



**Biorremediação de solos contaminados por pesticidas: uma revisão
integrativa da literatura**

***Bioremediation of pesticide-contaminated soils: an integrative literature
review***

Antônio Rony da Silva Pereira Rodrigues

Universidade Estadual do Ceará

<https://orcid.org/0000-0002-8980-6451>

ronny346silva@gmail.com

Luís Henrique Vieira Lima Zacarias

Instituto Federal da Paraíba - Campus Sousa

<https://orcid.org/0000-0002-4445-6830>

luishvlz12@gmail.com

Resumo

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, acompanhados do aumento também da produção de alimentos. Esta revisão foi realizada através da busca dos trabalhos entre os meses de junho a agosto de 2021, em 3 bases de dados: LILACS, PubMed e ScienceDirect, considerando os seguintes critérios de inclusão: artigos publicados entre 2016 a 2021, em qualquer idioma, que estivessem disponíveis na íntegra e que respondessem ao objetivo do estudo. Com o objetivo de identificar quais são os meios mais utilizados para biorremediação de solos contaminados por pesticidas. No levantamento bibliográfico foram obtidos 1.317 artigos. Destes, 12 foram coletados na LILACS, 1.277 na Science Direct e 38 na PubMed. De modo geral, foi possível comprovar que as técnicas de biorremediação demonstram-se como alternativa viável na descontaminação de solos poluídos por pesticidas, por ser de baixo custo de implementação, e menor risco ambiental do que as técnicas de limpeza que envolvem processos físicos e químicos.

Palavras-chave: Biorremediação; Agrotóxicos; Solo; Tecnologias combinadas.

Abstract

In recent decades, environmental problems have become increasingly critical and frequent, mainly due to the unrestrained population growth and the increase in industrial activity, accompanied by the increase in food production as well. This review was carried out by searching for works between the months of June to August 2021, in 3 databases: LILACS, PubMed and ScienceDirect, considering the following inclusion criteria: articles published between 2016 to



2021, in any language, which available in full and that responded to the objective of the study. In order to identify which are the most used means for bioremediation of soil contaminated by pesticides. In the bibliographic survey, 1,317 articles were obtained. Of these, 12 were collected from LILACS, 1,277 from Science Direct and 38 from PubMed. In general, it was possible to prove that bioremediation techniques are a viable alternative in the decontamination of soils polluted by pesticides, as they have a low implementation cost and lower environmental risk than cleaning techniques that involve physical and chemical processes.

Keyword: Bioremediation; Pesticides; Soil; Combined technologies.

1 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. Com estes elementos, os problemas devido à ação antrópica têm atingido dimensões catastróficas, podendo ser observados por meio de alterações na qualidade do solo, do ar e da água (KUNZ et al, 2002). Devido ao crescimento populacional, o consumo de alimentos consequentemente cresceu e para acompanhar esse crescimento a ciência teve que procurar novos meios e tecnologias para produzir alimentos maiores e em maior escala.

O principal meio foi produzir alimentos mais resistentes as pragas ou combater as pragas agrícolas através de defensivos químicos, os agrotóxicos. Os agrotóxicos, chamados também de defensivos agrícolas, biocidas, agroquímicos, agrotóxicos produtos fitossanitários, praguicidas e pesticidas são agentes constituídos por uma grande variedade de compostos químicos ou biológicos, desenvolvidos para eliminar, combater, repelir ou controlar insetos (ABRASCO,2019).

A Organização Mundial da Saúde (WHO, 2017), definiu um pesticida como um composto químico usado para matar pragas, incluindo insetos, roedores, fungos e plantas indesejáveis.

