

Editora Dra. Gislaine Fongaro

TENDÊNCIAS BIOTECNOLÓGICAS SUSTENTÁVEIS PARA FINS DE SAÚDE ÚNICA

**PROSPECÇÃO DE
MOLÉCULAS BIOATIVAS**

**PATÓGENOS VIRAIS
E PARASITÁRIOS**

**CULTIVO CELULAR
*IN VITRO***

CITOTOXICIDADE

**INTELIGÊNCIA
ARTIFICIAL**



Controle de plantas espontâneas mediado pelo uso de bioherbicidas

DOI: 10.56041/9786599841859-3

CAMARGO, Aline F.

Programa de Pós-graduação em Biotecnologia e Biociências.
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
Laboratório de Microbiologia e Bioprocessos.
Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, Rio Grande do Sul, Brasil.
<https://orcid.org/0000-0003-4760-6221>

KUBENECK, Simone

Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental.
Laboratório de Microbiologia e Bioprocessos.
Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, Rio Grande do Sul, Brasil.
<https://orcid.org/0000-00025787-2825>

NERLING, Júlia P.

Laboratório de Microbiologia e Bioprocessos.
Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, Rio Grande do Sul, Brasil.
<https://orcid.org/0009-0000-15625802>

BIENIEK, Cauê B.

Laboratório de Agroecologia.
Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, Rio Grande do Sul, Brasil.
<https://orcid.org/0009-0004-9610-6703>

ROMANI, Larissa C.

Laboratório de Microbiologia e Bioprocessos.
Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, Rio Grande do Sul, Brasil.
<https://orcid.org/0009-0001-0228-812X>

MOSSI, Altemir J.

Laboratório de Agroecologia.
Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, Rio Grande do Sul, Brasil.
<https://orcid.org/0000-0002-7917-450X>

FONGARO, Gislaine

Programa de Pós-graduação em Biotecnologia e Biociências.
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
<https://orcid.org/0000-000155963320>

TREICHEL, Helen*

Laboratório de Microbiologia e Bioprocessos.
Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, Rio Grande do Sul, Brasil.
Programa de Pós-graduação em Biotecnologia e Biociências.
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
<https://orcid.org/0000-000238103000>

RESUMO

O estabelecimento de metas globais que visam o uso de sistemas de cultivo sustentáveis juntamente com objetivo de proporcionar o bem-estar do meio ambiente, tornou os insumos de base biológica uma alternativa atrativa e bastante procurada nos últimos anos. As plantas espontâneas, também chamadas de plantas daninhas, são consideradas um problema nos sistemas de cultivo, devido à competição com a cultura por nutrientes. Sua presença acarreta elevadas perdas na colheita, além de causar impactos negativos no ecossistema, por serem usados os herbicidas sintéticos em seu controle. Diante disso, os herbicidas de base biológica possibilitam o controle destas plantas, sem que haja consequências negativas ao meio ambiente. O uso de microrganismos, como fungos e bactérias, bem como as enzimas produzidas pelos mesmos, possibilita interações na parede celular das plantas espontâneas controlando-as nos sistemas de cultivo, sem causar impactos negativos aos recursos naturais e à saúde humana. Nesse sentido, este capítulo visa realizar uma revisão abrangente sobre o uso de bioherbicidas, discutindo métodos de obtenção e interação entre bioherbicidas e as plantas alvo, bem como a análise de como esses bioprodutos estão atrelados ao contexto de saúde única.

Palavras-chave: Microrganismos; Cultivo sustentável; Meio Ambiente; Controle Biológico.

USO DE BIOHERBICIDAS NO CONTROLE DE PLANTAS ESPONTANÊAS

As plantas espontâneas possuem grande interferência no desenvolvimento das culturas, ocasionando uma redução drástica na produtividade, devido a competição agressiva com outras culturas por água, luz, nutrientes e espaço (Zagonel et al., 2000). Sendo assim, buscam-se estratégias de controle dessas plantas espontâneas, com o objetivo de inibir ou reduzir seu desenvolvimento, a fim de chegar a níveis aceitáveis para a convivência entre as espécies envolvidas, sem danos para as mesmas ou prejuízos econômicos (Sardana et al., 2017).

