biorremediação de solos contaminados

**RESUMO**

**O presente trabalho teve como objetivo realizar um levantamento de dados a partir da revisão de bibliografias integrativa em artigos científicos publicados entre 1997 e 2017, a fim de relatar o estudo da biorremediação de solo contaminado e enfatizando a sua importância como uma biotecnologia simples e pouco danosa ao meio ambiente**. Diante desses levantamentos adquiridos pelos artigos, é necessário trazer informações sobre a importância das remediações biológicas para recuperação de áreas que sofrem por poluição, essas estão contaminadas por poluentes advindos das ações antrópicas negativas. O trabalho busca informar sobre o potencial biológico e despoluente da biorremediação e refletir para a melhoria da qualidade dos solos contaminados.

**Palavras-chave:** Biorremediação do solo; Poluição; Recuperação.

**ABSTRACT**

The purpose of this study was to collect data from the integrative bibliographies review in scientific articles published between 1997 and 2017, in order to report the study of contaminated soil bioremediation and emphasizing your importance as a simple and harmless biotechnology to the environment. Given these surveys acquired by the articles, it is necessary to bring information about the importance of biological remediation for recovery of areas suffering from pollution, these are contaminated by pollutants from negative anthropic actions. The study seeks to inform about the biological and cleansing potential of bioremediation and to reflect on the improvement of the quality of contaminated soils.

**Keywords**: Soil bioremediation; Pollution; Recovery.

1. INTRODUÇÃO

O meio ambiente é constantemente ameaçado pela intervenção do homem em seu meio natural, que por meio de suas intensas ações devastadoras, como construções de estradas e barragens, áreas para agricultura, pecuária e mineração que quando mal manejadas, podem propiciar o surgimento de áreas degradadas (BEZERRA; OLIVEIRA; PEREZ; ANDRADE; MENEGUELLI, 2006). Devido ao descontrolado e descomunal crescimento demográfico humano aliado à demanda por atividades industriais nas últimas décadas, os problemas que afetam o meio ambiente vêm se tornando cada vez mais correntes e graves (FREIRE, RENATO SANCHES; PELEGRINI, RONALDO; KUBOTA, LAURO; DURÁN, NELSON; ZAMORA, PATRÍCIO PERALTA, 2000).

O solo é um material indispensável para a vida na Terra, sua consistência suave, porosa e maleável disponibiliza a manutenção da vida no planeta (COELHO, MAURÍCIO RIZZATO; FIDALGO, ELAINE CRISTINA; SANTOS, HUMBERTO GONÇALVES DOS; BREFIN, MARIA DE LOUDES MENDONÇA SANTOS; PÉREZ, DANIEL VIDAL, 2013). Solos podem ser considerados como espaços naturais e suas propriedades advêm do ciclo natural da ação do clima e dos seres vivos sobre o material natural que sofre forças externas e sofre alterações em suas camadas ao longo do tempo (SOIL SURVEY STAFF, 1997). É reconhecida internacionalmente as propriedades existentes no solo e seu papel nos ciclos da Terra, assim como a necessidade de protegê-lo tendo em vista sua limitação (RODRIGUES E DUARTE, 2003). O solo, depois de ser contaminado, demora a ser recuperado, pois para que haja uma remediação e, portanto, uma recuperação para determinada área, os contaminantes devem ser extraídos e os nutrientes recuperados. Essa relação deriva das características químicas, físicas e biológicas que se encontram no solo e que permitem a existência para a desenvoltura e vida da atividade microbiota e das espécies vegetais (MENDES FILHO, 2010).

Apesar da forte presença de intervenção humana, os microrganismos conseguem, como um ato de autopreservação, degradar os contaminantes e os utilizá-los como fonte de energia. Isso mostra que esses seres podem ser usados para uma despoluição de solos contaminados (PEREIRA; FREITAS, 2012). Essa habilidade dos microorganismos de degradarem contaminantes presentes no ambiente levou ao desenvolvimento de uma técnica biotecnológica, denominada biorremediação. Segundo UETA; PEREIRA; SHUHAMA; CERDEIRA (1999), a biorremediação consiste em um processo de recuperação ambiental por meio de seres vivos, como os vegetais, fungos, bactérias ou enzimas. Eles são utilizados tecnologicamente para remediar um ambiente contaminado por poluentes que se fixam ao solo e o contaminam.

