

MICRORGANISMOS E SEU POTENCIAL COMO BIOINSUMOS NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE OLIVEIRA¹

MICROORGANISMS AND ITS POTENTIAL AS BIOINPUTS IN THE PRODUCTION OF OLIVE SEEDLINGS

Madalena Boeni², Gersa Pauli Kist Steffen³, Joseila Maldaner⁴,
Ionara Fátima Conterato⁵, Ricardo Bemfica Steffen⁶ e Frederico Costa Beber Vieira⁷

RESUMO

A inoculação com microrganismos benéficos tem demonstrado um potencial interessante para melhorar o crescimento das plantas de diversas culturas no Sul do Brasil. No entanto, nos olivais, onde os solos naturalmente ácidos são calcariados para valores de pH mais elevados do que a maioria das culturas, o potencial de inoculação com microrganismos benéficos ainda é uma lacuna. O presente estudo investigou o efeito de inoculações (sem inoculação, inoculação com a bactéria *Azospirillum brasilense*, inoculação com os fungos *Trichoderma harzianum* e *Trichoderma virens*) em três níveis de calagem do solo (visando pH-H₂O de 5,0, 6,0 e 7,0) no crescimento radicular de mudas de oliveira. A inoculação do fungo *Trichoderma harzianum* promoveu maior comprimento e área superficial das raízes das plantas cultivadas em solo ácido. Em contraste, no maior nível de calagem, todos os microrganismos testados contribuíram para aumentos significativos nestes importantes parâmetros, com aumento médio de 49% no comprimento da raiz e 35% na área superficial da raiz em comparação com o tratamento sem inoculação. Estes resultados sugerem que a associação de um pH do solo favorável à olivicultura com a utilização de microrganismos como bioinsumos pode melhorar o potencial produtivo da oliveira em regiões fora do seu habitat nativo.

Palavras-chave: Crescimento radicular; *Olea europaea* L.; Sustentabilidade.

ABSTRACT

*The inoculation with beneficial microorganisms has been demonstrated an interesting potential for improving plant growth from various crops in southern Brazil. However, in olive orchards, where the naturally acid soils are limed to higher pH values than most of the crops, the potential of the inoculation with beneficial microorganisms is still a gap. The present study investigated the effect of inoculations (without inoculation, inoculation with the bacterium *Azospirillum brasilense*, inoculation with the fungus *Trichoderma harzianum**

1 Trabalho de Pesquisa Científica.

2 Pesquisadora, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. Email: madalena-boeni@agricultura.rs.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2202-2011>

3 Pesquisadora, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. Email: gersa-steffen@agricultura.rs.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0464-567X>

4 Pesquisadora, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. Email: joseila-maldaner@agricultura.rs.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3008-5047>

5 Pesquisadora, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. E-mail: ionara-conterato@agricultura.rs.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3583-9389>

6 Pesquisador, BioTec RS Tecnologia e Consultoria. E-mail: agronomors@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2736-9329>

7 Professor, Universidade Federal do Pampa, Campus São Gabriel. E-mail: fredericovieira@unipampa.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5565-7593>

and *Trichoderma virens*) at three levels of soil liming (targeting pH-H₂O of 5.0, 6.0 and 7.0) on the root growth of olive seedlings. Inoculation of the fungus *Trichoderma harzianum* promoted greater length and surface area of the roots of plants grown in acidic soil. In contrast, at the highest liming level, all tested microorganisms contributed to significant increases in these important root growth parameters, with an average increase of 49% in root length and 35% in the root surface area compared to the treatment without inoculation. These results suggest that the association of a soil pH favorable to olive growing with the use of microorganisms as bioinputs can improve the productive potential of the olive tree in regions outside their native habitat.

Keywords: Root growth; *Olea europaea* L.; Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

O Rio Grande do Sul (RS) é o maior produtor de azeite de oliva do Brasil e é reconhecido como o estado com as melhores condições edafoclimáticas do país, o que evidencia o grande potencial para expansão da olivicultura (ALBA *et al.*, 2013).