A agricultura sustentável simboliza um dos objetivos primordiais no âmbito global. Assim, a adesão de práticas agrícolas economicamente viáveis e ecologicamente conscientes resulta em uma produção agrícola efetiva, e na promoção da estabilidade dos ecossistemas. Desse modo, a conjuntura atual é caracterizada pelo advento de tecnologias emergentes, avanços no controle de invasores vegetais e na utilização de bioherbicidas para a implementação do controle biológico de plantas espontâneas. Entretanto, é inegável a permanência de desafios e fronteiras que precisam ser superadas para a efetiva implementação dessa tecnologia. Dentre esses obstáculos, destacam-se a variabilidade dos hospedeiros, as restrições impostas pelo ambiente e a necessidade de assegurar a confiabilidade no desenvolvimento das formulações, que são questões cruciais para o caminho da agricultura sustentável (Ramesh & Abinaya, 2022).

Os bioherbicidas ou herbicidas biológicos são baseados em princípios ativos naturais como extratos, plantas ou microrganismos patogênicos sendo em muitos casos, fungos isolados da própria planta alvo de controle (Bailey et al., 2011; Klaic et al., 2015; Mishra et al., 2018). Inúmeros estudos de bioherbicidas a base de fungos vêm sendo desenvolvidos e

demonstram potencial para aplicação em processos de controle biológico, provocando danos foliares diminuindo a taxa fotossintética, e conseqüentemente dificultando e inibindo o seu crescimento (Bordin et al., 2018; Reichert Júnior et al., 2019).

Sem dúvida o mercado de produtos fitossanitários para a agricultura é de ampla concorrência, entretanto os bioherbicidas apresentam pontos positivos fortes, por exemplo: ação específica; difícil aquisição de resistência pela planta alvo; efetivo em menores doses quando comparados a herbicidas, ocasionando um menor impacto no ecossistema; por ser um produto biodegradável, diminui o risco de contaminação ambiental; potencializa o controle quando aplicado de maneira integrada com outras técnicas de manejo (Ash, 2010).

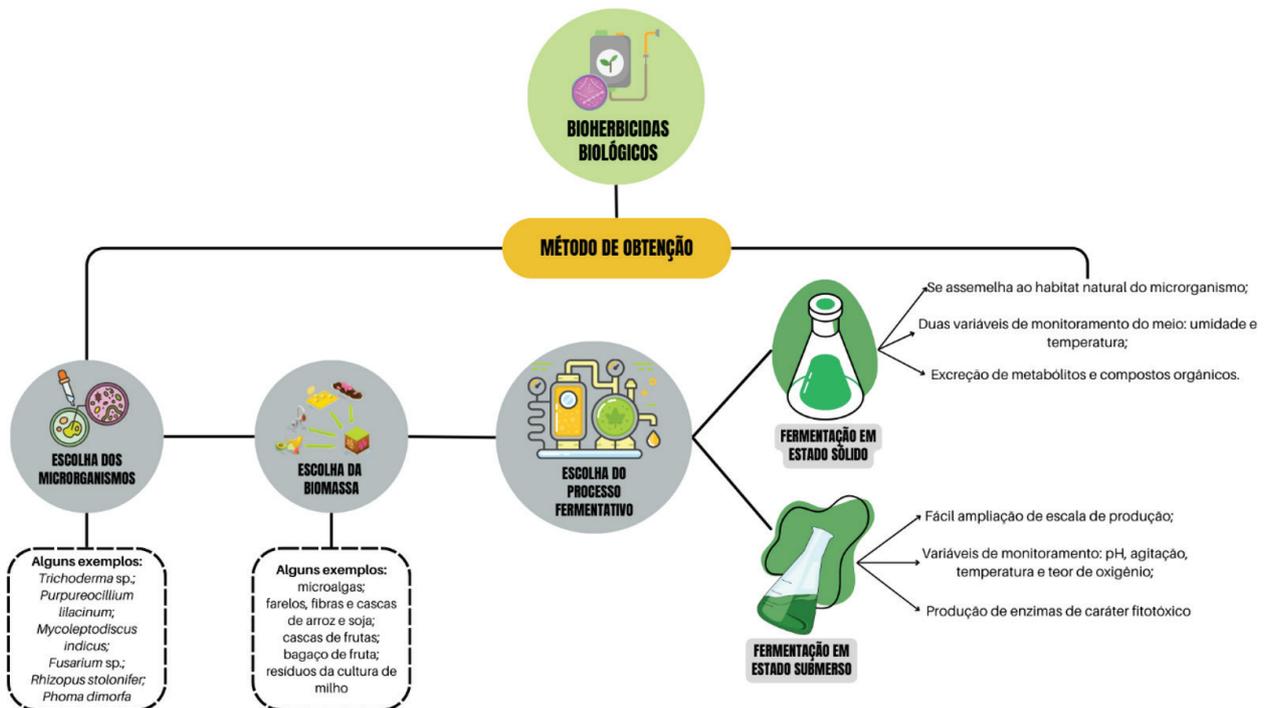
Apesar de promissor, o uso de bioherbicidas ainda enfrenta muitas limitações, dentre elas está a dificuldade de mensurar os resultados obtidos em condições à campo e a diversidade genética dos hospedeiros, pois em muitos casos os patógenos de plantas apresentam alta especificidade, restringindo o uso do microrganismo a apenas uma espécie de planta (Camargo et al., 2023b; Soltys et al., 2013).

