

BIORREMEIADORES UTILIZADOS NO BRASIL: UMA REVISÃO SOBRE SUAS APLICAÇÕES E INGREDIENTES ATIVOS

Nathalya Raquel Sampaio e Sampaio¹, Juliana de Faria Lima Santos²

¹ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil,

nathalya.sampaio@discente.ufma.br

² Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, santos.juliana@ufma.br

Resumo: Os impactos ambientais desencadeados pelo avanço da urbanização, falta da universalização do saneamento básico e o crescente consumo de substâncias químicas são notórios, especialmente quando se refere ao descarte inadequado de efluentes e resíduos diversos que podem resultar no desequilíbrio e contaminação dos ecossistemas aquáticos e terrestres. Diante desse cenário, manifesta-se uma crescente necessidade de remediar essa degradação ambiental. A biorremediação surge como uma alternativa eficaz e promissora para o tratamento das áreas contaminadas e recuperação do ambiente. Assim, este estudo procurou preencher a lacuna sobre este tema no Brasil, onde levantou-se os biorremediadores registrados no IBAMA, seus ingredientes ativos e suas principais aplicações. Foram inventariados 38 remediadores biológicos, sendo que um produto pode apresentar de uma a seis bactérias em sua formulação e ainda mais de aplicação. A principal aplicação observada foi nas Estações de Tratamento de Efluentes (ETE). O *Bacillus subtilis*, destaca-se pela sua presença em uma diversidade de produtos e usos, principalmente no tratamento de diversos tipos de tratamento de efluentes, especialmente nas ETE. Este trabalho chama a atenção para a diversidade de produtos registrados e sua alternativa promissora como remediação biológica de ambientes contaminados.

Palavras-chave: Biorremediação. Microrganismos. Remediação de áreas degradadas. Impactos ambientais.

BIOREMEDIATORS USED IN BRAZIL: A REVIEW OF THEIR APPLICATIONS AND ACTIVE INGREDIENTS

Nathalya Raquel Sampaio e Sampaio¹, Juliana de Faria Lima Santos²

¹ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil,

nathalya.sampaio@discente.ufma.br

² Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, santos.juliana@ufma.br

Summary: The environmental impacts triggered by the advance of urbanization, the lack of universal basic sanitation and the growing consumption of chemical substances are notorious, especially when it comes to the improper disposal of effluents and various wastes that can result in the imbalance and contamination of aquatic and terrestrial ecosystems. Given this scenario, there is a growing need to remedy this environmental degradation. Bioremediation has emerged as an effective and promising alternative for treating contaminated areas and restoring the environment. This study sought to fill the gap on this subject in Brazil by surveying the bioremediators registered with IBAMA, their active ingredients and their main applications. A total of 38 biological remediators were inventoried, and a product can contain from one to six bacteria in its formulation and even more applications. The main application observed was in Effluent Treatment Plants (ETP). *Bacillus subtilis* stands out for its presence in a variety of products and uses, especially in the treatment of various types of wastewater, especially in wastewater treatment plants. This work draws attention to the diversity of registered products and their promising alternatives for biological remediation of contaminated environments.

Key words: Bioremediation. Microorganisms. Remediation of degraded areas. Environmental impacts.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os problemas ambientais têm se tornado cada vez mais críticos e frequentes, principalmente devido ao desmedido crescimento populacional e ao aumento da atividade industrial - observados por meio de alterações na qualidade do solo, do ar e da água.

O avanço da urbanização e o crescente consumo de substâncias químicas tem intensificado os impactos ambientais, contribuindo significativamente para o desequilíbrio dos ecossistemas, especialmente no que se refere ao descarte inadequado de resíduos nocivos seja nos solos ou corpos hídricos. Segundo o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (BRASIL, 2009), considera-se contaminação a presença de substâncias químicas no ar, na água ou no solo, decorrente da ação humana, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental, seja para os fins atuais ou para os pretendidos, definidas com base em avaliação de risco à saúde.

