

## **TECNOLOGIAS COMERCIAIS PARA BIORREMEDIAÇÃO DE CORPOS HÍDRICOS**

Amanda Rosa Rodrigues de Frias<sup>1</sup>

Eidy de Oliveira Santos<sup>2</sup>

### **Resumo**

Com a constante degradação dos corpos hídricos, a biorremediação vem sendo aplicada em como forma de descontaminação de ambientes poluídos, onde organismos vivos são usados para eliminar ou reduzir o teor de poluentes no ambiente. Neste trabalho, realizamos uma prospecção de tecnologias comerciais para biorremediação de água por meio de uma pesquisa no site de busca Google. Como resultado descrevemos três produtos disponíveis no Brasil, que remediam o ambiente contaminado através da bioaugmentação. Na busca por produtos biorremediadores de água comercializados no mundo detectamos diversas linhas de produtos fabricados por três de empresas distintas. Tais tecnologias são diversas, compreendendo a eliminação dos contaminantes por absorção, bioaugmentação e bioestimulação. O estudo sobre a temática da biorremediação em corpos hídricos e suas aplicações nos mostrou que, principalmente no Brasil, existe uma carência de produtos disponíveis no mercado.

**Palavras-chave:** Biorremediação, Prospecção tecnológica, Sustentabilidade.

<sup>1</sup> Bióloga, Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pelo Centro Universitário Estadual da Zona Oeste – UEZO.

<sup>2</sup> Doutora em Ciências Biológicas (Genética) pela UFRJ. Professora Adjunta da UEZO, RJ. E-mail: eidyos@gmail.com.

## COMMERCIAL TECHNOLOGIES FOR BIORREMEDICATION OF WATER BODIES

### Abstract

Due the constant degradation of water bodies, bioremediation is being applied in degraded environments as a form of decontamination, where living organisms are used to eliminate or reduce the content of pollutants in the environment. In this work we conducted a survey on commercial technologies for bioremediation of water through a search on the Google search site. As a result, we describe three products available in Brazil, which remedy the contaminated environment through bioincrease. In the search for bioremediation products sold worldwide, we detected several product lines manufactured by three different companies. Such technologies are diverse, including the elimination of contaminants by absorption, bio-enhancement and biostimulation. The study on the theme of bioremediation in water bodies and their applications showed us that, especially in Brazil, there is a lack of products available on the market.

**Keywords:** Biorremediation; Technological prospecting; Sustentability

### Introdução

A contaminação do meio ambiente é resultante de ações produzidas pelo homem, sendo deletérias aos ecossistemas e conseqüentemente para os próprios humanos. Diante disso, a água sendo um recurso indispensável para os seres vivos torna-se destaque quando se refere à preservação de recursos naturais, ainda mais em decorrência do crescimento populacional, das mudanças climáticas e do crescente processo de poluição de águas pelo mundo (BOCKLER *et al.*, 2016).

A crescente degradação dos corpos hídricos ocorre há pelo menos 30 décadas, devido principalmente ao despejo de grande quantidade de efluentes industriais com resíduos tóxicos, e de efluentes domésticos com excesso de matéria orgânica (BEEKMAN, 1998; AZEVEDO *et al.*, 2004). Com isso, no decorrer dos anos as preocupações com o meio ambiente se tornaram uma das questões mais relevantes para sociedade e comunidade científica, impulsionando estudos em busca de formas de desenvolvimento mais sustentáveis ou técnicas de tratamento que auxiliem na remoção ou redução de poluentes de áreas contaminadas (CAMPOS, 2014).

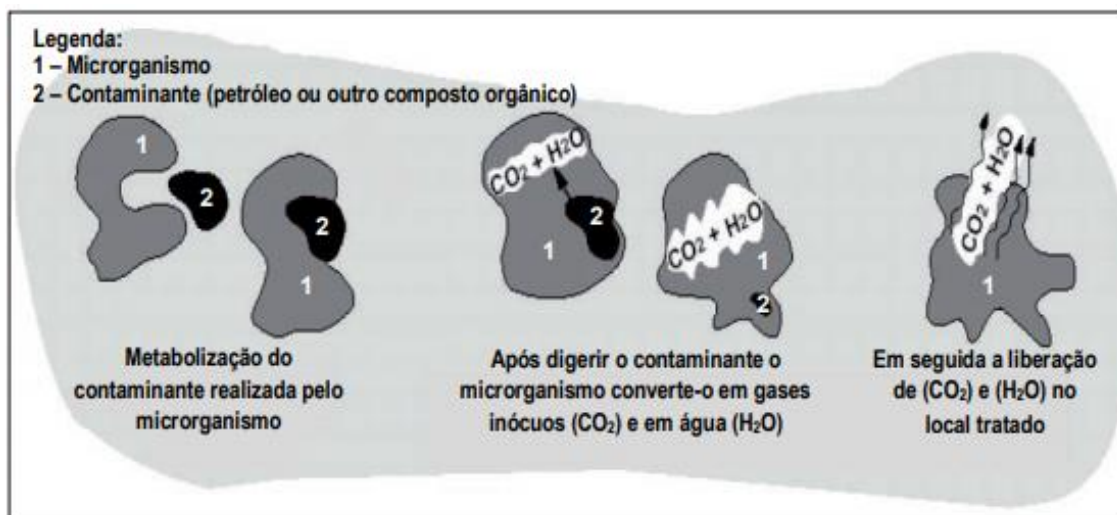
A biorremediação é uma alternativa viável para a descontaminação de ambientes; tais como águas superficiais, subterrâneas e solos, além de efluentes e resíduos industriais em aterro ou áreas de contenção (GAYLARDE *et al.*, 2005). Essa técnica permite a degradação de poluentes pela ação de agentes biológicos como microrganismos, plantas ou componentes enzimáticos (SILVA *et al.*, 20014). A biorremediação é uma técnica inovadora que merece atenção e incentivo nos processos de recuperação ambiental.

### **O processo de biorremediação**

Segundo Gaylarde e colaboradores (2005), a biorremediação é um processo no qual, organismos vivos, normalmente plantas ou microrganismos, são utilizados tecnologicamente para remover ou reduzir (remediar) poluentes no ambiente. Este processo pode ser aeróbico ou anaeróbico e permite a mineralização completa dos contaminantes, ou seja, a transformação em produtos com pouca ou nenhuma toxicidade (inofensivos), como CO<sub>2</sub> e água, por exemplo, compostos estes que podem ser incorporados ao ambiente sem prejuízo aos organismos vivos (NRC, 1993; EPA, 2004d; MARIANO, 2006) (Figura 1). Em geral, um composto orgânico é oxidado por respiração aeróbia heterotrófica, com o oxigênio comoceptor final de elétrons. No entanto, em anaerobiose microrganismos podem usar compostos orgânicos ou inorgânicos como aceptores finais. A biodegradação anaeróbia pode ocorrer por desnitrificação, redução do ferro, redução do sulfato ou condições metanogênicas (CORDAZZO, 2000).

