



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

BANEL SYDNE

**USO DE REMINERALIZADORES ASSOCIADOS A BACTÉRIAS
SOLUBILIZADORAS DE NUTRIENTES COMO CONDICIONADORES
DO SOLO PARA A CULTURA DO MILHO**



JUAZEIRO -BA

2023

BANEL SYDNE

**USO DE REMINERALIZADORES ASSOCIADOS A BACTÉRIAS
SOLUBILIZADORAS DE NUTRIENTES COMO CONDICIONADORES
DO SOLO PARA A CULTURA DO MILHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Juazeiro, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Prof. Fabio Freire de Oliveira
Coorientador: Dr. Prof. Cícero Antônio de Sousa Araújo

JUAZEIRO -BA

2023

S982u	<p>Sydne, Banel</p> <p>Uso de remineralizadores associados a bactérias olubilizadoras de nutrientes como condicionadores do solo para a cultura do milho / Banel Sydne, Juazeiro-BA, 2023. xiii, 58 f. : il. ; 29 cm.</p> <p>Trabalho de Conclusão (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Campus Juazeiro-BA, 2023.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Fabio Freire de Oliveira.</p> <p>1. Solos. 2. Remineralizante. 3. Rochagem. 4. Zea mays. I. Título. II. Oliveira, Fabio Freire de. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.</p> <p>CDD 624.151</p>
-------	--

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO CAMPUS DE
CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
FOLHA DE APROVAÇÃO


BANEL SYDNE

USO DE REMINERALIZADORES ASSOCIADOS A BACTÉRIAS
SOLUBILIZADORAS DE NUTRIENTES COMO CONDICIONADORES
DO SOLO PARA A CULTURA DO MILHO

Dissertação apresentada à
Universidade Federal do Vale do São
Francisco – UNIVASF, Campus
Juazeiro, como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 06 de setembro de 2023

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **FABIO FREIRE DE OLIVEIRA**
Data: 12/09/2023 14:58:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Fabio Freire de Oliveira:
22296980368


Dr. Fabio Freire de Oliveira – IF – Sertão (Orientador)

Cicero Antonio de Sousa
Araujo:22296980368


Assinado de forma digital por Cicero
Antonio de Sousa Araujo:22296980368
Dados: 2023.09.12 15:07:20 -0300'

Cícero Antonio de Sousa Araujo
09613688706

Dr. Cícero Antônio de Sousa Araújo – IF – Sertão (Coorientador)

Documento assinado digitalmente
 **MARLON DA SILVA GARRIDO**
Data: 11/09/2023 11:27:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Marlon da Silva Garrido
UNIVASF (Examinador Interno)

Documento assinado digitalmente
 **REGINA LUCIA FELIX DE AGUIAR LIMA**
Data: 08/09/2023 09:44:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Regina Lúcia Félix de Aguiar Lima
Universidade de Pernambuco (Examinador Externo)

À minha família, amigos (as) e orientadores, por todo o apoio e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Embora este trabalho permaneça pessoal, foi necessária a contribuição e a colaboração de mais de uma pessoa para dar vida a este objetivo. Por isso, meus agradecimentos vão para: Deus, meu Criador e Protetor, pela coragem que nos dá para enfrentar todos os obstáculos da vida. Ao meu Orientador, Dr. Prof. Prof. Fabio Freire de Oliveira e ao Coorientador Dr. Prof. Cícero Antônio de Sousa Araújo, por todo os conhecimentos científicos investidos, sua paciência, disponibilidade e o seu rigor científico foram um suporte fundamental para que esta dissertação fosse um sucesso e suas palavras de encorajamento nos tempos mais sombrios.

Os meus agradecimentos dirigem-se de forma especial aos meus pais, principalmente minha mãe Sylvanise LUSSEE, meu pai Salnave SYDNE e meus irmãos e irmãs Barnave, Berta, Sanel, Maude e Ynese SYDNE, à minha noiva e sogra, Faniola Mercure e Guerda Bernard pelo apoio, conceitos ao longo do meu percurso acadêmico.

Aos meus amigos e colegas Antônio Marcos e Vilma Andrade, pelo apoio ao longo da pós-graduação e toda a equipe do laboratório do solo e planta do IF-Sertão-PE, meu amigo e irmão, Dr. Emboise , por seu apoio inesgotável durante toda a jornada, a minha amiga e colega Puatie Elbrena pelo apoio, a todos os membros da minha família, à minha namorada, pelo apoio moral e pelas palavras de encorajamento.

O meu apreço e a minha gratidão vão para os meus camaradas do Programa de Bolsas Brasil PAEC OAS-GCUB (2021-2023). Quero agradecer ao Colegiado de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, os professores e a secretaria por todo conhecimento transmitido. Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES: Código de Financiamento 001) pela bolsa concedida durante o curso e por me permitir obter meu mestrado em Engenharia Agrícola.

Meus agradecimentos

RESUMO

A utilização de remineralizadores é uma técnica antiga, que consiste, essencialmente, na utilização de rochas finamente trituradas como fontes de liberação lenta de diversos nutrientes, podendo assim atuar como fertilizantes naturais às plantas. Assim, a utilização desses materiais como meio de manejo da fertilidade do solo não parece muito eficaz ao curto prazo, portanto, o posicionamento dos remineralizantes como fornecedores de nutrientes deve ser feito em conjunto com agentes solubilizantes (microrganismos) ou necessita um mínimo de tempo entre a aplicação e a semeadura. O objetivo neste trabalho foi avaliar a eficiência agrônômica de remineralizantes e bactérias solubilizadoras de nutrientes na liberação de nutrientes para a cultura do milho (*Zea mays L.*). Os remineralizantes que foram utilizados neste trabalho são: FoscalPro (provenientes das indústrias de mineração, IALMA FERTILIZANTES), o Vulcano (Grupo V), o Tecnofos (Grupo SIQUEIRA) e MG-25 (MINERAÇÃO LTDA) associados as bactérias do BiomaPhos®. O experimento foi conduzido em vasos na casa de vegetação do IF-Sertão-PE, utilizando um latossolo amarelo. No trabalho, avaliaram-se os parâmetros de crescimento e desenvolvimento do milho híbrido AG-1051, o efeito dos remineralizadores nas propriedades químicas do solo e sua capacidade de liberação de nutrientes. Na primeira etapa do ciclo considerado, foi utilizado delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 7 x 2 com seis repetições. Os tratamentos de fertilização do solo incluídos foram: a testemunha (T0), quatro pós de rochas (T1, T2, T3 e T4) e duas doses de solução nutritiva (T5: 50% e T6: 100%) sem e com bactérias solubilizadoras de nutrientes (BiomaPhos). Na segunda etapa do ciclo vegetativo, foi utilizado o DIC em esquema fatorial 5 x 2, com seis repetições, os tratamentos foram a testemunha (T0) e os quatro tratamentos com pós de rocha (T1, T2, T3 e T4). As duas etapas (1e e 2e) do ciclo vegetativo considerado, com duração de 30 dias cada uma, foram iniciadas no dia do 04 de março a 04 de abril 2023 e do 05 do abril a 5 de maio 2023, respectivamente. Verificou-se que a utilização dessas fontes naturais de minerais como técnica isolada não parece surtir efeito totalmente satisfatório, devido ao déficit de micronutrientes.

Palavras-chave: Rochagem, Microrganismos, *Zea mays*

ABSTRACT

The use of remineralizers is an ancient technique that essentially consists of using finely ground rocks as sources of slow release of various nutrients (macro and micro), thus being able to act as natural fertilizers for plants. Thus, the use of these materials as a means of managing soil fertility does not seem to be very effective in the short term, therefore, the positioning of remineralizers as nutrient suppliers must be carried out in conjunction with solubilizing agents (microorganisms) or does it require a minimum of time between application and sowing. The objective of this work was to evaluate the agronomic efficiency of remineralizers and nutrients solubilizing bacteria in nutrient release for the crop corn (*Zea mays L.*). The remineralizers used in this work are: the FoscalPro (mining industries, IALMA FERTILIZANTES), Vulcano (Grupo V), Tecnofos (Grupo SIQUEIRA) and MG-25 (MINERAÇÃO LTDA) associated with bacteria (BIOMAPHOS®), an EMBRAPA technology. The experiment was carried out in pots and under protected conditions at IF-Sertão-PE, using a yellow oxisol. The work evaluated the growth and development parameters of hybrid maize AG-1051, the effect of remineralizers on the chemical properties of the soil and its ability to release nutrients. In the first stage of the considered cycle, a completely randomized design (DIC) was used in a 7 x 2 factorial scheme with six replications. The soil fertilization treatments included were: the control (T0), four rock powders (T1, T2, T3 and T4) and two doses of nutrient solution (T5: 50% and T6: 100%) without and with solubilizing bacteria of nutrients (BiomaPhos). In the second stage of the vegetative cycle, DIC was used in a 5 x 2 factorial scheme, with six replications, the treatments were the control (T0) and the four treatments with rock dust (T1, T2, T3 and T4). The two stages (1e and 2e) of the considered vegetative cycle, lasting 30 days, started on March 4th to April 4th 2023 and from April 5th to May 5th 2023, respectively. It was verified that the use of these natural sources of minerals as an isolated technique does not seem to have a totally satisfactory effect, due to the deficit of micronutrients.

Keywords: stoneware, microorganisms, *Zea mays*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização do ponto experimental (IF-Sertão campus Petrolina Zona Rural).	27
Figura 2 - Precipitação média mensal, umidade relativa do ar e temperaturas máximas e mínimas mensais nos anos 2011 a 2021.	28
Figura 3 - Preparo dos vasos experimentais. (A) Mistura de solo e trituração de torrões; (B) Aplicação de remineralizadores; (C) Enchimento de vasos pré-identificados e (D) Classificação dos vasos por tratamentos.	30
Figura 4 - Semeadura (A), visão geral do experimento após semeadura (B) e desbastamento de plântulas (C):.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificação e tolerância dos elementos características dos remineralizadores.....	22
Tabela 2 - Características físicas do latossolo amarelo utilizado no experimento. ...	29
Tabela 3 - Características químicas do solo experimental antes do início da pesquisa.	29
Tabela 4 - Características químicas e procedência dos remineralizantes estudados	31
Tabela 5 - Espécies de bactérias, procedência e descrição do BiomaPhos.....	31
Tabela 6 - Tratamentos utilizados na primeira e segunda etapa experimental.....	32
Tabela 7 - Composição da solução nutritiva utilizada na primeira etapa.....	33
Tabela 8 - Diâmetro de caule(mm) e altura de planta (cm) do milho híbrido AG-1051: primeira etapa.....	39
Tabela 9 - Diâmetro de caule(mm), altura de planta (cm) e largura de folha (cm) do milho híbrido AG-1051: segunda etapa.....	39
Tabela 10 - Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e cálcio na matéria seca do milho híbrido AG-1051: primeira etapa.....	41
Tabela 11 - Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e cálcio na matéria seca do milho híbrido AG-1051: segunda etapa.....	42
Tabela 12 - Teores de manganês, zinco e cobre na matéria seca do milho híbrido AG- 1051: primeira etapa.....	43
Tabela 13 - Teores de manganês e cobre na matéria seca do milho híbrido AG-1051: segunda etapa.....	44
Tabela 14 - Efeito dos remineralizantes sobre o pH do solo aos 65 dias após aplicação	45
Tabela 15 - Teores de fósforo, potássio, magnésio e cálcio no solo em função dos tratamentos.....	47
Tabela 16 - Teores de manganês, zinco, cobre e ferro no solo após colheita.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FAO	Food and Agriculture Organization
ONU	Organização das Nações Unidas
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ABIMILHO	Associação Brasileira Das Indústrias Do Milho
CONAB	Companhia Nacional De Abastecimento
CTC	Capacidade de troca de cátions
CCA	Campus Ciência Agrária
MFPA	Massa fresca parte aérea
MSPA	Massa seca parte aérea
DIC	Delineamento inteiramente casualizado
V	Saturação por bases
SB	Soma de bases
AF	Aérea foliar
DC	Diâmetro de colmo
MO	Matéria orgânica

LISTA DE SIMBOLOS

m, mm	Metro, milímetro
pH	Potencial de hidrogênio
HCl	Ácido clorídrico
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
K	Potássio
Ca	Calcio
Mg	Magnésio
Na	Sódio
L	Litro
t.ha ⁻¹	Tonelada por hectare
g	grama
g.kg ⁻¹	grama por quilograma
mg.l ⁻¹	miligrama por litro
mg.dm ⁻³	miligrama por decímetro cubico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVOS.....	16
1.1.1. Objetivo geral	16
1.1.2. Objetivos específicos	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1. ATIVIDADE BIOLÓGICA DO SOLO.....	14
2.2. INOCULANTE DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE NUTRIENTES E SEUS MECANISMOS EM BENEFÍCIOS AS PLANTAS.....	16
2.3. CICLO BIOGEOQUÍMICOS DOS NUTRIENTES.....	18
2.4. ROCHAGEM.....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	27
3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DA REGIÃO.....	27
3.3. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO ANTES DE APLICAÇÃO DE REMINERALIZADORES.....	28
3.4. PREPARAÇÃO INICIAL DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS.....	29
3.5. CARACTERÍSTICAS DOS REMINERALIZADORES E BACTÉRIAS.....	30
3.6. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	32
3.7. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	35
3.8. PARÂMETROS AVALIADOS.....	36
3.8.1. Variáveis de crescimento da planta	36
3.8.2. Colheita e análise química de tecido vegetal	36
3.8.3. Análises químicas do solo após colheita do milho na segunda etapa 37	
3.8.4. Análises Estatísticas	37
4. RESULTADOS E DISCUSÃO	38
4.1. EFEITO DAS FONTES DE FERTILIZANTES E BACTÉRIAS NAS CARACTERÍSTICAS DAS PLANTAS.....	38
4.2. TEORES DE MACRO E MICRONUTRIENTES NA MATÉRIA SECA DO MILHO	40
4.3. EFEITO DAS FONTES DE FERTILIZANTES E BIOMAPHOS NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO	44
4.3.1 Influência dos pós de rocha e bactérias nos valores de pH	44
4.3.2 Macro e micronutrientes no solo	46
5. CONCLUSÕES	49

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
---	-----------

1. INTRODUÇÃO

A explosão demográfica global ocasiona grandes consequências ao mecanismo crescente da industrialização mundial e isto levou à intensificação da utilização dos recursos naturais e à produção diferenciada de resíduos ou rejeitos prejudiciais às condições ambientais e à sobrevivência dos seres vivos do planeta. A artificialização do espaço, a mineração e a extração de certos tipos de minerais aumentaram significativamente nas últimas décadas, a fim de abastecer a indústria mundial de matérias-primas.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2012) e da Organização para a Alimentação e Agricultura (FAO, 2022), a população mundial atingirá a marca de 9 a 9.5 bilhões de pessoas até 2050 e isso irá requerer um aumento de cerca de 60% na produção global de alimentos. Este aumento vertiginoso da população poderá levar a uma utilização insustentável do solo, por meio do uso em excesso de corretivos e fertilizantes sintéticos, como fontes de macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) ao desequilíbrio na qualidade do solo, podendo causar um declínio na capacidade produtiva, por isso será necessário encontrar meios mais eficientes e sustentáveis de exploração dos recursos naturais (SAATH; FACHINELLO, 2018).

