

BIORREMEDIAÇÃO COMO ALTERNATIVA DE TRATAMENTO EM AMBIENTES CONTAMINADOS

BIORREMEDIATION AS AN ALTERNATIVE FOR TREATMENT IN CONTAMINATED ENVIRONMENTS

Sueli Barbosa Santos Ferreira¹

¹Mestranda no Programa de Pós-graduação em Conservação e Uso de Recursos Naturais/ PPGRen - Universidade Federal de Rondônia – (UNIR). Departamento Acadêmico de Biologia- (DBIO). Especialista em História, Cultura Africana e Afrobrasileira – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – (IFAM). Pedagoga - Universidade Federal de Rondônia – (UNIR). Bióloga - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia – (IFRO). e-mail: suelidocbio@gmail.com.

DOI: <https://doi.org/10.37157/fimca.v7i3.121>

RESUMO

A poluição ambiental proveniente das ações antrópicas, tem sido problema proeminente na atualidade, ocasionado pelas necessidades socioeconômicas das populações. Os processos de produção, industrial, agricultura, pecuária, mineração e as residências, lançam diariamente efluentes contaminantes no meio ambiente, desse modo, alternativas sustentáveis de tratamento, como a biorremediação, que consiste no uso de seres vivos (fungos, bactérias e plantas), para descontaminar ambientes, são relevantes, e conhecer sua aplicabilidade é extremamente importante ao enfrentamento deste problema. Esta revisão pretende elencar as principais técnicas de biorremediação para tratar ambientes contaminados e apresentar trabalhos desenvolvidos no âmbito desta temática. Realizou-se pesquisa em banco de dados confiáveis, artigos científicos indexados em bases amplamente utilizadas pela comunidade científica como, Portal de Periódicos CAPES/MEC, e SCIELO (*Scientific Electronic Library Online*), priorizando publicações dentro do último quinquênio. O biorremédio pode ser aplicado direto no ambiente contaminado *in situ* (atenuação natural, bioestimulação, bioaumentação, Bioventilação) e/ou através da transposição do material contaminado para outro local, *ex situ* (compostagem, *landfarming* e uso de biorreatores), para degradar poluentes como, agrotóxicos, petróleo, fertilizantes, gorduras e estabilizar níveis de metais-traço. A biorremediação é tecnologia ecologicamente sustentável, no entanto sua aplicabilidade requer estudos aprofundados e específicos, com vistas a elaborar minucioso planejamento, estabelecer a técnica adequada para cada caso, e as quantidades seguras a serem aplicadas, reduzindo possíveis danos ao meio ambiente, em decorrência da alteração da biota, ocasionada por aplicações de forma desordenada, o que pode resultar em desequilíbrio ambiental, por se tratar de manipulação de seres vivos.

Palavras-chave: Resíduos, toxicidade, poluição, seres vivos, técnicas, sustentabilidade.

ABSTRACT

Environmental pollution from human activities has been a prominent problem today, caused by the socioeconomic needs of the populations. The production, industrial, agricultural, livestock, mining and household processes, daily release contaminating effluents into the environment, thus, sustainable treatment alternatives, such as bioremediation, which consists of the use of living beings (fungi, bacteria and plants), to decontaminate environments, are relevant, and knowing their applicability is extremely important when facing this problem. This review intends to list the main bioremediation techniques to treat contaminated environments and present works developed within the scope of this theme. Research was carried out in a reliable database, scientific articles indexed in bases widely used by the scientific community, such as the CAPES / MEC Portal of Journals and SCIELO (*Scientific Electronic Library Online*), prioritizing publications within the last five years. The bioremediation can be applied directly to the contaminated environment *in situ* (natural attenuation, biostimulation, bio-increase, bioventilation and *landfarming*) and / or through the transposition of the contaminated material to another location, *ex situ* (composting and use of bioreactors), to degrade pollutants such as, pesticides, oil, fertilizers, fats and stabilize trace metal levels. Bioremediation is an ecologically sustainable technology, however its applicability requires detailed and specific studies, with a view to elaborating detailed planning, establishing the appropriate technique for each case, and the safe quantities to be applied, reducing possible damage to the environment, due to alteration of the biota, caused by disordered applications, which can result in environmental imbalance, as it is the manipulation of living beings.

Key words: Waste, toxicity, pollution, living beings, techniques, sustainability.

INTRODUÇÃO

A modernização dos processos industriais permitiu o aumento da produção e o desenvolvimento socioeconômico das populações humanas (SANTOS et al., 2018), porém essas atividades passaram a exercer intensas pressões nos recursos naturais através da exploração, e lançamento diário de efluentes contaminantes no meio ambiente (DIAS et al., 2019). As atividades de mineração, através do descarte de efluentes, como os metais ferro (Fe), resíduos da extração, e mercúrio (Hg), utilizado no processo de refino do ouro (RAMOS; OLIVEIRA; RODRIGUES, 2020), o intenso uso de agrotóxicos e fertilizantes nitrogenados, produtos utilizados na agricultura e pecuária (SOUZA et al., 2017), a produção de substâncias tóxicas, como monóxido e dióxido de carbono (CO, CO₂), dióxidos de nitrogênio (NO₂), pelas queimadas, são os principais agentes poluentes ambientais (RODRIGUES et al., 2016).