Compostos sintéticos como pesticidas, derivados petroquímicos, metais pesados, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, corantes e materiais radioativos são classificados como xenobióticos devido à sua alta persistência e resistência à degradação natural. Originados de atividades humanas, esses poluentes acumulam-se no ambiente e afetam negativamente a saúde de organismos vivos, comprometendo funções biológicas essenciais e ocasionando ameaças ambientais significativas (AL-JAWHARI, 2018).

Assim, inúmeras são as atividades humanas que atraíram novos problemas devido à eliminação de rejeitos tóxicos provenientes de subprodutos gerados pelas indústrias. A eliminação desses produtos é, atualmente, um dos mais importantes assuntos em controle de poluição, o que tem levado os pesquisadores a buscarem novas técnicas e ferramentas mais poderosas que visem à remoção desses compostos do ambiente.

Diante dos problemas apresentados, manifesta-se uma crescente necessidade de remediar essa degradação ambiental. Compreende-se como remediação, por exemplo de uma área degradada, como as ações e tecnologias (físicas, químicas e biológicas) que visam eliminar, neutralizar ou transformar contaminantes presentes no solo, águas superficiais e subterrâneas. Sendo o remediador o produto ou agente de processo físico, químico ou biológico destinado à recuperação de ambientes e ecossistemas contaminados e ao tratamento de efluentes e resíduos (IBAMA, 2022).

No Brasil a recuperação é conceituada na Lei 9985/2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC e conceitua em seu parágrafo “XIII

- recuperação: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente mais de sua condição original”.

Desta forma, a identificação da melhor técnica utilizada para recuperar a qualidade dos ambientes contaminados, deve ser baseada nos critérios econômicos, sociais e ambientais que norteiam o desenvolvimento sustentável, sendo de fundamental importância ambiental para mitigação dos impactos negativos em caso de contaminação.

Dentre os processos, surgem àqueles biológicos, como a biorremediação que se destaca como uma alternativa viável e promissora para o tratamento de locais contaminados. De acordo com a Agência de Proteção Ambiental Americana (US-EPA) ela pode ser conceituada como “o processo de tratamento que utiliza a ocorrência natural de microrganismos para degradar substâncias toxicamente perigosas, transformando-as em substâncias inócuas”. Já o *American Heritage Dictionary of the American Language* conceitua como “o uso de agentes biológicos como bactérias e plantas, para remover ou neutralizar contaminantes do solo e da água”.

No Brasil, a Instrução Normativa 11 /2022, dispõe sobre os procedimentos e requisitos para registro de produtos remediadores, renovação anuência prévia para importação, autorização de pesquisa e experimentação e dá outras providências e ainda conceitua a biorremediação como remediador que apresenta como ingrediente ativo microrganismos capazes de se reproduzir e de degradar bioquimicamente compostos e substâncias contaminantes. (IBAMA, 2022).

Por possuírem uma estrutura simples, grande adaptabilidade e elevado potencial genético, os microrganismos são amplamente utilizados nos processos de biorremediação. Essas propriedades favorecem uma interação metabólica específica entre diferentes espécies, as quais se alimentam dos substratos umas das outras como fonte de energia, o que torna a degradação dos xenobióticos mais eficiente e completa. (GAYLARDE; BELLINASO; MANFIO, 2005). Todavia, esse processo biotecnológico exige condições ambientais adequadas para sua efetividade, como temperatura apropriada e disponibilidade de nutrientes. Desse modo, os microrganismos são capazes de absorver e digerir os contaminantes, transformando-os em substâncias inofensivas ao ambiente (UNITED STATES, 2012).

Assim, este trabalho tem como objetivo principal, elencar os biorremediadores aprovados para comercialização no Brasil, bem como quais os principais microrganismos utilizados como ingredientes ativos e em quais tratamentos são mais utilizados, com vista a

contribuir com informações para preencher a lacuna sobre este tema no Brasil e ainda destacar a importância desta alternativa promissora de remediação biológica de ambientes contaminados.

MATERIAL E MÉTODOS

Para elaboração deste trabalho, adotou-se uma pesquisa exploratória de caráter quali-quantitativa (GIL, 2002), onde levantou-se os principais dispositivos legais que regulamentam a comercialização de remediadores no Brasil, com foco nos remediadores biológicos e ainda levantou quantos biorremediadores são comercializados no Brasil e quais os principais microrganismos utilizados como ingredientes ativos, além de suas principais aplicações.