No Brasil, diversos rejeitos da mineração e de outras atividades industriais são utilizados como fontes de nutrientes na agricultura, com benefícios tanto ecológicos como econômicos. Entre eles, destacam-se: pós de rochas, resíduos de destilação, resíduos de explorações avícolas, bagaço e cinzas de cana de açúcar, compostos orgânicos em suas várias origens e composições, as quais, de acordo com alguns estudos, têm benefícios agroecológicos interessantes. Segundo a Lei 12.890/2013 os pós de rochas são definidos como uma categoria de insumos destinados à agricultura, sendo materiais de origem mineral que sofreram redução de tamanho apenas por processos físicos/mecânicos e que alteram a fertilidade do solo por ser fonte de nutrientes às plantas, bem como a melhoria das propriedades físico-químicas e da atividade biológica dos solos (MAPA, 2016; ASSIS *et al.*, 2013; THEODORO; LEONARDOS, 2011).

Esses remineralizantes são resultantes, principalmente, das rochas ígneas vulcânicas, dentre as quais o basalto e o calcário são mais comuns por suas composições químicas, principalmente, óxidos de silício e alumínio, além de óxidos de ferro, manganês, magnésio, sódio, potássio e cálcio (TURNER; VERHOOGEN,

1960). Segundo Leonardos *et al.* (1987) a baixa solubilidade das rochas faz delas uma importante ferramenta para a nutrição de plantas ao longo do tempo, principalmente para áreas com problemas de salinidade, acidez e nos solos, rapidamente lixiviados.

Esses fertilizantes naturais de origem mineral têm grande potencial para aumentar a fertilidade do solo a médio e longo prazo, contribuindo na construção de um solo mais rico e equilibrado e diminui consideravelmente os problemas para o ambiente. Assim, foram desenvolvidos vários trabalhos para promover os remineralizantes como fonte de nutrientes e corretivos de solos, principalmente como fornecedores de K e P. A liberação lenta desses remineralizadores poderia ser compensado, mediante a utilização conjunta de agentes biológicos, capazes de utilizar toda a maquinaria química e enzimática para solubilizar os minerais (MAPA, 2016; LOPES; CARLOS DIOGO, 2014; PÁDUA, 2012).

Os agentes biológicos possuem papel importante na solubilização dos minerais presentes nos pós de rochas, atuando pela produção de compostos de sua atividade metabólica, ácidos orgânicos, que podem acelerar a solubilização dos minerais (SATTAR *et al.*, 2019). Muitas pesquisas estão expondo que a utilização de inoculantes solubilizadores de fosfato estão aumentando o P disponível para absorção de plantas. A Embrapa desenvolveu pesquisas e demonstrou que a inoculação do milho e sorgo com o BiomaPhos®, ®, inoculante contendo as bactérias *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* solubilizadoras de fosfato, reduziu o consumo de fertilizantes fosfatados e promoveu ganhos na produtividade (OLIVEIRA; al, 2020; IRSHAD *et al.*, 2012; OWEN *et al.*, 2015).

Desse modo, considerando a existência de importantes reservas de rochas com potencial para utilização como remineralizadores de solo na região do Nordeste e, a baixa solubilidade desses materiais, após sua aplicação ao solo, o presente trabalho objetivou avaliar a eficiência do uso agrônômico de pós de rochas, bem como o emprego de bactérias solubilizadoras de nutrientes (BiomaPhos), na liberação de nutrientes no solo para a cultura do milho.

1.1.OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Avaliar a eficiência do uso agronômico de pós de rochas associado a bactérias (BiomaPhos) na liberação de nutrientes no solo para a cultura do milho.

1.1.2. Objetivos específicos

- Analisar o efeito dos pós de rochas nos teores de nutrientes no solo sessenta e cinco dias após aplicação;
- Verificar o efeito do BiomaPhos no incremento da liberação de nutrientes dos pós de rocha no crescimento inicial do milho híbrido AG 1051 nas duas etapas do ciclo vegetativo, considerando trinta dias (30 dias) e, no solo (65 dias) sessenta e cinco dias, após aplicação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ATIVIDADE BIOLÓGICA DO SOLO

A maioria das transformações de interesse agrônômico no solo é de origem bioquímica. Seu progresso é condicionado pela presença de seres vivos e por suas enzimas. Essas reações também estão envolvidas nos processos de formação do solo (pedogênese) e nutrição das plantas (ALVES *et al.*, 2011). Segundo ALVES *et al.* (2011) um solo só existe quando organismos vivos e matéria orgânica se juntam aos minerais resultantes da decomposição da rocha e contribuem ativamente para os processos de alteração das rochas, formação de agregados, migrações, ou seja, para a pedogênese.

O funcionamento geral dos solos, bem como algumas de suas propriedades agrônômicas, estão ligados à atividade de vários seres que contêm e às variáveis climáticas. É, portanto, inteiramente legítimo, principalmente na agricultura biológica, procurar usar as medidas biológicas para melhor conhecer e gerir os solos numa perspectiva agrônômica, uma vez que a formação do solo (pedogênese) e a nutrição das plantas estão condicionadas por reações de origem física e bioquímica, incluindo variáveis climáticas ((ANDERSON; DOMSCH, 1978; CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

O conhecimento da atividade biológica de um solo permite, portanto, abordar a dinâmica de evolução do solo e as capacidades de troca entre solo e planta (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). A heterogeneidade e descontinuidade da estrutura do solo permite a criação de micro habitats, que variam com as características físico-químicas e a disponibilidade de nutrientes do solo no tempo e no espaço. Geralmente, os solos contêm muitos seres vivos que são comumente estudados separadamente, dando origem aos grupos chamados fauna edáfica. Esses diferentes grupos são classificados de acordo com seu tamanho em macrofauna (organismos maiores), mesofauna (de tamanho intermediário) e microfauna do solo (organismos menores), cujas atividades são intimamente ligadas ao seu funcionamento (ARAÚJO NETO *et al.*, 2014; CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

No entanto, os microrganismos, longe de ser distribuídos uniformemente no solo, formam uma espécie de película contínua em torno das raízes menores (a

rizosfera). É nesse nível que ocorrem as trocas entre a matéria orgânica e mineral do solo e a planta. De fato, os diferentes componentes da fauna do solo têm funções importantes no funcionamento do solo e das plantas. Dentre essas múltiplas funções, destacam-se a degradação inicial de componentes orgânicos (incorporação e trituração), a fixação biológica de nitrogênio e a formação de micorrizas, o combate biológico a pragas pela produção de compostos com atividade antimicrobiana e participam da formação e estruturação do solo (BARTZ *et al.*, 2013; CARDOSO; ANDREOTE, 2016).

Apesar das múltiplas funções da fauna do solo, um conjunto de fatores pode influenciar as atividades da diversidade microbiana do solo, podendo ser de natureza abiótica ou biótica. Dentre os fatores, destacam-se respectivamente: atmosfera, temperatura, água, a vegetação, o pH e propriedades físico-químicas do solo, potencial redox, potencial nutricional; o patrimônio genético microbiano, as interações entre microrganismos (CARDOSO; ANDROTE, 2016; AN DE WERF; VERSTRAETE, 1987; XUE-MEI *et al.*, 2007).

Para Madigan *et al.* (2010), o fator climático é o elemento determinante das atividades biológicas do solo, principalmente a temperatura, a presença e concentração de oxigênio no solo. Além disso, Boetius *et al.* (2019) afirmou que a porcentagem, composição e disponibilidade de constituintes atmosféricos definem os tipos e concentração da fauna do solo, e alertar a humanidade sobre as ligações entre microrganismos e as alterações climáticas, pois apenas procariotos podem sobreviver na ausência total de oxigênio e em temperaturas acima 60°C.

MOREIRA; SIQUEIRA (2009) concluíram que a interação entre fatores abióticos e bióticos influencia diretamente a ecologia do solo, a atividade microbiana e a dinâmica populacional. O conjunto da população de microrganismos do solo interage entre si e com as plantas, o que segundo vários pesquisadores pode ser negativo ou positivo. De fato, a simbiose ou mutualismo e comensalismo (benefício unilateral) são as interações positivas mais conhecidas. No caso das interações simbióticas, os microrganismos, principalmente bactérias e fungos, interagem mutuamente (benefícios recíprocos) com as plantas na produção de nutrientes (FORTIN; PLENCHETTE, 2018).

Portanto, nas relações negativas (antagonismo, predação, parasitismo e competição), um organismo pode produzir uma substância para acidificar o solo e inibir o crescimento de outros organismos ou utilizar outro organismo como alimento

e pode até desenvolver uma espécie de competitividade por um nutriente presente no ambiente (GOI; SOUZA, 2006; CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Segundo Araújo Neto (2014), é imperativo conhecer bem a dinâmica ou o funcionamento dos microrganismos do solo e as interações (positivas ou negativas) de cada categoria antes de facilitar sua multiplicação ou a prática de inoculação no solo cultivável.

2.2. INOCULANTE DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE NUTRIENTES E SEUS MECANISMOS EM BENEFÍCIOS AS PLANTAS.

O meio mineral fornece às plantas um número de elementos essenciais para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, alguns em altas doses (macronutrientes), outros em quantidades menores e às vezes mínimas (micronutrientes). Esses elementos são retirados do solo pelas raízes na forma de ânions ou cátions, presentes na solução ou adsorvidos nas partículas, principalmente na fração coloidal (ALTOMARE et al., 1999; PRODHAN et al., 2019).

A disponibilidade de nutrientes às plantas é influenciada pelas propriedades biológicas, físico-químicas e o pH do solo, uma das propriedades químicas mais importantes nas determinações da disponibilidade de nutrientes para as plantas. (KIRKBY; RÖMHELD, 2007; HIRATA; FILHO, 2011). Esses elementos são de importância para a produtividade esperada tanto do ponto de vista quantitativo quanto qualitativo e devem ter um certo grau de solubilidade capaz de fornecer às plantas os nutrientes necessários ao longo de seu ciclo fenológico (JOCHNER et al., 2013; ZOBIOLE et al., 2010).

Num determinado solo, e dependendo da vegetação que carrega, a reserva de íons trocáveis na porção de solo explorada pelo sistema radicular pode ser para alguns elementos muito superior às necessidades e para outros, limitante. Existe, portanto, para este último a necessidade de renovação dos íons absorvíveis das outras formas presentes. Os microrganismos estão envolvidos nesta renovação principalmente através de suas atividades de mineralização da matéria orgânica, que trazem de volta na forma mineral depois de um tempo mais ou menos longo a maioria dos elementos biogênicos incluídos na biomassa (SOUZA et al., 2017).

A aplicação de microrganismos no solo tem aumentado devido a um importante papel na solubilização de nutrientes para as plantas, principalmente as bactérias solubilizadoras de fosforo. Do ponto de vista biológico, o solo é constituído por um ecossistema diversificado no qual as raízes de plantas e microrganismos competem

fortemente por nutrientes minerais. Apesar dessa competição, raízes e microrganismos são importantes componentes do sistema solo-planta, onde estão envolvidos em uma rede de interações que afetam o desenvolvimento das culturas. A relevância dessa biota para o ecossistema é redundância, pois suas funções vão desde a preservação da água até o sequestro de substâncias tóxicas, com repercussões no meio ambiente e nas lavouras. Os microrganismos participam dos ciclos biogeoquímicos do carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre, e contribuem para os processos da cadeia trófica intrínsecos à fertilidade do solo e à produtividade das culturas, o que explica a relação existente entre os microrganismos e a qualidade do ambiente (SILVEIRA; FREITAS, 2007; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Entre as populações microbianas do rizomicrobioma, as chamadas bactérias promotoras de crescimento vegetal estão amplamente representadas. Essas populações bacterianas formam uma simbiose associativa e devem ser altamente competitivas para colonizar a zona radicular. Uma vez estabelecida a colonização, as bactérias podem estimular o crescimento das plantas através de vários mecanismos. Em particular, podemos distinguir mecanismos indiretos, como a produção de fito hormônios ou reguladores de crescimento ou a capacidade das bactérias de modificar o hormonal da planta. Todas essas propriedades acabam levando a um aumento no crescimento das raízes e, portanto, a uma melhor exploração do solo pelas raízes e uma melhor produtividade (BLANCO-CANQUI, 2019; BORGHI et al., 2007).

Os inoculantes de bactérias solubilizadoras de nutrientes geralmente são aplicados diretamente no solo, na forma líquida ou granulada, ou podem ser tratados nas sementes antes do plantio (caso do BiomaPhos). Ao melhorar a disponibilidade de nutrientes para as plantas, espera-se que o uso desses inoculantes resulte em plantas mais saudáveis, maior crescimento e potencialmente maiores rendimentos de culturas (OLIVEIRA-PAIVA *et al.*, 2020; EMBRAPA, 2010).

Plantas de interesse agrônomo formam exclusivamente simbiose com bactérias e fungos endomicorrízicos à arbusculares pertencentes à divisão Glomeromycota. As hifas dos fungos endomicorrízicos que emanam da raiz contribuem fortemente para aumentar o volume da rizosfera que pode então ser designada pelo termo "micorrizosfera", aumentando assim a captação de recursos inacessíveis aos não enraizados raízes-micorrizas, isso é particularmente importante para nutrientes pouco móveis como P (HINSINGER et al., 2001; TARDIEUX *et al.*, 2014).

