

Juliana Vieira Rafael

**A POLUIÇÃO DO SOLO E O PAPEL DOS BASIDIOMICETOS
NO PROCESSO DE BIORREMEDIAÇÃO**

Trabalho apresentado ao Curso de Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientador: Dr. Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares.

Araranguá
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

Vieira Rafael, Juliana A POLUIÇÃO DO SOLO E O PAPEL DOS BASIDIOMICETOS
NO PROCESSO DE BIORREMEDIAÇÃO / Juliana Vieira Rafael ; orientador, Cláudio
Roberto Fonsêca Sousa Soares, 2018. 55 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina,
Centro de Ciências Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Ciências Biológicas. 2. Poluição do solo. 3. Biorremediação. 4. Basidiomicetos. I.
Fonsêca Sousa Soares, Cláudio Roberto. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

Juliana Vieira Rafael

**A POLUIÇÃO DO SOLO E O PAPEL DOS BASIDIOMICETOS
NO PROCESSO DE BIORREMEDIAÇÃO**

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Licenciada em Ciências Biológicas” e aprovado em sua forma final pelo Centro de Ciências Biológicas

Araranguá, 02 de março de 2018.

Prof.^a Viviane Mara Woehl, Dr.^a
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof.^a Cláudio Roberto Fonsêca Sousa Soares, Dr.^a
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Viviane Mara Woehl, Dr.^a
Coordenadora do Curso
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Cristine Maria Bressan, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico esta pesquisa a todas aquelas pessoas que não desistiram de compreender o mundo a sua volta e aquelas que de alguma forma abriram caminhos para que outros pudessem continuar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe por sua paciência e incentivo ao longo da construção deste trabalho.

A Deus por manter-me firme.

Ao meu orientador por ajudar-me durante o processo de escrita.

Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer.

Albert Einstein

RESUMO

Buscar novas formas de recuperar solos degradados são iniciativas que vêm beneficiando o meio ambiente a partir de técnicas de biorremediação que utilizam microrganismos durante o processo. Desta forma, este trabalho possui como tema: A poluição do solo e o papel dos basidiomicetos na biorremediação, com o intuito de revisar a bibliografia existente no que se refere à importância dos basidiomicetos no resgate de solos contaminados, além de apresentar a interferência da poluição na saúde humana e apresentar quais são os mecanismos envolvidos nos processos de biorremediação. A pesquisa caracteriza-se por ser bibliográfica com abordagem qualitativa, fundamentando-se em algumas bases de dados como *Scielo*, *Springer*, *United States Environmental Protection Agency (EPA)* e diversos autores sobre o tema. Este estudo visa analisar e trazer novas perspectivas a respeito da necessidade e importância do uso de basidiomicetos na biorremediação como fonte na recuperação de ambientes poluídos, assim como, demonstrar sua utilidade e necessidade para a manutenção e preservação dos ecossistemas.

Palavras-chave: Poluição do solo. Basidiomicetos. Biorremediação.

ABSTRACT

Looking for new ways to recover degraded soils are initiatives that benefit the environment through bioremediation techniques that use microorganisms during the process. In this way, this work has as its theme: Soil pollution and the role of basidiomycetes in bioremediation, with the purpose of reviewing the existing bibliography regarding the importance of basidiomycetes in the rescue of contaminated soils, besides presenting the interference of pollution in human health and to present the mechanisms involved in bioremediation processes. The research is characterized by being bibliographical with a qualitative approach, based on some databases such as Scielo, Springer, United States Environmental Protection Agency (EPA) and several authors on the subject. This study aims to analyze and bring new perspectives about the necessity and importance of the use of basidiomycetes in bioremediation as a source for the recovery of polluted environments, as well as to demonstrate its utility and necessity for the maintenance and preservation of ecosystems.

Keywords: Soil pollution. Basidiomycetes. Bioremediation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclagem do Nitrogênio. Disponível em: < https://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_do_nitrogênio >.....	35
Figura 2 - Ciclagem do Enxofre. Disponível em: < http://ciclosbiogeo.blogspot.com.br/2011/05/ciclo-do-enxofre.html >.	37
Figura 3 - Ciclo do Carbono. Disponível em: http://bioeja.blogspot.com.br/2013/06/ciclos-biogeoquimicos.html	39
Figura 4 - Ciclo Hidrológico. Fonte: Disponível em: < http://geografianewtonalmeida.blogspot.com.br/2012/04/ciclo-da-agua-ciclo-hidrologico.html	40
Figura 5 - Possíveis efeitos dos pesticidas sobre os componentes bióticos do agrossistema. Fonte: Moreira; Siqueira (2006).....	44
Figura 6 - Morador de Cubatão observando a poluição em 1980. Fonte disponível em: < http://www.pensamentoverde.com.br/sustentabilidade/historia-poluicao-cubatao-cidade-deixou-vale-morte/ >.....	48
Figura 7 - Antes e Depois do rompimento da barragem no sub-distrito de Bento Rodrigues (MG). Fonte disponível em: < http://www.florestalbrasil.com/2015/11/mariana-minas-gerais-um-panorama-do.html >	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27	
1.1	OBJETIVOS	29	
1.1.1	Objetivo geral	29	
1.1.2	Objetivos específicos	29	
2	METODOLOGIA	30	
3	DESENVOLVIMENTO/REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31	
3.1	A IMPORTÂNCIA DO SOLO PARA OS ECOSISTEMAS	31	
3.2	POLUENTES DO SOLO – COMPORTAMENTO E	PRINCIPAIS FONTES	41
3.3	A RELAÇÃO ENTRE A POLUIÇÃO E A SAÚDE	HUMANA.....	47
3.4	OS MECANISMOS DA BIORREMEDIAÇÃO EM SOLOS	50	
3.5	OS BASIDIOMICETOS NA BIORREMEDIAÇÃO	52	
4	CONCLUSÃO	55	
	REFERÊNCIAS.....	57	

1 INTRODUÇÃO

Sabendo que ao longo dos anos a soma de diversos fatores como o acúmulo populacional, consumismo elevado, falta de conscientização em relação ao ambiente em que se vive, entre outros, resulta em um aumento de poluentes em diversos ambientes fazendo com que a natureza apresente mudanças e traga preocupação para a sociedade com essas alterações.

O termo poluição vai muito além de apenas um conceito que nos remete a falta de cuidado com o meio ambiente, visto que engloba diversos fatores ambientais que estão interligados para a manutenção da vida no planeta. No Brasil, segundo Cerri Neto e Ferreira (2009), a Constituição Federal ressalta que “sobre a questão ambiental, pode-se afirmar que há no ordenamento jurídico brasileiro normas que obrigam o cidadão a realizar determinada conduta, como por exemplo, recuperar o meio ambiente degradado”.

Embora saibamos muito pouco sobre o que seria de fato a poluição, mesmo sendo um tema desenvolvido desde os primeiros anos escolares, necessita-se esclarecer a diferença entre alguns termos para que se haja compreensão do que se está sendo discutido.

Nesse contexto, apesar das palavras contaminação e poluição parecem denotar o mesmo significado, ambas apresentam diferenças sutis, sendo que contaminação implica na concentração maior de determinada substância num ambiente onde ela ocorre naturalmente, como também se ela está causando danos de algum tipo e, o termo poluição deve ser usado quando uma substância está causando efeitos colaterais indesejáveis para algum organismo, seja no ambiente em que ele estiver (Pierzynski, 2017).

Nessa perspectiva, dentre todos os elementos que compõem um ambiente, o solo merece seu destaque visto que dele partem recursos necessários para o desenvolvimento de plantas, animais e microrganismos, sendo que para suprir essas necessidades e torná-lo produtivo, o solo, precisa estar em condições adequadas, e nesse caso a poluição do mesmo acarreta dificuldades em seu manejo e fertilidade.

Segundo Costa (2004), “sob a ação de agentes internos e, até variável profundidade, de agentes externos, a crosta terrestre sofre modificações complexas que abrangem misturas de massas e deformações, e transformações destas resultantes.” Tais modificações afetam a superfície da Terra redirecionando rochas desintegradas, dando origem ao que conhecemos hoje por solo.

Nesse sentido, é necessário ressaltar a existência de diferenças significativas entre a variedade de solos, principalmente no que diz respeito às suas características físicas e químicas. Nesse aspecto, o solo pode ser caracterizado a partir de suas várias camadas e espessuras, além de seu conteúdo orgânico e mineral, cor, textura, estrutura, porosidade e pH (Pelczar Junior et al. 2010). Em relação aos outros habitats terrestres, o solo é considerado peculiar por possuir características que permitem o convívio de organismos díspares que proporcionam condições ideais para uma biodiversidade variada (Moreira; Siqueira, 2006).

Desta forma, é necessária a compreensão sobre a relação existente entre o solo e os microrganismos, pois a partir dessa interação passa-se melhor compreender quais mecanismos envolvidos podem resgatar a fertilidade e produtividade de um ambiente poluído. Dentre os diversos microrganismos encontrados no solo, destacam-se nesse trabalho, os fungos, especificamente algumas espécies de basidiomicetos, que pelo processo chamado de biorremediação permitem que sejam degradadas determinadas substâncias e dejetos encontrados no solo. Berger (2016) aponta que a utilização desse processo com seres vivos ou de seus componentes pode ser aplicado tanto no solo quanto na água ou em resíduos industriais ou urbanos.

