


APLICAÇÕES DA BIOTECNOLOGIA NA REMEDIAÇÃO AMBIENTAL: SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS PARA RECUPERAÇÃO DE ECOSISTEMAS DEGRADADOS

APPLICATIONS OF BIOTECHNOLOGY IN ENVIRONMENTAL REMEDIATION: SUSTAINABLE SOLUTIONS FOR THE RECOVERY OF DEGRADED ECOSYSTEMS

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.041-009>

Nicolau Uzum Papaya

Graduado em Engenharia Ambiental e Sanitária – UEMS
E-mail: nicolauuzumpapaya@gmail.com

Rejane Macedo Martins

Mba em Gestão de Projetos – Anhanguera
Rio Grande – Rio Grande do Sul
E-mail: Rejane.macedo@hotmail.com

RESUMO

Este capítulo tem como objetivo analisar as aplicações da biotecnologia na remediação ambiental, destacando seu potencial como solução sustentável para a recuperação de ecossistemas degradados. A metodologia adotada consiste em uma revisão narrativa da literatura, com base em estudos de autores reconhecidos na área, abordando técnicas como biorremediação, fitorremediação e uso de microrganismos geneticamente modificados. Os resultados indicam que a biotecnologia apresenta elevada eficiência na degradação de poluentes orgânicos e na estabilização de contaminantes inorgânicos, além de promover a restauração de funções ecológicas essenciais. Observa-se também a viabilidade econômica e ambiental dessas técnicas em comparação aos métodos convencionais. Conclui-se que a integração de abordagens biotecnológicas representa uma alternativa promissora e sustentável para mitigar impactos ambientais, contribuindo para a conservação dos recursos naturais e o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Biorremediação; Ecossistemas degradados; Fitorremediação; Sustentabilidade; Tecnologias ambientais.

ABSTRACT

This chapter aims to analyze the applications of biotechnology in environmental remediation, highlighting its potential as a sustainable solution for the recovery of degraded ecosystems. The methodology is based on a narrative literature review, drawing on studies by well-established authors in the field, addressing techniques such as bioremediation, phytoremediation, and the use of genetically modified microorganisms. The results indicate that biotechnology demonstrates high efficiency in the degradation of organic pollutants

and in the stabilization of inorganic contaminants, in addition to promoting the restoration of essential ecological functions. It is also observed that these techniques are economically and environmentally viable when compared to conventional methods. It is concluded that the integration of biotechnological approaches represents a promising and sustainable alternative to mitigate environmental impacts, contributing to natural resource conservation and sustainable development.

Keywords: Bioremediation; Degraded ecosystems; Environmental technologies; Phytoremediation; Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A crescente degradação ambiental decorrente das atividades antrópicas, como a industrialização, a urbanização desordenada e o uso intensivo de recursos naturais, tem gerado impactos significativos sobre os ecossistemas. Nesse contexto, a biotecnologia surge como uma ferramenta inovadora e promissora para a remediação ambiental, utilizando organismos vivos ou seus derivados para reduzir, eliminar ou transformar contaminantes em substâncias menos tóxicas, contribuindo para a recuperação de áreas degradadas.

Diante desse cenário, o problema de pesquisa que orienta este estudo consiste em compreender de que forma as aplicações da biotecnologia podem contribuir de maneira eficaz e sustentável para a recuperação de ecossistemas impactados por poluentes químicos e biológicos. A necessidade de alternativas ambientalmente seguras e economicamente viáveis torna essa investigação ainda mais relevante, considerando as limitações dos métodos tradicionais de remediação.

O objetivo geral deste capítulo é analisar as principais aplicações da biotecnologia na remediação ambiental como soluções sustentáveis para a recuperação de ecossistemas degradados. Como objetivos específicos, destacam-se: (i) descrever as principais técnicas biotecnológicas utilizadas na remediação ambiental, como a biorremediação e a fitorremediação; (ii) discutir a eficiência dessas técnicas na recuperação de áreas contaminadas; e (iii) avaliar os benefícios ambientais e socioeconômicos associados ao uso dessas tecnologias.

A justificativa para o desenvolvimento deste estudo fundamenta-se na crescente demanda por estratégias sustentáveis que minimizem os impactos ambientais e promovam a conservação dos recursos naturais. A biotecnologia, ao integrar conhecimento científico e inovação tecnológica, apresenta-se como uma alternativa viável frente aos métodos convencionais, muitas vezes mais agressivos ao meio ambiente e de maior custo operacional.