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), definiu um pesticida como qualquer substância ou mistura de substâncias que buscam prevenir, destruir ou controlar uma praga, incluindo vetores de doenças em humanos ou animais, de ervas daninhas ou animais que causam danos direto ou indiretamente no processo de produção, processamento, armazenamento ou comercialização de alimentos, produtos agrícolas, madeira e produtos de madeira ou alimentos para animais, ou que

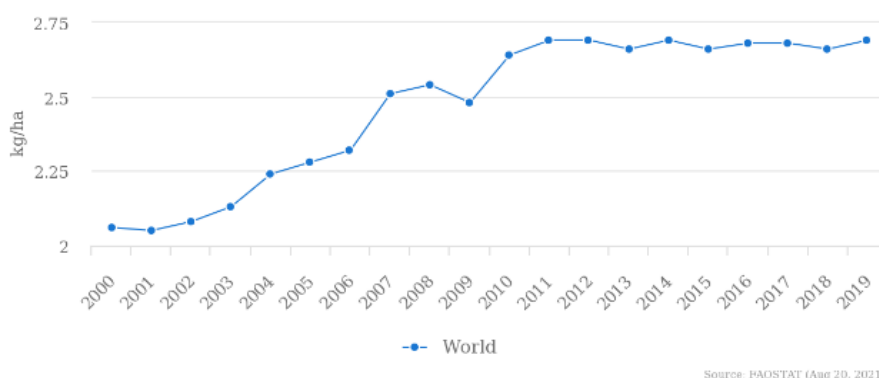


podem ser administrados a animais para o controle de insetos, aracnídeos ou outras pragas (FAO, 2021).

Os 14 pesticidas mais utilizados a nível mundial atualmente são 2,4-D, Aldicarbe, Atrazina, Clorotalonil, Clorpirifós, Diazinon, Dicamba, Diuron, Glifosato, Malathion, Mancozeb, MCPA, Metolacoloro e Trifluralina. Os produtos agrícolas foram classificados em quatro grupos: grãos (milho, trigo e arroz), hortaliças (tomate, cebola e batata), frutas (maçã, banana, uva e laranja), e bebidas (grãos de café e folhas de chá), sendo estas as culturas onde mais se utilizam agrotóxicos, segundo o Global MRL Database (2014).

No Brasil, dos dez princípios ativos mais utilizados, três são proibidos na União Europeia (acefato, atrazina e paraquate), mas são de uso autorizado nos Estados Unidos, Japão, China e nos demais países do Mercosul. Estes agrotóxicos respondem por cerca de 70% do total utilizado no Brasil: glifosato; 2,4-D; mancozebe; acefato; óleo mineral; atrazina; óleo vegetal; paraquate (dicloreto); imidacloprido; e oxicloreto de cobre (ANVISA, 2018; PAN CONSOLIDATED, 2018).

Figura 1: Pesticidas - Uso médio por área de cultivo no mundo (2000 – 2019).



Fonte: FAO, 2021.

Uma nova regularização para agrotóxicos foi formulada no ano de 2019 pela Anvisa (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). A reclassificação foi necessária, pois com o novo marco regulatório do setor, o Brasil passou a adotar os parâmetros de



classificação toxicológica de agrotóxicos com base nos padrões do Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals – GHS). Com isso, o Brasil passou a ter regras harmonizadas com as de países da União Europeia e da Ásia, entre outros, facilitando a comercialização de produtos nacionais no exterior (GILSON et al., 2020).

A classificação feita pela ANVISA (2019) em função da toxicidade aguda agora é determinada e identificada com os respectivos nomes das categorias e cores no rótulo dos produtos, de acordo com o estabelecido abaixo:

Categoria 1: Produto Extremamente Tóxico – faixa vermelha.

Categoria 2: Produto Altamente Tóxico – faixa vermelha.

Categoria 3: Produto Moderadamente Tóxico – faixa amarela.

Categoria 4: Produto Pouco Tóxico – faixa azul.

Categoria 5: Produto Improvável de Causar Dano Agudo – faixa azul.

Não Classificado – Produto Não Classificado – faixa verde

Devido aos altos níveis de toxicidade dos agrotóxicos, muitos causam sérios problemas ao meio ambiente e a saúde humana, um dos processos para diminuição da presença de agentes contaminantes no solo é a biorremediação. Biorremediação é um processo em que organismos, normalmente plantas, microrganismos ou suas enzimas, são utilizados para remover ou reduzir poluentes do ambiente (PEREIRA; FREITAS, 2012).

