

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUALIDADE AMBIENTAL**

**JAYDER PEREIRA PIMENTEL**

**FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLO ARENOSO E ARGILOSO  
TRATADOS COM ISOLADOS FÚNGICOS SOB SOJA E MILHO EM CASA-DE-  
VEGETAÇÃO**

**UBERLÂNDIA – MG.**

**2021**

**JAYDER PEREIRA PIMENTEL**

**FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLO ARENOSO E  
ARGILOSO TRATADOS COM ISOLADOS FÚNGICOS SOB SOJA E MILHO  
EM CASA-DE-VEGETAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental – Mestrado, área de concentração em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador:

Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio Azevedo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

P644f  
2021

Pimentel, Jayder Pereira, 1993-

Frações da matéria orgânica em solo arenoso e argiloso tratados com isolados fúngicos sob soja e milho em casa-de-vegetação [recurso eletrônico] / Jayder Pereira Pimentel. - 2021.

Orientador: Lucas Carvalho Basílio Azevedo.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa Pós-graduação em Qualidade Ambiental.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2025.5569>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Qualidade ambiental. 2. Milho - Cultivo. 3. Fertilidade do solo. 4. Solos - Matérias orgânicas. 5. Soja - Cultivo. I. Azevedo, Lucas Carvalho Basílio, 1980-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental. III. Título.

---

CDU: 574

Rejane Maria da Silva  
Bibliotecária-Documentalista – CRB6/1925



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental  
BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902  
Telefone: (34) 2512-6717 - www.ppgmq.iciag.ufu.br - ppgmq@iciag.ufu.br



#### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

|                                    |   |                 |       |                       |       |
|------------------------------------|---|-----------------|-------|-----------------------|-------|
| Programa de Pós-Graduação em:      | Qualidade Ambiental (PPGMQ)   |                 |       |                       |       |
| Defesa de:                         | Dissertação de Mestrado Acadêmico, 08/2021, PPGMQ   |                 |       |                       |       |
| Data:                              | 25 de outubro de 2021   | Hora de início: | 13:20 | Hora de encerramento: | 15:40 |
| Matrícula do Discente:             | 11912MQA012   |                 |       |                       |       |
| Nome do Discente:                  | JAYDER PEREIRA PIMENTEL   |                 |       |                       |       |
| Título do Trabalho:                | FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLO ARENOSO E ARGILOSO TRATADOS COM ISOLADOS FÚNGICOS SOB SOJA E MILHO EM CASA DE VEGETAÇÃO |                 |       |                       |       |
| Área de concentração:              | Meio Ambiente e Qualidade Ambiental   |                 |       |                       |       |
| Linha de pesquisa:                 | Processos Ambientais  |                 |       |                       |       |
| Projeto de Pesquisa de vinculação: | Fungos promotores de crescimento no desenvolvimento vegetal e na fitorremediação de metais pesados                          |                 |       |                       |       |

Reuniu-se por meio de web conferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental (PPGMQ), assim composta: Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo (orientador do candidato); Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Adriane de Andrade Silva (UFU); e Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Risely Ferraz Almeida (IFTO).

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, às examinadoras, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o candidato:

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título descrito na tabela acima. O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Lucas Carvalho Basílio de Azevedo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 25/10/2021, às 15:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Adriane de Andrade Silva, Professor(a) do Magistério Superior**, em 25/10/2021, às 15:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **RISELY FERRAZ ALMEIDA, Usuário Externo**, em 26/10/2021, às 11:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3065184** e o código CRC **C51A7177**.

---

*Dedico este trabalho a todos os meus familiares,  
em especial meus pais Marlene e Rivalino pelos  
ensinamentos e exemplo de vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a empresa BIOSAG® pelo financiamento de toda a pesquisa e da bolsa de mestrado.

Agradeço ao meu orientador professor Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo pela oportunidade, orientação e confiança.

A Universidade Federal de Uberlândia e ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental (PPGMQ).

Ao meu amigo de mestrado Bruno pela parceria durante todo o projeto de pesquisa.

A discente de graduação em Engenharia Ambiental Nathalia Rodovalho pela ajuda na fase experimental.

À Professora Dra. Milla Alves Baffi, pela atenção e ao empréstimo do laboratório de microbiologia LAMIC.

As técnicas Julia e Luciana pelas orientações e auxílio quanto ao uso do laboratório.

## RESUMO

Existe a necessidade de maior produtividade agrícola, devido ao crescimento constante da população mundial. Nesse sentido, há uma extensa busca por organismos benéficos ao crescimento vegetal. Os microrganismos benéficos podem ser uma alternativa ao uso de insumos agrícolas provenientes de mineração ou sintéticos. Esses microrganismos podem, além de influenciar o sistema de defesa da planta, controle de patógenos, e regulação de fitohormônios, também resultar em condicionamento do solo, como aumento do teor de carbono orgânico no solo. O conhecimento sobre o conteúdo de matéria orgânica no solo e suas correlações com atividade e biomassa microbiana pode revelar mecanismos de condicionamento do solo. Nesse sentido, o objetivo da presente pesquisa foi entender os efeitos de cinco isolados fúngicos rizosféricos sobre a matéria orgânica, a respirometria (emissão de CO<sub>2</sub>) e o carbono da biomassa microbiana de solo arenoso e argiloso sob soja e milho em casa-de-vegetação. Para tanto, quatro ensaios foram instalados: com crescimento de milho e soja, sobre solo arenoso e argiloso. Cada ensaio recebeu 6 tratamentos: 1 – Controle não inoculado; 2 – aplicação de *Beauveria bassiana*; 3 – aplicação de *Metarhizium anisopliae*; 4 – de *Pochonia chlamydosporia*; 5 – aplicação de *Purpureocillium lilacinum*; 6 - aplicação de *Trichoderma asperellum*. A hipótese geral foi que as aplicações dos isolados fúngicos alteram as concentrações das frações ácidos fúlvicos, húmicos e humina no solo sob crescimento das culturas. Foram analisados a fertilidade do solo, o teor de carbono orgânico total, ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, humina, atividade de enzimas do ciclo do carbono, emissão de CO<sub>2</sub> e carbono da biomassa microbiana. O experimento teve delineamento de blocos inteiramente casualizados. Dentre as substâncias húmicas, *Purpureocillium lilacinum*, *Pochonia chlamydosporia* e *Trichoderma asperellum* apresentaram menores resultados para humina no milho em solo arenoso, enquanto ácidos húmicos e fúlvicos não apresentaram diferenças estatísticas na aplicação dos isolados fúngicos. *Beauveria bassiana*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum* em soja, sob solo arenoso apresentaram menores resultados de carbono orgânico total. Parâmetros como pH, saturação por bases, acidez potencial e magnésio foram interferidos. *B. bassiana* em milho sob solo argiloso, resultou em menor massa de raízes seca. Não se apresentou diferenças estatísticas em respiração basal microbiana, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática. Este trabalho demonstra a qualidade e aplicação dos isolados fúngicos estudados, além de apresentar várias opções de pesquisas aplicáveis a fim de entender melhor a relação dos fungos com a matéria orgânica do solo.

**Palavras-Chave:** matéria orgânica; isolados fúngicos; atividade enzimática; *Beauveria bassiana*; *Metarhizium anisopliae*; *Pochonia chlamydosporia*; *Purpureocillium lilacinum*; *Trichoderma asperellum*.



## ABSTRACT

Due to the constant growth of the world's population, there is a need for greater agricultural productivity. In this sense, the search for beneficial organisms for plant growth has been intensified. Beneficial microorganisms can serve as an alternative to mining or synthetic agricultural inputs. These microorganisms can not only influence the plant's defense system, pathogen control, and phytohormone regulation but also improve soil conditioning, such as increasing soil organic carbon content. Understanding the soil organic matter content and its correlation with microbial activity and biomass can reveal mechanisms of soil conditioning. The objective of this research was to understand the effects of five rhizospheric fungal isolates on the organic matter, respirometry (CO<sub>2</sub> emission), and microbial biomass carbon of sandy and clay soils under soybean and corn growth in a greenhouse. To this end, four trials were established: with corn and soybean growth on sandy and clay soil, respectively. Each trial included six treatments: 1 – Non-inoculated control; 2 – Application of *Beauveria bassiana*; 3 – Application of *Metarhizium anisopliae*; 4 – Application of *Pochonia chlamydosporia*; 5 – Application of *Purpureocillium lilacinum*; 6 – Application of *Trichoderma asperellum*. The general hypothesis was that the application of fungal isolates would alter the concentration of fulvic acid, humic acid, and humin fractions in the soil under crop growth. Soil fertility, total organic carbon, fulvic acids, humic acids, humin, carbon cycle enzyme activity, CO<sub>2</sub> emission, and microbial biomass carbon were analyzed. The experiment was designed in a completely randomized block design. Among the humic substances, *Purpureocillium lilacinum*, *Pochonia chlamydosporia*, and *Trichoderma asperellum* showed lower results for humin in corn grown in sandy soil, while humic and fulvic acids did not show statistically significant differences with the application of fungal isolates. *Beauveria bassiana*, *Purpureocillium lilacinum*, and *Trichoderma asperellum* in soybean under sandy soil showed lower total organic carbon results. Parameters such as pH, base saturation, potential acidity, and magnesium were also affected. *B. bassiana* in corn under clay soil resulted in lower dry root mass. No statistically significant differences were observed in basal microbial respiration, microbial biomass carbon, and enzymatic activity. This work demonstrates the quality and application of the studied fungal isolates, in addition to presenting several options for applicable research to better understand the relationship between fungi and soil organic matter.

**Keywords:** organic matter; fungal isolates; enzymatic activity; *Beauveria bassiana*; *Metarhizium anisopliae*; *Pochonia chlamydosporia*; *Purpureocillium lilacinum*; *Trichoderma asperellum*.

## **LISTA DE FIGURAS**

**FIGURA 1** – Monitoramento interno de temperatura da casa de vegetação..... 24

## LISTA DE TABELAS

**TABELA 1**– Fertilidade e textura do solo arenoso e argiloso antes do início do experimento, proveniente de amostra composta, ausente de correção de acidez, adubação e inoculação de isolados fúngicos..... 22

**TABELA 2** – Fertilidade de solo arenoso utilizado para desenvolvimento de milho comparando os tratamentos de aplicação de inóculos fúngicos de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*. ..... 30

**TABELA 3** – Fertilidade de solo argiloso utilizado para desenvolvimento demilhocomparando os tratamentos de aplicação de inóculos fúngicos de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*. ..... 31

**TABELA 4** – Fertilidade de solo arenoso utilizado para desenvolvimento de soja comparando os tratamentos de aplicação de inóculos fúngicos de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*. ..... 32

**TABELA 5** – Fertilidade de solo argiloso utilizado para desenvolvimento de soja comparando os tratamentos de aplicação de inóculos fúngicos de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*. ..... 33

**TABELA 6** – Carbono Orgânico Total em solo argiloso e arenoso utilizado para desenvolvimento de milho e soja comparando os tratamentos de aplicação de inóculos fúngicos de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*. ..... 35

**TABELA 7** – Substâncias húmicas do solo arenoso utilizado para desenvolvimento de milho comparando os tratamentos de aplicação de inóculos fúngicos de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*. ..... 37

**TABELA8** – Substâncias húmicas do solo argiloso utilizado para desenvolvimento de milho comparando os tratamentos de aplicação de inóculos fúngicos

de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*,  
*Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*. ..... 38

**TABELA 9** – Substâncias húmicas do solo arenoso utilizado para desenvolvimento de soja comparando os tratamentos de aplicação de inóculos fúngicos de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*. ..... 39

**TABELA 10** – Substâncias húmicas do solo argiloso utilizado para desenvolvimento de soja comparando os tratamentos de aplicação de inóculos fúngicos de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*. ..... 40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                   |   |
|-------------------|---|
| CTC               | Capacidade de troca de cátions              |
| MOS               | Matéria Orgânica do Solo                    |
| MO                | Matéria Orgânica                            |
| SH                | Substâncias Húmicas                         |
| AF                | Ácidos Fulvicos                             |
| AH                | Ácidos Húmicos                              |
| HUM               | Humina                                      |
| AIA               | Ácido Indol Acético                         |
| IAA               | Ácido Indol-3-Acético                       |
| Org C             | Carbono Orgânico                            |
| Mg                | Magnésio                                    |
| Ca                | Cálcio                                      |
| H+Al              | Acidez Potencial                            |
| V%                | Saturação por bases                         |
| CaCO <sub>3</sub> | Carbonato de Cálcio                         |
| MgCO <sub>3</sub> | Carbonato de Magnésio                       |
| KCl               | Cloreto de Potássio                         |
| FNR               | Fosfato natural reativo OCP                 |
| BDA               | Agar Batata Dextrose                        |
| CBM               | Carbono da Biomassa Microbiana              |
| RBM               | Respiração Basal Microbiana                 |
| COT               | Carbono Orgânico Total                      |
| FAF               | Fração de Ácidos Húmicos                    |
| FAH               | Fração de Ácidos Fúlvicos                   |
| NaOH              | Hidróxido de Sódio                          |
| THAM              | Trometamol; tris-hydroxymethyl aminomethane |
| HCl               | Ácido Clorídrico                            |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUÇÃO.....</b>                          | <b>15</b> |
| <b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                | <b>17</b> |
| Matéria Orgânica e Substâncias Húmicas .....    | 17        |
| Fungos Promotores de Crescimento Vegetal.....   | 18        |
| <b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                 | <b>21</b> |
| Ensaio em casa de vegetação .....               | 21        |
| Preparo de inóculo de fungos.....               | 23        |
| Inóculo nas sementes.....                       | 23        |
| Inóculo na parte aérea.....                     | 23        |
| Acompanhamento fenológico e monitoramento ..... | 24        |
| Desenvolvimento Vegetal.....                    | 24        |
| Fertilidade do solo.....                        | 24        |
| Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) .....      | 25        |
| Respiração Basal Microbiana (RBM) .....         | 25        |
| Atividade enzimática no solo.....               | 26        |
| Carbono Orgânico Total (COT).....               | 26        |
| Carbono nas Frações Húmicas.....                | 26        |
| Humina .....                                    | 27        |
| Ácidos húmicos e ácidos fúlvicos .....          | 27        |
| Análise estatística .....                       | 28        |
| <b>RESULTADOS .....</b>                         | <b>28</b> |
| Desenvolvimento vegetal.....                    | 28        |
| Fertilidade .....                               | 28        |
| Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) .....      | 34        |
| Respiração Basal Microbiana (RBM) .....         | 34        |
| Atividade enzimática no solo.....               | 34        |
| Carbono Orgânico Total (COT).....               | 34        |
| Carbono nas Frações Húmicas.....                | 36        |
| <b>DISCUSSÃO .....</b>                          | <b>41</b> |
| <b>CONCLUSÃO.....</b>                           | <b>46</b> |

## INTRODUÇÃO

A busca e utilização de terras para a produção de atividades agrícolas, devido ao aumento da população, é crescente, o que estimula o desmatamento e o uso de fertilizantes (CRIST et al. 2017; TILMAN et al. 2011). O uso de fertilizantes pode acarretar danos ao ambiente, por meio de arraste para cursos d'água ou por infiltração no solo, contaminação do lençol freático e eutrofização de corpos hídricos. Portanto, alternativas para melhorar o desenvolvimento e produtividade de plantas são estudadas, como melhoramento genético, correção e conservação de solo, além de controle de plantas daninhas, doenças e pragas, tratos culturais. Outra alternativa é o uso de microrganismos benéficos que desempenham funções significativas para o crescimento e produtividade vegetal, como bactérias, fungos promotores de crescimento vegetal (LIAO et al., 2017).