O desastre ambiental, ocorrido no Brasil no ano de 2015, registrou perdas irreparáveis, com o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, da Mineradora Samarco, no Estado de Minas Gerais, no qual o “vazamento de 60 milhões m³ de

lama de rejeitos, desabrigou mais de 1.200 pessoas e matou 18, além de deixar um desaparecido, trabalhador da Samarco, cujo corpo não foi encontrado” (LACAZ; PORTO; PINHEIRO, 2016), os resíduos da mineração são ricos em minério de ferro e sílica, esses elementos que, devido sua concentração, se tornam tóxicos, foram carregados, afetando os cursos d’água, animais e as populações humanas da região (FIGUEIREDO et al., 2019).

A produção industrial na atualidade, é a principal responsável pelo lançamento de efluentes como, óleos, fertilizantes, resíduos de petróleo e metais-traço por exemplo, Fe, Hg, chumbo (Pb) e cádmio (Cd), que em níveis elevados se tornam tóxicos aos organismos (CHEN et al., 2015; DIAS et al., 2019). Para Ramirez e cols. (2016) “a indústria de celulose e papel é a sexta mais poluente após indústrias de petróleo, cimento, couro, têxtil e siderurgia”.

Os metais, elementos químicos presentes na natureza e, são fundamentais para o organismo humano por exemplo, Fe e zinco (Zn), a toxicidade se dá pelo acúmulo desses elementos no ambiente (SANTOS et al., 2018), provenientes da degradação natural das rochas, acelerada pelas ações antrópicas, processos industriais, agrícolas e a mineração

(CHEN et al., 2015; RODRIGUES et al., 2016). Devido ao acúmulo, na atualidade, são considerados os principais agentes contaminantes da água e do solo, provenientes dos resíduos agrícolas e industriais, pela sua capacidade de acumulação no ambiente (SOUZA; NOBREGA; PONTES, 2017).

A Constituição Federal Brasileira prevê no art. 225, § 3º CF/88, a obrigatoriedade do agente causador do dano ambiental, em realizar ações de reparação, em que “as condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas” (BRASIL, 1988). Os impactos ambientais, ocasionados pelas ações antrópicas produzem efeitos em vários segmentos da sociedade, para Fernandes, Nunes e Porto (2016) “a contaminação química situa-se em vários domínios: do meio ambiente, da saúde, do social, da justiça, do econômico, do político”, desse modo são necessárias medidas eficazes de controle e remediação, para minimizar esses impactos.

Os métodos de tratamento do contaminante ambiental são caracterizados de acordo com sua origem, os resíduos domésticos e industriais, possuem características diferentes e o método de tratamento deve ser adequado para cada caso. (LACERDA; NAVONI; AMARAL, 2019). Para resíduos domésticos são utilizados as ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto), lagoa de decantação (degradação da matéria orgânica), iodo ativado e a utilização de reatores anaeróbios. (MENEZES et al., 2019). Para os efluentes industriais são utilizados processos químicos tais como, exemplo: agentes de coagulação (sais inorgânicos), floculação (solução de cloridrato de alumínio), para tratar efluentes industriais, devem se observar a legislação de acordo com ramo da indústria (ROCHA; KLIGERMAN; OLIVEIRA, 2019). Esses processos apesar da eficiência, possuem um alto custo monetário e lançam resíduos no ambiente, desse modo a biorremediação surge como alternativa eficiente e ecologicamente sustentável em relação aos métodos convencionais e químicos (SILVEIRA; TATTOO; MANDAI, 2016).

A Biorremediação é o processo pelo qual são utilizados microrganismos, como algas, bactérias, fungos e recentemente macrófitas na degradação de contaminantes (LACERDA; NAVONI; AMARAL, 2019), que ganhou destaque na década de 90, em detrimento às técnicas tradicionais, em relação a custo benefício (BERTICELLI et al., 2016). Algumas espécies tem se destacado como potenciais auxiliares na degradação de poluentes nos ambientes solo e/ou água, as bactérias *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhodobacter* e *Achromobacter*, são exemplos de gêneros, capazes de degradar petróleo e seus derivados (MORAIS FILHO; CORIOLANO, 2016; SILVEIRA; TATTOO; MANDAI, 2016). Os biorremédios são produzidos através da criação de cultura de microrganismos, ou atenuados no próprio ambiente através da adição de nutrientes, e utilizados com aplicações de técnicas *in situ*, o contaminante é tratado no próprio local e *ex situ* o material contaminado é removido e tratado em local específico (COUTINHO et al., 2015; BERTICELLI et al., 2016). Este trabalho de revisão pretende elencar as técnicas que utilizam seres vivos e suas potencialidades como biorremédio, na degradação de contaminantes ambientais, e demonstrar

trabalhos científicos que apresentam estudos da viabilidade e eficácia destas técnicas.