Embora outras tecnologias que usam processos físicos e/ou químicos sejam também indicadas para descontaminar ambientes poluídos, o processo biológico de biorremediação é uma alternativa ecologicamente mais adequada e eficaz para o tratamento de ambientes contaminados com moléculas de difícil degradação e metais tóxicos (SILVEIRA *et al.*, 2016). Os microrganismos devem estar ativos para desempenharem a sua tarefa de biodegradação, sendo os grupos mais atuantes, bactérias, fungos filamentosos e leveduras. Destes, as bactérias são as mais empregadas e, por conseguinte, são consideradas como o elemento principal em trabalhos que envolvem a biodegradação de contaminantes, em função de sua diversidade metabólica, principalmente na degradação de compostos orgânicos e inorgânicos. Normalmente, estes seres microscópicos se adaptam a baixas concentrações de contaminantes e se localizam nas regiões externas à pluma de contaminação e, muito dificilmente, estarão presentes na fase livre (fase orgânica concentrada) (CETESB, 2004).

Figura 1: Etapas da ação do microrganismo no processo de biorremediação.



Fonte: Adaptado de Andrade, Augusto e Jardim (2010, p.24).

Segundo Prince, (1993) em alguns casos em que a biorremediação foi aplicada, obtendo-se a eficácia de 90% de redução da contaminação após um ano, comparado a apenas 15% dessa redução em regiões em que esta técnica não foi aplicada. Logo, considera-se que a biorremediação se tornou o aprimoramento da biodegradação, e os seus três principais agentes desta aceleração são: bioestímulo (acrécimo de nutrientes); bioaumento (introdução de microrganismos); biorremediação intrínseca (atenuação natural/monitorada).

As técnicas de biorremediação podem ser executadas tanto “*in situ*” como “*ex situ*”. A biorremediação *in situ* é realizada no próprio local, sem que haja remoção de material contaminado. Isto evita custos e distúrbios ambientais associados com o movimento de solos e águas de um local contaminado para outros locais destinados ao tratamento. Este é o procedimento mais empregado no mundo. Quando há a necessidade de retirada de solo ou efluente do local contaminado para que eles sejam tratados em outro local, o processo é chamado de biorremediação *ex situ*. O tipo de biorremediação *ex situ* para recursos hídricos é o biorreator. A remoção pode ser necessária quando há possibilidade contaminação de pessoas e do ambiente próximo, ou quando há altas concentrações de contaminantes, demandando a utilização de técnicas como compostagem, biorreatores, entre outras (JACQUES *et al.*, 2007).

No caso de biorremediação de recursos hídricos, os tipos de processo comuns são: biorremediação intrínseca, bioventilação, bioaugmentação, bioestimulação e fitorremediação. A biorremediação intrínseca corresponde a uma atenuação natural, ou passiva. Nesse caso, há apenas um monitoramento da recuperação natural da área, que ocorre mais lentamente (EPA 2004d). A bioventilação é uma técnica que normalmente é utilizada para tratar a solos e água subterrânea contaminados e consiste na introdução de oxigênio no substrato estimulando assim a atividade dos microrganismos aeróbios (naturais ou inseridos), podendo ser aplicada tanto *in situ* quanto *ex situ*, dependendo do local a ser remediado (BOOPATHY, 2000; CARNEIRO; GARIGLIO, 2010).

A bioaugmentação, como sugere o nome, consiste em adicionar microrganismos especializados com comprovada atividade de degradação dos poluentes presentes no

local. Existem condições mínimas que devem ser estabelecidas a esses microrganismos inseridos no ambiente como pH, temperatura e nutrientes, para que haja uma grande eficiência. Essa técnica também pode ser utilizada tanto *ex situ* como *in situ* quando não há existência de microrganismos nativos capazes de degradar o poluente em questão (LAZZARETTI, 1998; MARIANO et al., 2007).

Diferente da bioaumentação, a bioestimulação é uma técnica que utiliza os microrganismos nativos da área poluída para degradarem os poluentes. No entanto, para que essa técnica seja utilizada de maneira eficiente, há a necessidade de se descrever microrganismos com a capacidade de degradar e descontaminar o poluente alvo. O bioestímulo consiste em acrescentar nutrientes específicos (orgânicos e/ou inorgânicos) de forma controlada otimizando as condições ambientais para estimular a atividade dos microrganismos nativos em degradar o composto poluente (JACQUES et al., 2007; MARIANO et. al., 2007; ANDRADE et al., 2010). Alguns fatores interferem no processo e com isso faz-se necessário a introdução de estimulantes específicos ou a melhoria das condições ambientais para o desenvolvimento das ações remediadoras pelos agentes biológicos (MACHADO et al., 2016).

A fitorremediação se baseia na utilização de vegetais e sua microbiota associada almejando acelerar o processo de degradação dos poluentes para diminuir sua concentração ou até mesmo despoluir totalmente o ambiente contaminado. Como vantagem, são diversos os tipos de poluentes em que as plantas podem atuar, no entanto a eficiência de sua atuação depende da seleção de plantas que possuam boa capacidade de absorção, sistema radicular profundo (em caso de solo), acelerada taxa de crescimento, fácil colheita e que apresentem uma grande resistência ao poluente (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; Coutinho et. al., 2007).

### **Atuação dos microrganismos na biorremediação**

Diversos trabalhos em biotecnologia indicam fungos e bactérias como principais microrganismos eficientes na degradação de poluentes, possuindo alto potencial de ação

na recuperação de ambientes contaminados (BALAN, 2002). Vários organismos podem ser utilizados na biodegradação, como bactérias, fungos ou plantas, e a eficiência de cada um depende, em muitos casos, da estrutura molecular do poluente e da capacidade enzimática específica para a maioria dos substratos (MEYER, 1978).

O processo de biorremediação mediado por estes agentes tem maior sucesso se a estrutura química do xenobiótico for semelhante à estrutura de moléculas naturais (GAYLARD *et al.*, 2005). Alguns compostos orgânicos são rapidamente biodegradados enquanto outros são recalcitrantes (não biodegradáveis) (ATLAS, 1981).

Muitos fungos e bactérias têm sido utilizados na remoção de metais pesados de efluentes industriais e do ambiente. Sabe-se que muitos compostos ligantes de metais são produzidos por estes microrganismos, tais como os ácidos orgânicos simples, álcoois e macromoléculas, polissacarídeos, ácido húmico e fúlvico, alguns polissacarídeos, mucopolissacarídeos e proteínas (SAYER e GADD, 2001; ZINKEVICH *et al.*, 1996).

