

Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 14 (9)

September 2021

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/14920211364>

Article link: <https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/view/1364>



Biotecnologia ambiental como ferramenta de gestão ambiental – Breve revisão

Environmental biotechnology as an environmental management tool - Brief review

Corresponding author

Tamiris de Oliveira Diniz

Centro Universitário Cesumar - UniCesumar

tamirisdbiologa@gmail.com

Mateus Xavier de Lima

Centro Universitário Cesumar - UniCesumar

Resumo. A degradação ambiental ocorre quando o ecossistema perde sua capacidade natural de recuperação. Diversas atividades humanas geram contaminantes em quantidades e toxicidade que, frequentemente, excedem essa capacidade. Portanto, o estudo e o monitoramento regular do meio ambiente são cada vez mais urgentes. Por influências das novas exigências mundiais, as empresas têm se comprometido com o estabelecimento de metas ambientais, adotando procedimentos para reparar e mitigar os impactos gerados nos seus processos. Assim, este estudo objetiva identificar práticas da biotecnologia ambiental que podem ser empregadas como ferramentas da gestão ambiental, além de apontar sua importância na busca pelo desenvolvimento sustentável.

Palavras-chaves Bioindicação, biorremediação, biotransformação

Abstract. Environmental degradation occurs when the ecosystem loses its natural recovery capacity. Several human activities produce contaminants in quantities and toxicity that often exceed this capacity. Therefore, regular study and monitoring of the environment are critical. Due to the influences of the new global requirements, companies have been committed to setting environmental goals, adopting procedures to repair and mitigate the impacts generated in their processes. Thus, this study aims to identify environmental biotechnology practices used as environmental management tools, besides pointing out its importance in the search for sustainable development.

Keywords: Bioindication, bioremediation, biotransformation

Introdução

As atividades antrópicas sempre ocasionaram impactos no meio ambiente, entretanto, nos últimos anos eles têm aumentado significativamente, e muitas vezes, excedem a capacidade do ambiente de se recuperar. Com o passar do tempo, a sociedade passa a refletir sobre o modo de vida e percebe sua incompatibilidade com o desejo de um ambiente equilibrado. Nesse contexto, surgem as reflexões com relação a alternativas que possibilitem ações preventivas e paliativas, e que garantam a sustentabilidade.

Como forma de atingir maior qualidade ambiental, torna-se fundamental o envolvimento do governo por meio de políticas de conscientização dos indivíduos e, especialmente, das empresas, com relação às questões ambientais e práticas ambientalmente corretas. Além disso, as empresas têm papel relevante na preservação ambiental, uma vez que são as principais responsáveis pela exploração de matérias-primas, atividade que gera diversas modificações na natureza.

Surge então a biotecnologia ambiental como uma ferramenta estratégica para a gestão ambiental e alternativa para enfrentar os desafios relacionados

com a degradação do ecossistema, podendo atuar em três momentos distintos, através da prevenção, do monitoramento e da restauração do meio.

Assim, a presente revisão bibliográfica teve como objetivo apresentar as principais técnicas de biotecnologia ambiental e suas aplicações como dispositivos de gestão para o meio ambiente.

Biotecnologia e Gestão

As atividades antrópicas geram contaminantes em quantidades e toxicidade que, frequentemente, excedem a capacidade do ambiente de se recuperar (Diniz, Pereira & Sinópolis-Gigliolli, 2020). As consequências destas atividades podem ser observadas em paisagens agrícolas e naturais, nas quais, a alteração das condições abióticas podem impactar negativamente a vida microbológica, animal e vegetal, bem como, a saúde humana, a segurança alimentar e a biodiversidade (Zhang, Li & Zhu, 2018). Além disso, no meio urbano, o crescimento populacional em conjunto com o desenvolvimento de novas tecnologias e produtos, gera diversos tipos de resíduos em larga escala, os quais, quando ordenados de forma inadequada, são prejudiciais ao meio ambiente (Macedo & Tavares, 2010).

As questões ambientais vêm ganhando força devido à conscientização ambiental da própria sociedade que tem percebido que ao destruir a natureza está destruindo a si e comprometendo a sobrevivência das futuras gerações. A adoção de um estilo de vida que respeite os limites naturais, a mudança de valores, de comportamento e atitude ocasionou o surgimento de cidadãos conscientes e ecologicamente corretos (Zanatta, 2017). Nesse contexto, a biotecnologia ambiental tem ganhado destaque devido ao seu grande potencial em auxiliar na prevenção, detecção e remediação da poluição ambiental e a degradação de resíduos, que possibilita a proteção ambiental integrada e associada ao desenvolvimento sustentável (Singh, 2017; Florêncio et al., 2019).