2.3. CICLO BIOGEOQUÍMICOS DOS NUTRIENTES

As trocas de nutrientes dentro de um ecossistema são de importância capital e podem ser materializadas para entender nutritivamente o funcionamento dos nutrientes dentro do ecossistema terrestre. A natureza cíclica desse funcionamento é conhecida sob o nome de ciclo biogeoquímico (ROSCO, 2003). De acordo com Silva (2017), o ciclo biogeoquímico representa a circulação permanente de elementos minerais entre os compartimentos do ecossistema, as plantas e os horizontes do solo prospectados pelas raízes.

Os elementos retirados do solo são utilizados para produzir a biomassa anual e perene. Parte desses elementos é fixada permanentemente (imobilização), outra é devolvida ao solo (lixo), uma parte significativa das necessidades das populações provida da transferência interna direta de órgãos envelhecidos para órgãos em crescimento. Este ciclo tem ligações com o exterior que são as contribuições atmosféricas e elementos produzidos pela alteração dos minerais, as perdas por drenagem fora da zona radicular, erosão e perdas gasosas (perdas de N por desnitrificação, de CO₂) (BRUSSAARD, 2006; SILVA, 2017).

Switzer; Nelson (1972) diferenciaram o ciclo biológico, que diz respeito à circulação interna dos elementos no ecossistema, do ciclo biogeoquímico que considera a abertura deste ciclo para o exterior por insumos externos, incluindo perdas atmosféricas e de drenagem na zona de enraizamento. A circulação de energia e nutrientes dentro do ecossistema e seu caráter cíclico começa com o impacto da energia solar, que provoca o funcionamento do sistema via fotossíntese das plantas (ULRICH, 1973).

A energia e os nutrientes circulam nos diferentes compartimentos (plantas, herbívoros, carnívoros) e depois são liberados por meio de reações de degradação novamente na forma mineral no ecossistema onde estão novamente disponíveis. Durante essas reações e diretamente pelos organismos, a energia também é devolvida ao sistema, principalmente na forma de calor e movimento. Esses ciclos se materializam na forma de reservatórios e transferências entre esses reservatórios (JORDAN, 1985; POGGIANI, 1981).

No entanto, o mesmo elemento dentro desses ciclos pode aparecer em diferentes formas químicas e mesmo físicas. Os primeiros elementos desses ciclos são de oxigênio e da água, ainda que não seja exatamente um elemento, mas um

composto essencial que participa dos ciclos fundamentais do mundo vivo (POGGIANI, 1981). Da mesma forma, há um grande interesse nos ciclos dos nutrientes essenciais para o funcionamento das plantas. Esses elementos são classificados pelos fisiologistas vegetais em macro e micronutrientes, de acordo com as quantidades exigidas pelas plantas (POGGIANI, 1981; PEREIRA, 1978; LEKHA; GUPTA, 1989).

Por suas múltiplas importâncias agrônômicas e participação na poluição atmosférica, atenção especial é dada aos ciclos de nitrogênio, carbono, enxofre e fósforo. Hoje, o nitrogênio (N) é um nutriente essencial requerido por todos os organismos vivos e, frequentemente, limita a produção primária em ecossistemas aquáticos e terrestres. Constitui um poluente na forma de nitratos (NO_3) que está ligada às práticas agrícolas intensivas e indústria que levam a adições significativas de matéria orgânica à superfície dos campos. Esse material é degradado e libera muito nitrogênio na forma de amônia (NH_4OH), que é então transformada em nitratos (VIEIRA, 2017; AGUILERA *et al.*, 2013).

O ciclo do nitrogênio é interessante, porque os compostos de nitrogênio desempenham um papel importante na produção vegetal, no aquecimento global, na poluição do ar, nas chuvas ácidas e na destruição do ozônio estratosférico (VIEIRA, 2017). A reciclagem ocorre tanto na terra quanto no mar. Ao contrário do ciclo do carbono, o nitrogênio atmosférico N_2 não pode ser usado diretamente pelas plantas, pois seus dois átomos estão fortemente ligados por uma ligação tripla. Seu uso passa por três etapas antes de ser utilizado pelas plantas (AKIYAMA, 2013).

A primeira etapa diz respeito à fixação biológica de nitrogênio, realizada por cianobactérias e algumas bactérias de vida livre em simbiose com plantas (entre outras, leguminosas) ou por nitrificação global (KNOLL, 2008; SCIVITTARO *et al.*, 2022).

A segunda etapa diz respeito à nitrificação, que é uma oxidação enzimática por bactérias do solo e da água. A nitrificação transforma os produtos da fixação (NH_4^+ , NH_3) em compostos nitrosos ou nítricos (NO_2^- e NO_3^-). É uma reação de oxidação que ocorre por catálise enzimática ligada a bactérias no solo e na água (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; WONG *et al.*, 2008).

A terceira etapa está ligada à desnitrificação. Nesta fase, o nitrogênio retorna à atmosfera em sua forma molecular N_2 , tendo como produto secundário o CO_2 e o óxido de nitrogênio N_2O , um gás a efeito de estufa que contribui para a destruição da camada de ozônio na estratosfera. Esta é uma reação de redução de NO_3^- por meio

de bactérias que transformam matéria orgânica (BARDON *et al.*, 2014; BEHRENDT *et al.*, 2010; CAYUELA *et al.*, 2013).

No entanto, o ciclo do carbono está diretamente ligado ao movimento do carbono em suas diversas formas, entre a superfície da Terra, seu interior e a atmosfera (SOUZA *et al.*, 2012). Os principais mecanismos de troca de carbono são fotossíntese, respiração e oxidação, em que ocorre uma transferência entre os organismos vivos, a atmosfera, a terra e a água. Ao longo de milhões de anos, o ciclo do carbono concentra grandes quantidades de carbono no leito rochoso, principalmente na forma de calcário, e em combustíveis fósseis, o ciclo do carbono representa-se na forma de quatro reservatórios ou bacias interligadas: a atmosfera, a biosfera terrestre, os oceanos e os sedimentos. Esses reservatórios são fontes ou sumidouros de carbono (PEREIRA; ANDRADE, 2002; SOUZA *et al.*, 2012).

Ao contrário dos ciclos biogeoquímicos de nutrientes, o ciclo do fósforo é único porque tem muito pouco componente gasoso (fosfeto de hidrogênio) e, portanto, dificilmente afeta a atmosfera. O fósforo (P) é importante para a vida, pois desempenha um papel essencial na produção de ácidos nucleicos de RNA e DNA. Também é encontrado no esqueleto de organismos na forma de PO_4 . Praticamente, todo o fósforo no ambiente terrestre é derivado do intemperismo de fosfatos de cálcio de rochas superficiais, principalmente apatita (SANTOS, 2007).

Embora os solos contenham um grande volume de fósforo, apenas uma pequena parte é acessível aos organismos vivos. Este fósforo é transformado nos ecossistemas terrestres e aquáticos em fósforo orgânico pelo metabolismo dos seres vivos. Mesmo que o N e o K, o fósforo é um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas e transferido para os animais por meio de sua dieta. Depois de ser transferido para os animais, parte do fósforo é devolvido aos solos a partir de fezes de animais e matéria orgânica morta (QUEVEDO; PAGANINI, 2011; PANTANO *et al.*, 2016).

Os nutrientes circulam nos sistemas ecológicos e têm diversos efeitos, que podem ser intensificados por ações antrópicas. Isso resulta na perda de recursos naturais, empobrecendo os ecossistemas e levando ao desaparecimento de componentes bióticos e abióticos importantes para sua manutenção. Além disso, do ponto de vista pedológico, as plantas desempenham um papel considerável no funcionamento do solo, embora o seu papel seja, geralmente, menos importante do que o da rocha-mãe e das condições ambientais. Eles se opõem efetivamente a

erosão mecânica e química pela restituição significativa de carbono e cátions básicos à superfície do solo, que participam ativamente do ciclo biogeoquímico (SILVA, 2017).

2.4. ROCHAGEM

A rochagem é uma técnica de aplicação direta de rochas, previamente fragmentadas e esmagadas no solo como corretivo ou fertilizante inorgânico de origem mineral (LUZ *et al.*, 2010). Os minerais presentes nesses remineralizadores são extraídos por um processo físico-químico de alteração antes de serem absorvidos pela planta. No Brasil, a rochagem é uma tecnologia, fonte de nutrientes, desenvolvida e divulgada na década de 1950 pelos pesquisadores Josué Guimarães e Vlademir Ilchenjo no estado de Minas Gerais-MG. O pesquisador Othon Leonardos, da Universidade de Brasília, desenvolveu pesquisas com o objetivo de testar diferentes tipos de rochas, apresentando interessantes aspectos geoquímicos e agrônômicos (BRITO *et al.* 2019; COLA; SIMÃO, 2012; MARTINS; THEODORO, 2010).

Para reduzir a dependência de insumos altamente solúveis, principalmente, o NPK, o setor agromineral torna-se uma alternativa essencial, ajudando a reduzir o uso de produtos convencionais, além de atuar na reposição de nutrientes, recuperação e renovação do solo, protegem as águas subterrâneas contra determinados poluentes e minerais tóxicos, prejudiciais à saúde animal e humana. Tudo isso é de uma importância para a agricultura brasileira, que utiliza intensivamente fertilizantes e corretivos, água e tecnologia, os quais, quando combinados, causam grande degradação ambiental, reduzindo assim os níveis de fertilidade do solo (COLA; SIMÃO, 2012).

Entretanto, o Brasil contém excelente geodiversidade, podendo surgir diferentes tipos de rochas com características distintas em diferentes regiões do país, entre quais, o granito, o arenito e o basalto são mais utilizados na forma de pó por suas potencialidades nutritivas em K, P, Ca, Mg e micronutrientes, e capacidades de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos (TOSCANI; CAMPOS, 2017).

A fragmentação e a análise de laboratório de várias amostras apresentaram resultados diferentes. As rochas fonolito e granito apresentaram uma maior capacidade de liberação de potássio do que as rochas basaltos e a quantidade de nutriente solubilizada está diretamente ligada ao tempo de contato entre a solução e o pó de rocha e o agente biológico utilizado (PÁDUA, 2012; MARTINS, 2010).

De acordo com Brasil¹ (2016), os remineralizadores devem ter as próprias especificações e garantias do produto e foram estabelecidos os teores aceitáveis de macro e micronutrientes e igualmente os principais elementos tóxicos, que podem afetar a saúde ambiental. Essas especificações e tolerâncias são descritas na Instrução Normativa Nº 5, de 10 de março de 2016, baseando-se os teores mínimos de soma por bases (CaO, MgO, K₂O) e teores máximos de sílica livre (SiO₂), de fósforo (P₂O₅) e micronutrientes são obrigatórios para declaração do remineralizador.

Tabela 1 - Especificação e tolerância dos elementos características dos remineralizadores

Composição mineralógica	Especificação	limite
CaO, MgO, K ₂ O (soma por base)	≥ 9% em peso/peso	até 10%, sem ultrapassar 1.5 unidade.
K ₂ O (óxido de potássio)	≥ 1% em peso/peso	-----
Si ₂ O livre	≥ 25% em volume	de 20 % a mais
Teores dos elementos potencialmente tóxicos presentes no produto		
Arsênio (As)	teor ≤15 ppm	de 25 % a mais
Cádmio (Cd)	teor ≤10 ppm	
Mercúrio (Hg)	teor ≤0,1 ppm	
Chumbo (Pb)	teor ≤200 ppm	

Fonte: Brasil, 2016.

Devido à baixa solubilidade do pó de rocha, os nutrientes que contém serão disponibilizados para as plantas a médio e longo prazo. Essa lenta solubilidade pode ser compensada pelas práticas de adubação verde, uso de agentes biológicos e incorporação de matéria orgânica/húmus, por uma rápida disponibilidade de nutrientes pelas plantas cultivadas. Esse consórcio é mais favorável em clima quente, pois a atividade biológica no solo é favorável, o que pode acelerar a decomposição da matéria orgânica do solo (MO) e amplificar a degradação do húmus (LOPES; CARLOS DIOGO, 2014).

A proliferação de eventos climáticos, como fortes chuvas, diminui a velocidade da decomposição de MO, aumenta a erosão e provoca perda de terras aráveis valiosas. Se sua qualidade estiver deteriorada, o solo não pode mais cumprir suas

¹ BRASIL, 2016. Instrução normativa No 5. de 10 de março de 2016: Art.1o Estabelece as regras sobre definições. classificação. especificações e garantias. tolerâncias. registro. embalagem. rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas. destinados à agricultura.

funções de habitat natural das plantas e animais, sumidouros de carbono e nutrientes, reserva e filtro de água potável, bem como base da produção de alimentos. No entanto, o manejo inadequado da fertilidade do solo é um dos principais fatores responsáveis pela baixa produtividade da exploração agrícola (SANTOS, FANTINEL; WEILER, 2021; BRITO *et al.*, 2019).

Nos solos de regiões tropicais e subtropicais, como esses do Brasil, geralmente caracterizados por pH elevado ($\text{pH} < 5$), baixo teor de matéria orgânica, indisponibilidade de nutrientes como P e N lixiviados por erosão eólica e hídrica e toxicidade de Al, são cada vez mais improdutivos e degradados. Essa queda na produtividade agrícola faz sentir a necessidade de incorporar insumos inorgânicos de origem mineral, que podem corrigir a acidez do solo e fornecer os elementos essenciais para as necessidades nutricionais do solo para um normal desenvolvimento das culturas e sem comprometer a saúde ambiental (THEODORO *et al.* 2013; SAATH; FACHINELLO, 2018; SOUZA, 2013., SOUZA *et al.*, 2017a).

Além do objetivo principal desta técnica (rochagem), que visa reduzir o uso intensivo de insumos convencionais, o pó de rochas, quando submetidos à ação das intempéries, liberam nutrientes de forma gradual e contínua, aumento da CTC e pH do solo, estimulação da atividade biológica no solo, melhora a qualidade física e química dos solos, reduzir as perdas por lixiviação, promove a resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos e facilita o melhor crescimento das raízes das plantas (MELAMED *et al.*, 2007; CAMARGO *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2014).