A biorremediação apresenta alta eficiência no combate aos poluentes, além de seu baixo custo financeiro, quando comparadas às técnicas químicas e físicas comumente aplicadas em áreas degradadas. Assim, essa técnica vem sendo empregada em escala comercial em vários países (BAMFORTH; SINGLETON, 2005). Neste contexto, essa pesquisa teve como objetivo realizar um levantamento de dados, a partir de revisão bibliográfica integrativa em artigos científicos, a fim de discutir um método de recuperação de áreas naturais afetadas por ações antropogênicas e seus produtos, os poluentes e contaminantes que se fixam ao solo, denominada como biorremediação, bem como, enfatizar a sua importância como uma biotecnologia simples e pouco danosa ao ambiente.

1. METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão integrativa da literatura, tendo com finalidade sintetizar resultados adquiridos a respeito do determinado tema proposto, biorremediação de solos, utilizando-se a base de dados do Google Academics; Research Gate; Scielo Library, entre outros, e artigos científicos datados entre os anos de 1997 e 2017. O levantamento bibliográfico do estudo levou em consideração as seguintes perguntas-problemas: Quais os principais contaminantes do solo? Como ocorre a biorremediação do solo?

A coleta de dados iniciou com a leitura do material selecionado e o registro das informações extraídas, para enfim organizar os dados obtidos em uma tabela composta por autores e ano de publicação, nome do artigo e a descrição do trabalho.

1. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos, pode-se verificar que a biorremediação pode ser aplicada no solo ou nas águas subterrâneas. Quando o tratamento é realizado acima do solo, em propriedades rurais, tanques, ou outros processos de tratamento, são chamados de “*ex situ*”.

Segundo Rodrigues e Duarte (2003), o solo pode ser entendido como a parte mais superficial da Terra. Esse material está ligado diretamente aos processos físico-químicos que ocorrem em sua superfície, que moldam sua composição, estado e forma através dos movimentos de decomposição, sedimentação e evolução (ROCHA, 2005).

Entre os processos que podem poluir o solo, pelo uso predatório e sem fiscalização, estão a extração de minérios, aterro de resíduos humanos conhecidos como “lixões” e o crescimento urbano sem planejamento e as atividades que provém disso como cemitérios em lugares impróprios, queimadas não naturais, vazamento de petróleo e derivados, dentre outros (RODRIGUES e DUARTE, 2003).

No solo, os componentes químicos que mais promovem sua contaminação são compostos agrotóxicos, que são produtos químicos conhecidos pelos problemas de saúde e contaminação ambiental decorrente de seus compostos tóxicos (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

O solo poluído tem a propriedade de causar muitos incômodos à saúde de todos ao seu redor, por conta de seus componentes contaminantes que estão diretamente lançados ao solo. Essa contaminação gera um enorme desequilíbrio nas cadeias alimentares, afetando todos os níveis tróficos diretamente ou indiretamente. Esses componentes podem afetar os seres produtores fotossintéticos, não os deixando se desenvolver, ou intoxicando suas propriedades alimentares, isso pode afetar sociedades humanas, causando fome, doenças e pânico para a vida humana. No que tange a vida selvagem, isso pode afetar consumidores primários como pequenos animais que servem de alimento para outros consumidores, esses serão seriamente afetados e podem migrar para áreas onde não se encontravam originalmente, causando interferências nas cadeias alimentares, o que pode causar extinções. As consequências desses poluentes lançados diretamente ao ambiente são extremamente destruidoras.

Como mencionado, as civilizações podem sofrer muito com a inutilidade do solo, não só como na falta de alimentos, como também nas doenças provenientes de alimentos contaminados e tóxicos. Entre os sintomas, há aqueles ligados ao sistema digestório, como náuseas, doenças dermatológicas e dores de cabeça. Doenças mais graves como câncer podem ocorrer dependendo do tipo de poluente encontrado no sítio (MISHARA; MOHAMMAD; ROYCHOUDHURY, 2015).