A biorremediação vem sendo desenvolvida visando explorar a diversidade genética e a versatilidade metabólica microbiana para a transformação de contaminantes, em produtos menos tóxicos, que podem ser integrados nos ciclos biogeoquímicos naturais (UETA et al., 1999). Às vezes, para uma degradação eficiente requer a remoção do material contaminado para outros locais (*ex situ*) nesses casos se usam as técnicas de landfarming, biopilhas e o tratamento em biorreatores. Quando o contaminante não necessita de remoção (*in situ*), frequentemente é necessário acrescentar substâncias para efetivar atividade dos microrganismos ou inserir no local microrganismos alóctones.

Os microrganismos não possuem todas as rotas enzimáticas catabólicas capazes de degradar todos os compostos novos que os seres humanos sintetizam e



despacham no meio. Quanto mais próxima é a estrutura química de um xenobiótico a moléculas naturais, maior a chance de sucesso na biorremediação (FRANSCISCO; QUEIROZ, 2018).

A degradação pode ocorrer por meio do metabolismo de respiração aeróbia ou anaeróbia. Assim, para que ocorra a biodegradação completa ou a mineralização, o composto original precisa ser oxidado formando dióxido de carbono e água, ocorrendo assim à produção de energia que é utilizada na síntese de biomassa (MUCETA, 2012). As bactérias, fungos e enzimas estão entre os principais biorremediadores e, recentemente até mesmo minhocas também estão sendo usadas como auxiliares na descontaminação, principalmente em solos. Esse trabalho vem com o objetivo de identificar quais são os meios mais utilizados para biorremediação de solos contaminados por pesticidas.

2 Metodologia

Trata-se de uma revisão integrativa de literatura (RI). A revisão de literatura é indispensável não somente para definir bem o problema, mas também para obter uma ideia precisa sobre o estado atual dos conhecimentos sobre um dado tema, as suas lacunas e a contribuição da investigação para o desenvolvimento do conhecimento (BENTO, 2012).

De modo geral, a pesquisa foi realizada obedecendo 5 fases: 1- identificação do problema e elaboração da questão norteadora; 2- busca e seleção das publicações; 3- avaliação dos dados; 4- análise dos dados e; 5- apresentação dos resultados.

Levando em conta o objetivo do estudo, foi levantado o seguinte questionamento: quais são as principais tecnologias em biorremediação utilizados na descontaminação de solos contaminados por agrotóxicos?

Na segunda etapa, a busca dos estudos foi realizada entre os meses de junho e agosto de 2021, em 3 bases de dados: LILACS (Literatura Latino-americana e do Caribe em Ciências da Saúde), PubMed (Central: PMC- National Library of Medicine National Institutes of Health) e ScienceDirect. A busca de artigos foi realizada através dos termos: “*bioremediation*” and “*decontamination*” and “*pesticides*”, junto ao operador booleano *and*.



Para o desenvolvimento da pesquisa foram aplicados os seguintes critérios de inclusão: artigos publicados entre 2016 a 2021, em qualquer idioma, que estivessem disponíveis na íntegra e que respondessem o objetivo do estudo. Os critérios de exclusão foram: artigos repetidos, artigos incompletos, resumos de trabalhos, trabalhos publicados em anais de eventos, resenhas de livros e artigos que não respondiam o questionamento da RI.

A princípio, os trabalhos foram selecionados com base no título e resumo. Em seguida, foi feita a leitura completa dos textos, para averiguar se os trabalhos respondiam à pergunta norteadora.