Alguns fungos promovem o crescimento vegetal pela regulação de síntese de fitohormônios, no controle de doenças e pragas e na solubilização de nutrientes. Com isso, podem ainda ajudar a elevar a capacidade de fotossíntese e a resistência da planta contra elementos tóxicos (EL-MARAGHY et al. 2020; SANTOS; VARAVALLLO, 2011). No entanto, pouco se sabe sobre o efeito da aplicação desses fungos sobre atributos no solo ou sobre a matéria orgânica.

A matéria orgânica do solo é essencial para a produtividade em solos agrícolas, pois ela desempenha relação direta com as funções físicas, químicas e biológicas do solo (CUNHA et. al. 2015). A matéria orgânica tem funções, como ser substrato orgânico para seres quimiorganotróficos do solo, atuar na agregação de partículas e estrutura, pois ela ajuda a melhorar o ambiente para que as raízes possam penetrar no solo, além de ajudar também na agregação, aeração e na retenção de água. Por isso, a matéria orgânica é um fator importante em climas secos e solos arenosos, reduzindo a compactação, a erosão, desertificação e a perda do solo (CANELLAS; SANTOS, 2005). Assim, a matéria orgânica do solo contribui para a biota do solo e tem função para o crescimento vegetal. Sua decomposição contribui para a ciclagem de nutrientes e manutenção dos ecossistemas de terra firme. Por suas diversas funções, a matéria orgânica é um eficiente indicador de qualidade do solo. Assim, é de extrema importância manter a cobertura vegetal no solo, pois com o aumento da matéria orgânica do solo, maior será a capacidade de troca de cátions(CTC) (SALTON, 2011).

A matéria orgânica do solo pode ser fracionada em grupos para melhor entendimento das suas funções. Essas frações são denominadas de substâncias húmicas e representam o material orgânico mais recalcitrante, com graus mais altos de degradação e que mais contribuem para as funções químicas e físicas do material orgânico do solo (ROSA et al., 2017). As substâncias húmicas impactam positivamente na estrutura solo e no desenvolvimento de plantas porque são capazes de melhorar a textura, aeração, a disponibilidade de nutrientes no solo, além de auxiliar ajuda no desenvolvimento da raiz, na absorção de nutrientes e também no auxílio para não perder nutrientes (HASSAN et al., 2020)

Considerando os possíveis efeitos sobre a matéria orgânica do solo, o presente trabalho proporcionou a avaliação da aplicação de cinco isolados fúngicos da rizosfera *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Purpureocillium lilacinum*, *Pochonia chlamydosporia*, *Trichoderma asperellum*, sobre o comportamento da matéria orgânica e atividade microbiana no solo.



## REFERENCIAL TEÓRICO

### **Matéria Orgânica e Substâncias Húmicas**

A matéria orgânica do solo (MOS) é formada por vários materiais como resíduos de plantas e animais, em variados estágios de decomposição como resíduos de plantas e animais, e da atividade sintética dos microrganismos, sendo resultantes da degradação biológica (BOT; BENITES, 2005; STEVENSON, 1994). A MOS é importante para a diversidade, quantidade e atividade da biota do solo, além de ter funções na conservação do solo e no crescimento vegetal (ZHAO et al., 2016a ).

Solos com quantidades adequadas de matéria orgânica (MO) tem maior capacidade de reter água e nutrientes, que serão disponibilizados de forma gradual, e variam de acordo com a necessidade do ambiente (MELO et al., 2009; ZUAZAGOITIA; VILLARROEL, 2016).

A adição de matéria orgânica no solo pode ajudar no processo de recuperação de áreas degradadas por ajudar a melhorar a estrutura do solo, diminuir a plasticidade e a coesão, aumentar a aeração e contribuindo para que as raízes penetrem e se distribuam melhor no solo. A matéria orgânica do solo também age diretamente sobre a fertilidade, por reter e ser a principal fonte de macro e micronutrientes vegetais (CANELLAS; SANTOS, 2005).

A principal origem da matéria orgânica do solo é a vegetação, por meio de deposição de folhas, ramos e exsudatos de raízes. A partir da decomposição do material orgânico aportado no solo, há alteração de síntese de compostos, contendo carbono que compõem as frações da MOS (CUNHA et. al. 2015). Além de se constituírem de uma fonte de energia para a biota do solo e carbono fixado, essas frações também fixam outros nutrientes, como fosfatos e nitratos (SILVA JUNIOR, 2019).

A MOS pode se dividir em dois grupos de substâncias, sendo o primeiro constituído de 10 a 15% da reserva total do carbono orgânico nos solos, compostos por produtos da decomposição dos resíduos orgânicos e do metabolismo microbiano, como aminoácidos e proteínas, carboidratos complexos e simples, ligninas, resinas, entre outros. Esses compostos têm uma estrutura de fácil de degradação para os microrganismos e estrutura química definida e, com isso, podem ser transformados e renovados facilmente. O segundo grupo é composto por aproximadamente 85 a 90% da reserva de carbono, compostos mais resistentes à degradação, com mais estabilidade,

portanto permanecem mais tempo no ambiente. Tais compostos são chamados de substâncias húmicas (SH) (KONONOVA, 1982).

As SH se dividem em ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e humina (HUM) (STEVENSON, 1994). No solo, as SH tem grande importância, pois sua coloração escura ajuda a reter o calor, favorecendo a germinação das sementes. Além disso, elas mantêm uma quantidade significativa de água, auxiliando na prevenção de erosão, ajudam na cimentação das partículas do solo. Também atuam como fertilizante, disponibilizando nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas (CANELLAS et al., 2015; SCHNITZER, et al. 1968). As SH têm também capacidade de complexação de metais, devido ao seu alto teor de oxigênio (WEI et al., 2020; ZHANG et al., 1996).

Os AF são solúveis em meio alcalino e em ácido diluído, com composição de compostos mais reativos comparando com as outras duas frações, como aminoácidos, polissacarídeos e compostos fenólicos, devido aos grupos carboxílicos e fenólicos que ela contém (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Já os AH também são solúveis em meio alcalino e insolúvel em meio ácido diluído. Apresentam coloração escura e são compostos por macromoléculas em sua composição de massa molecular elevada (STEVENSON 1994).

A HUM é insolúvel, tanto em meio ácido quanto em meio alcalino, apresentando baixa capacidade de reatividade. Sua composição é variada, ela é hidrofóbica e possui forte interação com componentes inorgânicos (RICE 2001).

### **Fungos Promotores de Crescimento Vegetal**

Alguns fungos do solo, da rizosfera e endofíticos têm o potencial de melhorar o crescimento vegetal. Os endófitos colonizam o interior das plantas, podendo ser encontrados nas folhas, caule e raízes, e sem causar nenhum dano ao seu hospedeiro. Eles entram nas plantas através de aberturas naturais, como os estômatos, ou por feridas, como, por exemplo, quando a raiz tem o crescimento de raízes secundárias e é acompanhada de “feridas”. Outra forma de entrar no interior da planta são pelos próprios insetos (AZEVEDO, 1998; LE COCQ et al, 2016). Em razão de estarem dentro da planta, esses microrganismos podem ficar em estado de quiescência (adormecido), e ficar assim durante todas as fases da planta (ALY et al., 2011; RODRIGUEZ; REDMAN, 2008).

Segundo Nair e Padmavathy (2014) estes microrganismos apresentam diversas aplicações e funções, tais como:

- Fitoestimulação: absorção de elementos essenciais à planta hospedeira;
- Produção de pigmentos: capazes de produzir um pigmento que pode ser utilizado como corante natural de alimentos;
- Produção enzimática: produção de várias enzimas de interesse comercial, como lipases, amilases, proteases, peroxidases e celulasas;
- Atividade antimicrobiana: auxiliam no controle do patógeno em plantas e animais;
- Fonte de bioativos e novos compostos: são capazes de sintetizar compostos que são utilizados pela planta na defesa contra patógenos, e esses novos compostos estão sendo úteis na medicina na produção de novos medicamentos;
- Agente de biocontrole: podem ser utilizados na substituição do controle químico, são importantes no controle de herbívora de insetos.
- Ciclagem de nutrientes: possuem potencial de degradação da matéria orgânica, incluindo a lignina, celulose e hemicelulose;
- Biorremediação/ Biodegradação: tem a capacidade de degradar compostos complexos.

Existem espécies de fungos filas *Ascomycota*, *Basidiomycota*, *Glomeromycota* e *Zygomycota* que estão incluídos no grupo de endofíticos (HARDOIM et al., 2015; SAIKKONEN et al., 2006).

Os fungos endofíticos podem conferir benefícios variados a plantas, incluindo fatores bióticos e abióticos, dentre eles: tolerância à seca, produção de enzimas, biorremediação, biotransformação (CLAY; SCHARDL, 2002; ZHENG et al., 2016), crescimento vegetal (JABER; ENKERLI, 2016), e controle biológico de patógenos em plantas (ETHUR et al 2007).

O fungo *Beauveria bassiana* (Bals. Criv.)Vuill, pertencente ao filo *Ascomycota* (Classe Sordariomycetes, Ordem Hypocreales e Família Cordycipitaceae), é um fungo entomopatogênico, encontrada em insetos e no solo(GOETTEL et al. 1990) e pode ser hospedeiro em diversas ordens como: Coleoptera, Lepidoptera, Hemiptera, Diptera ,Hymenoptera, Orthoptera (ALVES, 1998) e já foram listados em 707 espécies de insetos hospedeiros (LI, 1988) e, por isso, *Beauveria bassiana* é utilizada como agente de controle biológico (FARIA; MAGALHÃES, 2001; WANG; WANG, 2017).

Alguns benefícios relatados da *Beauveria bassiana* incluem o aumento e crescimento de plantas (ALVES et al.,2021), sendo que no milho demonstrou-se que o

fungo foi promotor do crescimento (TALL; MEYLING, 2018), assim como em outras espécies, como no feijão (DASH et al., 2018), cana de açúcar (DONGA et al., 2018).

O fungo *Metarhizium anisopliae* (Metsch) Sorokin pertence à classe Sordariomycetes, Ordem Hypocreales e da Família Clavicipitaceae, também um fungo entomopatogênico que pode ser encontrado em insetos e no solo e é também usado como agente de biocontrole (TANG et al. 2019; ZIMMERMANN, 2007b). Trata-se de um fungo filamentoso, que apresenta micélio hialino marrom ou verde e septado e em sua mais recente revisão taxonômica foram incluídas 30 espécies (KEPLER et al., 2014). Além disso, ele também coloniza a rizosfera (SASAN; BIDOCHKA, 2012).

Várias literaturas demonstram a capacidade do *Metarhizium anisopliae* no crescimento de plantas, como por exemplo, no tomate (GARCIA et al., 2011) e feijão (ALVES et al., 2021)

Os fungos *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* são fungos entomopatogênicos, assim chamados por conseguirem adentrar o dentro do corpo dos insetos e destruírem seus tecidos e, assim, levando-os à morte (SHAH; PELL, 2003; SHAHRIARI et al., 2021). São utilizados para controle biológico de pragas, sendo os principais e mais eficazes nesse tipo de controle (JABER; ENKERLI, 2016; RAMAKUWELA et al., 2020). Eles infectam seus hospedeiros pela cutícula externa, através dos conídios do fungo na superfície. A partir disso, seus esporos germinam na cutícula, formando uma estrutura chamada apressório. Em seguida, enzimas conseguem degradar essa cutícula, permitindo que o fungo adentre no inseto, onde absorve nutrientes, produz toxinas, destrói células e, eventualmente, mata o hospedeiro permitindo assim sua dispersão (QU; WANG, 2018).

Outro benefício relacionado aos fungos *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* foi a capacidade de transferir nitrogênio derivado dos insetos para plantas (BEHIE E BIDOCHKA, 2014)

*Trichoderma asperellum* (Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg) pertence à classe *Hypocreomycetidae*, Ordem *Hypocreales* e Família *Hypocreaceae*. Esse fungo é comumente utilizado no controle biológico de plantas (DÍAZ-GUTIÉRREZ et al. 2021), no auxílio de germinação de sementes, solubilização do fósforo (OLIVEIRA et al., 2012) e também no crescimento vegetal (ALVES et al., 2021) através de substâncias promotoras de crescimento vegetal, como o ácido indol-acético (AIA) que gera o crescimento das raízes, estimulando a absorção de nutrientes e água (CABALLERO-MELLADO et al., 2006).

*Purpureocillium lilacinum* (Thom. Bull.) Burda Classe Ascomycetes, Ordem Eurotiales e Família Trichocomaceae, é um fungo nematófago, encontrado no solo (BARON, RIGOBELLO; ZIED, 2019). Ele é capaz de produzir metabólitos secundários, por exemplo, as giberelinas e auxinas capazes de promover o crescimento de plantas e outras substâncias que podem proteger de estresses bióticos e abióticos, como pH e salinidade (KHAN et al., 2012; KIRIGA et al., 2018 ).

*Purpureocillium lilacinum* é capaz de aumentar solubilização de fósforo e também produção de sideróforos e ácido indol-3-acético (IAA) (Moreno-Salazar et al. 2020).

*Pochonia chlamydosporia* (Goddard) Zare; W. Gams pertence à classe Sordariomycetes, Ordem Hypocreales, Família Clavicipitaceae. Trata se de um fungo facultativo de ovos de nematoides encontrado no solo e que coloniza a rizosfera (KERRY 2000; MONTEIRO et al., 2018). Ele é um ótimo agente de controle de nematoides, ele não é patogênico à planta e pode se fixar no solo através de sua estrutura chamada clamidósporos, mesmo na ausência de nematoides (KERRY, 2001; NASU et al., 2018). Ele também pode promover o crescimento vegetal (ALVES et al. 2021).

Os fungos são um dos principais componentes da biota do solo, eles produzem enzimas que utilizam componentes orgânicos como fonte de energia e nutrientes, desempenha papel fundamental na decomposição da matéria orgânica do solo (KJØLLER; STRUWE, 1982). Estudos mostram que alguns fungos endofíticos tem a capacidade de degradar compostos orgânicos de carbono e nitrogênio, como celulose, amido, lipídios, uréia, pectina e gelatina, o que é benéfico para as plantas (SURONO; NARISAWA, 2017).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Ensaio em casa de vegetação**

Ensaio com milho (*Zea mays*), cultivar PIONNER 3754PWU® e soja (*Glycine max*) cultivar Intacta RR2 PRO®– NS69061PRO, foram realizados em solo argiloso e arenoso em casa de vegetação, um com textura arenosa e outro com textura argilosa. Os solos utilizados nos ensaios foram coletados em julho de 2019 em uma profundidade de 30 cm em área de Latossolo vermelho distrófico textura argilosa (475g kg<sup>-1</sup> argila, 125g kg<sup>-1</sup> silte e 400g kg<sup>-1</sup> areia), sob *Urochloa brizantha* (18°57'32,98"S e 48°12'15,07"W), e em área de Latossolo amarelo distrófico, textura arenosa (200 g kg<sup>-1</sup> argila, 75g kg<sup>-1</sup>

silte e 725g kg<sup>-1</sup> areia), sob vegetação de Cerrado *stricto sensu* em recuperação (18°58'16,40''S e 48°12'28.29''O) (Tabela 1).