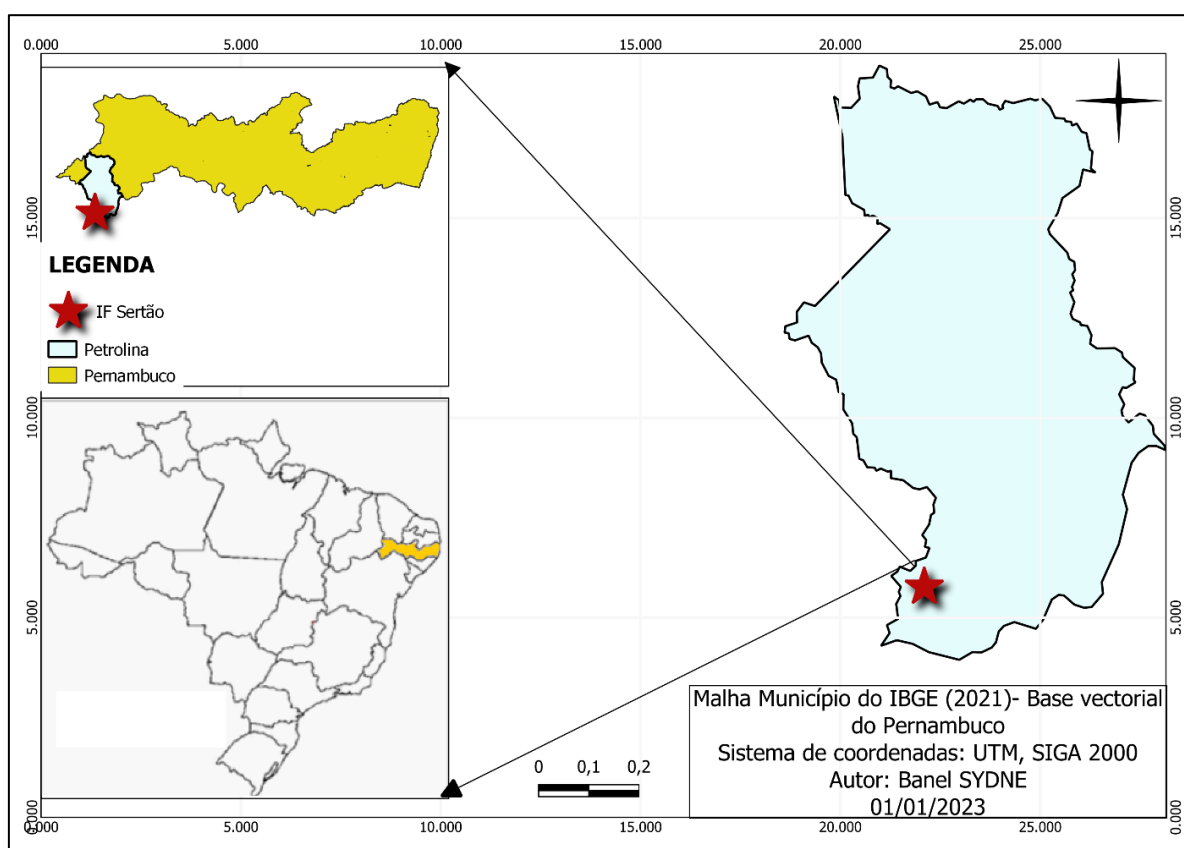
No entanto, o uso dessa tecnologia deve favorecer materiais locais de fácil acesso aos agricultores. Diferentemente dos fertilizantes solúveis, os agrominerais são considerados produtos ecológica e economicamente normais, oferecendo maior velocidade de crescimento e melhor fitossanidade, apresentando custo reduzido (curso de transporte), melhorando a fertilidade do solo (CAMARGO *et al.*, 2012). A disponibilidade de nutrientes da rocha destaca o tamanho do grão como a faceta determinante. Quando os materiais são mais finos (menos de 0,05 mm), os nutrientes são mais facilmente alterados e disponibilizados ao solo. No entanto, quando o tamanho do grão é mais grosso, esses materiais fornecem nutrientes de forma prolongada e lenta, o que é mais favorável para culturas com ciclo longo (THEODORO *et al.*, 2006; SOUSA *et al.*, 2017a).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sertão Pernambuco- IF Sertão-PE, Campus Petrolina zona rural, localizado na microrregião fisiográfica do Sertão de Pernambuco, nas coordenadas geográficas médias 09°33'S de latitude e 40°69' W de longitude e 365,5 m de altitude (google Earth pro, 2022).

Figura 1 - Localização do ponto experimental (IF-Sertão campus Petrolina Zona Rural).



Fonte: Autor

3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DA REGIÃO

Refere-se à classificação climática de Köppen, o clima do município de Petrolina-PE é de tipo BShw/Tropical semiárido (TEIXEIRA, 2010; JATOBÁ *et al.*, 2017). Na Figura 2 são apresentados os dados de chuva média, da umidade relativa do ar, a temperaturas máximas e mínimas mensal do município Petrolina, de janeiro

de 2011 a dezembro de 2021 (uma década), registradas pela estação meteorológica localizada no Laboratório de Meteorologia – LABMET do Campus Ciência Agrária (CCA).

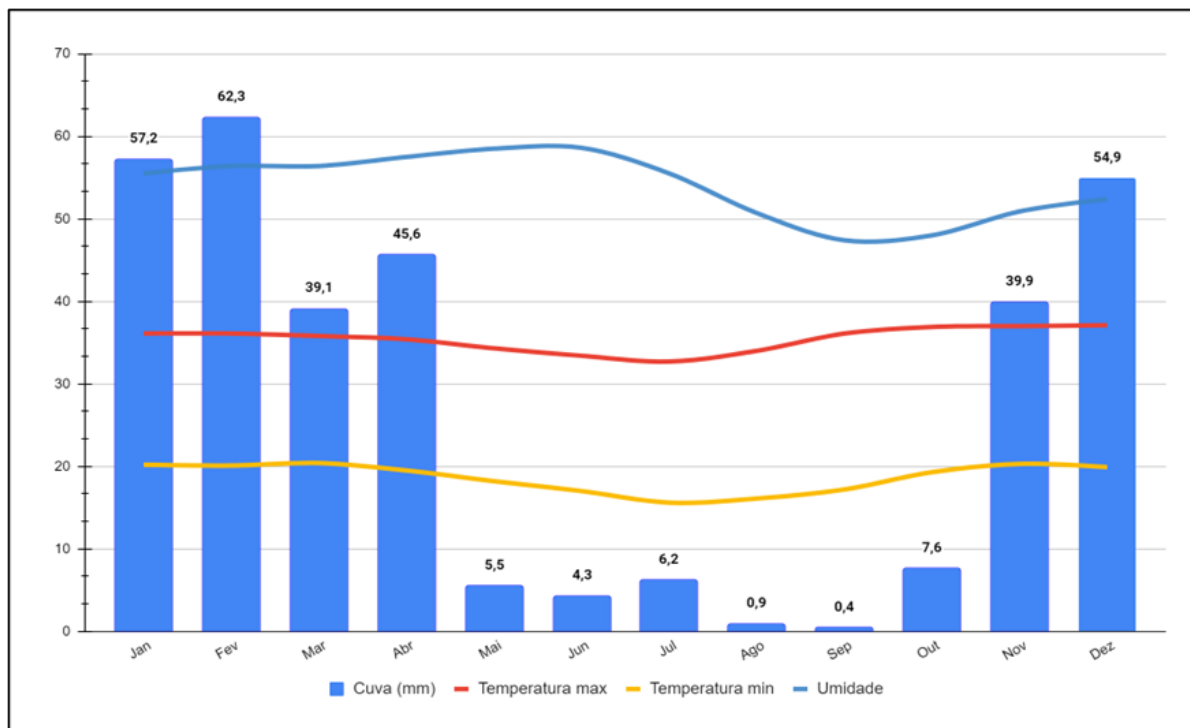


Figura 2 - Precipitação média mensal, umidade relativa do ar e temperaturas máximas e mínimas mensais nos anos 2011 a 2021.

3.3. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO ANTES DE APLICAÇÃO DE REMINERALIZADORES.

Conforme a nomenclatura do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, o solo coletado para a experimentação pertence à classe do latossolo amarelo (EMBRAPA, 2018). No primeiro momento foram coletados 5 (cinco) sacos de solos, de capacidade de cerca de 40 kg com picareta e pá no campo do IF- Sertão, a 650 m a leste do Campus (medida a partir do google Earth pro, 2022). A metodologia de análise usada é descrita no Manual de Métodos de Análise de Solo do Brasil (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Tabela 2 - Características físicas do latossolo amarelo utilizado no experimento

Parâmetros	Valores
Umidade residual (%)	1.69
Densidade global (kg.dm ⁻³)	1.39
Composição granulométrica (g.kg⁻¹)	
Areia	656.25
Argila	276.00
Silte	67.75
Classe textural	Franco argiloso-arenoso

Tabela 3 - Características químicas do solo experimental antes do início da pesquisa.

Macronutrientes								
pH _{água}	P _{mehlich-1}	K	Ca	Mg	H+Al ³⁺	S. B	C.T.C	V
	-----mg dm ⁻³ ----	----- cmol _c .dm ⁻³ -----			----- mmol _c dm ⁻³ -----			%
5.7	4.50	0.385	0.945	0.542	0.495	1.872	2.362	79
Micronutrientes								
	Na		Cu		Fe	Mn	Zn	
	-----mg.dm ⁻³ -----							
	0		0.211		0	4.06	0.034	

Soma de base: S B = Ca⁺² + Mg⁺² + Na⁺¹ + K⁺¹; capacidade de troca de cátions (CTC): CTC= SB + (H + Al); Saturação por base: V= SB/CTC.

3.4. PREPARAÇÃO INICIAL DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS

O preparo do solo foi iniciado com a escavação do solo, enchimento e transporte de sacos do campo do IF-Sertão no ponto experimental. As operações realizadas foram destorroamento do solo, enchimento de vasos de capacidade de quatro litros (4l), identificação dos vasos por tratamento, aplicação e homogeneização de remineralizantes ao solo na dosagem recomendada por os fornecedores (1 t.ha⁻¹), seja duas gramas por vaso (2g/vaso). Devido à baixa solubilidade dos remineralizadores, foi misturado 0.15 ml de BiomaPhos por cada 90 sementes, de

acordo com as recomendação do fabricante. A utilização desta fonte de microrganismos foi realizada a cada etapa por ocasião da sementeira do milho.



Figura 3 - Preparo dos vasos experimentais. (A) Mistura de solo e trituração de torrões; (B) Aplicação de remineralizadores; (C) Enchimento de vasos pré-identificados e (D) Classificação dos vasos por tratamentos.

3.5. CARACTERÍSTICAS DOS REMINERALIZADORES E BACTÉRIAS

Os remineralizadores utilizados foram o Foscal Pro ou Remineralizador Natural de Fosfato Reativo (ReNF-R), o Vulcano, o Tecnofos e o MG-25 (Finos de Magnesita Silicatada). De acordo com a descrição dos fornecedores, esses remineralizadores são fabricados seguindo o processo regulamentado pelo Ministério da Agricultura,

Pecuária e Abastecimento (MAPA). Os diferentes substratos e suas composições químicas, bem como sua procedência e as estirpes de bactérias utilizadas estão listadas nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Características químicas e procedência dos remineralizantes estudados

Características químicas e origem	Remineralizadores			
	FoscalPro	Vulcano	Tecnofos	MG-25
	g.kg ⁻¹ ; mg. kg ⁻¹			
P2O5	75 – 100	30	148	-----
CaO	100	42	8	30
MgO	10	30	-----	240
K2O	25	28	13	-----
SiO2	500	-----	308	45
MnO	2,5	-----	-----	-----
Enxofre	-----	-----	9	-----
SB	-----	100	-----	-----
pH	8,22	8	-----	-----
Procedência	IALMA FERTILIZANTES, instalada no município de Taipas do Tocantins	Grupo V Primeiro remineralizador da Bahia	Grupo SIQUEIRA, localizada no Sertão do Araripe,	Mg Óxidos Mineração Ltda, Bahia

SB: soma de base

Tabela 5 - Espécies de bactérias, procedência e descrição do BiomaPhos

Inoculante	Espécies de bactérias	Procedência	Descrições
BiomaPhos®	<i>B. subtilis</i>	Produzido por:	Fluido, densidade: 1,12 g.cm ⁻³ ,
	<i>B. megaterium</i>	Simbiose Industria, tecnologia da EMBRAPA	Registro no MAPA: PR 000497-9.000063

3.6. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O trabalho foi conduzido em duas etapas nas condições climáticas e de irrigação homogêneas.

Na etapa 1, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 7 x 2 com seis repetições. Os tratamentos de fertilização do solo incluídos foram: testemunha (T0), Vulcano (T1), FoscalPro (T2), MG-25 (T3), Tecnofos (T4), solução nutritiva 50% (T5) e solução nutritiva 100% (T6), combinados com dois tratamentos de inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato (BiomaPhos), inoculado e não inoculado, totalizando 84 vasos.

Considerando a baixa solubilização dos pós de rochas, foram utilizadas duas doses de soluções nutritivas, aquela solução usada na hidroponia do IF-Sertão, como elemento de referência, para poder comparar o potencial das rochas na primeira etapa. A solução nutritiva foi aplicada uma vez por semana a razão de, 250 ml para o tratamento T5 e 500 ml para o tratamento T6. Nas tabelas 6 e 7 são descritos os tratamentos, a composição e quantidades de nutrientes da solução nutritiva.

Na etapa 2, foi usado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 5 x 2 com seis repetições. Os tratamentos de fertilização do solo incluídos foram: testemunha (T0), Vulcano (T1), FoscalPro (T2), MG-25 (T3), Tecnofos (T4), combinados com dois tratamentos de inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato (BiomaPhos), inoculado e não inoculado, totalizando 60 vasos.

Em cada etapa, os vasos são mantidos sobre uma mesa com cerca de um metro (1m) de altura e ordenados por tratamento, seguindo o tipo de fertilizante usado.