A oliveira é cultivada originalmente em solos neutros a alcalinos, enquanto os solos do Brasil são naturalmente ácidos. Solos ácidos são geralmente prejudiciais ao desenvolvimento das culturas porque apresentam altos níveis de alumínio trocável (Al³⁺) na solução, o que limita o desenvolvimento das raízes e consequentemente dificulta o crescimento das plantas. Consequentemente, solos ácidos reduzem a absorção de água e a disponibilidade de nutrientes (CHEN *et al.*, 2012). A oliveira não tolera a toxidez de Al que ocorre em solos ácidos, além de ser muito exigente em Ca, nutriente que é fornecido com a calagem (TIECHER *et al.*, 2020). Em um estudo de diagnóstico realizado para caracterização de olivais no RS, Oliveira *et al.* (2022) constataram que os maiores problemas observados quanto à fertilidade do solo foi o aumento da acidez com a profundidade. Na camada de 20 a 40 cm, pH abaixo de 5,5 foi observado em 58,5% das áreas amostradas e acima de 6,0 em apenas 14,6% das áreas, o que indica condições inadequadas para as raízes da oliveira nessa camada de solo. Isso sugere danos potenciais devido à toxicidade do Al.

Com a expansão da área com olivais no RS, é essencial que o conhecimento sobre a cultura também cresça. Por ser uma espécie perene, a obtenção de resultados e o desenvolvimento de práticas recomendadas para a olivicultura demandam vários anos. Além disso, o clima desempenha um papel crucial no cultivo da oliveira. Mudanças significativas nos padrões climáticos globais podem ser atribuídas à variabilidade climática natural, como El Niño e La Niña, ou às atividades humanas. Eventos climáticos, como as fortes secas que recentemente impactaram a Europa, levando a uma queda acentuada na produtividade da azeitona nos principais países produtores (AZEITECH, 2024) e as fortes chuvas ocorridas neste ano no Rio Grande do Sul, têm previsão de ocorrer com maior frequência e intensidade. Assim, espera-se que a implementação de princípios e práticas que contribuam para a conservação dos recursos naturais alcancem as culturas comerciais em larga escala, reduzindo os riscos ambientais, a dependência de insumos externos e os custos de produção. Neste sentido,

a utilização de insumos biológicos pode contribuir para melhorar o sistema de produção da azeitona, preconizando um manejo mais sustentável e com menores impactos ambientais e na saúde humana, melhorando e consolidando o cultivo da oliveira em condições edafoclimáticas diferentes daquelas em que foi originado.

Os inoculantes microbianos são normalmente classificados como agentes de biocontrole ou biofertilizantes/bioestimulantes (BASHAN; HOLGUIN, 1998). Esses produtos biológicos contêm microrganismos vivos que, quando aplicados a sementes, superfícies vegetais ou solo, podem promover o crescimento das plantas por vários mecanismos como o aumento da oferta de nutrientes, aumento da biomassa ou área radicular, aumentando a capacidade de absorção de nutrientes da planta (VESSEY, 2003).

Entretanto, apesar da abundância de informações sobre microrganismos benéficos, pouco se sabe sobre a interação desses microrganismos com a cultura da oliveira, bem como em condições de solo com níveis de pH inferiores aos necessários para a produtividade ótima da cultura. A adoção de práticas de manejo como as aplicadas neste estudo alinham-se com estratégias de transição para uma agricultura mais sustentável, a fim de proporcionar benefícios aos sistemas de produção em longo prazo. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência da inoculação de fungos do gênero *Trichoderma* e da bactéria do gênero *Azospirillum*, como promotores do crescimento radicular de mudas de oliveira, em diferentes níveis de calagem do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em 07 de dezembro de 2021 e conduzido até 07 de junho de 2022. Mudas de oliveira foram plantadas em vasos, na casa de vegetação da Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA, no município de São Gabriel, RS. O clima da região é classificado como Cfa, segundo o sistema Köppen-Geiger.

O solo utilizado no experimento, classificado como Neossolo Quartzarênico no sistema brasileiro de classificação de solos. Foi coletado da camada de 20 a 40 cm de profundidade em um núcleo de arenização localizado no município de Alegrete, RS, nas coordenadas 29°52' 5"S; 55°31'2"W. A análise do solo indicou os seguintes valores: argila: 130 g kg⁻¹; pH em água: 4,5; P (Mehlich-1): 4,4 mg kg⁻¹; K (Mehlich-1): 17 mg kg⁻¹, MO: 20 g kg⁻¹, Al, Ca e Mg trocáveis: 0,5; 0,2 e 0,1 cmol_c kg⁻¹, respectivamente; CTC pH 7,0: 1,75 cmol_c kg⁻¹; Saturação da CTC por Al: 58,8% e por bases: 20%.

