

Avaliação da importância do uso de microrganismos na biodegradação de agrotóxico aplicados na agricultura – uma revisão

Evaluation of the importance of the use of microorganisms in the biodegradation of pesticides applied in agriculture - a review

Mayane Conceição Pena de Oliveira¹, Lindomar Cordeiro Antunes de Araújo¹, Margarida Carmo de Souza¹, Luiz Pereira da Costa^{2*}

RESUMO

Este trabalho visa revisar a importância do estudo da degradação dos agrotóxicos com a participação de microrganismos selecionados do solo. Esta pesquisa consistiu em uma revisão bibliográfica, aplicada de janeiro a fevereiro de 2022. A estratégia que foi utilizada para a seleção dos artigos foi a consulta manual em listas de referências, com base nas palavras chaves que foram escolhidas (microrganismos, degradação/biorremediação e herbicida). Os métodos utilizados foram qualitativos, quantitativos e exploratórios. O escopo deste trabalho inclui quatro bancos de dados: Google Acadêmico; Scopus Elsevier; Scielo; e Science Direct. A primeira parte da análise bibliográfica apresenta uma visão geral dos trabalhos científicos que compuseram a conferência das bases eletrônicas selecionadas. Na segunda parte da análise, foi realizada a seleção de 24 artigos no total e 8 de cada plataforma escolhida.

Palavras-chaves: Herbicida; Microrganismo; Degradação.

ABSTRACT

This work aims to review the importance of studying the degradation of pesticides with the participation of selected soil microorganisms. This research consisted of a bibliographical review, applied from January to February 2022. The strategy that was used for the selection of articles was manual consultation in reference lists, based on the keywords that were chosen (microorganisms, degradation/bioremediation and herbicide). The methods used were qualitative, quantitative and exploratory. The scope of this work includes four databases: Google Scholar; Scopus Elsevier; Scielo; and ScienceDirect. The first part of the bibliographical analysis presents an overview of the scientific works that made up the conference of the selected electronic databases. In the second part of the analysis, a total of 24 articles were selected and 8 from each chosen platform.

Keywords: Herbicide; Microorganism; Degradation

¹Universidade Federal do Amazonas

² Universidade Federal de Sergipe

*lupeco7@hotmail.com (e-mail do autor de correspondência)

INTRODUÇÃO

Apesar dos herbicidas não serem especificamente projetados para alterar os microrganismos do solo, tais compostos apresentam capacidade de causar efeitos diretos ou indiretos em atividades da comunidade microbiana. Mediante isso, de um modo geral, os microrganismos mostram uma relação dose-resposta à exposição de xenobióticos, sendo essa resposta dependente do tipo de formulação do composto (formulação comercial ou puro), concentração e tempo de exposição (CROUZET et al., 2010).

O comportamento dos herbicidas agrícolas pode ser influenciado por diversos processos. Isso ocorre pela capacidade destas substâncias químicas promoverem impactos nos diferentes compartimentos ambientais (por exemplo, solo e água), dos quais, podemos citar alguns desses processos como: a sorção, lixiviação, volatilização, fotodegradação, degradação química e/ou microbiológica, escoamento superficial e a absorção pelas plantas (AL-MAMUN, 2017).

Dentre os processos que influenciam a sua respectiva permanência no ambiente, a degradação microbiológica, também conhecida como uma forma de biorremediação, que minimiza os impactos causados, é de grande relevância científica. Os organismos vivos, tais como microrganismos são usados na biodegradação dos compostos xenobióticos (compostos constituídos por moléculas estranhas ao ambiente natural, ou em concentrações maiores que as encontradas em solos não contaminados), visando a sua erradicação, redução ou transformação em substâncias menos tóxicas (LEONEL *et al.*, 2018).

A biodegradação ou biorremediação é de fundamental importância na redução dos níveis de resíduos dos defensivos agrícolas nos solos, que além dos impactos ao meio ambiente, podem causar danos à saúde humana (LOPES et al., 2018; KIM et al., 2017). Na degradação, a estrutura destes compostos é transformada com a quebra das suas moléculas, de forma biótica ou abiótica, tornando-as, na maioria dos casos, menos tóxicas que as moléculas originais (FENNER et al., 2013).