BIOHERBICIDAS: MÉTODOS E OBTENÇÃO

A obtenção de bioherbicidas possui diversas etapas para que ao final se tenha um produto de qualidade, que cause o efeito desejado nas plantas espontâneas e principalmente que não agrida o meio ambiente e a saúde humana, em especial os agricultores que aplicam o tratamento nas culturas. Os bioherbicidas de base biológica, seguem de maneira resumida as seguintes etapas de produção: i) escolha do microrganismo; ii) escolha do substrato e iii) avaliação e determinação do método fermentativo de obtenção, conforme o fluxograma apresentado na Figura 1.

O uso de microrganismos para a obtenção de herbicidas vem sendo bastante explorado nos últimos anos, por serem de procedência natural e, portanto, possuem um ciclo de vida curto no meio ambiente diminuindo os impactos negativos, em comparação ao uso de agroquímicos (Bordin et al., 2018, 2021; Camargo et al., 2023b).

Figura 1 - Etapas envolvidas na produção de herbicidas de base biológica.



Diante disso, a escolha de microrganismos conhecidos, por serem agentes de controle biológico, são ideais para serem utilizados neste processo devido aos seus mecanismos de ação e a liberação de substâncias que agem na estrutura das plantas (Adetunji et al., 2019). Dentre os microrganismos reconhecidos por possuírem esses mecanismos destaca-se o *Trichoderma* sp., *Fusarium* sp., *Rhizopus stolonifer*; e o *Phoma dimorfa* (Camargo, et al., 2023a,b; Cavalcante et al., 2021; Chaves Neto et al., 2021; Portela et al., 2022; Saldaña-Mendoza et al., 2023).

A partir da escolha do microrganismo, se tem a etapa de escolha do substrato. É importante que esse substrato possua componentes que o microrganismo utilize para excretar substâncias como ácidos e metabólitos de interesse, além de fornecer carbono e nitrogênio para o seu desenvolvimento (Camargo et al., 2023a; Sala et al., 2021). Há diversos tipos de substrato que podem ser utilizados, desde soluções compostas principalmente por minerais até biomassas provenientes de resíduos ricos em compostos bioativos, açúcares, aminoácidos e proteínas (Matthiensen & Michelon, 2022).

A terceira etapa é a determinação do método fermentativo mais adequado. Os processos fermentativos microbianos podem ocorrer em dois diferentes estados, sólido e submerso. As fermentações em estado sólido recebem destaque por possuírem vantagens econômicas no seu processo como o uso de um único substrato sólido, sem a necessidade da adição de outros componentes químicos. Além disso, este processo também é considerado viável principalmente por reproduzir as condições de crescimento em um ecossistema natural e real. Neste tipo de fermentação, para que se tenha êxito na produção do composto de interesse é importante controlar algumas variáveis como o teor de umidade do meio e a temperatura do processo, para que assim o microrganismo utilize o meio fermentativo de maneira eficiente possibilitando a produção e a excreção de metabólitos e substâncias que causem o efeito desejado (Camargo et al., 2023 a,b; Singhanía et al., 2009).

