



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**BIOINDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO RIZOSFÉRICO DO  
MILHO CULTIVADO COM RESÍDUOS DE MINERAÇÃO E ADITIVOS  
BIOLÓGICOS**

**ANNY KAROLINNY DE FRANÇA SOARES**

**POMBAL - PB  
2022**

**ANNY KAROLINNY DE FRANÇA SOARES**

**BIOINDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO RIZOSFÉRICO DO  
MILHO CULTIVADO COM RESÍDUOS DE MINERAÇÃO E ADITIVOS  
BIOLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

**Orientadora:** Prof. D.Sc. Adriana Silva Lima

**POMBAL – PB  
2022**

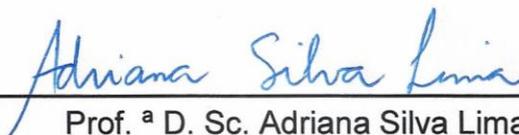
**ANNY KAROLINNY DE FRANÇA SOARES**

**BIOINDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO RIZOSFÉRICO DO  
MILHO CULTIVADO COM RESÍDUOS DE MINERAÇÃO E ADITIVOS  
BIOLÓGICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Unidade Acadêmica de  
Ciências Agrárias do Centro de Ciências e  
Tecnologia Agroalimentar da Universidade  
Federal de Campina Grande, como requisito  
para a obtenção do grau de Bacharel em  
Agronomia.

Aprovado em: 19/08/2022

**BANCA EXAMINADORA**



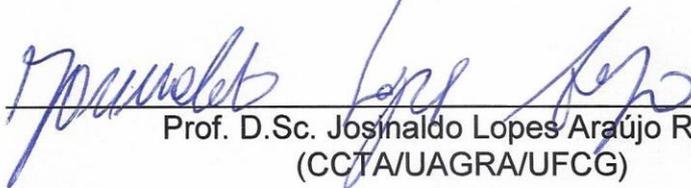
---

Prof.ª D. Sc. Adriana Silva Lima  
(CCTA/UAGRA/UFCG)  
(Orientadora)



---

Prof. D.Sc. Kelson Pinheiro Lopes  
(CCTA/UAGRA/UFCG)  
(Examinador)



---

Prof. D.Sc. Josinaldo Lopes Araújo Rocha  
(CCTA/UAGRA/UFCG)  
(Examinador)

**POMBAL - PB  
2022**

S676b Soares, Anny Karolinny de França.

Bioindicadores da qualidade do solo rizosférico do milho cultivado com resíduos de mineração e aditivos biológicos / Anny Karolinny de França Soares. – Pombal, 2022.

52 f. il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2022.

“Orientação: Prof. Dr. Adriana Silva Lima.”

Referências.

1. Bioinoculantes. 2. Bioativadores. 3. Rizosfera do milho. I. Lima, Adriana Silva. II. Título.

CDU 631.895(043)

*Aos meus pais Antônio Soares e Iraide França, e a minha irmã Arianny Soares por todo amor e incentivo.*

*Dedico.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por minha vida, por me proteger, me iluminar e me fortalecer sempre.

Aos meus pais Antônio Soares de Lima e Iraide França da Silva Soares por todo amor, cuidado, esforço, confiança e por estarem presentes e me apoiando em todos os momentos da minha vida.

A minha irmã Arianny Cristinny de França Soares por todo amor, companheirismo, por ser abrigo e por acreditar em mim.

As minhas tias e primas por todo amor, força e pelas orações durante a minha graduação.

Ao meu namorado, Matheus do Nascimento Sousa por todo amor, parceria, incentivo e por estar comigo nos momentos em que mais preciso.

A minha orientadora, Adriana Silva Lima por todos os ensinamentos, conselhos, confiança, oportunidade e por toda disponibilidade.

A Kilson Pinheiro Lopes por ter me acolhido no PET Agronomia e por todos os ensinamentos e contribuições durante a graduação e neste trabalho.

A Josinaldo Lopes Araújo Rocha por ter sido prestativo quando solicitei ajuda e por todos os ensinamentos e contribuições durante a graduação e neste trabalho.

A todos os meus professores de graduação que contribuíram de forma significativa para a minha formação.

Ao Programa de Educação Tutorial (PET) pelo aprendizado adquirido.

Ao recurso enviado pelo FNDE/MEC, pois sem esse não seria possível minha permanência e conclusão do curso.

Aos amigos que conquistei durante a graduação, em especial, Victor Martins, Maria Izabel Leite, Wesley Souza, Larissa Macêdo, Tamires Lima, Maiza Brito, Júnior Lins, Fábio Júnior, Patrick Lima, Juliana Alves, Paloma Domingues, Gleisson Albuquerque, Ravel Chaves, Elizineudo Nogueira, Francieleide Lima e Gabriel Nunes. Todos vocês são muito importantes para mim e foram essenciais para realização desse sonho.

SOARES, A. K. de F. **Bioindicadores da qualidade do solo rizosférico de milho cultivado com resíduos de mineração e aditivos biológicos**. 2022. 52 f. Monografia (Graduação em Agronomia) — Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2022.

## RESUMO

A qualidade do solo é mensurada a partir da análise conjunta de seus atributos físicos, químicos e biológicos; e pode ser influenciada negativamente pelo uso intensivo e manejo inadequado. Devido sua alta sensibilidade, os bioindicadores mostram-se bastante eficientes na determinação da qualidade do solo. Os resíduos de mineração de vermiculita são bastante utilizados na agricultura por apresentarem nutrientes essenciais para as plantas em sua composição. No entanto, a vermiculita dispõe de baixa solubilidade fazendo-se necessário o uso de aditivos biológicos. Visto isso, objetivou-se avaliar a influência de formulações à base de resíduos de mineração de vermiculita e aditivos biológicos sobre alguns bioindicadores da qualidade do solo. O experimento foi desenvolvido em delineamento inteiramente casualizado, com sete tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos (T) compreenderam dois controles: T1= sem aplicação de fertilizante e T2= adubação convencional com fontes solúveis e, cinco formulações à base de resíduos de mineração de vermiculita: T3= formulação 1 (resíduo de vermiculita); T4= formulação 2 (resíduo de vermiculita + esterco bovino); T5= formulação 3 (resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis*); T6= formulação 4 (resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus amyloliquefaciens*); T7= formulação 5 (resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis* + *Bacillus amyloliquefaciens*). Após os 40 dias de cultivo do milho, foram avaliados no solo rizosférico a ocorrência e densidade de microrganismos, respiração edáfica, carbono da biomassa e quociente metabólico ( $qCO_2$ ). A avaliação dos microrganismos da rizosfera foi realizada pelo método do plaqueamento por gotas por inoculação de diluição seriada do solo, o carbono da biomassa microbiana foi determinado pelo método irradiação/extração, a respiração microbiana do solo foi mensurada pela captura do C-CO<sub>2</sub> produzido no solo pelo NaOH em ambiente hermeticamente fechado, enquanto o quociente metabólico foi calculado pela razão entre a taxa de respiração e o carbono de biomassa. Detectou-se a ocorrência e a densidade de microrganismos em todas as amostras de solo analisadas, obtendo destaque os actinomicetos e as bactérias. Os tratamentos com aditivos biológicos foram os que apresentaram os melhores resultados para respiração, o T2 proporcionou os maiores valores para carbono da biomassa microbiana e o T6 aumentou o  $qCO_2$ . Portanto, os tratamentos com resíduos de vermiculita, esterco e aditivos biológicos exerceram influência positiva sobre os bioindicadores da rizosfera do milho.

**Palavras-chave:** Bioinoculantes, Microrganismos, Bioativadores

SOARES, A. K. de F. **Bioindicators of rhizospheric soil quality of corn cultivated with mining residues and biological additives**. 2022. 52 f. Monograph (Graduate in Agronomy) — Federal University of Campina Grande, Pombal, 2022.

## ABSTRACT

Soil quality is measured from the joint analysis of its physical, chemical, and biological attributes; and can be negatively influenced by intensive use and inappropriate management. Due to their high sensitivity, bioindicators are shown to be quite efficient in determining soil quality. Vermiculite mining residues are widely used in agriculture because they contain essential nutrients for plants in their composition. However, vermiculite has low solubility, making it necessary to use biological additives. In view of this, the objective was to evaluate the influence of formulations based on vermiculite mining residues and biological additives on some bioindicators of soil quality. The experiment was carried out in a completely randomized design, with seven treatments and four replications. The treatments (T) comprised two controls: T1= no fertilizer application and T2= conventional fertilization with soluble sources and five formulations based on vermiculite mining residues: T3= formulation 1 (vermiculite residue); T4= formulation 2 (vermiculite residue + bovine manure); T5= formulation 3 (vermiculite residue + bovine manure + *Bacillus subtilis*); T6= formulation 4 (vermiculite residue + bovine manure + *Bacillus amyloliquefaciens*); T7= formulation 5 (vermiculite residue + bovine manure + *Bacillus subtilis* + *Bacillus amyloliquefaciens*). After 40 days of corn cultivation, the occurrence and density of microorganisms, edaphic respiration, biomass carbon and metabolic quotient ( $qCO_2$ ) were evaluated in the rhizospheric soil. The evaluation of the rhizosphere microorganisms was carried out by the method of drip plating by inoculation of serial dilution of the soil, the carbon of the microbial biomass was determined by the irradiation/extraction method, the microbial respiration of the soil was measured by the capture of the C-CO<sub>2</sub> produced in the soil by NaOH in a hermetically closed environment, while the metabolic quotient was calculated by the ratio between the respiration rate and the biomass carbon. The occurrence and density of microorganisms were detected in all analyzed soil samples, highlighting actinomycetes and bacteria. Treatments with biological additives showed the best results for respiration, T2 provided the highest values for microbial biomass carbon and T6 increased  $qCO_2$ . Therefore, treatments with vermiculite residues, manure and biological additives had a positive influence on corn rhizosphere bioindicators.

**Key words:** Bioinoculants, Microorganisms, Bioactivators.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Processo de diluição e inoculação Pipetando a amostra de solo – A, Realizando as diluições — B, Inoculação no meio de cultura C.....	19
<b>Figura 2.</b>	Armazenamento das placas na BOD .....	19
<b>Figura 3.</b>	Contagem dos microrganismos .....	20
<b>Figura 4.</b>	Processo de incubação. Recipientes plásticos postos em local fechado e no escuro para incubação — A, Armário utilizado no processo de incubação — B.....	21
<b>Figura 5.</b>	Titulação com solução de HCL 0,25 mol L <sup>-1</sup> .....	22
<b>Figura 6.</b>	Agitação das amostras de solo irradiadas e não irradiadas + solução extratora .....	23
<b>Figura 7.</b>	Processo de filtragem do sobrenadante .....	23
<b>Figura 8.</b>	Caracterização do ponto de viragem.....	24
<b>Figura 9.</b>	Logaritmo de Unidades formadoras de colônias (UFC) de células de bactérias, em meio de cultura ágar nutriente, de solo da rizosfera de milho cultivado em ambiente telado e com resíduos de mineração e aditivos biológicos, sendo dois a título de controle: T1= sem a aplicação de fertilizante e T2= adubação convencional com fontes solúveis e, cinco formulações à base de resíduo de mineração de vermiculita: T3= resíduo de vermiculita; T4= resíduo de vermiculita + esterco bovino; T5= resíduo de vermiculita + esterco bovino + <i>Bacillus subtilis</i> ; T6= resíduo de vermiculita + esterco bovino + <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> ; T7= resíduo de vermiculita + esterco bovino + <i>Bacillus subtilis</i> + <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , Pombal — PB,2022 .....	25
<b>Figura 10.</b>	Logaritmo de Unidades formadoras de colônias (UFC) de células de fungos em meio de cultura BDA, de solo da rizosfera de milho cultivado em ambiente telado e com resíduos de mineração e aditivos biológicos, sendo dois a título de controle: T1= sem a aplicação de fertilizante e T2= adubação convencional com fontes solúveis e, cinco formulações à base de resíduo de mineração de vermiculita: T3= resíduo de vermiculita; T4= resíduo de vermiculita + esterco bovino; T5= resíduo de vermiculita + esterco bovino + <i>Bacillus subtilis</i> ; T6= resíduo de vermiculita + esterco bovino + <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> ; T7= resíduo de vermiculita + esterco bovino + <i>Bacillus subtilis</i> + <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , Pombal — PB, 2022 .....	27
<b>Figura 11.</b>	Logaritmo de Unidades formadoras de colônias (UFC) de células de actinomicetos em meio de cultura BDA acrescido de amido, de solo da rizosfera de milho cultivado em ambiente telado e com resíduos de mineração e aditivos biológicos, sendo dois a título de controle: T1= sem a aplicação de fertilizante e T2= adubação convencional com fontes solúveis e, cinco formulações à base de resíduo de mineração de vermiculita: T3= resíduo de vermiculita; T4= resíduo de vermiculita + esterco bovino; T5= resíduo de vermiculita + esterco bovino + <i>Bacillus subtilis</i> ; T6= resíduo de vermiculita + esterco bovino + <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> ; T7= resíduo de vermiculita + esterco bovino + <i>Bacillus subtilis</i> + <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , Pombal - PB, 2022 .....	28