A biotecnologia ambiental pode ser entendida como o ramo da biologia que trata do uso e da aplicação de diferentes técnicas biológicas para a prevenção e/ou a resolução de problemas de contaminação ambiental (Ivanov & Hung, 2010; Florêncio et al., 2019). No contexto da gestão ambiental, a biotecnologia ambiental pode fornecer conhecimentos e ferramentas importantes, auxiliando a base de recursos dos quais dependem as atividades econômicas e sociais, podendo contribuir para o desenvolvimento de bioferramentas de alerta precoce para avaliar o estado de saúde do ecossistema; o tratamento de águas residuais; na obtenção de novos agentes de biorremediação para o controle de vazamento de óleos; para o monitoramento integrativo de poluentes, microplásticos, patógenos e biotoxinas; (Kalogerakis et al., 2015); colaborar para o entendimento das mudanças climáticas, reduzindo sua complexidade, para facilitar a gestão e conservação ambiental (Heink & Kowarik, 2010); na construção de

declarações de impacto ecológico, que culmina na catalogação de mapas de saúde ambiental (Celli & Maccagnani, 2003); dentre outras formas.

As questões ambientais aliadas à biotecnologia ambiental tornam-se elementos consideráveis nas estratégias de gestão ambiental. Em se tratando de empresas, elas podem representar novas oportunidades e vantagens competitivas para aquelas que adotam este sistema. Apesar dos resultados só se mostrarem a longo prazo, motivos como a pressão no mercado, requisitos legais, responsabilidade ecológica, melhoria da imagem institucional, qualidade de vida, maior credibilidade e redução em processos, encorajam as empresas a realizar a preservação dos recursos naturais (Zanatta, 2017).

Bioindicação

A bioindicação vem se tornando uma técnica muito importante no controle ambiental e consiste na utilização de organismos vivos, animais e/ou vegetais, para estimar o nível de poluição e seu impacto no meio ambiente. A seleção e utilização dos bioindicadores apropriados, depende de qual parte do ambiente deverá ser monitorada (Barganska, Slebioda, & Namiesnik, 2015). Além disso, a capacidade de acumulação e/ou seleção de compostos específicos, a ocorrência em grandes populações, a presença em vários habitats, a facilidade de identificação, a amostragem representativa e a facilidade para realização de análises químicas, são fatores a serem considerados no momento da escolha do bioindicador que será utilizado (Roman, 2010; Skorbilowicz, Skorbilowicz & Ciesluk, 2018).

Dentre os insetos com potencial aplicação no monitoramento ambiental, as principais espécies pertencem às ordens Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera e Orthoptera (Brown, 1997; Oliveira et al., 2014). Como exemplo de avaliação realizada por meio do biomonitoramento através de insetos tem-se os estudos que utilizam abelhas para determinar a contaminação por metais pesados tanto no campo (Barganska, Slebioda, & Namiesnik, 2015) quanto no meio urbano (Giglio et al., 2017). Também é possível inferir sobre os efeitos dos agrotóxicos sobre a saúde destes insetos (Diniz et al., 2020; Diniz et al., 2020; Pereira, Diniz & Ruvolo-Takasusuki, 2021) e, conseqüentemente, sobre a saúde humana. Além das abelhas, estudos relatam a utilização de besouros (Otavo, Parrado-Rosselli & Noriega, 2013), formigas (Alonso, 2000) e moscas (Triplehorn & Johnson, 2011).

Também é possível utilizar macroinvertebrados bentônicos, peixes e a comunidade perifítica para a avaliação de impactos ambientais em ecossistemas aquáticos (Barbour et al., 1999; Goulart & Callisto, 2003). As comunidades biológicas que habitam os ecossistemas aquáticos são formadas por organismos com adaptações evolutivas a determinadas condições ambientais e apresentam limites de tolerância a diferentes

alterações das mesmas (Alba-Tercedor, 1996). Desta forma, o monitoramento biológico constitui-se como ferramenta na avaliação das respostas destas comunidades biológicas às modificações nas condições ambientais originais (Goulart & Callisto, 2003).