Existem diversos microrganismos que apresentam potencial metabólico, que são utilizados nos processos de degradação, dentre eles, gêneros de bactérias como *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Enterobacter*, *Proteus*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Streptomyces*, *Nocardia* e de fungos como *Mucor*, *Fusarium*, *Chaetomium*, *Phanerochaete* e *Trametes* (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Neste

contexto, o objetivo deste trabalho foi revisar a importância do estudo da degradação dos agrotóxicos com a participação de microrganismos selecionados do solo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa constituiu uma revisão bibliográfica, aplicada de janeiro a fevereiro de 2022. A coleta de dados foi baseada em consultas eletrônicas de livros, guias e artigos nas bases de dados de pesquisas eletrônicas. A estratégia que foi utilizada para a seleção dos artigos consistiu em consulta manual de listas de referências, com base nas palavras chaves que foram escolhidas (microorganismos, degradação/biorremediação e herbicida) e na leitura do título e do resumo que aborda o tema proposto (degradação de agrotóxico). Mediante isso, foram selecionados 24 artigos para serem estudados e analisados, os métodos utilizados foram qualitativos, quantitativos.

O método qualitativo utilizado neste trabalho foi através da busca nas plataformas de pesquisa onde foram encontrados: teses, livros, resumos e artigos. Entretanto, para o presente trabalho foram selecionados apenas os artigos para serem trabalhados nessa pesquisa.

O método quantitativo baseou-se na quantidade de trabalhos disponíveis nos sites de pesquisas no período escolhido e verificar qual plataforma de pesquisa possuía o maior número de publicações sobre o assunto, dentre elas foram analisados a quantidade de publicações anualmente, conforme as palavras chaves escolhidas para a pesquisa.

O escopo deste trabalho inclui quatro bancos de dados:

- Google Acadêmico;
- Scopus Elsevier (Banco de dados de resumos e citações habilmente selecionados);
- Scielo (Biblioteca Eletrônica Científica Online);
- Science Direct (Plataforma de acesso a revistas científica e ebooks);

Análise e seleção dos artigos

Das 4 bases de dados utilizadas na pesquisa foram selecionadas as com os maiores números de publicações para a seleção dos artigos. Dessas bases, foram escolhidos oito artigos de cada uma totalizando 24 artigos selecionados para a análise.

Após a seleção dos artigos, cada um foi analisado individualmente e foram feitas as seguintes observações:

- O percentual (%) de degradação;
- Se foi utilizado bactérias ou fungos na degradação;
- Se atingiu os objetivos da pesquisa;
- E se possuía pelo menos duas das três palavras-chaves utilizadas para pesquisa no título do artigo;

Análise das plataformas de pesquisas

Foi realizada também uma análise nas plataformas de pesquisas estudadas, dentre elas duas, nos possibilitaram uma análise comparativa anual de publicações, devido a plataforma disponibilizar consulta anual de periódico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Plataforma de pesquisa

Esta parte de análise apresenta uma visão geral dos trabalhos científicos que compuseram a conferência das quatro bases eletrônicas selecionadas. Ela está composta de acordo com as palavras chaves escolhidas para a pesquisa: degradação, microorganismos e herbicida (herbicide, microorganism, degradation). A Tabela 1 representa a quantidade de estudos encontrados nas quatro bases de dados definidas neste estudo, considerando o uso concomitante de todas as palavras. Pelos dados coletados, pode-se observar que a plataforma com maior número de publicações é a *Science direct* e a com menor número de publicações é a *Scielo*.