Assim, este trabalho possui como tema: A poluição do solo e o papel dos basidiomicetos na biorremediação, com o intuito de revisar a bibliografia existente no que se refere à importância dos basidiomicetos no resgate de solos contaminados, além de apresentar a interferência da poluição na saúde humana e apresentar quais são os mecanismos envolvidos nos processos de biorremediação.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

•Realizar uma revisão de literatura a respeito das principais causas e conseqüências da poluição do solo e o papel dos basidiomicetos nos processos de biorremediação.

1.1.2 Objetivos específicos

- Definir a importância do solo para os ecossistemas;
- Caracterizar os principais poluentes do solo, assim como seu comportamento e suas principais fontes;
- Apontar os impactos da poluição do solo na saúde humana e meio ambiente;
- Distinguir os mecanismos envolvidos na biorremediação de poluentes do solo.
- Determinar a importância dos basidiomicetos no processo de biorremediação;

2 METODOLOGIA

Considerando que a pesquisa é um conjunto de procedimentos sistemáticos baseados no raciocínio lógico, como aponta Andrade (2003), a mesma caracteriza-se por ser bibliográfica a qual “implica em um conjunto ordenado de procedimentos de busca por soluções, atento ao objeto de estudo, e que, por isso, não pode ser aleatório”, Lima *et al.* (2007).

Sendo assim, a pesquisa busca observar os fatos, registrá-los, analisá-los e interpretá-los com base na análise dos textos lidos.

3 DESENVOLVIMENTO/REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo são apresentados, inicialmente, a importância do solo para os ecossistemas. A seguir uma descrição de quais são os possíveis poluentes do solo e como se dá seu comportamento, em seguida a relação entre a poluição e a saúde humana, assim como quais são os mecanismos utilizados na biorremediação de solos e a importância do uso de basidiomicetos na recuperação dos mesmos.

3.1 A IMPORTÂNCIA DO SOLO PARA OS ECOSISTEMAS

Para que um ambiente seja considerado sustentável o solo deve estar apropriado para manter a interação entre os ecossistemas (Vezzani, 2011). Embora as preocupações com o ambiente aumentem a cada ano, “defrontamo-nos com toda uma série de problemas globais que estão danificando a biosfera e a vida humana de uma maneira alarmante, e que pode logo se tornar irreversível” (Capra, 1996).

Nesse sentido, buscar compreender como se caracteriza um ecossistema se torna essencial para poder conservá-lo, visto que seu equilíbrio influencia diretamente na funcionalidade do solo. Cassini (2005) destaca que os ecossistemas são formados por três componentes que atuam mutuamente que são os fatores abióticos, bióticos e os fluxos de energia. A interação existente entre esses elementos se dá na relação de interdependência entre os seres que compõem esse ecossistema.

[...] os ecossistemas precisam conter algumas inter-relações estruturadas entre solo, água e nutrientes, de um lado, e entre produtores, consumidores e decompositores, de outro. Os ecossistemas funcionam graças à manutenção do fluxo de energia e do ciclo de materiais, desdobrado numa série de processos e relações energéticas, chamada cadeia alimentar, que agrupa os membros de uma comunidade natural. (CASSINI, p.3, 2005)

O solo pode apresentar-se em três fases: sólido, líquido e gasoso. E em cada uma dessas fases ele expressa-se de formas diferentes. Rocha, Rosa e Cardoso (2009) apontam que em geral a composição volumétrica dos solos é favorável para ao crescimento de plantas visto que sua complexa fauna desempenha importantes funções.

As partes sólidas dos solos provem da degradação de rochas e de substâncias vindas da interação, principalmente, de bactérias e fungos. Essas substâncias orgânicas e inorgânicas diluem-se por sua vez, trazendo características líquidas ao solo. A água, em sua constituição (do solo), favorece as principais trocas de nutrientes entre plantas, além de acomodar os processos biológicos e químicos.

Em sua fase gasosa, o solo apresenta qualitativamente, os mesmos componentes principais presentes no ar atmosférico, embora que quantitativamente suas proporções apresentem-se diferentes (Rocha, Rosa e Cardoso, 2009).

Mesmo o solo se enquadrar no fator abiótico, sua condição química e estrutural devem ser analisadas, pois esse é um dos motivos das preocupações atuais e mostra claramente a necessidade de mudanças imediatas na forma de uso e manejo do solo para que a biodiversidade desses ecossistemas possa ser mantida.

O solo, juntamente com o ambiente edáfico, é a base da sustentação da pedosfera onde se distribuem os ecossistemas, cujos pilares de sustentação são os seguintes: fluxo de energia, ciclagem de nutrientes e biodiversidade, cuja atividade mantém os processos essenciais ao seu funcionamento e a manutenção. Se o ecossistema sofrer interferência que leve a perda de energia, redução da biodiversidade e retirada de nutrientes (ciclo aberto), ele terá a sustentabilidade comprometida. (MOREIRA; SIQUEIRA p. 137, 2006)

Nesse sentido, abordar sobre a funcionalidade, importância e mecanismos que se relacionam no solo, requer primeiramente que se compreenda a dinâmica existente nos ecossistemas, visto que seu equilíbrio acontece diretamente no solo.

Um ecossistema nada mais é que a relação existente entre os seres bióticos e abióticos, sendo primeiramente citado por Sir Arthur G. Tansley no ano de 1935. Odum (2008) cita que apenas tempos mais tarde, no século XX é que começou a desenvolver o campo definitivo e quantitativo da ecologia dos sistemas.

Para poder melhor exemplificar, um ecossistema apresenta sua estrutura dividida em duas camadas, uma superior e outra inferior. Na primeira, encontram-se as plantas fixadoras de energia luminosa, substâncias inorgânicas e construção de substâncias orgânicas

complexas, assim como, “uma diversidade de bactérias, fungos, insetos e minhocas que se relacionam em complexas teias alimentares” (Miller, 2008). Já na sua segunda estrutura, têm-se no solo, sedimentos, matéria de degradação, raízes, entre outros, assim como a degradação de substâncias complexas. Suas camadas também apresentam colorações e composições diferentes que permitem ou não o desenvolvimento de espécies vegetais, animais entre outras.

Nessas condições, a biodiversidade no solo deve ser reconhecida pela sociedade, afim de que possa garantir a permanência de organismos nos ecossistemas para que haja a manutenção e a ciclagem de nutrientes, sendo que os fatores abióticos e bióticos dependem um do outro para o equilíbrio da natureza como um todo.

Os inúmeros organismos que se multiplicam e habitam o solo são responsáveis, direta e indiretamente, por processos bioquímicos diversos que controlam as transformações dos elementos químicos e as transferências de energia e nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera, constituindo a base de sustentação e produtividade dos ecossistemas terrestres. (MOREIRA; SIQUEIRA, p.163, 2006)

Nesse contexto, necessita-se compreender como se dão os processos biogeoquímicos no solo para que haja a ciclagem de nutrientes tão essenciais para a manutenção dos ecossistemas.

Os ciclos biogeoquímicos são a circulação de elementos essenciais para a vida que vão do ambiente para organismo e de volta para o ambiente (Odum e Barret, 2008), sendo movimentos cíclicos de elementos químicos entre o meio biológico e o ambiente geológico.

Para que haja a sobrevivência de seres vivos, são necessários alguns elementos, como a água, oxigênio, carbono, nitrogênio, entre outras. Esses elementos essenciais a vida, podem ser classificados em macronutrientes (primários e secundários) e micronutrientes, embora “a separação entre macro e micronutrientes é principalmente didática, pois esta separação quantitativa pode variar entre as diferentes espécies”, afirma Mendes (2017).

Os nutrientes são elementos químicos e sais dissolvidos indispensáveis ao crescimento e a reprodução dos seres vivos. Os macronutrientes primários - Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K) – e secundários – Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S) - geralmente

tornam-se deficientes no solo antes dos demais, porque as plantas os usam em quantidades relativamente grandes, já os micronutrientes - Boro (Bo), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Zinco (Zn) - são menos deficientes e usados em pouca quantidade.

Esses elementos formam os ciclos biogeoquímicos dos ecossistemas, sendo que neste trabalho foram analisados a “Ciclagem do Nitrogênio, Ciclagem do fósforo, Ciclagem do enxofre, Ciclagem do Carbono e o Ciclo Hidrológico” (Odum, e Barret, 2008).

Inicialmente, a Ciclagem do Nitrogênio se dá a partir do momento que determinados organismos conseguem absorver o nitrogênio gasoso, e convertê-lo em amônia (NH_3), amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-), pois essas moléculas conseguem melhor reagir com os demais seres vivos. Tais transformações são complexas, como pode ser analisada na Figura 1, e são capazes de acontecer através de diversos meios como na biofixação, amonização, fixação física e fixação industrial (Andrade e Poletto, 2012). Para que esses processos possam ocorrer, uma variedade de microrganismos estão distribuídos, principalmente, no solo. Exemplos: bactérias de vida livre; Bactérias de nódulos simbióticos em leguminosas; Bactérias não-simbióticas como as Cianobactérias; actinomicetos (bactérias filamentosas); diversidade de fungos, entre outros.