Já a fermentação submersa é a mais utilizada atualmente devido a sua facilidade de reprodução em grande escala. Para que a fermentação submersa ocorra de maneira eficiente, se tem o acompanhamento de diversas variáveis durante sua execução. A temperatura, agitação, pH e teor de oxigênio do meio devem ser monitoradas e ajustadas para que assim o microrganismo consiga se reproduzir no meio líquido e conseqüentemente, ter a produção dos compostos de interesse (Camargo et al., 2023b; Intasit et al., 2021; Portela et al., 2022; Ulrich et al., 2021).

FUNCIONALIDADES DOS BIOHERBICIDAS

As mudanças causadas pelo homem vêm impactando cada vez mais o meio ambiente, e um dos impactos que notamos é a presença de plantas mais persistentes e resistentes aos herbicidas tradicionais (Christoffoleti & López-Ovejero, 2003). Neste cenário, os bioherbicidas surgem no como uma proposta de menor impacto para a viabilidade das produções agrícolas, e ao contrário dos compostos químicos tradicionais, ele traz diversas funcionalidades e benefícios pela sua aplicação.

O *pool* enzimático presente na composição de um bioherbicida detêm grande parte dos mecanismos de ação desse composto, dando destaque principalmente a classe de enzimas que atuam na degradação da parede celular das plantas. Enzimas como pectinases, celulases e ligninases atuam diretamente na parede celular da planta-alvo realizando a sua degradação, já enzimas como proteases, amilases e peptidases atuam diretamente na proteína e membrana lipídica, facilitando a ação dos agentes de biocontrole na planta alvo (Cordeau et al., 2016; Ghorbani et al., 2005). Além destas, as enzimas antioxidantes são de extrema importância para que haja o efeito fitotóxico na planta alvo, as quais incluem as peroxidases, catalases, superóxido dismutases e ascorbato peroxidases que atuam na estrutura dos polissacarídeos da parede celular por meio de processos como a peroxidação lipídica, criando um ambiente de estresse e conseqüentemente resultando em dano foliar (Stefanski et al., 2020; Ulrich et al., 2021).

Outros metabólitos como a cumarina e demais compostos fenólicos, tendem a prejudicar significativamente a germinação e o crescimento inicial das plantas, pois ao serem absorvidos pelas sementes, logo começam a gerar danos à membrana celular, DNA, mitose, processos bioquímicos bem como a atividade da amilase, inibindo a germinação das mesmas. Entretanto, vale ressaltar que estes compostos não afetam os organismos que auxiliam na manutenção do solo, como é o caso das minhocas (Portela et al., 2022). Desta forma, os metabólitos fitotóxicos provenientes de microrganismos, mostram uma potencialidade para bioherbicidas mais seguros, e que otimizem a produção e cultivo das culturas vegetais desejadas.

De forma geral, as plantas espontâneas ao serem submetidas a presença do bioherbicida rico em enzimas, se encontram em um ambiente de estresse e conseqüentemente produzem espécies reativas de oxigênio e que por serem altamente tóxicas, aumentam o estresse oxidativo da planta e ocasionam danos às proteínas, lipídios carboidratos e DNA, afetando a produção de clorofila da planta e causando o surgimento de clorose nas folhas (Hasan et al.,

2022). Vale ressaltar que por ser um composto de formulação diferenciada, sem a presença de substâncias químicas nocivas ao meio ambiente e ao agricultor que faz a aplicação na cultura, os seus mecanismos de ação são baseados nas atividades fitotóxicas realizadas por um *pool* enzimático e de metabólitos excretados pelos microrganismos durante o processo de obtenção do composto.