**TABELA 1**– Fertilidade e textura do solo arenoso e argiloso antes do início do experimento, proveniente de amostra composta, ausente de correção de acidez, adubação e inoculação de isolados fúngicos.

| pH<br>H2O     | pH<br>CaCl2 | Org C                | P meh               | Mg                     | K    | Ca  | H+Al | T    | V  |
|---------------|-------------|----------------------|---------------------|------------------------|------|-----|------|------|----|
|               |             | dag dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> | cmolc dm <sup>-3</sup> |      |     |      |      | %  |
| Solo Argiloso |             |                      |                     |                        |      |     |      |      |    |
| 5,2           | 4,6         | 1,4                  | 2,2                 | 0,4                    | 0,08 | 0,9 | 4    | 5,35 | 25 |
| Solo Arenoso  |             |                      |                     |                        |      |     |      |      |    |
| 5             | 4,4         | 0,55                 | 0,9                 | 0,2                    | 0,05 | 0,3 | 4,2  | 4,68 | 10 |

Análise realizada após padronização em peneiras com malha de 2mm. Carbono orgânico (Org. C); Fósforo Mehlich (Pmeh); Capacidade de troca de cátions (CTC) e Saturação por bases (V%).

O solo foi peneirado em malhas de 2 mm, colocado sobre uma lona, homogeneizado e seu pH e adubação corrigidos.

O pH foi corrigido adicionando em cada vaso CaCO<sub>3</sub> (8,92g em solo argiloso e 10,1g em solo arenoso) e MgCO<sub>3</sub> (2,10g em solo argiloso e 2,42g em solo arenoso) saturando os vasos em seguida. Duas semanas após a correção de pH foi adicionado KCl (1,63g em solo argiloso e 1,56g em solo arenoso). No milho, foram adicionados 8g de Ureia dissolvida em água, divididas em duas parcelas, aplicadas com 5 e 32 dias após a semeadura. A fosfatagem corretiva foi realizada de acordo com Novais (1999), com 667 mg dm<sup>-3</sup> de fosfato natural reativo OCP (FNR).

Seis tratamentos com 4 repetições com delineamento inteiramente ao acaso foram estabelecidos : (1) controle sem inoculação; inoculação de (2) *Beauveria bassiana* (Bals. Criv.) Vuill.; (3) *Metarhizium anisopliae* (Metsch) Sorokin; (4) *Pochonia chlamydosporia* (Goddard) Zare & W. Gams); (5) *Purpureocillium lilacinum* (Thom. Bull.) Bur.; (6) *Trichoderma asperellum* (Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg). Foram adicionados 6 sementes para milho e 9 sementes para soja em vasos dadicionadas, após 78 dias para o milho e 101 dias para a soja, as plantas foram desbastadas, restando apenas duas por vaso. O experimento foi realizado até que todas as plantas apresentassem pelo

menos uma inflorescência, atingindo o seu estágio reprodutivo fenológico (R1) para a soja e (VT) para o milho.

### **Preparo de inóculo de fungos**

Os isolados fúngicos *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*, foram concedidos pela empresa BIOSAG - Comércio e Serviços Agrícolas Ltda, em frascos com meio de cultura, contendo cada isolado. Os isolados juntamente com o meio de cultura foram retirados do frasco e homogeneizados por 5 segundos em um liquidificador. Em seguida, a concentração de conídios foi determinada após contagem em Câmara de Neubauer.

Os fungos foram aplicados por meio de duas vias, sendo no primeiro momento nas sementes, no sulco da semeadura com o uso de uma micropipeta, e em outro momento com o uso de um pulverizador no solo e aspergido aos 14 dias e 28 dias no milho na soja.

### **Inóculo nas sementes**

Para cada tratamento, foram selecionadas 100 sementes, que receberam 1000 µL de suspensão contendo os conídios. Após a homogeneização, as sementes permaneceram refrigeradas a 12°C por 24 horas até o momento da semeadura.

Algumas diluições foram feitas para se atingir suspensões com concentração de  $10^5$  conídios  $\text{ml}^{-1}$  para cada isolado fúngico, sendo para *B. bassiana*, *M. anisopliae*, *P. chlamydosporia*, *P. lilacinum* e *T. asperellum*, e, todos eles com um volume final de suspensão de 200 ml. A suspensão para tratamento do controle foi preparada com a utilização do meio de cultura BDA (Agar Batata Dextrose) e por fim aplicou-se também 1000 µL dessas soluções em cada sulco da semeadura.

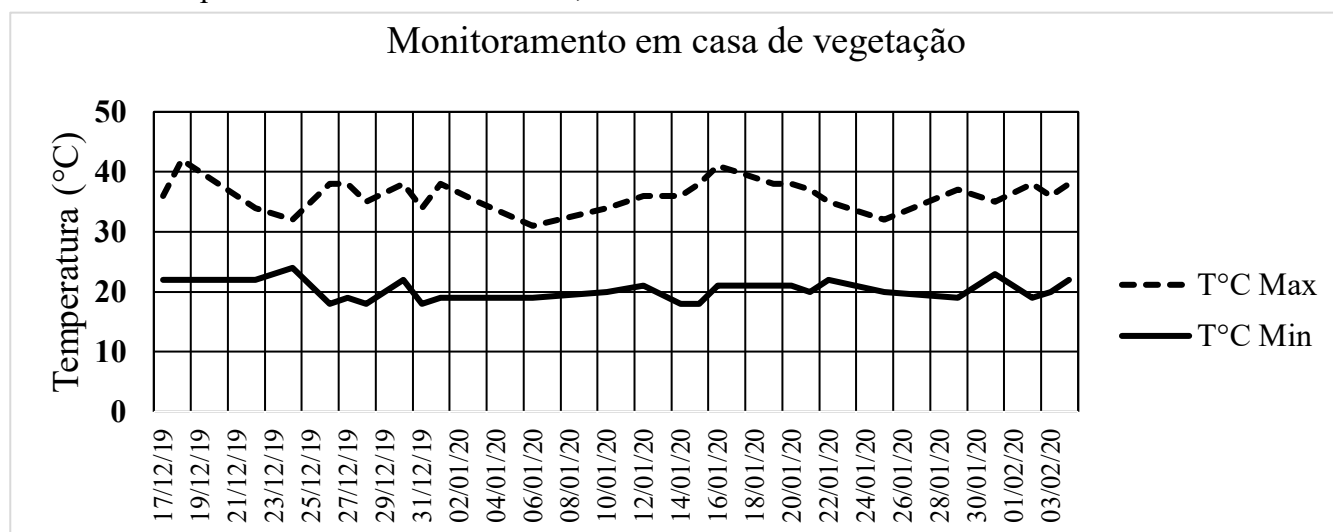
### **Inóculo na parte aérea**

Os isolados fúngicos foram aplicados com pulverizador manual por 30 segundos (atingindo 100 mL por vaso) aos 14 e 28 dias, após a semeadura do milho e soja. As concentrações de todas as suspensões foram padronizadas a  $10^5$  conídios  $\text{ml}^{-1}$  para cada

isolado fúngico através de diluições. O tratamento controle também recebeu a solução contendo meio BDA.

### **Acompanhamento fenológico e monitoramento**

A temperatura máxima e mínima foi monitorada durante todo o ensaio em casa-de-vegetação (Figura 1), apresentando a variação de temperatura máxima média de 36,4 °C e temperatura mínima média de 20,3 °C.



**FIGURA 1** – Monitoramento interno de temperatura da casa de vegetação.

### **Desenvolvimento Vegetal**

A soja teve sua parte aérea extraída no estágio R1, sendo ele caracterizado como o início do florescimento, com ao menos uma flor aberta em qualquer parte da haste principal. O milho foi extraído no estágio fenológico VT, que é quando ocorre quando o último ramo do pendão emerge e se estende para fora. As raízes foram separadas do solo e lavadas em água corrente. A massa seca da parte aérea e das raízes foi determinada após serem colocadas em estufa a 60°C por 72 horas.

### **Fertilidade do solo**

O solo rizosférico foi coletado nos vasos através do desprendimento do solo que estava em volta das raízes com uma leve agitação do sistema radicular. (Ghini et al., 2006).



Foram determinados pH, carbono orgânico, cálcio, magnésio, potássio, alumínio, Acidez potencial, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, de acordo com Teixeira et al., (2017).

### **Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)**

O CBM foi determinado pelo método fumigação-extração, segundo Vance et al. (1987), a partir de 10g de solo seco em frascos de 100ml com amostras fumigadas e não fumigadas com clorofórmio.

Para a fumigação das amostras, foram adicionados 30 ml de clorofórmio em béquer dentro do dessecador sob vácuo de aproximadamente 600 mm de Hg, por cerca de 3 minutos para que entrasse em ebulição. As amostras ficaram 24 horas dentro do dessecador em um ambiente escuro.

A extração do CBM das amostras fumigadas e não fumigadas foi realizada com 40 ml de solução de sulfato de potássio ( $K_2SO_4$  0,5M), sob agitação por 30 minutos a 150 rpm, e posteriormente, foi feita a filtração em papel filtro faixa azul. Alíquotas de 8ml do filtrado foram retiradas e adicionado 2ml de solução de dicromato de potássio 0,0667M ( $K_2Cr_2O_7$ ) e 15 mL da mistura 2:1 de ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ) com ácido fosfórico concentrado ( $H_3PO_4$ ). A mistura foi aquecida em banho maria por 30 minutos a 100°C e, após o resfriamento, foi adicionado 20 ml de água destilada.

As amostras foram tituladas com sulfato ferroso amoniacal 0,0333M  $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$  na presença do indicador ferroína.

### **Respiração Basal Microbiana (RBM)**

A RBM foi determinada por medição do  $CO_2$  liberado a partir de 100g de solo em frascos herméticos, segundo Stotzky (1965). Para tanto a umidade foi ajustada para 40% da capacidade de retenção da água, seguidos de incubação em local escuro por 7 dias para que a microbiota se aclimatasse. Frascos sem solo constituíram os brancos. No sétimo dia, recipientes plásticos de 40 ml contendo 10 ml de hidróxido de sódio (NaOH; 1M) foram colocados dentro de cada um dos frascos para que o NaOH reagisse com as moléculas  $CO_2$  liberadas. Após 24 horas, a primeira leitura foi realizada via titulação com HCl. Para isso, os copos plásticos foram retirados dos frascos e 5 ml de cloreto de bário ( $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ ; 1M) adicionados, juntamente com 3 gotas de fenolftaleína (1%). Então, o

NaOH residual foi determinado pela titulação com ácido clorídrico (HCl; 0,5M). A determinação do CO<sub>2</sub> por meio deste procedimento foi realizada às 24 e 48 horas, e aos 3, 7, 14, 21, 28, e 56 dias de incubação.

### **Atividade enzimática no solo**

A atividade da enzima  $\beta$ -glicosidase foi determinada de acordo com Tabatabai (1994). Constituindo-se por 1g de solo em frascos de 50 ml e 0,25 mL de tolueno certificado, 4 mL MUB (tampão universal modificado) pH 6,0 e 1 mL de solução PNG (P-Nitrophenyl-B-D-glucosidase). Colocou-se em intubação por 1 hora a 37°C e, posteriormente, adicionada solução de tampão THAM (trometamol; tris-hydroxymethyl aminomethane) e CaCl<sub>2</sub> (0,5M). Foi realizada a leitura em espectrofotômetro a 410nm.

### **Carbono Orgânico Total (COT)**

O COT foi determinado de acordo com Mendonça e Matos (2005) através de digestão úmida. 0,5g de solo foi adicionado em tubos de digestão e, em seguida foram adicionados 5 ml de solução de dicromato de potássio 0,167 mol L<sup>-1</sup> (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) e 12 ml de ácido sulfúrico concentrado (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Os tubos foram colocados em bloco digestor por 30 minutos a 170°C e, após esfriar a solução foi transferida para um erlenmeyer de 250ml e adicionou-se 80 ml de água destilada.

Titulou-se a solução com sulfato ferroso amoniacal 0,1 mol L<sup>-1</sup> [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Fe(SO<sub>4</sub>).6H<sub>2</sub>O] na presença de solução indicadora de Ferroin.

### **Carbono nas Frações Húmicas**

Para extração e determinação dos teores de carbono nas três frações húmicas da matéria orgânica do solo, utilizou-se o método proposto por Benites et al. (2003). Em tubos, foram adicionados 1g de solo seco e 10 ml de solução de NaOH 0,1 M, deixando em contato por 24 horas. Após esse período, as amostras foram centrifugadas por 20 minutos a 3000g (FCR média), e o líquido sobrenadante foi retirado, e adicionaram-se mais 10 ml de solução de NaOH 0,1M. Este procedimento de adição de NaOH, centrifugação e retirada do sobrenadante foi repetida 3 vezes para cada amostra. O

precipitado que ficou no fundo do tubo foi reservado para a análise da fração humina (HUM).

O mais rápido possível corrigiu-se o pH para  $2 \pm 0,1$  com solução  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a 20% e deixou-se as amostras em repouso novamente por pelo menos 18 horas, visando a precipitação da fração não solúvel em solução ácida. Após as 18 horas, as amostras foram centrifugadas por 5 minutos a 3000 g novamente para formação do precipitado, que corresponde à fração ácidos húmicos (FAH).

A FAH foi separada da fração solúvel e rediluída em solução  $\text{NaOH}$  0,1 M e seu volume aferido para 50 mL. A porção solúvel no extrato acidificado, fração ácidos fúlvicos (FAF), teve o volume aferido para 50 mL, utilizando-se água destilada.

Para determinação quantitativa de carbono nos extratos das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina foi também feita segundo método de Benites et. al (2003).

### **Humina**

Para a determinação da humina (HUM), transferiu-se o material precipitado para tubos de digestão, foi aguardada sua secagem total a  $65^\circ\text{C}$  em estufa, adicionou-se 5 mL de solução  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$   $0,1667 \text{ mol L}^{-1}$ , 10 mL de solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado e levou ao bloco digestor por 30 minutos. Após a digestão, titulou-se com solução de sulfato ferroso amoniacal  $0,25 \text{ mol L}^{-1}[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4).6\text{H}_2\text{O}]$  na presença de solução indicadora de Ferroin.

### **Ácidos húmicos e ácidos fúlvicos**

Alíquotas de 5 ml de solução de ácido húmico (FAH) e fúlvicos (FAF) foram transferidas para um tubo de digestão, juntamente com 1 mL de solução  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$   $0,042 \text{ mol L}^{-1}$ , 5 mL de solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado e levadas ao bloco digestor por 30 min a  $150^\circ\text{C}$ . Após a digestão titulou-se com solução de sulfato ferroso amoniacal  $0,0125 \text{ mol L}^{-1}[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4).6\text{H}_2\text{O}]$  na presença de solução indicadora de Ferroin.