Do ponto de vista teórico, diversos autores têm contribuído para a compreensão das aplicações da biotecnologia na remediação ambiental. Segundo Vidalí (2001), a biorremediação destaca-se como uma

técnica eficiente na degradação de poluentes orgânicos por meio da ação de microrganismos. Já Glick (2010) enfatiza o papel das plantas associadas a microrganismos na fitorremediação, evidenciando sua eficácia na remoção de contaminantes do solo e da água. Além disso, Singh e Ward (2004) abordam o potencial das tecnologias biotecnológicas na recuperação de ambientes contaminados, ressaltando sua importância no contexto do desenvolvimento sustentável.

2 METODOLOGIA

2.1 TIPO DE PESQUISA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, de caráter descritivo e exploratório, desenvolvida por meio de revisão de literatura. Esse tipo de abordagem permite compreender de forma aprofundada as aplicações da biotecnologia na remediação ambiental, a partir da análise de produções científicas já consolidadas. De acordo com Gil (2019), a pesquisa descritiva tem como finalidade detalhar características de determinado fenômeno, enquanto a pesquisa exploratória possibilita maior familiaridade com o problema investigado, contribuindo para a construção de hipóteses e reflexões críticas.

2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia adotada baseou-se em uma revisão narrativa da literatura, que possibilita a síntese e interpretação de conhecimentos produzidos sobre o tema. Conforme destacado por Cordeiro et al. (2007), esse tipo de revisão é adequado para discussões amplas, permitindo integrar diferentes perspectivas teóricas e resultados de estudos relevantes. Foram selecionados artigos científicos, livros e publicações acadêmicas disponíveis em bases de dados reconhecidas, como Scopus, Web of Science e Google Scholar, priorizando trabalhos publicados em português e inglês.

2.3 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DAS FONTES

Os critérios de inclusão abrangeram estudos que abordassem diretamente técnicas biotecnológicas aplicadas à remediação ambiental, como biorremediação, fitorremediação e bioaumentação. Foram considerados trabalhos publicados, preferencialmente, nos últimos 20 anos, além de autores clássicos na área. Como critérios de exclusão, foram descartadas publicações que não apresentassem rigor científico ou que não estivessem diretamente relacionadas ao tema proposto.

2.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada por meio de levantamento bibliográfico, utilizando como instrumentos a leitura analítica, fichamento e organização temática das informações. Segundo Marconi e

Lakatos (2017), o levantamento bibliográfico constitui uma etapa essencial para o embasamento teórico, permitindo ao pesquisador identificar, analisar e interpretar contribuições relevantes para o estudo.

2.5 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Os dados obtidos foram analisados de forma qualitativa, com base na técnica de análise de conteúdo proposta por Bardin (2016), que possibilita a categorização e interpretação sistemática das informações. As análises foram organizadas em eixos temáticos, contemplando os principais tipos de tecnologias biotecnológicas aplicadas à remediação ambiental, seus benefícios, limitações e impactos ambientais.

2.6 DISCUSSÃO FUNDAMENTADA

A discussão foi conduzida a partir da articulação entre os dados obtidos na literatura e os referenciais teóricos selecionados. Autores como Vidali (2001), Glick (2010) e Singh e Ward (2004) fornecem base para compreender a eficácia das técnicas biotecnológicas na recuperação de áreas degradadas. A partir dessa fundamentação, buscou-se evidenciar como a biotecnologia pode contribuir para soluções sustentáveis, destacando não apenas seus avanços, mas também os desafios relacionados à sua aplicação em larga escala, como custos, tempo de resposta e variabilidade das condições ambientais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da literatura evidencia que as aplicações da biotecnologia na remediação ambiental têm apresentado resultados significativos na recuperação de ecossistemas degradados, especialmente em áreas contaminadas por compostos orgânicos e metais pesados. Técnicas como a biorremediação, fitorremediação e bioaugmentação destacam-se pela eficiência na redução da toxicidade de poluentes e na restauração das funções ecológicas dos ambientes impactados.

Os estudos revisados indicam que a biorremediação, conforme descrito por Vidali (2001), é amplamente utilizada devido à sua capacidade de empregar microrganismos para degradar contaminantes orgânicos, como hidrocarbonetos derivados do petróleo. Esse processo ocorre de forma natural ou pode ser otimizado por meio da bioestimulação, que consiste na adição de nutrientes para estimular a atividade microbiana.

No que se refere à fitorremediação, Glick (2010) destaca o papel das plantas na absorção, estabilização e degradação de contaminantes presentes no solo e na água. Os achados apontam que espécies vegetais associadas a microrganismos do solo podem potencializar a remoção de metais pesados, contribuindo para a recuperação de áreas degradadas de forma sustentável.