TÉCNICAS DE BIORREMEDIAÇÃO.

A biorremediação é uma área da Engenharia Ambiental, que através da adoção de um conjunto de técnicas específicas, utilizam agentes biológicos, natural do próprio ambiente, ou de cultivo para tratar ambientes contaminados (BERTICELLI et al., 2016). Este processo tem demonstrado eficiência à custo reduzido e diminuição da poluição, em relação às técnicas físicas e químicas convencionais (incineração e aterro, por exemplo) (CHEN et al., 2015). As técnicas de biorremediação, podem remover e ou neutralizar substâncias contaminantes, devido a ação dos microrganismos, que através do processo metabólico, liberam água e gás carbônico ao ambiente, podendo ser utilizadas “na remoção de toxinas de poços subterrâneos, descontaminação do solo, derrame químico como diesel e gasolina, locais de lixo tóxicos, degradação de herbicidas, decomposição de substâncias orgânicas e inorgânicas” (COUTINHO et al., 2016).

A biorremediação é aplicada através de dois métodos *in situ*: no próprio local contaminado, através das técnicas: bioestimulação, bioaumentação e bioventilação e/ou *ex situ*, através da transposição do material contaminado para outro local, utilizando as técnicas: compostagem, *landfarming* e uso de biorreatores (BERTICELLI et al., 2016; FARIA et al., 2017).

A bioestimulação consiste, na adição de nutrientes, por exemplo, NPK (Nitrogênio-Fosforo-Potássio) na área, fortalecimento dos parâmetros físico-químicos do ambiente (pH, temperatura, umidade etc.), para estimular a ação dos microrganismos (MORAIS FILHO; CORIOLANO, 2016); A bioventilação potencializa a respiração de bactérias aeróbias, através da aeração com ar comprimido no local, geralmente utilizada em solos, com equipamentos específicos (COUTINHO et al., 2015; REIS et al., 2018). A bioaumentação potencializa a reprodução e ação de microrganismos específicos eficientes para o caso, naturais do local ou adicionados, para áreas com alto grau de deterioração. (FARIA et al., 2017). A fitorremediação consiste na ação de plantas que estimulam a atividade microrganismos, exemplo as micorrizas (simbiose de fungos e raízes), que degradam poluentes através de seu metabolismo, esta técnica tem demonstrado eficiência em relação à metais pesados, como zinco (Zn), magnésio (Mg) e cobre (Cu), em rejeitos de minério, exemplo alfafa (*Medicago sativa*) (LACERDA; NAVONI; AMARAL, 2019). A técnica *Landfarming*, consiste na inserção do material contaminante na camada arável o solo, e através da ação dos microrganismos, atenuados os inseridos, degradam os compostos sobretudo derivados do petróleo, a fitorremediação é utilizada como auxiliares em áreas de *landfarming* (LACERDA; NAVONI; AMARAL, 2019). É uma técnica que pode ser desenvolvida *in situ* ou *ex situ*, dependendo do nível de contaminação do material a ser tratado (FERNANDES; NUNES; PORTO, 2019).

A fitorremediação, é uma técnica de biorremediação que utiliza vegetais, para tratar ambientes contaminados sobretudo por metais pesados (BRAUN et al., 2016), ressalta que, esta técnica tem demonstrado eficiência em relação aos metais Chumbo (Pb), Níquel (Ni), Mercúrio (Hg), Zinco

(Zn), Cobre (Cu), Selênio (Se), Urânio (U) e Césio (Cs), através da absorção e neutralização destes elementos. A fitorremediação possui técnicas específicas como a (fitoextração, fitoestabilização, fitovolatilização e rizofiltração), que não serão abordadas na presente revisão (FERRAÇO et al., 2017; OJUEDERIE; BABALOLA, 2017).

A atenuação natural embora considerada como técnica *in situ*, por Coutinho e cols. (2016), por ser desenvolvida sem a intervenção humana, não é considerada por alguns autores por exemplo, Reis e cols. (2018) e Lacerda, Navoni e Amaral, (2019) como uma “técnica”, pois os microrganismos agem de maneira natural na biodegradação de contaminantes, o local contaminado é recuperado de maneira gradativa e a longo prazo.

Na compostagem o material contaminado é retirado do local original e disposto em pilhas (BERTICELLI et al., 2016). Nesse caso, os organismos inseridos ou locais, metabolizam os poluentes, transformando-os em água H₂O, matéria orgânica e gás carbônico (CO₂); Os biorreatores são sistemas completamente fechados que permitem o controle de emissões, para Lacerda, Navoni e Amaral (2019), “um inóculo contaminado {...} é misturado com água e introduzido em um reator previamente preenchido com carvão, plástico, esferas de vidro ou terra diatomácea {...}, forma biofilmes responsáveis pela biodegradação da substância”, apresentam tais como: monitoramento efetivo do processo, maior controle das variáveis do processo (valor de pH, temperatura, umidade, etc.) (MORAIS FILHO; CORIOLANO, 2016).