A cultivar de oliveira escolhida foi a Arbequina, uma das mais cultivadas e produtivas do estado do RS. As mudas, obtidas da empresa viveirista Tecnoplanta (Barra do Ribeiro, RS), foram produzidas a partir do enraizamento de estacas clonais semilenhosas. Com seis meses de idade e aproximadamente 40 cm de altura, foram transplantadas para vasos plásticos com 5 kg de solo homogeneizado com adubo e corretivo de acidez, de acordo com os tratamentos.

Em um delineamento fatorial, os tratamentos consistiram de três níveis de calagem (pH 5,0, 6,0 e 7,0) combinados com quatro inoculações (1- sem inoculação; 2- inoculação da bactéria *Azospirillum brasilense* ; 3- inoculação do fungo *Trichoderma harzianum* - linhagem comercial; e 4- inoculação do fungo *Trichoderma virens* - pertencente à coleção de fungos benéficos do Centro Estadual de Diagnóstico e Pesquisa Florestal da Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação do RS. Foram utilizadas quatro repetições para cada tratamento, cada uma composta por uma planta por vaso. Como inóculo para a bactéria *A. brasiliense*, foi utilizada uma formulação líquida do produto comercial SIGLO AZP®, que contém as estirpes AbV5 e AbV6 na concentração de 200 milhões de células por mL de produto (2×10^8 UFC/mL). Para *T. harzianum*, foi utilizada a formulação líquida do produto comercial Trichodermil®, da empresa Koppert, contendo (cepa ESALQ-1306) na concentração mínima de 2×10^9 conídios viáveis/mL. Para a produção do inóculo líquido de *T. virens*, realizou-se a multiplicação da cultura pura (estirpe T10) em grãos de arroz parboilizado esterilizado segundo metodologia de Steffen e Maldaner (2017). O inóculo líquido foi preparado em laboratório, a partir da lavagem dos grãos de arroz colonizados pelo fungo em solução de água destilada esterilizada. O inóculo líquido apresentou concentração final de 2×10^7 conídios/mL. Para correção do pH de acordo com os tratamentos, calcário dolomítico foi adicionado no início do experimento. O calcário apresentou poder neutralizante relativo de 94% (260 e 180 g kg⁻¹ de CaO e MgO equivalentes, respectivamente) e foi adicionado nas taxas de 5, 10 e 20 g por vaso, a fim de atingir pH-H₂O do solo de 5,0, 6,0 e 7,0, respectivamente, conforme testes anteriores.

A fertilização mineral consistiu da adição dos seguintes nutrientes, expressos em mg de nutriente por kg de solo: N=100; P=300; K=150; Ca=200; Mg=91; S=40; B=1; Fe=5,0; Mn=5; Zn=5; Mo=0,15. As fontes de nutrientes utilizadas foram: ureia (CO(NH₂)₂); Superfosfato Simples - SFS (18% P₂O₅ CNA+H₂O; 18% Ca; 10% S); Superfosfato Triplo - SFT (41% P₂O₅ CNA+H₂O e 13% Ca); KCl; Ulexita 6% B; 1% P₂O₅; 3,2% S-SO₄); CuSO₄; FeSO₄·7H₂O; MnC₁₂·4H₂O; ZnSO₄·7H₂O; (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O. As quantidades totais de N e K foram divididas em três doses, no transplante e aos 15 e 30 dias após o transplante. Os microrganismos foram inoculados imediatamente após o transplante das mudas para os vasos experimentais. Um volume de 10 mL/vaso de solução contendo esporos do microrganismo correspondente a cada tratamento foi aplicado diretamente na superfície do solo, próximo à muda. O experimento foi mantido em casa de vegetação por 180 dias. Durante esse período, as mudas receberam irrigação automatizada diária para manter a umidade do solo em torno de 70% da capacidade de campo.