Tabela 6 - Tratamentos utilizados na primeira e segunda etapa experimental

Tratamentos (sem e com BiomaPhos)		
Etapa 2	Testemunha (T0)	Etapa 1
	Vulcano (T1)	
	FoscalPro (T2)	
	MG-25 (T3)	
	Tecnofos (T4)	
Etapa 1	Solução nutritiva 50% (T5)	
	Solução nutritiva 100% (T6)	

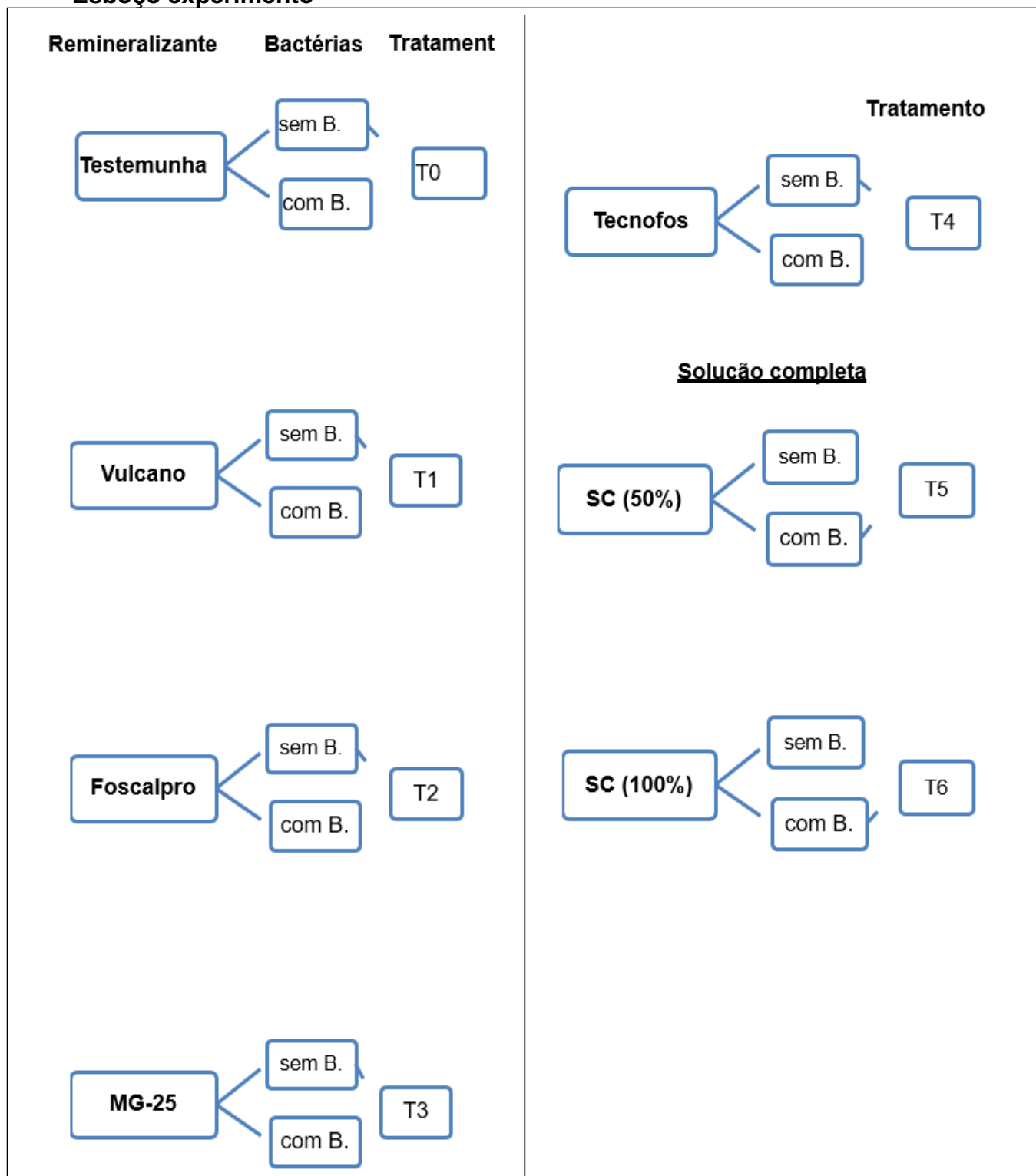
Tabela 7 - Composição da solução nutritiva utilizada na primeira etapa

Solução	Características químicas	Quantidade (g)	Solvente	Diluição
		Grama (g)	Litro (l)	
A	Sulfato de potássio	2666,4	20 l	12 ml/l
	Fosfato monoamino	1,490		
B	Nitrogênio de amônio	1313	20 l	12 ml/l
	N cálcio	4750		
	Cloreto de potássio	750		
C	Sulfato de Mg	1230	5 l	0,5 ml/l
	Sulfato de Mn	12		
	Sulfato de Zn	11,5		
	Sulfato de Cu	19		
	Ácido bórico	18,5		
	Molibdato de amônio	1,2		
D	Sulfato de ferro	112	5	0,5 ml/l
	EDTA	148,8		

Fonte: Hidroponia IF-Sertão

A figura 6 é um esboço experimental, que mostra a disposição dos tratamentos, em função dos remineralizantes associados ou não com BiomaPhos.

Esboço experimento



3.7. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido com a cultura do milho (*Zea mays L.*), com a variedade do milho híbrido AG-1051, em duas etapas com duração de 30 dias cada uma. Uma parte da semeadura em 04 de março a 04 de abril 2023 e em 05 de abril a 05 de maio de 2023.

A aplicação dos pós de rochas foi feita uma vez, antes a semeadura do milho na primeira etapa e a inoculação de bactérias solubilizadoras de nutrientes/fosforo (BiomaPhos) foi feita a cada semeadura (à semeadura na 1ª e 2ª etapa).

Essa cultivar do milho (variedade) é uma gramínea pertencente à família da Poaceae, com ciclo superprecoce (EMBRAPA, 2010). A densidade de plantação foi de três sementes por vaso, totalizando respectivamente, 252 e 180 sementes na primeira e segunda etapa. Para evitar competições para água e nutrientes, após estabelecimento das plântulas, aos dez dias da semeadura, fez-se o desbaste, deixando-se uma planta por vaso para medir parâmetros de crescimento e análise de matérias secas do milho.

Um dia após coleta do milho da primeira etapa, foi iniciada a segunda etapa com tratamento de sementes, aplicação do BiomaPhos seguinte à recomendação do fornecedor e a semeadura. Nessas duas etapas do experimento foram utilizados cerca de 5.5 kg de um latossolo amarelo ($d=1.39$) misturados e homogeneizado com pós de rochas no vaso de 4l de capacidade.

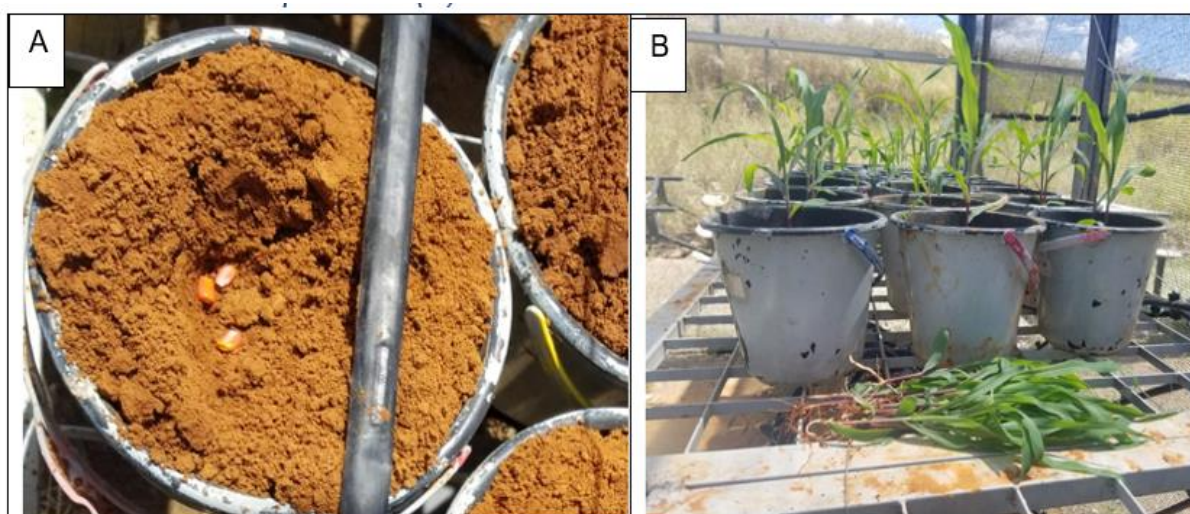




Figura 4 - Semeadura (A), visão geral do experimento após semeadura (B) e desbastamento de plântulas (C):

3.8. PARÂMETROS AVALIADOS

3.8.1. Variáveis de crescimento da planta

Nas duas etapas, as variáveis de crescimento: altura de plantas, diâmetro do colmo, número, largura e comprimento de folhas foram medidas aos 30 dias após o plantio, referindo-se ao ciclo vegetativo considerado. A altura do milho foi medida com um trena métrico em cm, desde o colo até a última folha. O diâmetro do caule foi determinado dividindo-se o perímetro por pi ($D = \frac{P}{\pi}$) usando a fita métrica, o número de folhas por contagem considerando as folhas com comprimento igual ou superior a 5 cm.

3.8.2. Colheita e análise química de tecido vegetal

Aos trinta dias da semeadura de cada etapa, foi realizada a colheita do milho. As plântulas coletadas foram armazenadas em sacos de papel Kraft identificados, a fim de evitar perdas por transpiração. Foram pesadas usando a balança analítica de 0.001g de precisão, lavadas e levadas em estufa de ventilação forçada à temperatura de 65°C por quatro dias, até atingirem peso constante.

Após secagem, foi determinada a massa seca da parte aérea (MSPA) e em seguida procedeu-se a moagem das amostras em moinhos, modelo de Willey para as

análises químicas de macro e micronutrientes realizada no Laboratório do solo do IF-Sertão – PE. A digestão das amostras foi feita pelo método de digestão ácida descrito por Teixeira *et al.* (2017), usando-se espectrofotômetro UV e de absorção atômica, fotometria de chama. 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, Cu, Zn, Fe e Mn foram utilizados para calcular os teores acumulados nas plantas.

3.8.3. Análises químicas do solo após colheita do milho na segunda etapa

Para verificar as possíveis alterações ocorridas durante o período experimental e calcular o suprimento total de nutrientes das plantas, foram determinadas as características químicas do solo antes da semeadura e depois colheita. As amostras do solo foram coletadas por vaso, secadas ao ar e peneiradas em peneira de malha de 2 mm para análises químicas, usando-se a metodologia de Teixeira *et al.* (2017). As análises realizadas são seguintes listadas: pH em água, fósforo, potássio e sódio disponíveis (Mehlich I, espectrofotômetro UV-660nm, fotômetro de chama), magnésio e cálcio (KCl 1,0M, espectrofotômetro de absorção atômica), ferro, manganês e zinco trocável (KCl 1.0 M, espectrofotômetro de absorção atômica com várias comprimento de onda).

3.8.4. Análises Estatísticas

Os dados dos atributos químicos do solo e da biomassa das plantas (crescimento e desenvolvimento da planta e teores de nutrientes da matéria seca) foram tratados e analisados, utilizando-se o software SISVAR versão 5.8.92 e Microsoft Excel. Para avaliação do efeito dos tratamentos, os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguindo o modelo de delineamento experimental inteiramente por casualidade (DIC). Quanto à análise de variância foi significativa, foi realizado o desdobramento das interações, usando o teste de Scott-Knott com nível 5% de probabilidade ($p < 0,05$) e os resultados obtidos foram apresentados e interpretados por meio de tabelas.

4. RESULTADOS E DISCUSÃO

4.1. EFEITO DAS FONTES DE FERTILIZANTES E BACTÉRIAS NAS CARACTERÍSTICAS DAS PLANTAS

Nas variáveis de crescimento estudadas, diâmetro do caule, altura de planta, número de folhas, largura e comprimento de folhas, verificaram-se que os tratamentos com adição de remineralizadores e solução nutritiva se diferem estatisticamente entre si para o diâmetro de caule e altura de planta (tabela 7) nas duas etapas, como também para largura de folhas na segunda etapa (tabelas 8).

A utilização de solução nutritiva nas proporções de 50% e 100%, para poder comparar o vigor do milho da primeira etapa com os tratamentos com pós de rochas, proporcionou valores de diâmetro de caule e altura de plantas significativamente superior em relação aos demais. Os tratamentos sem e com inoculação com Biomaphos não diferem significativamente entre si, mas apresentaram valores de caule e altura de plantas maiores nos tratamentos T2 e T1, seguida de T3 e T4 e o menor na testemunha (tabela 7).

Ao contrário da primeira etapa, houve diferença significativa entre os tratamentos com pós de rochas na segunda etapa, tanto no solo inoculado quanto não inoculado, mas ainda com valores de diâmetro, altura e largura de folhas maior no T2 (foscalpro) (tabela 9). Com base no observado, constatam-se que, quanto maior a adubação de pó de rocha, em relação à quantidade de nutrientes a serem incorporados, maior terá o rigor do milho a longo prazo. Brito *et al.* (2023) testaram o desenvolvimento inicial do milho em resposta à adubação complementar de rochagem. Observou-se que para o parâmetro de altura, quanto maior a dosagem, melhor o desenvolvimento inicial do milho. Motta *et al.* (1992), trabalhando com doses variadas de pó de basalto, observam tendência de crescimento na produção de matéria fresca e seca com aumento das doses a 7tha^{-1} .

A rochagem auxilia no desenvolvimento da cultura quanto à altura e quando se refere à produção de massa fresca e seca. É evidente que a adubação proporciona um ganho de crescimento superior a testemunha, mesmo que não significativa. A alocação de biomassa expressa que os tratamentos com foscalpro e vulcano indicaram um melhor equilíbrio nutricional quando refere-se ao comparativo de médias.

Tabela 8 - Diâmetro de caule(mm) e altura de planta (cm) do milho híbrido AG-1051: primeira etapa

BiomaPhos	Remineralizadores					Solução nutritiva	
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Diâmetro (mm)							
Sem	4,80 Da	5,88 Ca	6,14 Ca	5,60 Ca	5,50 Ca	7,03 Ba	8,84 Aa
Com	5,09 Ca	6,36 Ba	6,42 Ba	5,66 Ca	5,72 Ca	7,00 Ba	8,49 Aa
Altura (cm)							
Sem	21,81Ca	22,95Ca	22,91Ca	22,65Ca	19,88Ca	33,12Ba	37,46A
Com	21,25Da	23,30Da	26,05Ca	22,15Da	21,85Da	31,53Ba	36,55Aa

Letras maiúsculas iguais nas linhas e minúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si à 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott. CV (D. caule) =9.09%; CV (altura)=11.19%. T0 (Tesmunha), T1 (Vulcano), T2 (Foscalpro), T3 (MG-25), T4 (Tecnofos), T5 e T6 (solução nutritiva 50%, 100%).