Em relação às vantagens e desvantagens da biorremediação, Moraes Filho e Coriolano (2016), ressalta que, através do uso das técnicas *in situ*, é possível remediar o material contaminante evitando sua dispersão, o que podem resultar em substâncias como H₂O, CO₂ e sais minerais, as desvantagens são em relação a ineficiência na biodegradação de metais, porém estes podem ser bio-oxidados, diminuindo sua toxicidade. Quando da aplicação das técnicas de biorremediação, devem se observar os parâmetros físico-químicos do ambiente como (temperatura, umidade, oxigenação, pH (potencial hidrogeniônico), homogeneização), para potencializar ação dos microrganismos (ANSILAGO; OTTONELLI; CARVALHO, 2016; ROCHA; KLIGERMAN; OLIVEIRA, 2019; BERTICELLI et al., 2016; CHEN et al., 2015).

A PRÁXIS DA BIORREMEDIAÇÃO

O estudo desenvolvido por Dunoyer, Cuello e Salinas (2019), analisaram a ação do extrato enzimático bruto de *Yarrowia lipolytica*, gênero fúngico da família Dipodascaceae, em diferentes concentrações, na degradação de gorduras, e

constatou que em meio fermentativo à pH (5,0 e 6,5), este gênero fúngico apresentou produção eficiente e secreção de enzimas proteolíticas, enzimas que quebram ligações peptídicas entre os aminoácidos das proteínas. Os pesquisadores obtiveram resultados que demonstraram, percentual de 82% de degradação de gordura, e concluíram que, este processo pode auxiliar indústrias alimentícias, e que, o tratamento biológico com esta espécie de fungo, é excelente alternativa para auxiliar na descontaminação de resíduos, e prepará-los para serem lançados no ambiente de forma segura. Através da técnica de fitorremediação, Rojas e cols. (2020), preocuparam se, em testar a eficiência de duas plantas aquáticas (*Nasturtium officinale L.*) e lentilha d'água (*Lemna minor*), no tratamento das chamadas “águas cinzas”, que são águas residuais, oriundas dos processos domésticos, como lavagem de roupas, excetuando água do vaso sanitário que são caracterizadas como águas negras (CÓRDOBA; MONTOYA; GOMES, 2019). Aplicaram um sistema misto de tratamento, com filtração, por areia e pedra de rio e posteriormente, aplicaram a fitorremediação. O resultado mostrou que o sistema é eficiente para o reuso da água na irrigação, pois obteve se os parâmetros estabelecidos pela legislação vigente.

No experimento realizado por Lopes e cols. (2020), testaram, a ação das bactérias, *Bacillus subtilis* e *B. licheniformis*, na degradação de compostos orgânicos, em criação de Tilápia do Nilo, (*Oreochromis niloticus*), carbono orgânico total (TOC) e oxidável (OOC), nitrogênio total (TN), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), que em níveis

elevados, alteram as propriedades físico-químicas da água, os resultados apontaram a eficiência da ação das bactérias, para controlar os níveis destes compostos e equilibrar o ambiente. O estudo desenvolvido por Lima e cols. (2020), os pesquisadores testaram cepas de bactérias degradadoras de hidrocarboneto, isoladas de água subterrânea na Amazônia, diante da ação degradante nos compostos, (diesel, hexadecano, benzeno, tolueno e xileno), os pesquisadores selecionaram, duas cepas (*Bacillus sp.* L26 e *Bacillus*

sp. L30), estes genes produziram biossurfactantes, emulsificantes, através de seu metabolismo, e demonstraram potencial para ser utilizadas como biorremédio em ambientes contaminados por estes compostos.

O estudo desenvolvido por Maas e cols. (2018), analisou a ação de linhagens de *Pleurotus sp.*, cultivadas em meio líquido de batata, para degradar azul de metileno (cloreto de tetrametiltiltiosina), os resultados apontaram que esses fungos filamentosos, apresentaram excelente crescimento de massa micelial, através da capacidade de redução da coloração do meio, de aproximadamente 80% em relação ao controle, portanto são alternativas biorremediadoras, pela sua