Com relação à utilização de espécies vegetais no biomonitoramento, plantas baixas ou altas podem atuar como bioindicadores, biomonitores e bioacumuladores (Souza, Morassuti & Deus, 2018). A *Tradescantia pallida* é um exemplo vegetal que pode ser empregado para estudos sobre a degradação da qualidade do ar, funcionando como uma espécie bioindicadora e capaz de monitorar a poluição atmosférica, sendo uma ferramenta importante para a realização de trabalhos periciais para a constatação do delito ambiental, principalmente nos casos envolvendo poluição atmosférica (Longhi, 2020). Outro exemplo são os musgos, que são espécies amplamente aplicados na investigação da contaminação por metais na atmosfera, pois possibilitam a fiscalização simultânea de um grande número de contaminantes (Aboal, et al., 2012; Sun, et al., 2011; Souza, Morassuti & Deus, 2018).

Dessa forma, constata-se que a bioindicação é um registro sensível e atraente, que depende do tempo e das alterações ambientais ocasionadas por fatores antropogênicos. Assim, a presença de populações bioindicadoras ou de estruturas populacionais em determinados locais refletem a saúde do meio ambiente e pode ser considerada altamente informativa (Davodpour et al., 2019).

Biorremediação

A biorremediação é um ramo em expansão da biotecnologia ambiental (Gadd, 2001) e faz uso de agentes biológicos para reduzir o impacto de áreas contaminadas por produtos químicos (Santos et al., 2018). Emprega técnicas capazes de degradar, mobilizar, mineralizar, transformar ou remover agentes contaminantes. Estes métodos podem ser aplicados *in situ*, com realização do tratamento da contaminação no local, ou *ex situ*, por meio da retirada do material contaminado para tratamento em outro local. A escolha do melhor método para biorremediação deve estar focada na natureza do agente poluente, o tipo de ambiente contaminado, a localização e o nível de contaminação (Azubuike, Chikere, & Okpokwasili, 2016).

O processo metabólico microbiano pode ser considerado eficaz na biorremediação. Este processo utiliza fungos e bactérias, microorganismos capazes de reciclar a maior parte dos compostos encontrados na biosfera, atuam nos principais ciclos biogeoquímicos e dão suporte aos processos de manutenção da vida na Terra (Gaylarde, Bellinaso & Manfio, 2005; Santos et al., 2018). Os processos microbianos de remediação são classificados em biodegradação,

biotransformação e bioacumulação (Melo & Azevedo, 2008).

Os fungos ectomicorrízicos são promissores na degradação de poluentes em solos contaminados e sua inoculação de fungos também está relacionada ao uso de substratos com esporos e frutificação (Faria et al., 2017). Como resultado, as micorrizas expandem a capacidade de exploração do solo pelo sistema radicular das plantas, o que proporciona uma maior eficiência na absorção de elementos químicos pelas raízes, como o zinco e o cobre (Trindade et al., 2001; Faria et al., 2017), além de melhorar a eficiência na absorção de alguns nutrientes (Silva, Antoniolli & Andreatza, 2003).

Outro organismo utilizado na biorremediação são as microalgas que tem se mostrado uma estratégia atraente, uma vez que esses microrganismos apresentam biodiversidade abundante, o que possibilita sua aplicação em diversas condições (Dias et al., 2019) como na biorremediação de águas naturais e residuais (Pimenta, 2012), águas residuárias domésticas (Nayak, Karemore & Sen, 2016), remoção de metais pesados e de nutrientes presentes em soluções sintéticas (Santos et al., 2018) e biorremediação de efluente piscícola (Dias et al., 2019).

Quando comparados aos métodos químicos e físicos de remediação, os processos de biorremediação apresentam menor custo e uso de recursos ecologicamente corretos (Azubuike, Chikere, & Okpokwasili, 2016).

Biotransformação

As reações de biotransformação são ferramentas da biotecnologia ambiental amplamente utilizadas em síntese orgânica. Esta técnica faz uso de enzimas purificadas ou células íntegras, como células microbianas livres ou imobilizadas, e destaca-se como uma tecnologia auxiliar da indústria química, viabilizando em alguns casos, reações que não são facilmente dirigidas pela química orgânica clássica ou, em outros casos, incrementando reações que podem substituir etapas químicas rigorosas (Vasic-Racki, 2006; Hernáiz et al., 2010; Cortez, Castro & Andrade, 2017). Ainda apresentam outros benefícios como versatilidade reacional, especificidade, redução no número de etapas no processo e alto rendimento (Perkins et al., 2015).