Além disso, esses microrganismos podem adsorver estes metais a componentes presentes na superfície da parede celular (processo denominado biossorção), acumulá-los em organelas ou ligá-los a proteínas de seu interior celular (MELO & AZEVEDO, 2008). O uso de fungos filamentosos tem se destacado em relação aos outros microrganismos na remoção de metais do ambiente, pois eles apresentam maior resistência a metais tóxicos, o que proporciona seu crescimento e desenvolvimento em meios que contenham altas concentrações desses poluentes (COLLINS & STOTZKY, 1992).

Segundo Gadd e White (1989), uma levedura muito utilizada para a remoção de metais tóxicos do ambiente é a levedura *Saccaromyces cerevisiae*. Provavelmente, o mecanismo de remoção desses elementos por este fungo ocorre por meio do processo de bioacumulação (GADD 2004). De acordo com Kurek, Czoban e Bollag (1982) a biomassa dos fungos dos gêneros *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Mucor*, *Saccaromyces* e *Trichoderma* têm se mostrado muito eficientes na remoção de metais pesados de soluções aquosas. Muitos microrganismos também têm sido utilizados para a degradação de gasolina, óleo diesel e resíduos de petróleo provenientes de derramamentos, nos oceanos ou no solo (TEIXEIRA, 2007).



Alguns gêneros de bactérias têm sido descritos como potenciais degradadoras de petróleo ou derivados em ambientes contaminados, como *Acidovorans*, *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Aeromonas*, *Arthrobacter*, *Beijemickia*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Comomonas*, *Corynebacterium*, *Cycloclasticus*, *Flavobacterium*, *Gordonia*, *Microbacterium*, *Moraxella*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Neptunomonas*, *Nocardia*, *Paracoccus*, *Pasteurella*, *Polaromonas*, *Pseudomonas*, *Ralstonia*, *Rhodococcus*, *Sphingomonas*, *Stenotrophomonas*, *Streptomyces* e *Vibrio* (JACQUES *et al.*, 2007; TEIXEIRA, 2007)

Outro tipo de poluente que tem despertado grande preocupação são os pesticidas. O uso de agrotóxicos tem se difundido muito na agricultura, nos últimos anos, especialmente no Brasil, que se tornou um dos maiores consumidores desses xenobióticos, ficando atrás somente do Japão e dos Estados Unidos (DAMS, 2006). Felizmente, muitos microrganismos têm sido utilizados na degradação destes compostos em solos ou em efluentes. Dentre eles, diversas bactérias dos gêneros *Nocardia*, *Pseudomonas* e *Agrobacterium* (YANZE-KONTCHOU; GSCHWIND, 1994); e, dentre os fungos filamentosos, *Aspergillus fumigatus* e *Rhizopus stolonifer* (BEHKI *et al.*, 1993).

### **Aplicação da biorremediação em nível global**

Segundo Andrade e colaboradores (2010), a biorremediação com essa variabilidade de técnicas, é uma técnica que vem alcançando importância mundial, sendo utilizada de forma crescente em países desenvolvidos. O emprego de microrganismos no tratamento de áreas contaminadas é uma prática habitual em alguns países desenvolvidos, e, os sistemas biológicos geralmente utilizados são microrganismos e plantas, no entanto, a biodegradação com microrganismos é a opção mais frequentemente utilizada (UETA *et al.*, 1999).

O acidente com Exxon Valdez, navio petroleiro que liberou cerca de 35.500t de petróleo bruto nas águas de Prince William Sound, Alasca, no ano de 1989, fez com que a biorremediação recebesse maior atenção a nível mundial (BRADDOCK *et al.*, 1995).



Com isso, muitos microrganismos têm sido utilizados na recuperação de ambientes impactados por hidrocarbonetos de petróleo, tornando a biorremediação uma importante ferramenta para a redução dos impactos causados pela indústria petrolífera (TEIXEIRA, 2007).

Em estudos comparativos de biorremediação em solos contaminados por óleo diesel realizado por Bento e colaboradores (2005) nos Estados Unidos e China, foram utilizados os métodos de atenuação monitorada, bioestimulação e bioaugmentação para a degradação de hidrocarbonetos totais de petróleo. A utilização de fungos filamentosos e seus metabólitos nos processos de biorremediação vem crescendo devido ao alto potencial metabólico e biossortivo (para metais e corantes, principalmente), e dos mecanismos de resistência em condições ambientais adversas (CONCEIÇÃO et al., 2005).

Segundo Macedo e colaboradores (2015), com o decorrer dos anos, a preocupação com o meio ambiente, e as formas de remediar impactos causados pelo homem, vem crescendo e, como mostra a figura 2, a partir de 1982, houve uma tendência ao aumento de patentes depositadas na área de biorremediação a nível global. Cabe ressaltar que entre 1900 e 1982, houve o depósito de apenas 3 patentes relacionadas a este tema, todas no ano de 1920. Os principais países depositantes de documentos de patentes relacionados a processos de biorremediação no período de 1982 a 2012 são liderados por Estados Unidos, China e Japão. O Brasil não aparece entre os dez principais depositantes. No entanto o Brasil apresenta alta potencialidade de expansão do uso desse processo biotecnológico em decorrência de condições ambientais favorecerem o emprego e a eficácia da técnica (ANDRADE et al., 2010).

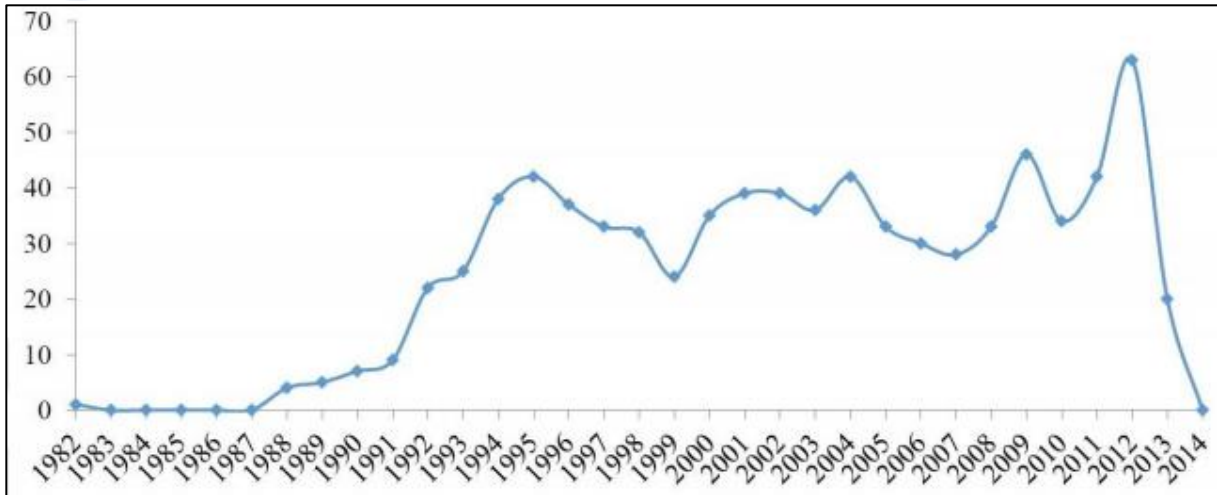


Figura 2: Evolução temporal do depósito de patentes na área da biorremediação.