Em resumo, somente os procariontes (microrganismos primitivos) podem converter biologicamente o gás nitrogênio inútil em formas de nitrogênio exigidas para construir e manter as células vivas. Quando esses microrganismos formam parcerias mutuamente benéficas com plantas superiores, aumenta muito a fixação de nitrogênio. [...] (ODUM E BARRET, p. 148, 2008)

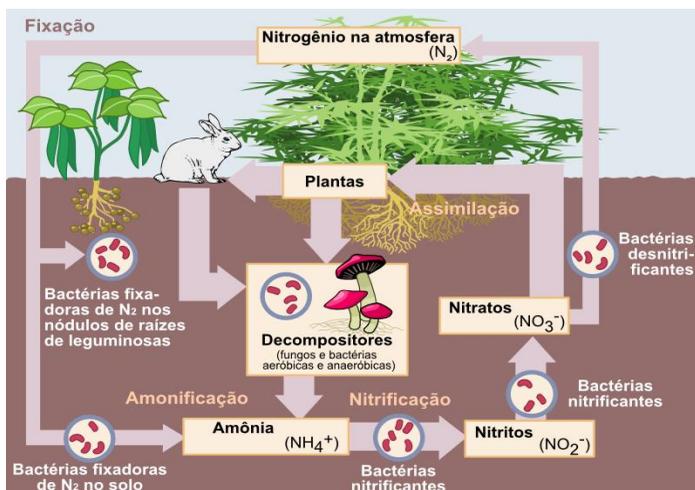


Figura 1 - Ciclagem do Nitrogênio. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_do_nitrogênio>.

A ciclagem do fósforo parece um pouco mais simples que a do nitrogênio, pois ocorre em menor número de formas químicas. Embora seja pouco encontrado na natureza, devido sua dependência de processos geológicos para sua liberação.

O fósforo é um dos mais importantes nutrientes minerais para a atividade celular. Compõe moléculas fundamentais, tais como: ácidos nucléicos e moléculas energéticas de ATP. É constituinte inorgânico dos dentes e ossos ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ – fosfato de cálcio) e nutriente limitante para o crescimento de plantas. Além disso, é utilizado na fabricação de artefatos militares, adubos e agrotóxicos para a agricultura e detergentes e produtos de limpeza. (ANDRADE; POLETO, p. 50, 2012)

O fósforo geralmente é encontrado na forma de sais de fosfato contendo íons de fosfato (PO_4^{3-}) em formações rochosas terrestres e nos sedimentos no fundo dos oceanos (Miller, 2008). Nesse aspecto, esse elemento pode permanecer longos períodos em forma de sedimento sendo exposto de alguma forma e iniciar novamente seu ciclo, como pode ser observado na Figura 2.

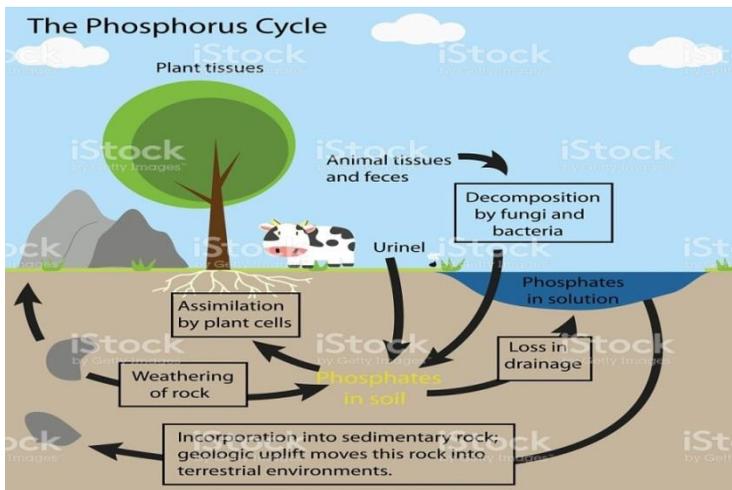


Figura 2 - Ciclagem do Fósforo. Disponível em: <<https://www.istockphoto.com/br/vetor/o-ciclo-de-fósforo-gm537437170-95303945>>.

Vale ressaltar que os ciclos do nitrogênio e do fósforo podem enriquecer a produtividade de um ecossistema, e que ao se propagarem com o auxílio da chuva, podem trazer sérios problemas de contaminação ao meio ambiente caso não sejam manejados da forma correta, iniciando um processo chamado de eutrofização.

Andrade e Poletto (2012) explicam que a eutrofização é um processo natural de enriquecimento de um ecossistema aquático pela adição de nutrientes limitantes, assim como o nitrogênio e o fósforo. Desta forma, se o homem, por algum motivo, adicionar em excesso tais nutrientes, poderá resultar em um aumento no crescimento de plantas, algas ou outros produtores primários, que podem causar certo desequilíbrio na concentração de oxigênio dissolvido no corpo d'água, ocasionando a morte de peixes, a perda de espécies e alterações estéticas do ambiente impactado.

O enxofre faz parte de um ciclo que envolve o ar, a água, o solo e organismos vivos. Esse ciclo demonstra sua armazenagem no subsolo, nas rochas e minerais, incluindo os sais de sulfato (SO_4^-) depositados abaixo dos sedimentos do oceano (Miller, 2008).

O ciclo do enxofre é considerado sedimentar, mesmo que apresente uma forma gasosa, necessitando a ação de microrganismos para ações de redução e oxidação.

A maior parte do enxofre que é assimilado é mineralizado em processos de decomposição. Entretanto, sob condições anaeróbicas, ele é reduzido a sulfetos, entre os quais o sulfeto de hidrogênio (H₂S), composto letal à maioria dos seres vivos, principalmente aos ecossistemas aquáticos em grandes profundidades. Esse gás tanto no solo como na água, sob as camadas mais areadas onde então é oxidado, passando à forma de enxofre elementar, quando, mais oxidado, ele se transforma daí, em sulfato. (BRAGA et al., p. 32, 2005)

Nesse contexto, sua produção apresenta grande importância na produção e decomposição de matéria orgânica. Além disso, Andrade e Poletto (2012) citam que o processo de vulcanismo coloca na atmosfera grande quantidade de enxofre na forma de dióxido de enxofre (SO₂), mas não tão maior quanto o lançamento realizado em processos industriais por esse mesmo composto, responsável por agravar a chuva ácida, intensificando dessa forma, o efeito estufa, como pode ser observado na Figura 3.

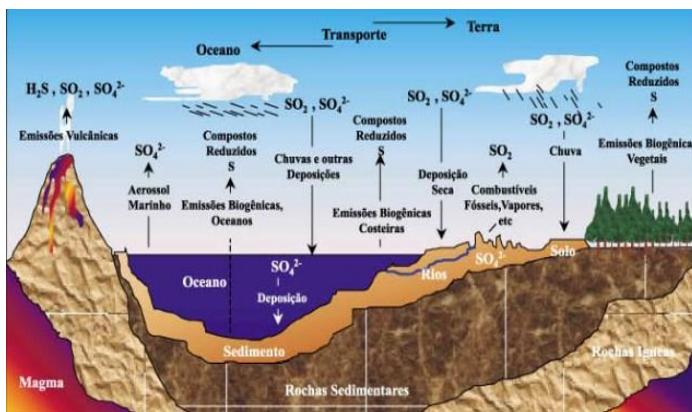


Figura 2 - Ciclagem do Enxofre. Disponível em: <<http://ciclosbiogeo.blogspot.com.br/2011/05/ciclo-do-enxofre.html>>.

Os processos de respiração e fotossíntese que acontecem num ecossistema decorrem a partir do equilíbrio do ciclo do carbono entre o dióxido de carbono da atmosfera e os compostos orgânicos dos organismos biológicos (Spiro e Stigliani, 2009).

Embora grande parte dos sedimentos gerados de matéria animal e vegetal tenha sido soterrada, criando certo acúmulo de carbono no solo, boa parte desse componente acabou sendo removido ao entrar em contato com o oxigênio atmosférico, gerando, há milênios, os combustíveis fósseis, que a partir de sua queima, desequilibram o ciclo do carbono.

A partir do momento em que esses sedimentos vão se aprofundando e a temperatura e pressão aumentam no solo, isso faz com que a ação bacteriana diminua e que uma recombinação orgânica entre as reações aconteça, favorecendo o surgimento de várias bolsas gasosas formadas por metanos e hidrocarbonetos leves.

Spiro e Stigliani (2009) destacam que a quantidade de metano soterrado, principalmente em depósitos marinhos, sob a forma de hidratos e claratos, possuem alto potencial como geradores de energia combustível. Embora que ainda existam pesquisas a respeito de suas funcionalidades, há, principalmente, a preocupação em razão da liberação de grande quantidade de metano na atmosfera, visto que potencializaria o efeito estufa.

Ainda assim, o ciclo do carbono (Figura 4) resulta dos processos biológicos da fotossíntese/respiração e da combustão (Spiro e Stigliani, 2009), que subdividem-se num ciclo orgânico, que envolve a ligação entre seres produtores, consumidores e decompositores que permitem a circulação do carbono pela biosfera (Miller, 2007), e no ciclo inorgânico presente nas rochas.

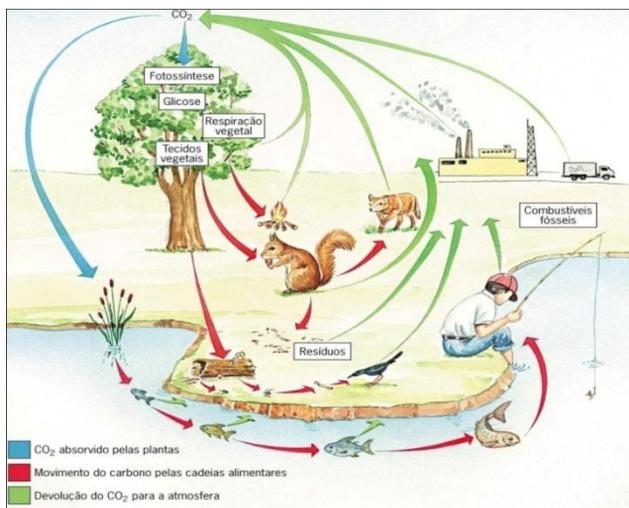


Figura 3 - Ciclo do Carbono. Disponível em: <http://bioeja.blogspot.com.br/2013/06/ciclos-biogeocimicos.html>

Nesse sentido, o ciclo hidrológico, ou ciclo da água, representa um dos ciclos mais rápidos no que diz respeito a sua renovação, pois seu elemento, a água, é um dos principais componentes dos organismos vivos, tendo por funções regulação térmica, equilíbrio osmótico e ácido-base, ativar enzimas, além de grande reguladora do ambiente (Braga, 2005).

