

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

EDUARDA DE VASCONCELOS SILVA

BIOSSOLUBIZAÇÃO DE PÓ DE ROCHA RICO EM SILICATO PELOS FUNGOS  
*Trichoderma sp.* E *Paecilomyces sp.*

MONTE CARMELO  
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

EDUARDA DE VASCONCELOS SILVA

BIOSSOLUBIZAÇÃO DE PÓ DE ROCHA RICO EM SILICATO PELOS FUNGOS  
*Trichoderma sp.* E *Paecilomyces sp.*

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Edmar Isaías de Melo

MONTE CARMELO  
2023

EDUARDA DE VASCONCELOS SILVA

BIOSSOLUBIZAÇÃO DE PÓ DE ROCHA RICO EM SILICATO PELOS FUNGOS  
*Trichoderma sp.* E *Paecilomyces sp.*

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Monte Carmelo, 15 de junho de 2023

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Edmar Isaías de Melo  
Orientador

---

Prof. Dr. André Luiz Firmino  
Membro da Banca

---

M.e. Luis Fernando Vieira da Silva  
Membro da Banca

MONTE CARMELO  
2023

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, à Deus, pela oportunidade de poder concluir o tão sonhado curso, ao lado de boas pessoas e ótimos professores.

Também ao meu orientador, do qual me auxiliou em vários momentos de aprendizado e desenvolvimento de projetos durante os cinco anos.

Aos meus pais pelo apoio incondicional em todos as etapas.

E aos meus amigos e colegas, que sempre estiveram ao meu lado, nas horas tranquilas e difíceis.

Gratidão.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	6
2. OBJETIVO .....	7
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
3.1. Silício aplicado à agricultura.....	7
3.2. Pó de rocha basáltica.....	9
3.3. Microrganismos solubilizadores de silício.....	10
3.4. Gêneros <i>Trichoderma</i> e <i>Paecilomyces</i> .....	11
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	12
4.1. Obtenção dos fungos isolados de solo .....	12
4.2. Contagem dos esporos do arroz inoculado com fungos de solo .....	14
4.3. Ensaio de solubilização <i>in vitro</i> .....	14
4.4. Ensaio de incubação em solo .....	15
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
6. CONCLUSÕES .....	34
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34

## RESUMO

O silício é um nutriente benéfico às plantas e uma alternativa não convencional para sua obtenção tem sido o uso de resíduo silicatado de rochas, mas que se aplicado diretamente no solo não garante sua disponibilidade. O uso de fungos isolados de solo pode promover a solubilização e disponibilização de silício deste material. Sendo assim, o objetivo foi avaliar o efeito de fungos isolados de solo na solubilização de silicatos presentes em resíduos de rocha basáltica. Foi realizado a obtenção dos fungos *Trichoderma* e *Paecilomyces*, os ensaios de solubilização *in vitro* e o teste de incubação em solo. Foram avaliados, no geral, as variáveis pH<sub>H2O</sub>, pH<sub>CaCl2</sub>, CE, [P] e [Si]. Em *in vitro*, o maior valor obtido em relação ao pH foi no tratamento com pó de rocha em água. Já para CE e [P], os maiores foram associação pó de rocha *vs* fungos. Para [Si], os maiores foram obtidos com a adição de pó de rocha associado aos fungos, especialmente *Paecilomyces*. Observou-se também uma correlação negativa entre pH e CE, [P] e [Si] indicando que quanto menor o pH em solução, maiores são as demais variáveis, e correlação positiva entre CE, [P] e [Si]. Na incubação, observou-se o aumento da [Si] promovida pela adição de basalto e Wollastonita ao solo associados aos fungos, além do aumento de pH e redução de CE. Pode – se concluir que o pó de rocha basáltica é um importante remineralizador associado aos fungos *Trichoderma* e *Paecilomyces* em função dos nutrientes silício e fósforo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Silício, solubilização, *Trichoderma*, *Paecilomyces*

## **ABSTRACT**

Silicon is a beneficial nutrient for plants and an unconventional alternative to its alternative has not been its use of silica residue, but that directly applies to availability. The use of fungi isolated from soil can promote the solubilization and availability of silicon from this material. Therefore, the objective was to evaluate the effect of fungi isolated from soil on the solubilization of silicates present in basaltic rock objects. A series of *Trichoderma* and *Paecilomyces* fungi, in vitro solubilization tests and a soil incubation test were carried out. They were evaluated, in general, as variables pH<sub>H2O</sub>, pH<sub>CaCl2</sub>, EC, [P] and [Si]. In vitro, the highest value obtained in relation to pH was in the treatment of rock powder in water. For EC and [P], the highest were rock dust vs fungi association. For [Si], the largest were with the addition of associated rock dust, especially *Paecilomyces*. It was also observed that there is a positive certainty between pH and [Si] indicating that the lower the pH in solution, the higher it is, and positive fundamentals between CE, [P] and [Si]. In incubation, it was observed an increase in the addition of basalt and a reduction in the pH of the associated fungi, in addition to an increase in pH and a reduction in EC. Associated with fungi, it is known that rock dust can be an important *Trichoderma* and *Paecilomyces* remineralizer due to nutrients and phosphorus.

**KEYWORDS:** Silicon, solubilization, *Trichoderma*, *Paecilomyces*

## 1. INTRODUÇÃO

O silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, sendo classificado como benéfico às plantas de acordo com a fisiologia vegetal (HU et al., 2018). Quando absorvido pelas raízes e transportado para outros órgãos vegetais, é depositado nas paredes das células da epiderme, criando uma barreira mecânica, fortalecendo a estrutura vegetal, aumentando a resistência contra estresses bióticos, como ataque de doenças e pragas, e abióticos, como diminuição da transpiração em condições de altas temperaturas e déficit hídrico (EPSTEIN, 1994).

Contudo, os solos do bioma cerrado possuem baixa quantidade de silício disponível para ser absorvido pelas plantas (FERNANDES et al., 2010), mas a adoção de fertilização do solo, por meio da rochagem se apresenta como alternativa para aumentar as concentrações de silício e outros nutrientes no solo. Assim o pó de rocha se apresenta como uma opção natural para fertilizar solos agricultáveis. No entanto, a escala temporal e condições termodinâmicas da solubilidade dos nutrientes presentes no pó de rocha pode ser um fator limitante de sua aplicação na agricultura (KHATOUNIAN, 2001).

Neste sentido, a solubilização do pó de rocha com o uso de microrganismos tem – se apresentado como técnica utilizada para diminuir o tempo necessário para solubilização dos nutrientes, beneficiando a microbiota e o funcionamento do solo, com a consequente diminuição de custo de produção associado a compra de corretivos e fertilizantes solúveis. Dentre os microrganismos utilizados na biossolubilização de pó de rocha estão os fungos isolados de solo e neles, encontram – se fungos *Trichoderma sp.* e o *Paecilomyces sp.* A espécie *Trichoderma spp.* é fungo oportunista do filo Ascomycota, do qual a fase mais encontrada é a assexuada que apresenta produção de colônias de micélio branco recobertas de massas de conídios verdes e corpo de frutificação do tipo peritécio. Sobrevive em diferentes habitats e condições ambientais diversas, tem alta capacidade de colonização, é bom competidor, parasita de fungos, promovedor de crescimento de plantas, acelerador de germinação, produz auxinas e metabólitos que favorecem desenvolvimento de raízes, aumenta solubilização e absorção de nutrientes, entre outros (MEYER; MAZARO; SILVA, 2019). Já o fungo *Paecilomyces spp.* engloba uma gama de espécies de fungos produtores de

conídios unicelulares hialinos em sua fase anamórfica e ascósporos em sua fase teleomórfica apresentando coloração marrom – amareladas. Possuem capacidade de alta taxa de esporulação e podem se desenvolver em ambientes mesofílicos e termofílicos. Além do mais, apresentam potencial de controle de pragas (fungos e bactérias), bioestimulante, e ainda atenua efeitos de estresse biótico (MORENO - GAVÍRA et al., 2020).

Na literatura científica são encontrados trabalhos com biossolubilização de pó de rocha visando o aumento dos níveis de fósforo (MENDES et al., 2021) e potássio (AZIZAH et al, 2021) no solo. Em contrapartida, poucos estudos tem sido realizados no sentido de valorizar a biossolubilização visando o aumento dos teores de silício no solo e seus benefícios nas culturas.

## **2. OBJETIVO**

Avaliar o efeito de fungos de solo *Trichoderma sp.* e *Paecilomyces sp.*, isolados de solo, na solubilização de silicatos presentes em pó de rocha basáltica.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1. Silício aplicado à agricultura**

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, e ele é classificado de acordo com a fisiologia vegetal como sendo um elemento benéfico às plantas (FILHO, 2006). Por não ser considerado essencial, o silício não está incluído nas formulações de soluções usadas normalmente na fertilização vegetal, sendo utilizado pelas plantas, na maioria das vezes, apenas o que se encontra no solo (EPSTEIN, 1994).

