

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS– CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO– PPGCS

ANDRÉ PIRES BRAGA DE ANDRADE

**INCUBAÇÃO DOS PÓS DE ROCHA OLIVINA MELILITO E FONOLITO COM
ÁCIDO CÍTRICO, *BACILLUS SUBTILIS* E *B. MEGATERIUM* E RESPOSTA NO
CULTIVO DO FEIJOEIRO**

LAGES
AGOSTO 2022

ANDRÉ PIRES BRAGA DE ANDRADE

**INCUBAÇÃO DOS PÓS DE ROCHA OLIVINA MELILITITO E FONOLITO COM
ÁCIDO CÍTRICO, *BACILLUS SUBTILIS* E *B. MEGATERIUM* E RESPOSTA NO
CULTIVO DO FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Jaime Antonio Almeida
Coorientador: Prof. Dr. Osmar Klauberg Filho

**LAGES, SC
2022**

Ficha catalográfica

ANDRÉ PIRES BRAGA DE ANDRADE

**INCUBAÇÃO DOS PÓS DE ROCHA OLIVINA MELILITITO E FONOLITO COM
ÁCIDO CÍTRICO, *BACILLUS SUBTILIS* E *B. MEGATERIUM* E RESPOSTA NO
CULTIVO DO FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Jaime Antonio Almeida
Coorientador: Prof. Dr. Osmar Klauberg Filho

BANCA EXAMINADORA

Orientador: _____

Prof. Dr. Jaime Antonio Almeida

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Membro interno: _____

Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra

Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Membro Externo: _____

Prof. Dr. Luciane Costa de Oliveira

Instituto Federal Catarinense Câmpus Lages – IFSC

Lages, 22 de agosto de 2022

Dedico à minha companheira Cindy Fernandes,
à minha mãe Virginia Pires, ao meu Pai Ricardo
Braga, à minha irmã Thais Pires, Aos meus
sobrinhos Rudra e Kauã, às minhas avós Hilda
Galletti e Maria Salomé “in memoriam”

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha companheira Cindy Fernandes pela a dedicação, carinho e ajuda durante todo o processo do mestrado, à minha mãe Virginia Pires, ao meu Pai Ricardo Braga pelo apoio emocional, a todos meus amigos, Ana Previdi, Cleiton, Gabriel, Gregory, Guilherme, Eduardo, Juliano, Nelito, Ana, Carol, Bruna e todos que de alguma maneira me ajudaram, agradeço meus professores e orientadores Jaime Antonio por aceitar ser meu orientador, professora Mari Lucia por toda ajuda e boas conversas aos professores Osmar Klauberg pela Co orientação e Álvaro Mafra por todo o conhecimento transmitido e por fim, todos os professores que me auxiliaram durante a minha formação .

RESUMO

ANDRADE, André Pires Braga de. **INCUBAÇÃO DOS PÓS DE ROCHA OLIVINA MELILITO E FONOLITO COM ÁCIDO CÍTRICO, *BACILLUS SUBTILIS* E *B. MEGATERIUM* E RESPOSTA NO CULTIVO DO FEIJOEIRO**. 2022. 77pg. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo - Área: Caracterização, conservação e uso dos recursos naturais) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Lages, SC, 2022.

Diversos tratamentos visam melhorar a eficiência da utilização dos pós de rocha, sejam por ação química, biológica ou térmica e posteriormente realizar a aplicação ao solo, para verificar se esses tratamentos melhoram fornecimento de nutrientes, contido nos pós das rochas, para as plantas e para o solo. Os pós de rocha constituem-se de materiais de baixa solubilidade o que pode ser uma desvantagem para fornecimento imediato de nutrientes principalmente para as culturas de ciclo curto. O estudo objetivou aumentar a solubilidade dos pós de rocha olivina melilito e fonolito através da incubação, utilizando água, ácido cítrico, associação dos micro-organismos *Bacillus Subtilis* e *Bacillus Megaterium* e meio de cultura, durante 60 dias, com 4 coletas de amostras durante este período, para determinar a liberação de Ca, Mg, K, Na das rochas e dos valores de pH e condutividade elétrica. A incubação de olivina melilito nos tratamentos com água e ácido cítrico aumentou a dissolução dos minerais durante a fase inicial do período de incubação em comparação aos tratamentos com a associação das bactérias e com o meio de cultura. Para o pó da rocha fonolito, a incubação com ácido cítrico foi o único tratamento que demonstrou eficácia na solubilização dos minerais. A variação no pH das soluções foi o principal fator responsável pelas diferenças na solubilização das rochas. Após incubação, os materiais avaliados e os tratamentos com adubo mineral e controle sem fertilizantes foram testados em cultivo, com objetivo de avaliar a resposta das plantas de feijão. Foram realizados dois cultivos subsequentes em um Cambissolo Húmico Alumínico típico de textura média. O experimento ocorreu em casa de vegetação (CV) durante 121 dias de cultivo. Foram coletadas amostras de solo para determinar os teores de P, Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺, Al⁺³, H⁺Al, CTC_{pH7}, pH (água), pH (CaCl₂), V%, m%, argila silte e areia e foram coletadas as plantas para determinar os teores de N, P, K⁺, Ca⁺² e Mg⁺² e matéria seca total. A utilização dos pós das rochas fonolito e olivina melilito previamente incubadas ao solo, nas suas diferentes modalidades, favoreceram a disponibilização de nutrientes às plantas e incrementaram os teores de nutrientes no solo, com diferenças observadas entre as duas rochas testadas.

Palavras-Chave: Feijão. Olivina Melilito. Fonolito. Rochagem. Pó de rocha. Ácido cítrico. BiomaPhos[®]. Incubação.

ABSTRACT

ANDRADE, André Pires Braga de. **INCUBATION OF ROCK POWDERS FROM OLIVINE MELILITITE AND PHONOLITE WITH CITRIC ACID, BACILLUS SUBTILIS AND B. MEGATERIUM AND RESPONSE IN BEAN CULTIVATION.** 2022. 77 pg. Dissertation (Master's in Soil Science - Area: Characterization, conservation, and use of natural resources) - University of the State of Santa Catarina. Postgraduate Program in Soil Science, Lages, SC, 2022.

Several treatments aim to improve the efficiency of the use of rock powders, whether by chemical, biological or thermal action, and then apply them to the soil, to verify if these treatments improve the supply of nutrients, contained in the rock powders, for plants and for the soil. Rock powders are materials of low solubility, which can be a disadvantage for the immediate supply of nutrients, especially for short-cycle crops. The study aimed to increase the solubility of olivine, melilitite and phonolite rock powders through incubation, using water, citric acid, association of *Bacillus Subtilis* and *Bacillus Megaterium* microorganisms and culture medium, for 60 days, with 4 sample collections during this period. period, to determine the release of Ca, Mg, K, Na from the rocks and the pH and electrical conductivity values. The incubation of olivine melilitite in the treatments with water and citric acid increased the dissolution of minerals during the initial phase of the incubation period compared to the treatments with the association of bacteria and with the culture medium. For phonolite rock powder, incubation with citric acid was the only treatment that demonstrated efficacy in the solubilization of minerals. The variation in the pH of the solutions was the main factor responsible for the differences in the solubility of the rocks. After incubation, the evaluated materials and treatments with mineral fertilizer and control without fertilizers were tested in cultivation, with the objective of evaluating the response of bean plants. Two subsequent cultivations were carried out in a typical Aluminum Humic Cambisol of medium texture. The experiment took place in a greenhouse (CV) during 121 days of cultivation. Soil samples were collected to determine the contents of P, Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺, Al⁺³, H⁺Al, CTCpH7, pH (water), pH (CaCl₂), V%, m%, clay, silt and sand and the plants were collected to determine the levels of N, P, K⁺, Ca⁺² and Mg⁺² and total dry matter. The use of powders from the phonolite and olivine mellilitite rocks previously incubated in the soil, in their different modalities, favored the availability of nutrients to the plants and increased the nutrient contents in the soil, with differences observed between the two tested rocks.

Keywords: Bean. Olivine Melilitite. Phonolite. Stonemeal. Rock dust. Citric acid. BiomaPhos[®]. Pre-incubation.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Pesagem dos pós de rocha (A), saturação do fonolito (B)
- Figura 2** – Fonolito em capacidade de campo (A), Olivina Melilitio em saturação (B)
- Figura 3** – Olivina Melilitio em capacidade de campo (A), pré incubação dos pós de rocha (B)
- Figura 4** - Teor de Ca^{+2} solubilizado por água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.
- Figura 5** - Teor de Mg^{+2} solubilizado por água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.
- Figura 6** - Teor de K^{+} solubilizado por água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.
- Figura 7** - Teor de Na^{+} solubilizado por água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.
- Figura 8** -pH das soluções contendo água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.
- Figura 9** -Condutividade elétrica das soluções contendo água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.
- Figura 10** -Teor de Ca^{+2} solubilizado por água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.
- Figura 11** -Teor de Mg^{+2} solubilizado por água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de pré incção do pó de rocha.
- Figura 12** -Teor de K^{+} solubilizado por água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.
- Figura 13** -Teor de Na^{+} solubilizado por água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.
- Figura 14** -pH das soluções contendo água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.
- Figura 15** -Condutividade elétrica das soluções contendo água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de pré incubação do pó de rocha.
- Figura 16** – Incorporação dos pós de rocha incubados ao solo coletado (A), Semeadura do feijão SCS204 Predileto (B)
- Figura 17** – Coleta dos solos para análises químicas (A), Coleta das folhas para análises químicas (B)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Procedimentos analíticos utilizados para a determinação dos elementos das rochas Olivina Melilitito e Fonolito.

Tabela 2 – Composição química elementar das rochas – ALS

Tabela 3 – Valores dos elementos tóxicos real observado e limite permitido nos remineralizadores pela legislação brasileira – ALS

Tabela 4 – Teores foliares de N, P, K, Ca, Mg (%) e MST (g) das plantas de feijão do primeiro cultivo

Tabela 5 – Teores acumulados de N, P, K, Ca, Mg (mg) das plantas de feijão do primeiro cultivo.

Tabela 6 – Resultado da análise química e física do solo.

Tabela 7 – Valores da análise do solo de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , H+Al, P, K^{+} , Na^{+} , CTC_{pH7} , CTC efetiva, pH em Água e CaCl_2 , V% e m% do primeiro cultivo.

Tabela 8 – Teores foliares de N, P, K, Ca, Mg (%) e MST (g) das plantas de feijão do primeiro cultivo

Tabela 9 – Teores acumulados de N, P, K, Ca, Mg (mg) das plantas de feijão do primeiro cultivo.

Tabela 10 – Valores da análise do solo de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , H+Al, P, K^{+} , Na^{+} , CTC_{pH7} , CTC efetiva, pH em Água, e CaCl_2 , V% e m% do primeiro cultivo

Tabela 11 – Teores foliares de N, P, K, Ca, Mg (%) e MST (g) das plantas de feijão do segundo cultivo

Tabela 12 – Teores acumulados de N, P, K, Ca, Mg (mg) das plantas de feijão do segundo cultivo

Tabela 13 – Valores da análise do solo de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , H+Al, P, K^{+} , Na^{+} , CTC_{pH7} , CTC efetiva, pH em Água, e CaCl_2 , V% e m% do segundo cultivo.

Tabela 14 – Teores foliares de N, P, K, Ca, Mg (%) e MST (g) das plantas de feijão do segundo cultivo

Tabela 15 – Teores acumulados de N, P, K, Ca, Mg (mg) das plantas de feijão do segundo cultivo.

Tabela 16 – Valores da análise do solo de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , H+Al, P, K^{+} , Na^{+} , CTC_{pH7} , CTC efetiva, pH em Água, e CaCl_2 , V% e m% do segundo cultivo.

SÚMARIO

1.1.1	Objetivos Gerais.....	2
1.1.2	Objetivos Específicos.....	3
1.2	HIPÓTESE.....	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1	PRODUÇÃO AGRÍCOLA BRASILEIRA.....	3
2.2	PÓS DE ROCHA.....	4
2.3	ROCHAS SILICÁTICAS.....	5
2.4	FONOLITO E OLIVINA MELILITITO.....	6
2.5	EFICIÊNCIA E USO DOS PÓS DE ROCHA.....	7
3	CAPÍTULO 1: INCUBAÇÃO DAS ROCHAS OLIVINA MELILITITO E FONOLITO COM ÁCIDO CÍTRICO E <i>BACILLUS</i>.....	11
3.1	INTRODUÇÃO.....	13
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.3	CARACTERIZAÇÃO DAS ROCHAS.....	14
3.3.1	COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS.....	14
3.3.2	ANÁLISES QUÍMICAS ELEMENTARES.....	15
3.3.3	INCUBAÇÃO DOS PÓS DE ROCHAS.....	16
3.3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	17
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
3.4.1	ANÁLISES QUÍMICAS ELEMENTARES.....	19
3.4.2	LIBERAÇÃO DE NURIENTES DA ROCHA OLIVINA MELILITITO.....	20
3.4.3	LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES DA ROCHA FONOLITO.....	28
3.5	CONCLUSÕES.....	35
4	CAPÍTULO 2: INCORPORAÇÃO DOS PÓS DE ROCHAS INCUBADOS NO SOLO E SEMEADURA DE FEIJÃO.....	37
4.1	INTRODUÇÃO.....	39
4.2	MATERIAIS E METODOS.....	40
4.3	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	40
4.4	PREPARO, ANÁLISE QUÍMICA E TEOR DE ARGILADO SOLO COLETADO.....	40
4.5	ESCOLHA DA CULTIVAR DE FEIJÃO.....	41
4.6	COLETA DE FOLHAS E ANÁLISES QUÍMICAS DO TECIDO VEGETAL DO FEIJÃO 41	
4.7	INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO EM CASA DE VEGETAÇÃO.....	42
4.8	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	44

4.9	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.9.1	PRIMEIRO CULTIVO	45
4.9.2	ANÁLISE QUÍMICA DA PLANTA SOB O EFEITO DA ROCHA FONOLITO	45
4.9.3	ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO SOB O EFEITO DA ROCHA FONOLITO	47
4.9.4	ANÁLISE QUÍMICA DA PLANTA SOB O EFEITO DA ROCHA OLIVINA MELILITITO	50
4.9.5	ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO SOB O EFEITO DA ROCHA OLIVINA MELILITITO	52
4.9.6	SEGUNDO CULTIVO	54
4.9.7	ANÁLISE QUÍMICA DA PLANTA SOB O EFEITO DA ROCHA FONOLITO	54
4.9.8	ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO SOB O EFEITO DA ROCHA FONOLITO	56
4.9.9	ANÁLISE QUÍMICA DA PLANTA SOB O EFEITO DA ROCHA OLIVINA MELILITITO	58
4.9.10	ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO SOB O EFEITO DA ROCHA OLIVINA MELILITITO	60
4.10	CONCLUSÕES.....	63
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	65

1 INTRODUÇÃO GERAL

De acordo com a Lei nº 12.890/2013, os pós de rocha são definidos como categoria de insumo destinado à agricultura, sendo materiais de origem mineral que tenham sofrido apenas redução de tamanho por processos mecânicos e que alterem a fertilidade do solo por meio de adição de nutrientes para as plantas, bem como, melhorem as propriedades físicas ou físico-químicas ou a atividade biológica do solo (BRASIL, 2016).

Desta forma é necessário conhecer e aprimorar alguns aspectos da eficiência da utilização dos pós de rocha, pois, um dos grandes desafios na sua utilização como fertilizantes é disponibilizar os nutrientes nas quantidades e no tempo adequado para cada cultura (Harley e Gilkes 2000; Martins et al. 2008; Straaten 2006) por apresentar baixa solubilidade.

Porém esse fator não é de todo desvantajoso, pois, para Leonardos et al. (2000) a baixa solubilidade das rochas faz delas uma importante ferramenta para a nutrição, principalmente para áreas com problemas de salinidade e locais sujeitos a chuvas constantes, evitando que os nutrientes sejam rapidamente lixiviados.

Melamed et al. (2007) cita alguns benefícios da utilização dos pós de rocha, entre eles o fornecimento lento de macro e micronutrientes, aumento da disponibilidade desses nutrientes nos solos cultivados, elevação do pH e aumento da reserva nutricional do solo. Desta maneira pesquisas estão demonstrando resultados interessantes quanto à solubilização de rochas, quando são submetidas a tratamentos prévios, como exposição térmica e acidificação, tendo como exemplo a produção de termo fertilizantes (RESENDE et al., 2006; STRAATEN, 2006).

Os microorganismos possuem papel importantíssimo no intemperismo biológico pela solubilização dos minerais presentes nas rochas. Sua ação ocorre pela produção de compostos de sua atividade metabólica, como por exemplo ácidos orgânicos que podem acelerar a solubilização dos minerais. No caso do potássio, por exemplo, isto pode ocorrer por um conjunto de três ações: os ácidos aderem à superfície mineral e extraem nutrientes das partículas minerais por reação de transferência de elétrons, quebram as ligações de oxigênio e formam íons quelatados na solução através de seus grupos carboxila e hidroxila. O terceiro mecanismo acelera indiretamente a taxa de dissolução criando um gradiente entre as concentrações de cátions e ânions na solução (Sattar et al., 2019). Existem diversos relatos de microorganismos solubilizadores, referente ao processo da disponibilização de elementos essenciais para as plantas, como por exemplo, o fósforo e o potássio (Batista et al, 2018; Jochum et al., 2019: Oliveira et al,2017)

Muitas pesquisas estão expondo que a utilização de inoculantes solubilizadores de fosfato, estão aumentando o P disponível e a absorção pelas plantas (Irshad et al., 2012; Owenet al., 2015). Pesquisas desenvolvidas pela Embrapa Milho e Sorgo, demonstrou que a inoculação do milho com o Biomaphos®, promoveu ganhos na produtividade, com redução de adubação fosfatada, ou seja, a utilização do Biomaphos® pode reduzir o consumo de fertilizantes fosfatados importados (Oliveira et al, 2020).

Os ácidos orgânicos simples, como o acético, assim como aqueles com ação complexante, como o cítrico e oxálico, são facilmente encontrados nas camadas mais superficiais dos solos, sendo produtos da decomposição do material orgânico, sintetizados pelos microrganismos e exsudatos pelas plantas (SILVEIRA; FREITAS, 2007). Segundo Ribeiro (2018) pressupõe-se que a solubilidade dos minerais através da interação com ácidos orgânicos possa ser uma alternativa de simulação próxima a de liberação real de nutrientes pelos minerais contidos nos pós de rocha.

Desse modo, considerando a existência de importantes reservas de rochas com potencial para utilização como remineralizadores de solo na região de Lages, e a baixa solubilidade desses materiais após sua aplicação ao solo, o presente trabalho objetivou avaliar a eficácia da pré-solubilização de pós de rocha com ácido cítrico diluído, bem como o emprego de bactérias solubilizadoras comerciais no incremento da liberação de nutrientes contidos nos pós de rocha fonolito e olivina melilitito atualmente pesquisados como fontes alternativas de nutrientes para emprego agrícola.

1.1.1 Objetivos Gerais

O objetivo deste estudo foi investigar a solubilidade dos pós puros das rochas, olivina melilitito e fonolito, através da incubação com ácido cítrico e com a associação das bactérias *Bacillus Subtilis* e *Bacillus Megaterium*, e a aplicação desse material incubado ao solo e sua resposta agrônômica no cultivo do feijão.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Verificar se a incubação dos pós das rochas olivina melilitito e fonolito com ácido cítrico aumenta a solubilidade dos minerais neles contidos
- b) Verificar se a incubação dos pós das rochas olivina melilitito e fonolito com a associação dos *Bacillus Subtilis*; *Bacillus Megaterium* (BiomaPhos®), aumenta a solubilidade dos minerais neles contidos.
- c) Avaliar o potencial agronômico na sucessão feijão/feijão, após a aplicação dos pós de rochas previamente incubados com ácido cítrico e com o *Bacillus subtilis*; *Bacillus Megaterium* (BiomaPhos®) no solo.

1.2 HIPÓTESE

- a) A incubação com ácido cítrico aumenta a solubilidade dos pós de rochas olivina melilitito e fonolito.
- b) A incubação com inoculante a base de bactérias do gênero *Bacillus* aumenta a solubilidade dos pós de rochas olivina melilitito e fonolito.
- c) O tratamento com o ácido cítrico e o tratamento com as bactérias *B. subtilis* e *B. Megaterium* solubilizam mais rapidamente os pós de rochas do que sua aplicação na forma pura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PRODUÇÃO AGRÍCOLA BRASILEIRA

Há anos a agricultura brasileira se tornou destaque em produção de alimentos, tanto em qualidade, como em quantidade e diversidade, sendo considerada um dos celeiros de alimentos do mundo. O estudo feito por Contini & Aragão (2021) demonstra que no ano de 2020, o Brasil alimentou 772,600 milhões de pessoas, sendo 212,235 da população brasileira e mais 560,365 milhões de pessoas ao redor do planeta, via exportação de grãos e grãos convertidos em carne bovina. Já em 2019 alimentou 809,472 milhões de pessoas, considerando toda a população brasileira e estrangeira. A diferença entre os anos 2019 e 2020 deve-se a variação de preços dos

alimentos nos dois anos considerados, portanto, pode-se afirmar que cerca de 800 milhões de pessoas do mundo são alimentadas pelo Brasil, incluindo a população brasileira.

Segundo estimativa feita pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) no ano de 2021 o Brasil produziu um volume de 255.506,7 mil toneladas de grãos. Mesmo o Brasil estando na quarta posição mundial de produção de grãos (arroz, feijão, cevada, soja, milho e trigo), ele ocupa o segundo lugar na exportação, fora que o Brasil corresponde por 50% do comércio mundial de soja (G1, 2021).

Para se manter a produção agrícola brasileira é necessário uma a quantidade de insumos muito grande, sendo que o Brasil ocupa o quarto lugar no ranking mundial como consumidor de fertilizantes solúveis (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009). Segundo a Associação Nacional de Difusão de Adubos (ANDA, 2021) foram importadas 39.258.338 toneladas de fertilizantes, e produzidos nacionalmente apenas 7.210.335 toneladas, no ano de 2021.

Além de dependermos de outros países para aquisição dos fertilizantes, o Brasil é extremamente dependente dos preços estabelecidos pelos países exportadores de fertilizantes e/ou de matéria prima (THEODORO; ALMEIDA, 2013). Para tornar o Brasil menos dependente da importação de insumos, principalmente o de fertilizantes, e ter uma agricultura sustentável de baixa emissão de carbono, uma das alternativas é a utilização dos pós de rocha. (parágrafo extenso)

2.2 PÓS DE ROCHA

A utilização de insumos, dentre eles os pós de rocha, para o incremento da fertilidade do solo é uma prática muito antiga, Plínio (62-113 d.C.) sugeria que o calcário deveria ser espalhado para que se formasse uma pequena camada sobre o solo e que uma aplicação era suficiente para muitos anos. No ano de 1898 a obra literária Pães de Pedra cita a rochagem com ‘rochas silicáticas em que o alemão Julius Hensel afirma que é das farinhas de rochas que faremos nossos pães. Boa parte do acervo de Julius Hensel foi destruída pelas guerras, porém estima-se que aproximadamente a 50 anos atrás, a indústria química encontrou na agricultura um nicho para seus produtos (Hensel, 2003).