Para isso, foi de fundamental importância, a análise documental dos principais dispositivos legais como: a Resolução CONAMA nº 463, de 29 de julho de 2014, que dispõe sobre o controle ambiental de produtos destinados à remediação e ainda a Instrução Normativa nº 11 de 17 de outubro de 2022, que dispõe sobre os procedimentos e requisitos para registro de produtos remediadores, renovação anuência prévia para importação, autorização de pesquisa e experimentação e dá outras providências.

E ainda para o levantamento dos biorremediadores aprovados atualmente no Brasil, foi consultada a Lista de Produtos Remediadores Registrados no sítio eletrônico do IBAMA.

Foi realizado agrupamento de todos os microrganismos e criou-se um ranking daqueles mais citados, a partir desse momento foi possível tecer as observações e alcançar os objetivos propostos neste estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Resolução CONAMA 463/2014, a comercialização e o uso de remediadores dependem de prévio registro junto ao IBAMA, que estabelecerá os requisitos e os procedimentos para a aplicação desta Resolução.

Por meio do levantamento da Lista de Produtores Remediadores Registrados no IBAMA, realizado no período de abril a maio de 2025, foi possível levantar que 51 produtos estão registrados, sendo a maioria deles 38 como remediadores biológicos, conhecidos como

biorremediadores que possuem como ingredientes ativos microrganismos. Os demais são de natureza física e química.

Foram inventariados 42 microrganismos empregados nos diferentes produtos biorremediadores registrados, ressalta-se que os produtores avaliados apresentam de 1 a até 6 ingredientes ativos. E ainda que um mesmo produto pode ter mais de uma indicação de uso de acordo com o fabricante, como por exemplo, um produto que possui 6 ingredientes ativos e que pode ser utilizado em diferentes aplicações como “*um biorremediador a ser aplicado em Efluentes Industriais e Municipais (ETE’s), lagos, lagoas, solos contaminados e esgotos orgânicos industriais, para atuar sobre os contaminantes organoclorados, na redução da incidência de algas, orgânicos nitrogenados e descontaminação de esgotos orgânicos industriais. Degrada a matéria orgânica como proteínas, ácidos graxos de cadeia longa, gorduras, graxas, óleos e amidos.*”

Na tabela 1, é possível observar os principais microrganismos citados em pelo menos 4 produtos ou mais e suas principais aplicações.

Entre os microrganismos utilizados em cerca de 60% das formulações, destaca-se, conforme pode ser observado na tabela 1, o *Bacillus subtilis*, que é o principal ingrediente ativo para uma grande diversidade de aplicações, entre as principais cita-se o tratamento de efluentes sanitários, seguido do tratamento de efluentes industriais e tratamento de solo.

Tabela 1. Principais microrganismos citados em pelo menos 4 produtos e suas principais aplicações.

Ingrediente ativo	Quantidade de produtos	Principais aplicações e seu número de ocorrência nos produtos
<i>Bacillus subtilis</i>	23	Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) (19) Efluentes de indústrias (5) alimentícias (10), químicas (3), têxteis (1), petroquímicas (2), bebidas (4), farmacêuticas (1) e de laticínios (5) Corpos d'água contaminados (5) Solos (6) Metais pesados (3) Recuperação de ambientes (4)
<i>Bacillus licheniformis</i>	19	Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) (14) Efluentes de indústrias (5) alimentícias (8), químicas (2), têxteis (1), bebidas (3), farmacêuticas (1), petroquímicas (1) e de laticínios (4) Corpos d'água contaminados (4) Solos (5) Metais pesados (2) Recuperação de ambientes (4) e ecossistemas (1)