Na solução do solo, o silício se encontra na forma de ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ). Esse elemento é absorvido pela maioria das plantas por difusão passiva, sendo transportado pelo fluxo transpiratório através do xilema, exceto em algumas espécies que ocorre de

maneira ativa (OLIVEIRA; KORNDORFER; PEREIRA, 2007). Seu desempenho tem sido estudado em papéis como resistência mecânica, adquirido pela deposição de fitólitos de óxido amorfo hidratado inorgânico de silício ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{NH}_2\text{O}$ ) na epiderme dos tecidos vegetais (HARTLEY et al., 2015), agindo em condições de estresse biótico e abiótico, protegendo contra ação herbívora e patogênica (WANG et al., 2017).

Os solos brasileiros apresentam, em média, 5 a 40% de silício na composição, sendo presente em maior quantidade em solos mais jovens como Cambissolos, pelo fato de ocorrer o processo de dessilicização no decorrer dos anos, na formação dos solos mais antigos como Latossolos (MENECALE, 2015).

Existem três grupos de plantas que podem ser enquadradas quanto à capacidade de absorção do silício: acumuladoras, intermediárias e não-acumuladoras. No geral, a maioria das plantas acumuladoras desse elemento são as gramíneas (arroz, trigo, cana-de-açúcar) sendo em maiores quantidades, apesar de algumas espécies de dicotiledôneas apresentarem essa capacidade (GONZALES; PRADO; CAMPOS, 2015).

A utilização do silício na agricultura se torna uma alternativa valiosa quando se trata de anti-estressantes ambientais, sejam bióticos ou abióticos. Pozza et al. (2004), em um estudo relacionado a eficiência do silicato de cálcio no controle da cercosporiose em mudas de três variedades de cafeeiro, verificou que houve uma redução no número de folhas do cafeeiro afetadas com a *Cercospora coffeicola* Berkeley Cooke sendo 63,2 % em *Coffea arabica* L. e 43 % no total de lesões por planta com a aplicação de 1 g de silicato de cálcio incorporado a 1 kg de substrato, além de aumento nos teores de Si foliar nas plantas adubadas, sendo exposto com esse resultado a capacidade do silício na planta do controle de patógenos. Segundo Filho (2006), o estímulo dado pelo silício na planta em relação à fotossíntese e teor de clorofila afeta diretamente alguns aspectos no vegetal como o aumento da assimilação de nitrogênio, o suprimento de carboidratos, aumento da atividade radicular, entre outros. Sendo assim, o silício se mostra como um importante elemento que pode ser utilizado para diversos fins, seja de proteção vegetal, auxiliador de transpiração, entre outros, além de poder ser encontrado em diferentes materiais de maneira sustentável ao meio ambiente.

### **3.2.Pó de rocha basáltica**

A aplicação de fertilizantes agrícolas tem aumentado gradativamente com o passar dos anos. Os métodos clássicos de produção de fertilizantes são considerados danosos ao meio ambiente, causando impactos prejudiciais a atmosfera através da geração de resíduos e gases (KLAIC et al., 2019). Muitas vezes são aplicados sem os cuidados necessários, não respeitando os limites de toxicidade e deficiência, provocando um desequilíbrio ambiental. Além disso, cerca de 80% dos fertilizantes são importados, o que torna o produto com alto valor de custo de aquisição no mercado consumidor (MOLIN, 2018). Uma alternativa a toda essa problemática provocada pela utilização de fertilizantes minerais sintéticos tem sido a utilização de material produzido por meio do processamento de rochas denominado como pó de rocha.

Para Frascá (2014), as rochas são resultado de corpos sólidos naturais que passaram por processo geológico determinado, formadas por agregados de minerais, arranjados entre si pelas condições de temperatura e pressão, cujas características permitem a separação em três grandes grupos: ígneas ou magmáticas, sedimentares e metamórficas, cada uma com propriedades peculiares.

As rochas ígneas ou magmáticas são resultado da solidificação do magma, gerado no interior da crosta terrestre, e se dividem em plutônicas e vulcânicas. Elas são compostas de minerais silicáticos como feldspatos, quartzo, piroxênios, anfibólios e/ou feldspatóides. As sedimentares são formadas pela erosão, transporte e deposição de sedimentos vindos da desagregação e decomposição de rochas da superfície. Já as rochas metamórficas são derivadas de outras, onde com o passar dos processos geológicos, sofreram mudanças em seus minerais, em sua composição química e estrutural, pelas condições físicas e químicas existentes (FRASCÁ, 2014).

Pertencente ao grupo das rochas ígneas, mais precisamente das extrusivas, está o basalto. Este tipo de rocha, geralmente, de coloração escura, é formado a partir da solidificação magmática e entra em estado de resfriamento rapidamente, formando minerais de tamanho pequeno. Em sua composição química estão presentes de 45 a 52% de  $\text{SiO}_2$ , além de outros nutrientes como potássio e fósforo, e apesar do baixo teor (básica), esta rocha se

configura como importante fonte podendo ser disponibilizados as plantas (EUTRÓPIO, 2021).

O pó de rocha produzido a partir do basalto é produzido pela trituração, moagem e peneiramento do material, ocorrendo apenas redução da granulometria (tamanho) não havendo modificação química do material, mantendo sua composição podendo enriquecer o solo e/ou restaurar suas condições por ser uma rocha com valor nutricional agregado e ampla distribuição geográfica.

### **3.3.Microrganismos solubilizadores de silício**

Os microrganismos são indivíduos microscópicos, como as bactérias, fungos e vírus, que vivem como células isoladas ou agregados celulares na natureza. Pertencentes a táxons de enorme diversidade microbiana, os microrganismos foram os primeiros seres vivos a habitar a Terra e a ação de seus processos metabólicos resultou na formação da atmosfera rica em oxigênio, ponto inicial para criação de outras formas de vida aeróbicas, dentre elas plantas e animais superiores. Os microrganismos estão em todos os habitats devido a sua capacidade de adaptação em diversos ambientes oriundas da variedade genética e simplicidade morfológica, desde ambientes mais extremos aos mais brandos, podendo sobreviver a baixas concentrações nutricionais, extremos de temperatura e salinidade, no interior de rochas subterrâneas, entre outros (MANFIO, 2003).

Eles também têm a capacidade de atuar no biointemperismo mineral através da sua produção de metabólitos como ácidos orgânicos e inorgânicos e substâncias tais como nitritos e nitratos, além de serem capazes de produzir biofilme que contém substâncias poliméricas extracelulares, da qual, dentre suas funções está à proteção contra estresses ambientais (LEONEL; RIZZO; CARA, 2014).

Os ácidos produzidos pelos microrganismos contribuem junto com outros fatores para a acidez natural do solo sendo esse papel fundamental para a solubilização dos minerais e disponibilização de compostos em formas químicas que possam ser absorvidas pelas plantas (KLAIC, 2019).

Dentre os grupos de microrganismos utilizados estão os solubilizadores de silicatos, que são os microrganismos capazes de solubilizar a sílica presente no solo de forma a torná-la assimilável a planta. A sílica pode contribuir para o aumento da resistência vegetal a estresses bióticos e abióticos, sendo uma alternativa viável para o manejo ecológico de pragas, e suportar condições de desequilíbrio como altas temperaturas e déficit hídrico.

Estudo realizado por Wang (2018) com intuito de caracterizar a eficácia da liberação de Si e Al da rocha bauxita na presença de bactérias solubilizantes de Si, e avaliar os mecanismos envolvidos na solubilização, demonstrou que as bactérias utilizadas proporcionaram a remoção do Si da bauxita pela produção de ácidos orgânicos e exopolissacarídeos, além de promover um enriquecimento relativo de Al.

Estes e outros estudos apontam a eficiência de alguns microrganismos na solubilização de materiais providos de resíduos ou mesmo da rocha, demonstrando a capacidade satisfatória em relação à disponibilização de nutriente silicatado para a utilização nas plantas, de maneira a usar os recursos existentes naturalmente no meio ambiente, preservando ao mesmo tempo a natureza e contribuindo para suprir a necessidade vegetal e consequente manutenção da produtividade.

### **3.4.Gêneros *Trichoderma* e *Paecilomyces***

O solo é o local de abrigo e desenvolvimento de diversos organismos vivos que desempenham funções vitais e benéficas para as plantas. Nele, estão distribuídos grupos de seres vivos compostos pelos fungos, bactérias, protozoários, nematoides, entre outros. Os fungos de solo desempenham papéis relacionados a ciclagem de nutrientes, crescimento de planta, absorção de elementos essenciais, produção de substâncias orgânicas, e estima-se que para cada 1 grama de solo, tenha-se 200 metros de hifas fúngicas, sendo de tamanha importância sua conservação (SILVA; CARDOSO; FONTANETTI, 2021). Dentre os fungos de solo, estão os pertencentes aos gêneros *Trichoderma* e *Paecilomyces*.

O gênero *Trichoderma* pertence ao filo Ascomycota, sendo sua fase sexuada composta pelo corpo de frutificação do tipo peritécio. Já a assexuada, é formada por conídios de coloração verde escuro e micélio vegetativo de cor clara. Em relação à pesquisa deste gênero, o Brasil está em destaque, realizando estudos voltados ao controle de doenças, aumento do rendimento das culturas, crescimento vegetal etc. (MEYER; MAZARO; SILVA, 2019).

