

BIORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS

BIOREMEDIATION OF CONTAMINATED SOIL

MOMESSO, L. S.; TOSSI, L. J.

Departamento de Farmácia – Faculdades Integradas de Ourinhos-FIO/FEMM

RESUMO

A biorremediação é a exploração do metabolismo de organismos vivos na tentativa de descontaminar ambientes afetados por resíduos. Existem relatos da utilização de plantas e bactérias na biorremediação, porém os fungos parecem ser os mais promissores, devido à sua grande capacidade adaptativa. Os objetivos deste trabalho consistiram no levantamento de dados reportados na literatura científica sobre a utilização de microrganismos para a biorremediação de solos afetados por resíduos da indústria sucroalcooleira. Foram realizadas buscas nas bases de dados científicas nacionais e internacionais e também no acervo bibliográfico disponível, preferencialmente por relatos dos últimos 15 anos, utilizando-se as palavras-chave: *bioremediation*, *fungi* e *contaminated soil*. Foi possível verificar que a biorremediação é uma forma barata e rápida para descontaminar solos afetados, uma vez que utiliza organismos vivos cultiváveis. A partir destes dados, pretende-se realizar o isolamento e o cultivo de fungos associados à biomassa e à vinhaça gerada como resíduos da indústria sucroalcooleira a fim de verificar a capacidade de biorremediação destes microrganismos.

Palavras-chave: Biorremediação. Fungos. Solo Contaminado.

ABSTRACT

Bioremediation is the exploration of the metabolism of living organisms in an attempt to decontaminate environments affected by residues. There are reports of the use of plants and bacteria in the bioremediation, however the fungi appear to be the most promising because of its large capacity adaptive. The aim of this work consisted in the analysis of scientific data reported in the literature about the use of microorganisms for bioremediation of soils affected by waste from sugar and alcohol industry. Searches were conducted in the national and international scientific databases and also in bibliographic available of the past 15 years, using the key words: *bioremediation*, *fungi* and *contaminated soil*. It was possible to verify that bioremediation is a cheap and fast way to decontaminate soils affected, since it uses living organisms cultivable. From these data, it is intended to perform the isolation and cultivation of fungi obtained from biomass and stillage generated as waste sugar and alcohol industry in order to check the ability of bioremediation of these microorganisms.

Keywords: Bioremediation. Fungi. Contaminated Soil.

INTRODUÇÃO

A biorremediação consiste na utilização de organismos vivos, como por exemplo, fungos e plantas para descontaminar a água e o solo através de seu metabolismo. A utilização de plantas no procedimento recebe o nome de fitorremediação. A fitorremediação é uma área de estudo englobada pela biorremediação. (PIRES et al., 2003).

Essa técnica leva vantagem sobre as demais na descontaminação do solo, conforme o descrito por Pires et al. (2003), pois não exige a remoção do mesmo para que seja descontaminado, além de ser mais barata, mais rápida e mais simples.

Além dos fungos e plantas, algumas bactérias também são capazes de causar efeitos benéficos na biotransformação de substâncias nocivas ao solo e à água, descontaminando esses ambientes. (MARTINS et al., 2007; LACONI et al., 2007).

Os estudos de Pires et al. (2003) com a técnica de fitorremediação para a descontaminação do solo por herbicidas ilustraram a utilização de plantas como, por exemplo, a *Kochia scoparia* por ser capaz de degradar as moléculas dos herbicidas, através de seu metabolismo.

O objetivo deste trabalho consistiu em realizar um levantamento teórico sobre a utilização de microrganismos utilizados na tentativa de descontaminação e biorremediação de solos afetados por resíduos da indústria sucroalcooleira.

METODOLOGIA

Foi realizado um levantamento da publicação científica dos últimos 15 anos em bases de dados nacionais e internacionais, tais como Scifinder, Lilacs, Medline, Bireme, PubMed e Scielo, além de consultas ao acervo bibliográfico disponível.