		contaminados Águas subterrâneas (1)
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	11	Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) (7) Efluentes de indústrias (4) alimentícias (4), têxteis (1), químicas (1) e de laticínios (1) Corpos d'água contaminados (2) Solos (3) Recuperação de ambientes (1)
<i>Bacillus megaterium</i>	8	Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) (6) Efluentes de indústrias (1) têxteis (1), alimentícias (4), químicas (2), bebidas (1) e de laticínios (1) Solos (1) Metais pesados (1)
<i>Bacillus polymyxa</i>	7	Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) (6) Efluentes de indústrias (1), alimentícias (4), bebidas (1), químicas (1) e de laticínios (2)
<i>Bacillus pasteurii</i>	6	Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) (6) Efluentes de indústrias alimentícias (2) e de laticínios (1)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	5	Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) (2) Efluentes de indústrias (1) alimentícias (1) e químicas (1) Corpos d'água contaminados (1) Solos (4) Metais pesados (1)
<i>Roseobacter litoralis</i>	4	Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) (3) Efluentes de indústrias alimentícias (3), têxteis (3), químicas (2), farmacêuticas (3), petroquímicas (3) e de laticínios (1) Metais pesados (3) Chorume (3)

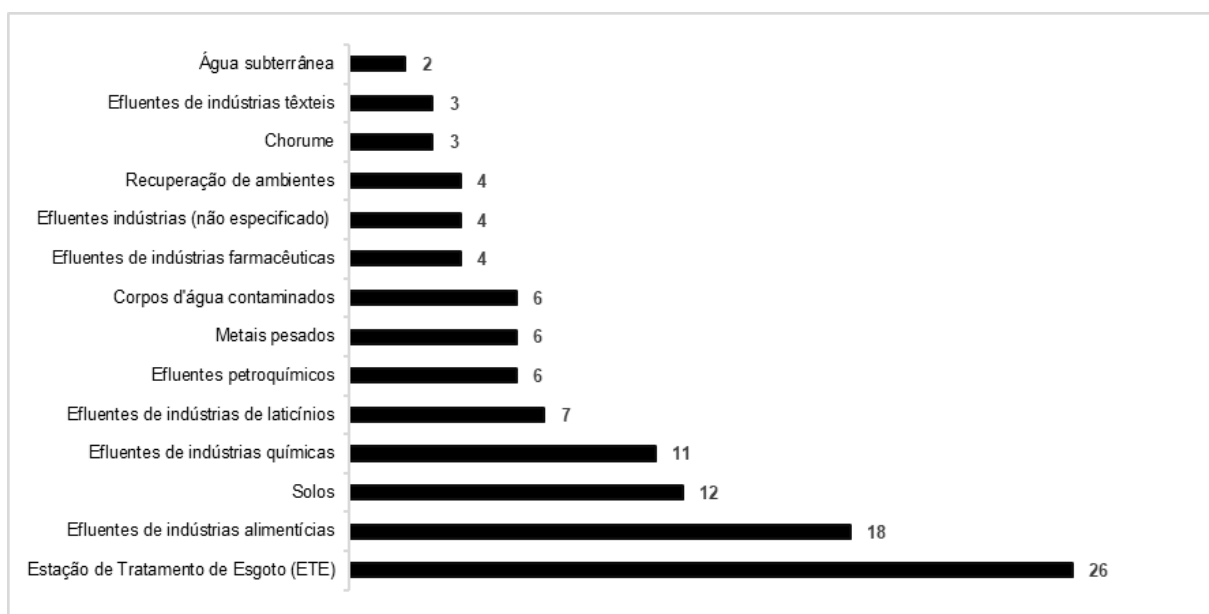
Fonte: Elaborada pela autora.

O gênero *Bacillus* spp. foi um dos mais encontrados nas formulações de ingredientes ativos, Wróbel e colaboradores (2023), mencionam a importância do gênero em possuir várias estratégias de biorremediação, incluindo bioabsorção, mediada por substância polimérica extracelular (EPS), bioacumulação ou bioprecipitação. As cepas de *Bacillus* spp. podem reduzir as quantidades de metais como chumbo, cádmio, mercúrio, cromo, arsênico ou níquel no meio ambiente. E observam que a utilização dos *Bacillus* spp. é reconhecida como uma das melhores soluções sustentáveis para a redução de metais pesados de vários ambientes, especialmente do solo.