No Brasil a utilização de pós de rocha foi apresentada para utilização no ano de 1950 no estado de Minas Gerais pelos pesquisadores Josué Guimarães e Vlademir Ilchenko (MARTINS; THEODORO, 2009). Posteriormente, o pesquisador Othon Leonardos da Universidade de Brasília, desenvolveu linhas de pesquisas com intuito de testar diferentes tipos de rochas do

território brasileiro, focando nas características geoquímicas e agronômicas (LINS et al., 2010). Diversos são os termos para descrever a rochagem, como pó de rocha, petrofertilizantes, mineralizador ou remineralizador (STRAATEN, 2002). Na interação de pesquisas da geologia e agronomia está sendo utilizado o termo agrominerais para definir as matérias-primas de origem mineral, como rochas, resíduos de mineração, garimpo e metalurgia, passíveis de serem utilizados na agricultura com efeitos benéficos na fertilização, na correção e no condicionamento do solo (MEERT et al., 2009; CASTILHOS; BEZERRA, 2010; LOURENÇO, 2011). Segundo Martins (2019), rochagem é definida como o uso das rochas in natura, que passaram por redução das partículas, para no manejo da fertilidade do solo. Para Theodoro et al. (2006), a prática da rochagem se trata de um manejo em que ocorre a incorporação de materiais geológicos como, por exemplo, pós de rochas ou sedimentos, para incrementar positivamente a fertilidade do solo. Os benefícios da rochagem a partir de rochas silicáticas é a remineralização de solos, onde ocorre a disponibilização de nutrientes e a formação de novas fases minerais estáveis e de elevada superfície específica e capacidade de troca de cátions (MARTINS, 2019). A rochagem promove a reposição de minerais, formação de novas fases minerais estáveis, elevação da área superficial específica (ASE) e capacidade de troca de cátions (CTC) e a disponibilização de nutrientes (SILVA et al., 2012; SOUZA et al., 2017).

2.3 ROCHAS SILICÁTICAS

Para Madureira, Atencio e McReath (2000) rochas são produtos consolidados, resultantes da união natural de minerais os quais tem os seus cristais constituintes muito bem unidos na agregação mineralógica constituinte das rochas. Nelas distinguimos os minerais em essenciais e acessórios, os essenciais estão sempre presentes e são os mais abundantes numa determinada rocha e as suas proporções determinam o nome da rocha, enquanto os minerais acessórios são menos abundantes, podem ou não estar na rocha, sem que isto modifique a classificação da mesma. De acordo com Branco (2015), rochas ígneas, são originadas pelo resfriamento e solidificação do magma, caso esse magma esfrie sobre a superfície terrestre, origina uma rocha ígnea extrusiva, resfriando-se em grandes profundidades origina uma rocha ígnea intrusiva, e as rochas que se formam no interior da crosta, porém em pouca profundidade, são chamadas de hipoabissais. Sob a ótica química, a acidez das rochas magmáticas ou ígneas é classificada de acordo com a porcentagem total de sílica presente nelas, as rochas ácidas

com mais de 66% de sílica, intermediárias entre 66 e 52% de sílica, básicas 52 a 45% de sílica, e ultrabásicas com menos de 45% de sílica, ou seja, esta classificação não possui relação com o conceito de acidez usado em química (Branco, 2015). As rochas silicáticas possuem os agrominerais com maior potencial de utilização na agricultura e sendo por isso o foco principal das pesquisas, pois possuem ampla ocorrência e tipos no Brasil (NICHELE, 2006; MARTINS et al., 2008). Dentre os minerais do solo, os silicatos formam o grupo mais importante, constituem cerca de 80% das rochas magmáticas e metamórficas (ALMEIDA, 2000). As rochas magmáticas alcalinas mais utilizadas no Brasil como fontes alternativas de nutrientes, por exemplo, são a carbonatita, fonolitos, flogopitos, olivinas e kimberlitos. Já entre as rochas sedimentares, destacam-se os micaxistos, biotita xisto, flogopita xisto e o biotitito (ANDRADE; MARTINS; MENDES, 2002; CASTRO et. al., 2006; RESENDE et., al 2006 MIEKELEY, 2007; MARTINS, 2008; UBIANA et at., 2011). No universo que compõem os silicatos, os minerais de grande interesse são do tipo flogopita, biotita, piroxênios, anfibólios, feldspatos e feldspatóides pois contêm em sua estrutura diversos nutrientes como potássio cálcio, cobre e zinco e por apresentarem maior solubilidade (MARTINS et al., 2008; NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2004).

2.4 FONOLITO E OLIVINA MELILITITO

No estado de Santa Catarina, na região que engloba o município de Lages, há expressiva ocorrência de rochas alcalinas e ultrabásicas que compõem o complexo alcalino de Lages (Scheibe, 1986). Essas rochas podem ser separadas em quatro categorias devido a sua forma de ocorrência e padrões petrográficos, em I) alcalinas leucocráticas como por exemplo: fonolitos, analcitraquitos e nefelinasienitos; II) as ultrabásicas alcalinas compondo as rochas olivina melilitos e lamprófiros em diques; III) kimberlitos e brechas de chaminé e IV) carbonatito e brechas quartzo feldspáticas associadas. O fonolito é uma rocha intermediária, formada a partir do extravasamento de magma alcalino, rocha de granulação fina, afanítica e de classe de coloração leucocrática, geralmente de cores acinzentadas ou esverdeadas. Possui matriz composta por feldspatos potássicos (ortoclásio), feldspatóides (nefelina, leucita e analcita), piroxênios sódicos (augita), hornblenda, entre outros, como minerais principais constituintes. Ocorrem também a presença de minerais de Ti e Zr como acessórios, proporcionando o caráter agpaítico, ou seja, a predominância de elementos alcalinos sobre o alumínio (AUMOND, 1996; OLIVEIRA, 1985; UNESP 2020; LONGO 2020). Possui como

composição química elementar os seguintes teores: SiO₂: 58,14%; Al₂O₃: 23,62%; CaO: 1,37%; MgO: 0,09%; K₂O: 6,58% P₂O₅: 0,37%; CuO: 0,001% ZnO: 0,19% (RIBEIRO, 2018). A rocha olivina melilitito é de origem ígnea, de cor cinza escura, com granulação muito fina a média, possuindo granulometria menor que 1,0 mm a 5,0 mm, estrutura maciça e textura fanerítica inequigranular muito fina a média, com estrutura maciça e alteração moderadamente alterada. A petrografia indicou para essa rocha o predomínio de melilitas (40%), seguida de flogopitas (30%), clinopiroxênios (15%), 10% olivinas e 5% de minerais opacos. Possui como composição química elementar os seguintes tores: SiO₂: 37,75%; Al₂O₃: 10,37%; CaO: 15,27%; MgO: 14,91%; K₂O: 3,58%; P₂O₅: 1,541%; CuO: 0,014% e ZnO: 0,12% (RIBEIRO, 2018).

2.5 EFICIÊNCIA E USO DOS PÓS DE ROCHA

Os pós de rocha são materiais de reduzida solubilidade. Num primeiro momento isso pode ser uma desvantagem quando os mesmos são comparados aos adubos solúveis, os quais são rapidamente solubilizados e possuem alta concentração de nutrientes, entretanto, apresentam limitações em relação a sua eficiência, pois uma vez adicionados ao solo uma parte deles é absorvido pelas plantas outra parte fica no solo, podendo sofrer lixiviação como no caso do potássio, ou ser fortemente adsorvido no solo como no caso do fósforo e sofrer volatilização ou perda por lixiviação no caso do nitrogênio, fora que são insumos de elevado custo monetário (BALIGAR, 2001; MANNING, 2010; GRUKER, 2019). Os pós de rocha, por outro lado, apresentam algumas vantagens em relação aos adubos solúveis. Podem fornecer diversos macronutrientes, micronutrientes e elementos benéficos ao solo (LEONARDOS et al., 1987; SOUZA et al., 2017). Mesmo que sua solubilidade no solo seja menor do que os fertilizantes solúveis, os pós de rocha podem apresentar maior efeito residual, fornecer nutrientes de maneira gradual e podem aumentar o pH, em alguns casos (FRAGSTEIN et al., 1988; HARLEY; GILKES, 2000; SOUZA et al., 2017). A utilização dos pós de rocha em sistemas agrícolas pode favorecer a resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos melhorando seu estado nutricional (MELAMED et al., 2007). Outro aspecto a levar em conta no uso dos remineralizadores, é compreender os fatores que envolvem sua solubilização no solo. Segundo Fontes, (2012) o intemperismo é uma associação de processos físicos, químicos e biológicos que realizam o rompimento físico e a alteração química das rochas e que por meio de uma complexa interação de processos, o fenômeno transforma as rochas e seus minerais em produtos em equilíbrio mais estável com as condições físico-químicas prevalecentes no ambiente.

Portanto, o intemperismo é um fenômeno que pode controlar a fertilidade natural dos solos, pelo fornecimento de nutrientes e, até atuar como agente tamponante, contra vários problemas ambientais, como por exemplo: Impacto da chuva ácida em solos; relação entre níveis de CO₂ na atmosfera e intemperismo de minerais silicatados (WILSON, 2004). A água é o principal agente do intemperismo químico, ela age como solvente e reagente das reações do intemperismo, pode também carrear elementos químicos, como por exemplo exsudatos de raízes e hidrogênio, que quelatam e acidificam o meio, e aumentam a taxa de intemperismo. As principais reações do intemperismo químico são a dissolução, hidrólise e oxidação, enquanto que o intemperismo biológico, em que os organismos vivos atuam sobre a quebra ou a alteração dos minerais e rochas, por ações que resultam em processos químicos, ou seja, a respiração dos organismos, a absorção de nutrientes básicos, são ações que aumentam a concentração de hidrogênio no ambiente, intensificando a atuação da hidrólise, que é uma das principais reações do intemperismo químico (FONTES, 2012). Segundo Jones (1998), os ácidos orgânicos, como o citrato, acetato e oxalato estão envolvidos em diversos processos no ambiente rizosférico, incluindo a aquisição de nutrientes e a desintoxicação de metais, o alívio do estresse anaeróbio nas raízes, a intemperização mineral e a resistência à patógenos.

Considerando que ácidos orgânicos simples e com ação complexante são facilmente encontrados nas camadas mais superficiais dos solos, sendo produtos da decomposição do material orgânico, sintetizados pelos microrganismos e exsudatos pelas plantas (SILVEIRA; FREITAS, 2007), Ribeiro (2018) sugere que a avaliação da extração dos nutrientes dos pós de rocha com ácidos orgânicos fracos possa simular a liberação de nutrientes pelos minerais contidos nos pós de rocha. O ácido cítrico em uma concentração a 2% já é utilizado no Brasil há muito tempo, para verificar a solubilidade dos fosfatos naturais, avaliando tanto a qualidade dos fosfatos quanto a potencialidade de liberação de fósforo (CATANI, 1970). Segundo Machado et al. (2016), os ácidos orgânicos contidos na matéria orgânica e, ou, exsudatos por microrganismos e plantas podem aumentara liberação de potássio do interior dos minerais para o solo, pela formação de complexos organometálicos ou por acidificação do meio, pela liberação de prótons de hidrogênio.

Os microrganismos solubilizadores são encontrados normalmente no solo (KIM; JORDAN; KRISHNAN, 1997; SILVA FILHO, 1998, SILVA FILHO; NARLOCH; SCHARF, 2002), na superfície das sementes (KATZNELSON; PETERSON; ROUATT, 1962) e, também, em rochas e materiais proveniente de minas (ARBIETO, 2005). Diversas revisões têm sido feitas sobre os diversos efeitos benéficos da inoculação de microrganismos na promoção do crescimento de plantas (GALLEGUILLLOS et al., 2000; LUGTENBERG et al.,

2002; MENDES; REIS JÚNIOR, 2003; GRAY; SMITH, 2005; RIBEIRO et al., 2020). Esses efeitos benéficos são originados a partir de várias interações dos microrganismos, como por exemplo: A fixação biológica de nitrogênio, a produção de fito-hormônios (WAISEL; ESHEL; KAFKAFI, 2002; VESSEY, 2003; RIBEIRO et al., 2020), o controle de organismos nocivos por antagonismo ou o estabelecimento de competição na rizosfera podem inibir o desenvolvimento de fitopatógenos (SHARMA et al., 2003), e promover a disponibilidade de nutrientes, como ferro, fósforo (MASALHA et al., 2000; SHARMA; JOHRI, 2003; SILVA FILHO; VIDOR, 2001; NARLOCH, 2002; MENDES; REIS JÚNIOR, 2003), e potássio (HUNGRIA; : URQUIAGA, 1992). Na pesquisa realizada por Narloch (2002), depara-se com uma ampla gama de revisões dos microrganismos solubilizadores de fosfato, onde citam-se vários gêneros de fungos, incluindo fungos micorrízicos e bactérias como por exemplo *Pseudomonas*, *Erwiniaherbicola* (GOLDSTEIN, 1986), *Bacillus*, e membros da família Enterobacteriaceae (SILVA FILHO; VIDOR, 2001). A pesquisa realizada pela Embrapa demonstrou que a fertilização do milho com adubo organomineral aplicado com microrganismos solubilizadores de fósforo no sulco de semeadura resultou em produtividades similares ao milho adubado com superfosfato triplo, ocorreu o aumento do teor de P tanto no solo quanto na planta, quando se realizou a inoculação (Oliveira et al., 2017). Abou-el-Seoud e Abdel-Megeed (2012) visualizaram maior incremento no desenvolvimento do milho e absorção de nutrientes quando, bactérias solubilizadoras de P e bactérias solubilizadoras de K, foram inoculadas simultaneamente com a aplicação de pós de rocha. O trabalho realizado por (SILVA et al., 2015) demonstrou a capacidade de uma cepa bacteriana (B30), adquirida pela coleção de microrganismos multifuncionais da EMBRAPA milho e sorgo, em solubilizar a rocha fonolito, solubilizando 70% do total de K insolúvel da rocha. Badr (2006) pesquisou a incubação de bactérias do gênero *Bacillus sp.* em compostagem e usou o feldspato como mineral, no sentido de analisar a capacidade de mobilização de K, constatando efeitos consideráveis dessa técnica.

A granulometria possui grande influência para a liberação de nutrientes dos pós de rocha, quando estes são materiais mais finos (tamanho de argila e silte, ou seja, respectivamente, menores que 0,002 mm e entre 0,002 e 0,05 mm) acabam sendo facilmente fornecidos ao solo devido ao processo de intemperismo, já os materiais que possuem granulometria mais grossa, fornecem de forma contínua e lenta (BRITO et al., 2019). Os custos de obtenção dos pós de rocha podem ter uma redução de 60 a 80% em relação às fontes convencionais, pois seu beneficiamento envolve apenas a moagem das rochas, aliado ao fato de serem amplamente distribuídas em várias regiões do país (Theodoro; Leonardos., 2006)

também podem ser associados aos fertilizantes solúveis para reduzir a dose, e consequentemente, diminuir o custo de produção.

3 CAPÍTULO 1: INCUBAÇÃODAS ROCHAS OLIVINA MELILITITO E FONOLITO COM ÁCIDO CÍTRICO E *BACILLUS*

RESUMO

O uso dos pós de rocha ou remineralizadores na agricultura pode representar uma fonte com gradativa liberação de nutrientes para as plantas. Buscam-se alternativas para aumentar sua solubilidade para fornecimento mais rápido de nutrientes principalmente para culturas de ciclo curto. O estudo objetivou aumentar a solubilidade dos pós de rocha olivina melilitito e fonolito pela incubação, utilizando água, ácido cítrico, associação dos microorganismos *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* e meio de cultura, durante 60 dias, com quatro coletas de amostras para determinar a liberação s de Ca, Mg, K, Na das rochas e os valores de pH e condutividade elétrica. A incubação da rocha olivina melilitito nos tratamentos com água e ácido cítrico aumentou a dissolução dos minerais durante a fase inicial do período de incubação em comparação aos tratamentos com a associação das bactérias e com o meio de cultura. A incubação do fonolito com ácido cítrico foi o único tratamento que demonstrou eficácia na solubilização dos minerais. A variação no pH das soluções foi o principal fator responsável pelas diferenças observadas na solubilização das rochas estudadas.

Palavras-chave: Pó de rocha. Ácido cítrico. BiomaPhos[®]. Pré-incubação.

CHAPTER 1: PRE-INCUBATION OF THE ROCKS OLIVINE MELLITITE AND PHONOLITE WITH CITRIC ACID AND BACILLUS

ABSTRACT

The use of rock powders or remineralizers in agriculture can represent a source with gradual release of nutrients to plants. Alternatives are being sought to increase its solubility for faster supply of nutrients, especially for short-cycle crops. The study aimed to increase the solubility of olivine, melilitite and phonolite rock powders by incubation, using water, citric acid, association of *Bacillus subtilis* and *Bacillus megaterium* microorganisms and culture medium, for 60 days, with four sample collections to determine the release of Ca, Mg, K, Na from rocks and pH and electrical conductivity values. The incubation of the olivine melilitite rock in the treatments with water and citric acid increased the dissolution of minerals during the initial phase of the incubation period compared to the treatments with the association of bacteria and with the culture medium. The incubation of the phonolite with citric acid was the only treatment that demonstrated efficacy in the solubilization of minerals. The variation in the pH of the solutions was the main factor responsible for the differences observed in the solubilization of the studied rocks.

Keywords: Rock dust. Citric acid. BiomaPhos®. Pre-incubation.

Keywords: Rock dust. Citric acid. BiomaPhos®. Pre-incubation.

3.1 INTRODUÇÃO

Os pós de rocha são materiais de baixa solubilidade o que pode ser uma desvantagem para fornecimento imediato de nutrientes (Santos et al., 2016) principalmente para as culturas de ciclo curto. Para o fornecimento de nutrientes contidos nos minerais, os mesmos necessitam sofrer alterações em sua estrutura para que ocorra essa liberação o que acontece naturalmente através do processo de intemperismo, que se refere ao conjunto de fenômenos químicos, físicos e biológicos que atuam na desintegração e decomposição dos minerais das rochas. Na produção dos pós de rocha, uma das alternativas para acelerar a alteração física das rochas é o processo de moagem, o qual aumenta a área superficial específica da partículas e favorece os agentes do intemperismo físico e do intemperismo químico, pois a desestruturação dos minerais ocorre em má formações ou trincas em suas estruturas (LUCHESE et al., 2002; BAERE; FRANÇOIS; MAYER, 2015).

O intemperismo químico promove a decomposição da rocha através de reações e agentes químicos, dentre eles, o principal agente natural é a água da chuva, pois possui um caráter ligeiramente ácido, liberando íons H^+ que atacam as ligações que mantem unidos os elementos constituintes da estrutura mineral, e ocasionam hidrólise (BRAY et al., 2015).

Os ácidos orgânicos atuam no intemperismo de minerais pela ação da acidólise e pela capacidade da quelação (CHEN; BLUME; BEYER, 2000). Os ácidos oxálico e cítrico, comuns nos ambientes do solo, têm sido utilizados em experimentos objetivando simular o ambiente natural de intemperismo de possível absorção de nutrientes pelas plantas (BLAKE; WALTER, 1999; RAMOS et al., 2015). Pesquisas estão demonstrando resultados promissores quanto ao aumento da solubilização de pós de rochas, quando são submetidas a tratamentos prévios, como exposição térmica e acidificação, tendo como exemplo a produção de termo fertilizantes (RESENDE et al., 2006; STRAATEN, 2006).

Os micro-organismos possuem papel importantíssimo no intemperismo biológico pela produção de compostos de sua atividade metabólica, como por exemplo ácidos orgânicos. As moléculas de ácido orgânico influenciam a solubilização, no caso do potássio, em um conjunto de três ações: os ácidos aderem à superfície mineral e extraem nutrientes das partículas minerais por reação de transferência de elétrons, quebram as ligações de oxigênio e formam íons quelatados na solução através de seus grupos carboxila e hidroxila. O terceiro mecanismo acelera indiretamente a taxa de dissolução por criar um gradiente de concentração de cátions e ânions na solução (Sattar et al., 2019). O BiomaPhos[®] é um bioinsumo desenvolvido através da parceria entre a EMBRAPA e a empresa Bioma, utilizado para o tratamento de sementes ou

aplicação no sulco de semeadura. Quando utilizado via tratamento de sementes ou sulco de semeadura, o BiomaPhos se associa à planta desde o início da formação das raízes. As bactérias presentes no produto se multiplicam e colonizam a rizosfera da planta. Durante esse processo, as cepas BRM 119 (*Bacillus megaterium*) e BRM 2084 (*Bacillus subtilis*) iniciam a produção de diferentes ácidos orgânicos. Esses ácidos atuam na porção do solo que se encontra em contato com as raízes das plantas, iniciando assim o processo de solubilização do fósforo que está ligado ao cálcio, alumínio e ferro presentes no solo, deixando-o prontamente disponível para a absorção e a assimilação pela planta. Além disso, o BiomaPhos[®] também atua na mineralização do fósforo presente na matéria orgânica do solo (fitato), dando maior aporte desse elemento para o cultivo (BIOMA, 2019). Os micro-organismos contidos no produto comercial BiomaPhos[®] atuam sobre o P fixado ou P adicionado via fertilizantes (Sousa et al., 2021). Em áreas de produção de milho Oliveira et al. (2020) relatam que a utilização do BiomaPhos[®], resultou em ganho médio de 8,9% na produtividade do milho.

O objetivo é avaliar a incubação dos pós de rocha fonolito e olivina melilitito com solução de ácido cítrico e com associação de duas bactérias comerciais (BiomaPhos[®]) no aumento da liberação de nutrientes dessas rochas.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

A incubação dos pós de rocha foi conduzida no Laboratório de Mineralogia e Gênese do Solo (LMGS) do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) situada nas coordenadas geográficas de longitude 50° 18' 10,80" O e latitude 27° 47' 31,82" S, no município de Lages, Santa Catarina.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ROCHAS

3.3.1 COLETA E PREPARO DAS AMOSTRAS

As rochas utilizadas no experimento, foram coletadas no estado de Santa Catarina. A rocha ultrabásica olivina melilitito (OM) foi coletada em blocos no município de Palmeira - SC, nas coordenadas geográficas de latitude 27°38'57,33"S e longitude 50° 07'51,02"O. A rocha intermediária fonolito (FN) foi coletado em blocos no município de Lages - SC, nas coordenadas geográficas de latitude 27°38'37"S e longitude 50°9'18"O. Ambas as rochas

foram previamente britadas, moídas em moinho de grelhas e após secas em estufa a 65 °C, passadas por um jogo de peneiras de 1,0; 0,5; 0,250; 0,125; 0,053 e <0,053mm. Somente o material com dimensão que passou na peneira de 0,25mm foi utilizado no experimento.

3.3.2 ANÁLISES QUÍMICAS ELEMENTARES

As análises dos elementos maiores e menores das rochas foram feitas por métodos químicos no laboratório com certificação internacional ALS Global (Tabela 1), com sede na cidade de Vespasiano, Minas Gerais. As análises foram realizadas na sede da empresa localizada no Peru, utilizando vários protocolos com quantificação dos elementos por ICP (Inductived Coupled Plasma). Os elementos com maiores concentrações foram referidos na forma de óxidos (SiO₂) e os microelementos na forma elementar (ppm).

Tabela 1 - Procedimentos analíticos utilizados para a determinação dos elementos das rochas olivina melilitito e fonolito.

PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS		
CODE	DESCRIPTION	INSTRUMENT
ME-ICP06	Whole Rock Packpage – ICP-AES	ICP-AES
C-IR07	Total Carbon (Leco)	LECO
S-IR08	Total Sulphur (Leco)	LECO
ME-MS81	Lithium Borate Fusion ICP-MS	ICP-MS
ME-MS81	Up to 34 elements by ICP-MS	ICP-MS
AO-GRA05	Loss on Ignition at 1000C	WST-SEQ
TOT-ICP06	Total Calculation for ICP06	ICP-AES
ME-4ACD81	Base Metals by 4-acid dig	ICP-AES

Fonte: Elaborado por Ribeiro (2018)

3.3.3 INCUBAÇÃO DOS PÓS DE ROCHAS

A incubação dos pós de rocha com solução de ácido cítrico e com as bactérias solubilizadoras (BiomaPhos[®]) iniciou em 12/11/2020 e ocorreu por 60 dias. Os materiais foram previamente peneirados em malha de 0,25mm, secos e sua capacidade de campo determinada pelo método descrito por Casaroli e Lier (2008). Foi utilizado um volume correspondente a 1L (aproximadamente 1,5 kg) dos pós de rochas e quatro soluções distintas, que constituíram os tratamentos: (T1) 0,5 L de água deionizada, desmineralizada; (T2) 0,5 L de solução de ácido cítrico a 0,05 mol L⁻¹; (T3) solução referente a 80% da umidade na capacidade de campo do pó de rocha (0,187 L), contendo 25mL L⁻¹ do BiomaPhos[®] + meio de cultura (150g de cama de aves + 15g de açúcar mascavo) L⁻¹ ; e (T4) solução referente a 80% da umidade na capacidade de campo do pó de rocha (0,187 L), somente com meio de cultura (150g cama de aves + 15g de açúcar mascavo) L⁻¹, totalizando 32 unidades experimentais, sendo, 16 unidades experimentais para a rocha olivina melilitito e 16 unidades experimentais para rocha fonolito. Os materiais foram homogeneizados e dispostos em sacos plásticos sobre uma bancada de forma aleatória. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com quatro tratamentos e quatro repetições. Durante o período de incubação, a cada dois dias foi realizada a pesagem das amostras para repor a umidade perdida por evaporação e homogeneização da amostra, e nos dias 12/11/2020 (início da incubação), 27/11/2020 (15 dias após a incubação) , 18/12/2020 (36 dias após a incubação) e 11/01/2021 (60 dias após a incubação) foram retiradas alíquotas das amostras úmidas (pó de rocha + solução) e congeladas para posteriormente realizaras análises químicas. Por fim as amostras que estavam nos sacos plásticos foram secas em estufas de circulação de ar a 105 °C durante 48 horas, para posterior aplicação ao solo em experimento para avaliar a resposta no cultivo de plantas.

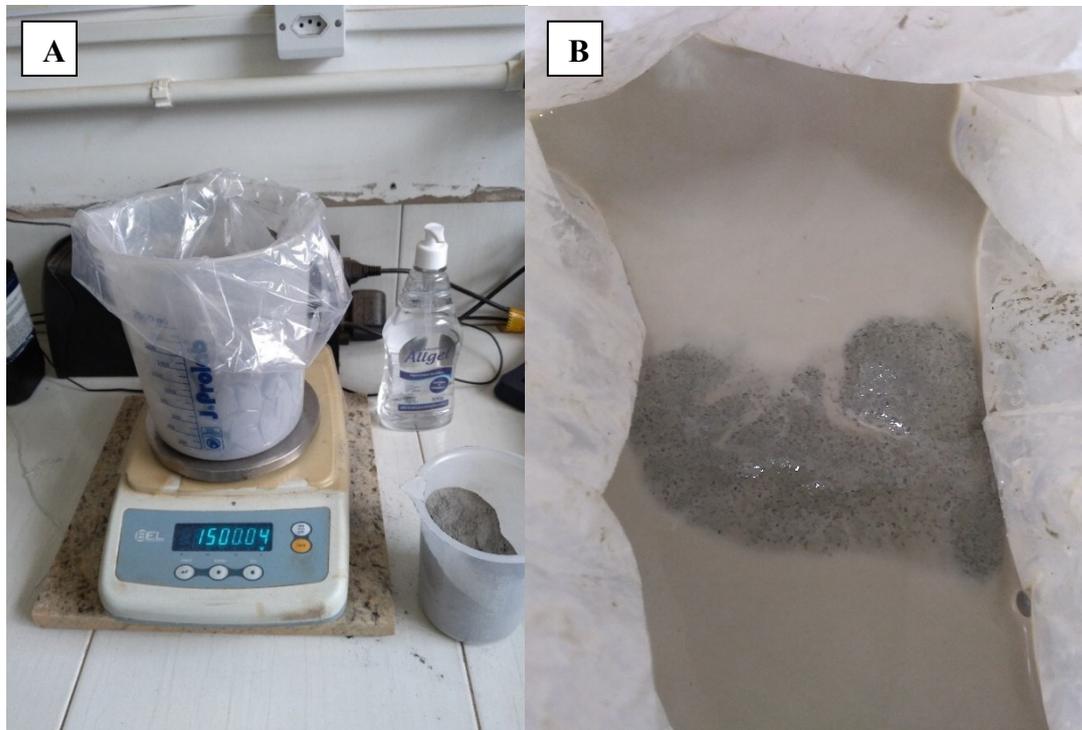
As alíquotas das amostras coletadas no período de incubação foram descongeladas e em seguida secas em estufa a 105°C durante 48 horas, para realizar as devidas análises químicas. O método adaptado de extração de água (Wolt, 1994) foi empregado para extrair a solução contendo os nutrientes liberados dos pós de rocha, utilizando uma relação de 1:1 de pó de rocha e água. Em um tubo de centrífuga de 50 mL, 5 mL de água ultrapura foram adicionados a 5 g de pó de rocha. Em seguida, os tubos foram colocados em um agitador horizontal por 15 min a 150 rpm, e deixados em repouso por 1 h. Após esse período, a solução foi novamente agitada por mais cinco minutos (Wolt, 1994) e centrifugada por 30 minutos a 1500 rpm. As amostras extraídas, foram passadas por filtros de membrana de celulose de 0,45mm, para determinar os teores de cálcio, magnésio, potássio, sódio e para obter os valores de pH e condutividade

elétrica. O potássio e o sódio foram quantificados por fotometria de chama, o cálcio e o magnésio determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o pH e condutividade elétrica (Tedesco et al.,1995).

3.3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

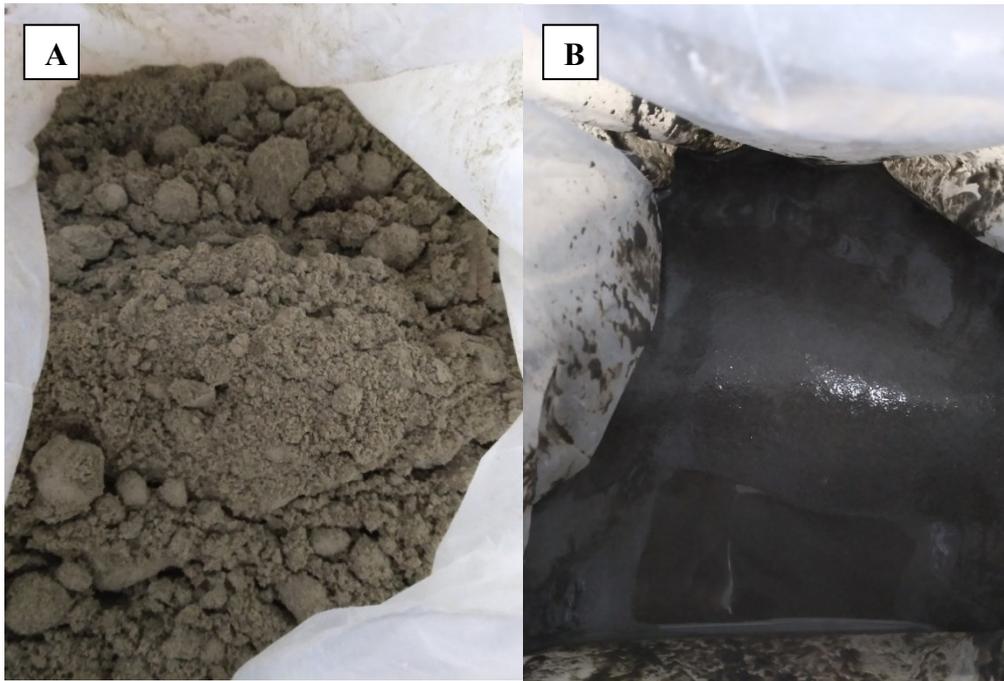
Os teores de nutrientes (Ca, Mg, K, Na) e os valores de pH e condutividade elétrica da solução dos pós de rocha, ao longo da incubação foram ajustados por análise de regressão.

Figura 1 – Pesagem dos pós de rocha (A), saturação do fonolito (B)



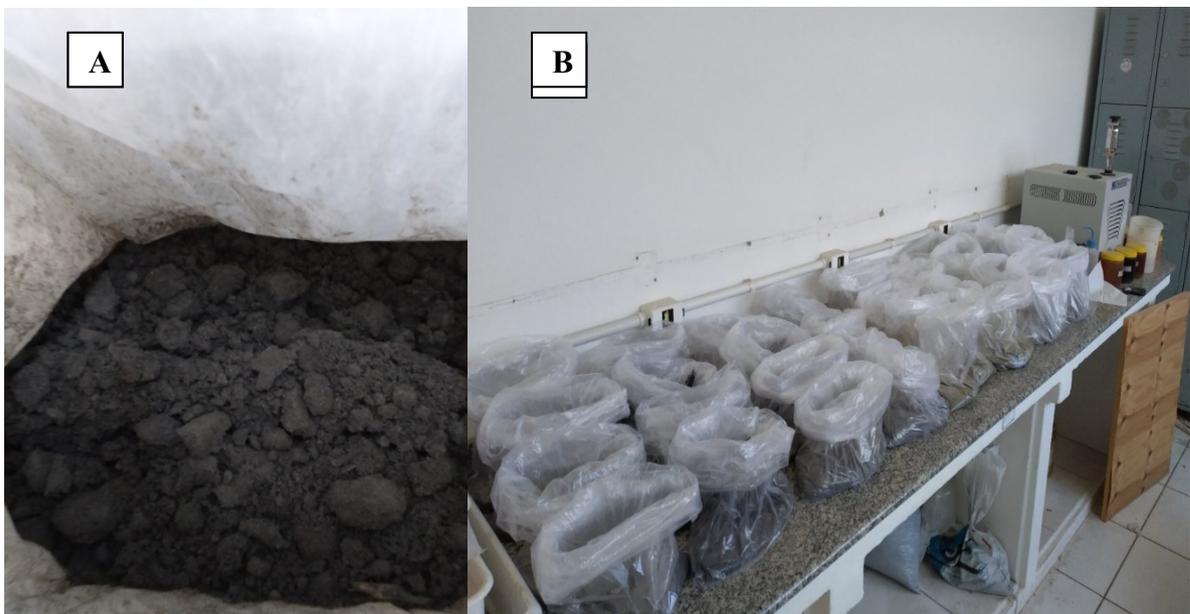
Fonte: elaborado pelo autor, 2022

Figura 2 – Fonolito em capacidade de campo (A), olivina melilito em saturação (B)



Fonte: elaborado pelo autor, 2022

Figura 3 – Olivina melilito em capacidade de campo (A), pré incubação dos pós de rocha (B)



Fonte: elaborado pelo autor, 2022

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 ANÁLISES QUÍMICAS ELEMENTARES

Na tabela 2 estão representados os valores obtidos das análises químicas, referente as composições químicas elementares das rochas, em que os macroatômicos estão na forma de óxidos e os microatômicos na forma elementar.

Tabela 2 - Composição química elementar das rochas-ALS(Peru).

Rocha	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	Na₂O	K₂O	MnO	P₂O₅	Cu	Zn	
		%								ppm	
OlivinaMelilito	38,2	8,84	11,25	13,55	15,05	2,98	2,84	0,19	1,18	101	107	
Fonolito	53,6	22	3,96	0,88	0,11	9,63	5,71	0,17	0,02	15	146	

Fonte: Elaborado por Ribeiro (2018), adaptado pelo autor, 2022.

De acordo com os teores de sílica (SiO₂), considerada para a classificação de acidez das rochas, a olivina melilito possui 38,2% de sílica, caracterizando-se como rocha ultrabásica e o Fonolito possui 53,65% de sílica caracterizando-se como rocha intermediária. Dentre os óxidos, a rocha olivina melilito destaca-se quanto os teores de CaO 13,55%, MgO² 15,05%, Fe₂O₃⁺11,25% e possui teores expressivos de K₂O 2,84% e P₂O₅ 1,18%, tornando-a importante fonte de nutrientes essenciais. Os resultados obtidos são similares aos obtidos pelo Departamento Nacional da Produção Mineral, (1987). Dentre os óxidos, a rocha fonolito possui destaque em relação ao teor de K₂O 5,71% e de Na₂O 9,63%. Os resultados obtidos assemelham-se com os obtidos por LUZ et al. (2010) e CORTES et al. (2010). Ambas as rochas apresentam potencial para serem utilizadas para fornecimento de nutrientes, sendo a primeira com maior potencial de fornecimento de vários nutrientes e a última principalmente como fonte alternativa de potássio. Quando comparadas com basalto, por exemplo, tanto olivina melilito como fonolito apresentam maior potencial de liberação de K⁺ (Ribeiro et al., 2017). Em experimento realizado por Duarte et al. (2013) os autores demonstraram que tratamentos com doses altas de olivina melilito produziram respostas das plantas equivalentes a aplicação do KCl recomendado pela análise de solo em relação à disponibilização de potássio no solo

Através do artigo 4º da IN 05-06 de 2016, sobre as garantias mínimas dos remineralizadores, a soma de bases do material deve ser maior ou igual a 9% em peso/peso e o teor de óxido de potássio igual ou superior à 1%, deste modo somente a rocha olivina melilitito enquadra-se na categoria de remineralizador de solos. Entretanto, a rocha fonolito, pelos elevados conteúdos de K, pode constituir uma importante fonte alternativa desse nutriente, podendo ser acrescentada a outros pós de rocha para aumentar a concentração do nutriente no produto final. Os resultados dos elementos potencialmente tóxicos presentes nas rochas, estão abaixo dos limites máximos permitidos pela IN 05-06 de 2016 (Tabela 3).

Tabela 3- Valores dos elementos tóxicos real observado e limite permitido nos remineralizadores pela legislação brasileira – ALS.

Rocha	Arsênio(As)		Cádmio(Cd)		Mercúrio(Hg)		Chumbo(Pb)	
	Real	Limite	Real	Limite	Real	Limite	Real	Limite
ppm.....							
Fonolito	4,7	15	<0,5	10	0,034	0,1	37	200
Olivinamelilitito	2,8	15	<0,5	10	0,038	0,1	16	200

Fonte: Elaborado por Ribeiro(2018), adaptado por Kruker (2019).

3.4.2 LIBERAÇÃO DE NURIENTES DA ROCHAOLIVINA MELILITITO

Após 60 dias de incubação da olivina melilitito, observa-se que, para a maior parte dos tratamentos, ocorreu reduzida liberação de nutrientes, efeito esperado devido à baixa solubilidade dos minerais presentes nas rochas(Leonardos et al. 2000; LOPES; COSTA; LOPES-ASSAD, 2013), com melhores resultados para os tratamentos T3 e T4. Entretanto, ao longo dos 60 dias o comportamento das curvas de solubilização foi diferenciado nos tratamentos. Os tratamentos T1 (água) e T2 (ácido cítrico) para o Ca^{+2} e K^{+} (Figura 4 e 6) e T1 para o Mg^{+2} e Na^{+} (Figura 5 e 7), proporcionaram liberação acentuada de nutrientes para a solução após 30 a 40 dias de incubação, em comparação com os mesmos elementos dos tratamentos T3 e T4 (figuras 4, 5, 6, 7) que mantiveram uma taxa crescente, porém mais baixa de liberação de nutrientes neste período. Esse efeito de alta dissolução dos nutrientes no período inicial para os tratamentos T1 e T2 pode estar associado ao fato de que, toda a superfície desses minerais está em contato direto com solução, favorecendo os processos de hidrólise e ou ácido-complexólise, efeitos esses que simulam o que ocorre naturalmente no solo, dos quais os pós

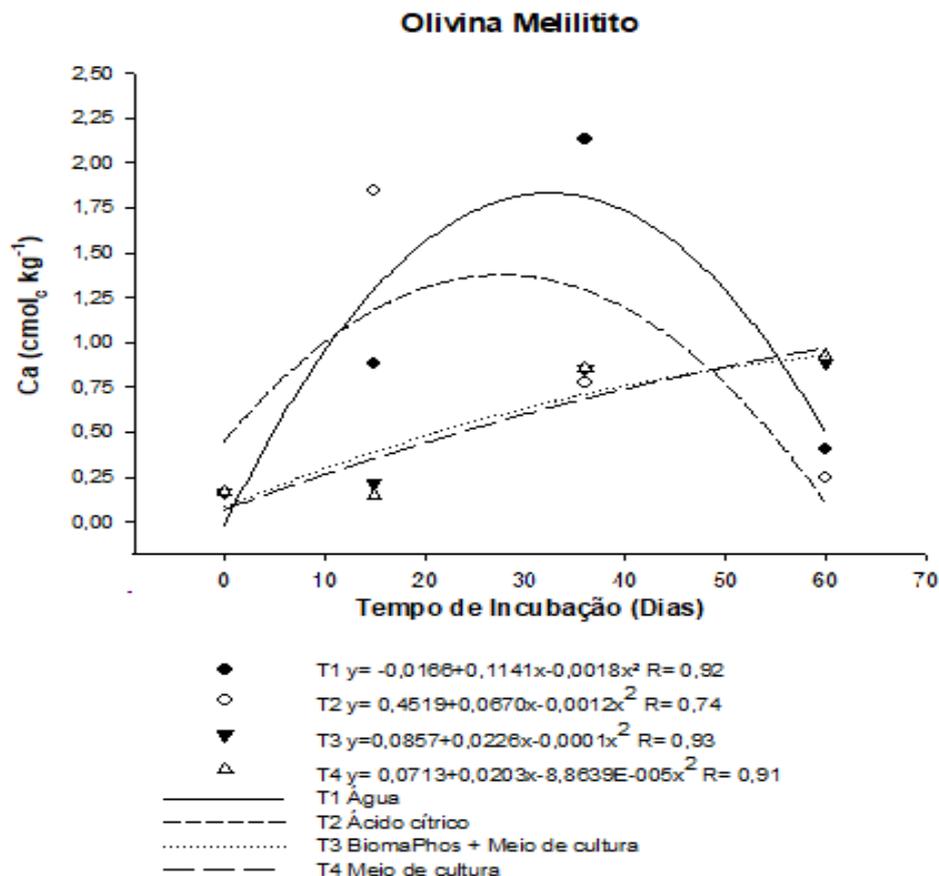
de rocha são dependentes para sua solubilização (BRANTLEY; STILLINGS, 1996; FONTES, 2012; BRANTLEY). Outro fator que influencia na dissolução dos nutrientes, tanto para a alta ou baixa taxa de dissolução, é o valor do pH da solução pois a figura 8 demonstra que quando há um decréscimo do pH da solução ocorre maior taxa de liberação dos nutrientes, enquanto como aumento do pH há menor taxa, pois a totalidade das reações que solubilizam os minerais são dependentes do pH, do potencial de oxi-redução, da composição da solução do solo, e da temperatura (HARLEY & GILKES, 2000). A maior taxa de liberação de cálcio e potássio na primeira metade do período de incubação, portanto, deve-se à redução mais acentuada do pH nos tratamentos T1 e T2. Para o magnésio e o sódio, no entanto, o tratamento com ácido cítrico teve pouco efeito na liberação desses dois nutrientes, uma vez que foi muito inferior ao tratamento T1, apenas em presença de água. Além do mais, para todos os nutrientes analisados, o ácido cítrico liberou menor quantidade de nutrientes do que a água, o que pode sugerir que a concentração do ácido tenha sido muito baixa, ou que tenha havido algum processo de readsorção ou precipitação dos elementos. A primeira hipótese é mais plausível, uma vez que o comportamento das curvas de solubilização da água e do ácido cítrico foram muito semelhantes para o Ca e o K, e em ambos os casos, a redução dos valores do pH ao longo do período de incubação foram muito pequenas, em torno de 0,15 unidades durante o período de máximo decréscimo.

Os tratamentos T3 e T4 não apresentaram taxa tão acentuada de dissolução de nutrientes nas fases iniciais, mas mantiveram taxa crescente e mais alta do que a dos tratamentos T1 e T2 no final do período avaliado. Isto pode ter ocorrido pela diminuição mais lenta do pH durante o período de incubação, porém mantendo valores de pH mais baixos do que os tratamentos T1 e T2 ao final do período de incubação (Figura 8). O tratamento T3 com a associação das duas bactérias não diferiram substancialmente do tratamento T4, contendo apenas o meio de cultura, o que pode indicar que este pode ter favorecido o desenvolvimento de outros grupos de microorganismos nativos com potencial solubilizador de nutrientes. Outro fator que pode ter tido interferência é o fato do pH da solução estar fora da faixa ideal de desenvolvimento das bactérias, pois a faixa ideal de pH de desenvolvimento das bactérias do gênero *Bacillus*, é em torno do pH 7 (FLORENTINO et al., 2017; GAUVRY et al., 2021). Pode-se sugerir também que as bactérias podem não estar em condições favoráveis para seu desenvolvimento, pois os fatores de sobrevivência dos microrganismos, no caso, solubilizadores de potássio dependem da fonte de carbono, temperatura, concentração de oxigênio, e período de incubação (DUARTE et al., 2013; ALVES et al., 2021). Todas essas hipóteses podem ser estendidas para os microorganismos solubilizadores dos demais nutrientes.

Do dia 40 em diante os teores dos nutrientes nos tratamentos T1 e T2 para o Ca^{+2} e K^{+} (Figura 4 e 6) e T1 para o Mg^{+2} e Na^{+} (Figura 5 e 7) decrescem, devido ao aumento do pH da solução, ao passo de que os tratamentos T3 e T4 mantêm um incremento de dissolução ao ponto que, próximo ao término do período de incubação observa-se maiores valores de liberação de nutrientes em comparação com os tratamentos T1 e T2, pois há um decréscimo do pH.

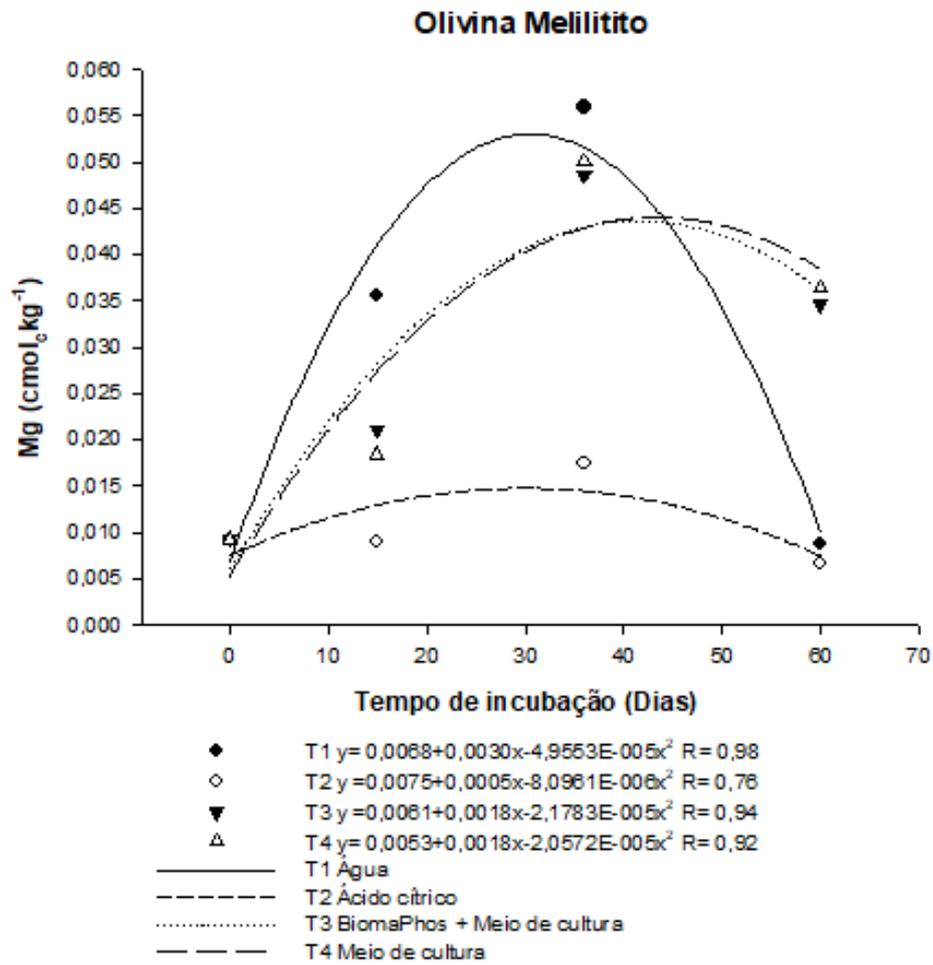
Aproximadamente entre o período de 30 a 40 dias de incubação os tratamentos T1 e T2 atingiram o seu pico de dissolução de nutrientes, após esse período, ocorre redução nos teores, pois a solubilização desses íons podem ter sofrido influências de diversos fatores, como distância, tortuosidade, concentração do elemento na água e mudanças com o tempo nas superfícies reativas dos minerais (BASAK et al., 2018). Para todos os tratamentos, T1, T2, T3 e T4 conforme há redução ou aumento do pH em maior ou menor grau, ocorre aumento ou declínio da liberação de nutrientes para a solução e conseqüentemente aumento ou decréscimo na condutividade elétrica conforme demonstrado na figura 9.