## **Análise estatística**

Os dados foram avaliados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ( $p < 0,05$ ) utilizando o programa *Action*®. Os dados paramétricos foram submetidos aos testes de suposições a fim de atender pressupostos estatísticos necessários para elaboração de uma análise de variância. Com isso, os pressupostos a serem atendidos foram: aditividade por análise de histograma de resíduos, homocedasticidade por teste de *Levene* à 5% de significância e independência dos resíduos mediante análise gráfica de Resíduos e Ordem de coleta. Todas as avaliações foram elaboradas com auxílio do programa *Action*®. Após o aceite de todas as suposições, e guardadas as suas particularidades, foi realizada a análise de variância e teste Scott-Knott ( $p < 0,05$ ) no programa *Sisvar*®.

## **RESULTADOS**

### **Desenvolvimento vegetal**

A massa seca da parte aérea (média geral de 19,64g) e das raízes (média geral de 15,98g) de milho em solo arenoso não apresentou diferença estatística entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott). No milho em solo argiloso, também não apresentou diferença estatística de massa seca da parte aérea e das raízes para nenhum dos tratamentos ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott), sendo a média geral de 30,39 g e 21,74 g, respectivamente.

Os resultados para a soja em solo arenoso não apresentaram diferença estatística de massa seca da parte aérea e das raízes para nenhum dos tratamentos ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott), sendo a média geral de 4,21 g e 2,39 g, respectivamente. Em solo argiloso o ensaio de soja não apresentou diferença estatística para nenhum dos tratamentos nas análises da massa seca da parte aérea ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott), com média de 7,78g, e massa seca das raízes ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott) com média de 3,25g

### **Fertilidade**

No solo arenoso sob milho, a aplicação do isolado fúngico *Beauveria bassiana* e *Pochonia chlamydosporia* resultou em menor quantidade de fósforo ( $p < 0,05$ ; Kruskal

Wallis), enquanto o isolado fúngico *Pochonia chalamydosporia* apresentou melhores resultados no pH em CaCl<sub>2</sub> ( $p < 0,05$ ; Kruskal Wallis), e também no pH em H<sub>2</sub>O ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott), comparando aos outros tratamentos (Tabela 3). O solo argiloso sob milho obteve maiores saturação da CTC por bases na aplicação de *Purpureocillium lilacinum* e *Pochonia chalamydosporia* ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott) e obteve aumento da acidez potencial ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott) nos tratamentos usando *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Trichoderma asperellum* (Tabela 4).

Em relação ao solo arenoso sob soja, a aplicação de *Trichoderma asperellum* resultou em maiores resultados de pH em CaCl<sub>2</sub> ( $p < 0,05$ ; Kruskal Wallis), maior acidez potencial em *Beauveria bassiana* e *Pochonia chalamydosporia* ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott); e os tratamentos de *Beauveria bassiana*, *Pochonia chalamydosporia* e *Trichoderma asperellum* ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott) resultaram em menor saturação da CTC por bases (Tabela 5). O solo argiloso sob o tratamento com *Trichoderma asperellum* apresentou maior teor de magnésio ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott) quando comparado aos outros tratamentos (Tabela 6).

Em relação ao carbono orgânico, não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos com ou sem inoculação e também independente das espécies de fungos inoculadas.

**TABELA 2** – Fertilidade de solo arenoso utilizado para desenvolvimento de milho comparando os tratamentos de aplicação de inóculos fúngicos de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*.

|                          | pH (H <sub>2</sub> O)* | pH (CaCl <sub>2</sub> )* | H+Al<br>cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3**</sup> | Ca<br>cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3*</sup> | Mg cmol <sub>c</sub><br>dm <sup>-3*</sup> | Kcmol <sub>c</sub><br>dm <sup>-3*</sup> | Tcmol <sub>c</sub> dm <sup>-3*</sup> | C org<br>dag.dm <sup>-3**</sup> | V %*        | P mg dm <sup>-3*</sup> |
|--------------------------|------------------------|--------------------------|--|---|---|---|--------------------------------------|---------------------------------|-------------|------------------------|
| Controle                 | 5.23±0.13b             | 4.75±0.06b               | 1.89±0.08a                                   | 1.08±0.10a                                | 0.20±0.03a                                | 0.12±0.02a                              | 3.31±0.21a                           | 0.78±0.05a                      | 42.5±2.87a  | <b>43.48±18a</b>       |
| <i>B. bassiana</i>       | 4.98±0.13b             | 4.58±0.15b               | 1,86±0.02a                                   | 1.1±0.12a                                 | 0.24±0.03a                                | 0.14±0.03a                              | 3.31±0.19a                           | 0,75±0.06a                      | 44.25±3.1a  | 13.68±8.99b            |
| <i>M. anisopliae</i>     | 5.1±0.22b              | 4.65±0.24b               | 1.9±0.22a                                    | 1.06±0.17a                                | 0.25±0.03a                                | 0.13±0.02a                              | 3.34±0.06a                           | 0.8±0.08a                       | 43.25±5.56a | <b>69.63±39.4a</b>     |
| <i>P. lilacinum</i>      | 5.16±0.13b             | 4.78±0.15b               | 1.83±0.11a                                   | 1.05±0.12a                                | 0.21±0.03a                                | 0.14±0.01a                              | 3.23±0.13a                           | 0.75±0.31a                      | 43.5±3.70a  | 21.6±5.30b             |
| <i>P. chlamydosporia</i> | <b>5.63±0.15a</b>      | <b>5.18±0.05a</b>        | 1.86±0.14a                                   | 1.2±0.14a                                 | 0.27±0.04a                                | 0.14±0.03a                              | 3.47±0.1a                            | 0.83±0.05a                      | 46.5±5.45a  | <b>37.95±18.84a</b>    |
| <i>T. asperellum</i>     | 5.13±0.15b             | 4.73±0.17b               | 1.76±0.15a                                   | 1.0±0.12a                                 | 0.20±0.06a                                | 0.11±0.02a                              | 3.07±0.33a                           | 0.88±0.05a                      | 42.5±2.08a  | <b>48.93±2.08a</b>     |

Médias (desvio padrão) (n = 4) para parâmetros de fertilidade do solo arenoso. Desenvolvido em casa-de-vegetação, sendo que as letras minúsculas (destacadas em negrito) mostram diferenças entre os tratamentos. Para dados paramétricos foi realizado teste de Scott-Knott (\*) com nível de significância de 5% (p < 0.05) e para dados não paramétricos foi realizado teste de Kruskal Wallis (\*\*) também com mesmo nível de significância.

**TABELA 3** – Fertilidade de solo argiloso utilizado para desenvolvimento de milho comparando os tratamentos de aplicação de inóculos fúngicos de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*.

|                          | pH (H <sub>2</sub> O)** | pH<br>(CaCl <sub>2</sub> )** | H+Al<br>cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> * | Ca<br>cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ** | Mg cmol <sub>c</sub><br>dm <sup>-3</sup> * | K cmol <sub>c</sub><br>dm <sup>-3</sup> ** | T cmol <sub>c</sub><br>dm <sup>-3</sup> * | C org<br>dag.dm <sup>-3</sup> * | V %*              | P mg dm <sup>-3</sup> ** |
|--------------------------|-------------------------|------------------------------|--|---|--|--|---|---------------------------------|-------------------|--------------------------|
| Controle                 | 4.88±0.15a              | 4.53±0.15a                   | 2.63±0.31b                                   | 1.74±0.10a                                  | 0.46±0.04a                                 | 0.17±0.02a                                 | 4.99±0.25a                                | 2.08±0.13a                      | <b>47.5±3.79a</b> | 31.43±9.7a               |
| <i>B. bassiana</i>       | 5.08±0.15a              | 4.55±0.1a                    | <b>3.05±0.28a</b>                            | 1.57±0.04a                                  | 0.41±0.02a                                 | 0.18±0.02a                                 | 5.2±0.33a                                 | 2.32±0.05a                      | 41.75±1.7b        | 37.93±26.33a             |
| <i>M. anisopliae</i>     | 4.95±0.13a              | 4.55±0.13a                   | <b>2.95±0.38a</b>                            | 1.59±0.05a                                  | 0.41±0.01a                                 | 0.16±0.03a                                 | 5.1±0.32a                                 | 2.35±0.25a                      | 42.25±3.86b       | 39.75±6.65a              |
| <i>P. lilacinum</i>      | 5±0a                    | 4.65±0.06a                   | 2.42±0.15b                                   | 1.85±0.10a                                  | 0.49±0.05a                                 | 0.15±0.05a                                 | 4.91±0.32a                                | 2.25±0.1a                       | <b>50.5±0.58a</b> | 23.55±9.11a              |
| <i>P. chlamydosporia</i> | 5.23±0.26a              | 4.8±0.2a                     | 2.5±0.26b                                    | 1.7±0.11a                                   | 0.42±0.06a                                 | 0.17±0.02a                                 | 4.79±0.28a                                | 2.05±0.37a                      | <b>48±3.16a</b>   | 42.43±3.21a              |
| <i>T. asperellum</i>     | 4.9±0.22a               | 4.53±0.15a                   | <b>2.9±0.41a</b>                             | 1.44±0.42a                                  | 0.48±0.08a                                 | 0.16±0.01a                                 | 4.98±0.09a                                | 2±0.18a                         | 42±7.53b          | 32.7±9.64a               |

Médias (desvio padrão) (n = 4) para parâmetros de fertilidade do solo argiloso. Desenvolvido em casa-de-vegetação, sendo que as letras minúsculas (destacadas em negrito) mostram diferenças entre os tratamentos. Para dados paramétricos foi realizado teste de Scott-Knott (\*) com nível de significância de 5% (p < 0.05) e para dados não paramétricos foi realizado teste de Kruskal Wallis (\*\*) também com mesmo nível de significância.

**TABELA 4** – Fertilidade de solo arenoso utilizado para desenvolvimento de soja comparando os tratamentos de aplicação de inóculos fúngicos de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*.

|                          | pH (H <sub>2</sub> O)* | pH (CaCl <sub>2</sub> )** | H+Al<br>cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> * | Ca<br>cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> * | Mg cmol <sub>c</sub><br>dm <sup>-3</sup> * | Kcmol <sub>c</sub><br>dm <sup>-3</sup> ** | Tcmol <sub>c</sub><br>dm <sup>-3</sup> ** | C org<br>dag.dm <sup>-3</sup> * | V %*               | P mg dm <sup>-3</sup> ** |
|--------------------------|------------------------|---------------------------|--|--|--|---|---|---------------------------------|--------------------|--------------------------|
| Controle                 | 5.85±0.19a             | 5.35±0.06b                | 1.33±0.03b                                   | 1.13±0.11a                                 | 0.22±0.01a                                 | 0.08±0.01a                                | 2.75±0.10a                                | 0.7±0.08a                       | <b>51.75±2.22a</b> | 56.15±14.12a             |
| <i>B. bassiana</i>       | 5.75±0.17a             | 5.25±0.1b                 | <b>1.43±0.15a</b>                            | 0.98±0.06a                                 | 0.21±0.04a                                 | 0.08±0.02a                                | 2.69±0.17a                                | 0.83±0.13a                      | 47±3.37b           | 46.18±14.63a             |
| <i>M. anisopliae</i>     | 5.78±0.1a              | 5.3b                      | 1.29±0.12b                                   | 1.07±0.05a                                 | 0.24±0.01a                                 | 0.08±0.01a                                | 2.68±0.14a                                | 0.73±0.05a                      | <b>52±2.16a</b>    | 31.08±5.57a              |
| <i>P. lilacinum</i>      | 5.65±0.13a             | 5.23±0.1b                 | 1.29±0.08b                                   | 1.09±0.17a                                 | 0.24±0.03a                                 | 0.09±0.02a                                | 2.71±0.21a                                | 0.78±0.05a                      | <b>52.25±4.11a</b> | 50.1±9.73a               |
| <i>P. chlamydosporia</i> | 5.58±0.22a             | 5.13±0.1b                 | <b>1.53±0.08a</b>                            | 1.04±0.13a                                 | 0.22±0.01a                                 | 0.08±0.03a                                | 2.86±0.15a                                | 0.75±0.06a                      | 46.25±3.77b        | 68.55±63.68a             |
| <i>T. asperellum</i>     | 5.83±0.21a             | <b>5.4±0.12a</b>          | 1.34±0.05b                                   | 1.07±0.17a                                 | 0.21±0.04a                                 | 0.09±0.02a                                | 2.65±0.11a                                | 0.65±0.1a                       | 49.5±3.42b         | 37.23±7.92a              |

Médias (desvio padrão) (n = 4) para parâmetros de fertilidade do solo arenoso. Desenvolvido em casa-de-vegetação, sendo que as letras minúsculas (destacadas em negrito) mostram diferenças entre os tratamentos. Para dados paramétricos foi realizado teste de Scott-Knott (\*) com nível de significância de 5% (p < 0.05) e para dados não paramétricos foi realizado teste de Kruskal Wallis (\*\*) também com mesmo nível de significância.



**TABELA 5**– Fertilidade de solo argiloso utilizado para desenvolvimento de soja comparando os tratamentos de aplicação de inóculos fúngicos de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*.

|                          | pH (H <sub>2</sub> O)* | pH (CaCl <sub>2</sub> ) * | H+Al<br>cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> * | Ca<br>cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> * | Mg cmol <sub>c</sub><br>dm <sup>-3</sup> * | K<br>cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> * | T<br>cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> * | C org<br>dag.dm <sup>-3</sup> * | V %*        | P mg dm <sup>-3</sup> * |
|--------------------------|------------------------|---------------------------|--|--|--|---|---|---------------------------------|-------------|-------------------------|
| Controle                 | 5.58±0.05a             | 5.13±0.05a                | 2.14±0.13a                                   | 1.76±0.11a                                 | 0.53±0.07b                                 | 0.15±0.01a                                | 4.59±0.15a                                | 2.28±0.15a                      | 53.25±2.75a | 39.8±8.49a              |
| <i>B. bassiana</i>       | 5.5±0.18a              | 5.05±0.1a                 | 2.12±0.18a                                   | 1.63±0.07a                                 | 0.55±0.04b                                 | 0.15±0.04a                                | 4.45±0.19a                                | 1.9±0.14a                       | 52.5±2.38a  | 26.28±4.9a              |
| <i>M. anisopliae</i>     | 5.55±0.18a             | 5.15±0.06a                | 2.09±0.27a                                   | 1.8±0.08a                                  | 0.56±0.03b                                 | 0.13±0.01a                                | 4.57±0.15a                                | 2.23±0.39a                      | 54.5±4.36a  | 35.85±7.71a             |
| <i>P. lilacinum</i>      | 5.63±0.1a              | 5.18±0.13a                | 2.17±0.2a                                    | 1.78±0.1a                                  | 0.55±0.05b                                 | 0.13±0.01a                                | 4.62±0.11a                                | 2.13±0.19a                      | 53±3.56a    | 40.2±13.89a             |
| <i>P. chlamydosporia</i> | 5.7±0.12a              | 5.23±0.1b                 | 2±0.07a                                      | 1.79±0.14a                                 | 0.56±0.04b                                 | 0.15±0.02a                                | 4.49±0.2a                                 | 2.2±0.14a                       | 55.5±1.29a  | 31.6±11.19a             |
| <i>T. asperellum</i>     | 5.73±0.13a             | 5.3±0.08b                 | 1.97±0.18a                                   | 1.96±0.12a                                 | <b>0.63±0.02a</b>                          | 0.15±0.03a                                | 4.71±0.16a                                | 2.05±0.13a                      | 58.25±2.63a | 32.43±5.56a             |

Médias (desvio padrão) (n = 4) para parâmetros de fertilidade do solo argiloso. Desenvolvido em casa-de-vegetação, sendo que as letras minúsculas (destacadas em negrito) mostram diferenças entre os tratamentos. Para dados paramétricos foi realizado teste de Scott-Knott (\*) com nível de significância de 5% (p < 0.05) e para dados não paramétricos foi realizado teste de Kruskal Wallis (\*\*) também com mesmo nível de significância.