Este gênero possui tamanha importância para a agricultura, pois pode influenciar sobre o crescimento vegetal, a germinação de sementes, a promoção de ácido indol acético, a solubilização e absorção de nutrientes, além da defesa contra doenças de plantas e indução de resistência (CHAGAS; CHAGAS JÚNIOR; SOARES; FIDELIS, 2017).

O gênero *Paecilomyces*, também pertencente ao filo Ascomycota, é caracterizado por sua formação de hifas hialinas a amareladas e seus conídios unicelulares hialinos. São fungos de boa adaptação ambiental, capazes de influenciar sobre o desenvolvimento e produção das plantas, além de promover sua defesa. Este gênero é capaz de produzir compostos secundários que atuam sobre fitopatógenos como, por exemplo, nematoides e fungos causadores de doenças em plantas, e desempenham papéis bioinseticidas, como agente de controle biológico (MORENO - GAVÍRA et al., 2020).

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1.Obtenção dos fungos isolados de solo**

O trabalho foi desenvolvido no laboratório de Química da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo. Foram utilizados fungos *Trichoderma sp.* e *Paecilomyces sp.*, cuja ficha catalográfica referente da sua origem e localização encontra-se na tabela 1. Os fungos são da região conhecida como MATOPIBA (Maranhão – Tocantins – Piauí – Bahia), e são parte do projeto de parceria público privada entre empresa Martins e Alves e a universidade. O isolamento dos fungos de solo foi realizado de forma direta e as s

culturas foram purificadas mediante repiques sucessivos em meio batata dextrose ágar (BDA) adicionado do antibiótico Rifamicina. As colônias isoladas foram analisadas quanto ao padrão de crescimento em meio de cultura e foram submetidas à análise morfológica mediante o preparo de lâminas com líquido de montagem, lactoglicerol e pela técnica de microcultivo pela classificação a nível genérico (BOZZA, et al. 2009).

**Tabela 1.** Ficha catalográfica referente a origem e localização dos fungos de solo *Trichoderma* e *Paecilomyces* utilizados nos ensaios experimentais.

N°	Gênero	Código	Bioma	Fazenda	Município	Código Cepa
P4	<i>Paecilomyces</i>	PAE4	Cerrado	Pau Brasil	Açailândia MA	PAC – PBR – AMA – 1 - 2019
TA3	<i>Trichoderma</i>	TA3	Cerrado	Recreio	Formosa do Rio Preto BA (Coaceral)	TRICREC - CER - 3- 2019

Fonte: Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.

#### 4.2. Inoculação em arroz parboilizado

Para cultivo em maior escala e posterior uso nos ensaios de solubilização, os fungos isolados de solo foram inoculados em arroz parboilizado. Para tal, um pedaço de meio BDA contendo as estruturas fúngicas foi adicionado em 500 gramas de arroz parboilizado umedecido com 100 mL de água destilada e 3 gotas de Tween, previamente esterilizado em saco plástico em autoclave por 30 minutos. Este material foi deixado em temperatura ambiente por 6 dias para multiplicação dos fungos. Depois deste período, este material foi espalhado em temperatura ambiente sobre papel pardo para secagem e armazenado para uso.

#### **4.2. Contagem dos esporos do arroz inoculado com fungos de solo**

Para quantificar o número de esporos presentes no arroz inoculado com os fungos de solo *Trichoderma sp.* e *Paecilomyces sp.* foi realizado um ensaio para contagem, ocorrendo em triplicata para cada espécie de fungo. Foi adicionado 1 grama de arroz inoculado com fungos em Erlenmeyer de 125 mL, 3 gotas de Tween e 100 mL de água destilada, e foi levado para agitação a 203 rpm a 26,8°C por 20 minutos. Após isso, foi realizada a contagem dos esporos em câmara de Neubauer e os dados foram submetidos à conversão para adesão dos resultados em n° de esporos/mL e em gramas de arroz (PINTO et al., 2019).

#### **4.3. Ensaio de solubilização *in vitro***

O experimento *in vitro* foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com seis tratamentos (T1: *Trichoderma* + pó de basalto; T2: *Paecilomyces* + pó de basalto; T3: *Trichoderma* + *Paecilomyces* + pó de basalto; T4: Pó de basalto + meio de cultura; T5: Pó de basalto + água; T6: Meio de cultura) e cinco repetições. Primeiramente, foi preparado o meio de cultura, que consistiu no cozimento de 100 gramas de arroz e 200 gramas de batata em 1 litro de água para retirada do caldo (SPLABOR, 2022). Após, para início do ensaio, adicionou-se 1 grama de arroz inoculado com fungo de solo em Erlenmeyer de 125 mL, 3 gotas de Tween e 50 mL do meio de cultura preparado previamente, nos tratamentos que exigiam, e foram agitados manualmente por 60 minutos. Por fim, este material foi filtrado/peneirado e transferido para frasco plástico de 120 mL com tampa, adicionado 5 gramas de pó de rocha basáltica e foi armazenado. Após 25 dias, foi realizada análise de pH, condutividade elétrica, concentrações de fósforo e teores de silício (DE CAMARGO et al., 2005) e os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas

pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade utilizando o Software estatístico R (R CORE TEAM, 2016).

#### **4.4. Ensaio de incubação em solo**

O ensaio de incubação foi desenvolvido em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial  $2 \times 2 \times 3 + 8$  tratamentos adicionais, utilizando solos com duas texturas distintas (1 – argilosa; e 2 - arenosa), ausência ou presença de agente biológico de intemperismo (associação de fungos de solo *Trichoderma spp.* e *Paecilomyces spp.*), e duas doses de pó de rocha basáltica (200 e 400 kg.ha<sup>-1</sup>), além de uma fonte de silicato de cálcio usada como padrão (Wollastonita) e a testemunha, em três repetições, totalizando 20 tratamentos. O pó de rocha de origem basáltica foi obtido da região de processamento de britagem na cidade de Araguari, Minas Gerais. Já o silicato de cálcio possuía origem sintética. A descrição do ensaio encontra-se na Tabela 2.

**Tabela 2.** Delineamento experimental inteiramente casualizado com dois fatores qualitativos (Fator 1: tipo de remineralizador; Fator 2: Fonte de intemperismo biológico).

<b>Tratamento</b>	<b>Tipo de pó de rocha</b>	<b>Agente biológico de intemperismo*</b>	<b>Dose de Si (kg/ha)</b>	<b>Tipo de solo</b>
1	Testemunha	Ausente	0	Arenoso (Neossolo Quartzarênico)
2		Presente		
3	Basalto	Ausente	200	
4		Presente		
5		Ausente	400	
6		Presente		
7	Wollastonita	Ausente	200	
8		Presente		
9		Ausente	400	
10		Presente		
11	Testemunha	Ausente	0	Argiloso (Latosolo Vermelho)
12		Presente		
13	Basalto	Ausente	200	
14		Presente		
15		Ausente	400	
16		Presente		
17	Wollastonita	Ausente	200	
18		Presente		
19		Ausente	400	
20		Presente		

Fonte: Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.

Inicialmente, foram coletados solos, cuja coordenadas geográficas são: solo 1 - 18° 42'18" S 47° 31' 27" W (Monte Carmelo, MG); solo 2 - 18° 54' 12" S 47° 35' 50" W

(Romaria, MG) e avaliados suas características físicas (textura de solo) por meio do Método da Pipeta descrito no Manual de Métodos de Análise de Solo (TEIXEIRA et al., 2017), quantificando as frações areia, silte e argila. Em seguida, realizou-se teste para conhecimento da densidade e da capacidade de retenção de água do solo. A densidade foi mensurada por meio de um instrumento denominado cachimbo de 50 cm<sup>3</sup> e béquer, onde pesou-se solo de aproximadamente cinco cachimbadas encontrando-se o resultado em g.cm<sup>-3</sup>. Já a capacidade de retenção de água foi obtida em um ensaio onde utilizou-se cachimbo de 50 cm<sup>3</sup>, funil de vidro, papel filtro, bureta de 50 mL e béquer. Foi depositado um cachimbo de solo sobre o sistema funil- filtro, distribuído 50 mL de água destilada lentamente por aproximadamente 30 minutos sobre ele com a bureta e armazenado sistema béquer – funil – solo por 24 horas para posterior mensuração da quantidade de água que passou pelo solo, sendo o béquer pesado após o período e o cálculo realizado por meio da diferença entre o peso final e o inicial, e o que ficou retido no solo, em mL. Em seguida, foi caracterizado o teor de silício total da fonte em estudo, sendo ela o Basalto, pelo Método Espectrofotométrico de Molibdato de Amônio descrito no Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos (TEIXEIRA; 2017), além da separação granulométrica do material. Por fim, montou-se o ensaio de incubação em solo, utilizando 60 potes plásticos de 500 mL. Foi determinado a incubação de 350 cm<sup>3</sup> de solo em cada pote, a adição de Basalto e Wollastonita em quantidades adequadas a 200 e 400 kg.ha<sup>-1</sup>, de acordo com respectivos tratamentos e unidades experimentais, 1 grama de arroz parboilizado com fungos *Trichoderma* e *Paecilomyces* e diluído em água destilada. A quantidade de água depositada no solo foi mantida à 50% da capacidade de campo durante todo o experimento, sendo que este permaneceu ativo por 60 dias.