Tabela 9 - Diâmetro de caule(mm), altura de planta (cm) e largura de folha (cm) do milho híbrido AG-1051: segunda etapa

BiomaPhos	Remineralizadores				
	T0	T1	T2	T3	T4
Diâmetro (mm)					
Sem	5,12 Ba	6,55 Aa	6,71 Aa	5,48 Ba	5,44 Ba
Com	5,41 Ba	6,62 Aa	6,78 Aa	5,76 Ba	5,82 Ba
Altura (cm)					
Sem	23,37Ca	27,33Ba	29,11Aa	27,30Ba	27,16Ba
Com	25,68Ba	27,68Aa	28,21Aa	26,38Aa	25,28Ba
Largura F (cm)					
Sem	1,90Ba	2,38 Aa	2,40Aa	2,13 Ba	2,300 Aa
Com	2,03Ba	2,48Aa	2,40 Aa	2,150 Ba	2,334 Aa

Letras maiúsculas iguais nas linhas e minúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si à 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott. CV (D. caule) =11.24%; CV (altura)=6.36%; CV (largura folha) =11.90%. T0 (Tesmunha), T1 (Vulcano), T2 (Foscalpro), T3 (MG-25) e T4 (Tecnofos).

4.2. TEORES DE MACRO E MICRONUTRIENTES NA MATÉRIA SECA DO MILHO

Com relação ao teor de nitrogênio na matéria seca do milho, houve diferença significativa entre a solução nutritiva e os demais tratamentos. O teor de N na matéria seca dos tratamentos com solução nutritiva foi cerca de dez vezes maior que a concentração nos tratamentos com rochas. No entanto, na segunda etapa, o teor de N foi igual estatisticamente nos tratamentos. Devem-se notar que, as plantas geralmente têm a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico, com a ajuda de bactérias simbióticas presentes no sistema radicular. Entretanto, a maioria das culturas de cereais, incluindo o milho (*zea mays L.*), não possui essa capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico de maneira significativa sem a adição de fertilizantes ou aditivos de nitrogênio (NUNES *et al.*, 2003), o que explica essa grande variação da concentração de nitrogênio entre a solução nutritiva e os tratamentos com pós de rochas.

Referem-se à Prezotti; Guarçoni (2013), os teores de N na matéria seca do milho híbrido AG-1051 os quais são considerados adequados para um bom desenvolvimento desta cultura nos tratamentos com solução nutritiva e claramente inferior nos demais. Essa tendência do N foi a mesma para os demais macronutrientes, quando comparados aos tratamentos da solução nutritiva com esses com pós de rochas, incluindo a testemunha.

Em relação aos teores de fósforo, tabelas 9 e 10, observam-se que, não houve diferença significativa na primeira etapa, mas os solos inoculados apresentaram teores de P superiores aos solos não inoculados. Contudo, na segunda etapa, os tratamentos T2, T1 e T4 inoculados proporcionaram valores de P significativamente superiores comparados, aos demais tratamentos. Apesar de os tratamentos T1 e T2 inoculados apresentaram níveis de P considerados adequados para o cultivo do milho (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013). Este resultado pode estar relacionado aos teores de P dessas rochas e à capacidade das bactérias da BiomaPhos, *B. megaterium* e *B. subtilis*, na solubilização do fosforo às plantas.

Quanto ao teor de potássio, a mesma tendência do P e do N foi observada para a primeira etapa, com concentração de P muito baixa em todos os tratamentos. No entanto, na segunda etapa, os tratamentos T1 e T2 apresentaram valores significativamente superiores aos demais, valores imediatamente inferiores ao valor considerado adequado para o cultivo do milho (1.7-3.5 dag.kg⁻¹) (PREZOTTI;

GUARÇONI, 2013). ALOVISI *et al.* (2021) trabalhava sobre o uso do pó de rocha basáltica na cultura da soja e observam-se teor de fósforo e potássio na faixa dos valores considerados adequados para a cultura da soja.

Tabela 10 - Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e cálcio na matéria seca do milho híbrido AG-1051: primeira etapa

Biomatéria	Remineralizadores					Solução nutritiva	
	To	T1	T2	T3	T4	T5	T6
N							
Sem	1,611Ca	1,680Ca	1,448Ca	1,711Ca	1,403Ca	11,02Ba	11,53Aa
Com	1,689Ca	1,568Ca	1,475Ca	1,294Ca	1,807Ca	10,32Bb	11,38Aa
P (g.kg⁻¹)							
Sem	0.123Ca	0.132Ca	0.123Ca	0.134Ca	0.123Ca	1.72Ba	2.172Aa
Com	0.138Ca	0.146Ca	0.145Ca	0.138Ca	0.140Ca	1.65 Ba	2.137Aa
K (g.kg⁻¹)							
Sem	1.300Ca	1.500Ca	1.567Ca	1.333Ca	1.433Ca	19.67Ba	21.61Ab
Com	1.333Ca	1.630Ca	1.633Ca	1.400 Ca	1.430Ca	18.07Ba	26.30Aa
Mg (g.kg⁻¹)							
Sem	0.128Da	0.132Da	0.128Da	0.137 Da	0.128Da	1.379Cb	1.800Aa
Com	0.128Ba	0.130Ba	0.125Ba	0.136 Ba	0.119Ba	1.540 Aa	1.496Ab
Ca (g.kg⁻¹)							
Sem	0.234Ca	0.268Ca	0.276Ca	0.272 Ca	0.244Ca	0.839Ba	1.312Aa
Com	0.228Ca	0.273Ca	0.274Ca	0.263 Ca	0.257Ca	0.821Ba	1.040Ab

Letras maiúsculas iguais nas linhas e minúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si à 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott. CV(N)=11.95%; CV(P)=21.07; CV(K)=20,25; CV(Ca)= 10.42; CV(Mg)=19.91%. T0 (Testemunha), T1 (Vulcano), T2 (Foscalpro), T3 (MG-25), T4 (Tecnofos), T5 e T6 (solução nutritiva 50%, 100%).

Observando os dados da primeira etapa, tabela 9, de modo geral, os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ parecem quase iguais estatisticamente. Para os tratamentos com pós de rochas e a testemunha, comparados com a solução nutritiva, a diferença foi marcante. Na segunda etapa, os tratamentos T2, T1 e T3, respectivamente, proporcionaram teores de Ca²⁺ superiores aos demais tratamentos. Ao contrário ao Ca²⁺, o tratamento T4 apresentou maior teor de magnésio (Mg²⁺). Mesmo que deficitária, os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ desses tratamentos listados acima foram próximos da concentração

considerada adequada para o crescimento e desenvolvimento do milho comparados com os demais (PLEZOTTI; GUARÇONI, 2013).

Segundo Zambolim *et al.* (2005), entre as funcionalidades mais interessantes do cálcio e magnésio, esses elementos são fundamentais, porque facilitam a absorção e a translocação de outros nutrientes (NPK) pelas plantas e responsáveis, respectivamente, a estabilidade e integridade das paredes celulares vegetais e formação da clorofila, pigmento responsável para a fotossíntese nas plantas. Diante dessas importâncias, a carência do Ca^{2+} e Mg^{2+} podem ser responsáveis por baixa crescimento e desenvolvimento verificados no período do cultivo.

Além disso, comparando o suprimento do milho nos solos inoculados aos não inoculados com BiomaPhos, observam-se que não houve diferença significativa entre os valores K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} . Em alguns casos, os valores desses nutrientes no solo foram, às vezes, maiores nos tratamentos não inoculado que no solo inoculado. Essa probabilidade foi provavelmente devida, porque as bactérias do BiomaPhos podem contribuir para a imobilização de potássio, cálcio e magnésio no solo, mas o seu papel neste processo é geralmente considerado não significativo em comparação com outras funções benéficas que possam ter, como a solubilização de fósforo, entre outros, BAHADUR (2019).

Tabela 11 - Teores de nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e cálcio na matéria seca do milho híbrido AG-1051: segunda etapa

BiomaPhos	Remineralizantes				
	T0	T1	T2	T3	T4
N (g.kg^{-1})					
Sem	3,276 Aa	2,702 Aa	2,516 Aa	2,711 Aa	2,609 Aa
Com	2,915 Aa	3,188 Aa	2,773 Aa	2,723 Aa	2,332 Aa
P (g.kg^{-1})					
Sem	0,100 Ca	1.480 Ab	1.598 Ab	0.131 Ca	1.340 Bb
Com	0.112 Ba	2.001 Aa	2.022 Aa	0.135 Ba	1.938 Aa
K (g.kg^{-1})					
Sem	0.700 Da	16.333Aa	14.667 Aa	11.333Ca	13.333 Ba
Com	0.633 Da	16.667Aa	15.616 Aa	11.00 Ba	12.667 Ba

BiomaPhos	Remineralizantes				
	T0	T1	T2	T3	T4
Mg (g.kg⁻¹)					
Sem	0.082 Da	0.542 Ba	0.338 Ca	1.324 Aa	0.097 Da
Com	0.079 Da	0.533 Ba	0.343 Ca	1.273 Ab	0.090 Da
Ca (g.kg⁻¹)					
Sem	0.191 Ea	1.184 Ba	1.650 Aa	0.933 Ca	0.320 Da
Com	0.158 Da	1.057 Ba	1.567 Aa	0.974 Ba	0.315 Ca

Letras maiúsculas iguais nas linhas e minúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si à 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott. CV(N)=18.21% ; CV(P)=10.33 ; CV(K)=14.13 ; CV(Ca)= 10.37; CV(Mg)=8.78%. T0 (Tesmunha), T1 (Vulcano), T2 (Foscalpro), T3 (MG-25), T4 (Tecnofos).

Os resultados relacionados aos teores de micronutrientes estudados (Fe, Zn, Cu e Mn) na matéria seca do milho híbrido AG-1051 para a primeira e segunda etapa, tabelas 11, 12 mostraram variação nas concentrações desses nutrientes e muito baixas nas raízes. Com relação ao manganês (Mn), observam-se, de modo geral, que os tratamentos com pós de rochas e solução nutritiva apresentaram diferença significativa entre si e proporcionaram valores de Mn considerados adequados para o cultivo do milho quanto na 1ª e que na segunda etapa, porém nas raízes, o teor de Mn foi muito baixa em todos os tratamentos (Prezotti e Guarçoni, 2013).

Em relação ao Zinco e cobre, verificam-se que não houve diferença significativa ($p < 0.05$) entre os teores destes elementos na matéria seca do cultivo do milho híbrido utilizado. Conclui-se que este teor não significativo em micronutriente observado foi o resultado do solo experimental muito pobre e a quase nulidade desses mesmos nos pós de rochas usados. Segundo Ávila *et al.* (2006), o vigor e a germinação das sementes de milho aumentam significativamente com a aplicação de fertilizantes contendo micronutrientes.

Tabela 12 - Teores de manganês, zinco e cobre na matéria seca do milho híbrido AG-1051: primeira etapa

BiomaPhos	Remineralizadores					Solução nutritiva	
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Mn (mg.kg⁻¹)							
Sem	41,25Aa	41,94Aa	39,89Aa	42,56Aa	36,34Ba	32,05Ba	33,46Ba

BiomaPhos	Remineralizadores					Solução nutritiva	
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Com	40,48Aa	35,76Aa	40,34Aa	42,29Aa	41,10Aa	32,08Aa	34,03Aa
Zn (mg.kg⁻¹)							
Sem	2,003Ba	4,500Ba	5,34 Ba	6,333 Ba	6,933Ba	10,82Aa	14,60Aa
Com	3,007Ba	4,633Ba	7,40 Ba	4,547Ba	5,147Ba	3,56Ba	18,80Aa
Cu ((mg.kg⁻¹)							
Sem	4,166Aa	2,766Aa	4,566Aa	3,333Aa	3,033Aa	4,966Aa	6,366Aa
Com	4,633Aa	5,366Ba	3,733Ba	4,533Ba	4,100Ba	4,467Ba	8,766Aa

Letras maiúsculas iguais nas linhas e minúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott. T0 (Tesmunha), T1 (Vulcano), T2 (Foscalpro), T3 (MG-25), T4 (Tecnofos), T5 e T6 (solução nutritiva 50%, 100%).

Tabela 13 - Teores de manganês e cobre na matéria seca do milho híbrido AG-1051: segunda etapa

BiomaPhos	Remineralizadores				
	T0	T1	T2	T3	T4
Mn (mg.kg⁻¹)					
Sem	28,970Aa	25,667Aa	32,667Aa	42,100Aa	35,16Aa7
Com	27,433Aa	23,033Aa	36,013Aa	38,033Aa	31,033Aa
Cu (mg.kg⁻¹)					
Sem	2,567Ba	5,767Aa	2,700Ba	2,233Ba	1,167Ba
Com	2,133Ba	4,133Aa	2,033Ba	1,467Ba	0,700Ba

Letras maiúsculas iguais nas linhas e minúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si à 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott. T0 (Tesmunha), T1 (Vulcano), T2 (Foscalpro), T3 (MG-25), T4 (Tecnofos).

4.3. EFEITO DAS FONTES DE FERTILIZANTES E BIOMAPHOS NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO

4.3.1 Influência dos pós de rocha e bactérias nos valores de pH

Os valores relacionados ao pH no solo encontram-se na tabela 12, quando se identifica diferença estatística significativa entre os tratamentos. Os solos com vulcano, FoscalPro, MG-25 e tecnofos apresentaram melhores valores de pH, com o valor máximo no tratamento com MG-25. Esses últimos tipos de pós de rocha, conhecidos por ser fontes de minerais alcalinos, como cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺),

potássio (K^+), em contato com a solução do solo ou passam por processos de decomposição sessenta e cinco (65) dias após aplicação, os quais liberam Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ no solo, o que favorece o aumento do pH desses tratamentos, comparando com os demais. O aumento do pH reduziu o teor de Al^{3+} no solo e aumentou a saturação por bases (Caires *et al.*, 2002). Os resultados encontrados nesse estudo mostraram que a aplicação de pó de rocha fonte de cálcio e magnésio aumenta o pH na faixa considerada adequada para o crescimento da maioria das culturas, conseqüentemente, maior concentração de nutrientes na superfície do solo.