BIOHERBICIDAS EM UM CONTEXTO DE SAÚDE ÚNICA

A agricultura convencional baseada em práticas industriais e intensificadas, justificada pela crescente demanda por alimentos, enfrenta o paradoxo de alimentar uma população em constante crescimento, com recursos finitos e degradados. O emprego de herbicidas para o aumento da produtividade, pode estar associado à perda da biodiversidade, incitando desequilíbrios entre as interações dos ecossistemas (Camargo et al., 2023).

O conceito de Saúde Única (*One Health*, em inglês) nos auxilia no entendimento das interações entre animais, seres humanos e ambiente, ou seja, fornece uma visão de como esses âmbitos se entrelaçam com o intuito de melhorar questões relacionadas à saúde humana. Para a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), “Saúde Única é uma força unificadora para salvaguardar a saúde humana e animal, para reduzir ameaças de doenças e para garantir um abastecimento alimentar seguro através de uma gestão eficaz e responsável dos recursos naturais” (Lombi et al., 2019). Essa abordagem é importante devido a busca por métodos agrícolas alternativos, que promovam a segurança alimentar e a manutenção saudável dos agroecossistemas.

Os sistemas de base agroecológica oferecem uma alternativa para alcançar a sustentabilidade e garantir maior segurança alimentar, através de interações biológicas naturais e da resiliência socioambiental. Com o uso de bioherbicidas, espera-se restabelecer o equilíbrio da microbiota local, estimulando a biodiversidade do ecossistema, e reduzindo o uso de insumos agroquímicos nos sistemas produtivos. A baixa toxicidade dos bioherbicidas aliada ao desenvolvimento da biodiversidade poderão resultar no controle de vetores e na disseminação de doenças e patógenos, atuando como uma frente na aplicação microbiológica em saúde única. Apesar dos bioherbicidas ainda apresentarem rendimento inferior, se comparado ao método convencional, eles representam uma alternativa emergente para solucionar questões de redução da fome e otimização de recursos naturais, por intermédio da implementação de padrões de produção e de consumo sustentáveis (Yan et al., 2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os bioherbicidas se tornam uma tecnologia verde, que ao ser aplicada em sistemas produtivos agroecológicos, atuam dentro do contexto de economia circular, encerrando ciclos dentro das propriedades. Com o uso dessa ferramenta biológica espera-se diminuição de entrada e saída de insumos e do uso de produtos tóxicos. Por outro lado, estimulam o aumento da biodiversidade, estabelecendo ambientes mais saudáveis, tendendo ao equilíbrio ecológico. Essas ações impulsionam a possibilidade de diminuir potenciais patógenos, vetores

de doenças e contaminações ambientais. Apresentando-se como uma frente na saúde única, os bioherbicidas estimulam a produção de alimentos mais saudáveis e diversificados.

REFERÊNCIAS

Adetunji, C. O., Oloke, J. K., Bello, O. M., Pradeep, M. & Jolly, R. S. (2019). Isolation, structural elucidation and bioherbicidal activity of an eco-friendly bioactive 2-(hydroxymethyl) phenol, from *Pseudomonas aeruginosa* (C1501) and its ecotoxicological evaluation on soil. *Environmental Technology & Innovation*, 13, 304–317. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.12.006>

Ash, G. J. (2010). The science, art and business of successful bioherbicides. *Biological Control*, 52(3), 230–240. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.08.007>

Bailey, K. L., Pitt, W. M., Falk, S. & Derby, J. (2011). The effects of *Phoma macrostoma* on nontarget plant and target weed species. *Biological Control*, 58(3), 379–386. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.06.001>

Bordin, E. R., Frumi Camargo, A., Rossetto, V., Scapini, T., Modkovski, T. A., Weirich, S., Carezia, C., Barretta Franceschetti, M., Balem, A., Golunski, S. M., Galon, L., Funghetto Fuzinato, C., Reichert Júnior, F. W., Fongaro, G., Mossi, A. J. & Treichel, H. (2018). Non-Toxic Bioherbicides Obtained from *Trichoderma koningiopsis* Can Be Applied to the Control of Weeds in Agriculture Crops. *Industrial Biotechnology*, 14(3), 157–163. <https://doi.org/10.1089/ind.2018.0007>

