, J.; LIAO, H. Functional dissection and transport mechanism of magnesium in plants. **Seminars in cell & developmental biology**, v. 74, p. 142-152, 2018.

COLA, G. P. A.; SIMÃO, J. B. P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró-RN, v. 7, n. 4, p. 15-27, 2012.

CONCEIÇÃO, L. T.; SILVA, G. N.; HOLSBACK, H. M. S.; OLIVEIRA, C. F.; MARCANTE, N. C.; MARTINS, E. S.; SANTOS, F. L. S.; SANTOS, E. F. Potential of basalt dust to improve soil fertility and crop nutrition. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 10, p. 100443, 2022.

CORREIA, R. T. **Rochagem: a aplicação de pó de rocha como alternativa sustentável aos fertilizantes agrícolas no Brasil: uma revisão**. 2023. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, Buri-SP, 2023.

D'OLIVEIRA, P. S.; ROCHA, W. S. D.; DUARTE, C. E. **Uso de pó de rocha em plantas forrageiras**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2023. 16 p. (Embrapa Gado de Leite. Comunicado Técnico, 96).

DOMINGOS, C. S.; LIMA, L. H. S.; BRACCINI, A. L. Nutrição mineral e ferramentas para o manejo da adubação na cultura da soja. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 14, n. 3, p. 132-140, 2015.

DONKE, A. C. G. **Avaliação de desempenho ambiental e energético da produção de etanol de cana, milho e sorgo em uma unidade integrada, segundo a abordagem do ciclo de vida**. 2016. 243 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2017. 574p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Protocolo para avaliação da eficiência agronômica de remineralizadores de solo – primeira versão**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2019. 23p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias aumentam eficiência do uso de nutrientes no campo**. 2022. Disponível em: <[https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/76221949/artigo-tecnologias-aumentam-eficiencia-do-uso-de-nutrientes-no-campo#:~:text=Para%20suprir%20a%20demanda%20da,%25%20do%20Pot%C3%A1ssio%20\(K\)>](https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/76221949/artigo-tecnologias-aumentam-eficiencia-do-uso-de-nutrientes-no-campo#:~:text=Para%20suprir%20a%20demanda%20da,%25%20do%20Pot%C3%A1ssio%20(K)>)>. Acesso em: 03 jun. 2024.

ERTHAL, E. S.; ZAMBERLAN, J. F.; SALAZAR, R. F. S. A batata-doce (*Ipomoea batatas*) como biomassa alternativa para produção de biocombustíveis frente aos combustíveis fósseis. **Ciência e Tecnologia**, [S.l.], v. 2, n. 1, p. 44-63, ago. 2018.

ESCOSTEGUY, P. A. V.; KLAMT, E. Basalto moído como fonte de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 11-20, 1998.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja: taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, [S.l.], v. 28, n. 1, p. 19–23, jan. 2005.

FERREIRA, M. M. M. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. **Revista Agroambiente On-line**, v. 6, n. 1, p. 74-83, 2012.

GHIZZONI, J. C.; GOTZ, L. F.; CASTAMANN, A.; ONESKO, J. C.; BAMPI, E.; SÁ, K. R. Produtividade e nutrição do milho após diferentes formas de aplicação de pó de rocha e esterco. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e31110817285, 2021.

GRANT, W. H. Abrasion pH, an index of chemical weathering. **Clays and Clay Minerals**, v. 17, p. 151-155, 1969.

GUO, W.; NAZIM, H.; LIANG, Z.; YANG, D. Magnesium deficiency in plants: An urgent problem. **The Crop Journal**, v. 4, n. 2, p. 83-91, 2016.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Fixação biológica do nitrogênio. In: MEYER, M. C.; BUENO, A. F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. **Bioinsumos na cultura da soja**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2022. cap. 8, p. 141-162.

LAJÚS, C. R.; LUZ, G. L.; SILVA, C. G.; DALCANTON, F.; BARICHELO, R.; SAUER, A. V.; PIAIA, T. A.; PIVA, A. J. D. Aspectos qualitativos e quantitativos de variedades de alface submetidas a concentrações de pó de rocha em cultivo orgânico. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 5, p. 49498–49512, mai. 2021.