**Tabela 3.** Detalhamento dos tratamentos do experimento de incubação.

Pó	Solo	Dose	Kg <sub>pó</sub> /ha	g <sub>pó</sub> /vaso	g <sub>solo</sub> /vaso	V <sub>H2O</sub> /vaso
Wollastonita	Argiloso	200	1226,99	0,215	357	107
		400	2453,99	0,429	357	107
	Arenoso	200	1226,99	0,215	462	106
		400	2453,99	0,429	462	106
Basalto	Argiloso	200	1538,46	0,269	357	107
		400	3076,92	0,538	357	107
	Arenoso	200	1538,46	0,269	462	106
		400	3076,92	0,538	462	106

Fonte: Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.

Após o período pré-determinado do ensaio de 60 dias, foram retiradas amostras do solo para avaliação. O preparo das mesmas consistiu na secagem ao ar livre e em seguida, foram coletadas alíquotas para avaliação do pH do solo em água (pH<sub>H2O</sub>), pH em cloreto de cálcio 0,01 mol L<sup>-1</sup> (pH<sub>CaCl2</sub>) (TEIXEIRA; 2017), condutividade elétrica (CE), ambos os ensaios foram utilizados a proporção de solo/solução extratora de 1:2,5. A concentração de silício ([Si]) também foi avaliada segundo metodologia adaptada de (KORNDORFER; PEREIRA; NOLLA,2004). Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e ao teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade, utilizando software R (R CORE TEAM; 2016).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Resultado da obtenção dos fungos isolados de solo

As figuras abaixo (a e b) representam o resultado do isolamento dos fungos de solo do gênero *Trichoderma* e *Paecilomyces* em placa Petri.



**Figura 1: (a)** Fungo *Trichoderma spp.* isolado em placa Petri.

**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.



**Figura 1: (b)** Fungo *Paecilomyces spp.* isolado em placa Petri.

**Fonte:** Elaborado pela autora.

### 5.2. Contagem de esporos

A tabela 4 apresenta os resultados obtidos para a contagem de esporos no arroz parboilizado inoculado com fungos *Trichoderma* e *Paecilomyces* isolados de solo.

**Tabela 4.** Número médio de esporos por grama de arroz determinado pelo ensaio de contagem em câmara de Neubauer usando fungos isolados de solo inoculados em arroz parboilizado.

<b>Fungos</b>	<b>Média (n° esporos/mL)</b>	<b>Total (n° esporos/grama de arroz)</b>
Trichoderma	$4,11 \times 10^6$	$4,11 \times 10^8$
Paecilomyces	$1,08 \times 10^7$	$1,08 \times 10^9$

**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.

Foi possível observar que a inoculação em arroz proporcionou a obtenção de elevada quantidade de esporos fúngicos sendo ele de  $4,11 \times 10^8$  esporos/g e  $1,08 \times 10^9$  esporos/g para Trichoderma e Paecilomyces, respectivamente. Comparando – se os resultados, foi possível observar que o ensaio com Paecilomyces proporcionou um aumento em esporos/mL em relação ao produto comercial Bioniconema ( $2,0 \times 10^6$  esporos/mL) (BETTIOL et al., 2012). Já o Trichoderma proporcionou resultado inferior em relação ao produto comercial Trichodermil SC 1306 ( $2,0 \times 10^9$  esporos/mL) (KOPPERT, 2007).

### 5.3. Solubilização *in vitro*

Aplicando – se o teste F, através da Análise de Variância (ANAVA) em relação as variáveis analisadas, observou – se que todas (pH, CE, [P], [Si]) foram significativas ao nível de 5% de probabilidade, aceitando – se que há diferença entre os tratamentos, ou seja, pelo menos um tratamento difere dos demais.

**Tabela 5.** Valores de F- statistics da Análise de variância (ANAVA) das variáveis avaliadas na solubilização de pó de rocha associado a fungos isolados de solo.

Efeitos	pH	CE	[P]	[Si]
	Quadrado médio			
Tratamentos	62,182*	581,59*	8,3542*	46,005*
Resíduos	-	-	-	-
CV (%)	4,19	5,2	77,41	2,3

\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F. pH= potencial hidrogeniônico, CE= condutividade elétrica ( $\text{mS.cm}^{-2}$ ); [P]= concentração de fósforo ( $\text{mg.g}^{-1}$ ); [Si]= concentração de silício ( $\text{mg.g}^{-1}$ ).

**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.

Foi realizado o teste de média, Scott Knott, para verificar qual(is) tratamento(s) tiveram melhor desempenho para as variáveis pH, CE, [P] e [Si].

**Tabela 6.** Médias para solubilização de pó de rocha associado a fungos isolados de solo.

Tratamentos	pH	CE ( $\text{mS.cm}^{-2}$ )	*[P] ( $\text{mg.g}^{-1}$ )	*[Si] ( $\text{mg.g}^{-1}$ )
	Médias			
TA3 + pó	5,15 b	2,17 a	0,38 a	2,27 b
P4 + pó	5,13 b	2,14 a	0,20 b	4,34 a
TA3 + P4+ pó	5,02 b	2,18 a	0,61 a	2,96 a
Pó + meio	5,17 b	1,48 b	0,01 b	1,84 b
Pó + H <sub>2</sub> O	7,17 a	0,14 c	0,01 b	0,86 c

Médias seguidas de mesma não difere estatisticamente pelo teste Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade.

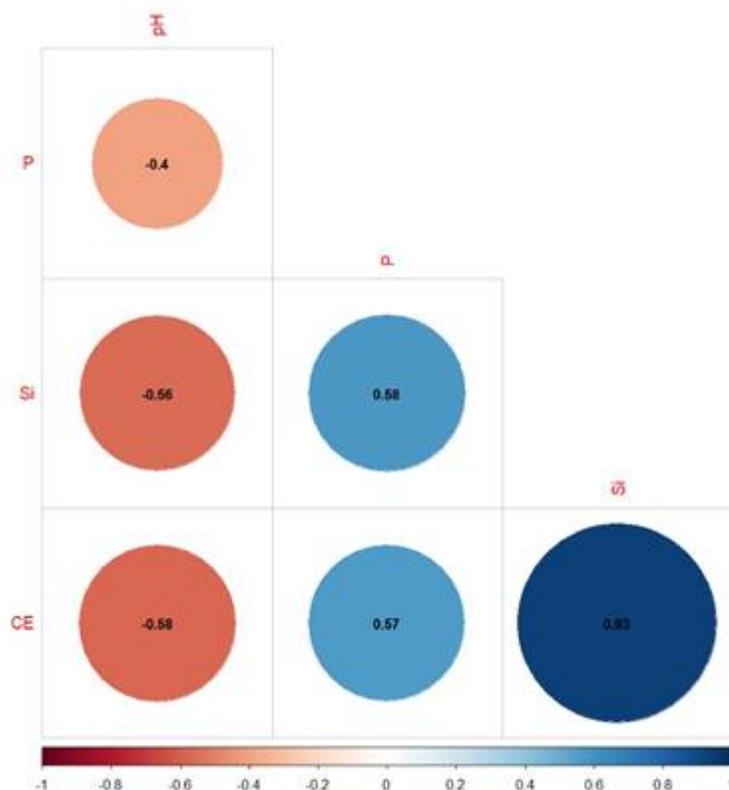
\*Valores foram obtidos descontando a quantidade do elemento disponibilizado pelo meio.

**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.

Observou – se que, em relação ao pH, o tratamento que obteve maior valor foi pó de rocha basáltica em água sem adição de meio de cultura e fungos de solo, demonstrando que o material possui capacidade para elevar o pH em solução, elevando em 2,18 na escala. Este

resultado foi semelhante ao encontrado por Silveira (2017) em ensaio utilizando o basalto como remineralizador, do qual elevou o pH do solo em comparação a testemunha. Já a redução dos valores de pH dos ensaios com a presença dos fungos isolados de solo pode ser explicada pela produção de ácidos orgânicos, promovidos por estes microrganismos. Esses resultados estão de acordo com o trabalho de Ramos et al. (2016), que relatou decréscimo nos valores de pH durante o processo de solubilização de rocha Glauconita e Flogopita a partir da produção de ácido orgânico e prótons de  $H^+$ . A condutividade elétrica está relacionada com o aumento da concentração de íons em solução. Nesse sentido, verifica-se maiores valores de condutividade elétrica para os tratamentos que continham fungo (Tabela 6), o que indica uma maior presença de íons em solução provocada pelos microrganismos no meio que podem ter promovido maior solubilização do pó de rocha. Além disso, os resultados corroboram com aqueles observados por Carmo (2014) onde variações da CE acompanham as alterações do pH de modo inverso, ao longo do tempo, ou seja, quando ocorre a diminuição do pH, a CE aumenta, indicando que a solubilização de íons em solução é dependente do pH. Os resultados para a concentração de fósforo disponibilizado em solução após o período de incubação foram maiores nos tratamentos, *Trichoderma* + pó de rocha e *Trichoderma* + *Paecilomyces* + pó de rocha, indicando que o fungo *Trichoderma* é capaz de promover maior solubilização de fósforo. Em relação ao silício, os tratamentos que proporcionaram maiores concentrações deste nutriente foram *Paecilomyces* + pó de rocha e *Trichoderma* + *Paecilomyces* + pó de rocha demonstrando que o fungo *Paecilomyces* promoveu maior disponibilização e solubilização de silício em solução. O pó de basalto é uma importante fonte de nutrientes como silício ( $SiO_4$ ) e fósforo ( $P_2O_5$ ) porém sua disponibilidade torna-se menor e mais lenta quando aplicado isoladamente. O ensaio demonstrou que a associação deste material aos microrganismos possibilitou maior solubilização dos elementos em solução, assim como ocorreu em experimento com uso de pó de basalto e cama de aviário (fonte de microrganismos) em cultivo de rúcula (BRUGNERA, 2012) e em ensaio para biossolubilização de fosfato de rocha por bactérias e fungos realizado por Gomes et al. (2014).