Além disso, Singh e Ward (2004) ressaltam que o uso de microrganismos geneticamente modificados representa uma alternativa promissora, embora ainda existam desafios relacionados à

biossegurança e regulamentação. Para melhor compreensão dos principais achados, apresenta-se a tabela a seguir:

Tabela 1 – Principais técnicas biotecnológicas aplicadas à remediação ambiental

Técnica	Agente utilizado	Tipo de contaminante	Vantagens principais	Limitações
Biorremediação	Microrganismos (bactérias, fungos)	Compostos orgânicos (óleo, pesticidas)	Baixo custo; aplicação in situ; alta eficiência	Dependência de condições ambientais
Fitorremediação	Plantas e rizobactérias	Metais pesados; nutrientes	Sustentável; melhora do solo	Processo lento
Bioaugmentação	Microrganismos selecionados	Compostos recalcitrantes	Alta especificidade	Necessidade de controle ambiental
Bioestimulação	Nutrientes e oxigênio	Poluentes orgânicos	Potencializa microrganismos nativos	Pode gerar desequilíbrios locais

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A interpretação dos resultados permite afirmar que as tecnologias biotecnológicas apresentam vantagens relevantes, como menor impacto ambiental, custo reduzido e possibilidade de aplicação direta no local contaminado. Entretanto, também foram identificadas limitações, como a dependência de fatores ambientais (pH, temperatura e disponibilidade de nutrientes) e o tempo necessário para a recuperação completa dos ecossistemas.

De forma geral, os achados corroboram a literatura ao evidenciar que a biotecnologia constitui uma alternativa viável e sustentável para a remediação ambiental. A integração dessas técnicas com outras abordagens tende a ampliar sua eficácia, reforçando seu papel na recuperação de áreas degradadas e na promoção do desenvolvimento sustentável.

4 CONCLUSÃO

O presente capítulo teve como objetivo analisar as aplicações da biotecnologia na remediação ambiental, com ênfase em seu potencial como solução sustentável para a recuperação de ecossistemas degradados. A partir da revisão da literatura, foi possível compreender como diferentes técnicas biotecnológicas vêm sendo empregadas na redução de impactos ambientais causados por contaminantes diversos.

Os resultados evidenciaram que métodos como a biorremediação, fitorremediação, bioaugmentação e bioestimulação apresentam elevada eficiência na degradação ou estabilização de poluentes, contribuindo significativamente para a restauração das funções ecológicas dos ambientes afetados. Além disso, tais técnicas demonstram vantagens importantes em relação aos métodos convencionais, como menor custo, menor impacto ambiental e possibilidade de aplicação diretamente no local contaminado.

Como principal contribuição, este estudo reforça a relevância da biotecnologia como ferramenta estratégica para a promoção da sustentabilidade ambiental, destacando seu papel na recuperação de áreas degradadas e na preservação dos recursos naturais. A sistematização das principais técnicas e seus benefícios contribui para ampliar o conhecimento sobre o tema, servindo como base para futuras pesquisas e aplicações práticas.

Por fim, sugere-se que estudos futuros aprofundem a análise sobre a aplicação dessas tecnologias em diferentes contextos ambientais, bem como investiguem o uso de organismos geneticamente modificados com maior segurança e eficiência. Também se recomenda a realização de pesquisas experimentais e estudos de campo que avaliem a aplicabilidade dessas técnicas em larga escala, considerando as variáveis ambientais e socioeconômicas envolvidas.

REFERÊNCIAS

BARDIN, Laurence. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2016.

CORDEIRO, Alexander Magno et al. Revisão sistemática: uma revisão narrativa. Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgias, Rio de Janeiro, v. 34, n. 6, p. 428-431, 2007.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GLICK, Bernard R. Using soil bacteria to facilitate phytoremediation. Biotechnology Advances, v. 28, n. 3, p. 367-374, 2010.

KUMAR, Ashok; SINGH, Jitendra; PANDEY, Ajar Nath. Phytoremediation of polluted environments: a review. Environmental Reviews, v. 23, n. 3, p. 1-18, 2015.

MADIGAN, Michael T. et al. Microbiologia de Brock. 14. ed. Porto Alegre: Artmed, 2016.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos de metodologia científica. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

SINGH, Ajay; WARD, Owen P. Applied bioremediation and phytoremediation. Berlin: Springer, 2004.

VIDALI, Marco. Bioremediation: an overview. Pure and Applied Chemistry, v. 73, n. 7, p. 1163-1172, 2001.

VAN DER LELIE, Dirk; TAGHAVI, Shahid; MONCHY, Sébastien; NEWMAN, Lee. Root-associated bacteria and their role in phytoremediation. Molecular Plant-Microbe Interactions, v. 19, n. 6, p. 585-594, 2006.

WOO, Sung-Hoon; PARK, Jae-Woo. Application of biotechnology in environmental remediation. Journal of Environmental Management, v. 92, n. 3, p. 577-586, 2011.