Figura 4- Teor de Ca^{+2} solubilizado por água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.



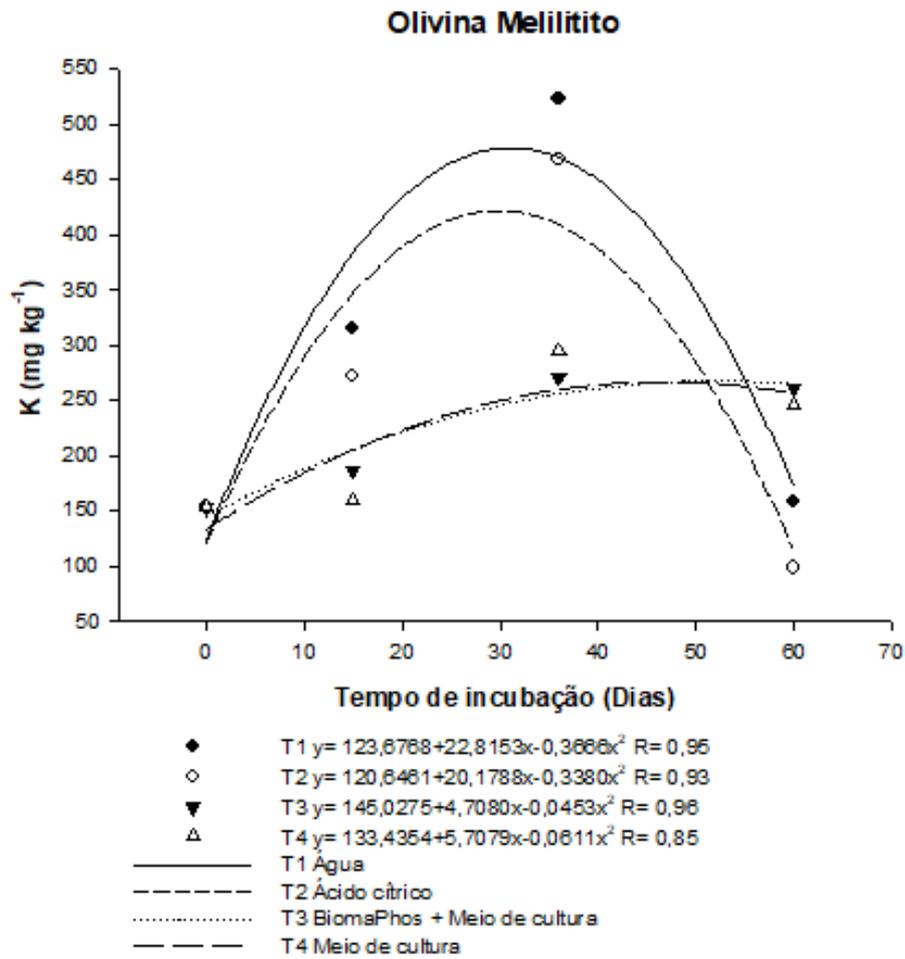
Fonte: elaborado pelo autor, 2022

Figura 5 - Teor de Mg^{+2} solubilizado por água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.



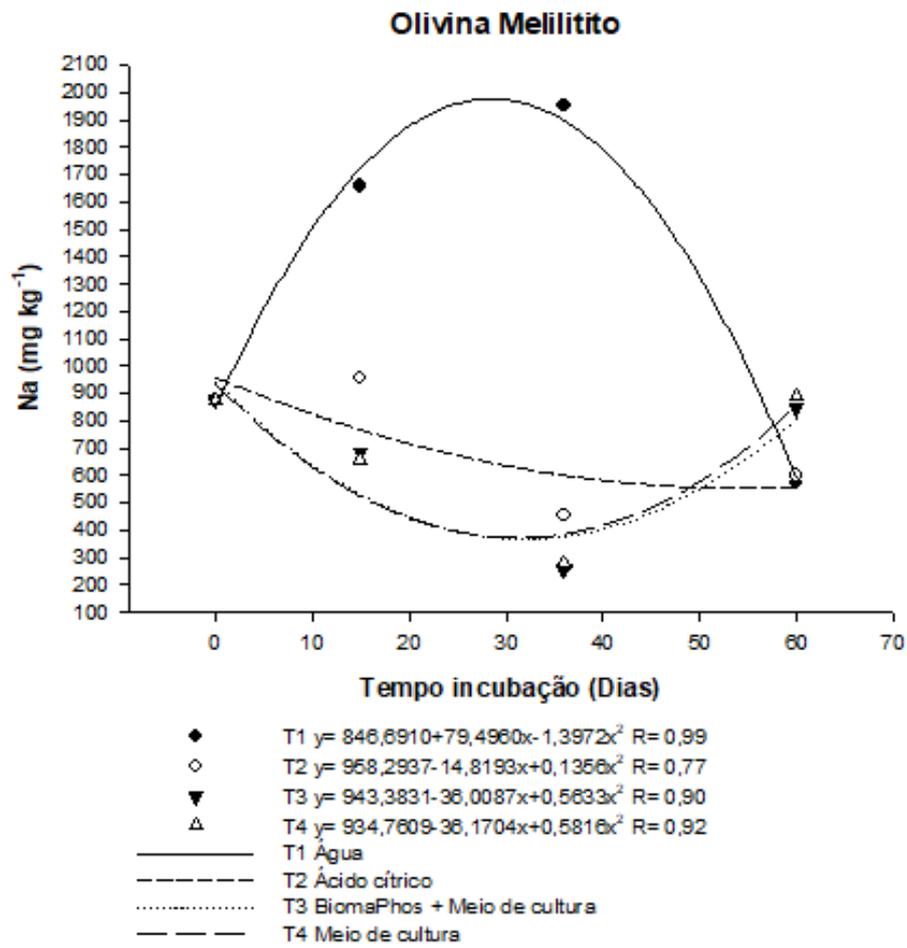
Fonte: elaborado pelo autor, 2022

Figura 6 - Teor de K^+ solubilizado por água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.



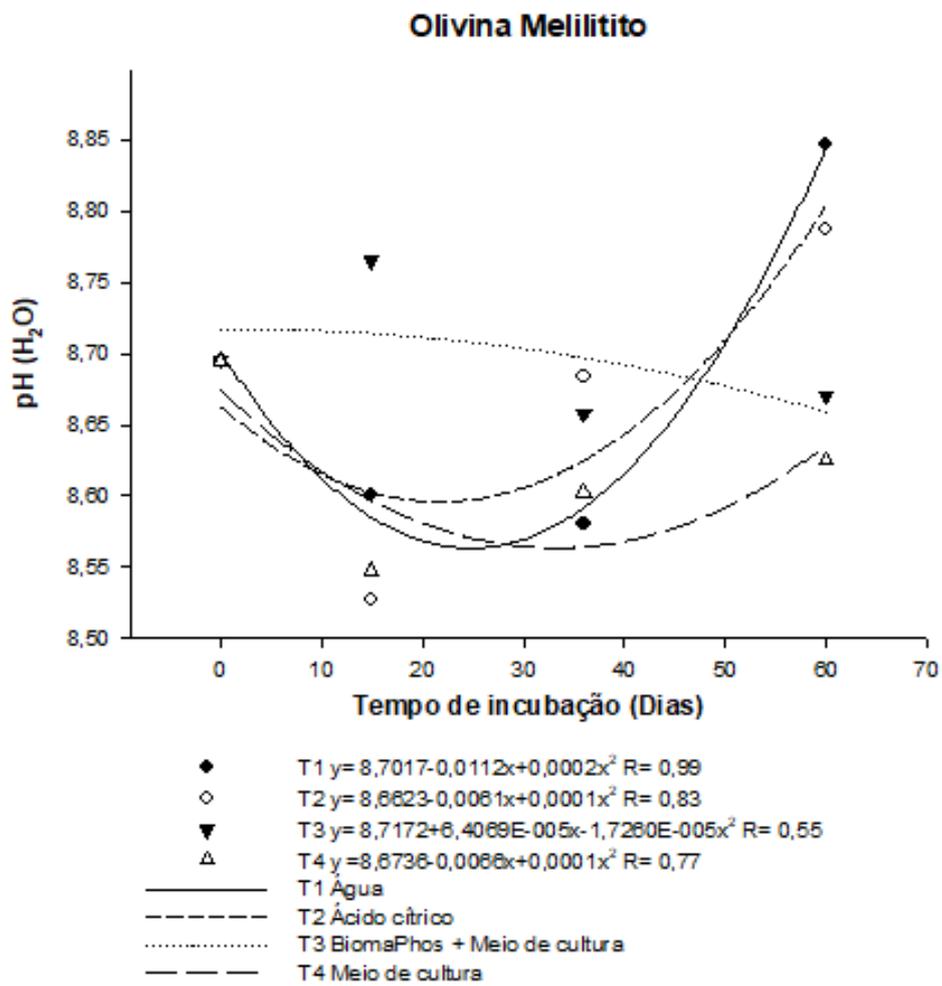
Fonte: elaborado pelo autor, 2022

Figura 7 - Teor de Na^+ solubilizado por água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.



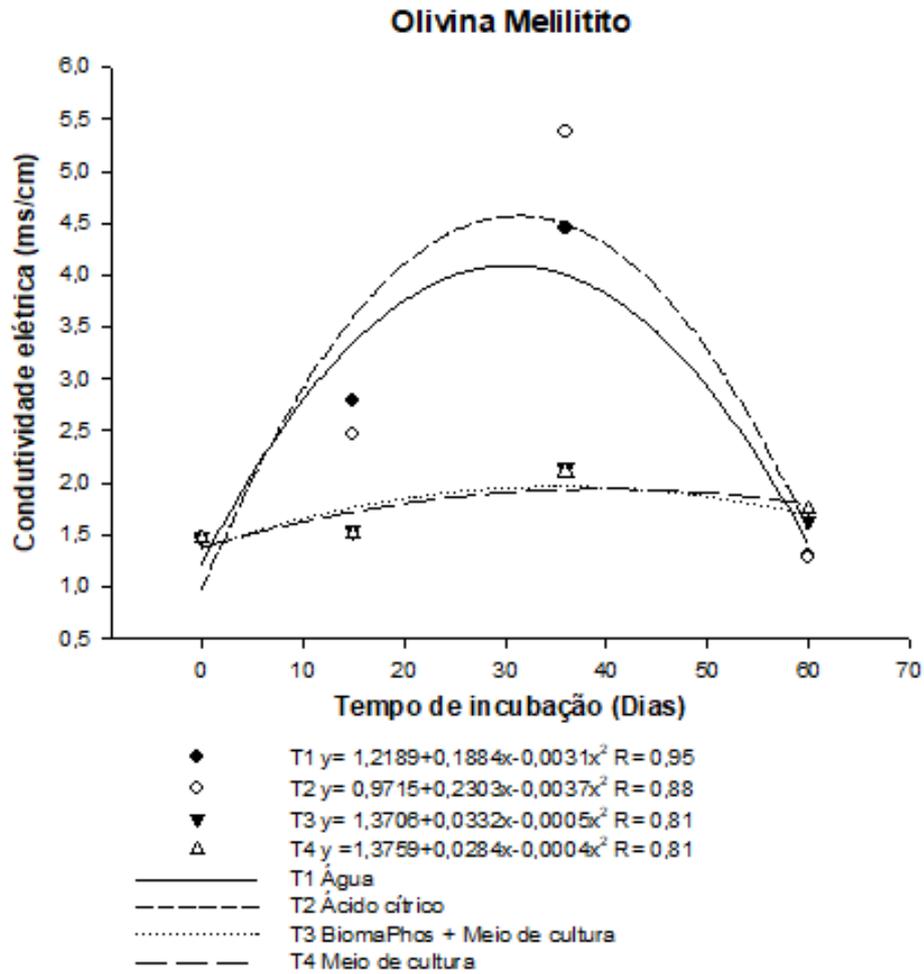
Fonte: elaborado pelo autor, 2022

Figura 8 -pH das soluções contendo água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.



Fonte: elaborado pelo autor, 2022

Figura 9 -Condutividade elétrica das soluções contendo água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.



Fonte: elaborado pelo autor, 2022

3.4.3 LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES DA ROCHA FONOLITO

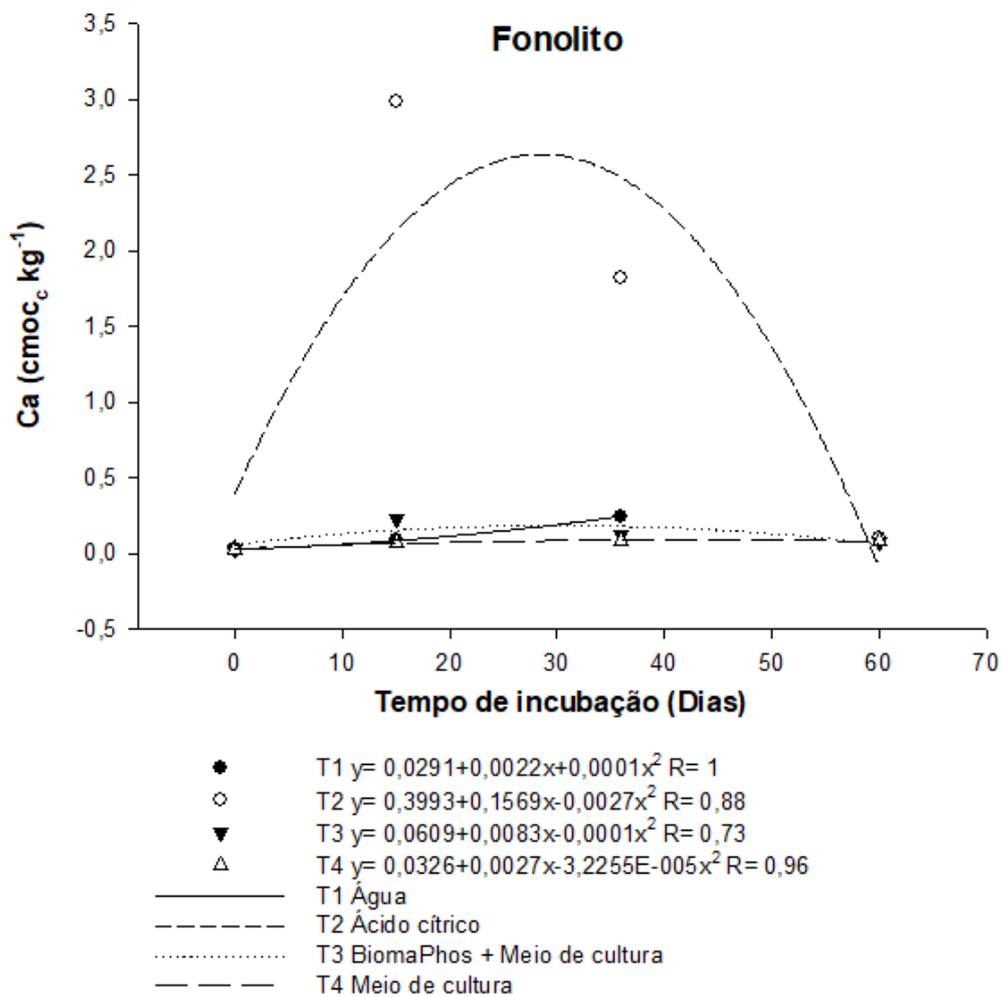
Após 60 dias do período de incubação do fonolito, observa-se que, para a maior parte dos tratamentos, com exceção do T2, ocorreu reduzida liberação de nutrientes, efeito esperado devido à baixa solubilidade dos minerais presentes nas rochas (Leonardos et al. 2000; LOPES; COSTA; LOPES-ASSAD, 2013).

O tratamento T2, com incubação do pó dessa rocha com ácido cítrico, demonstrou maior efeito na solubilização de todos os nutrientes analisados (Figura 10, 11, 12, 13) e o pico de máximo efeito de solubilização aconteceu entre os dias 30 e 40 do período de incubação. Ao final do período, entretanto, todos os tratamentos utilizados resultaram em teores semelhantes para os quatro elementos avaliados, sendo estes praticamente iguais aos existentes no início do experimento. Apesar da baixa concentração de Ca e Mg no fonolito, o tratamento com ácido cítrico aumentou os teores desses dois nutrientes até aproximadamente a metade do período de incubação, semelhante ao ocorrido com o K e Na, cujos teores são relativamente altos nessa rocha. Isso provavelmente ocorreu pela forte acidificação do meio nas fases iniciais, uma vez que o pH do pó dessa rocha sofreu decréscimo de cerca de 1 (uma) unidade em relação ao valor inicial (Figura 14). A partir daí, houve incremento nos valores de pH, com redução concomitante na concentração dos nutrientes analisados (Figuras 11, 12, 13 e 14). Esse comportamento era esperado, uma vez que totalidade das reações que solubilizam os minerais são dependentes do pH, do potencial de oxi-redução, da composição da solução do solo, e da temperatura (HARLEY & GILKES, 2000). A partir dos 35 e 40 dias, a redução dos teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ e Na^+ do tratamento T2 (pode ter ocorrido pelo aumento na concentração dos nutrientes na solução, as quais dificultam a continuidade das reações de dissolução, e mudanças com o tempo nas superfícies reativas dos minerais, as quais podem favorecer processos de readsorção e precipitação (BASAK et al., 2018).

Os tratamentos T1, T3 e T4, tiveram pouco efeito na dissolução dos nutrientes, os quais pouco diferiram ao longo do período avaliado em comparação ao tratamento T2. O tratamento T1 mesmo estando em condição de saturação não teve capacidade de exercer grande efeito de solubilização quanto o tratamento T2 provavelmente pelo fato do agente solubilizador ser água deionizada e desmineralizada e apresentar pouca variação do pH da solução. Os tratamentos T3 e T4 também não foram eficientes na dissolução dos nutrientes, provavelmente por não propiciarem mudanças expressivas no pH da solução.

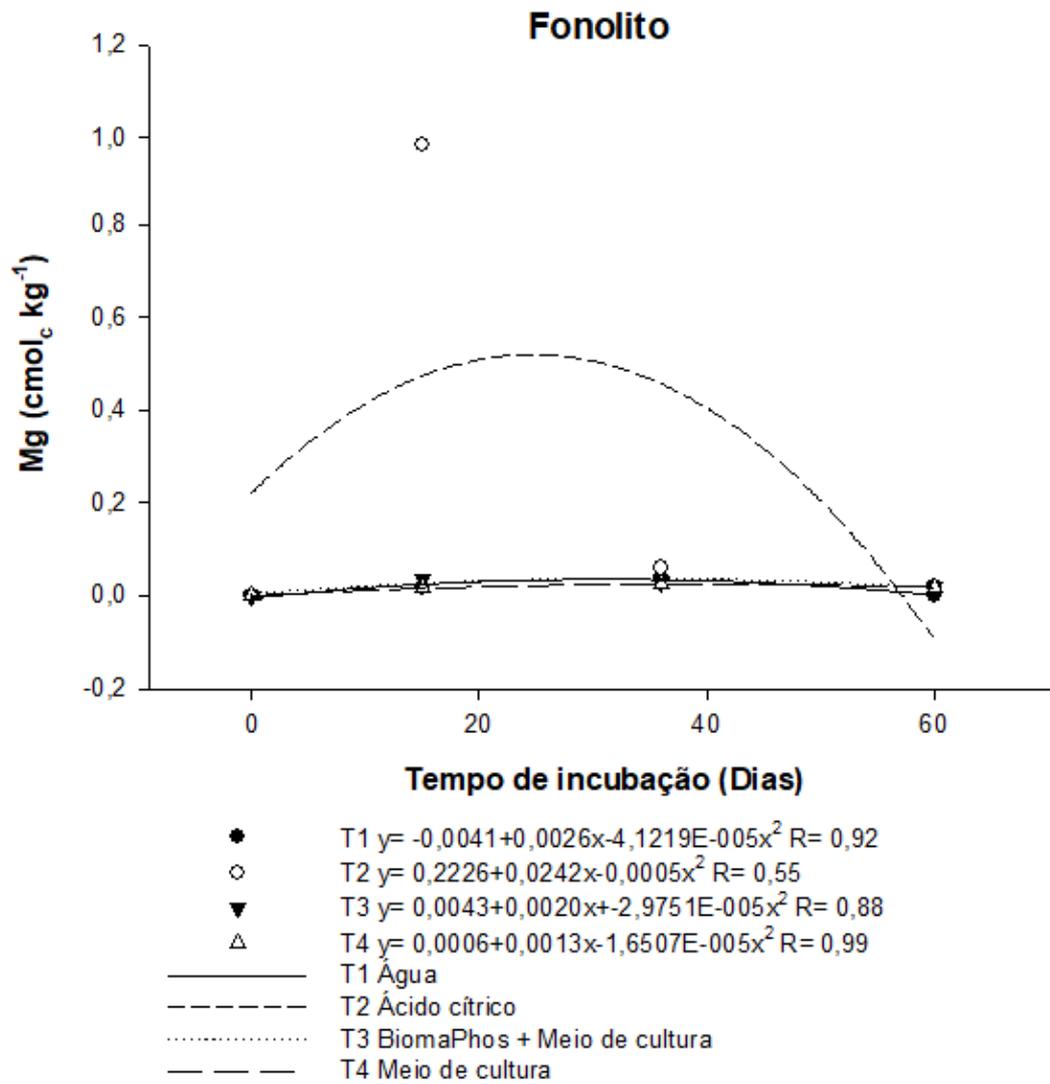
Para todos os tratamentos, T1, T2, T3 e T4 conforme há redução ou aumento do pH em maior ou menor grau, ocorre respectivamente aumento ou declínio da liberação de nutrientes para a solução e consequentemente aumento ou decréscimo na condutividade elétrica conforme demonstrado na figura 15.

Figura 10 - Teor de Ca^{+2} solubilizado por água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.