A partir dos dados coletados sobre os valores de pH, CE, [P] e [Si] foi possível obter o Gráfico de Correlação de Pearson abaixo.



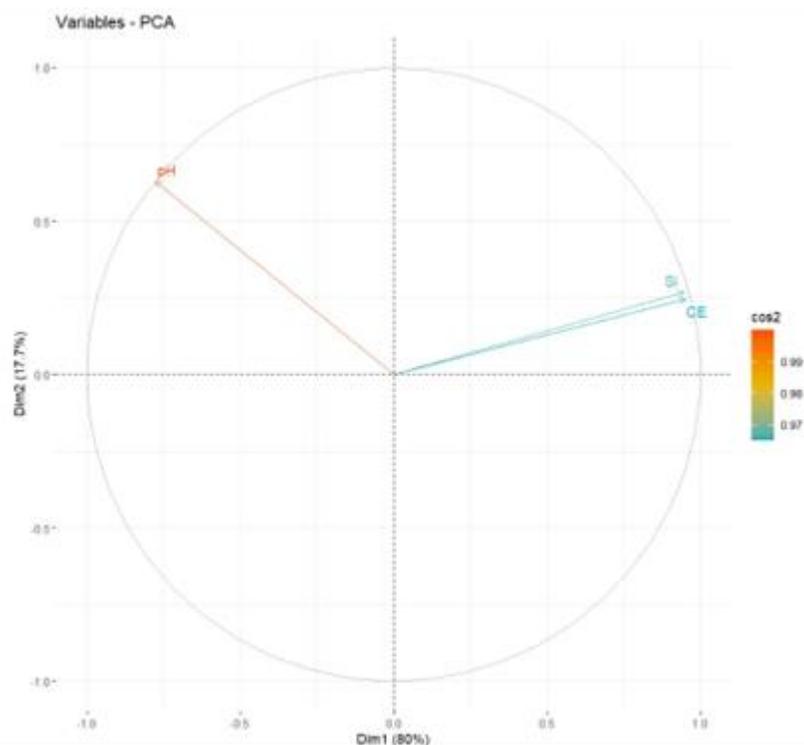
**Figura 2.** Correlação de Pearson entre atributos de solo e solubilização de nutrientes em relação ausência e/ou presença de pó de rocha e fungos isolados de solo.

**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.

Observa-se que há uma correlação entre as variáveis, sendo ela positiva ou negativa, variando entre -1 e 1 de acordo com Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009). Entre as variáveis [P] vs pH (correlação moderada), [Si] vs pH (correlação moderada) e CE vs pH (correlação moderada) há uma correlação negativa, o que significa que quanto maior uma variável, menor torna-se a outra, ou seja, quanto maior os valores de [P], [Si] e CE, menor é o valor de pH dos ensaios. Em contrapartida, para as variáveis [Si] vs [P] (correlação moderada), CE vs [P] (correlação moderada) e CE vs [Si] (correlação muito forte) há uma correlação positiva, indicando que os valores são diretamente proporcionais, ou seja, quanto maior for [Si], maior será a de [P], assim como para CE em relação a [P] e [Si] (DEVORE, 2006).

A Figura 2 mostra o gráfico biplot de uma Análise dos Componentes Principais (PCA) entre pH, CE, [P] e [Si] da qual representa as relações entre estas variáveis. É possível

notar que a primeira componente explica 80% da variabilidade dos dados, enquanto a segunda explica 17,7%. Isso significa que as duas primeiras componentes são capazes de explicar 97,7% da variância total das amostras, sendo possível utilizar somente essas duas variáveis latentes, perdendo apenas 2,3% da informação à cerca da variação dos dados. Pode-se verificar que os valores de pH possuem uma correlação negativa com as concentrações de Si e a condutividade elétrica, o que significa que quanto maior for os valores de [Si] e CE, menores são os de pH em solução, entrando assim em acordo com o observado anteriormente nos resultados obtidos na Tabela 6, demonstrando a relação da atividade dos fungos isolados de solo em solução, solubilização do nutriente e aumento da condutividade elétrica.



**Figura 3.** Análise dos Componentes Principais (PCA) entre atributos de solo e solubilização de nutrientes em relação a ausência e/ou presença de pó de rocha e fungos isolados de solo.

**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.

#### 5.4. Ensaio de incubação

A partir dos dados coletados sobre os valores das frações de areia, silte e argila, além dos relativos a densidade e capacidade de retenção de água no solo, foi possível obter os resultados abaixo.

**Tabela 7.** Resultados sobre características dos solos.

Solo	Frações			Textura	Ds	Capacidade de retenção de H <sub>2</sub> O
	Areia	Silte	Argila			
1	38,30	5,8	55,91	Argilosa	1,02	30
2	89,37	3,06	7,57	Arenosa	1,32	23

Ds: Densidade do solo em g.cm<sup>-3</sup>. Capacidade de retenção de água: mL.

**Fonte:** Elaborado pela autora.

Observa-se que o solo 1 possui teores de fração argila maiores que 30%, sendo classificado como solo de textura argilosa, além de sua densidade ser menor e capacidade de retenção de água ser maior. Já o solo 2 possui teor de argila menor que 15%, classificando-o como textura arenosa, sendo sua densidade maior e capacidade de reter água mais restrita. A partir dos dados coletados sobre os valores de granulometria, silício total, fósforo assimilável e potássio, foi possível obter os resultados abaixo.

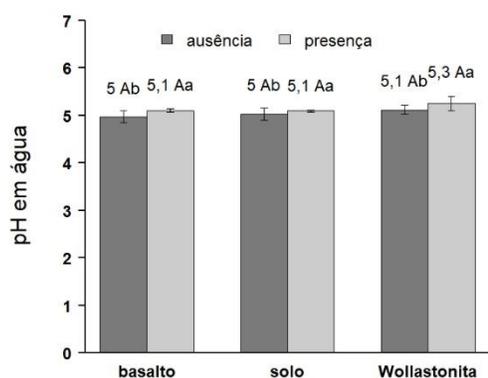
**Tabela 8:** Resultados sobre características do pó de Basalto.

Tipo	Granulometria (%)				Si <sub>total</sub>	P <sub>assimilável</sub>	K
	> 2 mm	0,84 - 2	0,3 – 0,84	< 0,3			
Basalto	0	0	28,24	71,04	13	0,11	5

**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.

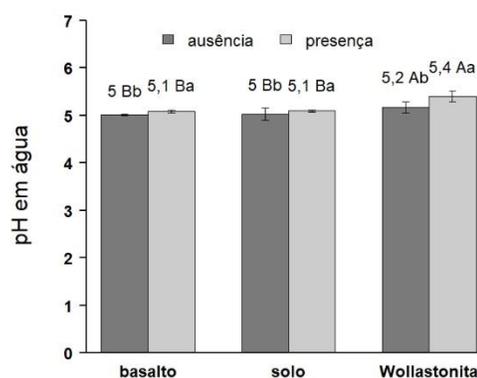
Considerando os resultados do ensaio granulométrico, o material foi classificado como pó (BRASIL; 2016), pois a maior quantidade passou pelas peneiras granulométricas de tamanhos > 2 mm, 0,84 a 2 mm, 0,3 a 0,83 e reteve em < 0,3 mm. Além disso, foram obtidos valores de Silício Total, Fósforo Assimilável e Potássio, sendo 13, 0,11 e 5%, respectivamente.

### Argiloso



**Figura 4.** pH em água sobre interação tipos de pó em dose de 200 kg.ha<sup>-1</sup> vs ausência/presença de associação de fungos de solo *Trichoderma* e *Paecilomyces* em solo argiloso.

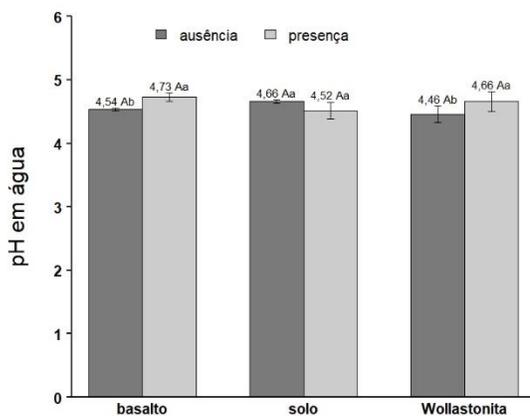
**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.