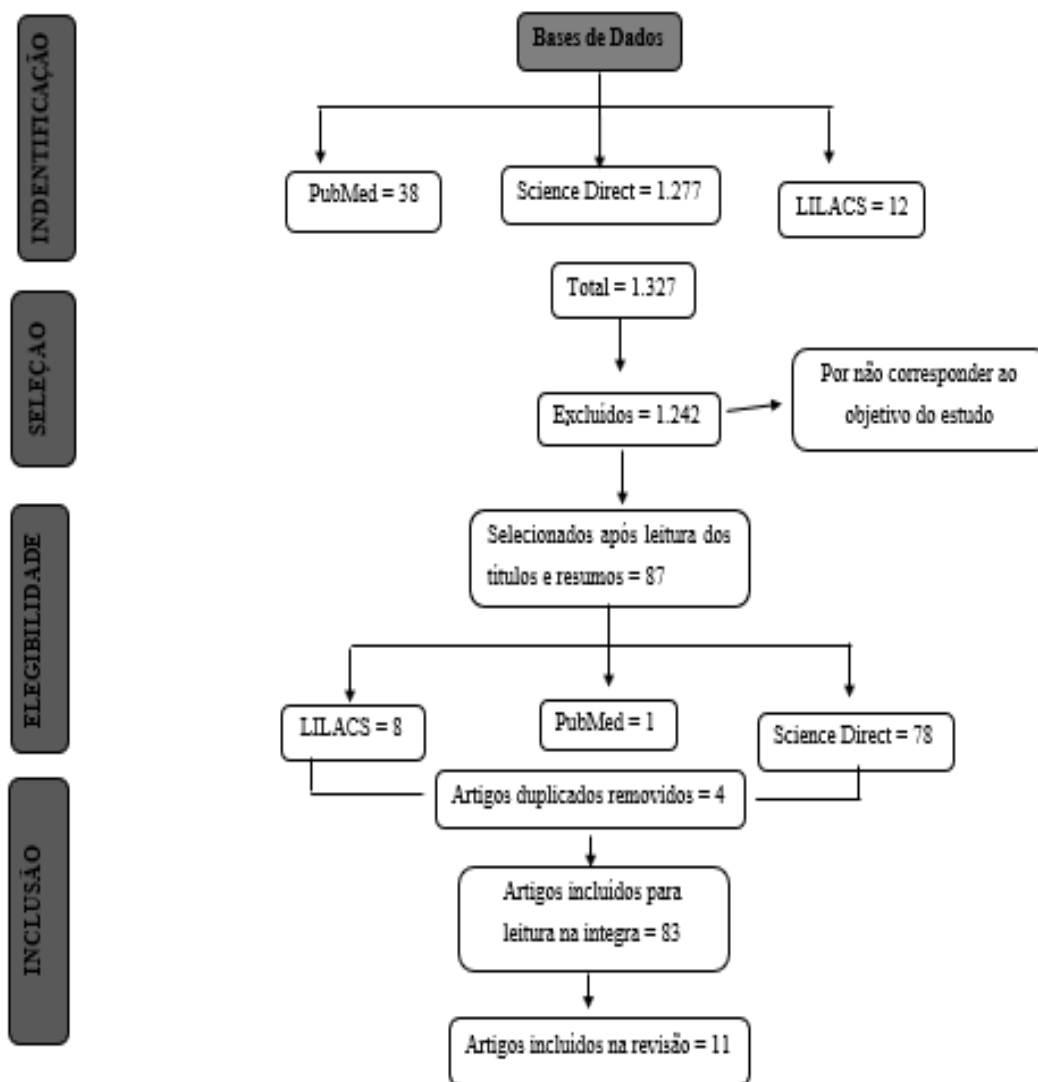
3 Resultados e Discussão

No levantamento bibliográfico foram obtidos 1.317 artigos. Destes, 12 foram coletados na LILACS, 1.277 na Science Direct e 38 na PubMed. Foi feita a leitura minuciosa dos títulos e resumos dos trabalhos, após a leitura de títulos e resumos 87 artigos foram selecionados para a próxima etapa. Todavia foram removidos 4 artigos por apresentarem duplicação. Sendo assim, 83 trabalhos foram lidos minuciosamente na íntegra, onde 11 responderam os objetivos do estudo e foram incluídos na amostra final da revisão. Enquanto aos anos de publicações dos trabalhos, houve uma predominância de artigos publicados no ano de 2021. 2020, 2017 e 2016 foram os anos com menor número de publicações, seguidos de 2018 e 2019 com nenhuma publicação. Os passos para realização do estudo estão descritos na figura 2.