Tabela 14 - Efeito dos remineralizantes sobre o pH do solo aos 65 dias após aplicação

BiomaPhos	Remineralizantes						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
pH em água							
Sem	5,63Ca	5,92Aa	5,93Aa	5,98Ab	5,82Ba	5,37Da	5,30Da
Com	5,47Cb	5,95Ba	5,97Ba	6,23Aa	5,88Ba	5,45Ca	5,30Da

Letras maiúsculas iguais nas linhas e minúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si à 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott. Cv (pH)= 1.62%. T0 (Testemunha), T1 (Vulcano), T2 (Foscalpro), T3 (MG-25), T4 (Tecnofos), T5 e T6 (solução nutritiva 50%, 100%).

Quando se compararam os solos com bactérias solubilizadoras aos não inoculados, não houve diferença significativa entre os tratamentos, com exceção do MG-25 e a testemunha, com respectivamente, maior e menor pH nos solos inoculados. Mesmo que não diferem estatisticamente, os tratamentos com vulcano, foscalpro e tecnofos inoculados apresentaram maior pH, em relação aos esses mesmos não inoculados.

Lembre-se de que as bactérias solubilizadoras de nutrientes presentes no BiomaPhos (*B. subtilis* e *B. megaterium*), conhecidas por promover a ciclagem de nutrientes, especialmente de P, e melhorar a disponibilidade de nutrientes para as plantas EMBRAPA (2021) interagem com os pós de rocha, vulcano, foscalPro, MG-25 e tecnofos, aumentam a eficiência da liberação de cálcio e magnésio, favorecendo o aumento do pH do solo desses tratamentos inoculados. Ao contrário, a interação entre BiomaPhos e pó de rocha, a produção de ácidos orgânicos da BiomaPhos no solo da testemunha e solubilizam o fósforo presente neste solo pobre em nutriente e reduzem seu pH.

4.3.2 Macro e micronutrientes no solo

Em relação aos nutrientes disponíveis no solo 65 dias após aplicação de remineralizantes e bactérias, observam-se diferenças significativas entre os tratamentos (tabelas 12 e 13).

Podemos observar que a concentração de fósforo varia entre os tratamentos (T0 a T6) e os valores de concentração de fósforo (P) são ligeiramente menores para os tratamentos inoculados em comparação com os tratamentos sem BiomaPhos. Os tratamentos T2 (foscalpro) e T4 (tecnofos) apresentaram a maior concentração de fósforo tanto para os casos sem bactérias, seguida da solução nutritiva, T1, T3 e o testemunha, que mostraram concentrações relativamente menores em ambos os casos (sem e com). Refere-se à concentração do fósforo na matéria seca do milho, no qual se observa maior teor de P nos tratamentos com bactérias e menor no solo. Isso sugere que a presença da BiomaPhos (*Bacillus subtilis* e *B. megaterium*) influenciou efetivamente a concentração de fósforo no solo.

Para o K^+ trocável houve aumento significativo ($p < 0,05$) no solo adubado com fertilizantes sintéticos (solução nutritiva) em relação aos outros tratamentos estudados. Contudo, existiram melhoras também para os pós de rochas Vulcano, Foscalpro e Tecnofos em relação ao solo do MG-25 e testemunha. Essa diferenciação foi devido à concentração do potássio das rochas que teve menor no MG-25 (T3). Segundo Costa *et al.* (2009), os teores de K^+ menores que 0,15 e maiores que 0,33 $cmol_c.dm^{-3}$ no solo são considerados baixos e alto, respectivamente, para o cultivo do milho.

No presente estudo foi adicionado 2.0 g por vaso de cada remineralizante, na dosagem de 1000. $kg\ ha^{-1}$. Observam-se resultados de K^+ considerado médio para o vulcano e foscalpro e isto justifica ainda a potencialidade desses remineralizantes a fornecer potássio às plantas, em relação aos demais.

Tabela 15 - Teores de fósforo, potássio, magnésio e cálcio no solo em função dos tratamentos

BiomaPhos	Remineralizadores					Solução nutritiva	
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
P(mg.dm⁻³)							
Sem	1,366Da	1,832Da	7,049Aa	2,045Da	5,598Ba	3,123Ca	3,070Cb
Com	1,340Da	1,692Da	6,463Ab	1,978Da	5,146Ba	3,455Ca	4,607Ca
K (cmolc.dm⁻³)							
Sem	0,081Ca	0,235Ba	0,235Ba	0,089Ca	0,137Ca	0,401Aa	0,406Aa
Com	0,081Ca	0,256Ba	0,231Ba	0,094Ca	0,145Ca	0,380Aa	0,405Aa
Mg(cmolc.dm⁻³)							
Sem	0,249Ba	0,513Ba	0,412Ba	1,520Aa	0,345Ba	0,397Ba	0,405Ba
Com	0,285Ba	0,525Ba	0,362Ba	1,720Aa	0,332Ba	0,376Ba	0,480Ba
Ca (cmolc.dm⁻³)							
Sem	0,438Da	1,708Ca	4,287Aa	3,640Ba	1,674Ca	0,686Da	1,046Da
Com	0,394Da	1,814Ba	3,752Aa	3,202Aa	1,614Ba	1,127Ba	1,337Ba

Letras maiúsculas iguais nas linhas e minúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si à 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott. CV (P)=18.53%; CV(K)=15.08%; CV(Mg)=61%; CV (Ca)= (27.49%. T0 (Tesmunha), T1 (Vulcano), T2 (Foscalpro), T3 (MG-25), T4 (Tecnofos), T5 e T6 (solução nutritiva 50%, 100%).

No que se refere aos teores de Mg²⁺ disponíveis no solo, o tratamento T3 (MG-25) apresentou valor significativamente superior (mais de 3 vezes) aos demais nos solos inoculado e não inoculado com BiomaPhos. Os valores de Mg²⁺ do solo nestes tratamentos, no entanto, são considerados os seguintes níveis: alto para o T3, médio para o T2 e baixos para os demais (PREZOTTI e GUARÇONI, 2013).

No entanto, os valores de Ca²⁺ trocáveis foram significativamente superiores nos tratamentos T2 (Foscalpro) e T3 (MG-25) do solo não inoculado, sendo o nível de Ca²⁺ nestes solos considerados alto no tratamento T2 não inoculado e médio no T2 inoculado e T3 (PREZOTTI e GUARÇONI, 2013).

Baseando-se nas múltiplas funções do Mg²⁺ e Ca²⁺ nas plantas, o cultivo do milho absorveu melhor Mg²⁺ e Ca²⁺ em pH próximo da neutralidade (6 a 7.2), o que acontece com os tratamentos T3 e T2 com pH mais elevados (HERNANDEZ, 1998).

Com relação à inoculação da BiomaPhos não houve diferença significativa entre os valores dos macronutrientes do solo inoculado ou não inoculado. Em alguns casos, os valores dos macronutrientes no solo não inoculado foram maiores que no solo inoculado (caso do fosforo trocável), provavelmente devido o suprimento do milho e da necessidade das bactérias em imobilizar nutrientes para o seu metabolismo, pois é, segundo Andreola e Fernandes (2007), a quantidade de nutrientes armazenados na biomassa microbiana pode ser significativa.

Tabela 16 - Teores de manganês, zinco, cobre e ferro no solo após colheita

BiomaPhos	Remineralizadores				Solução nutritiva		
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Zn (mg.dm⁻³)							
Sem	0,059Aa	0,038Aa	0,065Aa	0,055Aa	0,042Aa	0,036Aa	0,042Aa
Com	0,052Aa	0,070Aa	0,055Aa	0,044Aa	0,046Aa	0,020Aa	0,024Aa
Mn (mg.dm⁻³)							
Sem	0,916Aa	0,874aa	0,875Aa	0,865Aa	0,856Aa	0,846Aa	0,52Aa
Com	1,033aa	0,916Aa	0,865Aa	0,854Aa	0,852Aa	0,830Aa	0,834Aa
Cu (mg.dm⁻³)							
Sem	0,296Aa	0,269Ba	0,271Ba	0,267Ba	0,238Ca	0,207Ca	0,216Ca
Com	0,279Aa	0,265Aa	0,275	0,244Ba	0,237Ba	0,212Ca	0,189Ca

Letras maiúsculas iguais nas linhas e minúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente entre si à 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott. T0 (Tesmunha), T1 (Vulcano), T2 (Foscalpro), T3 (MG-25), T4 (Tecnofos), T5 e T6 (solução nutritiva 50%, 100%).

Em relação aos micronutrientes estudados, tabela 15, observa-se que a concentração desses nutrientes foi muito baixa e não há diferença estatisticamente a 5% da probabilidade.

Segundo Kirkby e Römheld (2007), a disponibilidade dos micronutrientes varia com a variação do pH do solo. Para o Oliveira e Dantas (1984), a faixa de concentrações de 4.0 a 20 ppm de zinco no solo é considerado suficiente para as culturas. Referem-se a esses estudos verdadeiros que o pH do solo aumenta, mas constata-se que o teor de micronutrientes nos remineralizantes utilizados e no solo experimental, principalmente o zinco, cobre e ferro foram claramente abaixo do intervalo 4 – 20 ppm, o que explica a deficiência de micronutriente na parte aérea da planta e no solo.

5. CONCLUSÕES

Verificaram-se potenciais benefícios para a agricultura conservacionista, mediante o uso de remineralizadores como fonte de fertilização do solo para o crescimento e desenvolvimento da cultura do milho.

A utilização dos remineralizantes FoscalPro, Vulcano, MG-25 e Tecnofos, como fontes alternativas de fertilizantes naturais derivados de pós de rochas, ofereceu um maior eficiência na segunda etapa do experimento, ou seja, sessenta e dois dias após aplicação dos pós de rochas. Tudo isso poderá reduzir a quantidade aplicada de fertilizantes químicos sintéticos, podendo contribuir para a diminuição da dependência do país da importação de fertilizantes e promovendo maior crescimento para a agricultura conservacionista.

No entanto, este estudo foi realizado em vaso e em condições de casa de vegetação, assim recomenda-se que os tratamentos sejam aplicados numa pesquisa de campo para verificar a real contribuição desses remineralizantes derivados de pós de rocha para um sistema agrícola sustentável e conservacionista. Por outro lado, tem a possibilidade que esses fertilizantes naturais de origem de pós de rochas atinjam níveis de crescimento e desenvolvimento inicial próximos aos apresentados pelos fertilizantes sintéticos com tempo relativamente maior entre a aplicação e o plantio, e igualmente por combinação possível desses mesmos (FoscalPro x Vulcano x Tecnofos, Tecnofos x MG-25), aplicando-se uma fonte de micronutrientes.

A combinação dos remineralizantes com o BiomaPhos®, constituído por bactérias solubilizadoras de fósforo com as cepas do gênero *Bacillus*, merece um estudo mais aprofundado no campo, para maior certeza da capacidade dessas bactérias em solubilizar os componentes químicos presentes nesses diferentes tipos de remineralizantes. Essa combinação poderia ser uma alternativa ainda mais viável para o sistema de produção pernambucana, pois possui potencial para atingir níveis de crescimento vegetativo próximos aos apresentados pelos fertilizantes químicos de origem sintética.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILERA, M. L. *et al.* Biochar and denitrification in soils: when, how much and why does biochar reduce N₂. **Emissions Scientific Reports**, v. 3, p. 1-7, 2013.
- AKIYAMA, H.; YAN, X.; YAGI, K. Nitrification, ammonia oxidizing communities, and N₂O and CH₄ fluxes in an imperfectly drained agricultural field fertilized with coated urea with and without dicyandiamide. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, n. 2, p. 213-223, 2013.
- ALOVISI, A. M. T. Uso do pó de rocha basáltica como fertilizante alternativo na cultura da soja. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, 12p. 2021.
- ALTOMARE, C. *et al.* Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growth-promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 65, n. 7, p. 2926–2933, 1999.
- ALVARES, I.; OLIVEIRA, V. L.; SILVA FILHO, G. N. Utilization of rocks and ectomycorrhizal fungi to promote growth of eucalypt. **Brasilian journal of Microbiology**, v.41, p. 676-684, 2010.
- ALVES, T. dos S. *et al.* Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.
- AN DE WERF, H.; VERSTRAETE, W. Estimation of active soil microbial biomass by mathematical analysis of respiration curves: development and verification of the model. **Soil Biol. Biochem**, v. 19, p. 253-260, 1987.
- ANDERSON, J. P. E; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 10, n. 3, p. 215- 221, 1978.
- ANDREOLA, G.; FERNANDEA, S. A. P. Microbiota do solo na agricultura orgânica e no manejo das culturas. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. (Eds). **Microbiota do solo e qualidade ambiental**, P. 21-37, 2007.
- ARAÚJO NETO, S. E. De. *et al.* Atividade biológica de solo sob cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho, mandioca e plantas de cobertura. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 4, p. 650-658, 2014.
- ASSIS, L. D. *et al.* Desafios em soberania e segurança alimentar: a utilização da rochagem como fonte alternativa sustentável. **Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem**. Poços de Caldas. Anais...2013.
- ÁVILA, M. R. *et al.* Qualidade fisiológica e produtividade das sementes de milho tratadas com micronutrientes e cultivadas no ciclo de safrinha. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 32, n. 3, p. 035-041, 2010.