**Figura 5.** pH em água sobre interação tipos de pó em dose de 400 kg.ha<sup>-1</sup> vs ausência/presença de associação fungos de solo *Trichoderma* e *Paecilomyces* em solo argiloso.

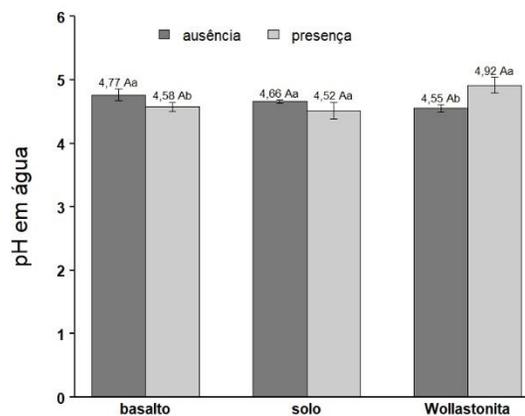
**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.

### Arenoso



**Figura 6.** pH em água sobre interação de tipos de pó em dose de 200 kg.ha<sup>-1</sup> vs ausência/presença de fungos de solo *Trichoderma* e *Paecilomyces* em solo arenoso.

**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.



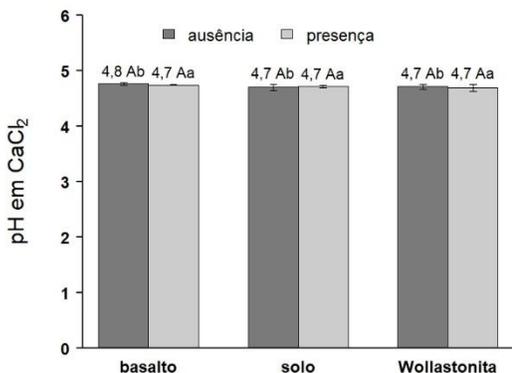
**Figura 7.** pH em água sobre interação tipos de pó em dose de 400 kg.ha<sup>-1</sup> vs ausência/presença de associação de fungos de solo *Trichoderma* e *Paecilomyces* em solo arenoso.

**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.

Com base nos resultados sobre pH em água para o solo de textura argilosa, na dose de 200 kg.ha<sup>-1</sup> tem-se que entre os tipos de pó basalto e Wollastonita em relação ao solo não houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott, somente para presença de fungos de solo, pois a sua adição proporcionou aumento na escala de pH do solo. Já na dose de 400 kg.ha<sup>-1</sup> houve aumento de pH somente na presença de Wollastonita e microrganismos. Para os resultados referentes a pH em água em solo arenoso, tanto na dose de 200, quanto de 400 kg.ha<sup>-1</sup> de pó de basalto, foi possível observar que a adição do pó e da Wollastonita ao solo não promoveu aumento e/ou redução desta variável, não sendo significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott. Em relação aos de microrganismos, somente em tratamentos com adição do pó de basalto houve elevação de pH em 200 e 400 kg.ha<sup>-1</sup>, e com Wollastonita em 400 kg.ha<sup>-1</sup> na presença dos microrganismos, fato ocorrido inversamente ao esperado uma vez que eles produzem ácidos orgânicos que poderiam reduzir a escala de pH (RAMOS; 2016). A elevação promovida pelo

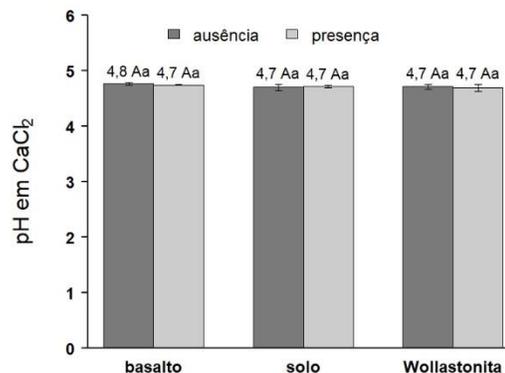
basalto também foi observada em trabalho desenvolvido por Silveira (2016), corroborando o fato de o pó de rocha poder ser uma possibilidade também de condicionador, além de disponibilizar nutrientes.

### Argiloso



**Figura 8.** pH em cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) sobre interação tipos de pó em dose de 200  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  vs ausência/presença de associação de fungos de solo *Trichoderma* e *Paecilomyces* em solo argiloso.

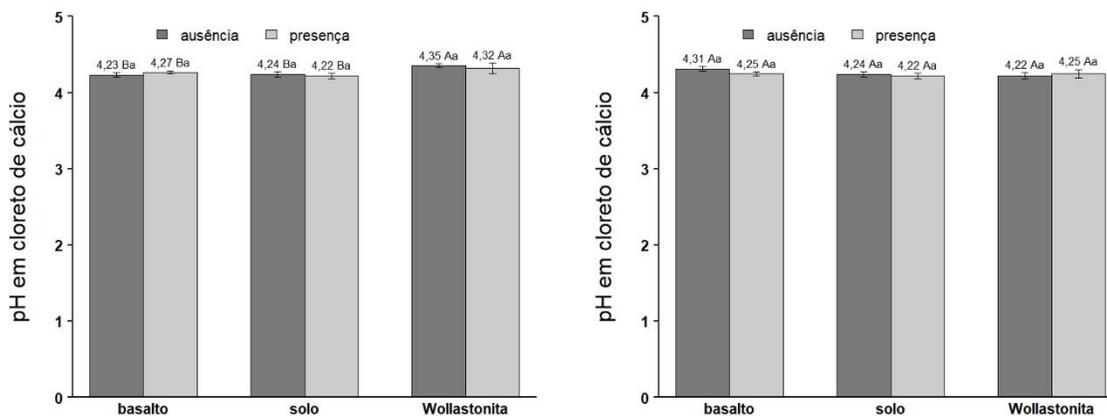
**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.



**Figura 9.** pH em cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) sobre interação tipos de pó em dose de 400  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  vs ausência/presença de associação de fungos de solo *Trichoderma* e *Paecilomyces* em solo argiloso.

**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.

### Arenoso



**Figura 10.** pH em cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>) sobre interação de tipos de pó em dose de 200 kg.ha<sup>-1</sup> vs ausência/presença de fungos de solo *Trichoderma* e *Paecilomyces* em solo arenoso.

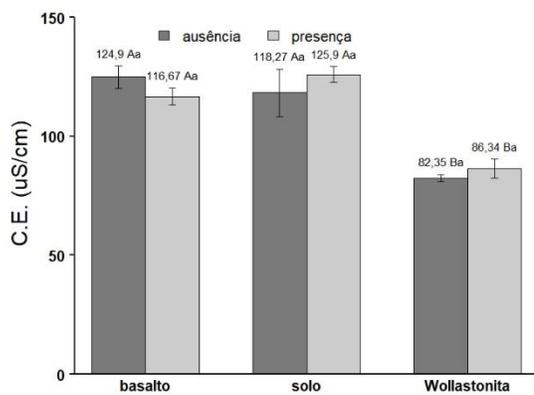
**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.

**Figura 11.** pH em cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>) sobre interação tipos de pó em dose de 400 kg.ha<sup>-1</sup> vs ausência/presença de associação de fungos de solo *Trichoderma* e *Paecilomyces* em solo arenoso.

**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.

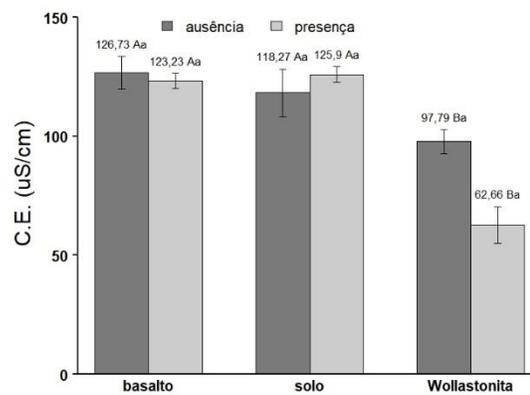
Diante dos resultados para pH em cloreto de cálcio no solo argiloso, tem-se que foi significativo somente a adição de microrganismos ao solo, uma vez que os tipos de pó não proporcionaram elevação ou redução do pH na dose de 200 kg.ha<sup>-1</sup>. Na dose de 400 kg.ha<sup>-1</sup>, o pH do solo em cloreto de cálcio não foi significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott em relação ao tipo de pó e ausência/presença de fungos de solo *Trichoderma* e *Paecilomyces*. Já no solo arenoso, para dose de 200 kg.ha<sup>-1</sup> de pó de basalto, não houve alteração da variável estatisticamente em relação a adição de pó de basalto, somente aumento de pH por meio da Wollastonita, da qual foi alterada em condição de ausência e presença de fungos de solo, demonstrando sua capacidade de elevar a escala independentemente. Já para dose de 400 kg.ha<sup>-1</sup> não houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott para variável pH em CaCl<sub>2</sub>. Os valores de pH se mantiveram em faixa semelhante ao trabalho desenvolvido por Fonseca et al. (2010), sendo ele entre 4 e 5 para as mesmas doses do presente estudo para pó de basalto.