Após a leitura dos títulos, resumos e dos artigos na íntegra, 11 trabalhos foram incluídos na revisão final, os demais artigos foram excluídos por não terem sido publicados entre 2016 a 2021, não responderem o objetivo da revisão, artigos repetidos, artigos incompletos, resumos de trabalhos, trabalhos publicados em anais de eventos, resenhas de livros. Os artigos incluídos na revisão responderam a todos os critérios de inclusão e estão detalhados na tabela 1.



Figura 2: Fluxograma de seleção dos trabalhos que integram a amostra



Fonte: Própria, 2021.



Tabela 01- Caracterização dos estudos incluídos na RI.

Autor, ano	Tipo de estudo	Periódico	Contaminante	Biorremediador
2021				
Pedroso Monteiro <i>et al.</i> , 2021	Artigo de Pesquisa	EFB Bioeconomy Journal	Organofosforados	Nanopartículas magnéticas
Sarker Aniruddha <i>et al.</i> , 2021	Artigo de Revisão	Environmental Technology & Innovation	NR	Enzimas catalíticas: lacase e peroxidase
Fdez-Sanromán Antía <i>et al.</i> , 2021	Artigo de revisão	Current Opinion in Electrochemistry	Contaminantes orgânicos	Lavagem eletrocinética do solo
Zhao Sumao <i>et al.</i> , 2021	Artigo de Pesquisa	Bioresource Technology	Organofosforados	<i>Azohydromonas australica</i>
Urionabarrene txea Erik <i>et al.</i> , 2021	Artigo de Pesquisa	Science of The Total Environment	Dieldrin	Plantas + bactérias + minhocas
Nurzhanova, Asil <i>et al.</i> , 2021	Artigo de Pesquisa	International Journal of Phytoremediation	Diclorodifeniltricloroetano	<i>Bacillus vallismortis</i> e <i>Bacillus aryabhatai</i>
2020				
Morillo, E. <i>et al.</i> , 2020	Artigo de Pesquisa	International Journal of Pharmaceutics	NR	Ciclodextrinas
A.Saleh Iman <i>et al.</i> , 2020	Artigo de Revisão	Environmental Technology & Innovation	Organoclorados	Limpa de ferro
Santillan, J Y <i>et al.</i> , 2020	Artigo de Pesquisa	Biodegradation	Organofosforados (metil paraoxon, metilparati on e clorpirifós)	<i>Streptomyces phaeochromogenes</i> , <i>Streptomyces setonii</i> e <i>Arthrobacter oxydans</i>
Ahmad Shahzad Khuram, 2020	Artigo de Pesquisa	Folia Microbio	Organoclorado endossulfan	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Aspergillus niger</i> , <i>Aspergillus flavus</i> e <i>Penicillium chrysogenum</i>
2019				
2018				
2017				
Alvarez Analia <i>et al.</i> , 2017	Artigo de revisão	Chemosphere	NR	Actinobactérias
Villaverde, J <i>et al.</i> , 2017	Artigo de Pesquisa	Chemosphere	Feniluréia diuron	Consórcios microbiano isolados
Cecchin Iziquiél <i>et al.</i> , 2017	Artigo de Pesquisa	International Biodeterioration & Biodegradation	Organoclorados	Nanopartículas de ferro
Su Fu-Hsiang <i>et al.</i> , 2017	Artigo de Pesquisa	Chemical Engineering Journal	Organofosforado	Hidrolase de ligação de celulose
Lizano-Fallas Verónica <i>et al.</i> , 2017	Artigo de Pesquisa	Chemosphere	Triazínicos (atrazina / terbutilazina / terbutryn) e (clorpirifós)	<i>Trametes versicolor</i>
2016				
Javaid, Muhamma Kashif <i>et al.</i> , 2016	Artigo de Revisão	Scientifica	Carbendazim	<i>Sphingobium japonicum</i>

(*NR-Não Relatado)