LANGE, A.; CAVALLI, E.; PEREIRA, C. S.; CHAPLA, M. V.; FREDDI, O. S. Relações cálcio: magnésio e características químicas do solo sob cultivo de soja e milho. **Nativa**, Sinop, v. 9, n. 3, p. 294-301, 2021.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-mansão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, 2008.

LIMA, M. A.; GOMEZ, L. D.; STEELE-KING, C. G.; SIMISTER, R.; BERNARDINELLI, O. D.; CARVALHO, M. A.; REZENDE, C. A.; LABATE, C. A.; DEAZEVEDO, E. R.; MCQUEEN-MASON, S. J.; POLIKARPOV, I. Evaluating the composition and processing potential of novel sources of brazilian biomass for sustainable

biorenewables production. **Biotechnology for biofuels**, [S.l.], v. 7, n. 10, p. 1-19, jan. 2014.

LOPES-ASSAD, M. L.; ROSA, M. M.; ERLER, G.; CECCATO-ANTONINI, S. R. Solubilização de pó-de-rocha por *Aspergillus niger*. **Revista Espaço e Geografia**, v. 9, n. 1, p. 1-17, 2006.

LOPES, J. R. F.; DANTAS, M. P.; FERREIRA, F. E. P. Identificação da influência da pluviometria no rendimento do milho no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 13, n. 5, p. 3610-3618, 2019b.

LOPES, J. R. F.; DANTAS, M. P.; FERREIRA, F. E. P. Variabilidade da precipitação pluvial e produtividade do milho no semiárido brasileiro através da análise multivariada. **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 1, p. 77-83, jan./fev. 2019a.

LUCHESI, A. V.; LEITE, I. J. G. C.; ALVES, M. L.; VIECELI, J. P. S.; PIVETTA, L. A.; MISSIO, R. F. Can Basalt Rock Powder be Used as an Alternative Nutrient Source for Soybeans and Corn?. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, n. 3, p. 4044-4054, 2023.

LUENGO, R. F. A.; BUTRUILLE, N. M. S.; MELO, R. A. C.; SILVA, J.; MALDONADE, I. R.; COSTA JÚNIOR, A. D. Determinação de minerais no solo e análise de folhas de couve produzida em Brasília. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, p. e2017141, 2018.

MALDANER, L. J.; HORING, K.; SCHNEIDER, J. F.; FRIGO, J. P.; AZEVEDO, K. D.; GRZESIUCK, A. E. Exigência agroclimática da cultura do milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, [S.l.], v. 3, p. 13-23, 2014.

MANHÃES, J. P. V. T.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização e classificação de resíduo sólido " pó de rocha granítica" gerado na indústria de rochas ornamentais. **Química Nova**, v. 31, p. 1301-1304, 2008.

MARTINAZZO, R.; SILVEIRA, C. A. P.; BAMBERG, A. L.; PILLON, C. N. **Pó de rocha, agrominerais e remineralizadores**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2022. 40-42 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 527). Disponível em: <

<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1148421/alternativas-para-diversificacao-da-agricultura-familiar-de-base-ecologica---2022>>. Acesso em: 25 abr. 2024.

MARTINS, E. S. Proposta de classificação de rochas silicáticas como fontes de nutrientes e condicionadores de solo. In: Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem, 2013, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Embrapa Cerrados, 2013. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/remineralizadores/media/anais_Ilcb_2013.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2023.

MARTINS, F. G. L.; BARBOSA, J. A.; CARVALHO, R. C. S.; VELOSO, A. V.; MARIN, D. B. Análise energética da produção de milho para silagem cultivado em diferentes espaçamentos. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 30, n. 4, p. 418-428, out./dez. 2015.

MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUER, J. A.; MAFRA, A. L.; ROSA, J. D.; GATIBONI, L. C. Relação cálcio: magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 4, p. 799-806, 2008.