- Figura 12.** Logaritmo de Unidades formadoras de colônias (UFC) de células de bactérias, fungos e actinomicetos, em meio de cultura específicos, de solo da rizosfera de milho cultivado em ambiente telado e com resíduos de mineração e aditivos biológicos, sendo dois a título de controle: T1= sem a aplicação de fertilizante e T2= adubação convencional com fontes solúveis e, cinco formulações à base de resíduo de mineração de vermiculita: T3= resíduo de vermiculita; T4= resíduo de vermiculita + esterco bovino; T5= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis*; T6= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus amyloliquefaciens*; T7= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis* + *Bacillus amyloliquefaciens*, Pombal — PB, 2022 ..... 30
- Figura 13.** Respiração edáfica (mg C-CO<sub>2</sub>.100cm<sup>3</sup> SOLO) amostras de solo da rizosfera de milho cultivado em ambiente telado e com resíduos de mineração e aditivos biológicos, sendo dois a título de controle: T1= sem a aplicação de fertilizante e T2= adubação convencional com fontes solúveis e, cinco formulações à base de resíduo de mineração de vermiculita: T3= resíduo de vermiculita; T4= resíduo de vermiculita + esterco bovino; T5= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis*; T6= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus amyloliquefaciens*; T7= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis* + *Bacillus amyloliquefaciens*, POMBAL — PB, 2022 ..... 33
- Figura 14.** Carbono da biomassa microbiana (µg C g<sup>-1</sup> solo), amostras de solo da rizosfera de milho cultivado em ambiente telado e com resíduos de mineração e aditivos biológicos, sendo dois a título de controle: T1= sem a aplicação de fertilizante e T2= adubação convencional com fontes solúveis e, cinco formulações à base de resíduo de mineração de vermiculita: T3= resíduo de vermiculita; T4= resíduo de vermiculita + esterco bovino; T5= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis*; T6= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus amyloliquefaciens*; T7= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis* + *Bacillus amyloliquefaciens*, Pombal — PB, 2022 ..... 34
- Figura 15.** Quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) (µg C-CO<sub>2</sub>. µg Cmic<sup>-1</sup>), amostras de solo da rizosfera de milho cultivado em ambiente telado e com resíduos de mineração e aditivos biológicos, sendo dois a título de controle: T1= sem a aplicação de fertilizante e T2= adubação convencional com fontes solúveis e, cinco formulações à base de resíduo de mineração de vermiculita: T3= resíduo de vermiculita; T4= resíduo de vermiculita + esterco bovino; T5= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis*; T6= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus amyloliquefaciens*; T7= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis* + *Bacillus amyloliquefaciens*, Pombal — PB, 2022 .....35

## LISTA DE TABELA

<b>Tabela 1.</b>	Análise química do resíduo de vermiculita e esterco bovino .....	13
<b>Tabela 2.</b>	Descrição dos tratamentos .....	14
<b>Tabela 3.</b>	Resumos das análises de variância das fontes de variação tratamentos, microrganismos ocorrência de microrganismos para a variável de densidade obtida por Log UFC de microrganismos (actinomicetos, bactérias e fungos) e sua interação.....	29
<b>Tabela 4.</b>	Resumos das análises de variância para as variáveis, respiração microbiana do solo, carbono da biomassa e quociente metabólico .....	32

## Sumário

<b>RESUMO</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>3</b>
<b>LISTA DE TABELA</b> .....	<b>5</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>9</b>
2.1 Bioindicadores da qualidade do solo .....	9
2.2 <i>Zea mays</i> L .....	9
2.3 Resíduos de vermiculita .....	10
2.4 Aditivos biológicos .....	11
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>13</b>
3.1 Local do estudo .....	13
3.2 Obtenção do resíduo de mineração .....	13
3.3 Obtenção do solo .....	14
3.4 Instalação do experimento .....	14
3.5 Coleta do solo .....	16
3.6 Determinação dos atributos biológicos .....	16
3.6.1 Ocorrência e densidade .....	17
3.6.2 Respiração edáfica .....	20
3.6.3 Carbono da biomassa microbiana .....	22
3.7 Análises estatísticas .....	24
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>25</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural de grande importância, fornece sustentação ao habitat vegetal e animal atuando, portanto, como base para o desenvolvimento e funcionamento dos ecossistemas (SILVA et al., 2020). De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, o solo é:

Uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contêm matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas (SIBICS, 2018, p. 27).

A conservação do solo contribui diretamente com a preservação da biodiversidade, além de promover a sustentabilidade das culturas e assegurar a disponibilidade de alimentos para população (MENDES et al., 2018) por isso, manter sua qualidade física, química e biológica é fundamental.

A qualidade do solo é determinada a partir da análise conjunta de seus indicadores físicos, químicos e biológicos, além disso, pode ser alterada conforme o manejo empregado e a intensidade de uso do mesmo. Dessa forma, avaliar e monitorar a qualidade do solo permite não só obter um diagnóstico da saúde do mesmo como também auxilia na escolha do tipo de manejo que deverá ser exercido visando uma maior sustentabilidade e menores perdas (BELOTTO et al., 2019; MIRANDA, 2018; SILVA et al., 2020).

Os indicadores físicos são capazes de transmitir informações relacionadas aos processos hidrológicos e ao equilíbrio do solo (LISBOA et al., 2016), os indicadores químicos contemplam sobre a fertilidade do solo (FREITAS et al., 2017). Enquanto aos indicadores biológicos são imprescindíveis na definição da necessidade da adoção de práticas para recuperação de áreas degradadas devido sua elevada sensibilidade ao manejo empregado no solo, além disso, a presença desses indicadores demonstra nos projetos de recuperação a capacidade de resiliência (FIDELIS et al., 2016).

A alta sensibilidade dos atributos biológicos faz deles importantes indicadores, sendo estes capazes de fiscalizar as atuais condições edáficas (SILVA et al., 2015).

A influência da atividade microbiana quanto à qualidade do solo ocorre devido os microrganismos operarem em inúmeros processos edáficos, bem como em funções do ecossistema, tornando-se essencial a avaliação biológica do solo (ANDRADE, 2021; BATISTA et al., 2018).

Sabendo da importância do manejo perante a manutenção ou não do equilíbrio de seus atributos, técnicas conhecidas não convencionais merecem ser contempladas, essencialmente quando trata daquelas em que se utilizam recursos que não possuem um propósito definido, mas que apresentam competência em virtude de sua disponibilidade (FERRAZ JÚNIOR, 2018). Visto isso, a utilização de resíduos de mineração é uma prática que se encaixa nesses requisitos e que fornece uma destinação correta e proveitosa desses recursos.

No Brasil, a atividade mineradora é fundamental no crescimento e desenvolvimento do país. No entanto, os resíduos gerados por essa atividade é um fator bastante preocupante, sendo estes associados a tragédias, como os rompimentos de barragem em Mariana-MG (em 2015) e em Brumadinho-MG (em 2019) em decorrência de sua má destinação. Infelizmente, a geração de resíduos é algo inerente a esta atividade tornando a adoção de alternativas, como o aproveitamento desses materiais, indispensáveis para impedir os riscos provocados pelo acúmulo desse material em barragens (RAMOS, 2021).

Esses acidentes recentes foram decisivos para que uma atenção maior fosse depositada quanto à determinação de uma finalidade adequada para esses resíduos. Portanto, o Decreto nº 9.406 de 12 de junho de 2018, que regulamenta o Código de Mineração, foi alterado e passou a incluir definições de aproveitamento de resíduos na legislação (BRASIL, 2018).

De acordo com Ugarte et al. (2008) a mineração de vermiculita no Brasil é considerada uma das mais importantes. Os resíduos desse mineral possuem nutrientes como o potássio, cálcio e magnésio em sua composição (SILVA et al., 2021b) apresentando, portanto, uma relevante potencialidade de uso na agricultura.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar os bioindicadores de qualidade da rizosfera de milho cultivado com resíduos de mineração e aditivos biológicos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Bioindicadores da qualidade do solo

Os indicadores biológicos são simbolizados por uma ampla diversidade de espécies, sendo essas responsáveis por efetuar diversas funções complexas no solo. São caracterizados como constituintes vivos e geralmente localizam-se na parte mais superior do solo. O estudo desses indicadores permite constatar mudanças ocasionadas pelo manejo exercido no solo sendo, portanto, de grande importância para compreender os processos ecológicos que ocorrem em áreas perturbadas ou que se encontra em recuperação (OLIVEIRA FILHO et al., 2014; SILVA et al., 2021a).

Os indicadores biológicos possuem maior sensibilidade quando comparado aos indicadores físicos e químicos, ou seja, tornam possível identificar mais rapidamente as alterações ocasionadas no solo, provocadas pelo seu uso e manejo. Isso ocorre devido esses indicadores operarem em processos bioquímicos significativos e por se referirem à parte ativa da matéria orgânica do solo (STÖCKER et al., 2017).

Dessa forma, esses bioindicadores apresentam grande importância e são essenciais para identificar as alterações propiciadas por práticas agrícolas sendo possível monitorar a partir deles as condições atuais do solo e posteriormente recomendar o manejo mais adequado (FERREIRA et al., 2017).

### 2.2 *Zea mays* L

O milho é uma espécie anual de grande importância agrícola pertencente à família Poaceae. Apresenta porte ereto e folhas alternadas, lanceoladas, lisas, com cerosidade e número variando de 10 a 25 por planta. O milho pode alcançar cerca de 2 a 3 m de altura e caracteriza-se como uma planta fotossinteticamente eficiente possuindo, portanto, uma alta capacidade de assimilação de energia solar, além disso, sua morfologia contribui com sua adaptação em diversos ambientes (MAGALHÃES; SOUZA, 2015; PINHO et al., 2017; YANG et al., 2019).

O Brasil ocupa a terceira posição de maior produtor mundial de milho, sendo esta cultura cultivada em todas as regiões deste país. Em destaque estão às regiões Centro-oeste e Sul que detém de aproximadamente 68% da área cultivada no Brasil (CONTINI et al., 2019; MÔRO; FRITSCHÉ-NETO, 2015).

De acordo com dados da CONAB (2022) a área atual colhida de milho equivale a 23,3%, sendo constatada uma produtividade de 5.320 kg/ha (+21,8%) na primeira safra de 2021/22. Além disso, a Conab preconiza uma produção total de 112,3 milhões de toneladas de milho para a safra 2021/22, um aumento esperado de 29% quando comparado à safra anterior.

### 2.3 Resíduos de vermiculita

De acordo com Resende et al. (2005) a vermiculita faz parte dos filossilicatos e trata-se de um alumínio silicato hidratado com ferro e magnésio que é formado a partir de processos metamórficos, magmáticos, hidrotermais, diagenéticos e intempéricos.

No Brasil, a mineração da vermiculita é considerada uma das mais importantes, a maior parte desse mineral consumido no país é destinada à agricultura, como substrato para germinação de sementes e como condicionador de solos. Suas jazidas estão situadas nos estados de Goiás, Piauí e Paraíba, sendo que no Sertão Paraibano esta é uma das atividades que se sobressai em termos econômicos (FRANÇA et al., 2010; TRAJANO et al., 2010; UGARTE et al., 2008).

Durante o processo de extração da vermiculita as partículas que são muito pequenas não são comercializadas por serem caracterizadas como subproduto em virtude da sua granulometria e, como consequência, são descartadas de forma incorreta no meio ambiente (BARBOSA, 2018). Leite et al. (2016) afirmam que aproximadamente 60-80% dos resíduos de vermiculita gerado a partir das atividades de mineração não são utilizados, ocasionando acúmulo desses resíduos nas proximidades do local de exploração desse mineral.

Visto isso, a mineração da vermiculita causa impactos ambientais negativos em decorrência não apenas do desmatamento, mas também devido o acúmulo desses resíduos nas margens das mineradoras ocasionando poluição (SANTOS et al., 2019). Por isso, adotar medidas para minimizar esses impactos é indispensável.

Os resíduos da vermiculita apresentam concentrações relevantes de nutrientes para as plantas, como potássio, cálcio e magnésio podendo, assim ser utilizados como matéria-prima para confecção de um fertilizante com baixa poluição e de liberação lenta.

Dessa forma, o aproveitamento desses resíduos auxilia com a diminuição dos impactos ambientais negativos ocasionados pelo uso de fertilizantes solúveis e pela exploração mineral (FRANÇA et al., 2010; SANTOS et al., 2019; SOUSA, MACHADO; LEITE, 2011).

Ademais, a vermiculita possui elevada CTC e sua forma expandida contribui com o condicionamento de solos ácidos e argilosos, assim também como agiliza a germinação, tornando os solos mais soltos, porosos e arejados possibilitando, conseqüentemente, um melhor desenvolvimento nas raízes das plantas (UGARTE et al., 2008). Além disso, a vermiculita melhora a disponibilidade de água no solo devido possuir uma elevada capacidade de reter umidade (SOUSA et al., 2012).

#### 2.4 Aditivos biológicos

Na rizosfera estão presentes diversos microrganismos e alguns deles possuem capacidade de promover o crescimento das plantas, além de protegê-las contra doenças e estresses abióticos. Esses microrganismos são conhecidos como microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCP), em que se sobressaem os gêneros *Azospirillum*, *Gluconacetobacter*, *Pseudomonas* e *Rhizobium* como exemplos de bactérias gram-negativas e os gêneros *Bacillus* e *Paenibacillus* como as de gram-positivos (GOMES et al., 2016).

Os autores supracitados apontam ainda que as características de motilidade, quimiotaxia, crescimento, aderência e resistência a estresses cooperam para a sobrevivência desses microrganismos na rizosfera, além de garantir êxito na colonização dos tecidos internos das plantas.

As bactérias do gênero *Bacillus*, comumente encontradas no solo, são capazes de produzir e secretar metabólitos secundários bioativos que possuem atividade antimicrobiana e promovem o crescimento de plantas, assim também como produzem endósporos que apresentam alta tolerância às condições adversas. Além disso, por se tratarem de bactérias com rápido crescimento em distintos meios de culturas, facilmente formuladas e armazenadas, essas são bastante indicadas para fabricação de bioinsumos visando o controle biológico de patógenos de importância agrônômica (JIANG et al., 2018; MILJAKOVIĆ; MILJAKOVIĆ; BALEŠEVIĆ-TUBIĆ, 2020).