Fonte: Dados da pesquisa

Uma variedade de organismos está envolvida na degradação de pesticidas e o resultado tem sido um sucesso. Os organofosforados classe de pesticidas dada pela OMS como a com maior toxicidade, também foram degradados pelos microrganismos (SARKER *et al.*, 2021; MORILLO *et al.*, 2020; SALEH *et al.*, 2020). Observou-se que os principais pesticidas que contaminam o solo são da classe dos organofosforados e



organoclorados, e apesar de serem contaminantes de alto nível de toxicidade, bactérias como *Streptomyces phaerchromogenes*, *Streptomyces setonii*, *Nocardia corynebacterioides*, *Nocardia asteroides* e *Artrrobacter axydans*, (SANTILLAN et al., 2020), além da bactéria *Azohydromonas australica* (ZHAO, 2021) que atuam como biorremediadores eficientes contra essas classes de pesticidas.

Apesar das novas tecnologias aplicadas para biorremediação como: nanopartículas de ferro (CECCHIN et al., 2017); hidrolase de ligação de celulose (SU et al., 2017); associação de plantas, bactérias e minhocas (URIONABARRENETXEA et al., 2021); nanopartículas magnéticas (PEDROSO et al., 2021) e lavagem eletrocínica do solo (FDEZ-SANROMÁN et al., 2021), as principais tecnologias para biorremediação do solo estão voltadas ao uso de microrganismo vivos, uso de bactérias, fungos e enzimas principalmente.

Estudos de Ahmad (2017) mostraram que o uso de *Bacillus subtilis*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus* e *Penicillium chrysogenum*, atuam como biorremediador eficaz contra o pesticida organoclorado endosulfan, comumente usados em lavouras de café e soja e classificado como extremamente tóxico a saúde humana, animal e ao meio ambiente. Estudos de Lizano et al. (2017), Villaverde et al. (2017) e Javaid et al. (2016) utilizando *Trametes versicolor*, consórcios microbiano isolados e *Sphingobium japonicum*, demonstram eficiência alta contra os pesticidas triazínicos, feniluréia diuron e carbendazim, respectivamente. Autores relatam o uso de bactérias gram-positivas, filamentosas, aeróbias, com predominância no solo (Actinobactérias) (ALVAREZ et al., 2017) e *Bacillus vallismortis* e *Bacillus abhattai* para degradação de diclorodifeniltricloroetano (NURZHANOVA et al., 2021). Consequentemente, o processo de biorremediação foi acelerado pelo uso de tais organismo. Muitas são as tecnologias aplicadas para degradação de pesticidas no solo, com a biorremediação *in situ* ou *ex situ*, ambas se aplicam bem a diminuição de compostos contaminantes em associação com microrganismo ou em maquinário.

4 Considerações Finais

Após a análise dos resultados desta RI, foi possível comprovar que as técnicas de biorremediação demonstram uma alternativa viável na descontaminação de solos



poluídos por pesticidas, apresentando, na maioria das vezes, baixo custo de implementação, e menor risco ambiental do que técnicas de limpeza que envolvem processos físicos e químicos. Um resumo desses achados na presente revisão indicou que diversos gêneros de fungos, bactérias e enzimas estão envolvidos na biodegradação de diferentes pesticidas.

A biodegradação dos pesticidas não parece ser conservada para nenhum gênero ou espécie específica. Quanto aos poluentes, quando necessária, a retirada dos agrotóxicos deve levar em consideração as características químicas e toxicológicas dos compostos, sem descumprir a legislação. Para tanto, deve-se destacar que vários países ainda carecem de atos legislativos, sendo este o principal inconveniente quando áreas poluídas devem ser remediadas.

Referências

ABRASCO - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SAÚDE COLETIVA. Parecer Técnico sobre processo de reavaliação do ingrediente ativo de agrotóxico glifosato utilizado na agricultura e como produto domissanitário. Associação Brasileira de Saúde Coletiva, Grupo Temático Saúde e Ambiente, 20/06/2019. Disponível em <https://www.abrasco.org.br/site/wp-content/uploads/2019/06/Parecer-tecnico-glifosato-GTSA-26_06_2019-1.pdf>