Para a busca, foram utilizadas as palavras-chave *bioremediation*, *fungi* e *contaminated soil*.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os resíduos da indústria sucroalcooleira

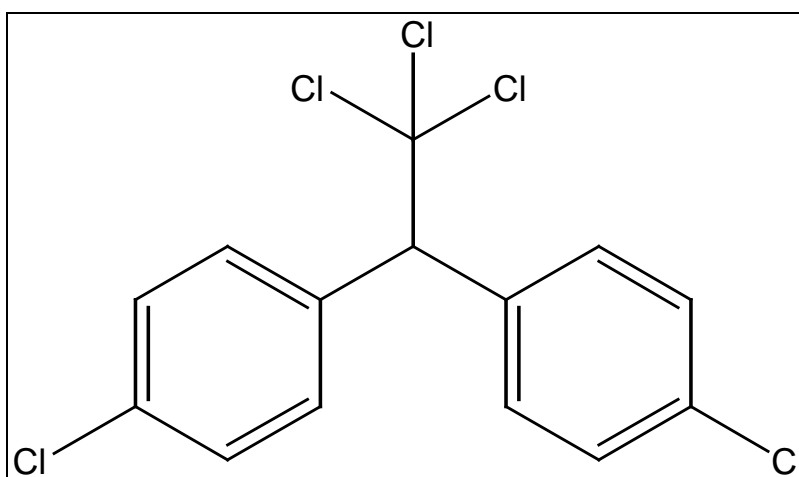
Assim como qualquer processo de fabricação industrial, o processo da fabricação da cana-de-açúcar também consome matérias-primas, e, além dos produtos finais, que no caso são o açúcar e o etanol, são gerados também resíduos sólidos, líquidos e gasosos.

No processo de moagem da cana, obtém-se o bagaço e também resíduos, como a vinhaça, águas residuais, torta de filtro e particulados, sendo parte deles reaproveitados e outra parte muitas vezes descartada. A queima do bagaço da cana libera substâncias químicas, como por exemplo, óxidos de nitrogênio (NOx), denominadas biomassa, que são poluentes do ar e do solo (LORA, 2000).

É frequente a utilização de metais pesados em indústrias durante procedimentos, sendo parte deles descartada posteriormente, atingindo o meio ambiente, poluindo o solo, a água, entre outros danos ambientais (OPEOLU et al., 2011).

Além dos metais pesados, são agentes contaminantes ambientais comumente encontrados os chamados poluentes orgânicos persistentes (POP), dentre eles, o mais conhecido e utilizado, diclorodifeniltricloroetano (DDT), conforme o descrito por D'Amato et al. (2002). O DDT é pertencente ao grupo dos organoclorados. É utilizado como inseticida e está entre as substâncias sintéticas mais estudadas e utilizadas no século XX (Figura 1).

Figura 1. Estrutura química do diclorodifeniltricloroetano (DDT).



Os resíduos do DDT podem ser distribuídos por longas distâncias através da atmosfera. (D'AMATO et al., 2002).

Os POP podem persistir circulantes pelo ambiente, em forma de moléculas e partículas, o que representa um grande problema ambiental e de saúde pública. Estudos vêm sendo realizados sobre a ação de microrganismos para a descontaminação do solo por agentes organoclorados através da associação com tratamentos químicos que realizam a desalogenação destes compostos. (SILVA, 2009).

Para resolver o problema da contaminação por metais pesados, são empregados métodos que, na maioria das vezes são caros, levam muito tempo ou são indisponíveis, dependendo da localidade. No entanto, são estudadas novas formas de descontaminação, dentre elas, através da utilização da biomassa

proveniente do bagaço da cana, durante a produção de açúcar, que se mostrou eficaz na remoção do zinco, por meio de adsorção. (OPEOLU et al., 2011).

Com o intuito de retirar do solo estes agentes contaminantes, buscam-se formas rápidas, baratas e eficientes, sendo crescente o interesse por uma delas: a biorremediação.

A biorremediação como alternativa na descontaminação ambiental

Rodríguez-Vázquez et al. (1999) estudaram a utilização do fungo *Phanerochaete chrysosporium* presente na lignocelulose, encontrada no bagaço da cana durante a produção de açúcar, para realizar a biorremediação de solos contaminados por compostos aromáticos. Observaram ainda a forma de crescimento deste fungo com o intuito de cultivá-lo.

Clercq et al. (2001) realizaram um estudo sobre a recuperação do níquel e a produção de bicomcombustível através de biorremediação utilizando biomassa.