De acordo com Gautam et al. (2019) as linhagens benéficas de *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus*

*megaterium*, *Bacillus velezensis*, *Bacillus cereus* e *Bacillus thuringiensis* são utilizadas em preparações comerciais de produtos à base de *Bacillus*. Esses produtos quando aplicados em cultivos instigam a nodulação de leguminosas, a fixação biológica de nitrogênio, proporcionam a absorção dos nutrientes essenciais, garantem a inibição contra fitopatógenos e grande versatilidade nos mecanismos de ação.

Quanto à absorção dos nutrientes essenciais, existem produtos à base de *Bacillus* que já se encontram disponíveis no mercado e que promovem o melhor aproveitamento do P fornecido pelos fertilizantes. Isso ocorre em decorrência do aumento da quantidade de raízes finas, da produção de biofilme e da liberação de substâncias mineralizadoras e solubilizadoras de P, como enzimas e ácidos orgânicos, na região da rizosfera (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020; SOUSA et al., 2021). Além disso, as bactérias do gênero *Bacillus* também desempenham função como solubilizadoras de potássio (BSK) (SHARMA et al., 2016; SATTAR et al., 2019; ASHFAQ et al., 2020).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local do estudo

O estudo foi realizado em ambiente telado e em laboratórios pertencentes ao Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar (CCTA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), cuja localização geográfica está definida pelas coordenadas: 06°46'13' de latitude Sul, 37°48'06' de longitude Oeste e altitude aproximada de 184 m (BELTRÃO et al., 2005).

#### 3.2 Obtenção do resíduo de mineração

O resíduo de vermiculita utilizado foi proveniente da mineradora Pedra Lavrada localizada no município de Santa Luzia-PB, onde a lavra é feita a céu aberto com desmonte mecânico. Durante o seu beneficiamento, despreza-se do circuito a fração fina menor que 0,5 mm por meio de correias transportadoras. Os resíduos obtidos após a coleta foram peneirados em malha de 2,0 mm objetivando-se a homogeneização da granulometria e eliminação de materiais minerais ou orgânicos grosseiros que se encontravam misturados aos resíduos. Em seguida foi seco em estufa a 105-110°C para posteriormente serem utilizados na composição das formulações dos fertilizantes.

O resíduo de vermiculita foi caracterizado quanto aos teores pseudo-totais de P, K, Ca, Mg e Na (Tabela 1).

**Tabela 1.** Análise química do resíduo de vermiculita e esterco bovino

Material	C	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	C/N
	g/kg							
Resíduo de vermiculita	-	-	0,9	17,6	42,0	114,9	3,1	-
Esterco bovino	157,9	16,7	9,5	9,8	-	-	4,3	9/1

Fonte: Silva e Rocha (2022) dados não publicados.

Para realização da análise utilizou-se uma amostra de 0,5 g digerida com 9 mL de ácido nítrico (65 %) e 3 mL de ácido clorídrico (36%) (água régia). Também foi realizada a análise do esterco (tabela 1) para obtenção de carbono (C), nitrogênio (N) total, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O de acordo com Tedesco et al. (1995). Para o carbono utilizou-se o método oxidativo com dicromato de potássio e ácido sulfúrico (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> +

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e titulação com sulfato ferroso (FeSO<sub>4</sub>). Para os teores de N, P, K e Na foi feita uma digestão ácida com ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado assistido por bloco digestor e na posse dos dados foi estabelecida a relação C/N.

### 3.3 Obtenção do solo

Foi utilizado no experimento solo amostras de um LUVISSOLO Crômico, coletado nas proximidades da Fazenda Experimental Rolando Enrique Rivas Castellón da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA) localizada no município de São Domingos (PB), considerando a camada de 0-20 cm. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha de 2,0 mm.

### 3.4 Instalação do experimento

O delineamento experimental adotado na casa de vegetação para posterior coleta do solo e análise da respirometria e carbono da biomassa foi o inteiramente casualizado com sete tratamentos e quatro repetições, sendo dois a título de controle (T1 e T2) e cinco formulações à base de resíduo de mineração de vermiculita acrescidos ou não de aditivos biológicos (T3,T4,T5,T6 e T7), conforme descrição da Tabela 2. Cada repetição constituiu de um vaso de 10 L de solo comportando uma planta de milho.

Enquanto para análise da ocorrência dos microrganismos foi realizada em esquema fatorial de 7x3, correspondentes aos 7 tratamentos (Tabela 2) e os 3 meios de cultura específicos para microrganismos (bactérias, fungos e actinomicetos).

**Tabela 2.** Descrição dos tratamentos

Tratamento	Descrição
T1	Solo sem a aplicação de qualquer fertilizante
T2	Solo com adubação convencional com fontes solúveis
T3	Solo com resíduo de vermiculita (Formulação 1)
T4	Solo com resíduo de vermiculita + esterco bovino (Formulação 2)
T5	Solo com resíduo de vermiculita + esterco bovino + <i>Bacillus subtilis</i> (Formulação 3);
T6	Solo com resíduo de vermiculita + esterco bovino + <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (Formulação 4)
T7	Solo com resíduo de vermiculita + esterco bovino + <i>Bacillus subtilis</i> + <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (Formulação 5)

O resíduo de vermiculita utilizado foi o mesmo mencionado no trabalho de Silva et al. (2021b), em que consta sua caracterização química e mineralógica, atuando como base para determinação das formulações testadas nesse trabalho. Sendo assim, na formulação de 1 (T3) foi adicionado ao solo 11,57 g de resíduo por  $\text{dm}^3$  de solo ou 115,6 g/vaso de 10 L. Nas formulações 2, 3, 4 e 5 (T4, T5, T6 e T7) na composição de 1.000 g foram empregados 900 g de resíduo de mineração e 100g de esterco bovino. Nos tratamentos T4, T5, T6 e T7 foram aplicados 128, 42 g de cada formulação (115,57 g de resíduo de mineração + 12,85 g de esterco bovino). Todos os componentes foram peneirados em peneira de 2,0 mm de malha e em seguida misturados em gral e pistilo para a obtenção da homogeneidade.

A definição da proporção utilizada do resíduo de mineração foi fundamentada conforme Silva et al. (2021b), a partir do teor total do nutriente de maior importância/proporção (3,85% de  $\text{K}_2\text{O}$ ) e trata-se de uma aplicação de 300 mg de K por  $\text{dm}^3$  de solo.

No caso do esterco bovino, optou por manter uma proporção de 10% (m/m) na composição dos fertilizantes devido à disponibilidade deste insumo na região do Sertão Paraibano. O esterco foi analisado quanto aos teores de nitrogênio, fósforo, potássio e carbono orgânico total, conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1995) e previamente a sua utilização, este material foi seco em estufa a temperatura de 60°C a 65°C.

Foram empregados os produtos comerciais Biobaci® (*Bacillus subtilis* BV-09,  $1,0 \times 10^8$  UFC/mL) e No-Nema® (*Bacillus amyloliquefaciens*- $1,0 \times 10^9$  UFC/mL) como fonte de microrganismos. Estes produtos foram diluídos na proporção de 1mL/100 mL (100 vezes) de água destilada esterilizada, em câmara de fluxo laminar, utilizando vidrarias precedentemente esterilizadas e posteriormente foram aplicados. A adição destes produtos biológicos aos demais componentes fertilizantes procedeu-se no momento da aplicação dos tratamentos nos vasos, na dose 10 mL por vaso, seguido de homogeneização em câmara de fluxo laminar utilizando vidrarias e equipamentos estéreis. Esta dosagem corresponde a inoculação de cerca de 77,8 milhões de unidades formadoras de colônias (UFC) de *Bacillus subtilis* e 778 milhões de UFC de *Bacillus amyloliquefaciens* para cada kg do fertilizante proposto.

Utilizou-se o milho como planta teste por se tratar de uma espécie de rápido crescimento e com grande capacidade de extração de nutrientes. Foi empregado o híbrido de milho K9555VIP3, por ser de rápido crescimento e possuir grande

capacidade de produção de biomassa. Após a adição do solo nos vasos aplicou-se os tratamentos em cada vaso e subsequentemente foi realizada a irrigação e semeadura.

No tratamento relacionados à adubação convencional com fertilizantes solúveis, as dosagens foram embasadas em Sousa et al. (2012), com as seguintes doses em  $\text{mg dm}^{-3}$ : N = 250; P = 200; K = 300; Ca = 200; Mg = 50; S = 50; B = 0,5; Cu = 1,5; Fe = 5; Mn = 4; Mo = 0,15 e Zn = 5,0. Foram utilizadas as seguintes fontes de macronutrientes: ureia [ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ], nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ ), fosfato bicálcico ( $\text{CaHPO}_4$ ), fosfato de sódio ( $\text{NaHPO}_4$ ) cloreto de potássio (KCl), sulfato de magnésio ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e cloreto de magnésio ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). E para os micronutrientes, as fontes usadas foram o sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), sulfato de manganês ( $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), Fe-EDTA, sulfato de zinco ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) e molibdato de amônio [ $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ ].

### 3.5 Coleta do solo

Aos 40 dias após a emergência as plantas foram retiradas dos vasos e foram coletadas 28 amostras (correspondente aos sete tratamentos com suas respectivas repetições) de 300 g de solo da região da rizosfera, com intuito de avaliar a qualidade biológica da rizosfera. Após coletadas, as amostras foram mantidas sob-refrigeração (no *freezer*) com temperatura em torno de  $-20^\circ\text{C}$  para preservar os atributos biológicos e posteriormente realizou-se as análises.

### 3.6 Determinação dos atributos biológicos

A avaliação dos microrganismos rizosféricos constou da ocorrência, e densidade de bactérias, fungos e actinomicetos, determinada pelo método do plaqueamento por gotas, a partir da utilização do método de inoculação de suspensões diluídas das amostras de solo, coletado da rizosfera das plantas de milho, em meios de cultura específicos estéreis.

Os meios utilizados foram ágar nutriente para bactérias, batata dextrose ágar (BDA) para fungos totais e BDA enriquecido com amido para actinomicetos, com três repetições por diluição e mantidos a  $28^\circ\text{C}$ , e foram avaliadas aos três dias para bactérias e aos cinco dias para fungos e actinomicetos (ARAÚJO; HUNGRIA, 1994).

A respiração microbiana do solo foi mensurada pela captura do  $\text{C-CO}_2$

produzido no solo pelo NaOH em ambiente hermeticamente fechado após incubação por três dias, à temperatura ambiente (ALEF; NANNIPIERI, 1995). O Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) foi determinado pelo método da irradiação/extração, o qual apresenta como princípio básico a eliminação de microrganismos pela irradiação eletromagnética de forno de micro-ondas, antes da extração do carbono utilizando  $K_2SO_4$ , oxidação e digestão química, seguidas de titulação com solução de sulfato ferroso amoniacal (sal de Mohr) (FERREIRA et al., 1999; ISLAM; WEIL, 1998; BROOKES et al., 1982). e o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) foi calculado pela razão entre a taxa de respiração e o carbono de biomassa (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

Para respiração edáfica a e biomassa microbiana foram consideradas três repetições escolhidas aleatoriamente. Quanto ao método do plaqueamento por gotas foram consideradas as repetições 2 e 4, pois estas foram as que obtiveram melhores resultados de crescimento do milho.

### 3.6.1 Ocorrência e densidade

Para análise da ocorrência e densidade de bactérias, fungos e actinomicetos foi utilizado o método do plaqueamento por gotas, sendo este um método preconizado por Jahnelt et al. (1999) para deliberação do número mais provável de bactérias e fungos presentes no solo.

Inicialmente, toda vidraria utilizada foi previamente esterilizada na autoclave a 120 °C por um período de 15 min. No caso dos tubos de ensaio, utilizados para diluição, e dos erlenmeyers que posteriormente receberam as amostras de solo, foi adicionado 9 mL e 90 mL, respectivamente, da solução salina (3300 mL de água destilada + 28,05 g de cloreto de potássio) e em seguida realizou a autoclavagem.

Como meios de cultura foram utilizados 46,8 g de batata dextrose ágar (BDA) + 0,036 g antibiótico (cloranfenicol) em 1200 mL de água destilada para fungos totais; 46,8 g de BDA + 12 g de amido em 1200 mL de água destilada para actinomicetos; 33,6 g de ágar nutriente em 1200 mL de água destilada para bactérias totais. Os meios foram adicionados aos erlenmeyers contendo água destilada e postos no agitador magnético para realização da mistura. Após a homogeneização dos meios, estes foram retirados do agitador magnético e levados à autoclave a 120 °C por 15 min.

Após a esterilização de toda vidraria e dos meios, as placas de Petri foram colocadas na câmara de fluxo laminar e em seguida foram identificadas e preenchidas com os meios correspondentes a cada microrganismo estudado. Consecutivamente, a câmara de fluxo laminar foi fechada e foi ligada a luz UV durante 15 min para esterilização.

As amostras de solo foram retiradas do refrigerador 24 h antes da análise para haver uma ambientação da microbiota. Após as 24 h, foi pesado e adicionado (dentro da câmara de fluxo laminar) 10 g de solo em erlenmeyers de 250 mL (contendo 90 mL de solução salina previamente esterilizada) e foram levados ao agitador horizontal, onde foram agitados por 30 min com 120 rpm (Rotações por minuto).

Ao final do tempo, a luz UV foi desligada e abriu-se a câmara de fluxo laminar para observar se o meio já encontrava em estado sólido. Posteriormente a solidificação do meio de cultura iniciou as diluições (dentro da câmara de fluxo laminar) e para isso pipetou 1 mL da amostra de solo e adicionou ao tubo de ensaio, onde foi diluído sete vezes, utilizando sete tubos distintos. Após as diluições, realizou-se a inoculação (Figura 1) pipetando, separadamente, 100  $\mu$ L da 5<sup>o</sup>, 6<sup>o</sup> e 7<sup>o</sup> diluição e foram postos no meio de cultura e espalhados com um pequeno bastão de vidro (tomando cuidado de sempre flambar o bastão antes de utiliza-lo e sempre que for realizar a troca do manuseio de uma diluição para outra). Foi considerada três replicatas para cada diluição.