Tabela 1: Números de registros obtidos por base de dados no período de 2016-2022

Palavras chaves: degradação, microorganismos, e herbicida			
Google acadêmico	Scopus Elsevier	Scielo	Science direct
3.965	2.356	11	5.862

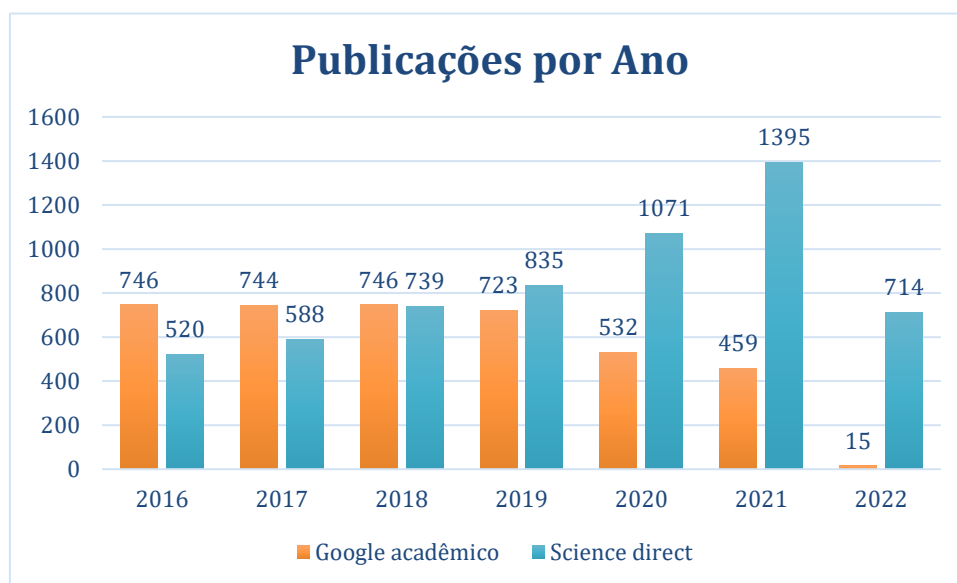
Fonte: Oliveira, Araújo, Costa e Souza (2022)

Ao se observar a Figura 1, pode-se dizer que a plataforma de pesquisa *Science direct*, nos anos de 2016, 2017 e 2018 teve menos publicações que a plataforma de

pesquisa do *Google acadêmico*, sendo que nos próximos anos foi superior ao número de publicações comparada a outra plataforma.

A plataforma de pesquisa *Google acadêmico* nos anos de 2020 a 2022 teve uma redução no número de publicações. Já a plataforma de pesquisa *Science direct* entre os anos de 2020 e 2021 foram os anos que teve o maior número de publicações.

Figura 1: Produção por ano de publicação de duas plataformas de pesquisa



Fonte: Oliveira, Araújo, Costa e Souza (2022)

A maior quantidade de publicações foi registrada no ano de 2021, pela plataforma de pesquisa *Science direct*, já a menor quantidade de publicações foi no ano de 2022 pela plataforma de pesquisa *Google acadêmico*. Entretanto, é relevante informar que embora o ano de 2022 não tenha finalizado, nota-se que provavelmente esse dado de menor publicação deve-se permanecer, haja visto o aumento de trabalhos na plataforma *Science direct* nos últimos anos.

Desta forma podemos observar que as palavras chaves: degradação, microrganismos e herbicida são bastante utilizados diante o grande número de publicações.

Análise dos artigos

Avaliação do percentual (%) de degradação dos herbicidas

Para a avaliação do percentual (%) de degradação dos herbicidas de cada artigo após as análises individuais, eles foram divididos conformes os valores informados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores para informar o % de degradação dos herbicidas

% de degradação dos herbicidas	
Percentual (%)	Classificação
$\leq 50\%$	Bom
≥ 50 e $\leq 89\%$	Ótimo
$\geq 90\%$	Excelente
Satisfatório	Não informam percentual