Considerando que a biotecnologia conhecida como biorremediação foi projetada para transformar um ambiente contaminado por ações humanas, e que sua capacidade de modificar condições ambientais para que microrganismos consigam transformar os componentes tóxicos e poluentes em energia para sua alimentação, sua eficiência em um material como o solo é conhecida (EPA, 2013). Na biorremediação, os contaminantes são utilizados como fonte de alimento para os microrganismos, assim podem crescer e se multiplicar gerando outros indivíduos que contribuirão para o processo de descontaminação (EPA, 2013).

Para análise dos diferentes tipos de biorremediação existentes que podem ser utilizados no solo, foi feita uma tabela para melhor compreensão e discussão. Com base de dados obtidos nos artigos científicos de cada autor, irá ser feito uma discussão sobre os tipos de biorremediação que cada autor utilizou ou citou em seus trabalhos com relação aos tipos de poluentes que cada um citou, ou um contaminante específico que age sobre uma determinada área, dentre outros. Além de discutir outros pontos sobre a remediação feita por organismos vivos apontados pelos autores, isto é, as consequências que cada conduzirá ao ambiente em que for utilizado e o que isso significará ao todo. Na Figura 1 estão apresentados, os autores analisados, o tipo de biorremediação utilizada pelo autor e o tema dos artigos analisados.

**Tabela 1.** Resultados da pesquisa relacionada a aplicação das técnicas de Biorremediação do solo.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Autores e ano de publicação | Tipo de biorremediação analisada | Tema do trabalho |
| GARBISU; ALKORTA, 2003. | Fitorremediação de solo | Descrever os conceitos básicos sobre o uso da biorremediação em solos poluídos por metais pesados. |
| COLLA et al., 2007. | Microrganismos  (Fungos) | Isolamento de fungos contaminados por herbicidas triazínicos e aproveitamento dos mesmos quanto à capacidade de sobreviver em local contaminado. |
| LUKIC et al., 2017. | Landfarming | Discutir a eficiência sobre o uso do landfarming como biorremediação |
| Perpetuo; Souza; Nascimento, 2011. | Microrganismos  (Atividade microbiana) | Discutir a utilização de bactérias modificadas geneticamente como biorremediação |

**Fonte:** Próprio autor.

Segundo GARBISU; ALKORTA (2003) sobre a utilização da fitorremediação, são utilizadas as plantas como maneira de biorremediação. Ela é muito eficiente em lugares poluídos com baixa concentração de metais, além de seu relativo baixo custo, apesar de ser ainda uma tecnologia nova e que precisa ser mais estudada, pois há dados importantes que ainda não são conhecidos pelas faltas de estudo, também enfatiza que ela poderia ser utilizada em lugares poluídos com uma área maior, onde outros métodos de despoluição deram errado. Além disso, autor aponta que a biorremediação é uma tecnologia nova e que precisa ser mais estuda para sua melhor utilização.

Segundo COLLA, LUCIANE MARIA; PRIMAZ, ANDREIZA LAZZAROTTO; LIMA, MARIELI DE; BERTOLIN, TELMA ELITA; COSTA, JORGE ALBERTO VIEIRA (2007) sobre a utilização de microrganismos como fungos selecionados em ambiente poluído por herbicidas triazínicos, esses herbicidas são compostos químicos utilizados na agricultura para controle de pragas. Alguns gêneros de fungos utilizados conseguiram sobreviver a 50 ppm de atrazine. Por meio de cultivo com atrazine, fungos foram selecionados e, posteriormente, foi analisado que podem ser usados contra herbicidas triazínicos.

Segundo LUKIC, BORISLAVA; PANICO, ANTONIO; HUGUENOT, DAVID; FABBRICINO, MASSIMILIANO; HULLEBUSCH, ERIC D.VAN; ESPOSITO, GIOVANNI (2017) sobre a utilização do landfarming como biorremediação, sua utilização é feita contra hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. Essa remediação natural ocorre por conta de resíduos biológicos que são degradados continuamente no solo, em sua camada superior**,** essa camada é revolvida periodicamente para que haja aeração. Sua abordagem é menos agressiva ao ambiente. Autor enfatiza que a tecnologia de biorremediação está crescendo potencialmente. Além de apontar o uso do landfarming contra LMW PAHs, por ser mais eficiente.