**Figura 1:** Processo de diluição e inoculação. Pipetando a amostra de solo — A, Realizando as diluições — B, Inoculação no meio de cultura — C.

Após a finalização das inoculações, as placas de petri foram vedadas com papel filme (para manter a umidade) e colocadas na BOD (Demanda Bioquímica de Oxigênio) a 28 °C (Figura 2), onde permaneceram em incubação por 72 h, no caso das bactérias e por 120 h os fungos e actinomicetos para que o crescimento dos microrganismos fosse prosseguido.



**Figura 2:** Armazenamento das placas na BOD

Ao passar os 3 e 5 dias foi realizada a contagem (Figura 3) das bactérias, fungos e actinomicetos, verificando a ocorrência dos microrganismos a partir das Unidades Formadoras de Colônias (UFC).



**Figura 3:** Contagem dos microrganismos

Essa análise foi realizada utilizando as repetições 2 e 4 logo, todo procedimento descrito foi repetido para repetição 4. Além disso, o preenchimento das placas de Petri com o meio, a adição do solo à solução salina, as diluições e as inoculações foram realizadas dentro da câmara de fluxo laminar, mantendo o cuidado de higienizar sempre as mãos e a câmara de fluxo laminar com álcool 70% para evitar possíveis contaminações.

### 3.6.2 Respiração edáfica

A análise de respirometria foi realizada mediante metodologia descrita por Mendonça e Matos (2005) adaptado de Curl e Rodriguez-Kabana (1972) e Stotzky (1965) sendo, portanto, utilizado o agitador magnético, recipientes de plástico com fechamento hermético e recipientes de 50 mL. Foram preparados 2 L de solução de hidróxido de sódio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , 2 L de solução de ácido clorídrico  $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ , 1 L de solução de cloreto de bário  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  e 100 mL da solução Indicadora de fenolftaleína 1%.

Em cada recipiente de plástico foram adicionados três copinhos descartáveis

de 50 mL, um contendo 50 g de solo, um com 30 mL de solução NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup> para captura do C-CO<sub>2</sub> e o outro com 30 mL de água destilada para manter a umidade constante. Posteriormente, os recipientes de plástico foram fechados e postos em incubação em temperatura ambiente (Figura 4).



**Figura 4:** Processo de incubação. Recipientes plásticos postos em local fechado e no escuro para incubação —A, Armário utilizado no processo de incubação — B.

Após os três dias os recipientes foram abertos um por vez e logo em seguida pipetou-se 10 mL da solução NaOH (previamente incubada com o solo) para erlenmeyer de 125 mL, foram adicionados 10 mL da solução de BaCl<sub>2</sub> 0,05 mol L<sup>-1</sup> e 3 gotas de fenolftaleína 1% e titulado com solução de HCl 0,25 mol L<sup>-1</sup> (Figura 5) imediatamente após o acréscimo do indicador. O ponto de viragem é caracterizado pela passagem da cor violeta para incolor.



**Figura 5:** Titulação com solução de HCl 0,25 mol L<sup>-1</sup>

Anteriormente a titulação da solução do NaOH previamente incubada com o solo foi realizada a padronização do HCl e para isso, foi pipetado 10 mL de solução NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup> (não incubada) em erlenmeyer de 125 mL e foram adicionadas três gotas de solução indicadora fenolftaleína e em seguida executou-se a titulação com HCl.

### 3.6.3 Carbono da biomassa microbiana

Para análise do carbono da biomassa realizou o método irradiação-extração descrito por Mendonça e Matos (2005) adaptado de Islam e Weil (1998) e Brookes et al. (1982). Utilizou-se forno microondas, agitador horizontal, agitador magnético e placa de Petri e foram preparadas 4 L de solução extratora; 500 mL de solução de dicromato de potássio 0,066 mol L<sup>-1</sup>; 1,5 L de solução de sulfato ferroso amoniacal 0,03 mol L<sup>-1</sup> e 100 mL de solução indicadora de ferroin.

Inicialmente foram pesadas 20 g das amostras de solo em placa de Petri para submeter à irradiação e outras 20 g, não irradiada, em erlenmeyer. Foram colocadas cinco placas por vez no microondas para serem irradiadas durante um tempo de 1 min e 55 s, como ficou restando uma placa o tempo foi reduzido para 31 s para que todas as 21 amostras recebessem o mesmo tempo de irradiação.

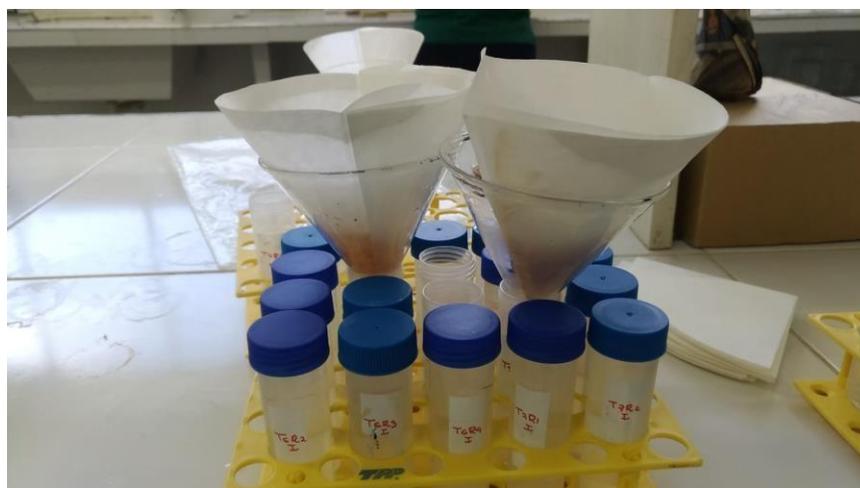
Após a irradiação as amostras foram transferidas, com ajuda de um funil, para outros erlenmeyers separadamente de acordo com cada tratamento e repetição, foi também realizada a identificação com intuito de diferenciar as amostras irradiadas (I) das não irradiadas(NI).

Posteriormente, foram adicionados 80 mL da solução extratora ( $K_2SO_4$ ) nos erlenmeyers, com auxílio de uma proveta de 100 mL, em seguida os erlenmeyers foram levados ao agitador horizontal e agitados por 30 min (Figura 6).



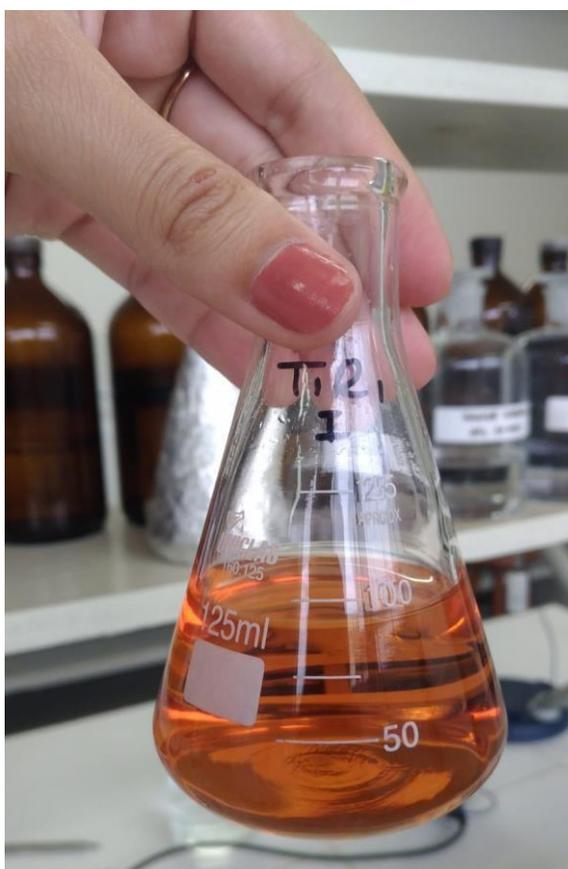
**Figura 6:** Agitação das amostras de solo irradiadas e não irradiadas + solução extratora.

Após a agitação, os erlenmeyers foram retirados do agitador horizontal e deixados em repouso por 30 min. Ao final do tempo em repouso, o sobrenadante foi filtrado em recipiente de plástico utilizando papel de filtro quantitativo lento (Figura7).



**Figura 7:** Processo de filtragem do sobrenadante

A determinação do carbono contido nos extratos foi realizada de acordo com Tedesco (1995). Foram pipetados 10 mL do extrato filtrado para um erlenmeyer de 125 mL e adicionou-se 2 mL da solução de  $K_2Cr_2O_7$   $0,066 \text{ mol L}^{-1}$  com ajuda de uma pipeta volumétrica, em seguida foi acrescentado 10 mL de  $H_2SO_4$  com auxílio de um dosador e esperou esfriar. Depois que esfriou foi adicionado 50 mL de água destilada e esperou esfriar mais uma vez, em seguida foram acrescentadas três gotas do indicador de ferroin e foi titulado o excesso de dicromato utilizando o sulfato ferroso amoniacal  $0,03 \text{ mol L}^{-1}$ . O ponto de viragem é caracterizado pela cor laranja como observado na Figura 8.



**Figura 8:** Caracterização do ponto de viragem

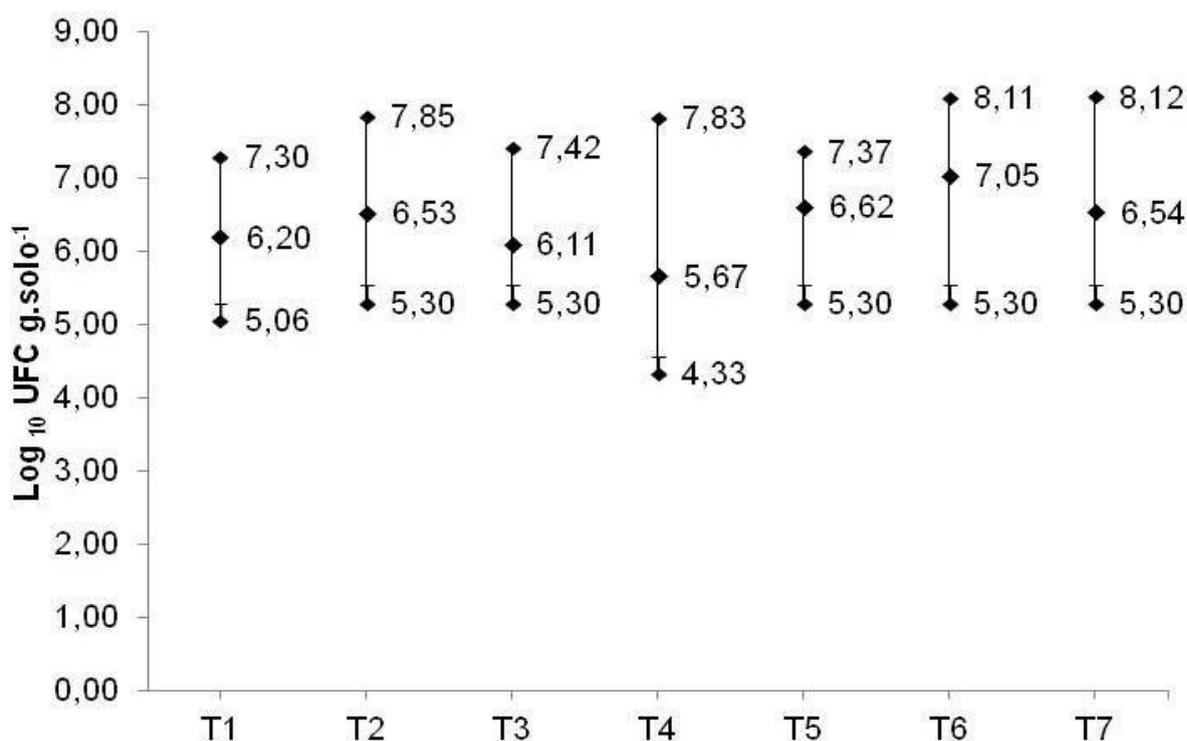
### 3.7 Análises estatísticas

As variáveis foram avaliadas mediante análise de variância (ANOVA), pelo teste F (1 e 5% de probabilidade) e, nos casos de efeito significativo, realizou-se análise de comparação de médias pelo teste Scott-knott, utilizando do *software* estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em todas as amostras de solo da rizosfera de milho cultivado com resíduos de mineração e aditivos biológicos, foram detectadas a presença de actinomicetos, bactérias e fungos (Figuras 9, 10 e 11).

Os valores de Logaritmo de Unidades formadoras de colônias (UFC) encontradas para bactérias no meio nutriente ágar variaram de 4,33 a 8,12 células por grama de solo. Para a densidade de bactérias, os maiores valores detectados ocorreu na rizosfera do milho que recebeu o T7 (resíduo de vermiculita acrescido de esterco bovino e os aditivos biológicos que continham *Bacillus subtilis* e *Bacillus amyloliquefaciens*) e T6 (resíduo de vermiculita mais esterco bovino e *Bacillus amyloliquefaciens*). O menor valor ocorreu no tratamento 4, que consistia de solo com resíduo de vermiculita e adição de esterco bovino (Figura 9).