### **Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)**

Não houve diferenças estatísticas de CBM entre os tratamentos. As médias gerais do CBM foram de 253,29  $\mu\text{g g}^{-1}$  (milho/arenoso), 987,77  $\mu\text{g g}^{-1}$  (milho/argiloso), 2466,78  $\mu\text{g g}^{-1}$  (soja/arenoso) e 2895,24  $\mu\text{g g}^{-1}$  (soja/argiloso).

### **Respiração Basal Microbiana (RBM)**

Não houve diferenças estatísticas de RBM entre os tratamentos. Com médias gerais da RBM foram de 0,26  $\mu\text{g g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (milho/arenoso), 0,31  $\mu\text{g g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (milho/argiloso), 0,21  $\mu\text{g g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (soja/arenoso) e 0,18  $\mu\text{g g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  (soja/argiloso).

### **Atividade enzimática no solo**

Não houve diferença estatística no que se refere a  $\beta$ -glicosidade entre os tratamentos. Com médias gerais da  $\beta$ -glicosidade foram de 9,67  $\mu\text{g g}^{-1}$  (milho/arenoso), 44,38  $\mu\text{g g}^{-1}$  (milho/argiloso), 15,99  $\mu\text{g g}^{-1}$  (soja/arenoso) e 83,89  $\mu\text{g g}^{-1}$  (soja/argiloso).

### **Carbono Orgânico Total (COT)**

A aplicação dos isolados fúngicos *Beauveria bassiana*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum* em soja sob solo arenoso resultou em menores valores de COT ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott) se comparando aos demais tratamentos. O teor de COT não se diferenciou em nenhum dos dois tipos de solo sob o milho (Tabela 7).

**TABELA 6** – Carbono Orgânico Total em solo argiloso e arenoso utilizado para desenvolvimento de milho e soja comparando os tratamentos de aplicação de inóculos fúngicos de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*.

|                             | Controle          | <i>B.bassiana</i> | <i>M. anisopliae</i> | <i>P.chlamydosporia</i> | <i>P.lilacinum</i> | <i>T.asperellum</i> |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|
| Milho (g kg <sup>-1</sup> ) |                   |                   |                      |                         |                    |                     |
| COT (Solo arenoso)          | 5,38±1,24a        | 4,16±0,96a        | 5,08±1,31a           | 4,06±1,44a              | 4,39±0,98a         | 5,08±1,30a          |
| COT (Solo argiloso)         | 14,32±1,67a       | 13,53±1,15a       | 15,24±1,32a          | 13,05±1,05a             | 14,29±1,72a        | 13,83±0,92a         |
| Soja (g kg <sup>-1</sup> )  |                   |                   |                      |                         |                    |                     |
| COT (Solo arenoso)          | <b>5,62±0,54a</b> | 4,68±0.39b        | <b>5,35±0.31a</b>    | <b>5,57±0.39a</b>       | 4,89±0.49b         | 5,05±0.08b          |
| COT (Solo argiloso)         | 14,35±1,23a       | 12,79±1,29a       | 12,93±1,20a          | 12,93±0.45a             | 12,95±0.84a        | 12,92±0.97a         |

Médias (desvio padrão) (n = 4) para parâmetros de Carbono Orgânico Total do solo arenoso e argiloso. Desenvolvido em casa-de-vegetação, sendo que as letras minúsculas (destacadas em negrito) mostram diferenças entre os tratamentos. Para todos os dados foi realizado teste de Scott-Knott com nível de significância de 5% ( $p < 0.05$ ). COT (Carbono Orgânico Total sob solo arenoso e argiloso).

## **Carbono nas Frações Húmicas**

No milho em solo arenoso a aplicação *Purpureocillium lilacinum*, *Pochonia chalamydosporia* e *Trichoderma asperellum* apresentaram menores resultados para humina ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott). A aplicação dos isolados fúngicos *Beauveria bassiana*, *Purpureocillium lilacinum*, *Pochonia chalamydosporia* e *Trichoderma asperellum* resultaram em menores valores da relação ácidos húmicos sobre ácidos fúlvicos ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott) comparado aos outros tratamentos. Já a soma das substâncias húmicas ( $p < 0,05$ ; teste de Scott-Knott) foi maior no tratamento sem a inoculação dos isolados fúngicos (Tabela 8).

Em relação à soja, não houve diferenças estatísticas dos teores de substâncias húmicas (Tabela 10 e 11).

**TABELA 7** – Substâncias húmicas do solo arenoso utilizado para desenvolvimento de milho comparando os tratamentos de aplicação de inóculos fúngicos de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*.

|                          | HUM*              | FAF**      | FAH*       | AH/AF*            | EA/HUM*           | AH+AF+HUM*        |
|--------------------------|-------------------|------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Controle                 | <b>0.72±0.03a</b> | 0.19±0.08a | 0.14±0.03a | 0.77±0.23a        | 0.46±0.14b        | <b>1.05±0.09a</b> |
| <i>B. bassiana</i>       | <b>0.59±0.11b</b> | 0.21±0.11a | 0.10±0.02a | <b>0.55±0.25b</b> | 0.54±0.24b        | 0.90±0.13b        |
| <i>M. anisopliae</i>     | <b>0.57±0.13b</b> | 0.18±0.07a | 0.13±0.02a | 0.77±0.22a        | 0.59±0.35b        | 0.87±0.07b        |
| <i>P. lilacinum</i>      | <b>0.46±0.06c</b> | 0.29±0.03a | 0.11±0.05a | <b>0.41±0.19b</b> | <b>0.89±0.21a</b> | 0.86±0.05b        |
| <i>P. chlamydosporia</i> | <b>0.40±0.05c</b> | 0.32±0.04a | 0.10±0.11a | <b>0.30±0.30b</b> | <b>1.09±0.44a</b> | 0.82±0.11b        |
| <i>T. asperellum</i>     | <b>0.36±0.07c</b> | 0.28±0.02a | 0.11±0.07a | <b>0.42±0.27b</b> | <b>1.14±0.38a</b> | 0.75±0.07b        |

Médias (desvio padrão) (n = 4) para parâmetros de substâncias húmicas do solo argiloso. Desenvolvido em casa-de-vegetação, sendo que as letras minúsculas (destacadas em negrito) mostram diferenças entre os tratamentos. Para dados paramétricos foi realizado teste de Scott-Knott (\*) com nível de significância de 5% ( $p < 0.05$ ) e para dados não paramétricos foi realizado teste de Kruskal Wallis (\*\*) também com mesmo nível de significância. HUM (Humina); FAF (Fração de ácidos fúlvicos); FAH (Fração de ácidos húmicos); AH/AF (Relação de ácidos húmicos sobre ácidos fúlvicos); EA/HUM (Relação da soma de ácidos húmicos mais ácidos fúlvicos sobre a humina); AH+AF+HUM (Soma de humina, ácidos fúlvicos e ácidos húmicos).

**TABELA 8** – Substâncias húmicas do solo argiloso utilizado para desenvolvimento de milho comparando os tratamentos de aplicação de inóculos fúngicos de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*.

|                          | HUM*       | FAF**      | FAH*       | AH/AF*     | EA/HUM*    | AH+AF+HUM* |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Controle                 | 1.36±0.11a | 0.66±0.03a | 0.78±0.11a | 1.19±0.22a | 1.06±0.12a | 2.80±0.12a |
| <i>B. bassiana</i>       | 1.31±0.05a | 0.58±0.02a | 0.72±0.05a | 1.24±0.08a | 1.00±0.05a | 2.62±0.09a |
| <i>M. anisopliae</i>     | 1.29±0.18a | 0.56±0.10a | 0.76±0.10a | 1.35±0.14a | 1.03±0.07a | 2.60±0.35a |
| <i>P. lilacinum</i>      | 1.29±0.21a | 0.62±0.01a | 0.72±0.03a | 1.15±0.05a | 1.05±0.13a | 2.62±0.24a |
| <i>P. chlamydosporia</i> | 1.26±0.08a | 0.62±0.03a | 0.70±0.07a | 1.11±0.07a | 1.05±0.07a | 2.58±0.15a |
| <i>T. asperellum</i>     | 1.24±0.02a | 0.67±0.08a | 0.68±0.12a | 1.03±0.18a | 1.09±0.12a | 2.59±0.18a |

Médias (desvio padrão) (n = 4) para parâmetros de substâncias húmicas do solo argiloso. Desenvolvido em casa-de-vegetação, sendo que as letras minúsculas (destacadas em negrito) mostram diferenças entre os tratamentos. Para dados paramétricos foi realizado teste de Scott-Knott (\*) com nível de significância de 5% ( $p < 0.05$ ) e para dados não paramétricos foi realizado teste de Kruskal Wallis (\*\*) também com mesmo nível de significância. HUM (Humina); FAF (Fração de ácidos fúlvicos); FAH (Fração de ácidos húmicos); AH/AF (Relação de ácidos húmicos sobre ácidos fúlvicos); EA/HUM (Relação da soma de ácidos húmicos mais ácidos fúlvicos sobre a humina); AH+AF+HUM (Soma de humina, ácidos fúlvicos e ácidos húmicos).

**TABELA 9** – Substâncias húmicas do solo arenoso utilizado para desenvolvimento de soja comparando os tratamentos de aplicação de inóculos fúngicos de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*.

|                          | HUM*       | FAF*       | FAH**      | AH/AF*     | EA/HUM*    | AH+AF+HUM* |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Controle                 | 0.57±0.04a | 0.23±0.17a | 0.12±0.05a | 0.70±0.56a | 0.61±0.33a | 0.92±0.21a |
| <i>B. bassiana</i>       | 0.54±0.02a | 0.19±0.02a | 0.14±0.11a | 0.79±0.72a | 0.62±0.18a | 0.88±0.08a |
| <i>M. anisopliae</i>     | 0.53±0.08a | 0.20±0.03a | 0.15±0.02a | 0.77±0.09a | 0.67±0.17a | 0.87±0.04a |
| <i>P. lilacinum</i>      | 0.53±0.06a | 0.26±0.11a | 0.10±0.04a | 0.54±0.50a | 0.69±0.23a | 0.88±0.09a |
| <i>P. chlamydosporia</i> | 0.50±0.03a | 0.28±0.07a | 0.17±0.11a | 0.60±0.31a | 0.90±0.38a | 0.95±0.16a |
| <i>T. asperellum</i>     | 0.53±0.05a | 0.28±0.02a | 0.15±0.09a | 0.56±0.34a | 0.82±0.13a | 0.96±0.11a |

Médias (desvio padrão) (n = 4) para parâmetros de substâncias húmicas do solo argiloso. Desenvolvido em casa-de-vegetação, sendo que as letras minúsculas (destacadas em negrito) mostram diferenças entre os tratamentos. Para dados paramétricos foi realizado teste de Scott-Knott (\*) com nível de significância de 5% ( $p < 0.05$ ) e para dados não paramétricos foi realizado teste de Kruskal Wallis (\*\*) também com mesmo nível de significância. HUM (Humina); FAF (Fração de ácidos fúlvicos); FAH (Fração de ácidos húmicos); AH/AF (Relação de ácidos húmicos sobre ácidos fúlvicos); EA/HUM (Relação da soma de ácidos húmicos mais ácidos fúlvicos sobre a humina); AH+AF+HUM (Soma de humina, ácidos fúlvicos e ácidos húmicos).

**TABELA 10** – Substâncias húmicas do solo argiloso utilizado para desenvolvimento de soja comparando os tratamentos de aplicação de inóculos fúngicos de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum*.

|                          | HUM*       | FAF**      | FAH*       | AH/AF*     | EA/HUM**   | AH+AF+HUM* |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Controle                 | 1.64±0.13a | 0.83±0.12a | 0.50±0.11a | 0.60±0.09a | 0.82±0.19a | 2.97±0.19a |
| <i>B. bassiana</i>       | 1.65±0.03a | 0.74±0.05a | 0.45±0.03a | 0,61±0.07a | 0.72±0.03a | 2.84±0.05a |
| <i>M. anisopliae</i>     | 1.62±0.13a | 0.73±0.07a | 0.46±0.07a | 0.63±0.07a | 0.73±0.04a | 2.81±0.25a |
| <i>P. lilacinum</i>      | 1.51±0.12a | 0.78±0.02a | 0.47±0.09a | 0.60±0.13a | 0.83±0.02a | 2.76±0.20a |
| <i>P. chlamydosporia</i> | 1.56±0.07a | 0.77±0.04a | 0.47±0.04a | 0.61±0.09a | 0.79±0.05a | 2.79±0.07a |
| <i>T. asperellum</i>     | 1.64±0.08a | 0.76±0.04a | 0.51±0.09a | 0.67±0.15a | 0.78±0.06a | 2.91±0.09a |

Médias (desvio padrão) (n = 4) para parâmetros de substâncias húmicas do solo argiloso. Desenvolvido em casa-de-vegetação, sendo que as letras minúsculas (destacadas em negrito) mostram diferenças entre os tratamentos. Para dados paramétricos foi realizado teste de Scott-Knott (\*) com nível de significância de 5% ( $p < 0.05$ ) e para dados não paramétricos foi realizado teste de Kruskal Wallis (\*\*) também com mesmo nível de significância. HUM (Humina); FAF (Fração de ácidos fúlvicos); FAH (Fração de ácidos húmicos); AH/AF (Relação de ácidos húmicos sobre ácidos fúlvicos); EA/HUM (Relação da soma de ácidos húmicos mais ácidos fúlvicos sobre a humina); AH+AF+HUM (Soma de humina, ácidos fúlvicos e ácidos húmicos).



## DISCUSSÃO

As aplicações de fungos somente tiveram efeitos nas frações da matéria orgânica em solo arenoso sob milho. Os tratamentos fúngicos diminuíram a fração de humina. Ao mesmo tempo, houve aumento da FAF em relação à FAH neste solo quando se aplicaram os fungos *P.chlamydosporia*, *P. lilacinum* e *T. asperellum*. A relação AH/AF é usada como indicador de qualidade das substâncias húmicas, expressando o grau de evolução do processo de humificação da MOS e é quem aponta a mobilidade de carbono no solo. Normalmente, solos arenosos apresentam maiores valores de AH/AF, indicando a perda seletiva da fração mais solúvel (Benites et al., 2003).