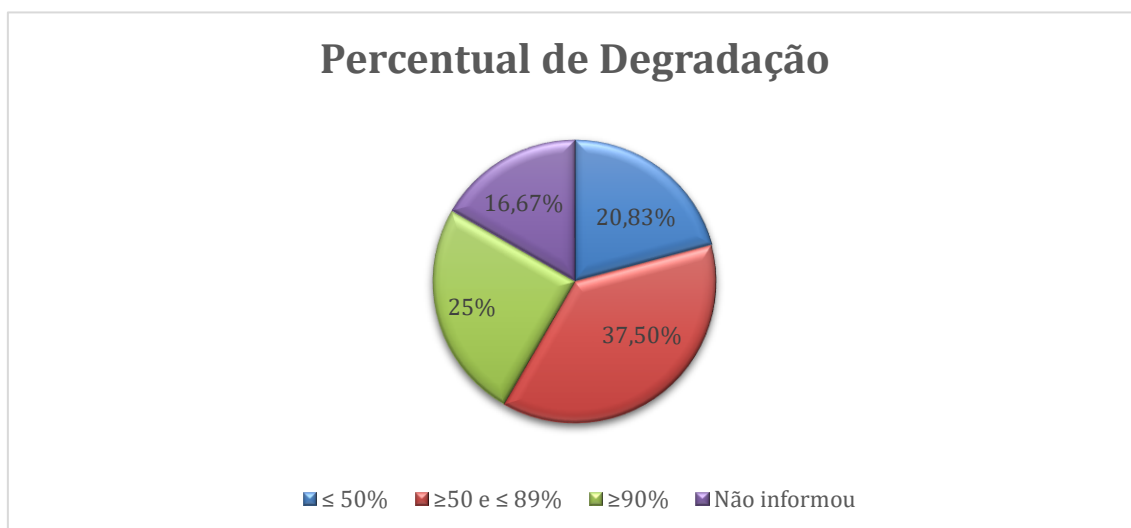
Fonte: Oliveira, Araújo, Costa e Souza (2022)

Como não se tem uma bibliografia específica para classificar os valores obtidos pela degradação dos herbicidas através dos microrganismos, esses valores acima foram classificados com bases em pesquisas realizadas sobre o tema em:

- **% de degradação $\leq 50\%$ = Bom**
- **% de degradação ≥ 50 e $\leq 89\%$ = Ótimo**
- **% de degradação $\geq 90\%$ = Excelente**
- **Satisfatório = artigos que citam que houve a degradação, mas não informam o percentual obtido, relatam que obtiveram resultados favoráveis.**

Com base nesses dados podemos observar a Figura 2 a seguir:

Figura 2: Percentual de degradação dos herbicidas por microrganismos



Fonte: Oliveira, Araújo, Costa e Souza (2022)

Ao observar a Figura 2, nota-se que 37,5% dos artigos analisados obtiveram um percentual de degradação dos herbicidas por microrganismos classificados com ótimo, 25% obtiveram um percentual de degradação excelente. Uma pequena quantidade dos artigos analisados não informou em seus respectivos trabalhos qual o percentual de degradação foi obtido em suas análises totalizando 16,67%. Ressalta-se que esses artigos também não especificaram se foram utilizados fungos ou bactérias na degradação, porém deixam claro que conseguiram realizar a degradação do herbicida por microrganismo, e tiveram valores satisfatórios em suas pesquisas. Outros trabalhos analisados (20,83 %) tiveram um percentual de degradação classificado como bom.

De maneira geral, índices de degradação do herbicida podem variar no solo, conforme o sistema de manejo agrícola, adaptação microbiológica no ambiente, variação de umidade e temperatura, propriedades físicas e químicas, bem como as propriedades do herbicida (SCORZA JÚNIOR; FRANCO, 2013; PORTILHO et al., 2015; AL-MAMUN, 2017).