Fonte: Macedo *et al*, 2015.

### Prospecção de tecnologias comerciais de biorremediação de água

Realizamos uma pesquisa inicial por produtos ou técnicas de biorremediação de corpos hídricos, que fossem comercializados no Brasil e no mundo. A ferramenta de busca Google foi utilizada, com filtro para a opção “shopping” utilizando as palavras de busca “Produtos para biorremediação em água”, e, foram selecionados apenas os que estavam diretamente relacionados ao tema. Para uma busca mais abrangente, foi utilizado o termo “Tecnologia” ao invés de produtos, e o filtro “All” foi selecionado. Por ser uma busca abrangente, nem todos os resultados eram relacionados à proposta da busca, sendo selecionados apenas os resultados que continham produtos comercializados no Brasil ou prestadores de serviço com produtos biorremediadores. Para os dados mundiais, fizemos uma extrapolação da busca no Google utilizando a palavra-chave “Bioremediation products in water”, e os produtos diretamente relacionados a biorremediação em corpos hídricos foram selecionados.

Foram encontrados 3 (três) resultados de produtos biorremediadores comercializados no Brasil para aplicação em corpos hídricos: ECOMIX G, BIO ROOTER e BIOL2000 (Figura 3).

Figura 3: Imagens ilustrativas dos produtos ECOMIX G (A), BIO ROOTER (B) e BIOL 2000 (C).



Fonte: Sites [ecocla.com.br](http://ecocla.com.br); [birooter.com.br](http://birooter.com.br); site [bioplus.ind.br](http://bioplus.ind.br)

O ECOMIX G é fabricado pela empresa Brasileira © 2018 Ecoclã Biotecnologia. O produto tem como objetivo a sua utilização para o tratamento de águas residuárias pela ação de microorganismos resultando na estabilização dos compostos orgânicos poluentes, transformando-os em verdadeiros ecossistemas microbianos. Como benefícios tem-se a substituição de bactérias patogênicas e formadoras de gás sulfídrico por bactérias selecionadas não agressivas ao homem, animais aquáticos e meio ambiente. Pode ser utilizado no tratamento de efluentes, desobstrução de redes coletoras e emissários, e na biorremediação de corpos hídricos (site [ecocla.com.br](http://ecocla.com.br)).

© BIO ROOTER é fabricado pela empresa Sanear Brasil, e é um biorremediador composto por bactérias do gênero bacilos de três diferentes espécies (*Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis* e *Bacillus pumilas*), armazenadas em farelo de trigo e cloreto de sódio. O funcionamento do produto ocorre através da biorremediação por microrganismos existentes no meio, sendo este processo acelerado pelos microrganismos presentes na formulação. Bactérias utilizadas liberam enzimas que agem como digestoras da matéria orgânica a ser eliminada, absorvendo por osmose seus

nutrientes e oxigênio e deixando no efluente apenas água, CO<sub>2</sub> e sais minerais. Segundo a empresa, no final do processo, permanecem no efluente apenas compostos que não fazem mal ao homem nem ao meio ambiente, garantindo assim padrões de lançamento dentro das normas exigidas pelos órgãos ambientais. O BIO ROOTER pode ser utilizado para tratar efluentes oriundos de diversas atividades, desde que a matéria orgânica esteja presente (sites [biorooter.com.br](http://biorooter.com.br) e [sanearbrasil.com.br](http://sanearbrasil.com.br)).

O produto BIOL 2000, fabricado pela empresa Bioplus, utiliza a tecnologia de remediador biológico, onde as culturas microbianas presentes no produto, possuem a característica facultativa de serem anaeróbicas, ou seja, não necessitam de oxigênio para metabolizarem os resíduos orgânicos. Segundo a Bioplus, BIOL 2000 apresenta alto potencial de degradação de um amplo espectro de resíduos orgânicos complexos, oriundos de diversas áreas de atividade industrial, podendo ser utilizado em diversos segmentos como a indústria de alimentos, de doces, de pescado, em frigoríficos e abatedouros ([www.bioplus.ind.br](http://www.bioplus.ind.br)).

A busca por produtos biorremediadores comercializados no mundo para aplicação em corpos hídricos, detectou diversas linhas de produtos de 3 (três) de empresas distintas: a *Total Bio Solution LLC*, a *Microlife Microbial-Products* e a *Marine Easy Clean*.

#### *TOTAL BIO SOLUTION, LLC*

A Total Bio Solution, LLC é uma empresa americana, que fornece produtos voltados para a biorremediação em solos e águas. Alguns de seus produtos comercializados são: (i) *Spillaway +*, um absorvente de hidrocarboneto de ação rápida, multiuso, com microrganismos biorremediadores para derramamentos de hidrocarbonetos. O *Spillaway +* absorve e degrada os hidrocarbonetos de petróleo, combustível e petróleo em subprodutos inofensivos e ambientalmente seguros (Figura 4A); (ii) *Bio-W*, um absorvente flutuante biorremedial projetado para absorver e controlar hidrocarbonetos na água. Este produto tem a capacidade de repelir a água, permitindo "reter" apenas o hidrocarboneto que absorve (Figura 4B); (iii) *Liquid Remediate*, uma fórmula de

biorremediação de solo e água, em particular águas profundas, contaminados por hidrocarbonetos, exigindo uma quantidade mínima de equipamento, mão de obra e custo (Figura 4C) (Site dos produtos [www.totalbiosolution.com](http://www.totalbiosolution.com)).

Figura 4: Produtos de biorremediação disponibilizados pela empresa Total Bio Solution.

A) *SpillAway +*; B) *Bio-W*; C) *Liquid Remediate*.