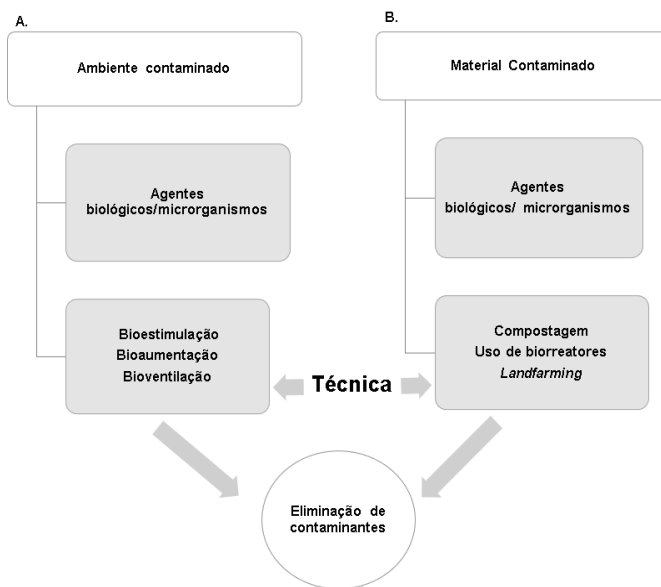


Figura 1. Processo de Biorremediação: A. *In situ* / B. *Ex situ*.

Fonte: Adaptado de Lacerda, Navoni e Amaral (2019).

capacidade de secretar enzimas para absorver nutrientes, e podem ser testadas em outros ensaios. Silva e cols. (2015), conduziu um experimento em casa de vegetação para avaliar o crescimento de plantas nativas (*Anadenanthera macrocarpa*, *Mimosa scabrella* e *Apuleia leiocarpa*), em diferentes dosagens de cobre, os resultados mostraram que mesmo a *Anadenanthera macrocarpa*, tendo apresentado menor taxa de translocação do contaminante das raízes as folhas, todas apresentaram resistência em relação ao contaminante, e características degradadoras do cobre, podendo ser útil para o processo de fitorremediação em áreas contaminadas por cobre.

Rodrigues e cols. (2020), isolaram amostras de fungos de solo, na região do Parque Estadual da Lagoa da Jansen em São Luís do Maranhão, para avaliar a abundância das espécies e caracterizar, sua já conhecida capacidade de degradar substâncias poluentes, os resultados foram que *Aspergillus niger* foi a espécie dominante (37%), seguido por *A. tamarii* (21,6%), *Penicillium citrinum* (10%), *Aspergillus flavus* (8,7%) e *Trichoderma koningii* (7,7%), Abundante na área pesquisada, podem ser isolados e cultivados para serem utilizados como biorremédio, são fungos filamentosos e agem na degradação de substâncias tóxicas, como polietileno e polipropileno (macromoléculas). O ensaio dirigido por Batista e cols. (2017), avaliou a resistência de plantas nas espécies vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.), orelha de elefante (*Alocasia macrorrhiza*) e embaúba (*Cecropia* sp.), em diferentes concentrações de chumbo (Pb), os resultados após 21 dias mostraram que, nas espécies testadas, não foi constatado valores significativos de acumulação do metal, e as espécies *Vetiveria zizanioides* L. e *Helianthus annuus* L. merecem atenção como espécies fitoestabilizadoras em ambientes contaminados, pois apresentaram ínfimas quantidades de acumulação do metal.

Ansilago, Ottonelli e Carvalho (2016), avaliaram o desempenho reprodutivo da microalga *Pseudokirchneriella subcapitata* em meio de cultivo alternativo adicionando NPK (Nitrogênio-Fósforo-Potássio, 20:05:20), o controle permaneceu sem a adição do contaminante, enquanto os demais foram contaminados com $AlCl_3$ (cloreto de alumínio), $FeSO_4$ (sulfato ferroso) e $ZnSO_4$ (sulfato de zinco). Nos resultados obtidos, o controle apresentou crescimento positivo contínuo, o tratamento contendo os metais obteve maior densidade e maior taxa de crescimento exponencial. O tratamento contaminado com $ZnSO_4$ apresentou menor crescimento. Os autores concluíram que, os tratamentos apresentaram crescimento positivo e atribuíram à microalga excelente potencial de produção em meio com presença de metais, características de bioacumulação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A superexploração dos recursos naturais e o descarte de resíduos no ambiente, altera sua conformação causando expressivos impactos. A natureza, além de fornecer condições de geração de riquezas, fornece alternativas de remediação desses impactos, a utilização de organismos vivos tem sido fonte de soluções para a humanidade em todos os aspectos, econômico, saúde. A emissão de agentes poluentes agrotóxicos, fertilizantes, no meio ambiente tem sido alvo de debates pelos ambientalistas em relação a tomada de postura, que busquem estabelecer mecanismos de ação em frente a este problema.

Os biorremédios tem sido utilizados como alternativas sustentáveis, no enfrentamento aos impactos causados pela ação humana criminosa ou acidental. O uso de seres vivos tem cada vez mais ganhado destaque neste processo, pois com base em estudos sobre a ação de microrganismos em degradar esses poluentes, e a adoção de técnicas específicas, microrganismos e plantas são utilizados como bioindicadores e biorremediadores e tem mostrado bom desempenho, pela sensibilidade e ação de degradação em ambientes poluídos.