O ciclo hidrológico (Figura 5) é um movimento contínuo que a água percorre entre a atmosfera para a hidrosfera, litosfera e biosfera e destas para a atmosfera novamente (Andrade, 2012). Durante esse período diversos processos acontecem como: evaporação, transpiração, condensação, precipitação, interceptação, armazenamento nas depressões do terreno, infiltração e escoamento superficial e subterrâneo.

Sobre esse ciclo destaca-se a forte intervenção do homem principalmente no aspecto qualitativo e dinâmico da água, visto que a partir do desmatamento e urbanização (Andrade, 2012), acontece forte aumento de escoamento de água superficial, dando origem à erosão, assoreamento, enchentes, entre outros, no meio ambiente.

Cada ciclo, até aqui mencionado, apresentam interações um com o outro, sendo que a partir do momento que um deles entra em desequilíbrio, acabará afetando algum outro ciclo e, que dessa forma

acaba por atingir todos os organismos do ecossistema (Rosa, Messias e Ambrozini, 2003).

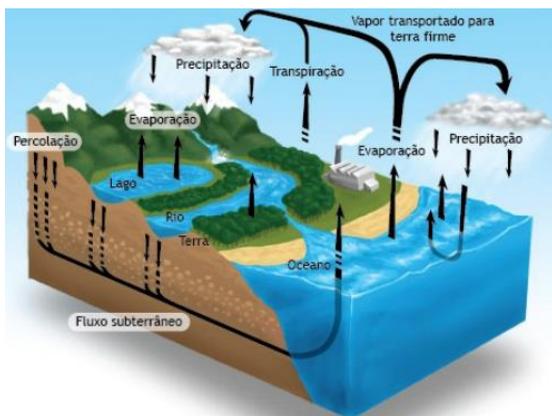


Figura 4 - Ciclo Hidrológico. Fonte: Disponível em: <<http://geografianewtonalmeida.blogspot.com.br/2012/04/ciclo-da-agua-ciclo-hidrologico.html>>

3.2 POLUENTES DO SOLO – COMPORTAMENTO E PRINCIPAIS FONTES

A partir dos processos de industrialização que transformaram o mundo ao longo dos anos, e com isso, havendo a má disposição de resíduos industriais, permitiu-se que o acúmulo desses resíduos se proliferasse, devido à ação antrópica, gerando os chamados poluentes ambientais (Oliveira et al. 2018).

Os poluentes do solo podem dividir-se em poluentes urbanos e poluentes rurais (Braga, 2005). Os poluentes urbanos distribuíram-se em resíduos sólidos classificados de acordo com suas atividades enquanto que os poluentes rurais englobam a salinização, os fertilizantes sintéticos e os defensivos agrícolas

A poluição do solo urbano surge da geração de resíduos a partir das atividades desenvolvidas nas cidades sem o devido descarte. Esses resíduos apresentam-se na fase sólida, líquida e gasosa, sendo a forma sólida a que mais se manifesta no meio ambiente (Braga, 2005).

A disposição inadequada de resíduos orgânicos gera chorume, emissão de metano na atmosfera e favorece a proliferação de vetores de doenças (Brasil, 2018). Assim, é necessário que determinadas atitudes sejam tomadas como gestão e tratamento desses resíduos para que os mesmos possam fertilizar, de forma natural, os solos.

De acordo com a ABNT NBR 10.004, os resíduos sólidos são classificados de acordo com o estado físico do produto, seu aspecto, cor, odor e grau de heterogeneidade (Straus, 2018). Desta forma, sua classificação diferencia-se em três classes: Resíduos de Classe I – perigosos, podendo ter características de toxicidade, inflamabilidade, corrosividades, reatividade, radioatividade e patogenicidade em geral, ou seja, riscos à saúde pública; Resíduos de Classe II A - não inertes, que podem ter propriedade de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água, não se enquadrando nas classes I e II B; e a Classe II B – inertes, sendo quaisquer resíduos que não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (Abetre - Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos, 2018).

Quanto à poluição rural, outro fator que enaltece a poluição do solo é a salinização, podendo ser classificada em primária, no que se refere às características próprias do solo e ambiente, secundária quando está relacionada às ações do homem (Resende et al., 2018). A salinização é uma forma particular de poluição do solo (Braga, 2005),

pois ela pode estar susceptível a possuir uma quantidade significativa de sais devido a sua natureza, e assim, tornar o solo árido. A ação do homem nesse processo está ligada a agricultura devido à irrigação, que pode aumentar o depósito de sais no lençol freático.

O uso de fertilizantes sintéticos e defensivos agrícolas surgiu com o intuito de aumentar a produção de alimentos para atender o aumento populacional. Embora o uso de fertilizantes naturais, degradados pela própria natureza, tenha sido seguros ao ecossistema por um bom tempo, buscou-se desenvolver mecanismos que aumentassem a produção de alimentos (Braga, 2005). Nesse contexto, à medida que fertilizantes sintéticos passaram a ser adicionados no solo para o desenvolvimento das plantações, percebeu-se que os mesmos incorporavam-se muito mais ao ambiente do que na planta. Nesse caso, ocasionaram diversas formas de poluição, como a contaminação e a eutrofização (Andrade e Poletto, 2012).

Já os defensivos agrícolas surgiram para combater as pragas agrícolas, sendo classificados de acordo com o que combatem: inseticidas, fungicidas, herbicidas, entre outros. O primeiro defensivo surgiu na década de 40, intitulado por DDT (DICLORO DIFENIL TRICLOROETANO), sua ação era de prevenir os soldados na Segunda Guerra Mundial contra a tifo, que o utilizavam na pele para combate a piolhos (Damato, Torres e Malm, 2018). Posteriormente foi usado na agropecuária, no Brasil e no mundo, dado seu baixo preço e elevada eficiência.

Nos dias de hoje seu uso restringi-se apenas no controle de vetores, especificamente da malária, pois o inseticida DDT é conhecido por ser muito persistente no meio ambiente, por se acumular em tecidos gordurosos, e percorrer longas distâncias na atmosfera. Sua restrição se deve a uma reunião entre diversos países que desenvolveram um tratado conhecido como a Convenção de Estocolmo que prevê uma isenção limitada para o uso desse defensivo (EPA, 2018).

De acordo com Moreira; Siqueira (*apud* Lavorenti et al, 2003, p. 265) os pesticidas que geram mais demanda economicamente são os herbicidas, compreendendo 60% de vendas, usados na soja, milho, cana-de-açúcar, arroz irrigado, café, algodão, feijão, pastagens, citros e trigo; Os inseticidas ocupam 21% do volume comercializado, aplicados em algodão, soja, café, milho, tratamento de sementes do milho, feijão, batata inglesa, citros, formigas em geral e fumo; Já os fungicidas representam 16% do total usado em café, soja, batata inglesa, trigo, feijão, horticultura, tratamento de sementes de soja, tomate-envergado, citros e tomate-rasteiro.

Com o passar de duas décadas, desde sua criação, percebeu-se, a partir de estudos, que o DDT estava presente na célula de animais e aves, além de estar em calotas polares, em distâncias, relativamente grandes de onde se fazia uso desse componente. Desse modo, pesquisadores especulam que os poluentes se movem pela atmosfera, a partir de suas fontes em locais quentes do globo (Damato, Torres e Malm, 2018), ligando-se aos sedimentos do solo, sofrendo ação de lixiviação e contaminação de águas, volatilização e contaminação do ar ou são absorvidos por microorganismos, vegetais ou animais.

Esses compostos químicos sintéticos podem também ser chamados xenobióticos (do grego *xeno* significa estranho, e *biótico*, vida), e são usados na fabricação de diversos produtos industriais e domésticos, como detergentes, fibras, plásticos, lubrificantes, entre outros, que acabam gerando lucros econômicos a seus fabricantes (Moreira; Siqueira, 2006).

Os pesticidas podem ser aplicados diretamente na planta, solo ou sementes, tendo alcance não só nas pragas, como também interferir no desenvolvimento da planta, biota da parte aérea e do solo (Figura 6).

Por serem compostos químicos de possível perigo a saúde de qualquer ser vivo, os xenobióticos vem sendo analisados e estudados por diversos pesquisadores. Nos EUA já existem mecanismos que podem identificar como os xenobióticos causam toxicidade ou não, visto que há falta de informação sobre a maioria dos produtos químicos. Então, para resolver esse problema o United States Environmental Protection Agency (EPA) desenvolveu um banco de dados, chamado ICSS ToxCast (actor.epa.gov/dashboard/) o qual apresenta milhares de informações físico-químicas de vários componentes, analisados e testados (Villeneuve, 2018).

Embora o uso de dados ToxCast seja de grande valia, a sua interpretação pode mudar ao longo do tempo à medida que a ciência e os métodos analíticos evoluam. Essa cautela é fruto de estudos sobre os xenobióticos no que se refere à saúde humana, visto que diversas doenças vêm sendo atreladas ao consumo e uso de alimentos e produtos contaminados por esses agentes, assunto esse que será tratado no próximo subcapítulo.

