

A biotecnologia como estratégias de reversão de áreas contaminadas por resíduos sólidos

Biotechnology as strategies for reversal of contaminated areas by solid waste

Jaqueline de Santana da Silva¹, Shalene da Silva Santos² e Felipe George Gatti Gomes³

¹Mestrandos, Departamento de Biotecnologia Ambiental, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Pr, Brasil

Resumo

Com o crescimento desordenado da população nas cidades, o consumo de diversos produtos tornou-se um sério problema, pois o descarte das partes não utilizadas (lixo) acaba por ser depositadas em locais, onde, por permanecerem por um longo período sem tratamento, promovem a contaminação da área podendo causar sérios problemas a saúde humana e ao meio ambiente. Áreas contaminadas estão sendo recuperadas por meio da biotecnologia com a alteração dos parâmetros ambientais. Isto induz e acelera o processo de remoção dos contaminantes presentes na água e no solo, além de reduzir o tempo necessário para a recuperação da área contaminada. Assim, este trabalho foi realizado através da análise do material disponível nos bancos de dados internacionais SCIELO, LILACS, HIGHWIRE, PUBMED e SCIRUS e engloba diversos trabalhos que têm sido desenvolvidos na área de remediação de poluentes do ambiente, tem como objetivo trazer um breve esclarecimento sobre duas técnicas que podem ser utilizadas para a recuperação de área com a presença de resíduos sólidos (RS), a biorremediação e a fitorremediação que consiste na utilização de microrganismos e vegetais para a recuperação destas áreas contaminadas.

Palavras-chave: resíduos sólidos, contaminação, biorremediação, fitorremediação, parâmetros ambientais.

Abstract

With the uncontrolled cities population growth, the consumption of many products has become a serious problem as the disposal of unused parts (waste) ends up being deposited in places where, their remain for an extended period without treatment, promote a contamination of the area and can cause serious problems to human health and the environment. Contaminated areas are being recovered through biotechnology with environmental parameters modification. This induces and accelerates the removal of contaminants in water and soil, and reduce the time required for recovery of the contaminated area. Thus, this work was conducted through an analysis of available material in international databases SCIELO, LILACS, HIGHWIRE, PUBMED and SCIRUS, and includes several works that have been developed in the area of environmental remediation of pollutants, it aims to bring a brief clarification on two techniques that can be used for the recovery area with the presence of solid waste (RS), the bioremediation and the phytoremediation involving the use of microorganisms and plants for the recovery of these contaminated areas.

Keywords: solid waste, contamination, bioremediation, phytoremediation, environmental parameters.

I INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o desenvolvimento tecnológico somado com o uso exagerado dos recursos naturais proporcionam um desequilíbrio ambiental com o aumento desordenado na produção de resíduos sólidos.

A sociedade vem demonstrando uma drástica mudança em seus padrões de consumo, entre outros fatores, está provocando impactos ambientais irreversíveis. Relacionando aos resíduos sólidos, a amplitude dos impactos pode ser deduzida a partir dos volumes de geração, associados ao nível de eficácia da sua gestão e aos malefícios que podem ocasionar. Considerando a geração, impulsionada pelos fatores econômicos e comportamentais discutidos na seção anterior, também sofre a influência de fatores populacionais, relativos ao crescimento da população e sua concentração nas áreas urbanas (GODECKE et al., 2012).

Segundo França e Ruaro (2008) além da produção desordenada de resíduos sólidos o Brasil apresenta junto com outros países sérios problemas relacionados ao descarte destes, pois predomina na maioria das áreas urbanas a disposição final inadequada dos resíduos sólidos, que acabam sendo dispostos sem critério algum, estimando ser o principal fator antrópico afetando assim a qualidade do ar, do solo e das águas.

Apesar das Leis, instruções normativas e todas as outras determinações legais, essa destinação inadequada de resíduos sólidos urbanos está presente em todos os estados brasileiros. Em um panorama geral dos RS no país, 58% corresponde a uma destinação incorreta no ano de 2012, sendo ainda significativo, pois este número aumentou em relação ao ano anterior, no que totaliza 23,7 milhões de toneladas direcionados para lixões a céu aberto ou aterros controlados, ao que relacionado a uma visão ambiental não se diferenciam, pois não apresentam um conjunto de técnicas necessárias a proteção do meio ambiente contra os impactos causados pela disposição de resíduos sólidos (ABRELPE, 2012).

Demonstrando o avanço na conscientização da sociedade sobre a urgência em gerenciar os resíduos sólidos, em destaque e somados a outras legislações vigentes a Política Nacional dos Resíduos sólidos estabelece metas emergenciais como a finalização de todos os lixões e os aterros sanitários só poderão receber rejeitos até agosto de 2014. Um dos diferenciais relevantes da PNRS é que seu conteúdo apresenta incentivo ao gerenciamento desses resíduos associados a um processo de inclusão dos catadores como forma de enfrentamento das desigualdades sociais (INSTITUTO ETHOS, 2012).

Com esse Panorama, preocupação com o meio ambiente e com a adequação à legislação, pesquisas vêm sendo realizadas buscando desenvolver tecnologias capazes de diminuir a geração de resíduos e seu tratamento. A Biotecnologia aparece como um instrumento para resíduos orgânicos sólidos ou líquidos, adequando os resíduos as exigências legais e sua adequação as normas de qualidade ambiental, baseada na utilização de microrganismos e plantas com potencial de degradação de matéria orgânica. A Biorremediação e a Fitorremediação são alternativas ecologicamente adequadas quando comparada aos métodos físicos e químicos existentes (MACEDO, 2000).