Bordin, E. R., Frumi Camargo, A., Stefanski, F. S., Scapini, T., Bonatto, C., Zanivan, J., Preczeski, K., Modkovski, T. A., Reichert Júnior, F., Mossi, A. J., Fongaro, G., Ramsdorf, W. A. & Treichel, H. (2021). Current production of bioherbicides: mechanisms of action and technical and scientific challenges to improve food and environmental security. *Biocatalysis and Biotransformation*, 39(5), 346–359. <https://doi.org/10.1080/10242422.2020.1833864>

Camargo, A. F., Bonatto, C., Scapini, T., Klanovicz, N., Tadioto, V., Cadamuro, R. D., Bazoti, S. F., Kubeneck, S., Michelon, W., Reichert Júnior, F. W., Mossi, A. J., Alves Júnior, S. L., Fongaro, G. & Treichel, H. (2023b). Fungus-based bioherbicides on circular economy. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s00449-023-02926-w>

Camargo, A. F., Dalastra, C., Ulrich, A., Scapini, T., Bonatto, C., Klanovicz, N., Michelon, W., Lerin, L., Júnior, S. L. A., Mossi, A. J., Tramontin, M. A., Bernardi, O., Paudel, S. R., Fongaro, G. & Treichel, H. (2023a). The bioherbicidal potential of isolated fungi cultivated in microalgal biomass. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 46(5), 665–679. <https://doi.org/10.1007/s00449-023-02852-x>

Cavalcante, B. D. M., Scapini, T., Camargo, A. F., Ulrich, A., Bonatto, C., Dalastra, C., Mossi, A. J., Fongaro, G., Di Piero, R. M. & Treichel, H. (2021). Orange peels and shrimp shell used in a fermentation process to produce an aqueous extract with bioherbicide potential to weed control. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 32, 101947. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.101947>

Chaves Neto, J. R., Nascimento dos Santos, M. S., Mazutti, M. A., Zabot, G. L. & Tres, M. V. (2021). *Phoma dimorpha* phytotoxic activity potentialization for bioherbicide

production. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 33, 101986. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.101986>

Christoffoleti, P. J. & López-Ovejero, R. (2003). Principais aspectos da resistência de plantas daninhas ao herbicida glyphosate. *Planta Daninha*, 21(3), 507–515. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582003000300020>

Cordeau, S., Triolet, M., Wayman, S., Steinberg, C. & Guillemin, J.-P. (2016). Bioherbicides: Dead in the water? A review of the existing products for integrated weed management. *Crop Protection*, 87, 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.04.016>

Ghorbani, R., Leifert, C. & Seel, W. (2005). Biological Control of Weeds with Antagonistic Plant Pathogens (pp. 191–225). [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)860043](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)860043)

Hasan, M., Mokhtar, A. S., Mahmud, K., Berahim, Z., Rosli, A. M., Hamdan, H., Motmainna, Mst. & Ahmad-Hamdani, M. S. (2022). Physiological and biochemical responses of selected weed and crop species to the plant-based bioherbicide WeedLock. *Scientific Reports*, 12(1), 19602. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24144-2>

Intasit, R., Cheirsilp, B., Suyotha, W. & Boonsawang, P. (2021). Synergistic production of highly active enzymatic cocktails from lignocellulosic palm wastes by sequential solid state-submerged fermentation and co-cultivation of different filamentous fungi. *Biochemical Engineering Journal*, 173, 108086. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2021.108086>

Klaic, R., Kuhn, R. C., Foletto, E. L., Dal Prá, V., Jacques, R. J. S., Guedes, J. V. C., Treichel, H., Mossi, A. J., Oliveira, D., Oliveira, J. V., Jahn, S. L. & Mazutti, M. A. (2015). An overview regarding bioherbicide and their production methods by fermentation. In *Fungal Biomolecules* (pp. 183–199). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118958308.ch14>

Lombi, E., Donner, E., Dusinska, M. & Wickson, F. (2019). A One Health approach to managing the applications and implications of nanotechnologies in agriculture. *Nature Nanotechnology*, 14(6), 523–531. <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0460-8>

Matthiensen, A. & Michelon, W. (2022). Produção de microalgas em sistema semiaberto: estrutura e funcionamento de tanques semicirculares (raceway tanks). *Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico*, 601., 17.