Os menores conteúdos de ácidos húmicos podem estar relacionados a mineralização da matéria orgânica, favorecendo a síntese de substâncias húmicas de baixo peso molecular (FAF) em detrimento dos ácidos húmicos (FAH) (CANELLAS et al., 2002). Os quatro fungos *B. bassiana*, *P. chlamydosporia*, *P. lilacinum* e *T. asperellum* causaram diminuição de AH/AF. Esse efeito pode ser causado pela ação dos fungos aplicados. *P. chlamydosporia* e *B. bassiana* são relatados como decompositores de polissacarídeos, eles são fungos com a capacidade de degradar barreiras ricas em quitina e conseguem gerar açúcar usando quitosona como nutriente para a geração de etanol (Aranda-Martinez et al. 2016). Isso indica que os 4 fungos aplicados podem contribuir para a degradação de substâncias orgânicas mais complexas, como as da fração humina. Portanto, a degradação da humina pode ter gerado maiores valores de AF. Na natureza, as substâncias húmicas são extremamente resistentes à biodegradação, sendo que o seu tempo de meia vida pode chegar a milhões de anos (GRINHUT et al., 2007). No entanto, a aplicação dos 5 isolados fúngicos podem estimular a degradação de humina em solo arenoso.

Por outro lado, não foram encontrados estudos que mostram a relação dos fungos promotores de crescimento vegetal na degradação de humina, mostrando assim um novo campo a ser estudado para entender a fundo essas relações.

A redução da humina também pode estar ligada aos resíduos vegetais provenientes do solo que é pobre em lignina, precursora química da humina (Santos, 1999).

A fração humina predominou com relação às outras substâncias húmicas estando dentro do intervalo de representação de 30 a 80% do carbono orgânico total do solo (Santos, 1999). Segundo Grinhut et al. (2007), a predominância da fração humina está relacionada à sua insolubilidade e resistência à biodegradação, favorecida pela formação

de complexos argilo-húmicos estáveis. As huminas são substâncias altamente desenvolvidas, com ligações estáveis e resistentes à degradação microbiana, com uma combinação forte com a fração mineral do solo (STEVENSON, 1994). Ao mesmo tempo, as frações de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos apresentam menor estabilidade podendo ser translocadas para as camadas mais profundas do solo, podendo ser polimerizadas ou mineralizadas, e diminuindo, assim, seu teor no solo e apresentando valores menores (FONTANA et al., 2006).

A relação extrato alcalino (EA - ácidos fúlvicos mais os ácidos húmicos) sobre a humina apresentou maiores valores no tratamento com aplicação de *P. chlamydospora*, *P. lilacinum* e *T. asperellum*, indicando consumo de humina.

As aplicações dos cinco isolados fúngicos não resultaram em alteração das frações da matéria orgânica no solo de forma consistente nos dois solos e sob as duas culturas, contradizendo a hipótese proposta. Por outro lado, alguns estudos indicam efeito da aplicação de isolados microbianos benéficos sobre a matéria orgânica do solo. Alves et al. (2021) apontaram o aumento de valores de carbono orgânico total no solo rizosférico sob na aplicação separadamente ou em consórcio dos isolados *Trichoderma asperellum*, *Purpureocillium lilacinum*, e também nos consórcios de *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* e dos 5 isolados fúngicos em solo argiloso sob feijoeiro. No entanto, eles avaliaram o solo rizosférico, ao invés do solo total, e apenas em um tipo solo sob uma cultura. Outro estudo mostra que a inoculação do fungo *E. coenophialana* gramínea festuca alta (*Lolium arundinaceum*) mostrou que a cepa do endófito fúngico influencia o ciclo do C e N no solo gerando o aumento do carbono orgânico (Guo et al., 2016). Em outro trabalho, a aplicação do fungo *Penicillium menonorum* em pepino gerou aumento significativos de carbono orgânico, demonstrando ser um agente promotor de crescimento vegetal através da produção de ácido indol acético (AIA), sideróforos e também na solubilização de fósforo (Babu et al., 2015). A aplicação do fungo solubilizante de fosfato *Penicillium oxalicum* testado para avaliar sua eficiência de solubilizar fosfato, demonstrou o aumento de valores de carbono orgânico do solo (Singh and Reddy, 2011). Além de promover o crescimento das plantas de trigo e milho.

*Beauveria bassiana*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum* apresentaram menores valores de Carbono Orgânico Total. Entretanto, pesquisas mostram o aumento do COT aplicado com fungos promotores de crescimento vegetal, e a pesquisa de Gupta et al. (2016) apontou o aumento do COT em 90% no cultivo de Ginseng Indiana *Withania somnifera* após a aplicação da combinação de fungos

promotores de crescimento vegetal, resíduos agrícolas e gesso. A pesquisa realizada por Gupta *et al.* (2015) buscou avaliar como a utilização de fungos promotores de crescimento vegetal, junto com um novo aditivo orgânico, influenciam no crescimento e rendimento de *Oryza sativa* e nas propriedades do solo, onde foram observados aumento do COT e melhora nas atividades enzimáticas do solo.

A massa seca das plantas não apresentou diferenças entre os tratamentos. Isso difere dos resultados encontrados em outras pesquisas com os mesmos cinco isolados. A pesquisa de Alves *et al.* (2021) apontou um aumento tanto da massa seca da raiz com a aplicação de *Metarhizium anisopliae*, *Pochonia chlamydosporia*, *Beauveria bassiana* e *Trichoderma asperellum*), como da massa seca da parte aérea com aplicação de *Purpureocillium lilacinum* em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). No experimento de Zhang *et al.* (2014) com cultivo de mamona (*Ricinus communis* L), foi observado que a aplicação do fungo micorrízico arbuscular *Glomus mossea*, junto do fungo solubilizador de fosfato *Mortierella* sp, aumentaram peso seco da parte aérea e da raiz, além de aumento da concentração de fósforo. No trabalho de Liao *et al.* (2014) a inoculação de *Metarhizium anisopliae* resultou no aumento do peso fresco médio da parte aérea de milho quando comparados ao tratamento controle. Staffa *et al.* (2020) observou em sua pesquisa que *B. bassiana* não influenciou de maneira significativa o peso seco e fresco de *Tulbaghia violacea*, entretanto influenciou significativamente tanto na altura da planta como no comprimento da raiz. O fungo *Pochonia chlamydosporia* promoveu aumento significativo no peso da raiz, do broto e da folha, além do comprimento da raiz e da folha de plântulas de bananeira, como observado no trabalho de Mingot-Ureta *et al.* (2020). Na pesquisa de Singh *et al.* (2016) foi verificado um aumento significativo no crescimento vegetal com a aplicação de *T. asperellum* em quiabo, tomate, pimenta, berinjela, cabaça e guar. Os fungos *Purpureocillium lilacinum* e *Beauveria bassiana* influenciaram no aumento do crescimento vegetal, de algodão cultivado (*Gossypium hirsutum*) no trabalho de Lopez *et al.* (2015).

As alterações observadas nas variáveis de fertilidade solo não mantiveram um padrão entre os ensaios, apresentando resultados diferentes conforme a aplicação dos tratamentos. O aumento de pH quando se aplicou *Pochonia chlamydosporia* em solo arenoso sob milho e o fúngico *P. lilacinum* em solo arenoso sob soja é um efeito que favorece a fertilidade do solo. Hernández *et al.* (2016) observou na fase final de seu trabalho com o fungo *P. lilacinum* uma tendência de aumento do pH do solo tanto natural como o autoclavado. Além disso, no solo argiloso sob soja, a aplicação de *T. asperellum*

também aumentou o teor de Mg. A pesquisa realizada por Alves *et al.* (2021) observou um aumento da concentração de magnésio em solo rizosférico de textura argilosa sob feijoeiro onde foram utilizados os mesmos isolados fúngicos desse trabalho. No mesmo sentido, em solo argiloso sob milho, tanto *P. chlamydosporia* como *P. lilacinum* aumentaram a saturação da CTC por bases. Por outro lado, houve aumento da acidez potencial quando se aplicaram *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Trichoderma asperellum* em solo argiloso sob milho; e quando se aplicaram *Beauveria bassiana* e *Pochonia chlamydosporia* em solo arenoso sob soja. Do mesmo modo, a aplicação de *Beauveria bassiana*, *Pochonia chlamydosporia* e *Trichoderma asperella* resultou em redução da saturação por bases no solo arenoso sob a soja.

No ensaio de milho em solo arenoso com os tratamentos *B. bassiana* e *P. chlamydosporia* foi observado uma redução na concentração de fósforo no solo. Uma possível justificativa estaria relacionada com a produção de ácidos orgânicos, como observado no trabalho de Gouveia *et al.* (2019), que notou que o isolado fúngico *P. chlamydosporia* produziu três ácidos orgânicos, sendo eles: ácido acético, cítrico e propiônico.

O carbono da biomassa microbiana e a respiração do solo não foram influenciados de forma significativa pela aplicação de quaisquer isolados fúngicos, independente do solo ou cultivar. Entretanto, a pesquisa com feijoeiro comum realizada por Alves *et al.* (2021) observou que a respiração basal do solo argiloso foi maior no tratamento que consistia no consórcio dos fungos *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana*, *Trichoderma asperellum*, *Purpureocillium lilacinum*, *Pochonia chlamydosporia* e quando combinados os fungos *T. asperellum* / *P. lilacinum*. O experimento de Song *et al.* (2015) realizado em solos contaminados com o objetivo de observar o desenvolvimento vegetal, absorção de Cd e a biomassa microbiana da rizosfera de *Lolium perenne* verificou que a inoculação de *Trichoderma* promoveu significativamente a biomassa vegetal, a absorção total de Cd pelas plantas, com diminuição do pH do solo e aumento do carbono da biomassa microbiana e nitrogênio na rizosfera.

Com a aplicação de *Trichoderma sp* em alface sobre solo arenoso, Moraes *et al.* (2018) observou um aumento na biomassa microbiana do solo.

Não foram observadas mudanças significativas na atividade enzimática da  $\beta$  - glicosidase nos 4 ensaios avaliados, independente do solo, cultura ou isolado fúngico inoculado. O trabalho de Alves *et al.* (2021) observou valores menores para a atividade

enzimática da  $\beta$ -glicosidase para os tratamentos com *P. chlamydosporia*, *T. asperellum* e *B. bassiana*/*M. anisopliae* quando comparado com o tratamento controle. A pesquisa realizada por Su et al. (2017) em dois tipos de solo apresentou redução na atividade enzimática da  $\beta$ -glicosidase em cambissolo e aumento dessa mesma enzima em acrisol com a aplicação de *Trichoderma asperellum* em espinafre d'água (*Ipomoea aquática*).

## CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que alguns dos isolados fúngicos influenciam a matéria orgânica do solo. No entanto, os resultados de frações húmicas e de fertilidade dependem da interação fungo-solo-espécie vegetal.

Em solo arenoso sob milho, a aplicação dos isolados fúngicos diminuíram a fração de humina, ao mesmo tempo teve aumento da fração ácido fúlvico em relação à fração ácido húmico quando se aplicou *P.chlamydosporia*, *P. lilacinum* e *T. asperellum*.

Os tratamentos *Beauveria bassiana*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma asperellum* em soja sob solo arenoso resultou em menores valores de carbono orgânico total.

Em relação à fertilidade, os indicadores pH, acidez potencial, magnésio e saturação por bases sofreram influência da aplicação dos isolados fúngicos.

A aplicação de *Beauveria bassiana* resultou em menor massa seca de raízes.

A atividade da enzima  $\beta$ -glicosidade, carbono da biomassa microbiana e a respiração basal microbiana não apresentaram diferenças significativas na aplicação dos isolados fúngicos.

## REFERÊNCIAS

ADIKO, A. **Biological control of meloidogyne incognita with *Paecilomyces lilacinus***. 1984. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – North Carolina State University, Raleigh, 1984.

AITKEN, M. D.; IRVINE, R. L. Characterization of reactions catalysed by manganese peroxidase from *Phanerochaete chrysosporium*. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, [s.l.], v. 276, p. 405–414, 1990. DOI: [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(90\)90739-L](https://doi.org/10.1016/0003-9861(90)90739-L). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/000398619090739L>. Acesso em: 13 set. 2025.

AL-MALI, S. *et al.* Changes in soil carbon mineralization, soil microbes, roots density and soil structure following the application of the *arbuscular* mycorrhizal fungi and green algae in the arid saline soil. **Rhizosphere**, Netherlands v. 14, p. 1–6, 2020. DOI: 10.1016/j.rhisph.2020.100203. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452219820300823>. Acesso em: 13 set. 2025.

ALY, A. H.; DEBBAB, A.; PROKSCH, P. Fungal endophytes: unique plant inhabitants with great promises. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Heidelberg v. 90, n. 6, p. 1829–1845, 2011. DOI: 10.1007/s00253-011-3270-y. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-011-3270-y>. Acesso em: 13 set. 2025.

ALVES, S. B.; FERRAZ, L. C. C. B.; BRANCO JUNIOR, A. C. Chave para identificação de patógenos de insetos. In: ALVES, S. B. (ed.). **Controle microbiano de insetos**. 2. ed. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 1039–1074.

ALVES, G. S. **Fungos promotores do crescimento do feijoeiro, micorriza arbuscular e atributos bioquímicos do solo**. 2021. 57f. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/25201>. Acesso em: 13 set 2025.

ALVES, G. S. *et al.* Fungal endophytes inoculation improves soil nutrient availability, arbuscular mycorrhizal colonization and common bean growth. **Rhizosphere**, Netherlands, v. 18, p. 100330, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100330>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452219821000264>. Acesso em: 13 set. 2025.

ARANDA-MARTÍNEZ, A. *et al.* Ethanol production from chitosan by the nematophagous fungus *Pochonia chlamydosporia* and the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana*. **Microbiological Research**, Netherlands, v. 204, p. 30–39, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.07.009>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28870289/>. Acesso em: 13 set. 2025.

ARTURSSON, V.; FINLAY, R. D.; JANSSEN, J. K. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria and their potential for stimulating plant growth.

*Environmental Microbiology*, Oxford, v. 8, n. 1, p. 1–10, jan. 2006. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2005.00942.x. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16343316/>. Acesso em: 13 set. 2025.

AZEVEDO, J. L. de. Microrganismos endofíticos. In: MELO, I. S. de; AZEVEDO, J. L. (Orgs.). **Ecologia microbiana**. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1998. p. 117–137.

BARON, N. C.; RIGOBELLO, E. C.; ZIED, Diego Cunha. Filamentous fungi in biological control: current status and future perspectives. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, v. 79, n. 2, p. 307–315, 2019. DOI: 10.4067/S0718-58392019000200307. Disponível em: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-58392019000200307](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-58392019000200307). Acesso em: 13 set. 2025.