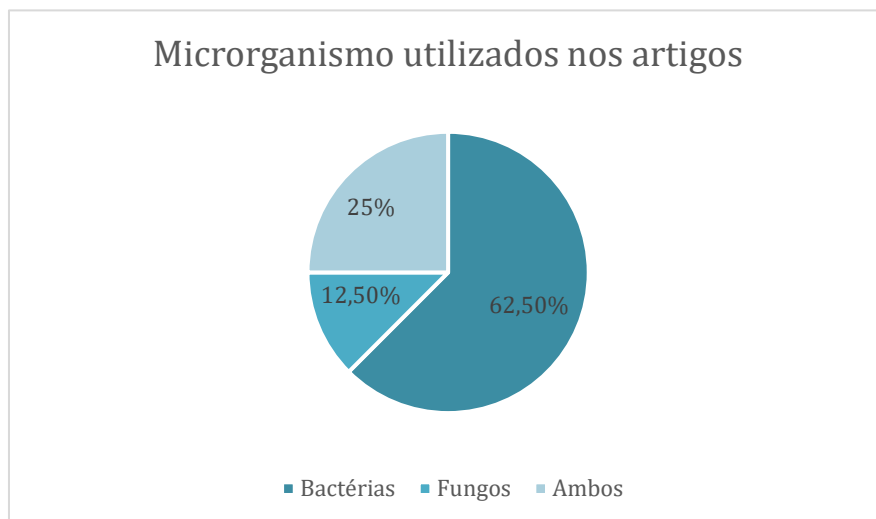
Avaliação dos microrganismos utilizados na degradação

Foi avaliado em cada artigo qual microrganismo foi utilizado para a degradação do herbicida, os microrganismos foram:

- Bactérias;
- Fungos; e
- Ambos

Nas análises dos trabalhos observou-se que alguns artigos informavam que utilizaram tanto bactérias como fungos no mesmo experimento para se obter a degradação dos herbicidas. Alguns trabalhos após obter resultados positivos faziam a separação e analisavam de forma distinta qual era mais rápido para realizar a degradação. A Figura 3 apresenta os microrganismos utilizados nos artigos selecionados.

Figura 3: Tipos de microrganismo utilizados nos artigos para se realizar a degradação



Fonte: Oliveira, Araújo, Costa e Souza (2022)

Dentre os microrganismos, nos trabalhos analisados, as bactérias foram as mais utilizadas nos artigos com um total de 62,5%, os fungos tiveram um total de 25%. Já os trabalhos que utilizaram ambos em seus respectivos experimentos totalizaram 12,5%. Ressalta-se a importância de que os artigos que utilizaram os dois microrganismos foram os mesmo que não informaram o percentual de degradação conforme mencionado na Tabela 2.

A importância dos estudos de degradação de compostos químicos tem mostrado vários microrganismos extremamente versáteis em catabolizar moléculas recalcitrantes. Trabalhos atuais indicam fungos e bactérias como principais microrganismos eficientes na degradação de poluentes, possuindo alto potencial de ação na recuperação de ambientes contaminados (BALAN, 2002).

A eficiência de um ou outro depende, em muitos casos, da estrutura da molécula e da presença de enzimas hábeis em degradar o produto, as quais apresentam especificidade para a maioria dos substratos (MEYER, 1978).

O processo metabólico que tem se mostrado mais apto em biodegradar moléculas xenobióticas (moléculas estranhas ao ambiente natural) recalcitrantes (moléculas de difícil degradação) nos processos de biorremediação, é o microbiano, uma vez que os microrganismos desempenham a tarefa de reciclar a maior parte das moléculas da biosfera, participando dos principais ciclos biogeoquímicos e representando, portanto, o suporte de manutenção da vida na Terra (GAYLARD; BELLINASSO; MANFIO, 2005).

Podemos citar alguns microrganismos utilizados na degradação dos herbicidas presentes em solos ou em efluentes. Dentre eles, diversas bactérias, como espécies de *Nocardia*, *Pseudomonas* e *agrobactérias* (YANZEKONTCHOU; GSCHWIND, 1994); e, dentre os fungos filamentosos, *Aspergillus fumigatus* e *Rhizopus stolonifer* (BEHKI *et al.*, 1993). Por isso, reforça-se a importância do estudo de microrganismos na recuperação de solos impactados por herbicidas.

Avaliação dos objetivos dos artigos

Dos artigos selecionados foi avaliado se eles conseguiram atender os objetivos de degradação esperados. A Figura 4 demonstra a quantidade de artigos que atingiram os objetivos.