- BAHADUR, I. *et al.* Potassium-solubilizing bacteria (KSB): a microbial tool for K-solubility, cycling, and availability to plants. In: KUMAR, A.; MEENA, V. (Eds.). **Plant growth promoting rhizobacteria for agricultural sustainability**. Singapore: Springer, 2019. p. 257- 265.
- BARDON, C. *et al.* Evidence for biological denitrification inhibitor (DDI) by plant secondary metabolites. **New Phytologist**, v. 204, n. 3, p. 620-630, 2014.
- BARTZ, M. L. C.; PASINI, A.; DROWN, G. G. Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. **Applied Soil Ecology**, v. 69, p. 39– 48, 2013.
- BEHRENDT, U. *et al.* Characterization of heterotrophic nitrifying bacteria with respiratory ammonification and denitrification activity. **Systematic Applied microbiology**, v. 33, n. 6, p. 328-336, 2010.
- BLANCO-CANQUI, H.; JASA, P. J. Do grass and legume cover crops improve soil properties in the long term. **Soil Science Society of America Journal**, v. 83, n. 4, p. 1181–1187, 2019.
- BOETIUS, A. P. W. *et al.* Microorganisms and climate change. *Nature Review Microbiology*. Scientists' warning to humanity: 2019. Pages 569-586. Disponível em: <https://www.nature.com>. Acesso em 20 de jan. de 2023.
- BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade de milho. espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 163–171, 2007.
- BRASIL, 2016. Instrução normativa No 5. de 10 de março de 2016. Brasília, Ministério da Agricultura.
- BRITO, R. S. *et al.* Desenvolvimento inicial do milho em resposta a adubação complementar de rochagem. **Scientific Electronic Archives**, v. 16, p. 71-76, 2023.
- BRITO, R. S. *et al.* Rochagem na agricultura: importância e vantagens para adubação suplementar. **South American Journal**, v. 6, n.1, p. 528-540, 2019.
- BRUSSAARD, L. *et al.* Biodiversidade do Solo em Ecossistemas Brasileiros. UFLA. 2006. Disponível em: <https://research.wur.nl/>. Acesso em 20 de jan. de 2023.
- CAIRES, E. F.; DARTH, G. ; GARDUIO, F. G.; KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo. crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, V. 26, p. 1011-1022, 2002.
- CAMARGO, C. K. *et al.* Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica e com pó de basalto no plantio. **Ciências Agrárias**, v. 33, p. 2985-2994, 2012.
- CARDOSO, E. J. D. N; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2ª ed. Piracicaba, São Paulo: ESALQ. 2016. p.9-47.

CAYUELA, E. *et al.* The potential of organic fertilizers and water management to reduce N₂O emissions in Mediterranean climate cropping systems: a review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 164, p. 32-52, 2013.

COLA, G. P. A.; SIMÃO, J. D. P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. **Rev. Verde**, v. 7, n. 4, p. 15-27, 2012.

CUNHA, J. F.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. **Informações Agrônomicas**, v. 130, n. 19, p. 1–11, 2010.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos *et al.* 5ª ed., **rev. e ampl.** – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

EMBRAPA. **Cultivo do milho. Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção.** 6ª edição Set./2010. 10p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br>. Acesso em 20 de jan. de 2023.

FAO, 2022. Des sols sains pour une population; une planète en bonne santé. **Conférence des ministres de l'agriculture. Forum mondial pour l'alimentation; l'agriculture.** 28 avril 2022. Disponível em: <https://www.fao.org>. Acesso em 20 de jan. de 2023.

FORTIN, J. A. C. Plenchette, Y. P. Les microorganismes qui nourrissent; protègent les plantes. **The Conversation**, 2018.

JOCHNER, S. *et al.* Nutrient status: a missing factor in phenological and pollen. **Research Journal of experimental botany**, v. 64, n. 7, p. 2081–2092, 2013.

GOI, S. R.; SOUZA, F. A. Diversidade de microrganismos do solo. **Floresta e Ambiente**, v.13, n. 2, p. 46 – 65, 2006.

HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review Philippe. **Plant and soil**, v. 237, n. 2, p. 173–195, 2001.

HIRATA, C. A. *et al.* Abordagem teórica das interações ambientais entre nutrição de plantas e microrganismos. **Revista Geografia**, v. 20, n. 3, p. 191-216, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censos agropecuários 1970. 1980. 1985. 1995 e 2006. 2015.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas>. Acesso em 20 de jan. de 2023.

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.

JATOBÁ, L.; SILVA, A. F.; GALVÍNIO, J. D. A dinâmica climática do semiárido em Petrolina – PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.10, n.01, p.136-149, 2017.

JORDAN, C. F. **Nutrient cycling in tropical forest ecosystems: principles and their application in management and conservation**. John Wiley; Sons. New York. 190p. 1985.

HERNANDEZ, R.J.; SILVEIRA, R.I. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.55, n.1, p.79-85, 1998.

KIRKBY, E. A.; Römheld, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **International Plant Nutrition Institute**, no 118. 24p. 2007.

KNOLL, A. H. Cyanobacteria and earth history. In: HERRERO. A.; FLORES. E. (Ed). *The Cyanobacteria. Molecular biology. genomics and evolution*. Norfolk: Caister Academic Press. 2008. p. 1-19.

LEKHA, A.; GUPTA, S.R. Decomposition of *Populus* and *Leucaena* leaf litter in an agroforestry system. **Environment Science and Forestry**, v. 1, n. 5, p.97- 108, 1989.

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.

LOPES, C.; Carlos Diogo, A. S. M. Rochagem na agricultura agroecológica. Cartilha agroecologia. **EDUNED**, v. 6, p11-25, 2014.

LUZ, A. D. *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.

Madigan, M. T.; Dunlap, P. V.; Clark, D. P. **Microbiologia de Brock**. 12ª Ed. 1160p. 2010. Disponível em: <https://fr.scribd.com/document>. Acesso em 20 de jan. de 2023.

MAPA. 2016; Instrução Normativa No 5. de 10 de março de 2016: **Brasil. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento**. p. 1–7.

MARTINS, E. S.; THEODORO, S. H. Congresso Brasileiro de Rochagem In: Congresso Brasileiro de Rochagem. 1. 2010: Brasília. **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem**. EMBRAPA Cerrados. Distrito Federal. 322p. 2010.

MARTINS, E. S. **Uso potencial de rochas regionais como fontes de nutrientes e condicionador do solo**. Jataí: EMBRAPA Cerrados. 2010.

MELAMED, R. *et al.* **Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais**. CETEM/MCT. Série Estudos e Documentos. 2007. 26p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras. 2009. 729 p.

MOTTA, A. C. V. *et al.* Efeito da aplicação do pó de basalto sobre algumas características químicas dos solos e crescimento de planta em um LE e LR. **Revista do Setor de Ciência Agrárias**, v. 12, n. 1, p.173-178, 1992.

NUNES, F. S. *et al.* Fixação de nitrogênio: estrutura, função e modelagem bioinorgânica das nitrogenases. **Quim. Nova**, v. 26, n. 6, p. 872-879, 2003.

OGINO, C. M. *et al.* Poder de compra, preço e consumo de fertilizantes minerais: uma análise para o centro-oeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, n. 1, p. 1-19, 2021.

OLIVEIRA, I. P.; Dantas, J. P. **Sintomas de deficiência nutricionais e recomendações de adubação para o caupi**. EMBRAPA – CNPAF, documentos 8. Goiânia. 23p, 1984.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A. *et al.* **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (Bacillus subtilis CNPMS B2084 e Bacillus megaterium CNPMS B119) nas culturas de milho e soja**. 2020.

OLIVEIRA, C. A. *et al.* **Recomendação agronômica de cepas de Bacillus subtilis (CNPMS B2084) e Bacillus megaterium (CNPMS B119) na cultura do milho**. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas. 2020. 18 p.

ONU. United nations department of economic and social affairs. The United Nations. Population Division. Population Estimates and Projections Section, p. 20 – 22, 2012.

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

PÁDUA, E. J. De. **Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas**. Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. Lavras. 2012. 91 p.

PANTANO, G. G. M.; GROSSELI, A. A.; MOZETO, S. F.: Sustentabilidade no uso do fósforo: uma questão de segurança hídrica e alimentar. **Quim. Nova**, v. 39, n. 6, p.732-740, 2016.

PEREIRA, J. M. S. Os ciclos biogeoquímicos nos ecossistemas florestais e agrícolas. Lisboa: **instituto Superior de Agronomia**. 1978.

PEREIRA, P. A. De P.; de ANDRADE, J. D. Compostos Carboxílicos Atmosféricos: Fontes. Reatividade. Níveis de Concentração. e Efeitos Toxicológicos. **Quim. Nova**, v.25, p. 1117-1131, 2002.

POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes e manutenção da produtividade da floresta plantada. In: PENEDO, W. R. (Ed). **Gaseificação da madeira e carvão vegetal**. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de MG./CETEC.1981.

PRODHAN, M. A.; FINNEGAN, P. M.; LAMDERS, H. How Does Evolution in Phosphorus-Impoverished Landscapes Impact Plant Nitrogen and Sulfur Assimilation Trends in Plant. **Science**, v. 24, n. 1, p. 69–82, 2019.

QUEVEDO, C. M. G; PAGANINI, W. Da. S. The impact of human activities on the dynamics of phosphorus in the environment and its effect on public health. **Ciência; Saúde Coletiva**, v. 16, n. 8, p. 3529-3539, 2011.

ROSCO, E. R. Rediscutindo o papel dos ecossistemas terrestres no sequestro de carbono. **Cadernos de Ciência; Tecnologia**, v. 20, n. 2, p. 209-223, 2003.

SAATH, C. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da Demanda Mundial de Alimentos e Restrições do Fator Terra no Brasil. **RESR. Piracicaba-SP**, v. 56, n. 2, p. 195-212, 2018.

SANTOS, F. D.; FANTINEL, R. A.; WEILER, E. D. Fatores que afetam a disponibilidade de micronutrientes no solo. **TECNO-LÓGICA**, v. 25, n. 2, p. 272-278, 2021.

SANTOS, J. F. *et al.* Produção agroecológica de batata em relação as doses de pó de rocha. **Rev. Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v. 8, n. 1, p. 29-35, 2014.

SANTOS, M. De L. S. Estudo das deferentes formas de fósforo nas águas da plataforma continental do amazonas. **Quim. Nova**, v. 30, n. 3, p. 569-573, 2007.

SATTAR, Annum et al. Perspectives of potassium solubilizing microbes in sustainable food production system: A review. **Applied Soil Ecology**, v. 133, p. 146-159, 2019.

SCIVITTARO, W. B. et al. **Tecnologia de fixação biológica de nitrogênio na cultura de arroz irrigado: indicações de manejo e impacto ambiental**. 2022. Disponível em: CPACT-Circular-227.pdf (embrapa.br), Consultado em: 22 janeiro 2023.

COSTA, Sérgio Ely Valadão Gigante de Andrade et al. Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo do solo e da adubação em longo prazo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1291-1301, 2009.

SILVA, Jordano Sandri da et al. Produtividade de híbridos de milho na safra 2016/2017 em Dois Vizinhos-PR. **IV Congresso de Ciência e Tecnologia da UTFPR**. Dois Vizinhos. 2017. p.166-168.

SILVA, Bruna Rodrigues da; SILVA, Tiago Rodrigues da. Reflexões sobre a abordagem de ciclos biogeoquímicos no ensino em ciências: considerações para um enfoque em CTS. **Revista Form@ re-Parfor/UFPI**, v. 5, n. 2, 2017.

SILVEIRA, Adriana Parada Dias da; SANTOS FREITAS, Sueli dos. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Instituto Agronômico, 2007.

SOUZA, Maicon Douglas Bispo de; FONTANETTI, Anastácia; ASSAD, Maria Leonor RC Lopes. Efeito de remineralizador, vinhaça e plantas de cobertura nos atributos químicos do solo. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 1-7, 2017.

SOUZA, M. D. D. *et al.* Efeito de remineralizador. vinhaça e plantas de cobertura nos atributos químicos do solo. **Revista Ciência, Tecnologia e Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 1-7, 2017a.

SOUZA, M. E. P. *et al.* Vermicomposting with rock powder increases plant growth. **Applied Soil Ecology**, v. 69, p. 56-60, 2013.

SOUZA, M. F. L. *et al.* Ciclo do Carbono: Processos Biogeoquímicos, físicos e interações entre Compartimentos na Baía de Todos os Santos. **Rev. Virtual Quim**, v. 4, n. 5, p. 566-582, 2012.

STEFANOSKI, Diane C. *et al.* Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 17, p. 1301-1309, 2013.

SWITZER, G. L.; NELSON, L. E. Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation ecosystems: the first twenty years. **Soil Science Society of America Journal**, v. 36, n. 1, p. 143-147, 1972.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. Porto Alegre, Artmed. 719p. Tillmann MAA, Piana Z, Cavariani C & Minami K (1994) Efeito da profundidade de semeadura na emergência de plântulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Scientia Agrícola**, v. 51, p. 260-263, 2009.

TARDIEUX, A. *et Tardieux. P.* Solubilisation d'éléments minéraux dans la rhizosphère. **Bulletin de la Société Botanique de France**, v. 12, n. 2, 139-144, 2014.

TEIXEIRA, A. H. De C. **Informações agro meteorológicas do polo Petrolina. PE/Juazeiro - 1963 a 2009**. Embrapa Semiárido. 2010. 23 p.
Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br>. Acesso em 10 de ago. de 2023.

TEIXEIRA, Paulo César *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª Ed. rev. e ampl, Brasília: Embrapa solos. 2017, 577 p.

THEODORO, S. H. *et al.* A importância de uma Rede Tecnológica de Rochagem para a Sustentabilidade em Países Tropicais. **Rev. Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 6, p. 1390-1407, 2013.

THEODORO, S. H. *et al.* Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. **Rev. Espaço e Geografia**, v. 9, n. 2, p. 263-292, 2006.

THEODORO, Suzi Huff; LEONARDOS, Othon Henry. Rochagem: uma questão de soberania nacional. In: **XIII Congresso brasileiro de geoquímica. Gramado: Embrapa Clima Temperado**. 2011. p. 337-40.

TOSCANI, Rafael Gomes da Silveira; CAMPOS, José Eloi Guimaraes. Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados. **Geociências**, v. 36, n. 2, p. 259-274, 2017.

ULRICH, B. Influence de la fertilisation sur le cycle des éléments nutritifs dans les écosystèmes forestiers. **CR Congrès Paris**, p. 23-24, 1973.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília. DF: Embrapa. 2017. 163 p.

WONG, Matthew S. et al. Reduction of acetate accumulation in *Escherichia coli* cultures for increased recombinant protein production. **Metabolic engineering**, v. 10, n. 2, p. 97-108, 2008.

XUE-MEI, H. *et al.* Effects of vegetation type on soil microbial community structure and catabolic diversity assessed by polyphasic methods in North China. **Journal of Environmental Sciences**, v. 19, n. 10, p. 1228-1234, 2007.

YARA BRASIL. **Produtividade do milho**. 2018. Disponível em: <https://www.yarabrasil.com.br/conteudo-agronomico/blog/produtividade-do-milho>. Acesso em 23 de jan. de 2023.

ZAMBOLIM, Laércio; COSTA, Hércio; VALE, Francisco XR. Nutrição mineral e patógenos radiculares. **Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em Solos Tropicais**, p. 153, 2005.

ZODIOLE, L. H. S. *et al.* Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V. 34, n. 2, p. 425–434, 2010.