Ao final do experimento, os componentes vegetais (parte aérea e raízes) foram separados para determinação da massa seca e escaneamento das raízes. As raízes foram cuidadosamente lavadas com jatos fracos de água sobre peneira de malha fina até a remoção completa do solo. O material fresco foi congelado individualmente em sacos plásticos para posterior escaneamento. Para análise, as amostras de raízes foram retiradas do freezer e, após o descongelamento completo, o comprimento

total, a área superficial, o diâmetro e o volume do sistema radicular foram determinados por meio de imagens das raízes obtidas por meio do scanner Epson 10000 xl, no Laboratório de Solos e Ecologia Florestal (Labsef) da UNIPAMPA. As imagens foram processadas utilizando o software Winrhizo Pro (Regent Instruments Inc., Quebec, Canadá). A densidade de raízes foi calculada dividindo-se o comprimento total pelo volume de solo do vaso. Ao final do escaneamento das raízes, elas foram secas em estufa de ar forçado a 60 °C até atingir peso constante, quando então o material foi pesado em balança de precisão para obtenção da massa seca das raízes.

Os resultados foram submetidos à análise de normalidade e análise de variância segundo o delineamento fatorial e, quando significativo, foi aplicado o teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação de médias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comprimento da raiz (Tabela 1) avaliado por meio da análise de imagens de raízes de oliveiras mostrou interação significativa entre os dois fatores testados. Aumentou até o nível máximo de calagem (pH 7,0) na presença de *Trichoderma virens*. No entanto, no nível mais baixo de calagem, os melhores resultados foram observados quando o solo foi inoculado com *Trichoderma harzianum*, enquanto no nível intermediário de calagem não houve diferença significativa entre as inoculações. No nível mais alto de calagem, foi observado um aumento médio de 49% no comprimento da raiz dos tratamentos inoculados em comparação ao tratamento não inoculado.

Tabela 1 - Comprimento radicular (cm por planta) de mudas de oliveira, sob três níveis de calagem do solo e quatro inoculações.

Inoculação	Níveis de calagem			CV (%)
	pH 5,0	pH 6,0	pH 7,0	
Sem inoculação	2388,9 abB *	3526,7 aA	2352,5 bB	12,44
<i>Trichoderma harzianum</i>	3904,9 aA	2320,1 aC	3473,4 aB	14,18
<i>Trichoderma virens</i>	1955,2 bC	2396,9 aB	3300,7 aA	19,57
<i>Azospirillum brasilense</i>	3139,9 abAB	2663,9 aB	3762,3 aA	27,44
CV ¹ (%)	21,01	26,01	21,94	

¹ Coeficiente de variação. *Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Construção do Autor.

Esses resultados sugerem que as espécies de microrganismos testadas estimulam o crescimento das raízes, aumentando a resistência das oliveiras aos estresses ambientais e ao transplante. De acordo com Vázquez-de-Aldana *et al.* (2013), muitos gêneros de fungos promotores do crescimento de plantas, incluindo *Trichoderma*, estimulam o desenvolvimento do sistema radicular. Um estudo realizado por Marra *et al.* (2020) indicou que a inoculação com *Trichoderma harzianum*

(cepa T22) estimulou o crescimento e o desenvolvimento de plantas jovens de oliveira (*Olea europaea* cv. *carolea*).

Segundo Jangir *et al.* (2017), as espécies de *Trichoderma* são altamente interativas nos ambientes de solo, raiz e folha e, portanto, são consideradas de grande valor para o setor agrícola. Além do controle de doenças, elas também desempenham um papel fundamental no manejo de nutrientes das plantas, colonizando facilmente as raízes, formando associações simbióticas com as plantas, auxiliando no crescimento e desenvolvimento das raízes, produtividade das culturas, resistência a estresses abióticos e absorção de nutrientes (RANASINGH *et al.*, 2006). Em mudas de oliveira, elas aliviam o estresse oxidativo causado pela acidez do solo e aumentam seu crescimento inicial (BOENI *et al.*, 2024). Além das mudas de oliveira, no sul do Brasil, a inoculação com *Trichoderma spp.* tem evidenciado benefícios no desempenho de outras espécies arbóreas. Griebeler *et al.* (2021) observaram que a inoculação de *T. asperelloides* beneficiou a fisiologia e o crescimento de *Cabralea canjerana*, *Cedrela fissilis* e *Cordia trichotoma*, sendo uma ferramenta importante para melhorar o desenvolvimento de mudas em condições de campo.