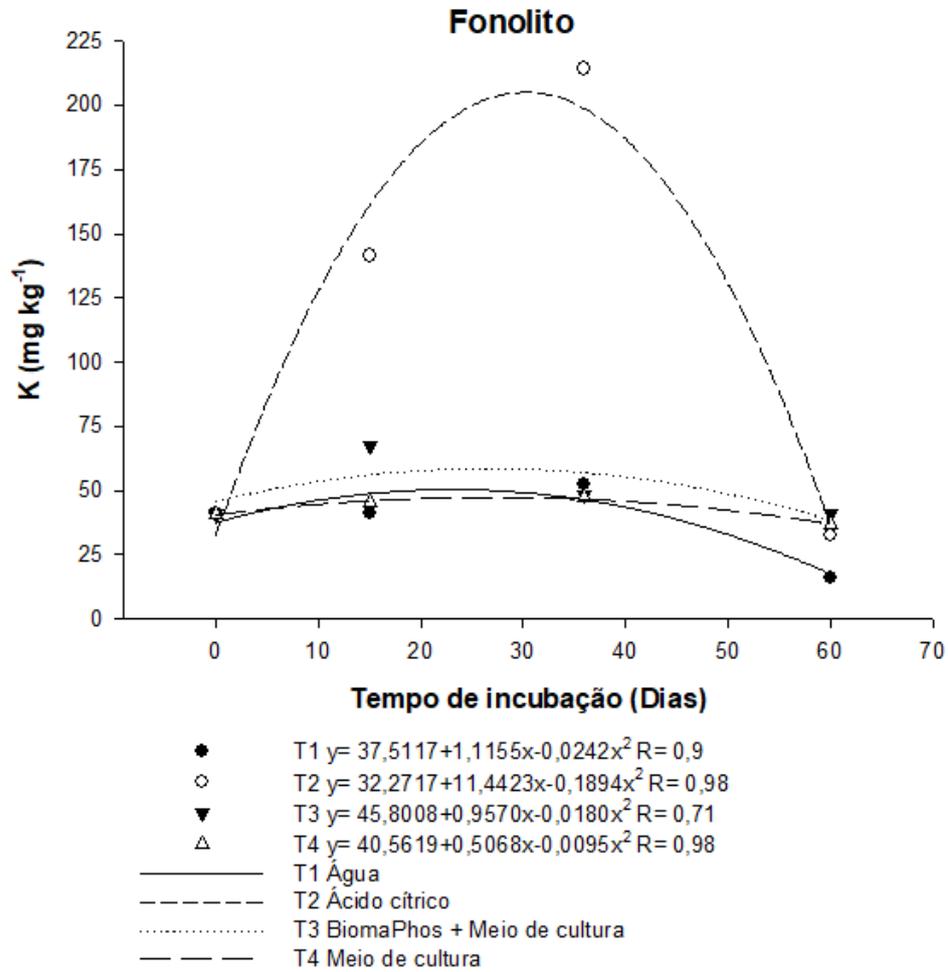
Fonte: elaborado pelo autor, 2022

Figura 11 -Teor de Mg^{+2} solubilizado por água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.



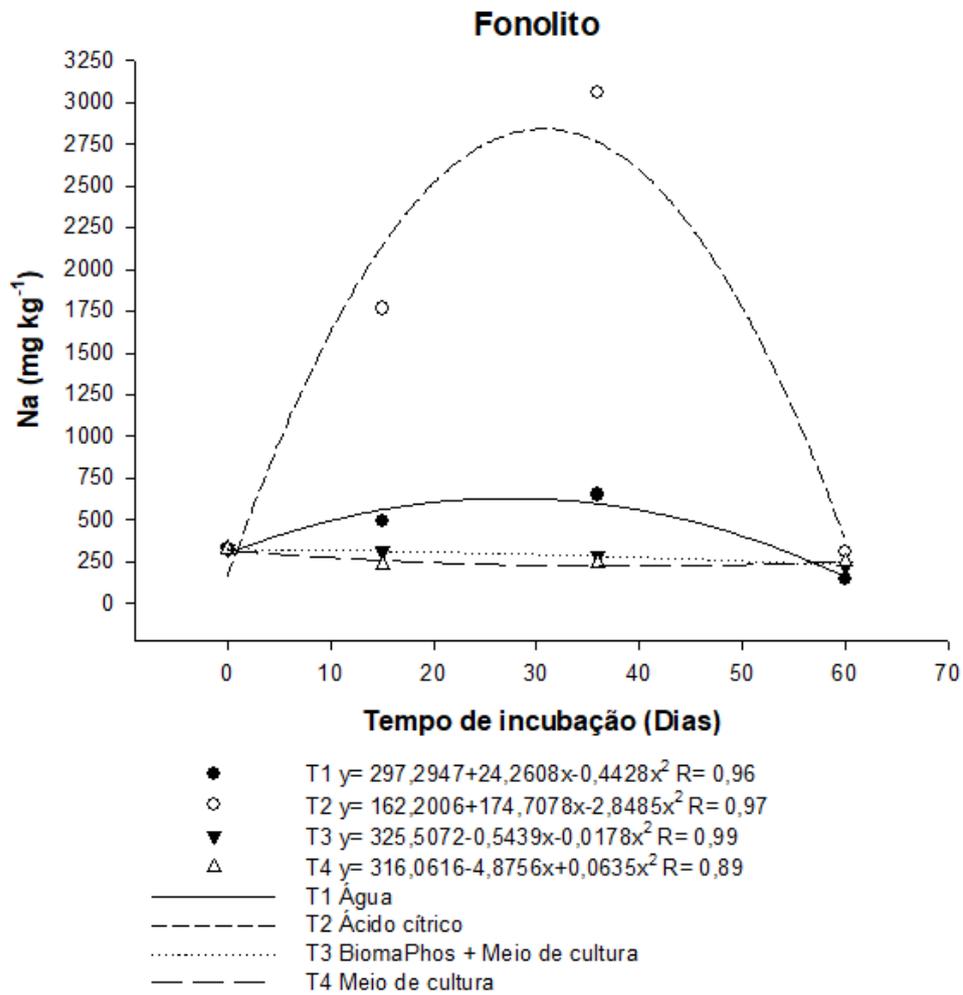
Fonte: elaborado pelo autor, 2022

Figura 12 -Teor de K^+ solubilizado por água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.



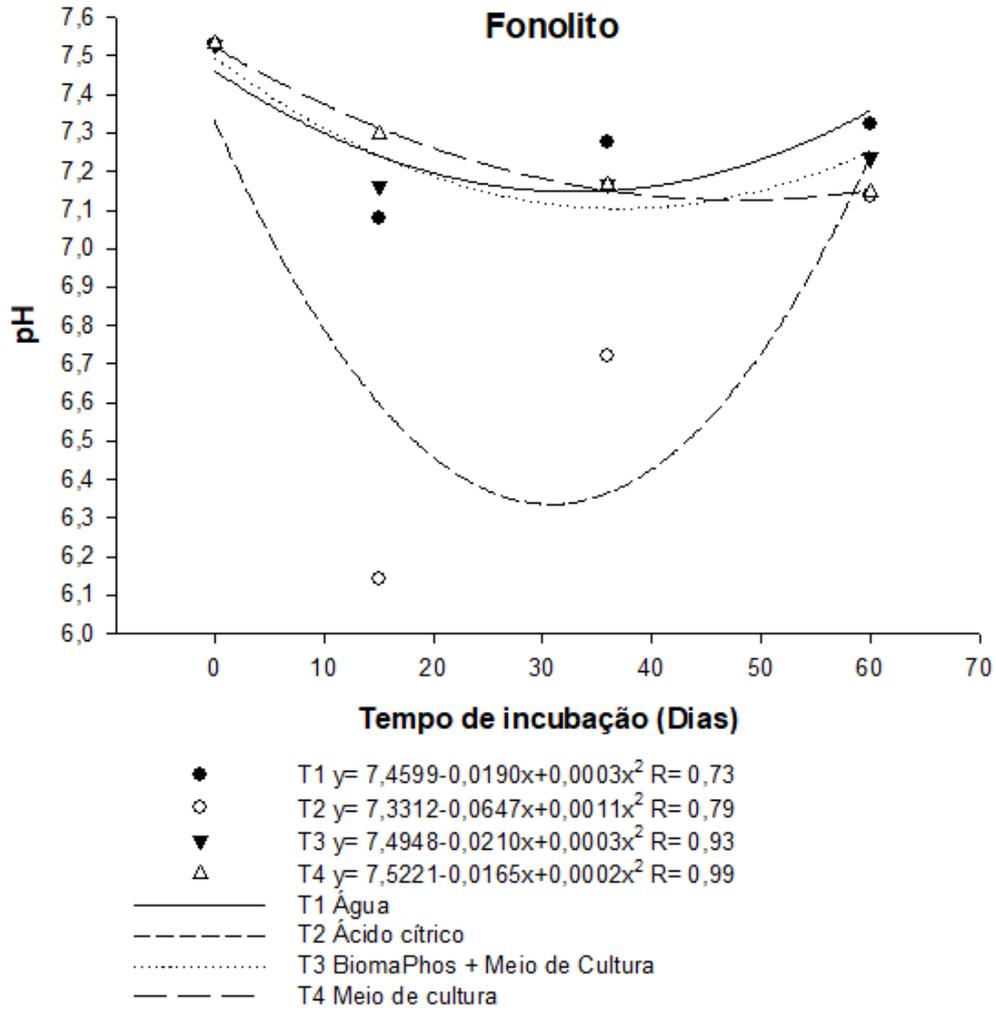
Fonte: elaborado pelo autor, 2022

Figura 13 - Teor de Na^+ solubilizado por água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.



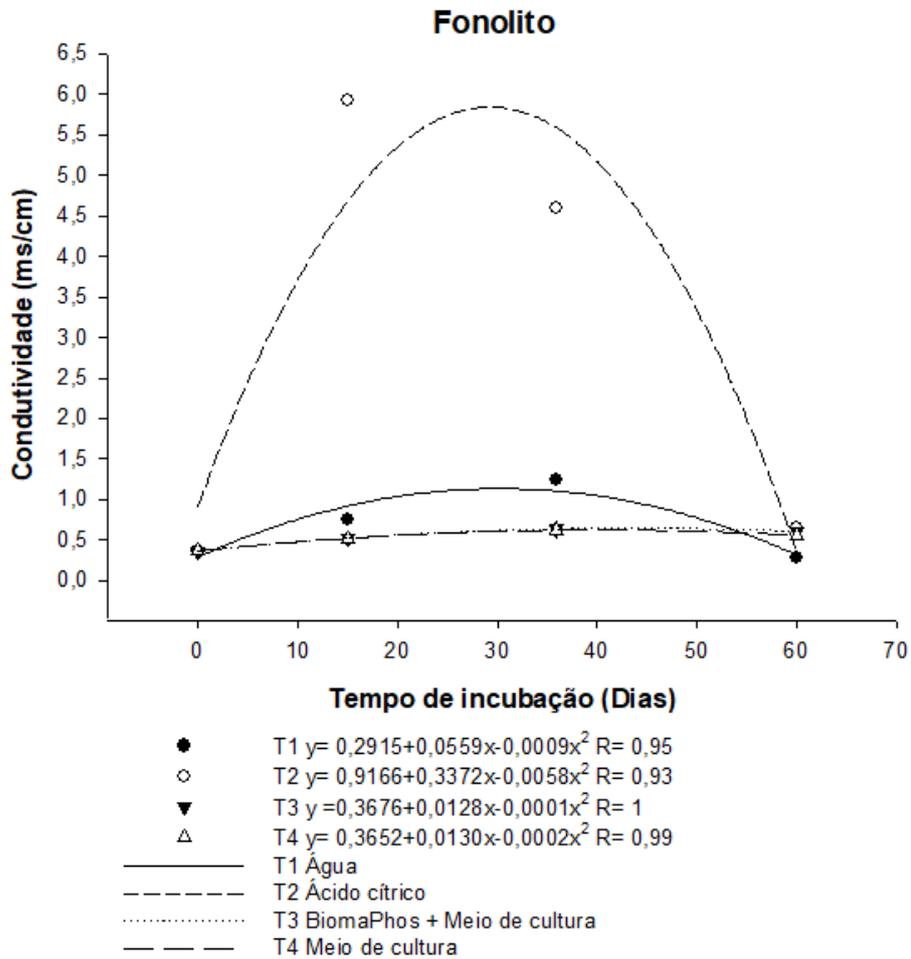
Fonte: elaborado pelo autor, 2022

Figura 14 -pH das soluções contendo água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.



Fonte: elaborado pelo autor, 2022

Figura 15 -Condutividade elétrica das soluções contendo água, ácido cítrico, BiomaPhos + meio de cultura e Meio de cultura durante 60 dias de incubação do pó de rocha.



Fonte: elaborado pelo autor, 2022

3.5 CONCLUSÕES

A incubação da rocha olivina melilitito nos tratamentos com água (T1) e ácido cítrico (T2) aumenta a dissolução dos minerais durante a fase inicial do período de incubação em comparação aos tratamentos com a associação das bactérias (T3) e com o meio de cultura (T4), porém manteve teores de nutrientes inferiores aos demais tratamentos ao final do processo de incubação.

Os tratamentos T3 e T4 promoveram incrementos menores e relativamente constantes nos teores de nutrientes avaliados, mas mantiveram valores mais altos do que os demais tratamentos ao final do período de incubação, indicando serem tratamentos mais eficientes na solubilização dos minerais dessa rocha ao longo do tempo.

Para o pó da rocha fonolito, a incubação com ácido cítrico (T2) foi o único tratamento que demonstrou eficácia na solubilização dos minerais, liberando quantidades expressivas de Ca, Mg, K e Na nos primeiros 30 a 40 dias, porém decresceram a partir desse período, mantendo-se em valores baixos e similares aos demais tratamentos ao final do período de incubação.

A variação no pH das soluções, durante o período de incubação, foi o principal fator responsável pelas diferenças observadas na solubilização das rochas estudadas.

Os tratamentos T1 e T2, que estão em condição de saturação, apresentaram maior capacidade de dissolução dos nutrientes em um período menor de tempo de incubação em comparação aos tratamentos T3 e T4, que estão em condição de capacidade de campo, porém ao final do período de incubação os tratamentos T3 e T4 demonstram maior capacidade de liberação dos nutrientes, outro fato interessante é de que os tratamentos T2, T3 e T4 na questão da solubilização do Na^+ , aproximadamente no dia 30 da incubação, apresentou baixa solubilidade, enquanto que, o tratamento T1 foi o que mais teve liberação desse nutriente.

Essa dinâmica de dissolução, nos tratamentos saturados (T1 e T2) demonstrou que, aproximadamente durante 30 a 40 dias de incubação, alcançou seu pico de liberação dos nutrientes para a solução, tempo necessário para um maior efeito de solubilização, porém posteriormente 30 a 40 dias após o período de incubação, decaiu drasticamente a liberação de nutrientes dos tratamentos T1 e T2.

A incubação da rocha fonolito no tratamento T2, apresentou eficiência para liberar os nutrientes para a solução, os tratamentos T1, T3 e T4 tiveram baixíssima capacidade de dissociação, baixíssimo efeito de solubilização durante os 60 dias de incubação. Nota-se que o pH para o tratamento T2 apresentou o menor valor de pH e maior valor de condutividade

elétrica, evidenciando o efeito da solubilização do ácido cítrico, principalmente atingindo a maior capacidade de liberação dos nutrientes aproximadamente 30 dias após o início do período de incubação, pois após esse período a solubilidade decresce.

A incubação dos pós de rocha olivina melilitito nos tratamentos T1 e T2 e fonolito no tratamento T2, durante 30 a 40 dias é onde possui o maior potencial para solubilização dos minerais presentes nas rochas, conseqüentemente podendo fornecer esses nutrientes prontamente para o solo e para as plantas.

A quantidade de água utilizada nos tratamentos de saturação em ambas as rochas, foi insuficiente para continuar a dissolução dos minerais, pois, em 30 dias atingiu o pico de saturação das solução.

4 CAPÍTULO 2: INCORPORAÇÃO DOS PÓS DE ROCHAS INCUBADOS NO SOLO E SEMEADURA DE FEIJÃO

RESUMO

Diversos trabalhos visam melhorar a eficiência da utilização dos pós de rocha, sejam por tratamentos químicos, biológicos ou térmicos como fontes de nutrientes para as plantas e para o solo. O objetivo desse estudo foi utilizar os pós da rocha olivina melilitito e fonolito incubados com água, ácido cítrico, BiomaPhos, meio de cultura e outros dois tratamentos, um utilizando adubo solúvel e o outro, o controle sem fertilização, como fonte de nutrientes para plantas de feijão em dois cultivos subsequentes em um Cambissolo Húmico Alumínico típico de textura média. O experimento ocorreu em casa de vegetação por 121 dias, sendo que, 53 dias foi a condução do primeiro cultivo e 68 dias do segundo cultivo. Foram coletadas amostras de solo para determinar os teores de P, Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , Na^{+} , Al^{+3} , H^{+}Al , $\text{CTC}_{\text{pH}7}$, pH (água), pH (CaCl_2), V%, m%, argila silte e areia e foram coletadas as plantas para determinar os teores de N, P, K^{+} , Ca^{+2} e Mg^{+2} e matéria seca total. A utilização dos pós das rochas fonolito e olivina melilitito previamente incubadas ao solo, nas suas diferentes modalidades, favoreceu a disponibilização de nutrientes às plantas e incrementou os teores de nutrientes no solo, com diferenças entre as duas rochas.

Palavras-Chave: Feijão. Olivina Melilitito. Fonolito. Rochagem

CHAPTER 2: INCORPORATION OF PRE-INCUBATED ROCK POWDERS IN THE SOIL AND BEAN SEEDING

ABSTRACT

Several works aim to improve the efficiency of the use of rock powders, whether by chemical, biological or thermal treatments as sources of nutrients for plants and soil. The objective of this study was to use the powders of olivine rock, melilitite and phonolite incubated with water, citric acid, BiomaPhos, culture medium and two other treatments, one using soluble fertilizer and the other, the control without fertilization, as a source of nutrients for plants. of bean in two subsequent crops in a typical Aluminum Humic Cambisol of medium texture. The experiment took place in a greenhouse for 121 days, 53 days for the first crop and 68 days for the second crop. Soil samples were collected to determine the contents of P, Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺, Al⁺³, H⁺Al, CTCpH7, pH (water), pH (CaCl₂), V%, m%, clay, silt and sand and the plants were collected to determine the levels of N, P, K⁺, Ca⁺² and Mg⁺² and total dry matter. The use of powders from the phonolite and olivine mellilitite rocks previously incubated in the soil, in their different modalities, favored the availability of nutrients to the plants and increased the nutrient contents in the soil, with differences between the two rocks.

Keywords: Bean. Olivine Melilite. Phonolite. Stonemeal

4.1 INTRODUÇÃO

Melamed et al. (2007) citam alguns benefícios da utilização dos pós de rocha, entre eles o fornecimento lento de macro e micronutrientes, aumento da disponibilidade desses nutrientes nos solos cultivados, elevação do pH do solo e aumento da reserva nutricional do solo.

Minerais provenientes de rochas ígneas e metamórficas possuem boa parte dos nutrientes necessários para o crescimento e desenvolvimento de plantas. Geralmente os elementos essenciais fornecidos pelas rochas incluem o potássio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre, além de alguns micronutrientes, assim como elementos benéficos às plantas, como silício e elementos-traços (MELO; CASTILHOS; PINTO, 2009; STRAATEN, 2006; THEODORO; LEONARDOS; ALMEIDA, 2010).

Algumas rochas silicáticas moídas e utilizadas de maneira equivalente ao calcário, mostraram significativa liberação de potássio em testes de laboratório, em solos incubados e em cultivos controlados (CASTRO et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2006). Um dos grandes desafios na utilização dos pós de rocha como fertilizantes é disponibilizar os nutrientes nas quantidades e no tempo adequado para cada cultura (Harley e Gilkes 2000; Martins et al. 2008; Straaten 2006). Em função da maior resistência dos minerais silicáticos às reações naturais de intemperismo em relação aos produtos convencionais (calcário, gesso e fertilizantes solúveis), os processos de liberação de nutrientes pelos pós de rocha são mais lentos, podendo não atender a demanda das plantas nos primeiros cultivos, o que pode resultar em baixas produtividades em relação aos produtos convencionais e em um relativo descrédito para o emprego dos pós de rocha.

Para minimizar esses problemas, tem sido propostas algumas tentativas para aumentar a solubilidade desses produtos, as quais incluem associação com microrganismos solubilizadores (SILVA et al., 2015; SCHUELER et al., 2018; SCHUELER et al., 2021), aplicação de materiais orgânicos, tais como esterco e húmus (TITO et al., 2019; PEREIRA et al., 2019; GOTZ et al., 2019) bem como pré-tratamentos térmicos (PEREIRA; ROCHA, 2017; FERREIRA et al., 2020), todas com o intuito de promover uma disponibilização mais rápida dos nutrientes para as culturas.

Outras alternativas, testadas neste trabalho, podem ser o tratamento dos pós de rocha, antes de sua aplicação aos solos, com o intuito de viabilizar maior disponibilização dos nutrientes já nas fases iniciais do desenvolvimento das culturas.

O presente capítulo objetivou avaliar os efeitos da aplicação dos pós de rocha olivina melilitito e fonolito previamente incubados com ácido cítrico e com associação de bactérias

solubilizadoras no desenvolvimento da cultura do feijão, em casa de vegetação, quando comparados com a aplicação dos produtos puros e com a correção e fertilização convencional do solo.

4.2 MATERIAIS E METODOS

A condução do experimento foi realizada em casa de vegetação, no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), situada nas coordenadas geográficas de longitude 50° 18' 10,80" O e latitude 27° 47' 31,82" S, no município de Lages, Santa Catarina.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O solo utilizado nesse estudo foi coletado em condição natural em Urubici-SC no sítio Avivar no dia 03/01/2021, situado nas coordenadas geográficas de longitude 49°33'10.69"O e latitude 27°55'36.16"S. O solo do local foi classificado por WARMLING (2021), como um Cambissolo Húmico Alumínico típico de textura média (SANTOS et al., 2018).

4.4 PREPARO, ANÁLISE QUÍMICA E TEOR DE ARGILADO SOLO COLETADO

O solo foi disposto sobre lona de cor preta e seco ao ar em casa de vegetação, após a secagem, o solo foi peneirado em malha de 4 mm retirando-se os torrões, cascalhos e pequenos fragmentos de rochas, em seguida, retirou-se duas amostras de solo, numa delas a determinou-se a capacidade de campo do solo (CC), e a outra amostra, foi passada em peneira de 2 mm para realizar as análises químicas. Após o preparo das amostras, a CC foi determinada após a obtenção da massa úmida dos solos com a adição de água destilada e da massa seca após a secagem dos mesmos ao ar, segundo Casaroli e Lier (2008). Para as análises químicas foi determinado o pH em água, pH SMP e pH CaCl₂0,01 mol L⁻¹, ambos por potenciometria na relação solo:solução de 1:1. O potássio trocável, fósforo disponível e sódio foram extraídos pelo método do extrator duplo ácido (Mehlich 1) com solução ácida de HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹, o potássio e o sódio foram quantificados por fotometria de chama e o fósforo por colorimetria (Murphy e Riley, 1962). O cálcio, magnésio e alumínio foram extraídos com solução salina neutra de KCl 1 mol L⁻¹ sendo cálcio e o magnésio quantificados por

espectrofotometria de absorção atômica e o alumínio por titulação por NaOH com indicador de fenolftaleína conforme Tedesco et al. (1995). O teor de argila do solo foi determinado pelo método da pipeta, descrito por Gee e Bauder (1986).

4.5 ESCOLHA DA CULTIVAR DE FEIJÃO

A cultivar de feijão utilizada foi SCS204 Predileto, desenvolvida pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), do grupo preto, com hábito de crescimento indeterminado com plantas do tipo II, porte semiereto e presença de guias. Em média, o florescimento ocorre aos 40 dias e a maturação de colheita aos 90 dias após a emergência. Possui alto potencial de rendimento e estabilidade. Os grãos se caracterizam pela coloração intensa e bom peso. A cultivar é recomendada para semeadura de 1ª e de 2ª safra em Santa Catarina.