Figura 4: Análise dos objetivos artigos selecionados para a avaliação individual



Fonte: Oliveira, Araújo, Costa e Souza (2022)

Dos artigos analisados 95,83% conseguiram atingir seus objetivos de degradação dos herbicidas por microrganismo, e 4,17% não conseguiu atingir esses objetivos. Note-se que um grande percentual dos trabalhos obteve resultados positivos demonstrando a

importância da degradação através de microrganismos. Por conta disso é imperativo mencionar que de fato os microrganismos são elementos essenciais para manter a vida no solo bem como eliminar substâncias nocivas ao ambiente.

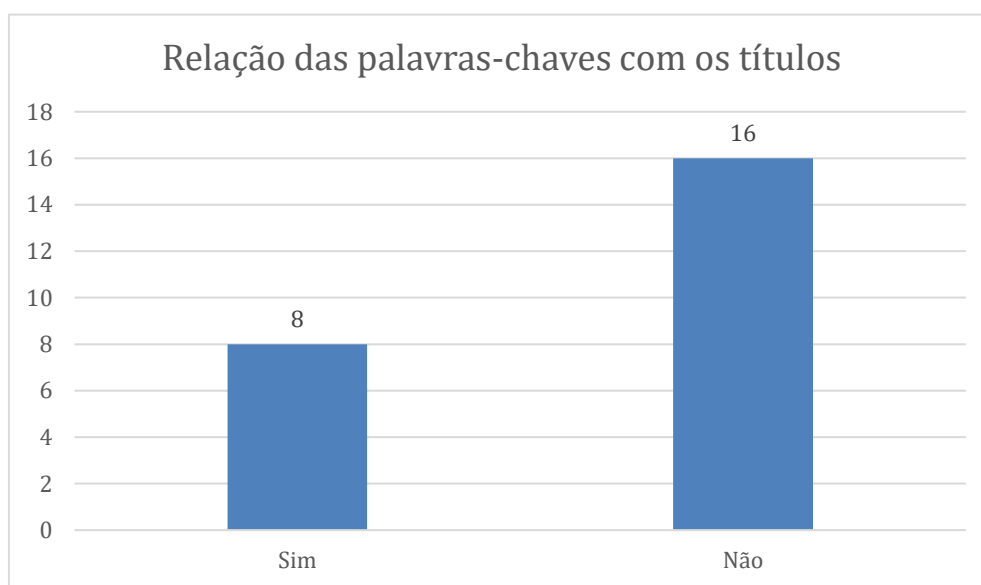
Em seu trabalho Bento, Camargo e Okeke (2003), justifica que as estratégias de degradação incluem a utilização de microrganismos autóctones, ou seja, do próprio local, sem qualquer interferência de tecnologias ativas de remediação (biorremediação intrínseca ou natural).

Esta afirmativa, pode ser analisada nos artigos estudados que foram feitas as coletas dos solos com aplicações recorrentes de herbicidas para as análises de degradação. Note-se que apesar da comunidade biótica do solo ser impactada, a mesma consegue recuperar-se mediante a presença de microrganismos mais resistentes.

Avaliação das palavras chaves utilizadas nos artigos

Foi avaliado nos títulos dos artigos selecionados se eles continham pelo menos duas das três palavras chaves utilizadas para na pesquisa. A Figura 5 demonstra os resultados obtidos na verificação.

Figura 5: Relação das palavras-chaves com seus respectivos títulos



Fonte: Oliveira, Araújo, Costa e Souza (2022)

Dos 24 artigos selecionados, apenas oito possui 2 das 3 palavras-chaves no título de seus artigos enquanto que 16 possui uma ou nenhuma palavra-chave no título de seus artigos.

Essa verificação foi realizada para que pudesse fazer a correlação das palavras-chaves com os títulos dos artigos. Salienta-se a importância de que todos os artigos selecionados estavam dentro dos critérios de elegibilidades descritos acima, mesmo que seus títulos não tenham relação direta com as palavras-chaves.