Estudos sobre fungos presentes no bagaço da cana, realizando a identificação por técnicas de PCR (*Polymerase Chain Reaction*) utilizando as espécies *Aspergillus terreus*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*, *Penicillium glabrum* e *Cladosporium cladosporioides* foram realizados em 2006 por Cortéz-Espinosa et al. A seleção primária dos fungos foi realizada em placa, considerando-se a tolerância de todos os pHs e tensão em dois diferentes meios de cultivo, agar batata dextrose (BDA) e meio mineral (MM).

Em 2007, estudos sobre a utilização do azeite de oliva, proveniente de águas residuais, como substrato para a cultura de fungos comestíveis para a obtenção de uma biomassa microbiana e potencialmente útil para realizar biorremediação. O óleo de oliva, antes de ser utilizado no processo, passou por um tratamento alcalino-oxidante, com o objetivo de diminuir o teor de polifenóis, principais causadores da sua toxicidade. A mistura de fungos cresceu razoavelmente bem e atingiu o máximo de produção de biomassa em cerca de 14 dias de fermentação a temperatura ambiente. (LACONI et al., 2007).

Martins et al. (2007) relataram a degradação de um herbicida por microrganismos selecionados de húmus e solo submetido a diferentes sistemas de plantação. Foi identificada a presença de duas cepas da bactéria *Klebsiella pneumoniae*, além de *Pseudomonas alcaligenes* e *Enterobacter aerogenes*.

Silva et al. (2007) realizaram um estudo sobre o isolamento de um microrganismo de solo brasileiro contaminado com o herbicida 2,4-D, analisando via

Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) sua degradação. Os fungos estudados foram *Serratia marcescens* e *Penicillium* sp, os quais ainda não haviam sido relatados pela literatura para degradar tal herbicida. Esse estudo representou um grande avanço nas pesquisas sobre biorremediação de solos contaminados.

Em 2008 um estudo empregou o bagaço da cana para tratar um solo contaminado com lindano, substância capaz de se acumular no organismo e causar intoxicações, que se mostrou eficaz na degradação do mesmo, devido aos microorganismos presentes na biomassa. (ABHILASH; SINGH, 2008).

Silva (2009) estudou fungos basidiomicetos como agentes capazes de biodegradar poluentes derivados organoclorados. Este autor relatou que o estudo da biorremediação vem sendo maior nos últimos anos, devido ao fato das demais técnicas de descontaminação não serem vantajosas ou inacessíveis.

Chung et al. (2011) estudaram a biodegradação de hidrocarbonetos através de bagaço de cana acetilado. A capacidade de absorção de água de bagaço cru foi reduzida em quatro vezes após o tratamento, o que indicou aumento considerável em sua hidrofobicidade, mas não significou uma capacidade limitada para manter a umidade para a biodegradação de hidrocarbonetos, pois ele se mostrou eficaz, e sugere-se sua utilização para a descontaminação de áreas contaminadas por petróleo, por exemplo.

Opeolu et al. (2011) estudaram a utilização da biomassa proveniente do processo de produção da cana de açúcar com o intuito de remover do solo metais pesados, como o zinco, realizando assim sua descontaminação.

Pileggi et al. (2012) realizaram um estudo sobre o herbicida Mesotriona, isolado de ambientes aquáticos brasileiros, localizados perto de campos de milho tratadas com esse herbicida. A bactéria *Pantoea ananatis* se mostrou rápida e eficaz na degradação da Mesotriona, podendo se tornar mais um aliado na biorremediação de solos contaminados como neste caso.

Recentemente foi publicado um estudo sobre a utilização do bagaço da cana para a descontaminação de águas residuais contaminadas por cromo, através da conversão do cromo cancerígeno (hexavalente) para sua forma não-tóxica (trivalente), processo que pode ser otimizado utilizando-se surfactante como catalisador. (MUKHERJEE et al., 2013).

Agentes biorremediadores

Alguns microrganismos, como os fungos basidiomicetos lignocelulolíticos, segundo Silva (2009), são capazes de degradar substâncias recalcitrantes, como é o caso do DDT. Os fungos filamentosos são eficazes no processo de biorremediação devido uma série de características como, por exemplo, a capacidade de crescer sob estresse ambiental, fator este limitante para crescimento bacteriano.