4.6 COLETA DE FOLHAS E ANÁLISES QUÍMICAS DO TECIDO VEGETAL DO FEIJÃO

Foram retiradas as terceiras folhas do terço médio da haste principal no florescimento das plantas de feijão, de acordo com a Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2016). As amostras foram colocadas em sacos de papel, secas em estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C, até atingirem massa constante. Após secas, as folhas foram moídas e em seguida realizada a digestão das amostras, pelo método de digestão ácida descrito em Tedesco et al. (1995). Os teores de Ca e Mg no tecido das plantas foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O P foi determinado por colorimetria (Murphy e Riley, 1962) e o K⁺ por fotometria de chama. A concentração de N foi determinada por meio de arraste de vapores, em equipamento semimicro Kjeldahl e posterior titulação com H₂SO₄ 0,025M. Após a análise química do tecido foliar, os valores de matéria seca total (MST) e dos teores de N, P, K⁺, Ca⁺² e Mg⁺², foram utilizados para calcular os teores acumulados nas plantas (LAVIOLA e DIAS, 2008).

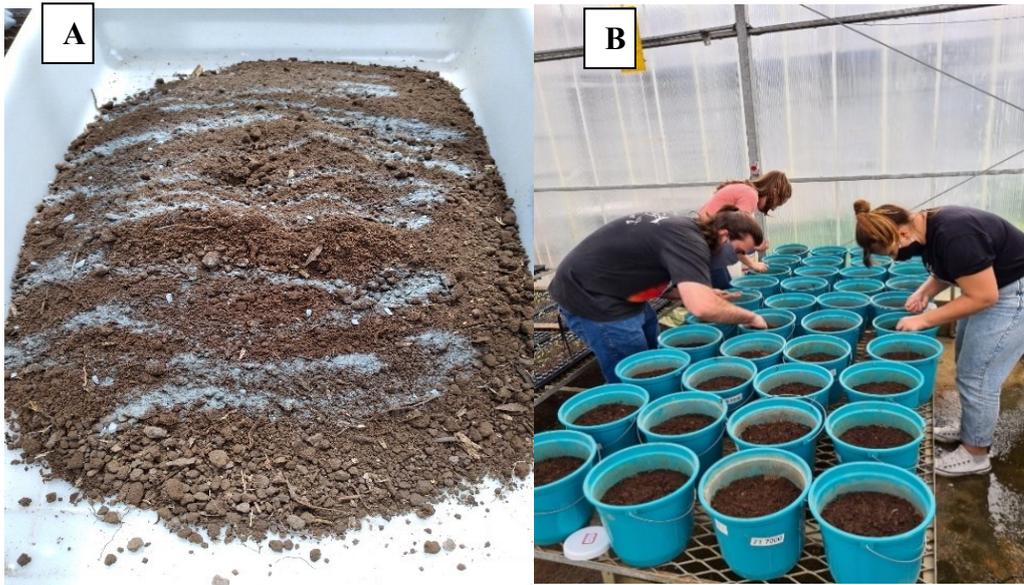
4.7 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO EM CASA DE VEGETAÇÃO

A instalação do experimento foi realizada em casa de vegetação com temperatura e umidade controlada, no dia 27/01/2021. Inicialmente o solo coletado após seco (TFSA) e peneirado em malha de 4mm foram sendo pesados em frações de 4 kg de solo, em seguida acondicionado em bandejas plásticas e cada fração de solo, foi misturado com os devidos tratamentos. Posteriormente foram acondicionados em 40 de vasos de 5 litros (Figura 16). Os tratamentos que foram misturados ao solo consistem em: T1: 8 g de pó de rocha previamente incubado com água destilada+ 0,31g de ureia; T2: 8g do pó de rocha previamente incubado com ácido cítrico + 0,31g de ureia; T3: 8g do pó de rocha previamente incubado com BiomaPhos® + meio de cultura + 0,31g de ureia; T4: 8g do pó de rocha previamente incubado com meio de cultura + 0,31g de ureia ; T5: N-P-K (ureia 0,31g, super fosfato triplo 0,3g, cloreto de potássio 0,2g) + calcário (27,1g; PRNT 87,7%) e T6: solo + água destilada (testemunha), cada tratamento teve quatro repetições, ou seja 16 vasos para os tratamentos T1;T2;T3 e T4 utilizando-se a rocha olivina melilitito, 16 vasos para os tratamentos T1;T2;T3 e T4 utilizando-se a rocha fonolito , 4 vasos para o tratamento T5, e 4 vasos para o tratamento T6, totalizando 40 unidades experimentais. Como um dos objetivos da pesquisa é a avaliação da solubilidade dos pós de rochas através da incubação e sua resposta no cultivo do feijão e não a avaliação de doses de pó de rocha, foi determinado quantidade de 8g de pó de rocha por tratamento, quantidade proporcional à 4 ton/ha . O tratamento T5, a dose utilizada de NPK, foi calculada para a cultura do feijoeiro e a do calcário para corrigir o pH para 5,5, de acordo com o Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (2016).

Após a montagem dos vasos, foram semeadas 6 sementes do feijão SCS204 Predileto em cada vaso e irrigados com água destilada e desmineralizada na capacidade de campo, em seguida foi colocado um papel filme sobre os vasos para manter a temperatura e umidade, para favorecer a germinação das sementes. A cada dois dias eram aleatorizados 10 vasos para serem pesados e realizar a reposição hídrica na capacidade de campo de todos os vasos. No momento em que o feijão emitiu seu primeiro trifólio, foram retiradas 4 plantas de cada vaso, deixando somente 2 plantas por vaso. No dia 12/03/2021 totalizando 53 dias de cultivo, momento em que as plantas atingiram a floração, foram retiradas as folhas do terço médio da haste principal para análises químicas e neste mesmo momento foi encerrado o primeiro cultivo, sendo coletadas as plantas para aferir a matéria seca e coletadas 150g de solo para as análises químicas. No dia 21/04/2021 foi realizada uma nova semeadura com 6 sementes do feijão

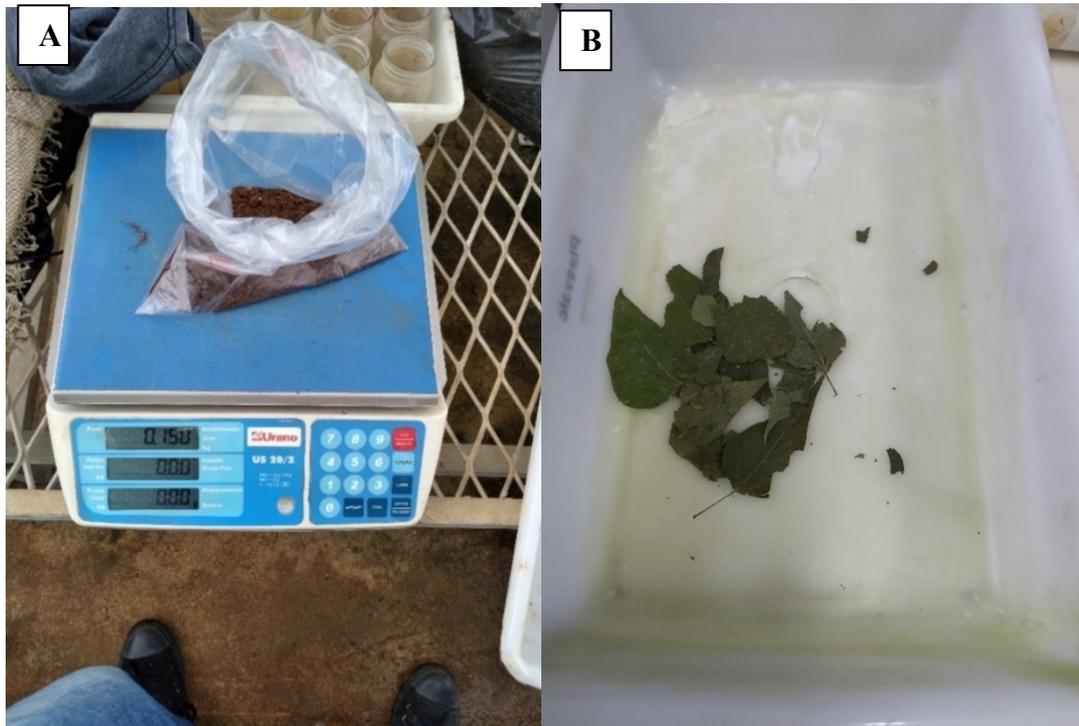
SCS204 Predileto em cada vaso, sendo conduzidos de maneira similar à do primeiro cultivo. No dia 28/06/2021 totalizando 68 dias de cultivo, momento em que as plantas atingiram a floração, foram retiradas as folhas do terço médio da haste principal para análises químicas coletadas as plantas para aferir a matéria seca e coletados 150g de solo para as análises químicas.

Figura 16 – Incorporação dos pós de rocha incubados ao solo coletado (A), Semeadura do feijão SCS204 Predileto (B)



Fonte – Elaborado pelo autor,2022

Figura 17 – Coleta dos solos para análises químicas (A), Coleta das folhas para análises químicas (B)



Fonte – Elaborado pelo autor, 2022

4.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados obtidos referentes a massa seca total (MST), teores de nutrientes no tecido foliar e teores acumulados no tecido foliar, foram submetidos à análise de normalidade Shapiro-Wilk, e quando atendidos os requisitos, foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico R.

Os resultados obtidos referentes aos teores de P, Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺, Al⁺³, H+Al, CTC_{pH7}, pH (água), pH (CaCl₂), V% e m% do solo, foram submetidos à análise de normalidade Shapiro-Wilk, e quando atendidos os requisitos, foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey e Dunnett a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico R.

4.9 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.9.1 PRIMEIRO CULTIVO

4.9.2 ANÁLISE QUÍMICA DA PLANTA SOB O EFEITO DA ROCHA FONOLITO

Os teores de N, P, K Ca e Mg determinados tanto no tecido foliar quanto os teores acumulados, e a massa seca total da planta (Tabela 4 e Tabela 5), sofreram influência dos diferentes tratamentos. O teor de N foliar, apresentou diferenças na média dos tratamentos, o tratamento T3 (Pré Incubação com Bactérias) apresentou o maior valor de N foliar, porém, apenas o tratamento T5 (NPK), apresentou valor inferior ao de referência (3%-5%). Entretanto, deveu-se ao maior teor de massa seca total nesse tratamento, tornando esse nutriente mais diluído na planta, todavia, ao analisar os teores de N acumulado, o tratamento T5 apresenta o maior valor, enquanto as médias dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T6 não se diferenciaram entre si.

O teor de P foliar, para todos os tratamentos, ficaram abaixo do valor de referência (0,2%-0,3%) e as diferenças entre as médias não foram significativas, porém, para o teor foliar de P acumulado o tratamento T5 apresenta o maior valor, enquanto as médias dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T6 não se diferenciaram entre si.

Em relação ao teor de K foliar, o tratamento T6 apresentou o maior valor, porém, não diferiu estatisticamente dos tratamentos T1, T2, T3, T4, os quais diferiram do tratamento T5 que apresentou o teor abaixo do valor de referência (2%-2,5%); todavia, o tratamento T5 foi o que apresentou maior teor acumulado foliar.

Acerca do teor de Ca foliar, o tratamento T5 (NPK) apresentou o maior valor, também apresentou maior teor de Ca foliar acumulado e diferiu dos tratamentos T1, T2, T3, T4 E T6, os quais não diferiram entre si, porém, todos os tratamentos ficaram com os teores abaixo dos indicados como valores de referência normais da cultura.

Os teores foliares de Mg para os tratamentos T1, T2, T3, T4e T5 estão dentro da faixa de referência (0,25%-0,50%), porém, o tratamento T5 ficou abaixo do valor de referência, entretanto, foi o que apresentou o maior valor de Mg acumulado. Para os teores foliares as médias obtidas entre os tratamentos não foram significativas.

Tabela 4– Teores foliares de N, P, K, Ca, Mg (%) e MST (g) das plantas de feijão do primeiro cultivo

TRATAMENTOS	N	P	K	Ca	Mg	MST
		-----	%	-----		g
T1 (ÁGUA)	4,99 a	0,095 ^{ns}	2,28 a	0,48 b	0,25 ^{ns}	2,05 b
T2 (ÁCIDO CÍTRICO)	4,03 b	0,108 ^{ns}	2,25 a	0,5 b	0,26 ^{ns}	1,92 b
T3 (BIOMAPHOS+MEIO DE CULTURA)	5,36 a	0,108 ^{ns}	2,59 a	0,49 b	0,32 ^{ns}	1,92 b
T4 (MEIO DE CULTURA)	4,61 ab	0,128 ^{ns}	2,59 a	0,48 b	0,25 ^{ns}	1,74 b
T5 (NPK)	2,64 c	0,100 ^{ns}	1,59 b	0,76 a	0,36 ^{ns}	6,48 a
T6 (CONTROLE)	4,61 ab	0,108 ^{ns}	2,75 a	0,51 b	0,24 ^{ns}	2,08 b
VALORES DE REFERÊNCIA (%) *	3 – 5	0,2 - 0,3	2 - 2,5	1 - 2,5	0,25 - 0,50	

*Valores de referência dos níveis adequados de nutrientes descritos por Malavolta et al. (1997).

Medias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan, ns:não significativo pelo teste F.

Fonte – Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 5– Teores acumulados de N, P, K, Ca, Mg (mg) das plantas de feijão do primeiro cultivo.

TRATAMENTOS	N	P	K	Ca	Mg
		-----	mg	-----	
T1 (ÁGUA)	101,1 b	1,9 b	46,8b	9,6 b	4,9 b
T2 (ÁCIDO CÍTRICO)	76,9 b	2 b	43,2 b	9,5 b	4,8 b
T3 (BIOMAPHOS+MEIO DE CULTURA)	101,1 b	2 b	53,5 b	9,5 b	5,5 b
T4 (MEIO DE CULTURA)	79,5 b	2,2 b	44,2 b	8,2 b	4,1 b
T5 (NPK)	169,8 a	6,4 a	102,2 a	49 a	23,3 a
T6 (CONTROLE)	95,9 b	2,2 b	57,2 b	10,6 b	5 b

Medias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Fonte – Elaborado pelo autor,2022.

4.9.3 ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO SOB O EFEITO DA ROCHA FONOLITO

As características químicas iniciais do solo coletado, para o experimento, tiveram os seguintes resultados (Tabela 6). A tabela 7 demonstra as classes e interpretações de Ca^{+2} , Mg^{+2} , P e K^{+} do solo segundo a exigência da cultura do feijão preconizada pela CQFS RS/SC(2016). As tabelas têm como objetivo informar sobre os teores dos elementos existentes no solo e em seguida, se necessário, fornecer nutrientes suficiente para que eles atinjam a classe alta, classe que se refere a um rendimento máximo próximo a 90% da produtividade das culturas (CQFS RS/SC2016). De acordo com as interpretações os teores de Ca^{+2} enquadram-se na classe Baixa, o Mg^{+2} enquadra-se na classe Média, o teor de P enquadra-se na classe Baixa e o teor de K^{+} enquadra-se na classe Média, sendo que todos os resultados estão abaixo do teor crítico, ou seja, fora da faixa de suficiência nutricional para o cultivo de grãos.

Tabela 6 – Resultado da análise química e física do solo.

Ca^{+2}	Mg^{+2}	Al^{+3}	H+Al	P	K^{+}	Na^{+}
----- cmolc kg^{-1} -----				----- mg kg^{-1} -----		
0,9	0,66	4,12	8,61	10,15	83	23
CTC pH7		CTC efetiva		pH		
----- cmolc kg^{-1} -----				Água	SMP	
10,48		5,99		4,18	4,85	
%						
Argila		Silte		Areia		
19		30		51		

Fonte – Elaborado pelo autor, 2022

A tabela 8 mostra os resultados das análises químicas do solo após o término do primeiro cultivo. O tratamento T5 (NPK), apresentou diferenças significativas em relação aos demais tratamentos, sendo superior quanto aos teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , P, CTC pH7 e CTC efetiva e nos valores de pH tanto em água quanto em CaCl_2 , e apresentou menores teores de Al^{+3} , H+Al e m%. Entretanto, assim como o ocorrido com o T6 (Controle) apresentou teores de Na^{+} significativamente menores do que os demais tratamentos pois, a composição química das rochas possui um elevado teor de Na^{+} . Em relação aos teores de K^{+} , o tratamento T6 foi o que

apresentou o menor valor de K^+ , e não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, demonstrando que todos os tratamentos com aplicação do pó da rocha fonolito promoveram a disponibilidade de K^+ em valores semelhantes ao tratamento T5, em que foi utilizado o fertilizante solúvel KCl como fonte de K. Em trabalho conduzido por DUARTE et al., (2013), os autores demonstraram que outras rochas, como por exemplo, a olivina melilitito possui característica semelhante quanto a disponibilidade de K^+ , equivalente ao KCl. Quanto aos teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , H+Al e os valores de CTC_{pH7} e $CTC_{efetiva}$, excluindo-se o tratamento T5, os demais tratamentos não evidenciaram diferenças estatísticas entre si.

Em relação ao teor de P, o tratamento T5 foi superior e o tratamento T6 inferior aos outros tratamentos; entre os tratamentos que foram incubados (T1, T2, T3 e T4) o tratamento T1 apresentou o maior valor de P.

Tabela 7– Valores da análise do solo de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , H+Al, P, K^{+} , Na^{+} , CTC_{pH7} , $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$, pH em água e CaCl_2 , V% e m% do primeiro cultivo.

TRATAMENTOS	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Al^{+3}	H+Al	P	K^{+}	Na^{+}
	----- cmolc kg^{-1} -----				----- mg kg^{-1} -----		
T1 (ÁGUA)	0,83 b	0,30 b	3,59 a	6,94 a	11,50 ab	92,08 a	137,37 a
T2 (ÁCIDO CÍTRICO)	0,85 b	0,30 b	3,68 a	6,89 a	10,75 b	90,67 a	116,25 b
T3 (BIOMAPHOS+MEIO DE CULTURA)	0,89 b	0,26 b	3,73 a	6,76 a	11,00 b	87,67 a	103,50 b
T4 (MEIO DE CULTURA)	0,97 b	0,33 b	3,67 a	6,71 a	10,05 bc	88,33 a	116,83 b
T5 (NPK)	3,99 a	4,48 a	0,01 b	3,71 b	12,75 a	92,67 a	25,92 c
T6 (CONTROLE)	0,77 b	0,30 b	3,75 a	7,02 a	9,25 c	76,33 b	22,08 c
TRATAMENTOS	CTC_{pH7}	$\text{CTC}_{\text{efetiva}}$	pH		V%	m%	
	cmolc kg^{-1}		Água	CaCl_2			
T1 (ÁGUA)	8,91 b	5,55 b	4,31 b	4,18 b	22,06 b	64,61 b	
T2 (ÁCIDO CÍTRICO)	8,78 b	5,57 b	4,29 b	4,18 b	21,56 b	66,02 b	
T3 (BIOMAPHOS+MEIO DE CULTURA)	8,59 b	5,56 b	4,34 b	4,19 b	21,31 b	67,14 b	
T4 (MEIO DE CULTURA)	8,74 b	5,70 b	4,38 b	4,24 b	23,20 b	64,33 b	
T5 (NPK)	12,51 a	8,81 a	5,84 a	5,37 a	70,28 a	0,16 c	
T6 (CONTROLE)	8,39 b	5,12 b	4,32 b	4,17 b	16,34 c	73,22 a	

Medias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os cálculos para V%, CTC_{pH7} e efetiva, utilizaram o teor de Na^{+} na fórmula.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.9.4 ANÁLISE QUÍMICA DA PLANTA SOB O EFEITO DA ROCHA OLIVINA MELILITITO

Os teores de N, P, K Ca e Mg determinados tanto no tecido foliar quanto os teores acumulados, e a massa seca total da planta (Tabela 10 e Tabela 11), sofreram influência dos diferentes tratamentos. Entre os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T6 não houve diferenças para teor de N foliar e os tratamentos ficaram na faixa de referência, porém, apenas o tratamento T5 apresentou valor inferior ao de referência (3%-5%), entretanto, isto se deve a maior quantidade de massa seca total, tornando esse nutriente mais diluído na planta. Desse modo, os teores de N acumulados no tratamento T5 apresentaram os teores mais altos, enquanto as médias dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T6 não se diferenciam entre si.

O teor de P foliar, para todos os tratamentos, ficaram abaixo do valor de referência (0,2%-0,3%) e as médias não foram significativas, porém, para o teor foliar de P acumulados o tratamento T5 possui o maior valor, pois, utiliza-se de fontes nutricionais solúveis. Porém, entre os tratamentos T1, T2, T3 e T4, nos quais foram utilizados o pó de rocha, o T3 (associação com bactérias) foi o que apresentou o maior valor de P acumulados, indicando boa eficácia desse tratamento na liberação de fósforo, tal como já verificado em outros trabalhos (Oliveira et al., 2020; Sousa et al., 2020).

O tratamento T4 (Meio de Cultura) apresentou o maior teor de K tanto no tecido foliar quanto no acumulados, sendo que todos os tratamentos, excluindo-se o tratamento T5, ficaram dentro da faixa de referência (2,0% -2,50%). Embora não tenham diferido do T6 (Controle), os teores de K dos tratamentos com o pó da rocha foram expressivamente superiores aos do Controle, indicando potencial dessa rocha para o fornecimento do nutriente.

Acerca do teor de Ca foliar, o tratamento T5 apresentou o maior valor, também apresentou maior teor de Ca acumulados e diferiu dos outros tratamentos os quais não se diferenciaram entre si, porém, todos os tratamentos, exceto o T5, ficaram com os teores abaixo dos teores valores de referência (1% - 2,5%). O tratamento T5 apresentou maior teor foliar e acumulados de Mg e está dentro do valor de referência (0,25% - 0,50%), o tratamento T2 apresentou o menor teor foliar e acumulados de Mg. Excluindo-se o tratamento T5, todos ou outros tratamentos estão fora da faixa de referência.

Tabela 8 – Teores foliares de N, P, K, Ca, Mg (%) e MST (g) das plantas de feijão do primeiro cultivo

TRATAMENTOS	N	P	K	Ca	Mg	MST
		-----	%	-----		g
T1 (ÁGUA)	4,63 a	0,10ns	2,78 b	0,54 b	0,22 bc	2,51 bc
T2 (ÁCIDO CÍTRICO)	4,42 a	0,13ns	2,91 b	0,50 b	0,18 c	2,25 bc
T3 (BIOMAPHOS+MEIO DE CULTURA)	4,41 a	0,11ns	3,50 ab	0,51 b	0,19 bc	2,46 bc
T4 (MEIO DE CULTURA)	4,06 a	0,12ns	4,13 a	0,47 b	0,19 bc	2,91 b
T5 (NPK)	2,64 b	0,10ns	1,59 c	0,76 a	0,36 a	6,48 a
T6 (CONTROLE)	4,61 a	0,11ns	2,76 b	0,51 b	0,24 b	2,08 c
VALORES DE REFERÊNCIA (%) *	3 - 5	0,2 - 0,3	2 - 2,5	1 - 2,5	0,25 - 0,50	

*valores de referência dos níveis adequados de nutrientes descritos por Malavolta et al. (1997).

Medias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan, ns: não significativo pelo teste F.

Fonte – Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 9 – Teores acumulados de N, P, K, Ca, Mg (mg) das plantas de feijão do primeiro cultivo.