### Argiloso



**Figura 12.** CE ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}$ ) sobre interação tipos de pó em dose de  $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  vs ausência/presença de associação de fungos de solo *Trichoderma* e *Paecilomyces* em solo argiloso.

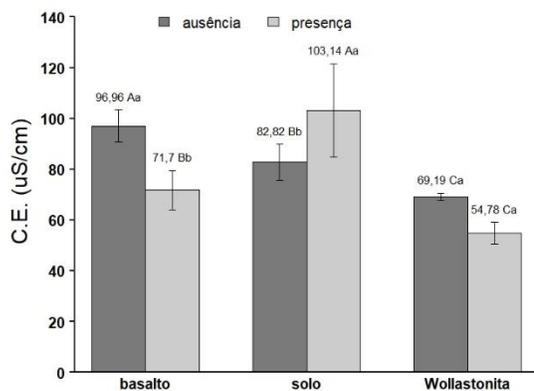
**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.



**Figura 13.** CE ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}$ ) sobre interação tipos de pó em dose de  $400 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  vs ausência/presença de associação fungos de solo *Trichoderma* e *Paecilomyces* em solo argiloso.

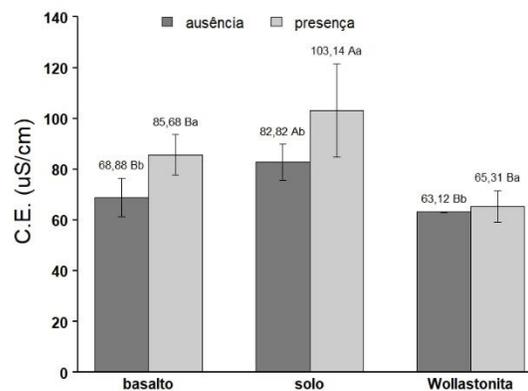
**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.

### Arenoso



**Figura 14.** CE ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}$ ) sobre interação de tipos de pó em dose de  $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  vs ausência/presença de fungos de solo *Trichoderma* e *Paecilomyces* em solo arenoso.

**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.



**Figura 15.** CE ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}$ ) sobre interação tipos de pó em dose de  $400 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  vs ausência/presença de associação de fungos de solo *Trichoderma* e *Paecilomyces* em solo arenoso.

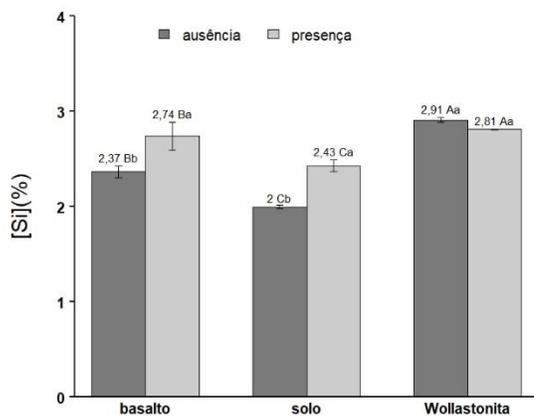
**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.

Em relação a condutividade elétrica (CE), observando os gráficos de barras, tem se que no solo argiloso, tanto na dose de  $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , quanto de  $400 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de pó de basalto, a adição do pó ao solo não influenciou significativamente o comportamento da variável, o que não ocorreu com a Wollastonita, uma vez que com sua aplicação, houve redução da condutividade elétrica do solo. Já em consideração a ausência ou presença dos fungos de solo, não houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott, ou seja, a adição dos mesmos não interferiu na condutividade elétrica.

No solo arenoso houve comportamento distinto do exposto anteriormente. Na dose de  $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  a aplicação de pó de basalto na ausência de microrganismos elevou a condutividade elétrica, e reduziu significativamente quando adicionado os fungos em relação ao solo. A Wollastonita mais uma vez reduziu a condutividade elétrica do solo e a presença ou ausência dos fungos não foi significativo. Já na dose  $400 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  houve comportamento inverso, uma vez a aplicação do pó de basalto fez com a condutividade elétrica reduzisse em

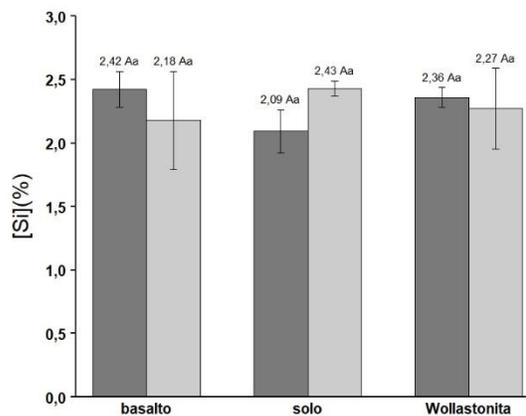
relação ao solo e a adição de microrganismos a elevou significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott. A Wollastonita continuou reduzindo a CE do solo.

### Argiloso



**Figura 16.** Concentração de Si em % sobre interação tipos de pó em dose de 200 kg.ha<sup>-1</sup> vs ausência/presença de associação de fungos de solo *Trichoderma* e *Paecilomyces* em solo argiloso.

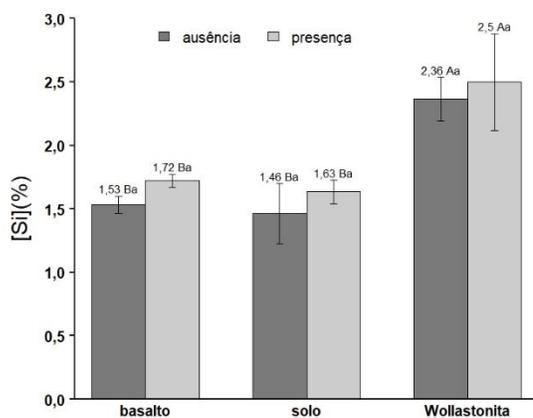
**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.



**Figura 17.** Concentração de Si em % sobre interação tipos de pó em dose de 400 kg.ha<sup>-1</sup> vs ausência/presença de associação fungos de solo *Trichoderma* e *Paecilomyces* em solo argiloso.

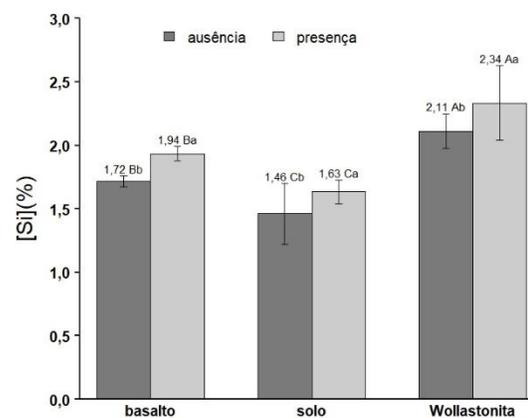
**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.

### Arenoso



**Figura 18.** Concentração de Si em % sobre interação de tipos de pó em dose de 200 kg.ha<sup>-1</sup> vs ausência/presença de fungos de solo *Trichoderma* e *Paecilomyces* em solo arenoso.

**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.



**Figura 19.** Concentração de Si em % sobre interação tipos de pó em dose de 400 kg.ha<sup>-1</sup> vs ausência/presença de associação de fungos de solo *Trichoderma* e *Paecilomyces* em solo arenoso.

**Fonte:** Elaborado por Eduarda de Vasconcelos Silva.

Diante dos resultados obtidos sobre a concentração de silício ([Si]), tem-se que na dose de 200 kg.ha<sup>-1</sup> de pó de basalto em solo argiloso, a [Si] aumentou significativamente tanto com a adição de pó de basalto, quanto de Wollastonita, em relação a testemunha. O aumento proporcionado pelo basalto coincide com trabalho exposto por Ribeiro et al. (2011) do qual disponibilizou silício via solo, elevando a concentração desse elemento. Também se observou que a adição dos microrganismos possibilitou elevação dessa concentração com o pó de rocha (aumento de 0,37%) e a testemunha (0,43%), podendo ser explicada como uma biodisponibilização induzida pela solubilização do nutriente na fonte pelos fungos. Na dose de 400 kg.ha<sup>-1</sup> não houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott para a variável analisada.

No solo arenoso, na dose 200 kg.ha<sup>-1</sup> de pó de basalto, não houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott Knott, tanto para adição de pó de basalto, quanto ausência/presença de microrganismos, aumentando apenas a [Si] com a adição de Wollastonita. A Wollastonita utilizada é um silicato de cálcio com 16% de silício

total, sendo a disponibilidade coerente com trabalho realizado por Moraes et al. (2018) onde observou-se que a aplicação via solo aumenta os teores do nutriente. Já na dose de 400 kg.ha<sup>-1</sup>, a adição de pó de basalto e Wollastonita proporcionaram aumento da [Si], assim como a presença de fungos de solo *Trichoderma* e *Paecilomyces*, em relação ao solo.

## 6. CONCLUSÕES

Conclui-se, primeiramente, que o pó de rocha é uma alternativa ao uso de fontes nutricionais aplicáveis no solo. Além disso, em contato com os fungos *Trichoderma spp.* e *Paecilomyces spp.* ele demonstrou ser eficiente quanto a disponibilização de silício.