Os microrganismos são exemplos de organismos vivos utilizados nos processos de biotransformação. Seu emprego está intimamente ligado às características que eles apresentam como elevada regio-, enantio- e estereoseletividade, condições reacionais leves, aplicabilidade a diferentes substratos, são ecologicamente corretos e possuem baixo custo. Tais características os tornam alternativa biotecnológica para a obtenção de novos complexos ativos, especialmente em situações em que as alterações estruturais desejadas não podem ser realizadas por meio dos métodos sintéticos clássicos (Takahashi et al.,

2017). Exemplo clássico de biotransformação realizada por microrganismos ocorreu quando Louis Pasteur realizou mistura racêmica de ácido tartárico utilizando *Penicillium glaucum*. O fungo degradou somente o enantiômero D (-) ácido tartárico, deixando o outro intacto L (+) ácido tartárico, o que beneficiou o processo de fermentação alcoólica das bebidas (Turner, 1998).

As enzimas também são utilizadas nos processos de transformação. São consideradas catalisadores muito eficazes, responsáveis por milhares de reações químicas coordenadas, estando relacionadas aos processos biológicos dos sistemas vivos e podem atuar in vitro (Kaushik, Biswas, & Singh, 2014; Cortez, Castro & Andrade, 2017). Os processos enzimáticos apresentam vantagens como o aumento da velocidade das reações, além de serem completamente degradáveis, podendo realizar a transformação de uma grande variedade de substâncias naturais ou não, em ambiente aquoso ou orgânico (Faber, 2011). As lipases são exemplo de enzimas catalisadoras de bioprocessos que apresentem aplicação em diversos setores como a indústria alimentícia, farmacêutica, de química fina, oleoquímica, energia e na formulação de detergentes, dentre outros (Cortez, Castro & Andrade, 2017).

Conclusão

A utilização de tecnologias que empregam organismos vivos (animais e vegetais) tem se destacado ao longo dos anos como ferramenta inovadora, pouco dispendiosa e ecologicamente correta. Dessa forma, a biotecnologia ambiental se apresenta aos gestores ambientais como possibilidade eficiente para reverter os problemas ocasionados pela ação antrópica e os processos produtivos. Além disso, o emprego das técnicas relacionadas com a biotecnologia ambiental é importante para propagar tratamentos alternativos de regeneração ambiental com baixo custo energético.

Como ferramenta de gestão ambiental e de sustentabilidade, estas técnicas constituem alternativa a ser empregada pelas empresas e pela indústria em geral, como forma de melhorar sua imagem e relação com a sociedade, além de diminuir a poluição que causam no meio ambiente, atingindo também as esferas social e econômica.

Referências

Aboal, A. J. R., Carballeira, A., Giordano, S., Adamo, P., & Fernández, J. A. (2012). Moss bag biomonitoring: a methodological review. *Science of the Total Environment*, 432(8), 143-158.

Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía, 2(1), 203-213.

Alonso, L. E. (2000). Ants as indicators of diversity. In: Agosti, D., Majer, J., Alonso, E., & Schultz, T. R.

(Eds.) *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Washington, Smithsonian Institution Press. 280p.

Azubuike, C. C., Chikere, C. B., & Okpokwasili, G. C. (2016). Bioremediation techniques-classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 32(11), 1-8.

Barbour, M. T.; Gerritsen, J., Snyder, B. D., & Stribling, J. B. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*. (2a ed.). Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C..

Barganska, Z., Slebioda, M., & Namiesnik, J. (2015). Honey bees and their products – bioindicators of environmental contamination. *Environmental Science and Technology*, 46(3), 235-248.

Brown, K. S. (1997). Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring. *Journal of Insect Conservation*, 1(3), 25-42.

Celli, G., & Maccagnani, B. (2003) Honey bees as bioindicators of environmental pollution. *Bulletin of Insectology*, 56(1), 137-139.

Cortez, D. V., Castro, H. F., & Andrade, G. S. S. (2017). Potencial catalítico de lipases ligadas ao micélio de fungos filamentosos em processos de biotransformação. *Química Nova*, 40(1), 85-96.

Davodpour, R., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M., Abdi, N., & Lorestani, B. (2019). Honeybees (*Apis mellifera* L.) Honeybees (*Apis mellifera* L.) as a Potential Bioindicator for Detection of Toxic and Essential Elements in the Environment (Case Study: Markazi Province, Iran). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 77(12), 1-15.

Dias, G., Hipólito, M., Santos, F., Lourega, R., Mattia, J., Eichler, P., & Alves, J. (2019). Biorremediação de efluentes por meio da aplicação de microalgas – Uma revisão. *Química Nova*, 42(8), 891-899.