Os dados sobre a citação do gênero corroboram com os resultados encontrados neste trabalho, que identificou, entre os organismos empregados, 12 espécies do gênero. Entre elas, citam-se: *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus polymyxa*, *Bacillus pasteurii*, *Bacillus cereus*, *Bacillus coagulans*, *Bacillus macerans*, *Bacillus mycoides*, *Bacillus pumilus* e *Bacillus thuringiensis*.

Dentre as principais indicações de uso para os biorremediadores comercializados no Brasil, estão o seu uso em Estações de Tratamento de Efluentes (ETE), seguido do tratamento de efluentes de indústrias alimentícias, tratamento de solo, tratamento de efluentes de indústrias químicas, tratamento de efluentes de laticínios, tratamento de efluentes petroquímicos e outros, na figura 1 é possível observar os grupos de aplicação e o número de produtos registrados.

Figura 1. Disponibilidade de biorremediadores registrados por tipo de aplicação.



Fonte: Elaborada pela autora.

CONCLUSÃO

A definição da melhor técnica depende de muitos fatores: tipo de poluente e quantidade, tipo de ecossistema contaminado e sua acessibilidade, as condições econômicas do poluidor; a legalidade da técnica, as pesquisas existentes para dar suporte técnico aos órgãos ambientais; a proximidade com comunidades; o menor impacto aos ambientes; a repercussão

na população que venha a ser afetada pela contaminação; os custos da recuperação; além das especificidades de cada contaminação.

Considerando que o desenvolvimento sustentável tem como referência o equilíbrio da decisão econômica, balizadas pelos benefícios à sociedade e ao ambiente, é necessário que o melhor custo para recuperação esteja associado ao melhor benefício socioambiental e que estudos mais avançados sobre biorremediação de áreas contaminadas sejam realizados, observando-se que a biorremediação só pode ser utilizada se estiver em concordância com a legislação ambiental brasileira e for autorizada pelo órgão ambiental competente.

REFERÊNCIAS

- [1] Ai-Jawhari, I. F. H. (2018). Metais Pesados, Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (PAHs), Materiais Radioativos, Xenobióticos, Pesticidas, Produtos Químicos Perigosos e Biorremediação de Corantes. Phytobionte e Restituição Ecosistêmica. Springer, Cingapura, 215-229.
- [2] BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 463, de 29 de julho de 2014. Dispõe sobre o controle ambiental de produtos destinados à remediação. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 30 jul. 2014.
- [3] BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Lista de produtos remediadores registrados no Ibama. Brasília, DF: IBAMA, 2023.
- [4] BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 19 jul. 2000.
- [5] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 11, de 17 de outubro de 2022. Dispõe sobre o procedimento e requisitos para registro de produtos remediadores. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 198, p. 112, 18 out. 2022.
- [6] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº 164, de 28 de novembro de 2022. Estabelece o escopo temático e conceitual de atuação do Ibama e na Remediação de Áreas Contaminadas. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 246, p. 291, 30 dez. 2022

- [7] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº 241, de 23 de novembro de 2023. Institui a Orientação Técnica Normativa sobre a classificação de produtos remediadores registráveis junto ao Ibama. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 224, p. 58, 27 nov. 2023
- [8] Gaylarde, C. C.; Bellinaso, M. L.; Manfio, G. P. Biorremediação. In: Biotecnologia: Ciência & Desenvolvimento, Brasília, nº 34, p. 36-43, jan./jun. 2005.
- [9] GIL, Antonio Carlos et al. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002.
- [10] Melo, I.S.; Azevedo, J.L. (1997). Microbiologia ambiental. Embrapa-CNPMA. 440 pp.
- [11] ONU - Organização das Nações Unidas. Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 15: Vida Terrestre. Nações Unidas, 2015.
- [12] UNITED STATES. Environmental Protection Agency. Guía del ciudadano sobre la biorremediación. Washington, DC: U.S. EPA, 2012. (EPA 542-F-12- 003S).
- [13] Wróbel M, Śliwakowski W, Kowalczyk P, Kramkowski K, Dobrzyński J. Bioremediation of Heavy Metals by the Genus Bacillus. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2023; 20(6):4964.