Mishra, R. K., Bohra, A., Kamaal, N., Kumar, K., Gandhi, K., GK, S., Saabale, P. R., SJ, S. N., Sarma, B. K., Kumar, D., Mishra, M., Srivastava, D. K. & Singh, N. P. (2018). Utilization of biopesticides as sustainable solutions for management of pests in legume crops: achievements and prospects. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 28(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s41938-017-0004-1>

Portela, V. O., Santana, N. A., Balbinot, M. L., Antonioli, Z. I., de Oliveira Silveira, A. & Jacques, R. J. S. (2022). Phytotoxicity Optimization of Fungal Metabolites Produced by Solid and Submerged Fermentation and its Ecotoxicological Effects. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 194(7), 2980–3000. <https://doi.org/10.1007/s12010-022-03884-x>

Ramesh, M. & Abinaya, S. (2022). Synergistic effect of biosurfactant with bioherbicides and their effectiveness in the management of weeds. In *Applications of Biosurfactant in*

Agriculture (pp. 227–244). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822921-7.00005-2>

Reichert Júnior, F. W., Scariot, M. A., Forte, C. T., Pandolfi, L., Dil, J. M., Weirich, S., Carezia, C., Mulinari, J., Mazutti, M. A., Fongaro, G., Galon, L., Treichel, H. & Mossi, A. J. (2019). New perspectives for weeds control using autochthonous fungi with selective bioherbicide potential. *Heliyon*, 5(5), e01676. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01676>

Sala, A., Vittone, S., Barrena, R., Sánchez, A. & Artola, A. (2021). Scanning agro-industrial wastes as substrates for fungal biopesticide production: Use of *Beauveria bassiana* and *Trichoderma harzianum* in solid-state fermentation. *Journal of Environmental Management*, 295, 113113. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113113>

Saldaña-Mendoza, S. A., Pacios-Michelena, S., Palacios-Ponce, A. S., Chávez-González, M. L. & Aguilar, C. N. (2023). *Trichoderma* as a biological control agent: mechanisms of action, benefits for crops and development of formulations. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39(10), 269. <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03695-0>

Sardana, V., Mahajan, G., Jabran, K. & Chauhan, B. S. (2017). Role of competition in managing weeds: An introduction to the special issue. *Crop Protection*, 95, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.09.011>

Singhania, R. R., Patel, A. K., Soccol, C. R. & Pandey, A. (2009). Recent advances in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 44(1), 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2008.10.019>

Soltys, D., Krasuska, U., Bogatek, R. & Gniazdowski, A. (2013). Allelochemicals as Bioherbicides — Present and Perspectives. In *Herbicides - Current Research and Case Studies in Use*. InTech. <https://doi.org/10.5772/56185>

Stefanski, F. S., Camargo, A. F., Scapini, T., Bonatto, C., Venturin, B., Weirich, S. N., Ulkovski, C., Carezia, C., Ulrich, A., Michelon, W., Soares, H. M., Mathiensen, A., Fongaro, G., Mossi, A. J. & Treichel, H. (2020). Potential Use of Biological Herbicides in a Circular Economy Context: A Sustainable Approach. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.521102>

Ulrich, A., Lerin, L. A., Camargo, A. F., Scapini, T., Diering, N. L., Bonafin, F., Gasparetto, I. G., Confortin, T. C., Sansonovicz, P. F., Fabian, R. L., Reichert Júnior, F. W., Treichel, H., Müller, C. & Mossi, A. J. (2021). Alternative bioherbicide based on *Trichoderma koningiopsis*: Enzymatic characterization and its effect on cucumber plants and soil organism. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 36, 102127. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102127>

Yan, Z., Xiong, C., Liu, H. & Singh, B. K. (2022). Sustainable agricultural practices contribute significantly to One Health. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, 1(3), 165–176. <https://doi.org/10.1002/sae2.12019>

Zagonel, J., Venâncio, W. S. & Kunz, R. P. (2000). Efeitos de métodos e épocas de controle das plantas daninhas na cultura do milho. *Planta Daninha*, 18(1), 143–150. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582000000100014>