MEDEIROS, R. M.; NUNES, J. C.; HOLANDA, R. M.; FRANÇA, M. V. Aptidões climáticas: caju, palma forrageira e milho no município de São Bento do Una-PE, Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [S.l.], v. 3, n. 3, p. 310-318, 2018.

MELLO, J. W. V.; PEREZ, D. V. Equilíbrio químico das reações no solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, R. F. **Química e Mineralogia do Solo**. Viçosa, MG: SBCS, p. 152-244, 2009.

MORAES, L. N. **Uso de pó de rocha na agricultura brasileira**. 2021. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

MORAIS, R. F.; QUESADA, D. M.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Contribution of biological nitrogen fixation to elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Plant and Soil**, [S.l.], v. 356, p. 23-34, jul. 2012.

NAGATANI, K. K. I.; LORENO, M. S.; FERREIRA, R. B.; OLIVEIRA, S. D.; BARBOSA, C. E. B. Eficiência da aplicação do pó de rocha na fase vegetativa da cultura do milho. **Revista Processos Químicos**, v. 17, n. 33, p. 69-74, 2023.

NASCIMENTO, T. L.; MACIEL, M. A. M.; BERTINI, L. M.; RIOS, M. A. S. Avaliação do óleo e biodiesel de soja (*Glycine max*) a partir de parâmetros físico-químicos. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 12685-12694, mar. 2020.

OLIVEIRA, F. A.; CARMELLO, Q. A. C.; MASCARENHAS, H. A. A. Disponibilidade de potássio e suas relações com cálcio e magnésio em soja cultivada em casa-de-Vegetação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 329-335, 2001.

OLIVEIRA, M. J.; CARNEIRO, C. D. R.; VECCHIA, F. A. S.; BAPTISTA, G. M. M. Ciclos climáticos e causas naturais das mudanças do clima. **Terrae didática**, v. 13, n. 3, p. 149-184, 2017.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Causas e efeitos das mudanças climáticas**. 2021. Disponível em: <<https://www.un.org/pt/climatechange/science/causes-effects-climate-change>>. Acesso em: 03 jun. 2024.

PÁDUA, E. J. **Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas**. 2012. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

PEDROSO, G. M.; HUTMACHER, R. B.; PUTNAM, D.; SIX, J.; VAN KESSEL, C.; LINQUIST, B. A. Biomass yield and nitrogen use of potential C4 and C3 dedicated energy crops in a mediterranean climate. **Field Crops Research**, [S.l.], v. 161, p. 149-157, 2014.

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; CABALLERO, S. S. U.; GUERRA, J. G. M.; GUSMÃO, L. A. Acúmulo e liberação de P, K, Ca e Mg em crotalária e milho solteiros e consorciados. **Revista Ceres**, v. 57, n. 2, p. 274-281, 2010.

PRATES, J. S.; SILVA, V. A.; SANTOS, H. O.; RODRIGUES, T. T. M. S.; OLIVEIRA, F. S.; SANTOS, E. M. S. Rochagem na produção sustentável de plantas forrageiras: Revisão sistemática da literatura. **Nature and Conservation**, v. 15, n. 2, p. 83-97, 2022.

RAMOS, C. G.; DALMORA, A. C.; KAUTZMANN, R. M.; HOWER, J.; DOTTO, G. L.; OLIVEIRA, L. F. S. Sustainable release of macronutrients to black oat and maize crops from organically-altered dacite rock powder. **Natural Resources Research**, v. 30, p. 1941-1953, 2021.

REIS, W. **Aplicação de pó de rocha e enxofre elementar associado a plantas de cobertura do solo, na disponibilidade de nutrientes para a cultura do milho**. 2021. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon/PR, 2021.

RIBEIRO, L. L. O.; SEIDEL, E. P.; AUGUSTO, J.; MOTTIN, M. C.; ALMEIDA, K. F.; SUSTAKOWISK, M. C.; ABADE, M. T. R.; CARVALHO, A. O. Teores de nutrientes foliares da soja cultivada com pó de rocha de basalto e resíduos orgânicos animais. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v.16, n. 9, p.17238-17252, 2023.