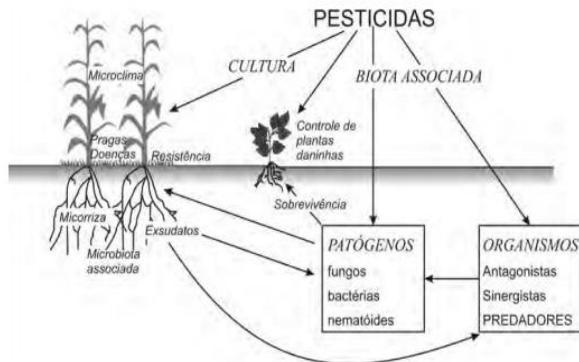


Figura 5 - Possíveis efeitos dos pesticidas sobre os componentes bióticos do agrossistema. Fonte: Moreira; Siqueira (2006)

Além do DDT, existem o malation, metomil que também são inseticidas, o 2,4-D, glifosato e dicamba (herbicidas) e o CCA, creosoto e metanearsonato de monossódico (MSMA) que são pesticidas usados no tratamento da madeira. Todos são defensivos de uso agrícola, que embora apresentem a mesma função apresentam características físico-químicas distintas.

O malation é um inseticida organofosforado que foi registrado para uso nos Estados Unidos desde 1956 (EPA, 2018). É usado na produção de uma grande variedade de alimentos para controlar muitos tipos de insetos, como pulgões, moscas e besouros (Paraná, 2018).

Sua aplicação se dá no solo, porém em alguns casos é realizada a pulverização de forma aérea, para minimizar a transmissão do vírus Zika e outras doenças transmitidas por mosquitos (EPA, 2018). Embora sua eficácia seja na pulverização aérea, esse processo pode trazer riscos à saúde humana se não for aplicado da forma correta.

O metomil é usado como inseticida desde 1968, sendo aplicado em vegetais como a alface e laranja, sendo restrito á agricultura por ser altamente tóxico em seres humanos, agindo principalmente no sistema nervoso, causando náuseas, tonturas, paralisia respiratória e até a morte (EPA, 2018). No Brasil, também é usado na cultura de algodão, milho, batata, soja e tomate (Paraná, 2018). O Metomil dissolve-se em água e se desdobra rapidamente no solo, por isso tem baixa persistência no meio ambiente (EPA, 2018).

O 2,4 – D (ácido diclorofenoxiacético) é um herbicida utilizado no controle de ervas daninhas numa variedade de culturas de campo, frutas e vegetais, pastagens, assim como em ambientes aquáticos e

florestais, agindo especificamente no controle de dicotiledôneas, preservando as monocotiledôneas, mimetizando os hormônios vegetais conhecidos como auxinas (Matte et al., 2018).

Sua toxicidade depende das suas formas químicas, incluindo sais, ésteres e uma forma ácida, sendo assim, geralmente têm baixa toxicidade para os seres humanos, exceto que certas formas de ácido e sais podem causar irritação ocular. Em aves e mamíferos apresenta toxicidade moderada, em peixes e invertebrados aquáticos é pouca, enquanto que em abelhas praticamente não é tóxico. Ainda assim, as formas de éster de 2,4-D podem ser altamente tóxicas para peixes e outras espécies aquáticas (EPA, 2018).

Esse ácido surgiu durante a segunda guerra mundial (1939 – 1945), sendo utilizado juntamente com o herbicida 2,4,5 – T, mistura essa, chamada de “agente laranja”, no intuito de desfolhar a área entre o Vietnã, pelos americanos (Matte et al., 2018). Embora seu uso tenha sido, nesse período, de pouca ajuda no combate pelos americanos, um dos problemas encontrados foi com a dioxina (TCDD), altamente tóxica, oriunda do processo de fabricação do 2,4,5-T, que logo foi proibida, enquanto que o 2,4-D continua até hoje sendo utilizado em diversos países, sendo equivocadamente associado ao agente laranja. Os efeitos do 2,4-D e compostos relacionados estão atualmente passando por revisão de registro, que os avalia num ciclo de 15 anos (EPA, 2018).

Dicamba é um herbicida seletivo na família de produtos químicos do ácido benzóico. Esse produto é registrado para uso na agricultura no plantio de milho, trigo, soja e entre outras, assim como em áreas residenciais para o controle de ervas daninhas, como dentes-de-leão, amendoim e trevo (EPA, 2018).

Seu uso vem sendo avaliado para que não traga danos às culturas não-alvo, visto que seu uso no ano de 2016 trouxe problemas nas plantações de soja nos EUA, se espalhando por campos próximos. Isso se deve ao fato de que novas variedades de soja geneticamente modificadas foram comercializadas nesse período sem que houvesse uma atualização desse herbicida (Estadão, 2018).

Já o Glifosato, também é um herbicida, tendo por nome comercial Rondap®, sendo usado em 90% das culturas devido a sua ação de amplo espectro, principalmente em cultivo de lavouras com vegetais geneticamente modificados, tornando essa variedade de vegetais insensíveis a ele (Moreira; Siqueira, 2006). São vendidos em formulações líquidas, sólidas e prontas para uso e aplicados usando equipamentos terrestres e aéreos e pequenos pulverizadores de mão. Apresenta baixa toxicidade para os seres humanos, embora possa causar

certa irritação ocular, caso não se use os equipamentos recomendados pelas normas de segurança. Ainda assim, o glifosato é um pouco tóxico para as aves e é praticamente não tóxico para peixes, invertebrados aquáticos e abelhas (EPA, 2018).

O pesticida CCA (arseniato de cobre cromatado) é uma mistura de sais de cobre, de ácido crômico e ácido arsênico, utilizado em madeiras que estão em contato ao solo, contra fungos e outras pragas que podem degradar ou ameaçar a integridade da madeira (EPA, 2018). Esse produto é de uso industrial, possuindo categoria Classe I, ou seja, extremamente tóxico e de alto risco.

Quando aplicado à madeira, o cromo provoca a precipitação de grande quantidade de cobre e arsênio e reage com a madeira, tornando os produtos praticamente insolúveis. A reação de fixação desencadeada pelo cromo deixa o arsênio, como agente inseticida, e o cobre, como agente fungicida, totalmente aderidos às estruturas celulares (EPA, 2018).

Outro pesticida de uso restrito como conservante de madeira é o creosoto, derivado da destilação de alcatrão de madeira ou carvão. Os produtos de pesticidas que contêm creosoto como ingrediente ativo são usados para proteger a madeira contra térmitas, fungos, ácaros e outras pragas que podem degradar ou ameaçar a integridade da madeira (EPA, 2018). O creosoto não é aprovado para tratar madeira para uso residencial, incluindo paisagens de madeira ou bordas de jardim.

Embora tais resíduos exijam certa cautela e conhecimento para serem manipulados, todos podem interferir na qualidade do solo, pois sua grande maioria é constituída por xenobióticos que são difíceis de mensurar no que se refere a sua agressão ao meio ambiente devido sua volatilidade, visto que a maioria dos estudos é realizada em laboratório, em ambientes controlados.

3.3 A RELAÇÃO ENTRE A POLUIÇÃO E A SAÚDE HUMANA

Os poluentes do solo podem ser diversos, assim como seus resultados. Esses produtos, muitas vezes lançados sem nenhum controle, são capazes de contaminar organismos, serem incorporados à cadeia alimentar e, conseqüentemente, gerar desequilíbrios ambientais e desenvolvimento de doenças na população.

Normalmente a poluição do solo se dá pela ação do homem, mas processos naturais também podem causar o mesmo efeito. A urbanização, aterros sanitários, agricultura, pecuária e mineração são exemplos de práticas humanas que agridem o solo (Santos, 2018). Maremotos, terremotos e as atividades vulcânicas, são exemplos de fontes de poluição natural.

Embora a população já tenha ouvido falar sobre o uso de agrotóxicos na agricultura, a maior parte da sociedade desconhece os riscos da ingestão e contato com esses elementos a longo e curto prazo.

A gravidade dos efeitos dos agrotóxicos dependerá da toxicidade dos princípios ativos, da dose, da duração da exposição e da forma pela qual se entra em contato com as substâncias. Nesse contexto, há grupos populacionais que apresentam maior probabilidade de desenvolvimento de doenças ou agravos à saúde em consequência da exposição. É o caso das crianças, idosos, gestantes, lactentes, pessoas com problemas de saúde pré-existentes e trabalhadores diretamente envolvidos com agrotóxicos (produção, aplicação, armazenamento, entre outros) (Brasil, 2018).

No Brasil durante muito tempo existiu o despejo de rejeitos industriais e agrícolas em rios e terrenos baldios. Nos dias atuais essa realidade continua muitas vezes camuflada em projetos ambientais que a própria empresa oferece, com reciclagem ou reuso de suas embalagens, por exemplo.

Na década de 80, duas cidades brasileiras, na Baixada Santista, Cubatão (Figura 6) e São Vicente, localizadas no estado de São Paulo, sofreram contaminação por resíduos organoclorados, resultantes da fabricação de pesticidas por uma determinada empresa, que depositava tais rejeitos em cavas de extração de areia e os vendia como adubos para os sítiantes que os utilizavam em suas propriedades. A denúncia desse problema só veio a conhecimento da sociedade a partir do momento que funcionários da própria empresa revelaram tal situação. Após o fechamento da empresa e evacuação da região, foram removidos os solos dos locais contaminados e instalado um incinerador. Algum tempo

depois, ao realizarem exames nas pessoas residentes nessa região, foram encontrados níveis significativos de hexaclorobenzeno no sangue e no leite materno das moradoras locais.