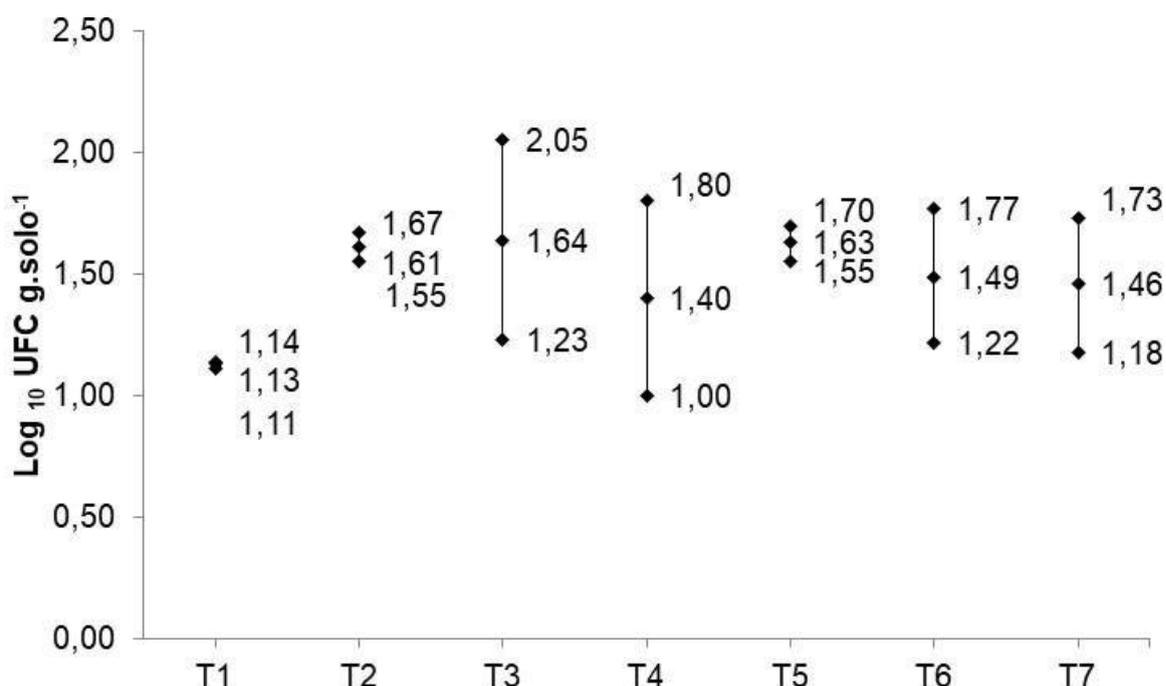
**Figura 9.** Logaritmo de Unidades formadoras de colônias (UFC) de células de bactérias, em meio de cultura ágar nutriente, de solo da rizosfera de milho cultivado em ambiente telado e com resíduos de mineração e aditivos biológicos, sendo dois a título de controle: T1= sem a aplicação de fertilizante e T2= adubação convencional com fontes solúveis e, cinco formulações à base de resíduo de mineração de vermiculita: T3= resíduo de vermiculita; T4= resíduo de vermiculita + esterco bovino; T5= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis*; T6= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus amyloliquefaciens*; T7= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis* + *Bacillus amyloliquefaciens*, Pombal – PB, 2022.

O esterco bovino e o resíduo de vermiculita são capazes de promover, isoladamente ou não, diversos benefícios quando incorporados ao solo. O esterco bovino promove melhorias nas características físicas e químicas do solo, aprimorando sua estrutura, sua aeração, sua capacidade de infiltração de água, induz o pH a manter-se o mais próximo de sua neutralidade, além de atuar positivamente na penetração radicular e nas interações com microrganismos do solo (GOMES et al., 2018; OLIVEIRA; TAVARES FILHO; BARBOSA, 2016). Enquanto a vermiculita é fonte de nutrientes, acelera a germinação, corrige o pH, retém umidade, melhora a porosidade, a aeração e o desenvolvimento das raízes (UGARTE et al., 2008; SOUSA et al., 2012).

Entretanto, a vermiculita apresenta baixa solubilidade, o que torna indispensável à introdução de produtos que viabilizem a estimulação do processo de intemperismo químico visando acelerar a liberação dos nutrientes contidos na vermiculita para o solo (SILVA et al., 2021b), pois os nutrientes são um dos fatores que influenciam a vida microbiana do solo (SILVA et al., 2013). Portanto, a falta dos aditivos biológicos refletiram diretamente na baixa solubilização da vermiculita, ocasionando em baixo valor da densidade de bactérias no tratamento 4.

Tendo isso em vista, o maior valor de densidade de bactérias apresentado pelos tratamentos 6 e 7 está correlacionado a associação dos benefícios do esterco com o da vermiculita e dos aditivos biológicos, principalmente por se tratarem de aditivos a base de *Bacillus*.

Os valores de Logaritmo de Unidades formadoras de colônias (UFC) de células de fungos no meio BDA variaram entre 1,0 a 2,05 células por grama de solo. Notou-se que as densidades de fungos foram baixas e os tratamentos em que observou os maiores valores foram nas rizosferas das plantas de milho do tratamento T3 (resíduo de vermiculita) (Figura 10).

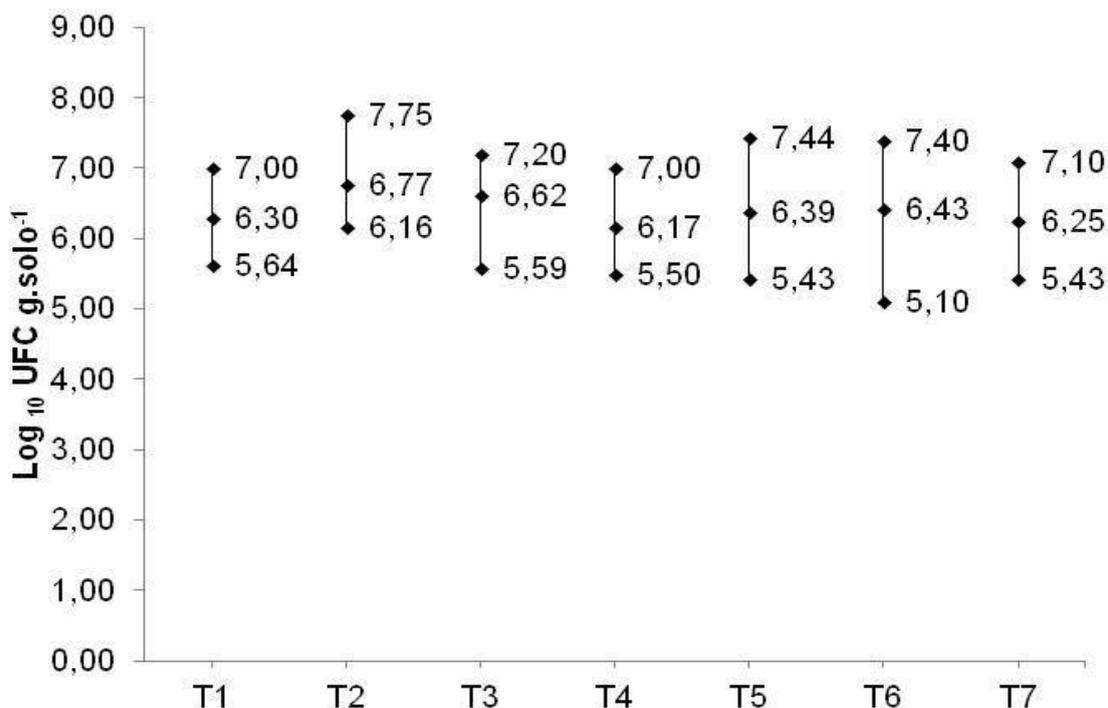


**Figura 10.** Logaritmo de Unidades formadoras de colônias (UFC) de células de fungos em meio de cultura BDA, de solo da rizosfera de milho cultivado em ambiente telado e com resíduos de mineração e aditivos biológicos, sendo: (T), sendo dois a título de controle: T1= sem a aplicação de fertilizante e T2= adubação convencional com fontes solúveis e, cinco formulações à base de resíduo de mineração de vermiculita: T3= resíduo de vermiculita; T4= resíduo de vermiculita + esterco bovino; T5= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis*; T6= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus amyloliquefaciens*; T7= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis* + *Bacillus amyloliquefaciens*, Pombal – PB, 2022.

O P, K, Mg, Mn, Ca, Fe, Zn, Cu, Ni, Co e Mo são nutrientes fundamentais para o crescimento fúngico (WALKER; WHITE, 2005). Dessa forma, os nutrientes contidos na vermiculita (Tabela 1) podem ter contribuído positivamente com o crescimento dos fungos.

Como mostra na Tabela 1, o magnésio foi o macronutriente que apresentou maior concentração no resíduo de vermiculita. Este, por sua vez, está ligado diretamente no crescimento dos fungos em virtude de sua atuação nos processos de divisão celular. Já o potássio desempenha papel nos processos de osmorregulação, sendo ambos nutrientes associados à atividade enzimática (WALKER; WHITE, 2005). Os valores de Logaritmo de Unidades formadoras de colônias (UFC) encontradas para actinomicetos no meio BDA acrescido de amido variaram de 5,10 a 7,75 células por grama de solo.

Para a densidade de actinomicetos, o maior valor de densidade na rizosfera de milho ocorreu no tratamento T2 (adubação convencional com fontes solúveis) e o menor no tratamento 6 que consistiu de uma mistura do solo com resíduo de vermiculita, esterco bovino e o aditivo que continha o produto com *Bacillus amyloliquefaciens* (Figura 11).



**Figura 11.** Logaritmo de Unidades formadoras de colônias (UFC) de células de actinomicetos em meio de cultura BDA acrescido de amido, de solo da rizosfera de milho cultivado em ambiente telado e com resíduos de mineração e aditivos biológicos, sendo dois a título de controle: T1= sem a aplicação de fertilizante e T2= adubação convencional com fontes solúveis e, cinco formulações à base de resíduo de mineração de vermiculita: T3= resíduo de vermiculita; T4= resíduo de vermiculita + esterco bovino; T5= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis*; T6= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus amyloliquefaciens*; T7= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis* + *Bacillus amyloliquefaciens*, Pombal – PB, 2022.

Os actinomicetos são classificados como bactérias Gram-positivas que apresentam morfologia filamentosa característica e DNA G+C elevado (JOSE; JHA, 2013). O gênero *Bacillus* spp. possui ação antagônica sobre diversos microrganismos de caráter fitopatogênico, a exemplo o *Fusarium verticillioides* que ataca o milho (CASTRO DEL ÁNGEL et al., 2021) e o *Xanthomonas campestris* pv. *Campestre* agente causal da podridão negra das crucíferas (MONTEIRO; MARIANO; SOUTO-MAIOR, 2005). A baixa densidade de actinomicetos no T6 pode ser provocada devido a ações antagônicas do aditivo biológico à base de *Bacillus* spp. sobre os microrganismos.

A capacidade de sobrevivência dos microrganismos e destes exercerem suas atividades são determinadas por diversos fatores limitantes de caráter bióticos (genética e relação entre os microrganismos) e abióticos (salinidade, pH, nutrientes, temperatura, elementos tóxicos, fontes de energia) (FURTAK; GALAZKA, 2019). Desse modo, o tratamento 2 obteve destaque por não possuir nenhum fator adverso, em sua composição, ao crescimento dos actinomicetos, visto que a adubação convencional, com fontes solúveis, propicia a fertilidade do solo e conseqüentemente favorece a vida microbiana do mesmo.

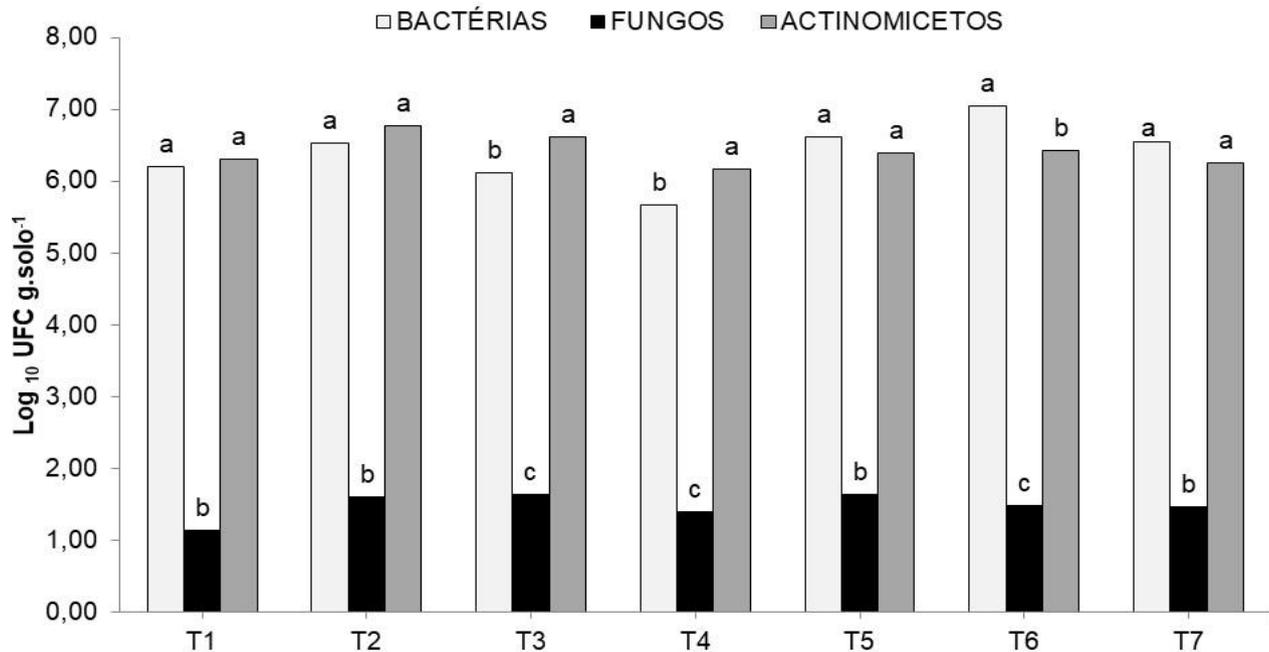
Conforme resumo da análise de variância apresentados na Tabela 3, constatou-se que houve efeito significativo para os tratamentos, microrganismos e sua interação, a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F.