CONCLUSÃO

A partir da leitura desta revisão é possível compreender a importância do uso dos microrganismos como ferramenta para a remediação de áreas contaminadas com herbicidas. Pode-se observar, por meio da leitura deste trabalho, a relevância dos organismos nativos do ambiente, como fungos e bactérias em ciclar toda e qualquer matéria orgânica natural ou xenobiótica que é disposta no ambiente devido a ações antropogênicas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo suporte financeiro para Luiz Pereira da Costa (311002/2020-0), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM).

REFERÊNCIAS

- AL-MAMUN, A. Pesticide degradations, residues and environmental concerns. In: KHAN, M.S; RAHMAN, M.S. **Pesticide residue in foods: sources, management, and control**. Springer International Publishing, Dhaka. p. 1-17, 2017.
- BEHKI, R. M. et al. Degradation of atrazine, propazine, and simazine by *Rhodococcus* strain B-30. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 42, n. 5, p. 1237-1241, May 1993.
- BALAN, D. S. L.; MONTEIRO, R. T. R. Decolorization of textile índigo dye by ligninolytic fungi. **Journal of Biotechnology**, Amsterdam, v. 89, n. 2-3, p. 141-145, Aug. 2001.

- BENTO, F. M.; CAMARGO, F. A. O.; OKEKE, B. Bioremediation of soil contaminated by diesel oil. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v.34, supl.1, p. 65-68, Nov. 2003.
- CROUZET, O.; BATHISSON, I.; BESSE-HOGGAN, P.; BONNEMOY, F.; BARDOT, C.; POLY, F.; BOHATIER, J.; MALLET, C. Response of soil microbial communities to the herbicide mesotrione: A dose-effect microcosm approach. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, p. 193-202, 2010.
- FENNER, K.; CANONICA, S.; WACKETT, L.P.; ELSNER, M. Evaluating pesticide degradation in the environment: blind spots and emerging opportunities. **Science**, v.341, n.6147, p.752–758, 2013.
- GAYLARD, C. C.; BELLINASSO, M. L.; MANFIO, G. P. Aspectos biológicos e técnicas da biorremediação de xenobióticos. *Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento*, Brasília, v. 8, n. 34, jan./jun. 2005. Disponível em: <<http://www.biotecnologia.com.br/edicoes/ed34.php>>. Acesso em: 10 set. 2011.
- KIM, K.; KABIR, E.; JAHAN, S.A. Exposure to pesticides and the associated human health effects. **Science of the Total Environment**, v.575, p.525–535, 2017.
- LEONEL, Lillian Vieira et al. Biorremediação do solo. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, [S.l.], v. 26, n. 51, p. 37-52, ago. 2018. ISSN 2596-2809. Disponível em: <<http://periodicos.unifil.br/index.php/Revistateste/article/view/257>>. Acesso em: fev. 2022.
- LOPES, C.V.A.; ALBUQUERQUE, G.S.C. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde Debate**, v.42, n.117, p.518-534, 2018.
- MEYER, U. Biodegradation of synthetic organic colorants. In: BROWN, A. W. A. **Ecology of pesticides**. New York: Jhon Willey, 1978.
- MOREIRA, F.M.S; SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2 ed. **Lavras: UFLA**. p. 729, 2006.
- PORTILHO, I.I.R.; SCORZA JÚNIOR, R.P.; SALTON, J.C.; MENDES, I.C.; MERCANTE, F.M. Persistência de inseticidas e parâmetros microbiológicos em solo sob sistemas de manejo. **Ciência Rural**, v.45, n.1, p.22-28, 2015.
- SCORZA JÚNIOR, R.P.; FRANCO, A.A. A temperatura e umidade na degradação de fipronil em dois solos de Mato Grosso do Sul. **Ciência Rural**, v.43, n.7, p.1203-1209, 2013.
- YANZE-KONTCHOU, C.; GSCHWIND, N. Mineralization of the herbicide atrazine as a carbon source by a *Pseudomonas* strain.; *Appl. Environmental Microbiology*, Oxford, v. 60, n. 12, p. 4297-4302, Dec. 1994.