TRATAMENTOS	N	P	K	Ca	Mg
		-----	mg	-----	
T1 (ÁGUA)	115,28 b	2,53 bc	70,49 bc	13,62 b	5,71 b
T2 (ÁCIDO CÍTRICO)	98,76 b	2,79 bc	64,53 c	11,29 b	3,92 b
T3 (BIOMAPHOS+MEIO DE CULTURA)	108,03 b	2,76 bc	85,06 abc	12,49 b	4,73 b
T4 (MEIO DE CULTURA)	114,94 b	3,28 b	119,80 a	13,97 b	5,58 b
T5 (NPK)	169,85 a	6,44 a	102,28 ab	49,02 a	23,32 a
T6 (CONTROLE)	95,95 b	2,23 c	57,25 c	10,65 b	5,07 b

Medias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Fonte – Elaborado pelo autor, 2022.

4.9.5 ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO SOB O EFEITO DA ROCHA OLIVINA MELILITITO

A tabela 12 mostra os resultados obtidos das análises químicas do solo após o término do primeiro cultivo. O tratamento T5, apresentou diferenças significativas em relação aos tratamentos (T1, T2, T3, T4 e T6), sendo foi superior nos teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , na CTC_{pH7} e $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ e nos valores de pH tanto em água quanto em CaCl_2 , e apresentou menores teores de Al^{+3} , $\text{H}+\text{Al}$, m%. Além disso, apresentou menor teor de Na^+ em comparação com os tratamentos T1, T2, T3, T4, pois a composição química das rochas possui um elevado teor de Na^+ .

Em relação ao potássio, o menor valor de K^+ foi verificado no Controle (T6) e não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos com o pó dessa rocha (T1, T2, T3, T4) e o tratamento com NPK(T5), demonstrando que essa rocha tem capacidade de fornecer K^+ em níveis semelhantes ao do fertilizante solúveis KCl. Resultados semelhantes foram obtidos por DUARTE et al., (2013), e Cunha et al.(2021) com a aplicação do pó da mesma rocha. .

Em relação ao teor de P o tratamento T6 foi inferior aos demais tratamentos, que por sua vez, não diferiram entre si, inclusive do tratamento T5, que utilizou fonte solúvel de P. Esse resultado é interessante, uma vez que demonstra que o pó da rocha olivina melilito, independentemente do pré-tratamento a que foi submetida, foi capaz de liberar P em valores semelhantes ao do tratamento com adubo fosfatado solúvel. Resultados semelhantes foram obtidos por Cunha et al. (2021) com a mesma rocha, embora os autores façam ressalvas quanto ao método de quantificação do P em solos que utilizam pós de rocha, que podem superestimar os teores desse elemento em função do caráter ácido do extrator utilizado.

Quanto aos teores de Ca e Mg, os menores valores foram observados no T6 (Controle). Os maiores teores desse elemento foram obtidos no T5, sendo coerentes com a aplicação de calcário nesse tratamento. Do mesmo modo, os teores de Al foram maiores e menores, respectivamente no T6 e no T5. Apesar de ainda apresentarem teores relativamente altos de Al^{3+} , todos os tratamentos com o pó da rocha olivina melilito tiveram seus teores significativamente reduzidos em relação ao tratamento Controle (T6), o que indica relativa eficácia desse material na correção do solo, considerando o curto tempo de condução do experimento. Essa interpretação é corroborada quando se verifica que também houve aumentos significativos no pH e na saturação por bases em relação ao Controle, embora sejam bastante inferiores aos obtidos no tratamento com calcário (T5).

Tabela 10– Valores da análise do solo de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , H+Al , P , K^{+} , Na^{+} , CTC_{pH7} , $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$, pH em Água, e CaCl_2 , V\% e m\% do primeiro cultivo.

TRATAMENTOS	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Al^{+3}	H+Al	P	K^{+}	Na^{+}
	----- cmolc kg^{-1} -----				----- mg kg^{-1} -----		
T1 (ÁGUA)	1,05 bc	0,50 b	3,27 bc	6,52 b	13,01 a	95,55 a	76,29 a
T2 (ÁCIDO CÍTRICO)	1,13 b	0,51 b	3,21 c	6,38 b	14,05 a	91,22 a	67,33 a
T3 (BIOMAPHOS+MEIO DE CULTURA)	1,03 bc	0,47 b	3,40 bc	6,64 b	13,05 a	95,33 a	72,25 a
T4 (MEIO DE CULTURA)	1,04 bc	0,45 b	3,41 b	6,66 b	14,34 a	91,08 a	71,25 a
T5 (NPK)	4,00 a	4,48 a	0,02 c	3,71 c	12,79 a	92,67 a	25,92 b
T6 (CONTROLE)	0,77 c	0,31 b	3,75 a	7,02 a	9,55 b	74,78 b	22,08 b
TRATAMENTOS	CTC_{pH7}	$\text{CTC}_{\text{efetiva}}$	pH	V\%	m\%		
	cmolc kg^{-1}		Água	CaCl_2			
T1 (ÁGUA)	8,58 b	5,32 b	4,69 b	4,43 b	23,95 a	61,40 b	
T2 (ÁCIDO CÍTRICO)	8,49 b	5,32 b	4,59 b	4,37 bc	24,83 a	60,38 b	
T3 (BIOMAPHOS+MEIO DE CULTURA)	8,64 b	5,39 b	4,54 b	4,31 c	23,11 a	62,98 b	
T4 (MEIO DE CULTURA)	8,69 b	5,45 b	4,55 b	4,29 c	23,38 a	62,68 b	
T5 (NPK)	12,53 a	8,84 a	5,84 a	5,37 a	70,36 a	0,19 c	
T6 (CONTROLE)	8,33 b	5,06 b	4,32 c	4,17 d	15,80 c	74,01 a	

Medias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os cálculos para V\% , CTC_{pH7} e efetiva, utilizaram o teor de Na^{+} na fórmula.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.9.6 SEGUNDO CULTIVO

4.9.7 ANÁLISE QUÍMICA DA PLANTA SOB O EFEITO DA ROCHA FONOLITO

Os teores de N, P, K Ca e Mg, determinados tanto no tecido foliar quanto os teores acumulados, e a massa seca total da planta (Tabela 14 e Tabela 15), continuaram a receber influência dos tratamentos após o primeiro cultivo. Em relação ao teor de N, todos os tratamentos, excluindo-se o tratamento T5, estão dentro da faixa de referência (3% -5 %), com o tratamento T1 apresentando o maior teor e acima do valor de referência. O tratamento T5 foi o que apresentou o maior teor em relação ao N acumulado.

Quanto ao teor de P todos os tratamentos ficaram abaixo da faixa de referência (0,2% - 0,3%), o tratamento T5 apresentou o maior valor tanto no teor foliar quanto no teor acumulado.

Acerca do K todos os tratamentos, com exceção do tratamento T5, ficaram dentro da faixa de referência (2% - 2,5%), porém o tratamento T5 apresenta o maior teor de K acumulado. Em relação ao Ca, todos os tratamentos estão abaixo da faixa de referência (1% - 2,5%), entretanto, o tratamento T5 apresenta o maior valor de Ca acumulado.

O tratamento T5 e T6 estão na faixa de suficiência quanto ao teor de Mg (0,25% - 0,50%), todavia, o tratamento T5 apresenta o maior valor de Mg acumulado.

Tabela 11– Teores foliares de N, P, K, Ca, Mg (%) e MST (g) das plantas de feijão do segundo cultivo

TRATAMENTOS	N	P	K	Ca	Mg	MST
		-----	%	-----		g
T1 (ÁGUA)	6,01 a	0,11 b	2,24 a	0,42 bc	0,21 b	1,53 b
T2 (ÁCIDO CÍTRICO)	5,17 ab	0,13 b	2,40 a	0,40 bc	0,18 b	1,60 b
T3 (BIOMAPHOS+MEIO DE CULTURA)	5,07 b	0,12 b	2,24 a	0,37 c	0,20 b	1,54 b
T4 (MEIO DE CULTURA)	5,52 ab	0,13 b	2,57 a	0,55 b	0,21 b	1,42 b
T5 (NPK)	3,95 c	0,18a	1,78 b	0,80 a	0,32 a	5,22 a
T6 (CONTROLE)	5,26 ab	0,11b	2,47 a	0,53 b	0,26 ab	1,43 b
VALORES DE REFERÊNCIA (%) *	3 - 5	0,2 - 0,3	2 - 2,5	1 - 2,5	0,25 - 0,50	

*valores de referência dos níveis adequados de nutrientes descritos por Malavolta et al. (1997).

Medias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan, ns: não significativo pelo teste F.

Fonte – Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 12– Teores acumulados de N, P, K, Ca, Mg (mg) das plantas de feijão do segundo cultivo.

TRATAMENTOS	N	P	K	Ca	Mg
		-----	mg	-----	
T1 (ÁGUA)	92,00 b	1,71 b	34,40 b	6,40 b	3,21 b
T2 (ÁCIDO CÍTRICO)	81,95 b	2,05 b	38,73 b	6,41 b	2,92 b
T3 (BIOMAPHOS+MEIO DE CULTURA)	78,13 b	1,88 b	34,26 b	5,64 b	3,04 b
T4 (MEIO DE CULTURA)	78,79 b	1,83 b	36,25 b	7,82 b	2,95 b
T5 (NPK)	206,08 a	9,40 a	92,57 a	42,02 a	16,60 a
T6 (CONTROLE)	75,00 b	1,54 b	35,25 b	7,64 b	3,68 b

Medias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Fonte – Elaborado pelo autor,202

4.9.8 ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO SOB O EFEITO DA ROCHA FONOLITO

A tabela 16 mostra os resultados obtidos das análises químicas do solo após o término do segundo cultivo.

O tratamento T5, apresentou diferenças significativas em relação aos tratamentos (T1, T2, T3, T4 e T6), sendo superior quanto aos teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , P, na CTC_{pH7} e $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ e nos valores de pH tanto em água quanto em CaCl_2 , e apresentou menores teores de Al^{+3} , H+Al e m%, porém apresentou menor teor de Na^+ em relação aos tratamentos T1, T2, T3, T4, pois a composição química das rochas possui um elevado teor de Na^+ .

Em relação aos teores de K^+ , o tratamento T6 foi o que apresentou o menor valor de K^+ , e não houve diferenças estatística entre os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, demonstrando que a rocha fonolito pode possuir semelhança na disponibilidade de K^+ equivalente ao KCl.

Quanto aos teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , H+Al e os valores de CTC_{pH7} e $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$, excluindo-se o tratamento T5, os demais tratamentos não tiveram diferenças estatísticas entre si. Em relação ao teor de P, o tratamento T5 foi superior e o tratamento T6 inferior aos outros tratamentos e entre os tratamentos que foram incubados (T1, T2, T3 e T4) o tratamento T1 apresentou o menor valor de P.

Tabela 13 – Valores da análise do solo de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , H+Al, P, K^{+} , Na^{+} , CTC_{pH7}, CTC_{efetiva}, pH em Água, e CaCl_2 , V% e m% do segundo cultivo.

TRATAMENTOS	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Al^{+3}	H+Al	P	K^{+}	Na^{+}
	----- cmol _c kg ⁻¹ -----				----- mg kg ⁻¹ -----		
T1 (ÁGUA)	0,83 b	0,32 b	3,89 ab	6,36 a	10,30 bc	79,00 a	140,17 a
T2 (ÁCIDO CÍTRICO)	0,84 b	0,32 b	3,72 b	7,08 a	12,87 b	76,00 ab	141,42 a
T3 (BIOMAPHOS+MEIO DE CULTURA)	0,81 b	0,32 b	3,83 ab	6,94 a	10,56 bc	77,42 ab	145,42 a
T4 (MEIO DE CULTURA)	0,86 b	0,31 b	3,82 ab	7,04 a	11,10 bc	78,67 a	145,92 a
T5 (NPK)	5,06 a	0,74 a	0,01 c	3,22 b	19,86 a	76,83 ab	35,92 b
T6 (CONTROLE)	0,82 b	0,30 b	3,91 a	7,03 a	9,77 c	69,75 b	34,33 b
TRATAMENTOS	CTC _{pH7}	CTC _{efetiva}	pH		V%	m%	
	cmol _c kg ⁻¹		Água	CaCl ₂			
T1 (ÁGUA)	8,31 ns	5,84 ab	4,04 c	4,11 b	24,01 b	66,53 b	
T2 (ÁCIDO CÍTRICO)	9,05 ns	5,69 ab	4,08 bc	4,13 b	21,80 bc	65,35 b	
T3 (BIOMAPHOS+MEIO DE CULTURA)	8,90 ns	5,78 ab	4,10 b	4,15 b	21,96 b	66,22 b	
T4 (MEIO DE CULTURA)	9,05 ns	5,83 ab	4,04 c	4,11 b	22,20 b	65,50 b	
T5 (NPK)	9,36 ns	6,15 a	5,57 a	5,51 a	65,53 a	0,12 c	
T6 (CONTROLE)	8,48 ns	5,36 b	4,03 c	4,10 b	17,11 c	72,95 a	

Medias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

ns: não significativo pelo teste F

Os cálculos para V%, CTC_{pH7} e efetiva, utilizaram o teor de Na^{+} na fórmula.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.9.9 ANÁLISE QUÍMICA DA PLANTA SOB O EFEITO DA ROCHA OLIVINA MELILITITO

Os teores de N, P, K Ca e Mg, determinados tanto no tecido foliar quanto os teores acumulados, e a massa seca total da planta (Tabela 18 e Tabela 19), continuaram a receber influência dos tratamentos após o primeiro cultivo. Todos os tratamentos, em relação ao N foliar, estão dentro da faixa de referência (3% - 5%). O tratamento T5 apresentou o maior na planta e dentre os que utilizaram o pó da rocha o tratamento T2 apresentou maior acúmulo de N.

Para o teor de P nenhum tratamento ficou na faixa de referência (0,2% - 0,3%), e quanto ao acumulado de P na planta o tratamento T5 apresentou o maior valor.

Acerca do teor de K foliar, todos os tratamentos, com exceção o tratamento T5, encontram-se na faixa de referência (2% - 2,5%), o tratamento T5 apresentou o maior acúmulo de K e dos tratamentos utilizando pó da rocha o tratamento T2 apresentou maior acúmulo.

Quanto ao teor de Ca, apenas o tratamento T1 ficou na faixa de referência (1% - 2,5%), e dentre os tratamentos utilizando o pó de rocha, foi o que apresentou o maior valor acumulado de Ca, enquanto o tratamento T5 apresentou maior valor de Ca acumulado na comparação entre todos os tratamentos. O teor foliar de Mg para todos os tratamentos estão na faixa de referência (0,25% - 0,50%), o tratamento T5 apresentou o maior acúmulo de Mg, e dos tratamentos utilizando pó da rocha o tratamento T1 exibiu maior acúmulo de Mg.

Tabela 14– Teores foliares de N, P, K, Ca, Mg (%) e MST (g) das plantas de feijão do segundo cultivo

TRATAMENTOS	N	P	K	Ca	Mg	MST
		-----	%	-----		g
T1 (ÁGUA)	5,08 a	0,11 c	2,36 b	1,02 a	0,29 ns	1,96 bc
T2 (ÁCIDO CÍTRICO)	5,07 a	0,12 bc	2,29 b	0,69 bc	0,26 ns	2,30 b
T3 (BIOMAPHOS+MEIO DE CULTURA)	5,13 a	0,12 c	2,27 b	0,70 bc	0,28 ns	1,69 cd
T4 (MEIO DE CULTURA)	5,08 a	0,14 b	2,80 a	0,62 bc	0,28 ns	1,71 cd
T5 (NPK)	3,95 b	0,18 a	1,77 c	0,88 ab	0,32 ns	5,22 a
T6 (CONTROLE)	5,26 a	0,11 c	2,55 ab	0,53 c	0,26 ns	1,43 d
VALORES DE REFERÊNCIA (%) *	3,0 - 5,0	0,2 - 0,3	2 - 2,5	1 - 2,5	0,25 - 0,50	

valores de referência dos níveis adequados de nutrientes descritos por Malavolta et al. (1997).

Medias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan, ns: não significativo pelo teste F.

Fonte – Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 15– Teores acumulados de N, P, K, Ca, Mg (mg) das plantas de feijão do segundo cultivo.

TRATAMENTOS	N	P	K	Ca	Mg
		-----	mg	-----	
T1 (ÁGUA)	100,17 bc	2,06 bcd	46,20 bc	20,25 b	5,62 b
T2 (ÁCIDO CÍTRICO)	114,35 b	2,71 b	51,96 b	15,82 bc	6,02 b
T3 (BIOMAPHOS+MEIO DE CULTURA)	86,89 bc	1,96 cd	38,33 bc	11,84 cd	4,72 b
T4 (MEIO DE CULTURA)	87,42 bc	2,40 bc	48,27 bc	10,54 cd	4,85 b
T5 (NPK)	206,08 a	9,40 a	92,05 a	45,67 a	16,60 a
T6 (CONTROLE)	75,00c	1,50 d	36,46 c	7,64 d	3,68 b

Medias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Fonte – Elaborado pelo autor,2022

4.9.10 ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO SOB O EFEITO DA ROCHA OLIVINA MELILITITO

A tabela 20 mostra os resultados obtidos das análises químicas do solo após o término do segundo cultivo. O tratamento T5 apresentou maiores teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} em relação aos outros tratamentos e entre os tratamentos utilizando o pó de rocha nenhum deles apresentaram diferença estatística para esses dois elementos. Embora não tenham diferido estatisticamente do controle, os teores de Ca foram ligeiramente superiores nos tratamentos com o pó da rocha, mas os teores de Mg foram mais altos e diferiram do controle, o que demonstra potencial dessa rocha para o fornecimento desses nutrientes, no médio e longo prazo.

Os teores de Al^{+3} e H+Al , foram menores no tratamento T5, devido ao efeito do calcário na correção da acidez, sendo que o tratamento T6 (Controle) apresentou os maiores valores para esses dois atributos. Os teores de Al nos tratamentos à base de pós de rocha foram ligeiramente inferiores ao do tratamento controle, do qual diferiram, enquanto para o H+Al não se verificou diferenças entre eles.

Os teores de P foram maiores no tratamento T5 na comparação com o controle e os tratamentos com pós de rocha. Porém estes foram significativamente superiores ao controle, indicando potencial dessa rocha na disponibilização desse elemento, conforme já verificado durante o primeiro cultivo com uso da mesma rocha.

O tratamento T1 foi superior aos demais quanto ao teor de K no solo, diferindo dos demais tratamentos, inclusive do tratamento NPK, sendo que o tratamento T6 foi o que apresentou os teores mais baixos. Esses resultados ressaltam a importância e qualidade dessa rocha no fornecimento de potássio, uma vez que os teores desse elemento em todos os tratamentos onde ela foi testada, mantiveram teores de K similares aos obtidos no tratamento convencional (T5). Tais resultados são similares aos obtidos por DUARTE et al., (2013) e Cunha et al. (2021) com o uso da mesma rocha. O teor de Na^{+} foi menor nos tratamentos T5 e T6, quais não diferiram estatisticamente, e maior nos tratamentos T1, T2, T3 e T4, os quais não diferiram estatisticamente.

O tratamento T5 apresentou os maiores valores na CTC_{pH7} , $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$, pH em água e pH em CaCl_2 , entretanto, os tratamentos que utilizaram o pó de rocha o tratamento o tratamento T1 e T3 apresentaram o maior valor de CTC_{pH7} e os valores de $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ não apresentaram diferenças entre si.

Os valores de pH em água e em CaCl_2 foram maiores no tratamento T5 e menores no tratamento T6. Entretanto, os tratamentos com base no pó da rocha propiciaram

incrementos importantes nesses atributos em relação ao controle, do qual diferiram estatisticamente. Além do mais isto se traduziu também em aumento da saturação por bases e na redução dos teores de Al e na saturação desse elemento

Tabela 16 – Valores da análise do solo de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , H+Al , P , K^{+} , Na^{+} , CTC_{pH7} , $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$, pH em Água, e CaCl_2 , V\% e m\% do segundo cultivo.

TRATAMENTOS	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Al^{+3}	H+Al	P	K^{+}	Na^{+}
	----- $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ -----				----- mg kg^{-1} -----		
T1 (ÁGUA)	1,00 b	0,52 b	3,39 b	6,81 a	15,38 b	86,17 a	82,83 a
T2 (ÁCIDO CÍTRICO)	0,94 b	0,52 b	3,49 b	6,73 a	15,56 b	81,92 ab	79,58 a
T3 (BIOMAPHOS+MEIO DE CULTURA)	0,91 b	0,50 b	3,48 b	6,87 a	15,12 b	84,17 ab	77,75 a
T4 (MEIO DE CULTURA)	0,99 b	0,51 b	3,52 b	6,77 a	14,98 b	77,83 b	76,92 a
T5 (NPK)	5,06 a	0,74 a	0,01 c	3,22 b	19,86 a	76,83 bc	35,92 b
T6 (CONTROLE)	0,82 b	0,30 c	3,91 a	7,03 a	9,77 c	69,75 c	34,33 b
TRATAMENTOS	CTC_{pH7}	$\text{CTC}_{\text{efetiva}}$	pH		V\%	m\%	
	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$		Água	CaCl_2			
T1 (ÁGUA)	8,91 ab	5,50 b	4,17 b	4,22 b	23,61 b	61,72 b	
T2 (ÁCIDO CÍTRICO)	8,75 b	5,51 b	4,21 b	4,20 b	23,04 b	63,41 b	
T3 (BIOMAPHOS+MEIO DE CULTURA)	8,84 ab	5,44 b	4,14 b	4,19 b	22,24 b	63,91 b	
T4 (MEIO DE CULTURA)	8,80 b	5,55 b	4,18 b	4,20 b	23,06 b	63,41 b	
T5 (NPK)	9,36 a	6,15 a	5,56 a	5,51 a	65,53 a	0,12 c	
T6 (CONTROLE)	8,48 b	5,36 b	4,03 c	4,10 c	17,11 c	72,95 a	

Medias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os cálculos para V\% , CTC_{pH7} e efetiva, utilizaram o teor de Na^{+} na fórmula.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.10 CONCLUSÕES

A utilização dos pós das rochas fonolito e olivina melilitito previamente incubadas ao solo, nas suas diferentes modalidades, favoreceram a disponibilização de nutrientes às plantas e incrementaram os teores de nutrientes no solo, com diferenças observadas entre as duas rochas testadas.

O fonolito, rocha intermediária com baixos conteúdos de cálcio e magnésio, teve pouco efeito na modificação dos atributos químicos do solo e no desenvolvimento das plantas de feijão, com exceção do potássio, que apresentou incrementos importantes no solo, resultando em adequado suprimento desse nutriente as plantas, na maior parte dos casos, comparáveis aos obtidos com a adubação convencional;

A rocha olivina melilitito aumentou os teores de Ca, Mg, K e P do solo em relação ao fonolito, mantendo em geral níveis adequados desses nutrientes no tecido foliar; além disso proporcionou incrementos apreciáveis no pH, na saturação por bases e na redução dos teores de Al;

Embora o pré-tratamento dessas rochas com a finalidade de incrementar a liberação de nutrientes antes de sua aplicação ao solo, os pré-tratamentos utilizados tiveram pouco efeito para esse objetivo, uma vez que pouco diferiram entre si quanto ao fornecimento de nutrientes, o que sugere que apresentam pouco efeito em relação a aplicação desses produtos na forma pura.