Nessa região, até hoje, os alimentos colhidos, tanto do solo quanto dos rios, vêm apresentando em sua composição metais pesados e hidrocarbonetos tóxicos à saúde humana (Guimarães, 2018). Desta forma, o consumo e o contato, mesmo que indireto das regiões afetadas mostrou que diversas doenças passaram a surgir na região, como excesso de mortalidade por câncer colorretal, devido a exposição agentes químicos carcinogênicos orgânicos (hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos clorados) e metais pesados (cádmio, cromo e níquel) presentes na região (Guimarães, 2018 apud Medrado - Faria, 2001).

Esse foi um dos muitos exemplos de regiões brasileiras que trouxeram impactos ambientais e riscos à saúde humana, como o caso na região de Mariana no Estado de Minas Gerais (Figura 7), que a mais de dois anos sofreu com a vazão de 34 milhões de metros cúbicos de rejeito de minério de ferro jorraram do complexo de mineração operado pela Samarco e percorreram 55 km do rio Gualaxo do Norte e outros 22 km do rio do Carmo até desaguiarem no rio Doce. No total, a lama percorreu 663 km até encontrar o mar, no município de Regência (ES), e até nos dias atuais ainda não consegue delimitar o tamanho dos estragos que causou ao ambiente e população da região (Mota, 2018).



Figura 6 - Morador de Cubatão observando a poluição em 1980. Fonte disponível em: <<http://www.pensamentoverde.com.br/sustentabilidade/historia-poluicao-cubatao-cidade-deixou-vale-morte/>>.



Figura 7 - Antes e Depois do rompimento da barragem no sub-distrito de Bento Rodrigues (MG). Fonte disponível em: <http://www.florestalbrasil.com/2015/11/mariana-minas-gerais-um-panorama-do.html>.

Embora existam riscos em lidar com componentes químicos, sejam eles de qualquer variedade, os cuidados devem ser em seguir corretamente as normas de segurança que a cada resíduo compete, evitando sua vazão na degradação do ambiente.

3.4 OS MECANISMOS DA BIORREMEDIAÇÃO EM SOLOS

Para poder reduzir o stress causado ao meio ambiente pelo excesso de degradação causada pelo homem, surgem técnicas capazes de restituir esses ambientes, tornando-os habitáveis novamente por diversos seres vivos. A técnica destacada nesse trabalho é a biorremediação em solos.

A biorremediação consiste em um processo biotecnológico, o qual utiliza microrganismos, como fungos e bactérias, ou suas enzimas na remediação de solos, ou outro ambientes, contaminados, mineralizando esses resíduos, além de gerar gás carbônico e água (Oliveira et al.2018), ou seja, formas que não ofereçam riscos ambientais (Moreira; Siqueira, 2006).

As técnicas de biorremediação podem ser classificadas em *in situ*, onde o solo é tratado no local, e *ex situ* onde o solo contaminado é removido e levado a outro local para ser tratado, pois seus poluentes podem trazer algum risco às pessoas que estiverem próximas de sua localização. A escolha para o uso de uma delas consiste no tipo de resíduo encontrado, concentração de contaminante e o custo dos processos (Oliveira et al. 2018).

A biorremediação *in situ* inclui técnicas de bioventilação, bioestimulação, landfarming, bioaumentação e fitorremediação. A biorremediação *ex situ* apresenta a técnicas de compostagem e biorreatores.

Na bioestimulação são adicionados nutrientes no solo como nitrogênio e fósforo para estimular os microrganismos existentes. Já a bioventilação é uma forma de bioestimulação, consistindo em uma técnica utilizada na remoção de hidrocarbonetos do petróleo, adicionando-se gases como O₂ e CH₄, para aumentar a atividade microbiana decompositora (Moreira; Siqueira *apud* Skipper, 1998).

A técnica landfarming é um processo utilizado na indústria petroquímica, no tratamento de rejeitos industriais, sendo que o solo contaminado por hidrocarbonetos deve sofrer a adição de nutrientes e periodicamente ser arado (Moreira; Siqueira *apud* Jorgensen *et al.* 2000), para que a própria biota do solo atue na degradação.

A bioaumentação consiste na introdução de microrganismos cultivados em culturas oriundas do solo contaminado (Oliveira et al. *apud* Sarkar *et. Al* 2005), capazes de degradar a maior parte dos contaminantes sem produzir substâncias tóxicas.

A fitorremediação é um termo geral para várias maneiras em que as plantas são usadas para remover poluentes do solo e da água. As

plantas podem degradar poluentes orgânicos ou conter e estabilizar contaminantes metálicos, atuando como filtros. É usada para limpar metais, pesticidas, solventes, explosivos, petróleo bruto, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e lixiviados de aterro sanitário (EPA, 2018).

Na biorremediação *ex situ*, a compostagem é o uso de microrganismos termofílicos aeróbios em pilhas construídas para degradar o contaminante (Moreira; Siqueira *apud* Skipper, 1998), ou seja, para os autores a compostagem é um processo de oxidação biológica através do qual os microrganismos decompõem os compostos constituintes dos materiais liberando dióxido de carbono e vapor de água, por meio da produção biológica de calor (Oliveira, 2018).

O uso de biorreatores assemelha-se a técnica Landfarming, embora seja mais viável, pois acontece em um ambiente fechado, fácil de controlar pH, umidade, temperatura, entre outros, além de custo mais favorável, com poucas dificuldades operacionais e sem influências climáticas (Raimundo, 2018).

Por fim, embora as técnicas de biorremediação apresentem várias vantagens, antes da escolha de qualquer uma delas, existe a necessidade de investigação a respeito do tipo e concentração dos poluentes encontrados, qual é o suprimento de nutrientes desse ambiente e, principalmente, a densidade da população de microrganismos degradadores, para que a biodegradação seja efetiva.

3.5 OS BASIDIOMICETOS NA BIORREMEDIAÇÃO

Na utilização das técnicas de biorremediação podem ser utilizadas diversas espécies de seres vivos, como bactérias e fungos, com o intuito de acelerar o processo de descontaminação do solo. Durante muitos anos o uso de bactérias nesses processos era um desses meios. Com o tempo, os estudos, nesse campo, apontaram que o uso de determinadas espécies de fungos também poderiam surtir um efeito que não agredisse tanto o solo.

Os fungos são seres vivos encontrados em todo o mundo, apresentando características peculiares que os tornaram exclusivos de um único reino, o Reino Fungi. Atualmente os fungos apresentam mais de 100.00 espécies, embora, que a cada ano, 4.000 espécies novas são descritas (Santos, 2015). A funcionalidade dos fungos encontra-se na conexão entre os ecossistemas, sendo decompositores primários da matéria orgânica e responsáveis pela reciclagem de nutrientes (Santos, 2015). Os fungos estão bem adaptados para o crescimento nos solos devido à sua disposição de ramificação e hábito de crescimento geralmente filamentosos (Boswell et al. 2018).

Por serem biodegradadores naturais, os fungos nutrem-se de macromoléculas insolúveis, que primeiramente recebem enzimas capazes de reduzi-las, absorvendo esses nutrientes pela membrana plasmática (Oliveira et al.2018).

Os fungos são abundantes em muitos ambientes, como nos vegetais, na água, folhas mortas ou madeira e, principalmente no solo (Pereira, 2018). Essa abundância trás diversas espécies que apresentam características próprias, com potenciais e uso em distintas áreas como na produção de alimentos, na indústria farmacêutica e rural.

Atualmente os fungos são classificados a partir dos seguintes filos: Chytridiomycota, Zygomycota, Glomeromycota, Ascomycota e Basidiomycota (Santos, 2015). Dentre esses filos, o Basidiomycota é o fungo que será descrito nesse trabalho, devido ao fato de serem considerados cosmopolitas, pois são encontrados em todas as regiões do planeta (Santos, 2015).

A aplicação dos basidiomicetos para biodegradação de substâncias químicas baseia-se na capacidade desses organismos em degradar diversas moléculas de poluentes orgânicos persistentes e outras substâncias tóxicas persistentes (Silva, 2018).

Os basidiomicetos apresentam uma série de características que os tornam interessantes para aplicação de técnicas de biorremediação. Eles são reconhecidos como o maior grupo de macrofungos (cogumelos

e orelhas-de-pau) capazes de crescer sob as condições de estresse ambiental que limitam o crescimento bacteriano e colonizam grandes áreas (Santos, 2015). Desta forma, o contato superficial com o contaminante é amplo, aumentando sua biodisponibilidade e, conseqüentemente, podendo ter sua biodegradação aumentada (Silva, 2018 *apud* Dupont et al. 1998).

Esse filo apresenta espécies com a capacidade de mineralizar a lignina encontrada nas plantas, transformando-a em H₂O e CO₂. A lignina é uma molécula recalcitrante da estrutura da madeira (Santos, 2015), resistente ao ataque de enzimas. Sendo assim, alguns basidiomicetos oxidam a lignina com suas enzimas gerando uma madeira que sofre podridão branca, essa coloração se dá, pois seus componentes se degradam quase que simultaneamente. Já outras espécies de basidiomicetos que não degradam a lignina, apenas a celulose, apresentam a madeira com a coloração marrom (Webster e Weber, 2018).