ALVAREZ, A.; SAEZ, J. M.; COSTA, J. S. D.; COLIN, V. L.; FUENTES, M. S.; CUOZZO, S. A.; BENIMELI, C. S.; POLTI, M. A.; AMOROSO, M. J. Actinobacteria: current research and perspectives for bioremediation of pesticides and heavy metals. **Chemosphere**, v. 166, p. 41-62, 2017. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653516312607>>

AHMAD, K. S. Remedial potential of bacterial and fungal strains (*Bacillus subtilis*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus* and *Penicillium chrysogenum*) against organochlorine insecticide Endosulfan. **Folia microbiologica**, v. 65, n. 5, p. 801-810, 2020. Disponível em <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12223-020-00792-7>>

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Listas de ingredientes ativos com uso autorizado e banidos no Brasil. Anvisa, 20 jan. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2WD8grj>>.

BENTO, A. Como fazer uma revisão da literatura: Considerações teóricas e práticas. **Revista JA (Associação Acadêmica da Universidade da Madeira)**, v. 7, n. 65, p. 42-44, 2012. Disponível em <<http://www3.uma.pt/bento/Repositorio/Revisaodaliteratura.pdf>>

CECCHIN, I.; REDDY, R. K.; THOMÉ, A.; TESSARO, E. F.; SCHNAID, F. Nanobioremediation: Integration of nanoparticles and bioremediation for sustainable



remediation of chlorinated organic contaminants in soils. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 119, p. 419-428, 2017. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096483051630453X>>

FAO – UNITED NATIONS FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS, 2021 Disponível em <<http://www.fao.org/faostat/en/?#data/EP/visualize>>

FDEZ-SANROMÁN, A.; PAZOS, M.; ROSALES, E.; SANROMÁN, M. A. Prospects on integrated electrokinetic systems for the decontamination of soil polluted by organic contaminants. **Current Opinion in Electrochemistry**, p. 100692, 2021. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2451910321000065>>

FRANCISCO, W. C.; QUEIROZ, T. M. Biorremediação. **Nucleus**, v. 15, n. 1, p. 249, 2018. Disponível em <<https://www.nucleus.feituverava.com.br/index.php/nucleus/article/view/1700>>

GLOBAL MRL – Global Database. Agricultural Commodities Pesticide MRLs. Disponível em <<http://www.mrldatabase.com/>>

GILSON, I. K.; ROCHA, G. L.; DA SILVA, V. R. M.; WAMMES, S. W.; LEITE, G. S.; WELTER, T.; RADÜNZ, L. A.; CABRERA, C. L. Agrotóxicos liberados nos anos de 2019-2020: Uma discussão sobre a uso e a classificação toxicológica. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 49468-49479, 2020. Disponível em <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/13653>>

JAVAID, M. K.; ASHIQ, M.; TAHIR, M. Potential of biological agents in decontamination of agricultural soil. **Scientifica**, v. 2016, 2016. Disponível em <<https://www.hindawi.com/journals/scientifica/2016/1598325/>>

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N. Novas Tendências nos tratamentos de Efluentes Têxteis. **Química Nova**, V.25, n.1, p.78-82, 2002. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/qn/a/WZkZzMz4JLhpmxvBq5GfPqB/?format=pdf&lang=pt>>

LIZANO-FALLAS, V; MORA, M. M.; VILLALOBOS, D. E. ; BRENES, L. M.; RODRÍGUEZ, C. R. E. Removal of pesticides and ecotoxicological changes during the simultaneous treatment of triazines and chlorpyrifos in biomixtures. **Chemosphere**, v. 182, p. 106-113, 2017. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653517306896>>

MORILLO, E.; MADRID, F.; LARA-MORENO, L. A.; VILLAVERDE, J. Soil bioremediation by cyclodextrins. A review. **International Journal of Pharmaceutics**, p. 119943, 2020. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378517320309285>>

MUTECA, F. L. L.; Biorremediação de solo contaminado com óleo cru proveniente de Angola. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Programa em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, **Universidade Federal do Rio de Janeiro**,



Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: < <http://tpqb.eq.ufrj.br/download/biorremediacao-de-solocontaminado-com-oleo-cru.pdf>>

NURZHANOVA, A.; MUKASHEVA, T.; BERZHANOVA, R.; KALUGIN, S.; OMIRBEKOVA, A.; MIKOLASCH, A. Optimization of microbial assisted phytoremediation of soils contaminated with pesticides. **International Journal of Phytoremediation**, v. 23, n. 5, p. 482-491, 2021. Disponível em < <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15226514.2020.1825330> >

PAN CONSOLIDATED list of banned pesticides. Pesticide Action Network International, 2018. Disponível em: < <https://bit.ly/2g5P1Tu>>.