Segundo Perpetuo; Souza; Nascimento (2011) sobre a utilização de atividade microbiana como biorremediação, ele aponta as diversas comunidades microbianas no ambiente que podem remover os contaminantes com considerada eficiência, porém que é um processo lento e que os poluentes podem ser acumular nesse prazo e dificultar a recuperação ambiental, ele aponta os metais pesados como maiores agressores. O autor discute a modificação genética como um aperfeiçoamento para remediar os poluentes presentes no ambiente e sua popularização em estudos tecnológicos, porém ele alerta sobre as considerações éticas para que essa tecnologia seja liberada no ambiente.

De acordo com a análise dos artigos organizados na Tabela 1, foram verificadas as discussões dos tipos de biorremediação defendidos e discutidos pelos autores. Pode-se verificar que existem muitas opções para tratar uma determinada área afetada por atividades humanas negativas, tais como derramamento de óleo; petróleo e outras substâncias derivadas, agrotóxicos, metais pesados, etc. Dentre essas agressões tóxicas e poluentes ao solo, determinada remediação natural mencionada irá causar um efeito mais preciso, rápido, econômico, ou então menos agressivo ao meio ambiente.

O objetivo final de qualquer trabalho remediador envolvendo uma área degrada por poluentes, contaminantes tóxicos e agressivos é a de restaurar o equilíbrio natural perdido por causa dos poluentes, isto é, retornar o estado que o ambiente se encontrava antes de sua contaminação, isso também pode incluir para um reflorestamento para estabilizar o solo em tratamento (EPA, 1997).

De um modo geral, as modificações ambientais são extremamente danosas, e muitas vezes, seus danos são irreversíveis para a biodiversidade mundial. As modificações de origem antropogênica afetam e põem em perigo todas as formas de vida na Terra, dado que a taxa de extinção das espécies está aumentando extremamente rápido, em um período de tempo nunca antes registrado. Para que o planeta e também as formas de vida que dependem dele para viver não sejam ameaçadas, seria necessário que as comunidades humanas mudassem seu modo de vida predatório e consumista que põe em risco os recursos finitos da Terra. Essa mudança de valores deveria vir de um modo geral, atingido os sistemas econômicos que existem atualmente e, que não visam a proteção do meio ambiente; o modo de vida geral das comunidades, que muitas vezes não têm o conhecimento necessário sobre proteção ambiental, ou apresentam em seu intimo, uma ignorância enraizada em suas convicções sobre seu modo de vida e, que não engloba todas as outras formas de vida que coexistem ao seu lado. Caso mudanças significativas não sejam realizadas, grande parte da vida na Terra estará ainda mais ameaçada, e isso inclui a espécie humana (ANDREOLI, CLEVERSON VITÓRIO; ANDREOLI, FABIANA DE NADAI; PICCININI, CRISTIANE; SANCHES, ANDRÉA DA LUZ, [2017?]).

1. CONCLUSÃO

A revisão integrativa analisou e estudou os diferentes tipos de biorremediação que podem ser usados para despoluir contaminantes e poluentes que são encontrados no solo devido às ações antropogênicas negativas ao meio ambiente. Foi identificado que existem inúmeras formas de descontaminação usando remediações biológicas, tais como, compostagem; “landfarming”; fitorremediação de solo; biossurfactantes; utilização de microrganismos autóctones para menor agressão ao meio ambiente; utilização de diferentes microrganismos como atividade microbiana e suas enzimas, fungos e leveduras, entre outros.

Concluindo o exposto, as vantagens que são atribuídas a biorremediação são benéficas ao meio ambiente, econômicas, além de ser uma biotecnologia relativamente nova e que deveria ser mais utilizada do que outras remediações antigas, danosas ao meio ambiente, ou mais dispendiosas. Sugere-se que essas remediações para a descontaminação do mesmo sejam feitas o mais rápido possível, diante da necessidade que o ser humano tem de utilizar o solo, seja para moradia ou alimentação, além do papel do solo nos ciclos biológicos, químicos e físicos que acontecem na Terra.