A inoculação das mudas de oliveira com a bactéria *Azospirillum brasilense* resultou no incremento do comprimento e da área superficial radicular no solo com pH 7,0 (Tabelas 1 e 2). Na condição de pH 5,0, *A. brasilense* também elevou a área superficial radicular das mudas em relação aos tratamentos controle e com inoculação de *T. virens*, não apresentando diferença significativa em relação à inoculação de *T. harzianum* (Tabela 2). Em um estudo anterior com inoculação de *Azospirillum* em mudas de oliveira no sul do Brasil, Dalla Rosa *et al.* (2018) também relataram aumentos no enraizamento de mudas. Estes resultados estão relacionados à capacidade da bactéria *A. brasilense* produzir e secretar fitormônios na rizosfera, como as auxinas (HUNGRIA *et al.*, 2015), promovendo o desenvolvimento do sistema radicular, estimulando sua atividade meristemática e possibilitando o alongamento e desenvolvimento das raízes laterais (LJUNG, 2013; DUCA *et al.*, 2014).

Mudanças na arquitetura da raiz podem causar um aumento na área superficial da raiz, o que consequentemente leva à melhor absorção de água e nutrientes, com efeitos positivos no crescimento e saúde da planta (SOMERS *et al.*, 2004; TIMMUSK *et al.*, 2014). A inoculação de rizobactérias promotoras do crescimento vegetal em plantas foi relatada como promotora do crescimento da raiz e também por alterar a arquitetura da raiz ao aumentar a capacidade de absorção de nutrientes (GOUDA *et al.*, 2018; VACHERON *et al.*, 2013), provando ser uma estratégia valiosa para melhorar a adaptação da planta a condições adversas, otimizando o plantio de oliveiras de forma sustentável e melhorando sua produtividade.

Alterações na plasticidade da arquitetura do sistema radicular são um fenômeno comum induzido por espécies de *Trichoderma* (HARMAN *et al.*, 2004; GARNICA-VERGARA *et al.*, 2016; NIETO-JACOBO *et al.*, 2017 e LÓPEZ-BUCIO *et al.*, 2022). Isso pode estar relacionado, entre outros fatores, à capacidade de produção metabólica (ALTOMARE *et al.*, 1999), induzindo assim a

multiplicação celular, o que causa ramificação radicular e, consequentemente, proporciona maior acesso aos nutrientes, seja por fluxo de massa, interceptação ou difusão (TAIZ *et al.*, 2024) e impacta positivamente o crescimento das plantas (MACHADO *et al.*, 2012).

Em relação à área superficial das raízes (Tabela 2), o comportamento foi semelhante ao parâmetro comprimento da raiz. A área superficial foi maior em pH 7,0 na presença de *T. virens* e *A. brasilense*, que, juntamente com *T. harzianum*, neste nível de calagem, foram significativamente maiores do que no tratamento sem inoculação. Neste pH, o aumento médio da área superficial das raízes pela inoculação foi de 35% em relação ao tratamento sem inoculação. No pH 5,0, entretanto, a inoculação com *T. harzianum* e *A. brasilense* promoveu maior área superficial das raízes que *T. virens*, que não diferiu da testemunha. No pH 6,0, por sua vez, não houve diferença estatística dentro do fator inoculação.

Tabela 2 - Área superficial radicular (cm² por planta) de mudas de oliveira, sob três níveis de calagem do solo e quatro inoculações.

Inoculação	Níveis de calagem			CV (%)
	pH 5,0	pH 6,0	pH 7,0	
Sem inoculação	379,3 bB *	573,1 aA	419,6 bB	18,57
<i>Trichoderma harzianum</i>	535,4 aA	415,4 aB	520,2 aA	17,78
<i>Trichoderma virens</i>	354,8 bB	410,4 aB	568,1 aA	20,04
<i>Azospirillum brasilense</i>	516,5 aB	456,8 aB	615,1 aA	21,12
CV ¹ (%)	15,28	21,90	26,11	

¹ Coeficiente de variação. *Médias seguidas da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Construção do Autor.

Para o volume radicular não foi observada interação entre os dois fatores testados e nenhum deles apresentou efeito significativo (Tabela 3).

Tabela 3 - Volume radicular (cm³ de raiz por planta) de mudas de oliveira, sob três níveis de calagem do solo e quatro inoculações.

Inoculação	Níveis de calagem				
	pH 5,0	pH 6,0	pH 7,0	Média	CV (%)
Sem inoculação	4,82	7,42	5,95	6,06 ^{ns}	20,03
<i>Trichoderma harzianum</i>	5,84	5,92	6,21	5,99	19,47
<i>Trichoderma virens</i>	5,13	5,61	7,79	6,18	18,11
<i>Azospirillum brasilense</i>	6,78	5,31	8,03	6,71	18,76
Média	5,64 ^{ns}	6,07	7,00		
CV ¹ (%)	15,22	28,23	22,93		

¹ Coeficiente de variação. ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: Construção do Autor.