BEHIE, Scott W.; BIDOCHKA, Michael J. Ubiquity of insect-derived nitrogen transfer to plants by endophytic insect-pathogenic fungi: an additional branch of the soil nitrogen cycle. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, DC, v. 80, n. 5, p. 1553–1560, 2014. DOI: 10.1128/AEM.03338-13. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3957595/>. Acesso em: 13 set. 2025.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. de A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 7 p. (Comunicado Técnico, 16). *E-book* Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/747377/1/ct16-2003.pdf>. Acesso em: 14 set. 2025.

BIDOCHKA, M. J.; SMALL, C. L. Phylogeography of *Metarhizium*, an insect pathogenic fungus. In: VEGA, F. E.; BLACKWELL, M. (Ed.). **Insect–Fungal Associations: Ecology and Evolution**. New York: Oxford University Press, 2005. chap. 2, p. 28–50. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780195178229.003.0002. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195178229.003.0002>. Acesso em: 14 set. 2025.

BOT, Alexandra; BENITES, José. **The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production**. Rome: Food & Agriculture Organization, 2005. Disponível em: <https://www.fao.org/3/a0100e/a0100e.pdf>. Acesso em: 14 set. 2025.

CABALLERO-MELLADO, J. Microbiología agrícola e interacciones microbianas con plantas. **Revista Latinoamericana de Microbiología**, México, v. 48, n. 2, p. 154–161, 2006. Disponível em: <https://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2006/mi062p.pdf>. Acesso em: 13 set. 2025.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Seropédica; Campos dos Goytacazes: UENF; UFRRJ, 2005.

CANELLAS, L. P. *et al.* Distribution of the humified fractions and characteristics of the humic acids of an ultisol under cultivation of eucalyptus and sugar cane. **Revista Terra**, v. 20, p. 371–381, 2002. DOI: 10.5154/ja.et.2001.0336. Disponível em: <https://doi.org/10.5154/ja.et.2001.0336>. Acesso em: 14 set. 2025.



CANELLAS, L. P. *et al.* Ácidos húmicos e fúlvicos como bioestimulantes na horticultura. **Scientia Horticulturae**, Netherlands, v. 196, p. 15–27, 2015. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.09.013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>. Acesso em: 13 set. 2025.

CLAY, K.; SCHARDL, C. Evolutionary origins and ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses. **American Naturalist**, Chicago, v. 160, n. 1, p. 99–127, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1086/342161>. Disponível em: <https://doi.org/10.1086/342161>. Acesso em: 13 set. 2025.

CRIST, E.; MORA, C.; ENGELMAN, R. A interação da população humana, produção de alimentos e proteção da biodiversidade. **Science**, v. 356, n. 6335, p. 260–264, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aal2011>. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aal2011>. Acesso em: 13 set. 2025.

CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. Matéria orgânica do solo. In: CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Matéria orgânica do solo em sistemas de produção agrícola**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2015. p. 11-30. Disponível em: <https://www.sidalc.net/handle/10349/1034986>. Acesso em: 13 set. 2025.

DASH, C. K. *et al.* Endophytic entomopathogenic fungi enhance the growth of *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae) and negatively affect the development and reproduction of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Microbial Pathogenesis**, Netherlands, v. 125, p. 385–392, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.09.044>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30290267/>. Acesso em: 13 set. 2025.

DIAS-ARIEIRA, C. R. *et al.* Efficiency of *Pochonia chlamydosporia* in Meloidogyne incognita control in lettuce crop (*Lactuca sativa* L.). **Journal of Food, Agriculture and Environment**, Helsinki, v. 9, n. 3–4, p. 561–563, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5555/20113397497>. Disponível em: <https://www.wfpublisher.com/Abstract/2333>. Acesso em: 13 set. 2025.

DÍAZ-GUTIÉRREZ, C. *et al.* *Trichoderma asperellum* as a preventive and curative agent to control Fusarium wilt in *Stevia rebaudiana*. **Biological Control**, Netherlands, v. 155, p. 104537, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104537>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964421000074>. Acesso em: 13 set. 2025.

DONGA, T. K.; VEGA, F. E.; KLINGEN, I. Estabelecimento do entomopatógeno fúngico *Beauveria bassiana* como endófito em cana-de-açúcar, *Saccharum officinarum*. **Fungal Ecology**, Netherlands, v. 35, p. 70–77, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2018.06.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1754504818301375>. Acesso em: 13 set. 2025.

DOS SANTOS, B. S. L. *et al.* Thermotolerant and mesophylic fungi from sugarcane bagasse and their prospection for biomass-degrading enzyme production. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 46, n. 3, p. 903–910, 2015. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.bjm.2015.02.004>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1517838215000133>. Acesso em: 13 set. 2025.

FONTANA, A. *et al.* Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 847–853, 2006. DOI: 10.1590/S0100-204X2006000500021. Disponível em:  
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000500021>. Acesso em: 13 set. 2025.

GARCÍA, J. E. *et al.* *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin promove crescimento e atividade endofítica em plantas de tomate. **Advances in Biological Research**, Castelar, v. 5, n. 1, p. 22–27, 2011. Disponível em:  
[https://www.idosi.org/abr/5\(1\)/3.pdf](https://www.idosi.org/abr/5(1)/3.pdf). Acesso em: 13 set. 2025.

GUO, J. *et al.* Fungal endophyte and tall fescue cultivar interact to differentially affect bulk and rhizosphere soil processes governing C and N cycling. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 101, p. 165–174, 2016. DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.07.014>. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071716301596>. Acesso em: 13 set. 2025.

GUPTA, M. *et al.* Organic Amendments with Plant-Growth-Promoting Fungi Support Paddy Cultivation in Sodic Soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 46, n. 18, p. 2332–2341, 27 ago. 2015. DOI:  
<https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1081698>. Disponível em:  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103624.2015.1081698>. Acesso em: 13 set. 2025.

GUPTA, M. *et al.* Use of a bioaugmented organic soil amendment in combination with gypsum for *Withania somnifera* growth on sodic soil. **Pedosphere**, Beijing, v. 26, n. 3, p. 299–309, 2016. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(16\)56044-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(16)56044-3). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002016015600443>. Acesso em: 13 set. 2025.

EL-MARAGHY, S. S. *et al.* Role of plant-growth promoting fungi (PGPF) in defensive genes expression of *Triticum aestivum* against wilt disease. **Rhizosphere**, Netherlands, v. 15, p. 100223, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2020.100223>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S245221982030135X>. Acesso em: 13 set. 2025.

ETHUR, L. Z. *et al.* Seleção de antagonistas fúngicos a *Fusarium solani* e *Fusarium oxysporum* em substrato comercial para mudas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1794–1797, nov.-dez. 2007. DOI: 10.1590/S0103-84782007000600045. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000600045>. Acesso em: 13 set. 2025.

FARIA, M. R. de; MAGALHÃES, B. P. O uso de fungos entomopatogênicos no Brasil. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 18–21, jan./fev. 2001. Disponível em:  
[https://www.researchgate.net/publication/284267729\\_O\\_uso\\_de\\_fungos\\_entomopatogênicos\\_no\\_Brasil](https://www.researchgate.net/publication/284267729_O_uso_de_fungos_entomopatogênicos_no_Brasil). Acesso em: 13 set. 2025.

FERNÁNDEZ-BRAVO, M. *et al.* Responses to abiotic environmental stresses among phylloplane and soil isolates of *Beauveria bassiana* from two holm oak ecosystems. **Journal of Invertebrate Pathology**, Amsterdam, v. 141, p. 6–17, 2016. DOI: 10.1016/j.jip.2016.09.006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jip.2016.09.006>. Acesso em: 13 set. 2025.

GHINI, R.; FREITAS, S. S.; OLIVEIRA, A. R. Amostragem de solo para análises biológicas. In: FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. (Orgs.). **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: Solo, água e sedimentos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. v. 1, p. 57–79. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/548231/1/Livro-Coleta-Amostras.pdf>. Acesso em: 14 set. 2025.

GHOSE, T. K. Measurement of cellulase activities. **Pure & Applied Chemistry**, Berlin, v. 59, n. 2, p. 257–268, 1987. DOI: <https://doi.org/10.1351/pac198759020257>. Disponível em: <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1351/pac198759020257/html>. Acesso em: 13 set. 2025.

GRINHUT, T.; HADAR, Y.; CHEN, Y. Degradation and transformation of humic substances by saprotrophic fungi: processes and mechanisms. **Fungal Biology Reviews**, [s.l.], v. 21, n. 4, p. 179–189, nov. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2007.09.003>. Disponível em: <https://cris.huji.ac.il/en/publications/degradation-and-transformation-of-humic-substances-by-saprotrophi>. Acesso em: 13 set. 2025.

GOETTEL, M. S.; POPRAWSKI, T. J.; VANDENBERG, J. D.; LI, Z.; ROBERTS, D. W. Safety to nontarget invertebrates of fungal biocontrol agents. In: LAIRD, M.; LACEY, L. A.; DAVIDSON, E. W. (orgs.). **Safety of microbial insecticides: safety to nontarget invertebrates of fungal biocontrol agents**. Boca Raton: CRC Press, 1990. p. 209–231. DOI: 10.1201/9780429402521-12. Disponível em: [https://digitalcommons.usu.edu/biology\\_facpub/1393/](https://digitalcommons.usu.edu/biology_facpub/1393/). Acesso em: 13 set. 2025.

GOUVEIA, A. S. *et al.* Understanding how *Pochonia chlamydosporia* increases phosphorus availability. **Geomicrobiology Journal**, London, v. 36, n. 8, p. 747–751, 24 maio 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/01490451.2019.1616857>. Disponível em: [https://tandf.figshare.com/articles/journal\\_contribution/Understanding\\_How\\_Pochonia\\_chlamydosporia\\_Increases\\_Phosphorus\\_Availability/8182382](https://tandf.figshare.com/articles/journal_contribution/Understanding_How_Pochonia_chlamydosporia_Increases_Phosphorus_Availability/8182382). Acesso em: 13 set. 2025.

HARDOIM, P. R. *et al.* The hidden world within plants: Ecological and evolutionary considerations for defining functioning of microbial endophytes. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, Washington, DC, v. 79, n. 3, p. 293–320, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1128/MMBR.00050-14>. Disponível em: <https://journals.asm.org/doi/abs/10.1128/mmbr.00050-14>. Acesso em: 13 set. 2025.

HASSAN, A. A. *et al.* Humic substances isolated from clay soil may improve the ruminal fermentation, milk yield, and fatty acid profile: A novel approach in dairy cows. **Animal Feed Science and Technology**, Netherlands, v. 268, p. 114601, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114601>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377840120305058>. Acesso em: 13 set. 2025.

HERNÁNDEZ-LEAL, T. *et al.* Effect of the application of nematophagous fungus *Purpureocillium lilacinum* over nutrients availability on agricultural soil and yield of *Avena sativa*. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias**, Mendoza, v. 48, n. 2, p. 1–12, 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382847506016.pdf>. Acesso em: 13 set. 2025.

HOYOS-CARVAJAL, L. *et al.* Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Trichoderma*. **Biological Control**, Netherlands, v. 51, n. 3, p. 409–416, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.06.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1049964409001960>. Acesso em: 13 set. 2025.

JABER, L. R.; ENKERLI, J. Effect of seed treatment duration on growth and colonization of *Vicia faba* by endophytic *Beauveria bassiana* and *Metarhizium brunneum*. **Biological Control**, Netherlands, v. 103, p. 187–195, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.09.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1049964416301761>. Acesso em: 13 set. 2025.

KEPLER, R. M. *et al.* Community composition and population genetics of insect pathogenic fungi in the genus *Metarhizium* from soils of a long-term agricultural research system. **Environmental Microbiology**, Oxford, v. 17, n. 8, p. 2791–2804, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12803>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1462-2920.12803>. Acesso em: 14 set. 2025.

KERRY, B. R. Rhizosphere interactions and the exploitation of microbial agents for the biological control of plant-parasitic nematodes. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 38, n. 1, p. 423–441, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.38.1.423>. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev.phyto.38.1.423>. Acesso em: 14 set. 2025.

KERRY, B. R. Exploitation of the nematophagous fungus *Verticillium chlamydosporium* Goddard for the biological control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). In: BUTT, T. M.; JACKSON, C.; MAGAN, N. (orgs.). **Fungi as biocontrol agents: progress, problems and potential**. Wallingford: CAB International, 2001. p. 155–168. DOI: <https://doi.org/10.1079/9780851993560.000>. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/abs/10.1079/9780851993560.0000#page=166>. Acesso em: 14 set. 2025.

KHAN, A. L. *et al.* Endophytic fungal association via gibberellins and indole acetic acid can improve plant growth under abiotic stress: an example of *Paecilomyces formosus* LHL10. **BMC Microbiology**, London, v. 12, n. 1, p. 1–14, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2180-12-3>. Disponível em: <https://bmcmicrobiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2180-12-3>. Acesso em: 14 set. 2025.

KJOELLER, A.; STRUWE, S. Microfungi in ecosystems: fungal occurrence and activity in litter and soil [hyphal length, biomass, productivity, succession, distribution, fungal biomass, fungal flora]. **Oikos**, Copenhagen, v. 39, n. 3, p. 389–397, 1982, DOI: <https://doi.org/10.2307/3544690>, Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/3544419>. Acesso em: 14 set. 2025.

KIRIGA, A. W. *et al.* Efeito de *Trichoderma* spp. e *Purpureocillium lilacinum* em *Meloidogyne javanica* na produção comercial de abacaxi no Quênia. **Biological Control**, [s.l.], v. 119, p. 27–32, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.03.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964418300565>. Acesso em: 14 set. 2025.

KONONOVA, M. M. **Matéria orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación**. Barcelona: Oikos-Tau, 1982.

LE COCQ, K. *et al.* Exploitation of endophytes for sustainable agricultural intensification. **Molecular Plant Pathology**, Oxford, v. 18, n. 3, p. 469–473, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/mpp.12483>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27559722/>. Acesso em: 14 set. 2025.

LI, Z. Z. A list of insect hosts of *Beauveria bassiana*. **Study and Application of Entomogenous Fungi in China**, Beijing, v. 1, p. 241–255, 1988.

LIAO, X. *et al.* *Metarhizium robertsii* produces indole-3-acetic acid, which promotes root growth in *Arabidopsis* and enhances virulence to insects. **Microbiology**, London, v. 163, n. 7, p. 980–991, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1099/mic.0.000494>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28708056/>. Acesso em: 14 set. 2025.

LIAO, X. *et al.* The plant beneficial effects of *Metarhizium* species correlate with their association with roots. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Heidelberg, v. 98, n. 16, p. 7089–7096, 8 maio 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-014-5788-2>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-014-5788-2>. Acesso em: 14 set. 2025.

LOPEZ, D. C. *et al.* The endophytic fungal entomopathogens *Beauveria bassiana* and *Purpureocillium lilacinum* enhance the growth of cultivated cotton (*Gossypium hirsutum*) and negatively affect survival of the cotton bollworm (*Helicoverpa zea*). **Biological Control**, Netherlands, v. 89, p. 53–60, out. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.03.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964415000825>. Acesso em: 14 set. 2025.