Desta forma, os fungos de podridão branca são de interesse da pesquisa por sua capacidade de produzir enzimas lignolíticas e, a partir disso, acesso a nutrientes adicionais para o fungo (Vetchinkina, 2018). O potencial das enzimas lignolíticas vem sendo investigado na área de biorremediação de ambientes contaminados, pois permitem também a degradação de outras substâncias, como as produzidas pelo homem: poluentes ambientais, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, organohalogêneos, entre outros (Webster e Weber, 2018). Ainda assim, os produtos finais da degradação do substrato podem ser utilizados como fertilizantes em plantações, suplementos para ração de animais, reciclados e misturados a outros materiais orgânicos, para utilização em terra de cobertura de plantações de champignon (Salvi, 2018 *apud* Matheus & Okino 1998).

Embora que vários dos seus aspectos necessitam ainda serem investigados, a degradação da lignina por fungos basidiomicetos pode ser entendida como um processo multienzimático resultante da ação coordenada de uma série de enzimas intra e extracelulares, do grupo das oxidoredutases (representadas por peroxidases, lacases e outras oxidases produtoras de peróxido de hidrogênio) e de metabólitos intermediários de baixa massa molecular (Savi, 2018 *apud* Leonowicz et al. 1999, Moreira-Neto 2006).

Desse modo, algumas espécies de basidiomicetos vêm trazendo resultados satisfatórios na área de biorremediação, como *Higrocype sp.*, *Lentinus crinitus*, *Peniophoracinerea sp.*, *Phellinus gilvus*, *Pleorotus sajor-caju*, *Psilocybe castanella*, *Pycnoporus sanguibeus*, *trametes*

villosa e *Phanerochaete chrysosporium*. Esses fungos apresentam a capacidade de degradar poluentes orgânicos persistentes (POPs), pesticidas clorados (DDT), dioxinas, bifenilas policloradas, hidrocarbonetos aromáticos, pentaclorofenol e hexaclorobenzeno (Soares et al., 2018).

Kulikova et al. (2018) aponta que as espécies representantes do gênero *Phanerochaete*, *Pleurotus* e *Trametes* são as mais promissoras na utilização em tecnologias de tratamento biológico de águas residuais de metais pesados sendo que o gênero *Phanerochaete* também é indicada para limpar superfícies de solo e água do petróleo bruto e produtos petrolíferos.

No processo de biorremediação, a espécie *Phanerochaete chrysosporium*, referência nos estudos de biodegradação de poluentes orgânicos, apresenta a capacidade de biosorção (acomoda poluentes orgânicos) e de biodegradação como um biorreator que os degrada, tendo fácil crescimento e adaptável a diferentes condições ambientais (Ding, 2018). Nesse contexto, para que sua eficiência seja garantida, essa espécie de fungo necessita que sua fase de crescimento primário seja concluída, para posteriormente ser capaz de degradar a lignina (Leisola, 2018).

Os basidiomicetos por serem capazes de produzir enzimas com baixa especificidade e elevado potencial de oxidação, apresenta na sua aplicação na recuperação de solos muitas vantagens, pois seu sistema é extracelular, podendo atuar em substâncias insolúveis ou complexadas ao solo (Moreira Neto, 2018).

4 CONCLUSÃO

Os estudos em biorremediação, com o auxílio de microrganismos, apresenta uma série de benefícios ao meio ambiente, visto que a cada ano novas espécies com possíveis potenciais de ação vêm sendo analisadas por diversos países.

Essa preocupação com a recuperação de ambientes degradados é muito além de apenas escolher o processo/técnica adequado, mas compreender que a natureza por si só, se auto reorganiza, alimenta, reutiliza e decompõe seus próprios rejeitos. O problema é que o homem foi quem produziu e proliferou a maioria dos compostos químicos poluentes/recalcitrantes e que agora se vê lutando contra algo que ele desenvolveu sem medir os efeitos.

A maioria das pessoas da sociedade já ouviu falar em produtos químicos perigosos, fatais a saúde humana, como os corrosivos, porém, desconhece o uso e efeito de alguns produtos em longo prazo, que podem estar presentes na água, ar e principalmente no solo, que transfere sua composição aos alimentos que dali saem.

A ciência sozinha com suas pesquisas e descobertas, não conseguirá transmitir a população sobre como deve-se cuidar do ambiente. Será necessário que se desenvolva um trabalho educativo que realmente conscientize a sociedade de que o uso de fungos nesse processo de recuperação de solos degradados, é uma das soluções para esse problema ambiental, desmistificando uma cultura popular de credices a respeito dos fungos, demonstrando sua utilidade e necessidade para a manutenção e preservação dos ecossistemas.

REFERÊNCIAS

ABETRE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS. **CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NORMA ABNT NBR 10.004:2004**. Disponível em: <<http://www.abetre.org.br/estudos-e-publicacoes/publicacoes/publicacoes-abetre/classificacao-de-residuos>>. Acesso em: 16 jan. 2018.

ALMEIDA, Newton. **Ciclo Hidrológico**. Disponível em: <<http://geografianewtonalmeida.blogspot.com.br/2012/04/ciclo-da-agua-ciclo-hidrologico.html>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

ANDRADE, Luana Caetano Rocha de; POLETO, Cristiano. **Ciclos Biogeoquímicos**. In: POLETO, Cristiano. **Recursos Naturais**. Uberaba: Universidade Federal do Triângulo Mineiro, 2012. p. 37-69. (Ciências do Ambiente para Engenharia).

ANDRADE, Maria Margarete de. **Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalhos na graduação**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

BERGER, Thomas M.. **BIORREMEDIAÇÃO: Tecnologias de Avaliação e Remediação**. Disponível em: <<http://www.abes-rs.org.br/areascontaminadas/thomas-michael-berger.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2016.

BOSWELL, Graeme P. et al. **The Development of Fungal Networks in Complex Environments**. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11538-005-9056-6>>. Acesso em: 09 fev. 2018.

BRAGA, Benedito et al. **Introdução á Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Pretice Hall, 2005.

BRASIL, Blogspot. **Ciclo do enxofre**. Disponível em: <<http://ciclosbiogeo.blogspot.com.br/2011/05/ciclo-do-enxofre.html>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. (Org.). **O que são os resíduos orgânicos?** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/item/10615>>. Acesso em: 16 jan. 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. . **Vigilância em Saúde.** Disponível em: <<http://portalms.saude.gov.br/vigilancia-em-saude/vigilancia-ambiental/vigipeq/contaminantes-quimicos/agrotoxicos/perguntas-frequentes>>. Acesso em: 11 fev. 2018.

CAPRA, Fritjof. **A Teia da Vida: Uma nova compreensão científica dos sistemas vivos.** São Paulo: Editora Cultrix, 1996. 249 p.

CASSINI, Sérgio Túlio. **Ecologia: Conceitos Fundamentais.** 2005. Disponível em: <https://www.inf.ufes.br/~neyval/Gestao_ambiental/Tecnologias_Ambientais2005/Ecologia/CONC_BASICOS_ECOLOGIA_V1.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2016.

CERRI NETO, Mauro; FERREIRA, Gilda Carneiro. **POLUIÇÃO: INCOMPATIBILIDADES ENTRE CONCEITOS LEGAL E TÉCNICO.** 2009. Disponível em: <http://www.revistageociencias.com.br/28_2/Art_05_Cerri_Neto.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2016.

COSTA, Joaquim Botelho da. **Caracterização e Constituição do Solo.** 7. ed. Lisboa: Gulbenkian, 2004. 528 p.

D'AMATO, Claudio; TORRES, João P. M.; MALM, Olaf. **DDT (DICLORO DIFENIL TRICLOROETANO): TOXICIDADE E CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL - UMA REVISÃO.** Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422002000600017>. Acesso em: 09 jan. 2018.

DING, Jie. **Biosorption and biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by Phanerochaete chrysosporium in aqueous solution.** Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11434-012-5411-9>>. Acesso em: 11 fev. 2018.

EPA, United States Environmental Protection Agency -. **Chromated Arsenicals (CCA).** Disponível em: <<https://www.epa.gov/ingredients->

used-pesticide-products/chromated-arsenicals-cca>. Acesso em: 29 jan. 2018

EPA, United States Environmental Protection Agency -. **Creosote**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/creosote>>. Acesso em: 29 jan. 2018

EPA, United States Environmental Protection Agency -. **DDT - A Brief History and Status Development of DDT**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/ddt-brief-history-and-status>>. Acesso em: 28 jan. 2018.

EPA, United States Environmental Protection Agency -. **Glyphosate**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/glyphosate>>. Acesso em: 29 jan. 2018.

EPA, United States Environmental Protection Agency -. **Ingredients Used in Pesticide Products: 2,4-D**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/24-d>>. Acesso em: 28 jan. 2018.

EPA, United States Environmental Protection Agency -. **Malathion**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/mosquitocontrol/malathion>>. Acesso em: 29 jan. 2018.

EPA, United States Environmental Protection Agency -. **Methomyl**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/methomyl>>. Acesso em: 29 jan. 2018.

EPA, United States Environmental Protection Agency -. **Phytoremediation Resource Guide**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-04/documents/phytoresgude.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2018

ESTADÃO, Jornal. **Produtores dos EUA acusam uso indevido de dicamba em 3 Estados**. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2016/08/produtores-dos-eua-acusam-uso-indevido-de-dicamba-em-3-estados.html>>. Acesso em: 28 jan. 2018.

GUIMARÃES, João Roberto Penna de Freitas. **Resíduos industriais na Baixada Santista: Classificação e riscos.** Disponível em: <http://acpo.org.br/biblioteca/08_residuos/residuos_bx_santista.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2018.