**REFERÊNCIAS**

ANDREOLI, C. V.; ANDREOLI, F. N.; PICCININI, C.; SANCHES, A. L. Biodiversidade: A Importância Da Preservação Ambiental Para Manutenção Da Riqueza E Equilíbrio Dos Ecossistemas. Disponível em: <https://www.agrinho.com.br/site/wp-content/uploads/2014/09/28\_Biodiversidade.pdf>. Acesso em: 14 set. 2019

COELHO, M. R.; FIDALGO, E. C.; SANTOS, H. G.; BREFIN, M. L. M. S.; PÉREZ, D. V. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas. Disponível em: < https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94212/1/Ecossistema-cap3C.pdf >. Acesso em: 14 set. 2019

COLLA, L. M.; PRIMAZ, A. L.; LIMA, M.; BERTOLIN, T. E.; COSTA, J. A. V. Isolamento e seleção de fungos para biorremediação a partir de solo contaminado com herbicidas triazínicos. Disponível em: < http://www.scielo.br/pdf/cagro/v32n3/a16v32n3.pdf>. Acesso em: 14 set. 2019.

DINIS, A.; FRAGA, H. Poluição de solos: Riscos e consequências. Disponível em: < https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/574/1/49-54FCT2005-7.pdf>. Acesso em: 14 set. 2019.

EPA. Innovative Uses of Compost Bioremediation and Pollution Prevention. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/bioremed.pdf>. Acesso em: 14 set. 2019.

EPA. Introduction to In Situ Bioremediation of Groundwater. Disponível em: < https://www.epa.gov/sites/production/files/201504/documents/introductiontoinsitubioremediationofgroundwater\_dec2013.pdf>. Acesso em: 14 set. 2019

GARBISU, C.; ALKORTA, I. Basic concepts on heavy metal soil bioremediation. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/266292146\_Basic\_concepts\_on\_heavy\_metal\_soil\_bioremediation>. Acesso em: 14 set. 2019.

GAYLARDE, C. C.; BELLINASO, M. L.; MANFIO, G. P. Biorremediação. Disponível em: <http://www1.esb.ucp.pt/twt/olimpiadasbio07/MyFiles/MyAutoSiteFiles/FontesInformacao253906202/samorais/Biorremediacao.pdf>. Acesso em: 14 set. 2019

LEONEL, L. V.; NASCIMENTO, E. G.; BERTOZZI, J.; BÔAS, L. A. V.; BÔAS, G. T. V. Biorremediação do solo. Disponível em: < http://periodicos.unifil.br/index.php/Revistateste/article/view/257/258>. Acesso em: 14 set. 2019

LUKIC, B.; PANICO, A.; HUGUENOT, D.; FABBRICINO, M.; HULLEBUSCH, E. D.; ESPOSITO, G. A review on the efficiency of landfarming integrated with composting as a soil remediation treatment. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/316056074\_A\_review\_on\_the\_efficiency\_of\_landfarming\_integrated\_with\_composting\_as\_a\_soil\_remediation\_treatment>. Acesso em: 14 set. 2019.

MISHRA, R. K.; MOHAMMAD, N.; ROYCHOUDHURY, N. Soil pollution: Causes, effects and control. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/289281444\_Soil\_pollution\_Causes\_effects\_and\_control>. Acesso em: 14 set. 2019.

PEREIRA, A. R. B.; FREITAS, D. A. F. Uso De Microorganismos Para A Biorremediação De Ambientes Impactados. Disponível em: < https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/4818/2993>. Acesso em: 14 set. 2019.

PERPETUO, E. A.; BARBIERI, C.; NASCIMENTO, C. A. O. Engineering Bacteria for Bioremediation. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/221914160\_Engineering\_Bacteria\_for\_Bioremediation>. Acesso em: 14 set. 2019.

SOARES, I. A.; FLORES, A. C.; MENDONÇA, M. M.; BARCELOS, R. P.; BARONI, S. Fungos Na Biorremediação De Áreas Degradadas. Disponível em: < http://www.biologico.sp.gov.br/uploads/docs/arq/v78\_2/soares.pdf>. Acesso em: 14 set. 2019.

STEFFEN, G. P. K.; STEFFEN, R. B.; ANTONIOLLI, Z. I. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas. Disponível em: < https://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/view/2016>. Acesso em: 14 set. 2019