Diniz, T. O., Pereira, N. C., Pizzaia, W. C. S., Sinópolis-Gigliolli, A. A., Silva, B. G., Borges, Y. M., Guedes, T. A., & Ruvolo-Takasusuki, M. C. C. (2020). Toxicity and genetic analysis of bees *Scaptotrigona bipunctata* after contamination with insecticide acephate. *Scientific Electronic Archives*, 13(8), 7-17.

Diniz, T. O., Pereira, N. C., Silva, B.G., Pizzaia, W. C. S., Oliveira, F. G. M., Sinópolis-Gigliolli, A. A., & Ruvolo-Takasusuki, M. C. C. (2020). Toxicity and effects of combined agrochemical in *Scaptotrigona*

- bipunctata bees. *Scientific Electronic Archives*, 13(12), 41-53.
- Diniz, T. O., Pereira, N. C., & Sinópolis-Gigliolli, A. A. (2020). Abelhas como bioindicadores ambientais. In: Oliveira-Júnior, J. M. B., Calvão, L. B. (Org.). (Org.). *A Interface do Conhecimento sobre Abelhas 2*. 1ed. Ponta Grossa: Atena.
- Faber, K. (2011). *Biotransformation in Organic Chemistry*. (6a ed.). Springer-Verlag: Heidelberg. 423p.
- Faria, A. B. C., Monteiro, P. H. R., Auer, C. G., & Ângelo, A. C. (2017). Uso de ectomicorrizas na biorremediação florestal. *Ciência Florestal*, 27(1), 21-29.
- Florêncio, M. N. S., Abud, A. K. S., Costa, B. M. G., & Oliveira-Júnior, A. M. (2019). Um panorama da produção tecnológica sobre biotecnologia ambiental no Brasil. *Anais do X Simpósio Internacional de Inovação Tecnológica*, 10(1), 846-853.
- Gadd, G. M. (2001). *Fungi in Bioremediation*. Cambridge: Cambridge University Press. p. 445-455.
- Gaylarde, C. C., Bellinaso, M. L., & Manfio, G. P. (2005). Biorremediação: aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos. *Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento*, 34(1), 36-43.
- Giglio, A., Ammendola, A., Battistella, S., Naccarato, A., Pallavicini, A., Simeon, E., Tagarelli, A., & Giulianini, P. G. (2017). *Apis mellifera ligustica*, Spinola 1806 as bioindicator for detecting environmental contamination: a preliminar study of heavy metal pollution in Trieste, Italy. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(1), 659-665.
- Goulart, M. D. C., & Callisto, M. (2003). Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *Revista da FAPAM*, 2(1), 1-9.
- Heink, U., & Kowarik, I. (2010). What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*, 10(3), 584-593, 2010.
- Hernáiz, M. J., Alcántara, A. R., García, J. I., & Sinisterra, J. V. (2010). Applied biotransformations in green solvents. *Chemistry – A European Journal*, 16(31), 9422-9437.
- Ivanov, V., & Hung, Y. T. (2010). Applications of Environmental Biotechnology. In: Wang, L. K., Ivanov, V., Tay, J. H., & Hung, T.T. *Environmental Biotechnology*. New York: Springer Science & Business Media. p. 1-17.
- Kalogerakis, N., Arff, J., Banat, I. M., Broch, O. J., Daffonchio, D., Edvardsen, T., Eguiraun, H., Giuliano, L., Handa, A., López-de-Ipiña, K., Marigomez, I., Martinez, I, Øie, G., Rojo, F., Skjermo, J., Zanaroli, G., & Fava, F. (2015). The role of environmental biotechnology in exploring, exploiting, monitoring, preserving, protecting and decontaminating the marine environment. *New Biotechnology*, 32(1), 157-167.
- Kaushik, N., Biswas, S., & Singh, J. (2014). Bioreactors – Technology & Design Analysis. *The Scitech Journal*, 6(2), 28-36.
- Longhi, K. (2020). O Uso de *Tradescantia pallida* como um Bioindicador da Poluição Atmosférica em Perícia Ambiental – uma Proposta. *Brazilian Journal of Forensic Sciences, Medical Law and Bioethics*, 9(4), 534-550.
- Macedo, C. F., & Tavares, L. H. (2010). Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. *Boletim do instituto de Pesca*, 36(2), 149-163.
- Melo, I. S., & Azevedo, J. L. (2008). *Microbiologia ambiental*. (2a ed.). Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 647p.
- Nayak, M., Karemore, A., & Sen, R. (2016). Performance evaluation of microalgae for concomitant wastewater bioremediation, CO2 biofixation and lipid biosynthesis for biodiesel application. *Algal Research*, 16(6), 216-233.
- Oliveira, M. A., Gomes, C. F. F., Pires, E. M., Marinho, C. G. S., & Della-Lucia, T. M. C. (2014). Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação. *Ceres*, 61(6), 800-807.
- Otavo, S. E., Parrado-Rosselli, A., & Noriega, J. A. (2013). Superfamilia Scarabaeoidea (Insecta: Coleoptera) como elemento bioindicador de perturbación antropogénica en un parque nacional amazónico. *Revista de Biología Tropical*, 61(2), 735-752.
- Pereira, N. C., Diniz, T. O., & Ruvolo-Takasusuki, M. C. C. (2021). Toxicity and genetic analysis of *Scaptotrigona bipunctata* Lepeletier, 1836 contaminated with the pyrethroid cypermethrin. *Scientific Electronic Archives*, 14(1), 59-66.
- Perkins, C., Siddiqui, S., Puri, M., & Demain, A. L. (2015). Biotechnological applications of microbial bioconversions. *Critical Reviews in Biotechnology*, 36(6), 1050-1065.
- Pimenta, S. F. P. (2012). Comparação entre a biorremediação de água natural e água residual utilizando *Chlorella vulgaris*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Portugal.