Os fungos filamentosos também têm a capacidade de crescer em direção à fonte de carbono orgânico, induzido quimiostaticamente, através do alongamento e ramificação de suas hifas, com o intuito de abranger áreas maiores, englobando o agente contaminante e aumentando sua biodegradação (SILVA, 2009).

Alguns autores relatam as espécies fúngicas capazes de realizarem biorremediação. A Tabela 1 destaca tais microrganismos relatados na literatura científica, utilizados como agentes biorremediadores.

Tabela 1 – Algumas espécies de fungos com potencial de biorremediação.

Espécie	Atividade	Referência
<i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Cladosporium cladosporioides</i> <i>Penicillium glabrum</i> <i>Aspergillus terreus</i>	Remoção de fenantreno do solo	Cortés-Espinosa et al. (2006)
<i>Lentinus crinitus</i> <i>Psilocybe castanella</i> <i>Trametes villosa</i>	Tratamento de solo contaminado por organoclorados	Silva (2009)
<i>Serratia marcescens</i> <i>Penicillium sp</i>	Degradação do herbicida 2,4-D	Silva et al. (2007)
<i>Pleurotus floridae</i> , <i>Pleurotus eryngii</i> , <i>Pleurotus ostreatus</i> , <i>Pleurotus sajor-caju</i> <i>Oidodendron spp.</i> <i>Penicillium spp.</i>	Biorremediação de águas residuais da indústria de azeite de oliva	Laconi et al. (2007)
<i>Phanerochcete chrysosporium</i>	Tratamento de solo contaminado por substâncias aromáticas	Rodriguez-Vázquez et al. (1999)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A contaminação de solos é uma realidade em várias regiões devido à presença de vários tipos de poluentes, dentre eles, os POP, e por isso existem crescentes buscas por novas formas de solucionar esse problema.

A biorremediação surge como uma forma mais barata e mais rápida de realizar essa descontaminação, pois envolve microrganismos como fungos e

bactérias ou então plantas, e por serem vários, esses agentes biorremediadores são mais facilmente encontrados.

Sem dúvidas, a técnica da biorremediação foi uma grande descoberta, mas ainda deve ser estudada e aperfeiçoada, para que possa ser aproveitada ao máximo a capacidade destes microorganismos biorremediadores, da forma mais prática e viável o possível.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Inicialmente pretende-se realizar o isolamento de cepas fúngicas associadas à biomassa e à vinhaça provenientes dos resíduos da indústria sucroalcooleira, conforme a metodologia proposta por Momesso (2004).

Em seguida, será realizado o cultivo desses microrganismos em diferentes meios de cultura e também em um preparado a partir da biomassa e da vinhaça a fim de comparar possíveis diferenças no perfil metabólico dos fungos quando submetidos a diferentes condições (MOMESSO, 2008).

Os perfis metabólicos serão analisados com base nos resultados obtidos via Cromatografia em Camada Delgada (CCD), seguindo as mesmas condições para os diferentes tipos de cultivo.

Dessa forma, será avaliado o potencial desses fungos na descontaminação de solos atingidos pelos resíduos industriais da produção de açúcar e etanol.

REFERÊNCIAS

ABHILASH, P.C.; SINGH, N. Influence of the application of sugarcane bagasse on lindane (c-HCH) mobility through soil column: Implication for iotreatment.

Bioresource Technology, v.99, p.8961–8966, 2008.

CHUNG, S.; SUIDAN, M.T.; VENOSA, A.D. Partially Acetylated Sugarcane Bagasse for Wicking Oil from Contaminated Wetlands. **Chem. Eng. Technol.**, v.34, n.12, p. 1989–1996, 2011.

CLERCQ, M. I.; ADSCHIRI, T.; ARAI, K. Hydrothermal processing of nickel containing biomining or bioremediation biomass. **Biomass and Bioenergy**, n.21, p. 73–80, 2001.

CORTÉS-ESPINOSA, D. V.; FERNÁNDEZ-PERRINO, F. J.; ARANA-CUENCA, A.; ESPARZA-GARCÍA, F.; LOERA, O.; RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ R. Selection and Identification of Fungi Isolated from Sugarcane Bagasse and their Application for Phenanthrene Removal from Soil. **Journal of Environmental Science and Health**,

Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, v.41, n.3, 475-486, 2006.