Fonte: [www.totalbiosolution.com](http://www.totalbiosolution.com)

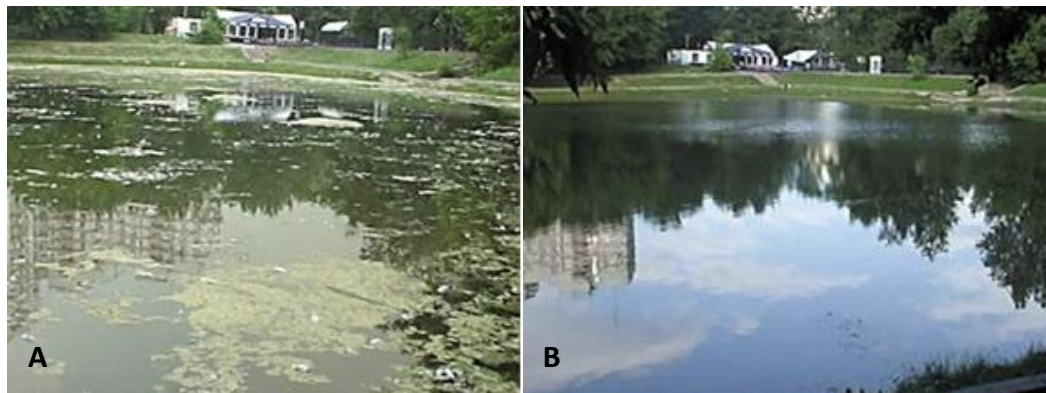
#### *MICROLIFE MICROBIAL-PRODUCTS*

A Microlife é uma empresa Turca com prestações de serviços no ramo da biorremediação, com tecnologias para tratamento de águas residuais, solos e águas contaminadas, produtos marítimos, entre outros. Há diversos produtos disponíveis, dentre eles, dois grupos voltados para biorremediação de lagoas e de águas residuais.

Os produtos aplicados em lagoas são da série DCB e o LCB002, a forma líquida de DCB002. No geral, estes produtos possuem cepas bacterianas que degradam amônia e derivados, evitando a eutrofização. Em aplicações realizadas em meio aquoso anóxico, o lodo séptico acumulado na base do ecossistema é degradado por meio de oxidação biológica. Como os microorganismos no Microlife impedem a habitação de microrganismos anaeróbicos no lodo, a geração de H<sub>2</sub>S é interrompida. A cadeia alimentar no ecossistema é regularizada pela influência de microorganismos dos

produtos sobre as algas e o plâncton, tornando o ambiente adequado para a formação de vida aeróbica (Site microbial-products.com). A figura 5, retirada do site da empresa, mostra o antes e depois do tratamento de uma lagoa recreativa tratada com produtos de biorremediação Microlife série DCB.

Figura 5: Fotos comparativas do antes (A) e depois (B) de uma lagoa tratada com Microlife série DCB.



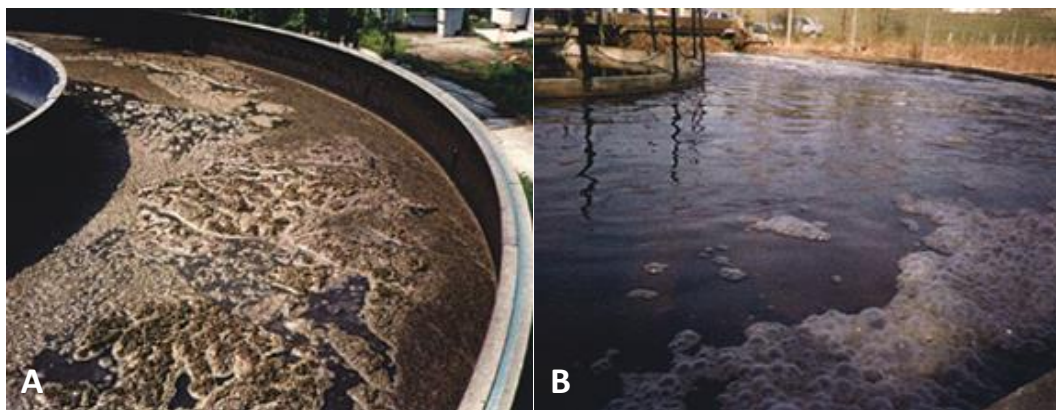
Fonte: [www.microbial-products.com](http://www.microbial-products.com)

No caso de produtos de remediação para águas residuais, são apresentadas as linhas DCD e DCT. Segundo a empresa, eles são designados “pacote” de tratamento de águas residuais urbanas e destacam-se por seus ingredientes de rápido crescimento, garantindo o rápido início e comissionamento da estação de tratamento. Os produtos de tratamento de águas residuais industriais da série Microlife DCT incluem espécies adaptadas seletivamente para o tratamento dos resíduos industriais caracterizados. São 14 fórmulas que prometem a degradação de vários tipos de compostos, tais como: surfactantes não iônicos, aniônicos e catiônicos; ou fenol, halo-hidrocarboneto, benzeno, trimetilamina, etanol, clorometano e formaldeído; ou triglicerídeos e hidrocarbonetos naturais de naftaleno; ou bifenilos e cloro-hidrocarbonetos; ou amido, lignina e celulose; ou cloro-hidrocarbonetos e clorofenóis; ou cianeto e subprodutos; ou enxofre; ou resíduos petroquímicos. As aplicações vão desde em estações de tratamento de águas residuais urbanas, fábricas, indústrias alimentícias e agrícolas, até usinas metalúrgicas e



de energia ([www.microbial-products.com](http://www.microbial-products.com)). A figura 6 apresenta o resultado do tratamento de água residual industrial com produtos de biorremediação Microlife série DCT.

Figura 6: Fotos comparativas de águas residuais remediadas com o produto DCT, onde A = antes do tratamento; B = depois do tratamento.



Fonte: [www.microbial-products.com](http://www.microbial-products.com)

### **MARINE EASY CLEAN**

A tecnologia *The water Cleanser*<sup>™</sup> (TWC), considerada uma potencial ferramenta para a biorremediação em corpos hídricos, foi desenvolvida pela *Marine Easy Clean*, uma empresa Australiana voltada para limpeza de água, que vem aperfeiçoando essa tecnologia há 17 anos. Ela pode ser utilizada no tratamento de lagos, rios, águas residuais de indústrias, aquiculturas, piscinas e aquários, e, prova ser eficiente em despoluir água, remediando rapidamente o sistema poluído (MARINE EASY CLEAN, 2015). O produto é comercializado em diferentes formas, de acordo com o local a ser remediado (Figura 7).

A TWC é um substrato à base de óleo orgânico e cera que não libera hidrocarbonetos na água, atuando como bioestimulador no meio inserido, fornecendo habitat, fontes de carbono e oligoelementos para os microorganismos ali presente (MARINE EASY CLEAN, 2015). Foi visto que, substratos a base de óleo como a TWC, são adequados para o



crescimento microbiano, onde muitas espécies de bactérias heterotróficas, inclusive as dos gêneros *Pseudomonas* e *Bacillus*, utilizam hidrocarbonetos como fonte de energia (SAKTHIPRIYA *et al.*, 2015; HU *et al.*, 2017).