- Roman, A. (2010). Level of copper, selenium, lead, and cadmium in forager bees. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19(3), 663-669.
- Santos, S. C., Castro, D. C. M., Assunção, P. S., Santos, T. L., & Quintella, C.M. (2018). Mapeamento Tecnológico de Processos Microbianos Aplicados na Biorremediação de Metais Pesados. *Cadernos de Prospecção*, 11(5), 1740-1751.
- Silva, R. F., Antonioli, Z. I., & Andrezza, R. (2003). Efeito da inoculação com fungos ectomicorrízicos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maidem em solo arenoso. *Ciência Florestal*, 13(1), 33-42.
- Singh, R. L. (2017). Introduction to Environmental Biotechnology. In: Singh, R. L. (Ed.). *Principles and Applications of Environmental Biotechnology for a Sustainable Future*. Singapore: Springer. p. 1-12.
- Skorbiłowicz, E., Skorbiłowicz, M., & Ciesluk, I. (2018). Bees as Bioindicators of Environmental Pollution with Metals in an Urban Area. *Journal of Ecological Engineering*, 19(3), 229-234.
- Souza, A. K. R., Morassuti, C. Y., & Deus, W. B. (2018). Poluição do ambiente por metais pesados e utilização de vegetais como bioindicadores. *Acta Biomedica Brasiliensia*, 9(3), 95-106.
- Sun, S. Q., Wang, G. X., He, M., & Cao, T. (2011). Effects of Pb and Ni stress on oxidative stress parameters in three moss species. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(6), 1630-1635.
- Takahashi, J. A., Lima, G. S., Santos, G. F., Lyra, F. H., Silva-Hughes, A. F., & Gonçalves, F. A. G. (2017). Fungos Filamentosos e Química: Velhos Conhecidos, Novos Aliados. *Revista Virtual Química*, 9(6), 2351-2382.
- Trindade, A. V., Pereira, J. M., Muchovej, R. M. C., & Neves, J. C. L. (2001). Efeito de fungos ectomicorrízicos na resposta de mudas de *Eucalyptus grandis* a enxofre no solo. *Revista Árvore*, 25(2), 175-181.
- Triplehorn, C. A., & Johnson, N. F. (2011). *Estudo dos Insetos*. (7a ed.). São Paulo, Cengage Learning. 816p.
- Turner, M. K. (1998) Perspectives in Biotransformations. In: Rehm, H. J., & Reed, G. (Eds). *Biotechnology*. (1a ed.). Wiley-Verlag: Weinheim. p. 9.
- Vasic-Racki, D. (2006). History of Industrial Biotransformations – Dreams and Realities. In: *Industrial Biotransformations*. Liese, A., Seelbach, K., Wandrey, C. (Org). Wiley-VCH: Weinheim. p. 1-36.
- Zanatta, P. (2017). Gestão Ambiental e o Desenvolvimento Sustentável. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, 6(3), 296-312.
- Zhang, H., Li, Y., & Zhu, J. K. (2018). Developing naturally stress-resistant crops for a sustainable agriculture. *Nature Plants*, 4(12), 989-996.