RIBEIRO, L. S.; SANTOS, A. R. S.; SOUZA, L. F. S.; SOUZA, J. S. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 891-897, 2010.

RIBEIRO, M. C. **Efeito residual da aplicação de pó de rocha silicática como fonte de silício e remineralizador de solos**. 2023. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2023.

RIBES, R. P.; BUSS, R. R.; LAZARI, R.; POTES, M. L.; BAMBERG, A. L. Efeito de rochas moídas sobre a concentração de macronutrientes na parte aérea de plantas

de milho. In: WORKSHOP INSUMOS PARA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, 2012, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/76850/1/5AG-Ribes.pdf>>.

Acesso em: 14 dez. 2023.

SALLA, D. A.; FURLANETO, F. P. B.; CABELLO, C.; KANTHACK, R. A. D. Estudo energético da produção de biocombustível a partir do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 9, p. 2017-2022, set. 2010.

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

SANTOS, R. L.; FREIRE, F. J.; ROCHA, A. T.; SILVA, J. A. A.; TAVARES, J. A.; FERREIRA, E. G. B. S.; OLIVEIRA, E. C. A. Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) biomass production as promising alternative source of energy in Brazil's semiarid area using gypsum. **Australian Journal of Crop Science**, [S.l.], v. 9, n. 11, p. 1082-1088, 2015.

SILVA, R. P.; NUÑEZ, D. N. C. Manejos sobre fitopatógenos e doses de boro na cultura da soja. **Brazilian Journal of Science**, [S.l.], v. 2, n. 5, p. 87-97, 2023.

SILVA, V. T.; GAVA, R.; COTRIM, M. F.; WASSOLOWSKI, C. R.; TEODORO, P. E.; SNYDER, R. L. Manejo de irrigação na cultura da soja em sistema de semeadura direta, sobre restos culturais de *Brachiaria ruziziensis*. **Research, Society and Development**, [S.l.], v. 9, n. 6, e64963430, 2020.

SOUSA, S. G. Análise temporal do comportamento da precipitação pluviométrica na Região Metropolitana do Cariri (Ce), Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, [S.l.], n.63, p. 319-340, jul./dec. 2019.

SOUZA, F. N. S. **O potencial de agrominerais silicáticos como fonte de nutrientes na agricultura tropical**. 2014. 107 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SOUZA, J. C. S.; QUEIROZ, E. S. Análise dos efeitos econômicos e ambientais da produção de etanol de milho. **Engineering Sciences**, v. 11, n. 1, p. 18-27, 2023.

SOUZA, M. D. B. **Efeito de rochagem, vinhaça e plantas de cobertura no desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e em atributos químicos do solo**. 2016. 111 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2016.

SOUZA, S. M.; MORAIS, R. A.; GUALBERTO, L. S., SOUSA, H. M. S.; MARTINS, G. A. S.; PELUZIO, J. M. Teor de óleo em cultivares de soja visando a produção de biocombustível no estado do Tocantins. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal Do Tocantins**, [S.l.], v. 7, p. 82–86, 2020.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O.; ROCHA, E. L.; REGO, K. G. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. **Revista Espaço e Geografia**, v. 9, n. 2, p. 263-292, 2006.

VALLE, T. L.; LORENZI, J. O. Variedades melhoradas de mandioca como instrumento de inovação, segurança alimentar, competitividade e sustentabilidade: contribuições do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 31, n. 1, p. 15-34, jan./abr. 2014.

VELLOSO, M. F. A.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. Case study for hybrid power generation combining hydro-and photovoltaic energy resources in the brazilian semiarid region. **Clean Technologies and Environmental Policy**, [S.l.], v. 21, p. 941-952, 2019.

VIDAL, M. F. **Indústria: Biocombustíveis Biodiesel e Etano. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil**, ano 7, n.248, 2022. (Caderno Setorial ETENE)

WRITZL, T. C.; CANEPELLE, E.; STEIN, J. E. S.; KERKHOFF, J. T.; STEFFLER, A. D.; SILVA, D. W.; REDIN, M. Produção de milho pipoca com uso do pó de rocha de basalto associado à cama de frango em latossolo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 101-109, 2019.