D'AMATO, C.; TORRES, J.P.M.; MALM, O. DDT (Dicloro Difenil Tricloroetano): Toxicidade e Contaminação Ambiental – Uma Revisão. **Química Nova**, v. 25, n. 6, p. 995-1002, 2002.

LACONI, S.; MOLLE, G.; CABIDDU, A.; POMPEI, R. Bioremediation of olive oil mill wastewater and production of microbial biomass. **Biodegradation**, v.18, p.559–566, 2007.

LORA, E.S. Controle da poluição do ar na indústria açucareira. Itajubá: Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 2000. 74 p.

MARTINS, P.F.; MARTINEZ, C.O.; CARVALHO, G.; CARNEIRO, P.I.B.; AZEVEDO, R.A.; PILEGGI, S.A.V.; MELO, I.S.; PILEGGI, M. Selection of Microorganisms Degrading S-Metolachlor Herbicide. **Brazilian archives of Biology and technology**, v.50, n.1, p.153-159, 2007.

MOMESSO, L.S. **Bioprospecção em fungos endofíticos associados a *Viguiera robusta* (Asteraceae) e citocalasanas produzidas por *Guignardia bidwelli***. 176 p. Mestrado (Dissertação). Curso de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas. Área de Fármacos e Medicamentos. Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FCFRP-USP), Ribeirão Preto-SP, 2004.

MOMESSO, L.S. **Estudo químico-biológico dos fungos endofíticos *Cladosporium sphaerospermum*, *Pestalotiopsis guepini* e *Chaetomium globosum***. 127 p. Doutorado (Tese). Curso de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas. Área de Produtos Naturais e Sintéticos. Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FCFRP-USP), Ribeirão Preto-SP, 2008.

MUKHERJEE, K.; SAHA, R.; GHOSH, A.; GHOSH, S.K.; MAJI, P.K.; SAHA, B. Surfactant-assisted bioremediation of hexavalent chromium by use of an aqueous extract of sugarcane bagasse. **Res. Chem. Intermed.**, in press, 2013.

OPEOLU, B.O.; BAMGBOSE, O.; FATOKI, O.S. Zinc abatement from simulated and industrial wastewaters using sugarcane biomass. **Water AS**, v.37, n.3, p.313-320, 2011.

PILEGGI, M.; PILEGGI, S.A.V.; OLCANHESKI, L.R.; SILVA, P.A.G.; GONZALEZ, A.M.M.; KOSKINEN, W.C.; BARBER, B.; SADOWSKY, M.J. Isolation of mesotrione-degrading bacteria from aquatic environments in Brazil. **Chemosphere**, v.86, p.1127–1132, 2012.

PIRES, F.R.; SOUZA, C.M.; SILVA, A.A.; PROCÓPIO, S.O.; FERREIRA, L.R. Fitorremediação de Solos Contaminados com Herbicidas. **Planta Daninha**, v. 21, n.2, p. 335-341, 2003.

RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ, R.; CRUZ-CÓRDOVA, T.; FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, J.M.; ROLDÁN-CARRILO, T.; MENDOZA-CANTÚ, A.; SAUCEDO-CASTAÑEDA, G.; TOMASINI-CAMPOCOSIO, A. Use of Sugarcane Bagasse Pith as Solid Substrate for *P. chrysosporium* Growth. **Folia Microbiol.**, v.44, n.2, p. 213-218, 1999.

SILVA, R.R. **Biorremediação de solos contaminados com organoclorados por fungos basidiomicetos em biorreatores.** 186 p. Doutorado (Tese). Curso de Pós-Graduação em Biodiversidade e Meio Ambiente. Área de Plantas Avasculares e Fungos. Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo-SP, 2009.

SILVA, T.M.; STETS, M.I.; MAZZETTO, A.M.; ANDRADE, F.D.; PILEGGI, S.A.V.; FÁVERO, P.R.; CANTÚ, M.D.; CARRILHO, E.; CARNEIRO, P.I.B.; PILEGGI, M. Degradation of 2,4-D herbicide by microorganisms isolated from brazilian contaminated soil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.38, p.522-525, 2007.