Em relação ao diâmetro médio das raízes de oliveira, também houve interação significativa entre os níveis de calagem e inoculação (Tabela 4). O diâmetro radicular aumentou para a inoculação

de *T. harzianum* até o nível intermediário de acidez do solo, enquanto para as demais inoculações não houve resposta à calagem. Considerando as inoculações nos diferentes níveis de calagem, no menor nível, a inoculação com *T. virens* apresentou tendência a promover maior espessamento radicular, porém, não diferiu significativamente de *A. brasilense* e do tratamento sem inoculação. No nível intermediário, não foi observada variação entre as inoculações. No maior nível de calagem, o tratamento sem inoculação apresentou o maior diâmetro, porém não diferiu significativamente das inoculações com *T. virens* e *A. brasilense*.

Tabela 4 - Diâmetro médio radicular (mm) de mudas de oliveira, sob três níveis de calagem do solo e quatro inoculações.

Inoculação	Níveis de calagem			CV (%)
	pH 5,0	pH 6,0	pH 7,0	
Sem inoculação	0,51 abA *	0,52 aA	0,57 aA	6,71
<i>Trichoderma harzianum</i>	0,44 bB	0,57 aA	0,48 bB	7,04
<i>Trichoderma virens</i>	0,58 aA	0,54 aA	0,54 abA	7,23
<i>Azospirillum brasilense</i>	0,52 abA	0,50 aA	0,53 abA	6,83
CV ¹ (%)	7,76	6,22	4,44	

¹ Coeficiente de variação. *Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem entre si, segundo o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Construção do Autor.

Inoculação com *Trichoderma* afetou positivamente a arquitetura do sistema radicular de plantas de milho (*Zea mays*), o que se correlacionou com o aumento da produtividade da planta. Os efeitos relatados incluem o aumento da produção de biomassa radicular (BJÖRKMAN *et al.*, 1998; HARMAN *et al.*, 2004). No presente estudo, a inoculação com *Trichoderma virens* promoveu o crescimento radicular de mudas de oliveira, evidenciado pelo aumento da produção de matéria seca radicular até o nível máximo de calagem (pH 7,0). No entanto, dentro de cada nível de calagem, nenhuma variação significativa foi observada entre as diferentes inoculações (Tabela 5).

Tabela 5 - Rendimento de massa seca radicular (g por planta) de mudas de oliveira, sob três níveis de calagem do solo e quatro inoculações.

Inoculação	Níveis de calagem			CV (%)
	pH 5,0	pH 6,0	pH 7,0	
Sem inoculação	1,60 aA *	2,16 aA	1,63 aA	15,17
<i>Trichoderma harzianum</i>	1,67 aB	1,97 aA	1,75 AB	18,72
<i>Trichoderma virens</i>	1,62 aB	1,44 aB	2,09 aA	17,77
<i>Azospirillum brasilense</i>	2,15 aA	1,57 aB	2,54 aA	19,06
CV (%)	19,44	16,33	18,03	

¹ Coeficiente de variação. *Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem entre si, segundo o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Construção do Autor.

Várias linhagens de *Trichoderma* induzem ramificação de raízes e aumentam a produção de biomassa devido à divisão, expansão e diferenciação celular, influenciadas pela presença de compostos fúngicos semelhantes à auxina. Além disso, *Trichoderma*, em associação com raízes de plantas, pode desencadear resistência sistêmica e melhorar a capacidade de absorção de nutrientes da planta (CONTRERAS-CORNEJO *et al.*, 2016; CHAGAS *et al.*, 2017).

Plantas que abrigam fungos do gênero *Trichoderma* associados ao seu sistema radicular tendem a ter melhor capacidade de sobrevivência em condições adversas e, consequentemente, apresentam vantagem produtiva sobre aquelas que não apresentam *Trichoderma* em suas raízes (VERMA *et al.*, 2007; MACHADO *et al.*, 2012).