**Tabela 3:** Resumos das análises de variância para a variável de densidade obtida por tratamentos, Log UFC de microrganismos (actinomicetos, bactérias e fungos) e sua interação.

FV	GL	Log UFC
		Quadrados médios
Tratamentos	6	0,313707**
Microrganismos	2	79,2326**
Tratamentos*Microrganismos	12	0,195921**
Erro	42	0,068021
CV (%)	-	4,94

ns, \*\*, \* respectivamente não significativo, significativo a ( $p < 0,01$ ) e ( $p < 0,05$ ).

Em todas as amostras de solo da rizosfera de milho cultivado com e sem resíduos de mineração e aditivos biológicos houve maiores densidades de bactérias e actinomicetos em comparação com as densidades de fungos (Figura 12).



**Figura 12.** Logaritmo de Unidades formadoras de colônias (UFC) de células de bactérias, fungos e actinomicetos, em meio de cultura específicos, de solo da rizosfera de milho cultivado em ambiente telado e com resíduos de mineração e aditivos biológicos, sendo dois a título de controle: T1= sem a aplicação de fertilizante e T2= adubação convencional com fontes solúveis e, cinco formulações à base de resíduo de mineração de vermiculita: T3= resíduo de vermiculita; T4= resíduo de vermiculita + esterco bovino; T5= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis*; T6= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus amyloliquefaciens*; T7= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis* + *Bacillus amyloliquefaciens*, Pombal – PB, 2022.

A atividade microbiana do solo é um importante indicador da qualidade do solo devido sua alta sensibilidade, permitindo observar possíveis alterações causadas no solo, dado que os microrganismos atuam nos processos de decomposição e mineralização de compostos orgânicos, responsáveis pelos ciclos biogeoquímicos (SILVA et al., 2020).

O tipo de manejo praticado no solo afeta diretamente os fatores que influenciam a vida microbiana do solo, como a temperatura, pH, salinidade, luminosidade, nutrientes, presença ou ausência de elementos tóxicos, fontes de energia e substratos orgânicos, alterando, dessa forma, a população microbiana e as atividades que esta exerce (SILVA et al., 2013).

Geralmente, as bactérias são mais sensíveis às alterações ambientais. Os actinomicetos possuem comportamento intermediário, enquanto os fungos por possuírem estruturas de resistências conseguem crescer e manter atividades em condições adversas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). No entanto, as bactérias conseguiram se sobressair em relação aos fungos, cujo crescimento foi menor em todos os tratamentos.

As bactérias possuem diversos mecanismos de resistências (EVELIN et al., 2009). Além disso, as bactérias solubilizadoras de potássio (BSK) desempenham papel central na solubilização de minerais potássicos (SATTAR et al., 2019; SHARMA et al., 2016). Apesar de existir ainda poucas informações, experimentos de campo com plantas de batatas (*Solanum tuberosum*) fertilizada com feldspato com *Bacillus cereus* e a aplicação de feldspato às plantas resultaram em uma maior produção total e aumento do peso dos tubérculos em comparação com as plantas não inoculadas (ALI et al., 2021). Em solo com elevada salinidade cultivado com arroz foram isoladas 13 estirpes de BSK que se mostraram eficientes na solubilização de potássio (ASHFAQ et al., 2020).

Portanto, a capacidade de resistência e de solubilizar potássio podem ter favorecido as bactérias em relação aos fungos quando foram fornecidas condições ideais para o seu crescimento através do meio de cultura, visto que a vermiculita possui potássio em sua composição (Tabela 1).

Estatisticamente, os actinomicetos foram os microrganismos que mais se destacaram. Esses microrganismos detêm filamentos que lhe garantem uma elevada capacidade de sobrevivência e uma maior absorção de nutrientes, possuindo resistência a diversos habitats. Esses fatores são de grande relevância, pois asseguram vantagens aos actinomicetos perante condições de competição com outros microrganismos contidos no solo (AMARAL et al., 2020).

No caso dos fungos, os baixos resultados apresentados nos tratamentos que continham os aditivos biológicos podem ter sido ocasionados em decorrência do antagonismo de bactérias do gênero *Bacillus* contra fungos fitopatogênicos, visto que estas dispõem da produção de produtos químicos inibitórios, da indução de resistência sistêmica e competição por substratos como seus principais mecanismos antagonistas (DORIGHELLO et al., 2020).

O *Bacillus subtilis* e o *Bacillus amyloliquefaciens* são uns dos principais microrganismos do gênero *Bacillus* spp. utilizados no controle biológico. Os diversos metabólitos secundários produzidos por *Bacillus subtilis* fornece a planta proteção contra diversos causadores de doenças (SOUZA et al., 2015; DORIGHELLO, 2017). Já o *Bacillus amyloliquefaciens* possui elevada capacidade em sintetizar inúmeras enzimas e metabólitos favoráveis às plantas tornando-o um importante instrumento no biocontrole de diversas doenças de plantas (GASPARETO, 2018).

Dentre dos fungos fitopatogênicos que o *Bacillus subtilis* possui eficiência no controle pode-se citar o *Fusarium moniliforme* (FIGUEREDO et al. 2010) e *Rhizoctonia solani* (GABARDO et al., 2020), enquanto ao *Bacillus amyloliquefaciens* mostrou-se eficiente no controle de *Alternaria alternata*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium verticillioides*, *Penicillium digitatum* e *Rhizoctonia solani* (ABREU et al., 2022).

Como os fungos apresentaram baixa densidade para todos os tratamentos e não apenas naqueles que possuem aditivos biológicos e sabendo-se que os fungos conseguem crescer em condições ambientais adversas, outros fatores podem ter influenciado esses resultados além do antagonismo causado pelos *Bacillus* spp. Portanto, outras razões que podem ser citadas é a utilização de semente comercial tratada e possível ocorrência de deriva de agroquímicos aplicados em experimentos vizinhos.

Conforme resumo da análise de variância apresentados na Tabela 4, constatou-se que houve efeito significativo para os tratamentos em todas as variáveis, a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F.

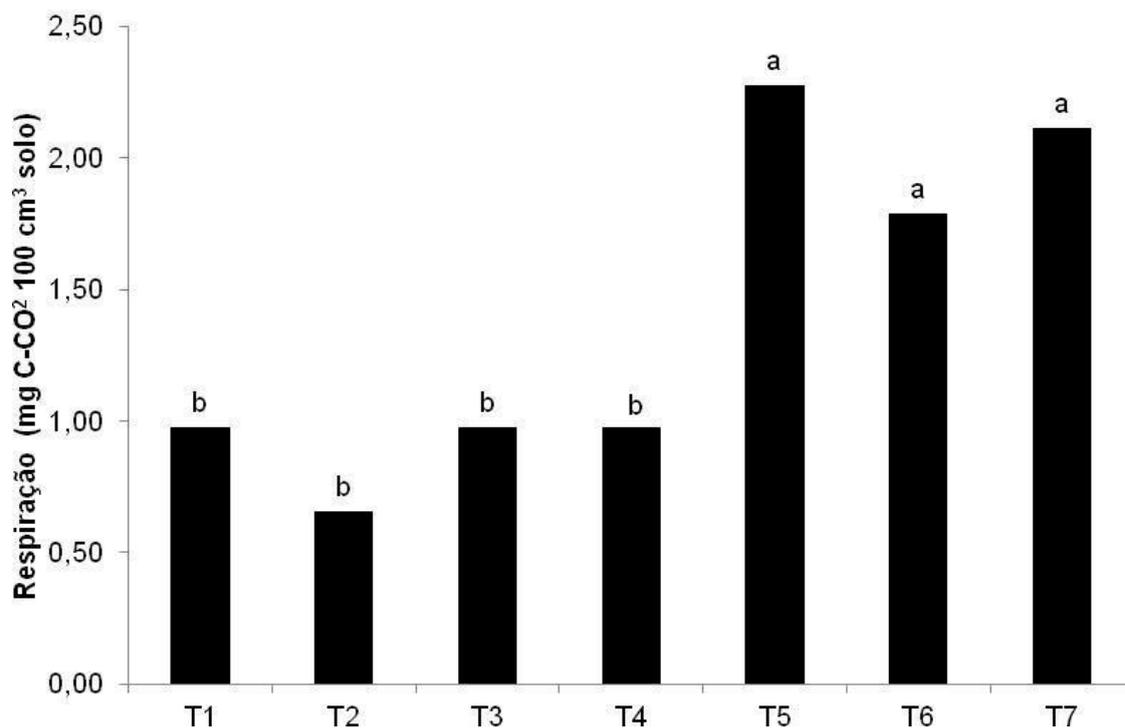
**Tabela 4:** Resumos das análises de variância para as variáveis, respiração microbiana do solo, carbono da biomassa e quociente metabólico

FV	GL	Respiração	Carbono Biomassa	qCO <sub>2</sub>
		Quadrados médios		
Tratamentos	6	0,122069*	5,633747**	0,009792**
Erro	14	0,037399	0,464982	0,000900
CV (%)	-	12,65	15,82	2,83

ns, \*\*, \* respectivamente não significativo, significativo a ( $p < 0,01$ ) e ( $p < 0,05$ ).

Os resultados dos atributos biológicos respiração edáfica, C-biomassa e quociente metabólico estão apresentados, respectivamente, nas Figuras 13, 14 e 15. A respiração edáfica, a biomassa microbiana do solo e o quociente metabólico possuem grande relevância como indicadores biológicos para avaliar a aptidão do solo quanto ao crescimento vegetal (BATISTA et al., 2018).

Os valores de respiração edáfica de todas as amostras de solo da rizosfera de milho cultivado com resíduos de mineração e aditivos biológicos (Figura 13) apresentaram diferença significativa entre os tratamentos.



**Figura 13.** Respiração edáfica (mg C-CO<sub>2</sub>.100 cm<sup>3</sup> solo) amostras de solo da rizosfera de milho cultivado em ambiente telado e com resíduos de mineração e aditivos biológicos, sendo dois a título de controle: T1= sem a aplicação de fertilizante e T2= adubação convencional com fontes solúveis e, cinco formulações à base de resíduo de mineração de vermiculita: T3= resíduo de vermiculita; T4= resíduo de vermiculita + esterco bovino; T5= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis*; T6= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus amyloliquefaciens*; T7= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis* + *Bacillus amyloliquefaciens*, Pombal – PB, 2022.

Nota-se que a respiração foi maior nos tratamentos com aditivos biológicos, ou seja, no T5 (resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis*); T6 (resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus amyloliquefaciens*) e T7 (resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis* + *Bacillus amyloliquefaciens*).

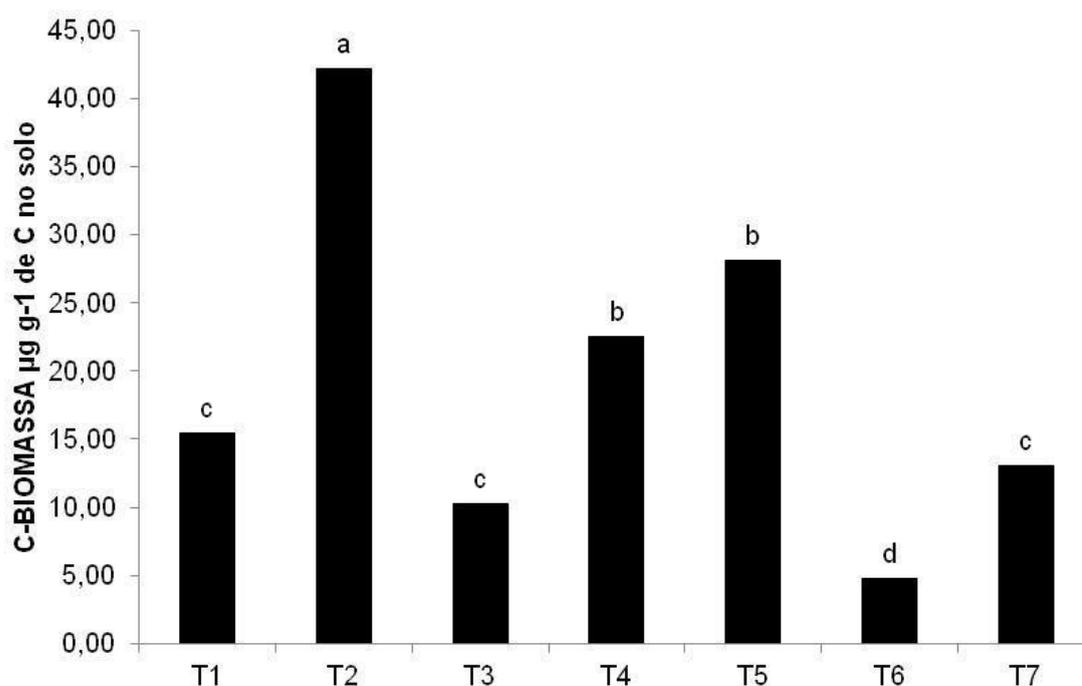
A respiração edáfica sofre influência da temperatura, textura, estrutura, umidade e quantidade de matéria orgânica do solo. Ao medi-la se obtém uma estimativa indireta da decomposição e mineralização da matéria orgânica ou de outro material introduzido ao solo, proporcionando a liberação de nutrientes para as plantas. Desse modo, a oferta de nutrientes para as plantas tende a ser maior em condições de alta respiração edáfica, em função da decomposição e mineralização da matéria orgânica do solo (SEVERINO et al., 2004; SILVA et al., 2010).