Os fungos *Trichoderma spp.* e *Paecilomyces spp.* proporcionaram resultados satisfatórios quanto a solubilização do elemento silício, principalmente quanto em contato com o pó de rocha basáltica, elevando a concentração nos ensaios *in vitro* e de incubação.

Apesar da concentração de silício obtida nos ensaios, sugere-se que sejam realizados novos ensaios a fim de verificar a ocorrência constante dos resultados, além de produzir ensaios que demonstrem os resultados em culturas, principalmente de ciclos mais curtos, utilizando o pó como fonte nutricional complementar.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZIZAH, Hilya; RAHAJENG, Saptini M.; JATMIKO, Yoga D. **Isolation and Screening of Phosphate and Potassium Solubilizing Endophytic Bacteria in Maize (*Zea mays* L.)**. The Journal of Experimental Life Science, v. 10, n. 3, p. 165-170, 2021.

BETTIOL, W. et al. **Produtos comerciais à base de agentes de biocontrole de doenças de plantas**. Embrapa Meio Ambiente-Documentos (INFOTECA-E), 2012.

BOZZA, Angela et al. Isolamento de fungos associados a grãos de café cv. Iapar 59 de origem de solo e árvore em diferentes tempos de colheita. **Food Science and Technology**, v. 29, p. 529-534, 2009.

BRASIL. **Instrução normativa nº 5, de 10 de março de 2016**. [Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura], 2016.

BRUGNERA; R. L. Avaliação do uso do pó de rocha basáltica como fertilizante alternativo na cultura da rúcula. **Trabalho de conclusão de curso**. Faculdade Dinâmica das Cataratas. Foz do Iguaçu, Paraná. 2012.

CANAL AGRO. **Microrganismos: grandes aliados na agricultura**. Agricultura Moderna. 2018. Disponível em: < <https://www.agriculturamoderna.com.br/agricultura-moderna/microrganismos-grandes-aliadosda-agricultura/>> Acesso em: 12 de fev. 2020.

CARMO; Davi Lopes. **Condutividade elétrica e sua relação com a fertilidade de solos tratados com corretivos e resíduos orgânicos**. 2014, 83 f. Tese (Doutado em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas) – Programa de Pós Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

CHAGAS, Lillian França Borges et al. Trichoderma na promoção do crescimento vegetal. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 3, p. 97-102, 2017.

DE CAMARGO, Monica Sartori et al. **Extratores de silício solúvel em solos: influência do calcário e fósforo**. Bioscience Journal, v. 21, n. 2, 2005.

DA SILVEIRA TOSCANI, Rafael Gomes; 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.

DE CAMARGO, Monica Sartori et al. **Extratores de silício solúvel em solos: influência do calcário e fósforo**. Bioscience Journal, v. 21, n. 2, 2005.

DE MORAES, Emmerson Rodrigues et al. **Nutrientes no solo e produção de quiabo conforme doses de silicato de cálcio e magnésio**. Revista de Agricultura Neotropical, v. 5, n. 1, p. 60- 65, 2018.

DE LIMA FILHO, Oscar Fontão. O silício em sistemas intensivos de produção agropecuária. **Embrapa Agropecuária Oeste-Documentos (INFOTECA-E)**, 2006.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências** São Paulo, SP: Thomson Pioneira, 2006. 706 p.

- EPSTEIN, Emanuel. **A anomalia do silício na biologia vegetal**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 91, n. 1, pág. 11-17, 1994.
- EUTRÓPIO, Gêssica Rogaleski et al. **Revisão bibliográfica: Resultados promissores com o uso de pó de basalto em solos e nutrição de plantas**. 2021.
- FERNANDES, A. L. T. et al. **Utilização do silício no controle de pragas e doenças do cafeeiro irrigado**. FAZU em Revista, n. 06, 2010.
- FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto; SILVA JÚNIOR, José Alexandre. **Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)**. Revista Política Hoje, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.
- FONSECA, J. A. et al. **Atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico típico afetados pela aplicação de pó de basalto**. 2010.
- FRASCÁ, M. H. B. O. Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas. In: VIDAL, F.V.; AZEVEDO, H.C.A.; CASTRO, N. F. **TECNOLOGIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS: PESQUISA, LAVRA E BENEFICIAMENTO**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. p 43 – 97.
- GOMES, E. A. et al. Potencial de microrganismos para solubilização de fosfatos de rocha. **Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2014.
- GONZÁLEZ, Leónides Castellanos; DE MELLO PRADO, Renato; CAMPOS, Cid Naudi Silva. **El silicio en la resistencia de los cultivos a las plagas agrícolas**. Cultivos Tropicales, v. 36, p. 16- 24, 2015.
- HU, Lin et al. **Earthworm gut bacteria increase silicon bioavailability and acquisition by maize**. Soil Biology and Biochemistry, v. 125, p. 215-221, 2018.
- KHATOUNIAN, C.C. **A reconstrução ecológica da agricultura**, Botucatu: Agroecológica, 2001.
- KLAIC, R. et al. **Biofertilizantes a partir do uso de fontes de nutrientes de baixa reatividade e microrganismos solubilizadores**. In: Embrapa Instrumentação-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4., 2019, São Carlos, SP. Anais... São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2019. p. 764. Editores: Paulino Ribeiro Villas-Boas, Maria Alice Martins, Débora Marcondes Bastos Pereira Milori, Ladislau Martin Neto. IV SIAGRO., 2019.

KOPPERT. **Trichodermil SC 1306**. 2007. Disponível em: [https://www.koppert.com.br/content/brasil/Documents/Trichodermil/Trichodermil\\_Bula.pdf](https://www.koppert.com.br/content/brasil/Documents/Trichodermil/Trichodermil_Bula.pdf). Acesso em: 18 de fev. de 2022.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício no solo, planta e fertilizante**. GPSi – ICIAG – UFU. Uberlândia, 2004. Boletim técnico; 02. 50f. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: MAPA, 2017.

LEONEL, R. S.; RIZZO, A. C. L.; CARA, D. V. C. **Estudo de algumas estratégias para a solubilização biológica de silício e potássio a partir de glauconito**. 2014.

MANFIO, G. P. **Avaliação do estado atual do conhecimento sobre a diversidade microbiana no Brasil. Microbiota (versão preliminar)**. Projeto Estratégia Nacional de Diversidade Biológica (BRA 97 G 31) MMA/GEF/PNUD. Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP, 80p, 2003.

MENDES, Gilberto de Oliveira et al. **Rock phosphate solubilization by abiotic and fungal- produced oxalic acid: reaction parameters and bioleaching potential**. Microbial Biotechnology, 2021.

MENEGALE, ML de C.; CASTRO, Gustavo Spadotti Amaral; MANCUSO, M. A. C. **Silício: interação com o sistema solo-planta**. Embrapa Amapá-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2015.

MEYER, Maurício Conrado; MAZARO, Sérgio Miguel; DA SILVA, Juliano Cesar. Trichoderma: uso na agricultura. **Embrapa Soja-Livro científico (Alice)**, 2019.

MOLIN, G. D. **Quase 80% da produção agrícola brasileira é fertilizada por estrangeiros**. Gazeta do povo. 2018. Disponível em: Acesso em: 16 jan. 2020.

MORENO-GAVÍRA, Alejandro et al. **Paecilomyces e sua importância no controle biológico de pragas e doenças agrícolas**. Plantas, v. 9, n. 12, pág. 1746, 2020.

OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, A. C. **Acumulação de silício em arroz em diferentes condições de pH da rizosfera**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, n. 4, p. 685-690, 2007.

PINTO, Z. V.; LUCON, C. M. M.; BETTIOL, W. Controle de qualidade de produtos biológicos à base de Trichoderma. **Trichoderma: Uso Na Agricultura**, v. 1, p. 275-295, 2019.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016.

RAMOS, TC D.'A. de A. et al. Biossolubilização de rochas silicáticas e produção de ácidos orgânicos in vitro por fungos filamentosos isolados de solos ferruginosos de Minas Gerais. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Milho e sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar: anais**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016., 2016.

RIBEIRO, Rafael Vasconcelos et al. **O alto teor de silício no solo inibe o crescimento radicular de cafeeiros sem afetar as trocas gasosas foliares**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, p. 939-948, 2011.

SOLABOR. Disponível em: <https://www.splabor.com.br/blog/meio-de-cultura-2/agar-batata-introducao-principios-preparo/> Acesso em: 16/11/2022.

SILVA, L. F. S.; CARDOSO, T. M.; FONTANETTI, A. **Saúde do solo**. Universidade Federal de São Carlos – Araras. 2021. 16 p.

SILVEIRA, Rafael Toscani Gomes da. **Uso de rochagem pela mistura de pó de basalto e rocha fosfatada como fertilizante natural de solos tropicais lixiviados**. 2016.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. Brasília, DF: **EMBRAPA**. 3 ed. 574 p. 2017.

WANG, M.; DOND, S.; SUN, Y.; SHEN, Q.; GUO, S. **Role of silicon on plant–pathogen interactions**. Frontiers in plant science, v. 8, p. 701, 2017.

WANG, Q. et al. **Improving bio-desilication of a high silica bauxite by two highly effective silica-solubilizing bacteria**. Minerals Engineering, v. 128, p. 179-186, 2018.