Os resultados obtidos neste estudo demonstram um efeito da inoculação dependente do pH no crescimento radicular de mudas de oliveira. Em geral, a inoculação foi mais eficiente para o crescimento radicular no pH mais alto, mas as espécies de microrganismos reagiram de forma diferente ao pH do solo. Considerando que as oliveiras desenvolvem-se melhor em solos neutros a alcalinos e que a maior parte da literatura disponível sobre as condições químicas adequadas para esta espécie foi gerada em pomares plantados em solos neutros e/ou alcalinos (NICOLODI *et al.*, 2009), esses resultados possibilitam aprimorar e otimizar o cultivo da oliveira em um ambiente diferente daquele em que ela se originou, a fim de aproveitar ao máximo o potencial dos bioinsumos disponíveis, impulsionando a produção de azeitonas no Brasil, especialmente no Rio Grande do Sul.

4 CONCLUSÕES

A olivicultura do Rio Grande do Sul ainda enfrenta limitações e necessita de adequações técnicas. A utilização de microrganismos benéficos mostra-se uma estratégia eficiente e sustentável para impulsionar a produtividade desta cultura em expansão, tanto em solos ácidos quanto em solos com condições ideais de pH, através do incremento do sistema radicular das mudas de oliveira.

O nível de acidez do solo interferiu na eficiência dos agentes de bioinsumos avaliados. A inoculação do fungo *Trichoderma harzianum* aumentou tanto o comprimento quanto a área superficial radicular em plantas de oliveira cultivadas em solo ácido. Sob condição de pH neutro, todos os microrganismos testados (*Trichoderma harzianum*, *Trichoderma virens* e *Azospirillum brasilense*) promoveram aumentos nesses parâmetros de crescimento da raiz.

É importante seguir investigando o comportamento destes bioinsumos em cultivos comerciais para determinar seus efeitos na produtividade de azeitonas.

REFERÊNCIAS

- ALBA, J. M. F. *et al.* Zoneamento edafoclimático da olivicultura. In: ALBA, J. M. F.; FLORES, C. A.; WREGE, M. S. **Zoneamento edafoclimático da olivicultura para o Rio Grande do Sul**. Brasília: Embrapa, 2013. p. 37-67.
- ALTOMARE, C. *et al.* Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growth-promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. **Applied Environmental Microbiology**, v. 65, n. 7, p. 2926-2933, 1999.
- AZEITECH. **Azeitech 2024 vai discutir o impacto das condições climáticas na Olivicultura**. Minas Gerais: Epamig, 2024. Disponível em: <https://azeitech.com.br/2024/01/17/azeitech-2024-vai-discutir-o-impacto-das-condicoes-climaticas-na-olivicultura/>. Acesso em: 12 dez. 2024.
- BASHAN, Y.; HOLGUIN, G. Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol-PGPB (plant growth-promoting bacteria) and PGPB. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, n. 8-9, p. 1225-1228, 1998.
- BJÖRKMAN, T.; BLANCHARD, L. M.; HARMAN, G. E. Growth enhancement of shrunken-2 (sh2) sweet corn by *Trichoderma harzianum* 1295-22: effect of environmental stress. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 123, n. 1, p. 35-40, 1998.
- BOENI, M. *et al.* Growth-promoting microorganisms as a sustainable alternative to optimize the productive potential of olive plants. **Scientia Horticulturae**, v. 332, 113167, 2024.
- CHAGAS, L. F. B. *et al.* *Trichoderma* na promoção do crescimento vegetal. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 3, p. 97-102, 2017.
- CHEN, R. F. *et al.* Aluminium-phosphorus interactions in plants growing on acid soils: does phosphorus always alleviate aluminium toxicity? **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 92, n. 5, p. 995-1000, 2012.
- CONTRERAS-CORNEJO, H. A. *et al.* Ecological functions of *Trichoderma* spp. and their secondary metabolites in the rhizosphere: interactions with plants. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 92, n. 4, 2016.
- DALLA ROSA, D. *et al.* Rooting of semihardwood cutting of olive: indolbutyric acid, calcium and *Azospirillum brasilense*. **Comunicata Scientiae**, v. 9, n. 1, p. 34-40, 2018.
- DUCA, D. *et al.* Indole-3-acetic acid in plant-microbe interactions. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 106, p. 85-125, 2014.