Entretanto, a alta atividade respiratória deve ser interpretada com cautela, considerando todas as especificidades que o solo foi submetido, pois elevadas taxas de respiração edáfica podem ocasionar em uma acelerada decomposição de uma

pequena reserva, a exemplo a fragmentação de agregados do solo pela aração como também pode promover extensa reserva de substratos de C lábeis, havendo uma decomposição acentuada da matéria orgânica (TÓTOLA; CHAER 2002). Sendo assim, elevados teores de respiração pode significar a ocorrência de um distúrbio ecológico (referente à incorporação dos resíduos), bem como uma alta produtividade do ecossistema (ISLAM; WEIL, 2000).

As bactérias do gênero *Bacillus* podem crescer em ambientes diversos e atuam como microrganismos promotores do crescimento vegetal. Apresentam habilidade para biorremediação, bem como capacidade de acelerar os processos de mineralização (OLANREWAJU; GLICK; BABALOLA, 2017; PEREIRA et al., 2012). Portanto, os elevados valores nos tratamentos 5, 6 e 7 indicam que os aditivos biológicos influenciaram na decomposição e mineralização da matéria orgânica apresentando, conseqüentemente, maior taxa de respiração.

Os maiores valores de carbono da biomassa microbiana (CBM) ocorreram no T2 (adubação convencional com fontes solúveis), superando significativamente os demais tratamentos, com especial destaque para T6 (resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus amyloliquefaciens*) que apresentou o menor valor de C dentre todas as áreas (Figura 14).

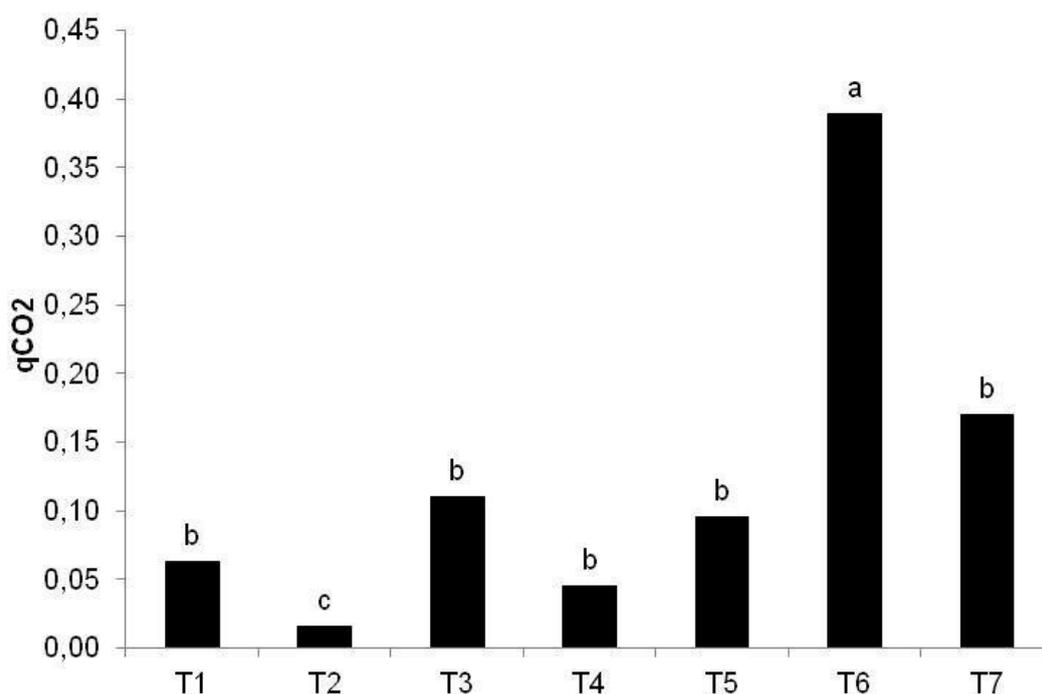


**Figura 14.** Carbono da biomassa microbiana ( $\mu\text{g C g}^{-1}$  solo), amostras de solo da rizosfera de milho cultivado em ambiente telado e com resíduos de mineração e aditivos biológicos, sendo dois a título de controle: T1= sem a aplicação de fertilizante e T2= adubação convencional com fontes solúveis e, cinco formulações à base de resíduo de mineração de vermiculita: T3= resíduo de vermiculita; T4= resíduo de vermiculita +

esterco bovino; T5= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis*; T6= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus amyloliquefaciens*; T7= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis* + *Bacillus amyloliquefaciens*, Pombal – PB, 2022.

O carbono da biomassa microbiana trata-se da quantidade de carbono retido pela biomassa microbiana do solo em suas células (INSAM, 2001). A biomassa microbiana corresponde à fração viva da matéria orgânica do solo, sendo esta constituída pelos fungos, bactérias, actinomicetos, protozoários e algas (FRANZLUEBBERS et al., 1999). O resultado obtido no T2 demonstra que ocorreu maior imobilização do carbono, diferentemente do observado no T6, em que pode ter ocorrido uma limitação por antagonismos entre grupos de microrganismos autóctones e o *Bacillus amyloliquefaciens* presente na formulação.

Quanto aos resultados do quociente metabólico ( $qCO_2$ ) houve diferença entre os tratamentos (Figura 15), destacando o maior valor no T6 (resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus amyloliquefaciens*).



**Figura 15.** Quociente metabólico ( $qCO_2$ ) ( $\mu\text{g C-CO}_2 \cdot \mu\text{g Cmic.}^{-1}$ ), amostras de solo da rizosfera de milho cultivado em ambiente telado e com resíduos de mineração e aditivos biológicos, sendo dois a título de controle: T1= sem a aplicação de fertilizante e T2= adubação convencional com fontes solúveis e, cinco formulações à base de resíduo de mineração de vermiculita: T3= resíduo de vermiculita; T4=

resíduo de vermiculita + esterco bovino; T5= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis*; T6= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus amyloliquefaciens*; T7= resíduo de vermiculita + esterco bovino + *Bacillus subtilis* + *Bacillus amyloliquefaciens*, Pombal – PB, 2022.

O  $qCO_2$  trata-se da razão entre a respiração basal edáfica por unidade de carbono da biomassa microbiana do solo (SILVA et al., 2007), este representa o quão eficiente foi a conversão do C orgânico para o ecossistema. Em vista disso, o elevado valor constatado no T6 confirma o observado nos valores altos da respiração (Figura 13) e as baixas taxas de C-biomassa (Figura 14).

Elevados valores do  $qCO_2$  representa a ação da população microbiana em oxidar o carbono de suas próprias células visando sua manutenção, apontando, por sua vez, que esta população está sujeita as condições adversas ou que foi introduzido no local resíduos orgânicos (CAPUANI et al., 2012).

Já os valores baixos de quociente metabólico comumente indicam redução dos gastos de energia contribuindo, teoricamente, com um ambiente mais próximo de atingir seu equilíbrio. Desse modo, os solos que apresentam o quociente metabólico alto não possuem essa economia de energia, em função do crescimento rápido dos organismos colonizadores, sendo conseqüentemente considerados solos instáveis (DORNELLES, et al., 2017).

## 5 CONCLUSÃO

Os empregos da vermiculita, do esterco bovino e dos aditivos biológicos apresentam influência sobre os bioindicadores da qualidade da rizosfera do milho.

Foi detectada a ocorrência e a densidade de microrganismos em todas as amostras de solo da rizosfera de milho cultivado com ou sem resíduos de mineração e aditivos biológicos, sendo que as densidades de bactérias e actinomicetos foram maiores que as densidades de fungos em todas as amostras da rizosfera de milho.

Nas amostras de solo da rizosfera de milho a respiração foi superior nos tratamentos com aditivos biológicos, os maiores valores de carbono da biomassa microbiana foram observados no T2 que recebeu adubação convencional com fontes solúveis e o  $qCO_2$  foi maior na amostra de solo da rizosfera do milho cultivado com a formulação que continha vermiculita, esterco bovino, e os aditivos com *Bacillus subtilis* e *Bacillus amyloliquefaciens*.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, L. de P. S.; MARTINAZZO, A. P.; TEODORO, C. E. de S.; BERBERT, P. A. Alternativa sustentável de uso de *Bacillus amyloliquefaciens* no biocontrole de fungos fitopatogênicos: uma revisão. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 16, n. 1, 2022.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient ( $qCO_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environment conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds) Methods in applied soil microbiology and biochemistry. **Academic Press**, 1995. 576 p.
- ALI, A. M.; AWAD, M. Y. M.; HEGAB, S. A.; EL GAWAD, A. M. A.; EISSA, M. A. Effect of potassium solubilizing bacteria (*Bacillus cereus*) on growth and yield of potato. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n. 3, p. 411-420, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1822399>.
- AMARAL, S. dos S.; SILVA, A. C. R. da S. E; SALES, L. A. T.; ALVES, C. S.; MIRANDA, R. de C. M. de; NASCIMENTO, L. C. S.; ALVES, M. S. Potencial da atividade biológica de actinomicetos contra o fungo *Cryptococcus gattii*. **Interfaces Científicas - Saúde E Ambiente**, v. 8, n. 2, 95–104, 2020. <https://doi.org/10.17564/2316-3798.2020v8n2p95-104>
- ANDRADE, J. S. **Metodologias para análise da qualidade biológica do solo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em zootecnia), Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2021.
- ARAÚJO, R. S., HUNGRIA, M. **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: Embrapa SPI, 1994. (EMBRAPA, Documentos, 44).
- ASHFAQ, M. A.; HASSAN, H. M.; AMIR, G. H.; AHMAD, M. Halotolerant potassium solubilizing plant growth promoting rhizobacteria may improve potassium availability under saline conditions. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 11, p.1-20, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08655-x>.
- BARBOSA, R. V. **Agregados alternativos na elaboração de argamassas para revestimento de instalações zootécnicas**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2018.
- BATISTA, E. R.; ZANCHI, C. S.; FERREIRA, D. A.; SANTIAGO, F. L. de A.; PINTO, F. A.; SANTOS, J. V. dos; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos do solo em sistema integrado de produção agropecuária. In: SOUZA, E. D. de; TANGRIANI, F. D. da S.; ASSMANN, S.; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, P. C. de F.; PAULINO, H. B. (Org.). **Sistemas Integrados de produção agropecuária no Brasil**. Tubarão: Copiart, 2018. v. 1, p. 71-90.
- BELOTTO, L. B.; MARCHETTI, J. A.; FERRONATTO, G.; CANALLI, L. B. dos S.; ASSMANN, T. S. Desempenho produtivo da soja em relação ao manejo do solo e plantas de cobertura. **VI Reunião Paranaense de Ciência do Solo- RPCS**, 28 a 31 de maio de 2019, Ponta Grossa, PR, 2019.

BELTRÃO, B. A.; MORAIS, F.; MASCARENHAS, J. C.; MIRANDA, J. L. F.; SOUZA JUNIOR, L. C.; MENDES, V. A. Diagnóstico do município de São Domingos de Pombal. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado da Paraíba. **Ministério de Minas e Energia/CPRM/PRODEM**, Recife, PE, p. 22, 2005.

BRASIL. Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018. Regulamenta o decreto-lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, a lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, a lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989, e a lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 139, n. 112, p. 1, 13 jun. 2018. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/decreto/D9406.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9406.htm). Acesso em: 31 mar. 2022.

BROOKES, P. C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil Biol. Biochem**, v. 14, p. 319-329, 1982.

CAPUANI, S.; RIGON, J. P. G.; BELTRÃO, N. E. M.; NETO, J. F. B. Atividade microbiana em solos, influenciada por resíduos de algodão e torta de mamona. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1269–1274, 2012.

CASTRO DEL ÁNGEL, E.; HERNÁNDEZ-CASTILLO, F. D.; GALLEGOS-MORALES, G.; OCHOA-FUENTES, Y. M. Actividad antifúngica de bacterias endófitas para el control de *Fusarium Verticillioides* en maíz. **Ecosistemas y Recursos Agropecuarios**, v. 8, n. 2, e. 2790, 2021.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, safra 2021/22, Brasília, DF, v. 9, n. 6, sexto levantamento, março 2022.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGHI, E.; MIRANDA, R. A. de; SILVA, A. F. da; SILVA, D. D. da; MACHADO, J. R. de A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V. da; MENDES, S. M. 2019. **Milho: caracterização e desafios tecnológicos**. Brasília, Embrapa. (Desafios do Agronegócio Brasileiro, 2).

CURL, E. A.; RODRIGUEZ-KABANA, R. Microbial interactions. In: WILKINSON, R. E., ed. **Research methods in weed science**. Atlanta, Southern Weed Science Society, 1972. p.162-194.

DORIGHELLO, D. V. **Versatilidade de *Bacillus* spp. no controle biológico de doenças de plantas e na promoção de crescimento de soja**. 2017. 136 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista. Botucatu, SP, 2017.

DORIGHELLO, D. V., FORNER, C., de CAMPOS, R. M. V. B.; BETTIOL, W. Management of Asian soybean rust with *Bacillus subtilis* in sequential and alternating fungicide applications. **Australasian Plant Pathology**, v. 49, n. 1, p. 79-86, 2020 <https://doi.org/10.1007/s13313-019-00677-5>

DORNELLES, H. de S.; MATSUOKA, M.; BINELO, L. A.; PAUVELS, L. A.; CARON C. M.; SILVA, V. R. Biomassa e Atividade Microbiana de Solos com aplicação de resíduo sólido urbano e dejetos líquidos de suínos. **RBCIAMB**, São Carlos -SP, v. 44, n. 18, p. 18-26, 17 mar. 2017.

EVELIN, H.; KAPOOR, R.; GIRI, B. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. **Annals of Botany**, Inglaterra, v. 104, n. 7, p. 1263-1280, 2009.

FERRAZ JÚNIOR, R. S. **Indicadores de qualidade de solo em área cultivada com gliricídia e palma forrageira em Sistema Bioassalino no Semiárido Nordeste**. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais do Semiárido) — Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Petrolina, Petrolina – PE, 2018.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 991- 996, 1999.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, E. P. B.; STONE, L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agrônoma**, v. 48, n. 1, p. 22-31, 2017.