PEDROSO, M. Monteiro.; HINE, D.; HAHN, S.; MONIKA, C. W., DIEGEL, J.; GAHAN, L.; SCHENCK, G. Pesticide degradation by immobilised metalloenzymes provides an attractive avenue for bioremediation. **EFB Bioeconomy Journal**, v. 1, p. 100015, 2021. Disponível em < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266704102100015X> >

PEREIRA, A, R, B; DE FREITAS, D, A, F. Uso de micro-organismos para a biorremediação de ambientes impactados. **Revista eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 6, p. 975 – 1006. 2012. Disponível em <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/4818> >

SALEH, I. A.; ZOUARI, N; AL-GHOUTI, M. A. Removal of pesticides from water and wastewater: Chemical, physical and biological treatment approaches. **Environmental Technology & Innovation**, p. 101026, 2020. Disponível em < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186420313262> >

SANTILLAN, J. Y.; MUZLERA, A., LEWKOICZ, E.S.; IRIBARREN, A. M. Microbial degradation of organophosphorus pesticides using whole cells and enzyme extracts. **Biodegradation**, v. 31, n. 4, p. 423-433, 2020. Disponível em < <https://link.springer.com/article/10.1007/s10532-020-09918-7> >

SARKER, A.; NANDI, R.; KIM, J. E.; ISLAM, T. Remediation of chemical pesticides from contaminated sites through potential microorganisms and their functional enzymes: Prospects and challenges. **Environmental Technology & Innovation**, p. 101777, 2021. Disponível em < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352186421004259>>

SU, F. H.; TABANAG, I. G. F.; WU, C. Y.; TSHAI, S. L. Decorating outer membrane vesicles with organophosphorus hydrolase and cellulose binding domain for organophosphate pesticide degradation. **Chemical Engineering Journal**, v. 308, p. 1-7, 2017. Disponível em < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894716312815> >

UETA, J.; PEREIRA, N. L.; SHUHAMA, I. K.; CERDEIRA, A. L. Biodegradação de herbicidas e biorremediação: microrganismos degradadores do herbicida atrazina. **Biotecnologia**, Brasília, v. 10, p. 10-13, 1999. Disponível em < http://www.rsa.ind.br/midia/biodegrada%E7%E3o_biorremedia%E7%E3o.pdf >

URIONABARRENETXEA, E.; NEREA, G. C.; ANZA, M.; ARTETXE, U.; LACALLE, R.; GARBISU, C.; BERECELL, T.; SOTO, M. Application of in situ bioremediation strategies in



soils amended with sewage sludges. **Science of The Total Environment**, v. 766, p. 144099, 2021. Disponível em <
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720376300> >

VILLAVERDE, J.; BELLIDO, M. R.; MORENO, L. A.; MERCHAN, A. F., MORILLO, E. Combined use of microbial consortia isolated from different agricultural soils and cyclodextrin as a bioremediation technique for herbicide contaminated soils. **Chemosphere**, v. 193, p. 118-125, 2017. Disponível em <
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653517317587#!> >

WHO - World Health Organization. Health Topics: Pesticides. Disponível em <
<http://www.who.int/topics/pesticides/en/>>

ZHAO, S.; WEI XU.; WENLI,Z.; HAO,W.; CUIE,G.; WANMENG, M. In-depth biochemical identification of a novel methyl parathion hydrolase from *Azohydromonas australica* and its high effectiveness in the degradation of various organophosphorus pesticides. **Bioresource Technology**, v. 323, p. 124641, 2021. Disponível em <
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852420319155>>