Figura 7: Diferentes formas de comercialização do produto TWC de acordo com o local a ser remediado. Figura **A**: Bolas de aquário limpadoras de água; **B**: Bloco de lagoa limpador de água; **C**: Bloco de piscina limpador de água; **D**: Bloco padrão e grande para lagos, rios e aquicultura



Fonte: site do produto [thewatercleanser.com](http://thewatercleanser.com)

Bactérias podem melhorar a ciclagem de nutrientes de um sistema aquático, aumentando as taxas de nitrificação e processos de desnitrificação e ciclagem de fosfatos de matéria orgânica a partículas dissolvidas para o sedimento (MORIARTY, 1997). Isso pode ajudar no processo de bioremediação, removendo o excesso da matéria orgânica, resíduos nitrogenados e fosfatos biologicamente disponíveis (ortofosfatos) na água, aumentando a taxa de decomposição da matéria orgânica através dos microrganismos (MARINE EASY CLEAN, 2015). Estudos realizados com a TWC determinaram microrganismos de diversos gêneros que colonizaram a placa TWC, como: *Bacillus*; *Acinetobacter*; *Mycobacterium*; *Nocardia*; *Paecilomyces*; *Holomonas*; *Lactobacillus*; *Tenacibaculum*; *Lysinibacillus*; *Burkholderia*; *Pseudomonas*; *Aeromonas*; *Rheinheimera*; *Exiguobacterium* (MARINE EASY CLEAN 2015).

Os microrganismos estimulados pela TWC na água e os do biofilme que se formam no substrato (um crescimento abundante pode ser visível), tem a capacidade de consumir matéria orgânica, óleos orgânicos, resíduos nitrogenados na água e acumular fosfatos inorgânicos (MARINE EASY CLEAN, 2015). Eles convertem amônia em nitrito, o nitrito em nitrato e potencializam a desnitrificação. Essa ação é muito importante para a melhora da qualidade da água, pois a amônia em níveis elevados geralmente causa uma redução do crescimento animal, e o nitrito pode se ligar de maneira competitiva ao oxigênio na hemoglobina, reduzindo a capacidade do transporte de O<sub>2</sub> no sangue (HARGREVES, 1998; PANDEY *et al.* 2014). Além de aprimorar a ciclagem de nitrogênio através dos processos bacterianos e melhorar a qualidade da água, a TWC pode auxiliar na diminuição de metais no ambiente e melhorar a taxa de oxigênio dissolvido, como já foram constatadas nos experimentos realizados nas universidades parceiras que estudam o funcionamento da tecnologia e auxiliam no seu aprimoramento (MARINE EASY CLEAN, 2015).

### **Considerações Finais**

Nas últimas décadas, o crescimento populacional e o conseqüente aumento na demanda de recursos e atividades industriais, vem contribuindo para a degradação do meio ambiente, principalmente no que se diz respeito a contaminação de corpos hídricos (TIBURTIUS & ZAMORA, 2004). Desta forma, a necessidade de se investir em métodos e tecnologias alternativas de remediação de áreas contaminadas é urgente. E além do desenvolvimento da tecnologia em si, é necessário o despertar da consciência humana para a necessidade de aplicação dessas tecnologias em prol do meio ambiente (CORRÊA *et al.*, 2005). Como resultado de nossa busca por produtos e técnicas para biorremediação em corpos hídricos no Brasil, pôde-se observar que no país, pouco é

investido na aplicação de produtos ou prestação de serviço privado por empresas para a técnica de biorremediação.

Através da busca por literatura, descobrimos que a comunidade acadêmica no Brasil, estuda a biorremediação com um enfoque maior na aplicação de técnicas em áreas impactadas por atividades petrolíferas e, muitas vezes, essas pesquisas são realizadas por universidades, isoladamente, ou muitas vezes com parcerias com empresas petrolíferas, como foi visto por Souza (2003) & Rosa (2001). Podemos ver que, mesmo com muitos dos seus corpos hídricos estarem em níveis alarmantes de poluição, no Brasil, pouco se investe em pesquisas e inovações para recuperar áreas degradadas.

Todos os produtos identificados como comercializados no Brasil, segundo os sites dos fornecedores, remediam o ambiente contaminado através da bioaugmentação, e possuem ação de degradação ou estabilização de compostos orgânicos poluentes presentes no ambiente a ser tratado. Segundo Mariano (2006), o bioaumento é um processo de importante utilização em locais contaminados, principalmente naqueles que não possuem ou possuem em pequenas quantidades as populações de microrganismos necessários para que o processo de biodegradação ocorra. No entanto, segundo Lazzaretti (1998), para que haja um efetivo benefício dessa técnica, condições mínimas devem ser fornecidas aos microrganismos que foram introduzidos no local, como: a manutenção do pH, a temperatura e o fornecimento de nutrientes.

A pesquisa sobre biorremediação envolvendo microrganismos vem crescendo ao longo das últimas décadas, gerando invenções na forma de produtos e métodos tecnológicos que são protegidos na forma de patente de invenção e de modelo de utilidade, o que garante ao titular um monopólio ou privilégio de exploração econômica da atividade inventiva, por um período determinado de tempo, em um determinado país (BRASIL, 1996). Segundo Santos e colaboradores (2017), o Brasil ainda possui poucas inovações tecnológicas nessa área de estudo, porém alguns produtos e processos têm sido desenvolvidos principalmente devido à grande expansão de mineradoras no Brasil nas últimas décadas.

A busca por produtos comercializados para biorremediação em corpos hídricos fora do Brasil mostrou produtos que agem de formas diversas, cada um com suas especificidades. A *Total Bio Solution* é comercializa produtos que remediam água e solo contaminados por absorção e eliminação de contaminantes por hidrocarboneto através de microrganismos ativos oxidantes. Segundo Teixeira (2007), muitos microrganismos têm sido utilizados para a degradação de gasolina, óleo diesel e resíduos de petróleo derramados nos mares e nos solos, sendo os compostos mais tóxicos os chamados BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e os três isômeros de posição do xileno), que podem ser utilizados como fonte de carbono por diversas espécies de bactérias, leveduras e fungos filamentosos.

A empresa *Microlife* presta serviço com tecnologias que remediam águas e solos contaminados. Seus produtos contêm cepas bacterianas combinadas com nutrientes para determinados locais a serem tratados. Um dos seus principais produtos, o Microlife LCB002 contém cepas ideais para realizar a nitrificação de amônia. Segundo Gomes (2003) a amônia e o nitrito na água são indicadores de poluição, com isso, altas concentrações desses componentes podem acarretar a eutrofização do sistema aquático, que pode causar assim o aparecimento excessivo de plantas aquáticas.