Dentre os tratamentos com o pó das rochas, o de pré incubação das mesmas com a associação das duas bactérias do gênero *Bacillus* favoreceu a maior absorção de fósforo pelas plantas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos com a utilização dos pós de rocha testados, demonstram que o emprego desses materiais podem ser incorporados às práticas agrícolas, podendo substituir total e ou parcialmente os fertilizantes solúveis , pois, os agroecossistemas, principalmente os tropicais que possuem solos altamente intemperizados, necessitam de práticas que garantam um manejo adequado e sustentável da produção agrícola a de longo prazo, com baixo impacto ambiental e menos dependente de insumos importados efeito esse que os pós de rocha conseguem suprir, uma vez que além de fornecerem nutrientes, podem aumentar a reserva mineral do solo Porém é necessário intensificar as pesquisas com esses materiais para compreender o melhor posicionamento desses elementos ao solo, quanto a sua solubilização a curto e longo prazo, pH ideal do solo, misturas de vários tipos de rocha, granulometria, compostagem desse material, uso de microorganismos solubilizadores, incubação e outros. Esse tipo de enfoque deve ser estendido para seleção de rochas com maior potencial no fornecimento de nutrientes testagem em diferentes solos e culturas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

.G1, 01 jun. 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2021/06/01/brasil-e-o-4o-maior-produtor-de-graos-atras-da-china-eua-e-india-diz-estudo.ghtml>> Acesso em: 07 jul. 2022.

2000. GAUVRY, E. et al. Effects of temperature, pH and water activity on the growth and the sporulation abilities of *Bacillus subtilis* BSB1. *International Journal of Food Microbiology*, v. 337, n. October 2020, 2021.

ABREU, Crísia Santos de. ELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BACTÉRIAS ENDOFÍTICAS ISOLADAS DE PLANTAS DE MILHO COM POTENCIAL PARA A BIODISPOSIÇÃO DE ROCHAS FOSFÁTICAS. 2014. 47 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São João Del-Rei, Sete Lagoas, 2014.

ALMEIDA, J. A. Composição mineralógica da fração argila. In: EMBRAPA (org). VI Reunião de Correlação, Classificação e Aplicação de Levantamentos de Solo RS/SC/PR. Porto Alegre, p. 124-148. 2000.

ALVES, V. M. C. et al. Solubilização de potássio presente em minerais por microrganismos e efeitos no desenvolvimento de culturas agrícolas. *Documentos*, v. 264, p. 21, 2021.

ANDRADE, L. R. M.; MARTINS, E. S.; MENDES, I. C. Avaliação de uma rocha ígnea como corretivo de acidez e disponibilização de nutrientes para as plantas. Planaltina: EMBRAPA (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 57) 19p. 2002.

ANTOS WO, MATTIELLO EM, VERGUTZ L, COSTA RF. Production and evaluation of potassium fertilizers from silicate rock. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2016. 179: 547-556

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA A DIFUSÃO DE ADUBOS. Mercado de fertilizantes 2017/2020. In: principais indicadores do setor de fertilizantes. Disponível em: <http://anda.org.br/wp-content/uploads/2020/08/Principais_Indicadores_2020.pdf> Acesso em 24 de agosto 2020.

AUMOND, J. J.; SCHEIBE, L. F. O Fonolito de Lages – Santa Catarina, um Novo Fundente Cerâmico Brasileiro. *Cerâmica Industrial*, 01(02) Maio/Junho, 1996.

BACKES, L.R. et al. SCS 204 Predileto: novo cultivar de feijão preto. In: *Agropecuária Catarinense*. v. 27, n.3. nov/2014 fev/2015.

BADR, M. A.; SHAFEI, A. M.; SHARAF EL-DEEN, S. H. The dissolution of K and P-bearing minerals by silicate dissolving bacteria and their effect on sorghum growth. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, v. 2, n. 1, p. 5-11, 2006.

BAERE, B. D., FRANÇOIS, R., MAYER, K. U. Measuring mineral dissolution kinetics using on-line flow-through time resolved analysis (FT-TRA): an exploratory study with forsterite. *Chemical Geology*, 413, 107-118. doi: 10.1016/j.chemgeo.2015.08.024. 2000.

BIOMA. BIOMAPHOS. Disponível em: <https://www.bioma.ind.br/product/bioma-phos>. Acesso em: 12 ago. 2022

BLAKE, R.E.; WALTER, L.M. Kinetics of feldspar and quartz dissolution at 70–80°C and near-neutral pH: Effects of organic acids and NaCl. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Amsterdam, v. 63, p. 2043–2059, jul. 1999.

BRANCO, Pércio de Moraes. Rochas. 2015. Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Rochas-1107.html?UserActiveTemplate=cprm&from%5Finfo%5Findex=51#:~:text=Do%20ponto%20de%20vista%20qu%C3%ADmico,s%C3%ADlica\)%2C%20como%20o%20peridotito..Acessoem: 20 maio 2022](http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Rochas-1107.html?UserActiveTemplate=cprm&from%5Finfo%5Findex=51#:~:text=Do%20ponto%20de%20vista%20qu%C3%ADmico,s%C3%ADlica)%2C%20como%20o%20peridotito..Acessoem: 20 maio 2022).

BRANTLEY, S.L. & STILLINGS, L. Feldspars dissolution at 25oC and low pH. *Am. J.Sci.*, v. 296, p. 101-127, 1996.

Brasil é o 4º maior produtor de grãos, atrás da China, EUA e Índia, diz estudo

BRASIL. Fernando A. Freitas Lins. Ministério de Minas e Energia. RELATÓRIO GT-FERTILIZANTES. Brasil, 2008. 30 p.

BRASIL. Lei n. 12.890, 10 dez. 2013. Altera a Lei nº 6.894 de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura e dá outras

providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 dez 2013 Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm#:~:text=Alterar%20a%20Lei%20n%C2%BA%206.894,agricultura%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%Aancias.> Acesso em 25 agosto de 2020.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 05 de 10 de março de 2016. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 mar.2016. Disponível em: <http://www.in.gov.br/autenticidade.html>. Acesso em 23 mar. 2016.

BRAY, A.W., OELKERS, E. H., BONNEVILLE, S., WOLFF-BOENISCH, D., POTTS, J., FONES, G., BENNING, L. G. The effect of pH, grain size, and organic ligands on biotite weathering rates. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 164, 27-145. doi: 10.1016/j.gca.2015.04.048.2015.

CASAROLI, D.; LIER, Q. J. van. Critérios para determinação da capacidade de vaso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.1, p.59-66, 2008.

CASTRO, C. et al. Rochas brasileiras como fonte alternativa de potássio para a cultura do girassol. *Espaço & Geografia*, Brasília, v. 9, n. 2, p. 179-190, 2006.

CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A.; MOREIRA, A.; SALINET, L.H.; VERONESI, C.O. Rochas brasileiras como fonte alternativa de potássio para a cultura do girassol. *Espaço e Geografia*, Brasília, v. 9, n. 2, 179-193, 2006.

CATANI, R.A. A solubilidade de fosfatos naturais em solução de ácido cítrico a 2% na proporção de 1:200. São Paulo: *Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz"*, v. 27, p.1-14, 1970.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Nono levantamento – safra 2021/2022.: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>.

CONTINI, E.; ARAGÃO, A. O Agro Brasileiro alimenta 800 milhões de pessoas. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)*, v. 20, n. 3, p. 9 pages, 2021.

CORTES, G.P.; FERREIRA, R.C.; CORTES, G.P.; RAMPAZZO, L. FERREIRA, L.C. (2010). Fonolito como substituto do cloreto de potássio e/ou outras fontes de potássio na agricultura e pecuária no Brasil. In: E.S. Martins e S.H. Theodoro (eds.), I Congresso Brasileiro de Rochagem. Anais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, cap. 8, p. 75-83.

CQFS - Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2016) Manual de calagem e adubação para os Estados de Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 376p.

CUNHA, G. O. DE M.; ALMEIDA, J. A. DE. Productivity of soybean and barley plants cultivated in succession and subjected to different rock powders. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 9, p. 59–81, 2021.

DALCIN, Gisela. SELEÇÃO DE MICRORGANISMOS PROMOTORES DA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES CONTIDOS EM ROCHAS, PRODUTOS E REJEITOS DE MINERAÇÃO. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biotecnologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

DNPM. Departamento Nacional da Produção Mineral. Mapa geológico do estado de Santa Catarina, escala 1:500.000. Florianópolis, Coordenação de Recursos Minerais da Secretaria de Ciência e Tecnologia, Minas e Energia. 1987. 216p.

DUARTE, W. M.; MAFRA, Álvaro L.; FORESTI, M. M.; PICCOLLA, C. D.; ALMEIDA, J. A. Potencial de olivina melilitito, granito e sienito na disponibilização de potássio em solos. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 12, n. 1, p. 68-77, 2013. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5200>. Acesso em: 17 jul. 2022.

ELIZA MALISZEWSKI. Entrevista: Éder Martins, pesquisador da Embrapa Cerrados. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/noticias/entrevista--eder-martins--pesquisador-da-embrapa-cerrados_419821.html. Acesso em: 2 agosto 2020.

EONARDOS, O. H.; THEODORO, S. H.; ASSAD, M. L. Remineralization for sustainable agriculture: a tropical perspective from a Brazilian viewpoint. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Dordrecht, v. 56, n. 1, p. 3-9, Mar. 2000.

ESCLARECIMENTOS sobre uso de agrominerais silicáticos (remineralizadores) na agricultura - Esclarecimentos Oficiais. 2020. Disponível em: https://www.embrapa.br/esclarecimentos-oficiais/-/asset_publisher/TMQZKu1jxu5K/content/esclarecimentos-sobre-uso-de-agrominerais-silicaticos-remineralizadores-na-agricultura?inheritRedirect=false. Acesso em: 25 ago. 2020.

Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade. CETEM/Petrobrás, cao. 2, p. 81-132.

FLORENTINO, L. A. et al. Potassium solubilization in phonolite rock by diazotrophic bacteria. *Comunicata Scientiae*, v. 8, n. 1, p. 17-23, 2017.

FONTES, M.P.F. Intemperismo de rochas e minerais. In: KER, J.C.; CURI, N.; SCHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds.). *Pedologia: fundamentos*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 181-205.

FRANGSTEIN, P. Silicate rock dusts as natural fertilizers. University of Kassel, Department of Agriculture, p. 73-76, 1988.

GEE, G.W.; BAUDER J.W. Particle size analysis by hydrometer: a simplified method for routine textural analysis and a sensitivity test of measured parameters. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v. 43, n.5, p. 1004-1007, 1986.

GOTZ, L. F.; CASTAMANN, A.; PIOVESAN, F.; ANZOLIN, B. L.; HEREK, T. A.; MIKOANSKI, W. M.; RITA, Y. L.. Use of rock powder associated with bovine manure in Latossolo Vermelho cultivated with wheat. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)*, v.9, n.2, p.131-139, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21206/rbas.v9i2.3464>

HARLEY, A.; GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Dordrecht, v. 56, n. 1, p. 11-36, Mar. 2000

HEN, J; BLUME, H.P., BEYER, L. Weathering of rocks induced by lichen colonization - a review. *Catena*, Amsterdam, v.39, n.2, p.121–146, mar, 2000

HENSEL, J. Pães de Pedra. 2003. Traduzido do original: Brot aus Steinen, durch mineralische Dungung der felder -1898- por: Landgraf, H.; Riveira, J. R. & Pinheiro, J. Salles Editora, Canoas/RS – Brasil. 2003.

I.I. Abou-el-Seoud, A. Abdel-Megeed, Impact of rock materials and biofertilizations on P and K availability for maize (*Zea Maize*) under calcareous soil conditions, *Saudi Journal of Biological Sciences*, Volume 19, Issue 1, 2012, Pages 55-63, ISSN 1319-562X, <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2011.09.001>.

IRSHAD, U.; VILLENAVE, C.; BRAUMAN, A.; PLASSARD, C. Phosphorus acquisition from phytate depends on efficient bacterial grazing, irrespective of the mycorrhizal status of *Pinus pinaster*. *Plant and Soil*, v. 321, p. 213-233, 2012.

KRUKER, G. ADUBAÇÃO COM PÓ DE ROCHA E PLANTAS DE COBERTURA EM SUCESSÃO SOJA (*Glycine max*) E TRIGO (*Triticum aestivum*) Dissertação. Mestrado em Ciência do Solo Universidade do Estado de Santa Catarina Lages, SC. 2019.

Lapido-Loureiro F.E.V. & Nascimento M. 2009. Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável e competitiva, Rio de Janeiro. In: Lapido-Loureiro F. E. Melamed R. Figueiredo Neto J. (Ed.). LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S.; Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1969-1975. 7p. 2008

LEONARDOS, O.H.; FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I. The use of ground rocks in laterite systems: an improvement to the use of conventional soluble fertilizers? *Chemical Geology*, v.60, p.361-370, 1987.

LINS, F. F. et al. Apresentação. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 1, 2010, Planaltina –DF. Apresentação: Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem. Embrapa Cerrados, p. 302. 2010.

LONGO, E. D. V. MINERALOGIA E GÊNESE DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE ROCHAS ALCALINAS E ULTRABÁSICAS DO COMPLEXO ALCALINO DE LAGES. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo Universidade do Estado de Santa Catarina - Lages, SC. 115 p. 2020.

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

LOURENÇO-JR., B.A. Desenvolvimento de Laranjeira ‘Pêra’ *Citrus sinensis* (L.)Osbeck Enxertada em Limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia*) e Cultivada com Pó de Basalto. Dissertação de Mestrado. Instituto de Biociências, Campus de Botucatu, UNESP, 87 pp, 2011.

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. Fundamentos da química do solo: teoria e prática. 2.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2002. 182p.

LUZ, A. B. et al. Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos. In: Agrominerais para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. Cap.4, p.61-88.

MADUREIRA FILHO, J.B.; ATENCIO, Daniel; McREATH, Ian. Minerais e rochas, In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (orgs) 2000. Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos. USP.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MANFREDI, Tamara Reginatto. MINERALOGIA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DO CARBONATITO FAZENDA VARELA (CORREIA PINTO, SC). 2019. 179 p. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

MARTINS E.S. THEODORO S.H. 2009. Apresentação do Congresso Brasileiro de Rochagem. In: Anais do I Congresso Brasileiro Rochagem, 1:3-4.

MARTINS, E. S. et al. Agrominerais: rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: _____. Rochas e minerais industriais. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. p. 205-223.

MARTINS, E.S. et al. Rochas Silicáticas como Fontes Minerais Alternativas de Potássio para a Agricultura. In: LUZ, A.B.; LINS, F.F. (ed). Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações. 2., Rio de Janeiro: Ed. CETEM-MCTI, 2008. p. 205-221.

MEERT, L. et al. Produtividade e rentabilidade da soja cultivada com fontes alternativas de nutrientes em Guarapuava, PR. Revista Brasileira de Agroecologia, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 3371-3374, 2009.

MELAMED, R; GASPAR, J. C. & MIEKELEY, N. Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solo tropicais. CETEM/MCT, Série Estudos e Documentos - SED-72 (Versão provisória), 26p., 2007.

MELO, V. F.; CASTILHOS, R. M. V.; PINTO, L. F. S. Reserva mineral do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). Química e mineralogia do solo: conceitos básicos. Viçosa, MG: SBCS, 2009. v. 1, p. 251-332

MENDES, I. D. C.; REIS JÚNIOR, F. B. DOS. Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos Solos: uma análise crítica. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, p. 26, 2003.

MOREIRA, Adônis; FAGERIA, NandKumar. LIMING INFLUENCE ON SOIL CHEMICAL PROPERTIES, NUTRITIONAL STATUS AND YIELD OF ALFALFA GROWN IN ACID SOIL. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa , v. 34, n. 4, p. 1231-1239, Aug. 2010.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta, v.27, p.31-36, 1962.

NASCIMENTO, M.; LAPIDO-LOUREIRO, F. E. Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. 59 p. (Série Estudos e Documentos, 61).

NICHELE, E. R. Utilização de minerais no desenvolvimento de plantas e na mitigação de odores em criações animais confinadas. Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC. 86p. 2006.

OLIVEIRA, C. A.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; COTA, L. V.; SANTOS, F. C. dos; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; OLIVEIRA, M. C.; MATTOS, B. B.; ALVES, V. M. C.; RIBEIRO, V. P.; VASCO JUNIOR, R. Recomendação agrônômica de cepas de *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) na cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 18 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 260)

OLIVEIRA, S. M. B. Gênese da Bauxita de Lages, SC. Bol. IG-USP, Série Científica, v. 16, p.46-81, 1985.

OUSA, S. M.; OLIVEIRA, C. A.; ANDRADE, D. L.; CARVALHO, C. G.; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. de P.; GOMES, E. A. Tropical *Bacillus* strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutriente uptake and grain yield. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 1, p. 1-11, 2020.

OWEN, D.; WILLIAMS, A.; GRIFFITH, G.; WITHERS, P. Use of commercial bioinoculants to increase agricultural production through improved phosphorus acquisition. *Applied Soil Ecology*, v. 86, p. 41-54, 2015.

PÁDUA, Eduane José de. ROCHAGEM COMO ADUBAÇÃO COMPLEMENTAR PARA CULTURAS OLEAGINOSAS. 2012. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

PEREIRA MARROCOS, SAULO DE TARCIO, NOVO JUNIOR, JOSÉ, COSTA GRANGEIRO, LEILSON, DE QUEIROZ AMBROSIO, MÁRCIA MICHELLE, ALVES DA CUNHA, ANA PAULA. COMPOSIÇÃO QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DE BIOFERTILIZANTES EM DIFERENTES TEMPOS DE DECOMPOSIÇÃO. *Revista Caatinga*. 2012;25(4):34-43. [fecha de Consulta 28 de Agosto de 2020]. ISSN: 0100-316X. Disponibleen: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2371/237125883005>

PEREIRA, M. B.; DIAS, T. J.; LIMA, N. R.; JUSTINO, E. S.; OLIVEIRA, D. S.; VERAS, M. L. M. Plant growth and yield of butter kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*), as influenced by the combined application of bovine manure and rockpowder. *Acta Agronômica*, v.69, n.1, p.38-45, 2020. DOI:<https://doi.org/10.15446/acag.v69n1.75174>

RAMOS, C.G.; QUEROL, X.; OLIVEIRA, M.L.S; PIRES, K; KAUTZMANN; R.M. e OLIVEIRA, L.F.S. A preliminar evaluation of volcanic rock powder for application in agriculture as soil a remineralizer. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v.512/513, p. 371–380, Apr. 2015.

RESENDE, A.V.; MARTINS, E.M.; OLIVEIRA, C.G.; SENA, M.C.; MACHADO, C.T.; KINPARA, D.I.; FILHO, E.C.O. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “in natura” na agricultura brasileira. *Espaço e Geografia*, v.9, n.1, p. 19-42, 2006.

RIBEIRO, G. M. Caracterização de pós de rochas silicáticas, avaliação da solubilidade em ácidos orgânicos e potencial de liberação de nutrientes como remineralizadores de solos agrícolas. Tese Doutorado em Ciência do Solo Universidade do Estado de Santa Catarina - Lages, SC. 107 p. 2018.

RIBEIRO, G. M., ALMEIDA, J. A. DE, LEMOS, L. S., SCHMITT, C., PEREIRA, G. E. Solubilização de fonolito, basalto e olivina Melilitito em ácido cítrico e ácido acético. *Anais do III Congresso Brasileiro de Rochagem*. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. pp 39 – 44. 2017

Ronquim, C. C. (2010). Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. *Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 26 p.

SANTOS, H. G. et al. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

Sattar, A., Naveed, M., Ali, M., Zahir, Z.A., Nadeem, S.M., Yaseen, M., Meena, V.S., Farooq, M., Singh, R., Rahman, M., Meena, H.N., 2019. Perspectives of potassium solubilizing microbes in sustainable food production system: A review. *Appl. Soil Ecol.* 133, 146–159. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.09.012>

SCHEIBE, L.F.; *Geologia e Petrologia do Distrito Alcalino de Lages, SC*. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 253p., 1986.

SCHUELER, T. A. et al. Biosolubilization of verdete: An alternative potassium source for agriculture fertilizer. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, v. 34, n. March, 2021.

SCHUELER, T. A.; DOURADO, M. L.; CUNHA, C. D.; RIZZO, A. C. L.; , ;
"SOLUBILIZAÇÃO BIOLÓGICA DE POTÁSSIO ORIUNDO DE ROCHA", p. 3254-3257 .

In: . São Paulo: Blucher, 2018.
ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/cobeq2018-PT.0860

SILVA, A.; ALMEIDA, J.A.; SCHMITT, C.; COELHO, C.M.M.; Avaliação dos efeitos da aplicação de basalto moído na fertilidade do solo e nutrição de *Eucalyptus benthamii*. *Floresta*, Curitiba, v.42, n.1, p.69-76, 2012.

SILVA, Carla Cristina Alves da. AVALIAÇÃO DA LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO DE ROCHAS SILICÁTICAS POR EXTRAÇÕES SELETIVAS. 2017. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

SILVEIRA, A.P.D. & FREITAS, S.S. Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental, IAC, P. 312, 2007.

SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATOS NATURAIS POR MICRORGANISMOS ISOLADOS DE CULTIVOS DE PINUS E EUCALYPTUS DE SANTA CATARINA. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília , v. 37, n. 6, p. 847-854, June 2002 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2002000600014&lng=en&nrm=iso>. access on 24 Aug. 2020. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000600014>.

SOUSA, S. M. de; OLIVEIRA, C. A.; ANDRADE, D. L.; CARVALHO, C. G.; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. de P.; GOMES, E. A. Tropical *Bacillus* strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 40, p. 867-877, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10146-9>.

SOUZA, F. N. S., OLIVEIRA, C.G.; MARTINS, E.S., ALVES, J.M. Efeitos condicionador e nutricional de um remineralizador de solos obtido de resíduos de mineração. *Revista AgriEnvironmental Sciences*, Palmas – TO, v.3, n.1, 2017.

STRAATEN, P. V. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v.78, n. 4, p. 731-747, 2006.

TEDESCO, M.J. et al. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p. 1995.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, C.; FAIRCHILD, T.; TAIOLI, F. *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ALMEIDA, E. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 1., 2010, Brasília. *Anais...Planaltina: EMBRAPA Cerrados*, 2010. p. 173-181.

THEODORO, S.H. & ALMEIDA, E. Agrominerais e a construção da soberania em insumos agrícolas no Brasil. *Agriculturas*, v. 10, n. 1, p. 22-28, 2013.

THEODORO, S.M.C.H. LEONARDOS, O.H.; ROCHA, E.L.; REGO, K.G. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. *Espaço e Geografia (UnB)*, v. 9, n.2, p. 263-292,20

TITO, G. A. et al. Efeito do vermicomposto enriquecido com pó de rochas na química do solo e cultura de rabanete. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 14, n. 4, p. 506–511, 2019.

UBIANA, C. S. et al. Biossolubilização de fonolito por microrganismos do solo solubilizadores de potássio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. *Anais... Uberlândia: UFU*, 2011. 1 CD-ROM.

UNESP - Departamento de Petrologia e Metalogenia - Rio Claro/SP, Museu de Minerais, Minérios e Rochas Heinz Ebert. 2018. Disponível em: <https://museuhe.com.br/> .

VAN, S. P. *Rocks for crops: Agrominerals of Sub-Saharan Africa*. ICRAF, Nairobi, Kenya, 2002. 338 p.

WARMLING, M. I. Produtividade e composição de uvas ‘merlot’ em dois sistemas de condução e irrigação na serra catarinense. Tese. Doutorado em Ciência do Solo Universidade do Estado de Santa Catarina Lages, SC. 2021.

DOUGLAS DE ARAÚJO FERREIRA, D. et al. Extração Hidrometalúrgica do potássio presente na rocha Nefelina-Sienito, em função da variação da granulometria e aplicação de tratamento térmico. Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, v. 1, n. 49, p. 129, 2020.

WILSON, M.J. Weathering of the primary rock-forming minerals: processes, products and rates. Clay Minerals. v. 39, p. 233-236, 2004.

WOLT, J.D. Obtaining soil solution: laboratory methods. In: WOLT, J.D. Soil solution chemistry: applications to environmental science and agriculture. New York: John Wiley, 1994. p.95- 120.