LOPEZ-LLORCA, L. V. *et al.* Use of light and scanning electron microscopy to examine colonisation of barley rhizosphere by the nematophagous fungus *Verticillium chlamydosporium*. **Micron**, Oxford, v. 33, p. 61–67, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0968-4328\(01\)00068-8](https://doi.org/10.1016/S0968-4328(01)00068-8). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968432801000688>. Acesso em: 14 set. 2025.

LOPEZ-LLORCA, L. V. *et al.* Pre-penetration events in fungal parasitism of nematode eggs. **Mycological Research**, Cambridge, v. 106, n. 4, p. 499–506, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0953756202005867>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/mycological-research/article/abs/prepenetration-events-in-fungal-parasitism-of-nematode-eggs/6B0C3C9A49D4B1F1B1F85BA3D64EC1E7>. Acesso em: 14 set. 2025.

LORITO, M. *et al.* Translational research on *Trichoderma*: from 'omics to the field. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 48, n. 1, p. 395–417, maio 2010. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081107>. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-phyto-080508-081107>. Acesso em: 14 set. 2025.

MASCARIN, G. M. *et al.* The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Heildeberg, v. 32, n. 11, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2112-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11274-016-2112-4>. Acesso em: 14 set. 2025.

MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

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

MINGOT-URETA, C. *et al.* Isolates of the nematophagous fungus *Pochonia chlamydosporia* are endophytic in banana roots and promote plant growth. **Agronomy**, Basel, v. 10, n. 9, p. 1299, 1 set. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10091299>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/9/1299>. Acesso em: 14 set. 2025.

MONTEIRO, T. S. A. *et al.* Nematophagus fungi increasing phosphorus uptake and promoting plant growth. **Biological Control**, Netherlands, v. 123, p. 71–75, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.04.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964418300568>. Acesso em: 14 set. 2025.

MORAES, M. C. H. S. *et al.* Microbial biomass and enzymatic activities in sandy soil cultivated with lettuce inoculated with plant growth promoters. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 4, p. 860–870, dez. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n408rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/JR7cB8hM6Rv3wRzZxZ7m5cH/>. Acesso em: 14 set. 2025.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 729 p.

MORENO-SALAZAR, R. *et al.* Plant growth, foliar nutritional content and fruit yield of *Capsicum chinense* biofertilized with *Purpureocillium lilacinum* under greenhouse

conditions. **Scientia Horticulturae**, Netherlands, v. 261, p. 108950, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108950>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423819313154>. Acesso em: 14 set. 2025.

NARISAWA, K. *et al.* The dark septate endophytic fungus *Phialocephala fortinii* is a potential decomposer of soil organic compounds and a promoter of *Asparagus officinalis* growth. **Fungal Ecology**, Netherlands, v. 28, p. 1–10, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2016.11.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1754504816301680>. Acesso em: 14 set. 2025.

NASU, É. G. C. *et al.* *Pochonia chlamydosporia* applied via seed treatment for nematode control in two soil types. **Crop Protection**, Netherlands, v. 114, p. 106–112, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.08.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219418302075>. Acesso em: 14 set. 2025.

NIKU-PAAVOLA, M. L. *et al.* Detection of white-rot fungi by a non-toxic stain. **Mycological Research**, Cambridge, v. 94, n. 1, p. 27–31, 1990. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(09\)81260-4](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(09)81260-4). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0953756209812604>. Acesso em: 14 set. 2025.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 300 p.

OLIVEIRA, A. G. *et al.* Potencial de solubilização de fosfato e produção de AIA por *Trichoderma spp.* **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 7, n. 3, p. 149–155, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/rvads/article/view/15868>. Acesso em: 14 set. 2025.

PISSINATI, A. *et al.* Ocorrência do fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana* (Salsamo) Vuill. em população de *Aracanthus sp.* (Coleoptera: Curculionidae) em feijoeiro. **Revista Biotemas**, Florianópolis, v. 22, p. 219–223, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/1266>. Acesso em: 14 set. 2025.

PRESTES, T. M. V. *et al.* Ocorrência natural de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Moniliales: Moniliaceae) e patogenicidade sobre *Protortonia navesi* Fonseca (Hemiptera: Monophlebidae) na cultura da mandioca, em Marechal Cândido Rondon, Paraná. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 82, n. 0, p. 1–4, 2015. Disponível em: [https://www.biologico.sp.gov.br/arquivos/artigos/2015/82\\_0\\_1-4.pdf](https://www.biologico.sp.gov.br/arquivos/artigos/2015/82_0_1-4.pdf). Acesso em: 14 set. 2025.

QU, S.; WANG, S. Interaction of entomopathogenic fungi with the host immune system. **Developmental & Comparative Immunology**, Netherlands, v. 83, p. 96–103, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dci.2018.03.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0145305X18300209>. Acesso em: 14 set. 2025.

RAMAKUWELA, T. *et al.* Establishment of *Beauveria bassiana* as a fungal endophyte in pecan (*Carya illinoensis*) seedlings and its virulence against pecan insect pests.

**Biological Control**, Netherlands, v. 140, p. 104102, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104102>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964420301440>. Acesso em: 14 set. 2025.

RICE, J. Humim. **Soil Science**, Baltimore, v. 166, n.12, p. 848–857, 2001. DOI:

10.1097/00010694-200112000-00007. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1097/00010694-200112000-00007>. Acesso em: 14 set. 2025.

ROBERTS, D. W.; ST LEGER, R. J. *Metarhizium* spp., cosmopolitan insect-pathogenic fungi: mycological aspects. **Advances in Applied Microbiology**, New York, v. 54, p.

1–70, 2004. DOI: 10.1016/S0065-2113(04)54001-0 Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211304540010>. Acesso em: 14 set. 2025.

RODRIGUEZ, R.; REDMAN, R. More than 400 million years of evolution and some plants still can't make it on their own: plant stress tolerance via fungal symbiosis.

**Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 59, n. 5, p. 1109–1114, 2008. DOI:

<https://doi.org/10.1093/jxb/ern045>. Disponível em:

<https://academic.oup.com/jxb/article/59/5/1109/452842>. Acesso em: 14 set. 2025.

ROSA, D. M. *et al.* Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 2, p. 221–230, abr.–jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170026>.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rca/a/kZdPtX3nNKHFqCg5rhsbCzs/?format=html&lang=pt>.

Acesso em: 14 set. 2025.

SALTON, F. *et al.* Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração

lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1349–

1356, out. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000031>. Disponível

em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/xyz>. Acesso em: 14 set. 2025.

SANTOS, T. T.; VARAVALLO, M. A. Aplicação de microrganismos endofíticos na agricultura e na produção de substâncias de interesse econômico. **Semina: Ciências**

**Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 32, p. 199–212, 2011. DOI:

<https://doi.org/10.5433/1679-0367.2011v32n2p199>. Disponível em:

<https://www.periodicos.ufla.br/index.php/semina/article/view/xxxx>. Acesso em: 14 set. 2025.

SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. de O. (ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 491 p. ISBN 85-87578-01-4. Disponível em:

<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&biblioteca=vazio&busca=autoria%3A%22de.%22&id=1017662&paginaAtual=936&paginacao=t&qFacets=autoria%3A%22de.%22&sort=>. Acesso em: 14 set. 2025.



SASAN, R. K.; BIDOCHKA, M. J. The insect-pathogenic fungus *Metarhizium robertsii* (Clavicipitaceae) is also an endophyte that stimulates plant root development. **American Journal of Botany**, ST. Louis, v. 99, n. 1, p. 101–107, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3732/ajb.1100136>. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/41409918>. Acesso em: 14 set. 2025.

SILVA JÚNIOR, J. *et al.* **Matéria orgânica do solo em sistemas de produção agrícola e cerrado do oeste baiano**. 2019. Tese (Doutorado em Agronomia – Fitotecnia) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2019.1235>. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/25179>. Acesso em: 13 set. 2025.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 275-374.

SINGH, V. *et al.* *Trichoderma asperellum* spore dose depended modulation of plant growth in vegetable crops. **Microbiological Research**, Netherlands, v. 193, p. 74–86, dez. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2016.09.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0944501316301774>. Acesso em: 14 set. 2025.

SCHINNER, F.; VON MERISI, W. Xylanase, CM-cellulase and invertase activity in soil: an improved method. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 22, n. 2, p. 511–515, 1990. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(90\)90187-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(90)90187-5). Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(90\)90187-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(90)90187-5). Acesso em: 14 set. 2025.

SCHNITZER, M.; SKINNER, S.I.M. Alkali versus acid extracted of soil organic matter. **Soil Sci.**, Baltimore, v. 105, p. 392–396, 1968. DOI: 10.1097/00010694-196806000-00003. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/00010694-196806000-00003>. Acesso em: 14 set. 2025.

SHAH, P. A.; PELL, J. K. Entomopathogenic fungi as biological control agents. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Heildeberg, v. 61, n. 5–6, p. 413–423, 2003. DOI: 10.1007/s00253-003-1240-8. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-003-1240-8?gt;#citeas>. Acesso em: 14 set. 2025.

SHAHRIARI, M. *et al.* Immunological interactions of *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Crambidae) with the native entomopathogenic fungi. **Microbial Pathogenesis**, New York, v. 154, p. 104858, 2021. DOI: 10.1016/j.micpath.2021.104858. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0882401021000527>. Acesso em: 14 set. 2025.

STAFFA, P. *et al.* The effect of *Beauveria bassiana* inoculation on plant growth, volatile constituents, and tick (*Rhipicephalus appendiculatus*) repellency of acetone extracts of *Tulbaghia violacea*. **Veterinary World**, India, v. 13, n. 6, p. 1159-1166, jun. 2020. DOI: 10.14202/vetworld.2020.1159-1166. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14202/vetworld.2020.1159-1166>. Acesso em: 14 set. 2025.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: Genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994.

STIRLING, G. R. **Biological control of plant parasitic nematodes**: Progress, problems and perspectives. Wallingford: CAB International, 1991. 282 p.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, v. 2, p. 1551-1572, 1965. DOI: 10.2134/agronmonogr9.2.c62. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronmonogr9.2.c62>. Acesso em: 14 set. 2025.

SONG, N. *et al.* Elevated ambient carbon dioxide and *Trichoderma inoculum* could enhance cadmium uptake of *Lolium perenne* explained by changes of soil pH, cadmium availability and microbial biomass. **Applied Soil Ecology**, Netherlands, v. 85, p. 56-64, jan. 2015. DOI: 10.1016/j.apsoil.2014.09.007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139314002320>. Acesso em: 14 set. 2025.

SU, S. *et al.* Inoculating chlamydospores of *Trichoderma asperellum* SM-12F1 changes arsenic availability and enzyme activity in soils and improves water spinach growth. **Chemosphere**, Netherlands, v. 175, p. 497-504, maio 2017. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.02.048. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.048>. Acesso em: 14 set. 2025.

TABATABAI, M. A. (1994). Soil Enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, J. S.; BOTTOMLEY, P. S. (Eds.). **Methods of Soil Analysis: Microbiological and Biochemical Properties**. Madison, WI: Soil Science Society of America, p. 775-833. DOI: 10.2136/sssabookser5.2.c37. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssabookser5.2.c37>. Acesso em: 14 set. 2025.

TALL, S.; MEYLING, N. V. Probiotics for plants? Growth promotion by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* depends on nutrient availability. **Microbial Ecology**, New York, v. 76, n. 4, p. 1002-1008, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00248-018-1180-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00248-018-1180-6>. Acesso em: 14 set. 2025.

TANG, J. *et al.* Evaluation of *Metarhizium anisopliae* for rice planthopper control and its synergy with selected insecticides. **Crop Protection**, Netherlands, v. 121, p. 132-138, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.02.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219419300589>. Acesso em: 14 set. 2025.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1085209>. Acesso em: 14 set. 2025.

TIEN, M.; KIRK, T. K. Lignin peroxidase of *Phanerochaete chrysosporium*. In: WOOD, W. A.; KELLOGG, S. T. (Eds.). **Methods in Enzymology**. Biomass, Part B. v. 161. San Diego: Academic Press, 1988. p. 238-249. DOI: 10.1016/S0076-6879(88)61021-3. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/bookseries/methods-in-enzymology/vol/161/part/B>. Acesso em: 14 set. 2025.

TILMAN, D. *et al.* Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, DC, v. 108, n. 50, p. 20260-20264, 2011. DOI: 10.1073/pnas.1116437108. Disponível em: <https://www.pnas.org/content/108/50/20260>. Acesso em: 14 set. 2025.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987. DOI: 10.1016/0038-0717(87)90052-6. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0038071787900526>. Acesso em: 14 set. 2025.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 19, n. 14, p. 1467-1476, 1988. DOI: 10.1080/00103628809368027. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103628809368027>. Acesso em: 14 set. 2025.

WANG, C.; WANG, S. Insect pathogenic fungi: genomics, molecular interactions, and genetic improvements. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 62, n. 1, p. 73-90, 2017. DOI: 10.1146/annurev-ento-031616-035509. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-ento-031616-035509>. Acesso em: 14 set. 2025.

WEI, Y. *et al.* Roles of different humin and heavy-metal resistant bacteria from composting on heavy metal removal. **Bioresource Technology**, Netherlands, v. 296, p. 122375, 2020. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.122375. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852419316050>. Acesso em: 14 set. 2025.

ZIMMERMANN, G. Review on safety of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*. **Biocontrol Science and Technology**, Netherlands, v. 17, n. 6, p. 553–596, 2007. DOI: 10.1080/09583150701309006. Disponível em: [https://www.fraxiprotec.com/app/uploads/2018/05/Review\\_on\\_safety\\_of\\_the\\_entomopathogenic\\_fungi.pdf](https://www.fraxiprotec.com/app/uploads/2018/05/Review_on_safety_of_the_entomopathogenic_fungi.pdf). Acesso em: 14 set. 2025.

ZHANG, Y. J. *et al.* Complexing of metal ions by humic substances. In: GAFFNEY, J. S.; MARLEY, N. A.; CLARK, S. B. (Eds.). **Humic and fulvic acids. Isolation, structure and environmental role**. Washington, DC: ACS Publications, 1996. p. 194-206. (ACS Symposium Series, 651). DOI: 10.1021/bk-1996-0651.ch012. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/bk-1996-0651.ch012>. Acesso em: 14 set. 2025.

ZHAO, S. *et al.* Changes in soil microbial community, enzyme activities and organic matter fractions under long-term straw return in north-central China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Netherlands, v. 216, p. 82-88, 2016. DOI: 10.1016/j.agee.2015.09.028. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880915300967>. Acesso em: 14 set. 2025.

ZHENG, Y. K. *et al.* Diversity, distribution and biotechnological potential of endophytic fungi. **Annals of Microbiology**, Heidelberg, v. 66, n. 2, p. 529-542, 2016. DOI: 10.1007/s13213-015-1153-7. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13213-015-1153-7>. Acesso em: 14 set. 2025.

ZUAZAGOITIA, D.; VILLARROEL, J. D. Studying the importance of soil organic matter: An educational proposal for secondary education. **Educación Química**, México, v. 27, n. 1, p. 37-42, 2016. DOI: 10.1016/j.eq.2015.09.007. Disponível em: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-893X2016000100037](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2016000100037). Acesso em: 14 set. 2025.