A tecnologia bioestimuladora *The Water Cleanser*, foi desenvolvida na Austrália, e hoje possui representantes comerciais do produto em vários países, inclusive no Brasil. Em 2017, Meurer e colaboradores avaliaram a ação deste produto sobre a qualidade da água da Lagoa Rodrigo de Freitas, no Brasil, e os possíveis impactos sobre a comunidade planctônica. Os resultados foram satisfatórios, e foi observado uma aceleração no ciclo do nitrogênio, a melhora na demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e, visualmente, uma melhora na turbidez da água dos tanques que continham a TWC. Além disso foi observado que a placa TWC parece oferecer condições para a biota aquática se desenvolver, sendo registrada a fixação de cirripédios filtradores (cracas) em todos os tanques com o produto, onde os mesmos vieram na forma de larva quando a água foi

coletada, mostrando uma maior abundância de organismos atingindo a fase adulta, quando ao controle sem a placa (MEURER *et al*, 2017).

Comparando-se a técnica de bioestimulação que a TWC promove, com a técnica de bioaumentação que os demais produtos comercializados citados anteriormente promovem, podemos concluir que a primeira é mais viável e segura, pois não realiza a adição de microrganismos no ambiente, o que pode causar prejuízos ao meio inserido, caso não haja um estudo prévio do local. Segundo Mariano (2006) e Andrade e colaboradores (2010), a bioaumentação quando bem empregada tem como vantagem a intensificação do processo de biodegradação do ambiente. Porém, para aplicar essa técnica, é necessário que sejam seguidas as normas pertinentes de cada região para a utilização de microrganismos alóctones (não tem origem no local) nos sistemas de remediação, como acontece no Brasil, mais especificamente no Estado de São Paulo, regido pelo CETESB nº L1.022, de junho de 2007 (CETESB, 2007), pois pode trazer riscos ambientais se mal empregada. Leavitt e Brown (1994) concluíram ao comparar as duas técnicas, que, para determinadas aplicações, a bioestimulação de microrganismos autóctones é a melhor escolha, considerando o baixo custo e desempenho.

## Referências

ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. **Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados**. Eclética Química, v 32, n. 3, 2010.

ATLAS, R. M. **Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: an environmental perspective**. Microbiological Reviews, Bethesda, v. 45, n. 1, p. 180-208, Mar. 1981.

AZEVEDO, D. A.; GERCHON, E.; REIS, E. O. **Monitoring of Pesticides and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water from Paraíba do Sul River, Brazil**. Journal of Brazilian Chemical Society, 15, 165, 2004.

BALAN, D. S. L. **A indústria têxtil e o meio ambiente. Tecnologia limpa e controle ambiental**. Química Têxtil, Barueri, v. 66, p. 26-31, 2002.

BEEKMAN, G.B. **Water conservation, recycling and reuse**. International Journal of Water Resources Development, v.14, n.3, 353-364, 1998.

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.

BENTO, F. M. *et al.* **Comparative bioremediation of soils contaminated with diesel oil by natural attenuation, biostimulation and bioaugmentation**. Bioresource Technology, [S.l.], v. 96, n. 9, p.1049-1055, jun. 2005.

BIOPLUS. Disponível em <<https://www.bioplus.ind.br/biol-2000>> Acesso em: 20 de mai 2020.

BIOROOTER. Disponível em <<http://www.biorooter.com.br/aplicacoes.html>> Acesso em: 20 de mai 2020.

BÖCKLER, T. P.; BÖCKLER, K. K. P.; SIMM, K. C. B. **Utilização de fungos na biorremediação de águas contaminadas por coliformes fecais**. Revista Thêma et Scientia, v. 6, n. 2E, p. 282-296, 2016.

BOOPATHY, R. **Factors limiting bioremediation technologies**. Bioresource Technology. v. 74, p. 63, 2000.

BRADDOCK, J. F.; LINDSTROM, J. E.; BROWN, E. J.. **Distribution of hydrocarbon-degrading microorganisms in sediments from Prince William Sound, Alaska following the Exxon Valdez oil spill**. Marine Pollution Bulletin 30, Alaska, p.125-132, Feb. 1995.

BRASIL. **Lei n. 9.279, de 14 de maio de 1996. Regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 14 maio 1996. Acesso: 10 ago. 2020.

CAMPOS, I. Z. A. **A importância de tratamento de águas residuais através da biorremediação: Uma análise principiológica**. Revista FIDES, v. 5, n. 2, 2014.

CARNEIRO, D. A.; GARIGLIO, L. P. **A Biorremediação como ferramenta para a descontaminação de ambientes terrestres e aquáticos**. Revista Tecre, v. 3. n. 4, 2010.

CETESB: COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E**, de 22 de junho de 2007, 2007a. 40p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/>. Acesso em: 13 ago. 2020.

CETESB: COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. Capítulo X - Investigação para Biorremediação, 2004. 77p.

COLLINS, Y. E.; STOTZKY, G. **Heavy metal alter the electrokinetic properties of bacteria, yeast and clay minerals**. Applied and Environmental Microbiology, New York, v. 58, n. 5, p. 1592-1600, May 1992.

CONCEIÇÃO, D. M. et al. **Fungos filamentosos isolados do rio Atibais, SP e refinaria de petróleo biodegradadores de compostos fenólicos**. Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo, v. 72, n. 1, p. 99-106, 2005.

CORDAZZO, J. **Modelagem e simulação numérica do derramamento de gasolina acrescida de álcool em águas subterrâneas**. 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2000.

CORRÊA, L. B. et al. **O saber: resíduos sólidos de serviços de saúde na formação acadêmica: uma contribuição da educação ambiental**. Interface: comunicação, saúde, educação, Rio Grande do Sul, v. 9, n. 18, p. 571-84, set./dez. 2005

COUTINHO, H. D; BARBOSA, A. R. **Fitorremediação: considerações gerais e características de utilização**. Silva Lusitana, Lisboa, v. 15, n. 1, p. 103-117, 2007

DAMS, R. I. **Pesticida: usos e perigos à saúde e ao meio ambiente**. Revista Saúde e Ambiente, Joinville, v. 7, n. 2, p. 37- 44, dez. 2006.

ECOCLÁ. Disponível em <<https://ecocla.com.br/ecomix-g/>> Acesso em: 20 mai. 2020.

EPA: ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, UNITED STATES. **How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tank Sites: A Guide for Corrective Action Plan Reviewers**. Chapter XIII - Chemical Oxidation, EPA 510-B-94-003; EPA 510-B-95-007 and EPA 510-R-04-002, 2004.

GADD, G. M. **Microbial influence on metal mobility and application for bioremediation**. Geoderma.122, 109-119, 2004.

GADD, G. M.; WHITE, C. **Heavy metal and radionuclide accumulation and toxicity in fungi and yeast**. In: POLE, R. K.; GADD, G. M. (Ed.). Metal microbe interactions. Oxford: IRL, 1989.