Para estabelecer a técnica e o método mais adequado, para tratar o contaminante ambiental, é necessário realizar previamente uma análise minuciosa das técnicas e métodos disponíveis para cada caso, e as origens do efluente contaminante, pois cada agente biológico possui suas características singulares e podem ser eficazes, se respeitadas suas potencialidades.

A biorremediação mostra eficiência no tratamento de poluentes orgânicos, em relação aos metais, estudos são desenvolvidos, principalmente a técnica da fitorremediação é promissora. O método *in situ* tem sido indicado para tratamento de grandes áreas contaminadas com menor custo, o método *ex situ* quando há risco do material contaminante se propagar rapidamente.

Os estudos sobre a eficácia dos biorremédios para tratar efluentes contaminantes, necessitam de aprofundamento, para estabelecer os parâmetros e medidas a serem adotadas. A utilização de biorremédios, por se tratar da manipulação de seres vivos, deve ser cuidadosamente analisada e mensurada, para evitar o descontrole da biota local, pela inserção e ou atenuação dos microrganismos

REFERÊNCIAS

- ANSILAGO, Mônica; Franciéli Ottonelli; Emerson Machado de Carvalho. **Cultivo da microalga *Pseudokirchneriella subcapitata* em escala de bancada utilizando meio contaminado com metais pesados**. Artigo Técnico. Eng Sanit Ambient v.21 n.3. Dourados, Mato Grosso do Sul, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522016124295>.
- BATISTA, Adriana A.; Jorge A.G. Santos; Marcela R. Bomfim; Flavia M. Moreira; Emylly F. Leal; Joseane N. da Conceicao. **Induced changes in the growth of four plant species due to lead toxicity**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.21, n.5, p.327-332. Campina Grande, Paraíba, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n5p327-332>.
- BERTICELLI, Ritielli; Andressa Decesaro; Francisco Magro; Luciane Maria Colla. **Compostagem como alternativa de Biorremediação de áreas contaminadas**. Revista CIATEC – UPF, vol.8 (1), 12-28. Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2016. Disponível em: <http://seer.upf.br/index.php/ciatec/article/download/4143/3679/>. Acesso em: 03 de out. de 2020.
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Centro Gráfico, 1988, 292 p. Brasília, DF: Senado Federal. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf. Acesso em: 10 nov. de 2020.
- BRAUN, Adeli Beatriz; Adan William da Silva Trentin; Caroline Visentin; Antônio Thomé. **Biorremediação como alternativa de tratamento de solos contaminados com metais tóxicos**. Revista CIATEC – UPF, vol.11 (2), p.p.73-87. Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5335/ciatec.v11i2.8971>.
- CHEN, M., XU, P., ZENG, G., YANG, C., HUANG, D., ZHANG, J. **Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: Applications, microbes and future research needs**. Biotechnology Advances, v. 33, p.745–755. China, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.05.003>.
- CÓRDOBA, Silvia M. Soto; Lilliana Gaviria Montoya; Macario Pino Gomez. **Estudio de caso: Disposición de las aguas residuales domésticas en zonas rurales de Costa Rica**. Artículos Originales. Ambiente & Sociedade. vol. 22, São Paulo, 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/asoc/v22/es_1809-4422-asoc-22-e01562.pdf. Acesso em: 30 de nov. de 2020.