- GARNICA-VERGARA, A. *et al.* The volatile 6-pentyl-2H-pyran-2-one from *Trichoderma atroviride* regulates *Arabidopsis thaliana* root morphogenesis via auxin signaling and *ETHYLENE INSENSITIVE 2* functioning. **New Phytologist.**, v. 209, p. 1496-1512, 2016.
- GOUDA, S. *et al.* Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. **Microbiology Research**, v. 206, p. 131-140, 2018.
- GRIEBELER, A. M. *et al.* Type of container and *Trichoderma spp.* inoculation enhance the performance of tree species in enrichment planting. **Ecological Engineering**, v.169, 106317, 2021.
- HARMAN, G. E. *et al.* Interaction between *Trichoderma harzianum* strain T22 and maize inbred line Mo17 and effects of these interactions on diseases caused by *Phytophthora ultimum* and *Colletotrichum graminicola*. **Phytopathology**, v. 94, n. 2, p. 147-153, 2004.
- HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Soybean Seed Co-Inoculation with *Bradyrhizobium spp.* and *Azospirillum brasilense*: A New Biotechnological Tool to Improve Yield and Sustainability. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, n. 6, p. 811-817, 2015.
- JANGIR, M.; PATHAK, R.; SHARMA, S. *Trichoderma* and its potential applications. In: SINGH, D. P. *et al.* **Plant-microbe interactions in agro-ecological perspectives**. Singapore: Springer Nature, 2017. p. 323-334.
- LJUNG, K. Auxin metabolism and homeostasis during plant development. **Development**, v. 140, n. 5, p. 943-950, 2013.
- LÓPEZ-BUCIO, J.; ESPARZA-REYNOSO, S.; PELAGIO-FLORES, R. Nitrogen availability determines plant growth promotion and the induction of root branching by the probiotic fungus *Trichoderma atroviride* in *Arabidopsis* seedlings. **Archives of Microbiology**, 204(380), 2022.
- MACHADO, D. F. M. *et al.* *Trichoderma* no Brasil: O fungo e o bioagente. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 274-288, 2012.
- MARRA, R. *et al.* The application of *Trichoderma* strains or metabolites alters the olive leaf metabolome and the expression of defense-related genes. **Journal of Fungi**, v. 6, n. 4, 369, 2020.
- NICOLODI, M. *et al.* Solos. In: COUTINHO, E. F.; RIBEIRO, F. C.; CAPPELLARO, T. H. **Cultivo de Oliveira (*Olea europaea* L.)**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. p. 29-36.
- NIETO-JACOBO, M. F. *et al.* Environmental growth conditions of *Trichoderma spp.* affects indole acetic acid derivatives, volatile organic compounds, and plant growth promotion. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 102, 2017.

- OLIVEIRA, A. M. R. de. *et al.* **Caracterização de olivais no Rio Grande do Sul: aspectos socioeconômicos, fitossanitários, de nutrição e fertilidade dos solos.** Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2022.
- RANASINGH, N.; SAURABH, A.; NEDUNCHEZHIAN, M. Use of *Trichoderma* in disease management. **Orissa Review**, p. 68-70, 2006.
- SOMERS, E.; VANDERLEYDEN, J.; SRINIVASAN, M. Rhizosphere bacterial signaling: a love parade beneath our feet. **Critical Reviews in Microbiology**, v. 304, n. 4, p. 205-240, 2004.
- STEFFEN, G. P. K.; MALDANER, J. Methodology for *Trichoderma sp.* Multiplication in organic substrates. **International journal of current research**, v. 9, n. 1, p. 44564-44567, 2017.
- TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2024.
- TIECHER, T. L. *et al.* Calagem, adubação e estado nutricional em oliveiras. In: NÚCLEO REGIONAL SUL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Atualização sobre calagem e adubação em frutíferas.** Porto Alegre: NRSSNCS, 2020. p. 236-248.
- TIMMUSK, S. *et al.* Drought-tolerance of wheat improved by rhizosphere bacteria from harsh environments: enhanced biomass production and reduced emissions of stress volatiles. **PloS One**, v. 9, n. 5, p. e96086, 2014.
- VACHERON, J. *et al.* Plant growth- promoting rhizobacteria and root system functioning. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 356, 2013.
- VÁZQUEZ-DE-ALDANA, B. R. *et al.* Fungal endophyte (*Epichloë festucae*) alters the nutrient content of *Festuca rubra* regardless of water availability. **PloS One**, v. 8, n. 12, p. e84539, 2013.
- VERMA, M. *et al.* Antagonistic fungi, *Trichoderma* spp.: Panoply of biological control. **Biochemical Engineering Journal**, v. 37, n. 1, p. 1-20, 2007.
- VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant and Soil**, v. 255, p. 571-586, 2003.