FIDELIS, R. R.; ALEXANDRINO, C. M. dos S.; SILVA, D. B. da; SUGAI, M. A. A.; SILVA, R. R. da. Indicadores biológicos de qualidade do solo em culturas intercalares ao pinhão manso. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava-PR, v.9, n.3, p.87-95, 2016.

FIGUEIREDO, J. E. F.; TEIXEIRA, M. A.; LIMA, G. V. C.; BRESSAN, W.; PINTO, N. F. J.; CASELA, C. R. Atividade antagonista in vitro de *Bacillus subtilis* contra fungos fitopatogênicos do milho e sorgo. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, XXVIII. **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010. p. 667-673 (Cd-Rom).

FRANÇA, S. C. A.; LUZ, A. B.; SANTOS, J. S.; BORGES, R. S. Estudo da aplicação de resíduos de vermiculita como fertilizante alternativo de potássio. **Anais do II Simpósio de minerais industriais do Nordeste**, CETEM, Campina Grande, PB, 2010.

FRANZLUEBBERS, A. J.; HANEY, R. L.; HONS, F. M. Relationships of chloroform fumigation-incubation to soil organic matter pools. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, p. 395-405, 1999.

FREITAS, L. OLIVEIRA, I. A. de; SILVA, L. S.; FRARE, C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Unimar Ciências**, Marília, SP, v. 26, n. 1-2, p. 08-25, 2017.

FURTAK, K.; GALAZKA, A. Edaphic factors and their influence on the microbiological biodiversity of the soil environment. **Advancements of Microbiology**, v. 58, n. 4, p. 375-385, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.21307/PM-2019.58.4.375>

GABARDO, G.; PRIA, M. D.; PRESTES, A. M. C.; SILVA, H. L. da. *Trichoderma asperellum* e *Bacillus subtilis* como antagonistas no crescimento de fungos fitopatogênicos *in vitro*. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 55870-55885 aug. 2020.

GASPARETO, R. N. **Formas de inoculação com bactérias promotoras de crescimento na nutrição e desempenho agrônomo de milho no cerrado.** Dissertação (mestrado), Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2018.

GAUTAM, S.; CHAUHAN, A.; SHARMA, R.; SEHGAL, R.; SHIRKOT, C. K. Potential of *Bacillus amyloliquefaciens* for biocontrol of bacterial canker of tomato incited by *Clavibacter michiganensis* ssp. *michiganensis*. **Microbial pathogenesis**, v. 130, p. 196-203, 2019.

GOMES, E. A.; SILVA, U. de. C.; PAIVA, C. A. de. O.; LANA, U. G. de. P.; MARRIEL, I. E.; SANTOS, V. L. dos. **Microrganismos promotores do crescimento 44 de plantas.** Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2016. 51 p. (Embrapa Milho e Sorgo, Documentos, 208).

GOMES, L. S. P.; BRAZ, T. G. S.; MOURTHÉ, H. F.; PARAÍSO, H. A.; PIRES NETO, O. S.; SILVA, E. G.; PEREIRA, L. R. F.; ALMEIDA, B. Q. Níveis de substituição de ureia por esterco bovino na adubação de capim marandu. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 4, 2018.

INSAM, H. Developments in soil microbiology since the mid 1960s. **Geoderma**, v. 100, n. 3, p. 389-402, 2001.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 79, p.9-16, 2000.

ISLAM, K.R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biol. Fert. Soils**, v. 27, p. 408-416, 1998.

JAHNEL, M. C.; CARDOSO, E. J. B. N.; DIAS, C. T. S. Determinação do número mais provável de micro-organismos do solo pelo método de plaqueamento por gotas. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 23, n. 3, p. 553-559, 1999.

JIANG, C. H., LIAO, M. J., WANG, H. K., ZHENG, M. Z., XU, J. J., & GUO, J. H. *Bacillus velezensis*, a potential and efficient biocontrol agent in control of pepper gray mold caused by *Botrytis cinerea*. **Biological Control**, v. 126, p. 147-157, 2018.

JOSE, P. A.; JHA, BHAVANATH. New dimensions of research on actinomycetes: Quest for next generation antibiotics. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, 2016.

LEITE, M. J. H.; GOMES, A. D. V.; SANTOS, R. V.; ARAUJO, J. L. Crescimento do maracujazeiro amarelo em função de gesso e compostos com rejeitos de mineralização aplicados em solo salinizado. **Nativa**, v. 4, n. 6, p. 353-359, 2016.

LISBÔA, F. M.; DONAGEMMA, G. K.; BURAK, D. L.; PASSOS, R. R.; MENDONÇA, E. de S. 2016. Indicadores de qualidade de Latossolo relacionados à degradação de pastagens. **Pesquisa agropecuária brasileiro** 9, p.1184-1193.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. Ecofisiologia. In: FILHO, I. A. P. (Ed.). **Cultivo do milho**. 9. ed. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2015. Disponível em: [https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistema\\_sdeproducaolf6\\_1ga1ceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_-76293187\\_sistemaProducaold=7905&p\\_r\\_p\\_-996514994\\_topicold=8662](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistema_sdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaold=7905&p_r_p_-996514994_topicold=8662). Acesso em: 23 mar. 2022.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G. de; REIS JUNIOR, F. B. dos; LOPES, A. A. de C. **Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo**. Embrapa Cerrados, Circular Técnica 38, Planaltina, DF, p. 23, dez. 2018.

MENDONÇA, E. S.; MATOS E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107p.

MILJAKOVIĆ, D.; MARINKOVIĆ, J.; BALEŠEVIĆ-TUBIĆ, S. The Significance of *Bacillus* spp. in Disease Suppression and Growth Promotion of Field and Vegetable Crops. **Microorganisms**, v. 8, n. 7, p. 1037, 2020. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8071037>

MIRANDA, A. A. C. de. **Relação entre indicadores de qualidade de solo sob diferentes sistemas de manejo**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias (Agroecologia) - UFPB/CCHSA. Bananeiras, PB, 71 f. 2018.

MONTEIRO, L.; MARIANO, R. de L. R.; SOUTO-MAIOR, A. M. Antagonismo de *Bacillus* spp. contra *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.48, n. 1, p. 23-29, 2005.

MOREIRA, F. M.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed. Lavras: Ed. UFLA, 2006. 626 p.

MÔRO, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. Importância e usos do milho no Brasil. In: BORÉM, A.; GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. A. (Eds.). **Milho: do plantio à colheita**. 1.ed. Viçosa: UFV, 2015. p. 09-25.

OLANREWAJU, O. S.; GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 33, n. 11, p. 1–16, 2017.

OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P. Influência dos processos de recuperação do solo após mineração de carvão sobre a mesofauna edáfica em Lauro Müller, Santa Catarina, Brasil. **Revista Biotemas**, v. 27, n. 2, p. 69-77, 2014.

OLIVEIRA, J. G. R.; TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C. Alterações na física do solo com a aplicação de dejetos animais. **Geographia Opportuno Tempore**, v. 2, p. 66-80, 2016.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A., SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. P.; SANTOS, F. C.; PINTO JÚNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C. **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja.** Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 2020. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 210).

PEREIRA, A. P. A.; SILVA, M. C. B.; OLIVEIRA, J. R. S.; RAMOS, A. P. S.; FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J.; KUKLINSKY-SOBRAL, J. Influência da salinidade sobre o crescimento e a produção de ácido indol acético de *Burkholderia* spp. Endofíticas de cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 112-121, 2012.

PINHO, R. G. V.; SANTO, A. O.; PINHO, I. V. V. Botânica. In: BORÉM, A.; GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. A. **Milho: do plantio à colheita.** 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. p. 25-48.

RAMOS, K. da S. **Vidro a partir de resíduos de mineração.** Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021. 55 f.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J. C.; REZENDE, S. B. de. **Mineralogia de solos brasileiros: interpretação e aplicações.** Lavras: Editora UFLA, 2005. 192 p.

SANTOS, E. da N.; ROCHA, J. L. A.; MARCELINO, R. M. O. da S.; VITORINO, P. J. P.; SILVA, R. M. G.; CARNEIRO, A. H. de S. Enxofre elementar adicionado em resíduo de mineração e sua influência no crescimento de arbóreas nativas. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 7, p. 10832-10847, jul. 2019.

SATTAR, A.; NAVEEDA, M.; ALIA, M.; ZAHIRA, Z.; NADEEMB, S.; YASEENA, M.; MEENAC, V. S.; FAROOQ, M.; SINGHE, R.; RAHMAN, M.; MEENA, H. N. Perspectives of potassium solubilizing microbes in sustainable food production system: a review. **Applied Soil Ecology**, v. 133, p. 146-159, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.09.012>.

SEVERINO, L. S.; COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. E. M.; LUCENA, M. A. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n. 1, 2004.

**SIBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed. . ed. rev. e aum. EMBRAPA: [s. n.], 2018. ISBN 978-85-7035-817-2. E-book: il. color. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>. Acesso em: 31 mar. 2022.

SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; GOMES, J. H. G.; FONTES, M. A.; SILVA, E. M. R.. Enzyme activity, glomalin, and soil organic carbon in agroforestry systems. **Floresta e Ambiente**, v.27, e. 20170716, 2020. DOI:<http://doi.org/10.1590/2179-8087.071617>

SILVA, D. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; JAQUES, R. J. S.; SILVEIRA, A. O.; SILVA, D. A. A.; RACHE, M. M.; PASSOS, V. H. G.; SILVA, B. R. Indicadores Microbiológicos de solo em pastagem com aplicação sucessiva de dejetos de Suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 6, 2015.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo ( $qCO_2$ ). **Embrapa Agrobiologia - Comunicado técnico 99**, Seropédica, ago. 2007.

SILVA, M. de O.; SANTOS, M. P. dos; SOUSA, A. C. da P.; SILVA, R. L. V. da; MOURA, I. A. A. de; SILVA, R. S. da; COSTA, K. D. da S.; . Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development** , Curitiba, v. 7, n. 1, p. 6853-6875 Jan. 2021a.

SHARMA, A.; SHANKHDHAR, D.; SHANKHDHAR, S. C. Potassium-solubilizing microorganisms: mechanism and their role in potassium solubilization and uptake. In: MEENA, V. S.; MAURYA, B. R.; VERMA, J. P.; MEENA, R. S. (ed.). **Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture**. Springer, New Delhi, p. 203-219, 2016.

SILVA, M. de O.; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L. do; OLIVEIRA, J. de; PEREIRA, D. de F.; COSTA, K. D. da S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, jul. 2020.

SILVA, R. B. et al. Atividade microbiana do solo em função do sistema de cultivo e integração lavoura-pecuária. In: **Anais... XVIII ENCONTRO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO**. UNOESTE, Presidente Prudente, p. 16-20, 2013.

SILVA, R. B.; SANTOS, A. C.; BATISTA, R. B. Respiração edáfica como indicativo da qualidade do solo em três agrossistemas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 11, p. 1-15, 2010.

SILVA, R. M. G.; ROCHA, J. L. A.; DIAS, V. B.; COSTA, R. C. da; SANTOS, E. da N. Influência do enxofre elementar adicionado em um resíduo da mineração visando à liberação de nutrientes no solo. **Engenharia, Sanitária e Ambiental**, v. 26 n. 2, p. 309-316, 2021b.

SOUSA, F. Q. de; ARAÚJO, J. L.; SILVA, A. P. da; PEREIRA, F. H. F.; SANTOS, R. V. dos; LIMA, G. S. de. Crescimento e respostas fisiológicas de espécies arbóreas em solo salinizado tratado com corretivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 173-181, 2012.

SOUSA, L. D. A. de. **Cinética de Liberação do Potássio em Rejeito de Mineração de Vermiculita para o Fortalecimento do Solo**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco - UFP. Recife, Pernambuco - PB, 2012.

SOUSA, L. D. A.; MACHADO, Á. O. D. V.; LEITE, J. Y. P. Liberação de potássio a partir de rejeito de vermiculita. **Anais XXIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**. Salvador, BA, 2011.

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

SOUZA, R. D., MENDONÇA, E. A. F., SOARES, M. A. Atividade antagônica a microrganismos patogênicos por bactérias endofíticas isoladas de *Echinodorus scaber*. **Summa Phytopathol.** v. 41, p. 229- 232, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-5405/2010>

STÖCKER, C. M.; MONTEIRO, A. B.; BAMBERG, A. L.; CARDOSO, J. H.; MORSELLI, T. B. G. A.; LIMA, A. C. R. **Bioindicadores da qualidade do solo em sistemas agroflorestais**. 14ª Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa, 2017.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C. A., ed. **Methods of soil analysis**. **Madison**, American Society of Agronomy, 1965. p.1551-1572.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Departamento de Solos, 1995. 118 p. (UFRGS. Boletim Técnico, 5).

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos em ciência do solo**, v. 2, n. 3, p. 195- 276, 2002.

TRAJANO, E. V. de A.; SANTOS, R. V. dos; BAKKE, O. A.; VITAL, A. de F. M.; SANTOS, Y. M. dos; QUARESMA, J. M.; SALVIANO, V. M. Crescimento do pinhão manso em substratos com resíduos de mineração do semiárido-PB. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS**, 1., 2010, João Pessoa. Inclusão social e energia: anais. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010.

UGARTE, J. F. O.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Vermiculita**. CETEM/MCTI, 2008.

WALKER, G. M.; WHITE, N. A. Introductio to fungal physiology. In: KAVANAGH, K. (ed.). **Fungi: biology and applications**. John Wiley and Sons, v. único, p. 1-34, 2005.

YANG, Y., XU, W., HOU, P., LIU, G., LIU, W., WANG, Y., LI, S. Improving maize grain yield by matching maize growth and solar radiation. **Scientific Reports**, v. 9, n.1, p. 1-11, 2019.