- COUTINHO, Pablo Wenderson Ribeiro; Danielle Acco Cadorin; Lorena Maia Noretto; Afonso Celso Gonçalves JR. **Alternativas de remediação e descontaminação de solos: Biorremediação e Fitorremediação**. Nucleus, v.12, n.1, abr. Paraná, Brasil, 2015. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/268033270>. Acesso em: 03 de out. de 2020.
- DIAS, Guilherme; Matheus Hipólito; Fernando Santos; Rogério Lourega; Jaqueline de Mattia; Paulo Eichler; Jonathan Alves. **Biorremediação de Efluentes por meio da aplicação de Microalgas – Uma Revisão**. Quim. Nova, vol. 42, n.º. 8, 891-899. Rio Grande do Sul, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170393>.
- DUNOYER, Arnulfo Tarón Dunoyer; Rafael Emilio González Cuello; Rosangela Perez Salinas. **Biodegradation of dairy wastes using crude enzymatic extract of *Yarrowia lipolytica* ATCC 9773**. Articles. Ambiente & Água –Rev. Ambient. Água vol. 15 n. 1, e2448. Taubaté, 2020. DOI:10.4136/ambi-água.2448.
- FARIA, Alvaro Bosen de Castro; Pedro Henrique Riboldi Monteiro; Celso Garcia Auer; Alessandro Camargo Ângelo. **Uso de Ectomicorizas na Biorremediação Florestal**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 21-29. Santa Maria, 2017. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982017000100021&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 25 nov. de 2020.
- FERRAÇO, Mariana; Fábio Ribeiro Pires; Alessandra Ferreira Belo; Ademar Celin Filho; Robson Bonomo. **Efeito da densidade populacional de *Canavalia ensiformis* na fitorremediação de solo contaminado com sulfentrazone**. Revista Ciência Agronômica, v. 48, n. 1, p. 32-40. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2017. DOI: 10.5935/1806-6690.20170004.
- FERNANDES, Lúcia de Oliveira; João Arriscado Nunes; Marcelo Firpo de Souza Porto. **Contaminação química: respostas das instituições responsáveis e ações das populações atingidas no Brasil e em Portugal**. Saúde Soc. São Paulo, v.25, n.1, p.218-232. São Paulo, 2016. DOI 10.1590/S0104-12902016145753.
- FIGUEIREDO, Marina Duarte; Fernando Soares Lameiras; José Domingos Ardisson; Maria Helena Araújo; Ana Paula de Carvalho Teixeira. **Tailings from Fundão Tragedy: Physical–Chemical Properties of the Material That Remains by Candonga Dam**. Integrated Environmental Assessment and Management — volume 16, number 5—p. 636–642. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/ieam.4227>.
- LACAZ, Francisco Antonio de Castro; Marcelo Firpo de Sousa Porto; Tarcísio Márcio Magalhães Pinheiro. **Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco**. Rev. bras. saúde ocup. vol. 42, São Paulo 2016. <https://doi.org/10.1590/2317-6369000016016>.
- LACERDA, Felipe; Julio Alejandro Navoni; Viviane Souza do Amaral. **BIORREMEDIAÇÃO: Educação em Saúde e Alternativas à Poluição Ambiental**. Editora IFRN, Natal, 2019. Disponível em: <https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/1771/A%20biorremedia%C3%A7%C3%A3o.pdf?sequence=5&isAllowed=y>. Acesso em: 11 de nov. de 2020.
- LIMA, S. D.; A. F. Oliveira; R. Golina; V. C. P. Lopes; D. S. Caixeta; Z. M. Lima; E. B. Morais. **Isolation and characterization of hydrocarbon-degrading bacteria from gas station leaking-contaminated groundwater in the Southern Amazon, Brazil**. Brazilian Journal of Biology. vol. 80, no. 2 pp.354-361. Cuiabá, Mato Grosso, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.208611>.
- LOPES, Gustavo Ruschel; Hugo Mendes de Oliveira; Gabriel Fernandes Alves de Jesus; Maurício Laterça Martins; Carlos Henrique Araújo de Miranda Gomes; Thiago Soligo; José Luiz Pedreira Mourião. **Biological strategy to improve decomposition of organic matter in tilapia pond**. Acta Limnologica Brasiliensia, vol. 32, e27. Santa Catarina, 2020. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X8419>.
- MAAS, Adriele Santos Van Der; Nazareth Jordelina Ribeiro da Silva; Alexandre Sylvio Vieira da Costa; Aruana Rocha Barros; Cleide Aparecida Bomfeti. **The degradation of methylene blue dye by the strains of *Pleurotus* sp. with potential applications in bioremediation processes**. Rev. Ambient. Água vol. 13 n.4, e 2247 – Taubaté, 2018. <http://dx.doi.org/10.4136/1980-993X>.
- MENEZES, Rosana Oliveira; Samuel Rodrigues Castro; Jonathas Batista Gonçalves Silva; Gisele Pereira Teixeira; Marco Aurélio Miguel Silva. **Análise estatística da caracterização gravimétrica de resíduos sólidos domiciliares: Estudo de caso do município de Juiz de Fora, Minas Gerais**. Eng. Sanit. Ambient. vol.24 no.2. Minas Gerais, 2019. DOI: 10.1590/S1413-41522019177437.
- MORAIS FILHO, M. C.; A. C. F. CORIOLANO. **Biorremediação, uma alternativa na utilização em áreas degradadas pela indústria petrolífera**. Holos, 32(7), 133-150. Rio Grande do Norte, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/ez8.periodicos.capes.gov.br/10.15628/holos.2016.4278>.
- OJUEDERIE, O. B.; BABALOLA, O. O. **Microbial and Plant-Assisted Bioremediation of Heavy Metal Polluted Environments: A Review**. Int. J. Environ. Res. Public Health 2017, 14, 1504. Africa do Sul, 2017. DOI: 10.3390/ijerph14121504.