IMAGES, Istock By Getty. **Ciclo do Fósforo.** Disponível em: <<https://www.istockphoto.com/br/vetor/o-ciclo-de-fosforo-gm537437170-95303945>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

KULIKOVA, N. A. et al. **Use of basidiomycetes in industrial waste processing and utilization technologies: Fundamental and applied aspects (review).** Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1134/S000368381106007X>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

LEISOLA, M.. **Variations in Some Extracellular Enzyme Activities During Degradation of Lignocellulose by Phanerochaete ch sosporium.** Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02798982>>. Acesso em: 11 fev. 2018.

LIMA, Telma Cristiane Sasso de et al. **Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica.** 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rk/v10nspe/a0410spe>>. Acesso em: 08 fev. 2016.

LIVRE, Wikipédia - A Enciclopédia. **Ciclo do Nitrogênio.** Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_do_nitrogenio>. Acesso em: 10 nov. 2017.

MATTE, Willian Daróz et al. 2,4-D: **Polêmico desde sempre, imprescindível como nunca.** Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/artigos/2-4-d-polemico-desde-sempre-imprescindivel-como-nunca>>. Acesso em: 28 jan. 2018.

MILLER JUNIOR, G. Tyler. **Ciência Ambiental.** 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

MENDES, Alessandra Monteiro Salviano. **INTRODUÇÃO A FERTILIDADE DO SOLO.** Disponível em:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPATSA/35800/1/OPB1291.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2017.

MONTEIRO, Lucas. Mariana, MG: **Um panorama do maior desastre ambiental do Brasil.** Disponível em: <<http://www.florestalbrasil.com/2015/11/mariana-minas-gerais-um-panorama-do.html>>. Acesso em: 11 fev. 2018.

MOREIRA, Fátima M. S.; SIQUEIRA, José Oswaldo. **Microbiologia e Bioquímica do Solo.** 2. ed. Lavras: Ufla, 2006. 729 p.

MOTA, Camilla Veras. **Após dois anos, impacto ambiental do desastre em Mariana ainda não é totalmente conhecido.** Disponível em: <<http://www.bbc.com/portuguese/brasil-41873660>>. Acesso em: 11 fev. 2018.

ODUM, Eugene P.; BARRET, Gary W.. **Fundamentos de Ecologia.** 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 612 p.

OLIVEIRA, Emídio Cantídio Almeida de. **COMPOSTAGEM.** Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Compostagem_000fhc8nfqz02wyiv80efhb2adn37yaw.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2018.

OLIVEIRA, Sabrina Dias de et al. **Emprego de Fungos Filamentosos na Biorremediação de Solos Contaminados por Petróleo: Estado da Arte.** Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/series/serie-tecnologia-ambiental?start=50>>. Acesso em: 09 jan. 2018.

PARANÁ, Agência de Defesa Agropecuária do. **BRILHANTEBR.** Disponível em: <http://www.adapar.pr.gov.br/arquivos/File/defis/DFI/Bulas/Inseticidas/brilhante_br.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2018.

PARANÁ, Agência de Defesa Agropecuária do. **MALATHION 1000 EC CHEMINOVA.** Disponível em: <http://www.adapar.pr.gov.br/arquivos/File/defis/DFI/Bulas/Inseticidas/MALATHION_1000_EC_CHEMINOVA.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2018.

PEDROTTI, Alceu et al. **Causas e consequências do processo de salinização dos solos.** Disponível em: <<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:pqpCP937ZMgJ:https://periodicos.ufsm.br/reget/article/download/16544/pdf+&cd=7&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>>. Acesso em: 09 nov. 2018.

PEREIRA, Lucas Tupi Caldas. **Os fungos filamentosos, uma opção em estudo para biorremediação II.** Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/834>>. Acesso em: 09 fev. 201

PIERZYNSKI, Gary M.. **Soils and Environmental Quality.** Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=lTHGhB5w-FgC&pg=PA10&dq=pollution+contamination+pierzynski+definition&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwiMg9KZt53XAhUKFpAKHaJuCQQQ6AEIJzAA#v=onepage&q=pollution+contamination+pierzynski+definition&f=false>>. Acesso em: 19 dez. 2017.

PELCZAR JUNIOR, Michael Joseph et al. **Microbiologia - Conceitos e aplicações.** 2. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2010. 2 v.

PEREIRA, Aline Ramalho Brandão et al. **USO DE MICROORGANISMOS PARA A BIORREMEDIAÇÃO DE AMBIENTES IMPACTADOS.** 2012. Disponível em: <<http://cascavel.cpd.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reget/article/view/4818/2993>>. Acesso em: 29 jan. 2016.

RAIMUNDO, Renata S.. **UTILIZAÇÃO DE BIORREATORES NO TRATAMENTO DE SOLOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBONETOS DE PETRÓLEO.** Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/862/1/RenataS.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

RAMOS, Maria das Graças Ouriques; AZEVEDO, Márcia Rejane de Queiroz Almeida. **Definição de Ecossistemas.** Disponível em: <http://www.ead.uepb.edu.br/arquivos/cursos/Geografia_PAR_UAB/Fasciculos-Material/Ecossistemas_Brasileiros/Eco_Bra_A03_MD_GR_230610.pdf>. Acesso em: 08 maio 2017.

RÊGO, André Heráclio do. **Os sertões e os desertos: o combate à desertificação e a política externa brasileira**. Brasília: Fundação Alexandre de Gusmão, 2012.

RESENDE, Ronaldo S. et al. **Distribuição espacial e lixiviação natural de sais em solos do Perímetro Irrigado Califórnia, em Sergipe**. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662014001300046&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 15 jan. 2018.

ROCHA, Júlio César; ROSA, André Henrique; CARDOSO, Arnaldo Alves. **Introdução à química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 256 p.

ROSA, Rogério da Silva; MESSIAS, Rossine Amorim; AMBROZINI, Beatriz. **Importância da Compreensão dos Ciclos Biogeoquímicos para o Desenvolvimento Sustentável**. 2003. Disponível em: <<http://www.iqsc.usp.br/iqsc/servidores/docentes/pessoal/mrezende/arquivos/EDUC-AMB-Ciclos-Biogeoquimicos.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2017.

RUMJANEK, Norma et al. **MICROORGANISMOS E BIODIVERSIDADE DE SOLOS**. 1998. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/Microrganismos e Biodiversidade de solos.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/Microrganismos%20e%20Biodiversidade%20de%20solos.pdf)>. Acesso em: 08 fev. 2016.

SALES, Vanda Claudino. **Eossistemas Brasileiros: Manejo e Conservação**. 2003. Disponível em: <[http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/2003_12 Gênese e classificação de solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso SP.pdf](http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/2003_12_G%C3%AA9nese%20e%20classifica%C3%A7%C3%A3o%20de%20solos%20sob%20vegeta%C3%A7%C3%A3o%20de%20restinga%20na%20Ilha%20do%20Cardoso%20SP.pdf)>. Acesso em: 12 nov. 2016.

SANTOS, Elisandro Ricardo Drechsler dos. **Sistemática vegetal I : Fungos**. In: HORTA JÚNIOR, Paulo Antunes. **Sistemática vegetal I**. Florianópolis: Biologia/ead/ufsc, 2015. p. 3-43.

SANTOS, Vanessa dos. **POLUIÇÃO DO SOLO**. Disponível em: <<http://biologianet.uol.com.br/ecologia/poluicao-solo.htm>>. Acesso em: 11 fev. 2018.

SALVI, Marina Bianchini de. **Fungos basidiomicetos em biorremediação.** Disponível em: <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/pgibt/2013/04/Fungos_basidiomicetos_em_biorremedioacao_Marina_Bianchini.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2018.

SILVA, Ricardo Ribeiro da. **Biorremediação de solos contaminados com organoclorados por fungos basidiomicetos em biorreatores.** Disponível em: <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/pgibt/2013/09/Ricardo_Ribeiro_da_Silva_DR.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2018.

SOARES, I. A. *et al.* **FUNGOS NA BIORREMEDIAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS.** 2011. Disponível em: <http://www.biologico.sp.gov.br/docs/arq/v78_2/soares.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2016.

SPIRO, Thomas G.; STIGLIANI, William M.. **Química Ambiental.** 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

STRAUS, Elvira Lídia. **OS RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: ORIGEM E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS APLICABILIDADE DA NORMA ABNT NBR 10004 - RESÍDUOS SÓLIDOS CLASSIFICAÇÃO.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/10F798CF/Pales15_Elvira.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2018

VERDE, Redação Pensamento. **A história da poluição em Cubatão e como a cidade deixou de ser o “Vale da Morte”.** Disponível em: <<http://www.pensamentoverde.com.br/sustentabilidade/historia-poluicao-cubatao-cidade-deixou-vale-morte/>>. Acesso em: 11 fev. 2018.

VETCHINKINA, Elena P.. **Laccase and Lectin Activities of Intracellular Proteins Produced in a Submerged Culture of the Xylophilic Basidiomycete *Lentinus edodes*.** Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00284-008-9209-6>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

VEZZANI, Fabiane Machado. **O Solo como Sistema.** Curitiba: dos Autores, 2011. 104 p.

VILLENEUVE, Dan. **Prioritizing Contaminants for Monitoring and Management transcript.** Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/prioritizing_contaminants_webinar_transcript.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2018.

WEBSTER, John; WEBER, Roland. **Introduction to Fungi.** Disponível em: <http://www.dbbe.fcen.uba.ar/contenido/objetos/WEBSTER30521807395_1400021643840195.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2018.