GAYLARDE, C. C.; BELLINASSO, M. L.; MANFIO, G. P. **Aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos. Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento.** Ano III, n.34, p. 36-43. 2005.

HARGREAVES, J. A. **Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds.** *Aquaculture*, 166 (3-4), 181–212. 1998.

HU, X., CAO, Y., WEN, G., ZHANG, X., XU, Y., XU, W., XU, L., & LI, Z. **Effect of combined use of *Bacillus* and molasses on microbial communities in shrimp cultural enclosure systems.** *Aquaculture Research*, 48(6), 2691–2705. 2017

JACQUES, R. J. S. et al. **Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1192-1201, 2007.

KUREK, E.; CZOBAN, J.; BOLLAG, J. **Sorption of cadmium by microorganisms in competition with other soil constituents.** *Applied and Environmental Microbiology*, Washington, v. 43, n. 5, p. 1011-1015, May 1982.

LAZZARETTI, Eduardo. **Bioaugmentação: uma nova opção para o tratamento de resíduos orgânicos.** 1998.

LEAVITT, M.; BROWN, K. L. **Bioestimulation versus bioaugmentation three case studies.** Lewis publishers. Boca Raton, p.72, 1994.

MACEDO, C.; ANGELI, R.; OLIVEIRA, S. D.; CARMO, F. L. **Mapeamento tecnológico dos processos de biorremediação: Uma análise no contexto da biotecnologia sustentável.** *Cad. Prospec.*, Salvador, v. 8, n. 3, p. 450-458. 2015

MACHADO, K. M. G.; NASCIMENTO, E. A.; ARAUJO, J. C. S. B. **Aplicação da biorremediação no estado de São Paulo.** *LEOPOLDIANUM*, v. 1, n. 116, p. 18, 2016.

MARIANO, Adriano Pinto. **Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel.** 147 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

MARIANO, A. P.; KATAOKA, A. P. A. G.; ANGELIS, D. F.; BONOTTO, D. M. Laboratory study on the bioremediation of diesel oil contaminated soil from a petrol station. *Brazilian Journal of Microbiology*, 38: 346-353. 2007

MARINE EASY CLEAN. Disponível em: <<https://www.marineeasyclean.com.au/>> Acesso em: 27 de mai. 2020.

MARINE EASY CLEAN, 2015. **Enhancing nature to clean and restore nature, The Water Cleanser**. Disponível em < [http:// www.thewatercleanser.com.au](http://www.thewatercleanser.com.au)> Acesso em 27 de mai. 2020.

MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. **Microbiologia ambiental**. 2. ed. rev. e ampl. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008.

MEURER, B. C.; PEREIRA, O. A. F. C.; DAVID-SANTOS, E. P.; RODRIGUES, A. R. J.; ROSA, M.; PENETRA, M. B. D. **Evaluation of new bio-stimulation technology as a solution for the pollution of Rio de Janeiro lagoons**. Pensar Biologia. v. pp. 2017.

MEYER, U. **Biodegradation of synthetic organic colorants**. In: BROWN, A. W. A. Ecology of pesticides. New York: Jhon Willey, 1978.

MICROBIAL PRODUCTS. Disponível em <<http://www.microbial-products.com/default.asp>> Acesso em: 22 de mai. 2020.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006.

MORIARTY, D. J. W. .1997. **The role of microorganisms in aquaculture ponds**. *Aquaculture*, 151, 333–349.

NRC: NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **In Situ Bioremediation: When Does It Work?** Washington, DC, National Academy Press, 1993.

PANDEY, K. P., VIVEKANAND, B., & KUNDAN, K. **Biofilm in aquaculture production**. *African Journal of Microbiology Research*, 8(13), 1434–1443. 2014.

PRINCE, R.C. **Petroleum spill bioremediation in marine environments**. Critical Reviews in Microbiology, Philadelphia, Vol. 19, p. 217-242, 1993.

ROSA, R.; SOUTO, J.; MAGALHÃES, J. **Excursão de Campo à Bacia do Recôncavo com a Universidade Federal da Bahia (UFBA)**; Roteiro de Campo. PETROBRÁS – UN-BA/ATEX/GL, Salvador, 2001.

SAKTHIPRIYA, N., DOBLE, M., & SANGWAI, J. S. **Action of biosurfactant producing thermophilic *Bacillus subtilis* on waxy crude oil and long chain paraffins**. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 105, 168–177. 2015.

SANEAR BRASIL. Disponível em <<https://www.sanearbrasil.com.br/>> Acesso em: 20 de mai. 2020.

SANTOS, S. C.; CASTRO, D. C. M.; ASSUNÇÃO, P. S.; SANTOS, T. L.; QUINTELLA, C. M. **Mapeamento Tecnológico de Processos Microbianos Aplicados na Biorremediação de Metais Pesados**. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, PA, Brasil. 2017.

SAYER, J. A.; GADD, G. M. **Binding of cobalt and zinc by organic acids and culture filtrates of *Aspergillus niger* grown in the absence or presence of insoluble cobalt or zinc phosphate**. Mycological Research, Cambridge, v. 105, p.1261– 1267, Nov. 2001.

SILVA, J. S.; SANTOS, S. S.; GOMES, F. G. G. **A Biotecnologia como estratégia de reversão de áreas contaminadas por resíduos sólidos**. Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET), v. 18, n. 4, p. 1361-1370, 2014

SILVEIRA, L. R.; TATTO, J; MANDAI, P. **/Biorremediação: considerações gerais e características do processo**. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 13, n. 2, p. 32-47, jul./dez. 2016.

SOUZA, E. S. **Desenvolvimento de métodos de biorremediação aplicados a derrames de petróleo em água do mar - testes laboratoriais**. 315f. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Reservatório e Exploração de Petróleo), Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, Macaé – RJ.

TEIXEIRA, A. S. **Isolamento e caracterização de bactérias degradadoras de gasolina comercial**. 95 f. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre.

TIBURTIUS, E. R. L.; ZAMORA, P. P. **Contaminação de águas por BTXS e processos utilizados na remediação de sítios contaminados**. Química Nova. v.27, n.2, p. 441-446. 2004.

TOTAL BIO SOLLUTION. Disponível em <<https://www.totalbiosolution.com/>> Acesso em: 22 de mai. 2020.

UETA, J.; SHUHAMA, N. L.; CERDEIRA, I. K. **Biodegradação de herbicidas e biorremediação: microrganismos degradadores do herbicida atrazina provenientes de solos da Região do Aquífero Guarani**. Biotecnologia, v. 10, p. 10-13, 1999.

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.



ZINKEVICH, V. et al. **Characterization of exopolymers produced by different isolates of marine sulphate-reducing bacteria.** *International Biodeterioration Biodegradation*, Barking, v. 37, n. 3-4, p. 163–172, 1996.