- RAMOS, Alan Robson Alexandrino; Keyty Almeida de Oliveira; Francilene dos Santos Rodrigues. **Mercury-Based Mining in Yanomami Indigenous Lands and Accountabilities**. Original Article. Ambiente & Sociedade. vol. 23, São Paulo, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20180326r2vu2020L5A0>.
- RAMIREZ, M. E.; Y. H. Véleza; L. Rendón; E. Alzatea. **Potential of Microalgae in the Bioremediation of water with Chloride Content**. Brazilian Journal of Biology ISSN 1519-6984. ISSN 1678-4375. 2018, vol. 78, no. 3, pp. 472-476. Medellín Colombia, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.169372>.
- REIS, Everton Amazonas; Emelay Pereira Bispo; Maria Helena Miguez Rocha Leão; Selma Gomes Ferreira Leite. **Comparison of different slow-release nutrient composites produced to stimulate microorganisms**. Rev. Ambient. Água vol.13 no.6 Taubaté, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-água.2259>.
- ROCHA, Antônio Carlos de Lima; Débora Cynamon Kligerman; Jaime Lopes da Mota Oliveira. **Overview of research on the treatment and reuse of effluents from the antibiotics industry**. Saúde debate 43 (spe3). Saúde Debate, Rio de Janeiro, v. 43, n. especial 3, p. 165-180. Rio de Janeiro, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-11042019S312>.
- RODRIGUES, Igor Vinícius Pimentel; Katia Regina Assunção Borges; Marcos Antonio Custódio Neto da Silva; Maria do Desterro Soares Brandão Nascimento; Juliano dos Santos; Alexandre Santana Azevedo; Geusa Felipa de Barros Bezerra. **Diversity of Soil Filamentous Fungi Influenced by Marine Environment in São Luís, Maranhão, Brazil**. Hindawi e Scientific World Journal, volume 2020, Article ID 3727453, 6 pages. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/3727453>.
- RODRIGUES, A. C. D.; Santos, A. M.; Santos, F. S.; Pereira, A. C. C.; Sobrinho, N. M. B. A. **Mecanismos de Respostas das Plantas à Poluição por Metais Pesados: Possibilidade de Uso de Macrófitas para Remediação de Ambientes Aquáticos Contaminados**. Rev. Virtual Quim. 8 (1), 262-276. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em http://rvq.sbg.org.br/audiencia_pdf.asp?aid2=95&nomeArquivo=v8n1a18.pdf. Acesso em: 10 nov. de 2020.
- ROJAS, Eli Morales Rojas; Jesús Rascón; Lenin Quiñones Huatangari; Segundo Chavez Quintana; Manuel Oliva; Manuel Emilio Milla Pino. **Mixed greywater treatment for irrigation uses**. Revista Ambiente & Água. Versão online. vol.15 no.6. Taubaté, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-água.2599>.
- SANTOS, Sidnei Cerqueira; Danielly Cristina Marques de Castro; Palloma Sales de Assunção; Thais Lopes dos Santos; Cristina M. Quintella. **Mapeamento Tecnológico de Processos Microbianos Aplicados na Biorremediação de Metais Pesados**. Cadernos de Prospecção – Salvador, v. 11, n. 5 – Ed. Esp. VIII ProspecT&I, p. 1740-1751. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.9771/cp.v11i5.25240>.
- SANTOS; Alexandre Santana Azevedo; Geusa Felipa de Barros Bezerra. **Diversity of Soil Filamentous Fungi Influenced by Marine Environment in São Luís, Maranhão, Brazil**. Scientific World Journal .2020: 3727453. doi: 10.1155 / 2020/3727453.
- SILVA, RF; R. Andrezza; C. Da Ros; A. Dellai; RJS Jacques; D. Scheid. **Growth of tropical tree species and absorption of copper in soil artificially contaminated**. Revista Brasileira de Biologia Versão impressa. ISSN 1519-6984. Braz. J. Biol. vol.75 no.4 supl.1 São Carlos Nov. 2015. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.07114>.
- SILVEIRA, Leonardo Ramos da; Janaina Tatto; Pedro Mandai. **Biorremediação: considerações gerais e características do processo**. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 13, n. 2, p. 32-47, jul./dez. 2016. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=3249&article=1355&mode=pdf>. Acesso em: 03 de out. de 2020.
- SOUZA, V. L. B.; LIMA, V.; HAZIN, C. A.; FONSECA, C. K. L.; SANTOS, S. O. **Biodisponibilidade de metais-traço em sedimentos: uma revisão**. Brazilian Journal of Radiation Sciences, v.3, p.01-13, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277962188_Biodisponibilidade_de_Met_ais-traço_em_Sedimentos_Uma_Revisão. Acesso em: 20 de out. de 2020.
- SOUZA, Kamilla Costa; José Edilson dos Santos Júnior; Viviani Marques Leite dos Santos. **Estudo Prospectivo sobre o Uso da Técnica de Biorremediação para a Recuperação de Solos Contaminados por Derivados do Petróleo**. Cadernos de Prospecção – Salvador, v. 13, n. 3, p. 795-804, junho, 2020. <http://dx.doi.org/10.9771/cp.v13i3.33083>.
- SOUZA, Taylor Lima; Douglas Ramos Guelfi; André Leite Silva; André Baldansi Andrade; Wantuir Filipe Teixeira Chagas; Eduardo Lopes Cancellier. **Ammonia and carbon dioxide emissions by stabilized conventional nitrogen fertilizers and controlled release in corn crop**. Ciência e Agrotecnologia, 41(5):494-510, Sep/Oct. 2017, Lavras. Editora UFLA. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542017415003917>.