2 BIORREMEDIAÇÃO

Caracterizada como tecnologia que utiliza agentes biológicos, especificamente, os microrganismos, para remover contaminantes tóxicos do solo e da água (PELCZAR et al., 1997). Trata-se de uma técnica na qual ocorre a transformação ou destruição dos poluentes orgânicos por decomposição, pela ação de microrganismos naturais no solo, como as bactérias, os fungos e protozoários. Os microrganismos promovem a biodegradação de poluentes tóxicos, para obtenção de energia (que será transformado em alimento), em substâncias como dióxido de carbono, água, sais minerais e gases. Assim, o contaminante funciona como uma espécie de fonte de carbono para os microrganismos. Dentre os compostos biodegradáveis estão os hidrocarbonetos derivados do petróleo, preservantes de madeira, solventes halogenados e os defensivos agrícolas (CETESB, 2007).

Esta técnica pode ser empregada para atacar contaminantes específicos no solo e águas subterrâneas, tais como a degradação de hidrocarbonetos do petróleo e compostos orgânicos clorados pelas bactérias. Este processo se dá pelo fato de microrganismos, como as bactérias, utilizarem substratos orgânicos e inorgânicos, como exemplo o carbono, como fonte de alimentação, desta forma, convertendo os contaminantes em CO₂ e H₂O (SILVA, 2002).

Trata-se de uma técnica que vem alcançando importância mundial, uma vez que o aumento da atividade industrial está degradando, cada vez mais, os ecossistemas naturais. O emprego de microrganismos no tratamento de rejeitos tóxicos é uma prática habitual em alguns países desenvolvidos. Os sistemas biológicos geralmente utilizados são microorganismos e plantas, no entanto, a biodegradação com microrganismos é a opção mais frequentemente utilizada (UETA et al., 1999).

As vantagens da biorremediação são: a habilidade dos microrganismos de biodegradar substâncias perigosas ao invés de transferir o contaminante de um meio para outro; eficiência em meios homogêneos e de textura arenosa; baixo custo se comparado a outras técnicas de remediação, se os compostos forem facilmente degradáveis a tecnologia pode ser considerada como destrutiva dos contaminantes (CETESB, 2007).

Porém, ainda existe a necessidade de maior entendimento dos processos de biorremediação, e por isso os principais fatores críticos para sua aplicação com sucesso são: a suscetibilidade do contaminante considerado à degradação; presença de populações microbiológicas apropriadas e em quantidades suficientes para promover uma taxa de degradação adequada; condições do pH e temperatura para o crescimento dos microrganismos; biodisponibilidade do contaminante; geração de subprodutos que sejam menos tóxicos que os produtos primários; capacidade do meio de sustentar atividade biológica (CETESB, 2010).

BERGER, 2005, destaca a importância dos fatores abióticos do meio ambiente, tais como tipo e textura do solo, teor de oxigênio, umidade, temperatura, pH, dentre outros, para o sucesso do procedimento de biorremediação. Uma avaliação mais detalhada da área também deve ser realizada, para compreender as populações microbianas presentes no subsolo; identificar a existência de populações microbianas que degradam o contaminante de interesse; identificar as necessidades químicas dessas populações; reconhecer os sub-produtos de degradação; identificar a existência de compostos e efeitos inibidores; estimar a taxa de biodegradação, projetar e dimensionar o sistema.

As tecnologias de biorremediação podem ser classificadas como: “in-situ” ou “ex-situ”. A “in-situ” é um método onde a transformação ou destruição dos contaminantes ocorre no próprio local, enquanto a “ex-situ” consiste na remoção do material contaminado para tratamento em local externo ao de sua origem. Algumas técnicas de biorremediação “ex-situ” conhecidas são: biorreatores (utiliza reatores), landfarming (primeira técnica utilizada em larga escala) e biopilhas (BERGER, 2005). Entretanto, nem todos os contaminantes são facilmente tratados pela biorremediação como exemplo dos metais pesados cádmio e chumbo que não são absorvidos nem capturados pelos microrganismos, porém, podem ser transformados em compostos menos perigosos (MACEDO et al., 2002).

A remediação “in situ” ocorre através da ação de microrganismos no próprio local, sem que o solo tenha que ser escavado. Pode ser dividida em dois métodos: intrínseca, quando os contaminantes se transformam nas condições naturais do local; mediante injeção ou recirculação de fluidos; ou por biobarreiras permeáveis. Esta é a única tecnologia com capacidade de retirar os contaminantes adsorvidos no solo e em aquíferos, removendo-os até os níveis exigidos pela legislação (CETESB, 2007). Normalmente, essa opção de biorremediação torna o processo mais atrativo e economicamente viável. Além disso, acarreta menores impactos ambientais advindos da remediação da área contaminada (ANDRADE et al., 2010).

A biorremediação é o conceito mais atual para tratamento de aterros sanitários, aterros controlados e lixões, focado na minimização dos impactos negativos ao meio ambiente, na ampliação da vida útil e na reversão do quadro crítico (LIMA, 2002)

Segundo a USEPA, Environmental Protection Agency, Agência Americana de Controle Ambiental, a biorremediação pode ser classificada no rol das tecnologias novas, caracterizando-se pela via destrutiva, onde a atividade biológica é responsável pelos resultados na transformação e minimização dos agentes poluentes. A UESPA também considera a biorremediação uma tecnologia que permite não só o tratamento da fração sólida, como a sua parte líquida dos resíduos presentes nos lixões e aterros. Segundo estudos o tratamento do chorume por biorremediação passa por três fases permitindo obter uma eficiência de remoção de carga poluente na faixa de 85 a 90%.

Ela se difere das tecnologias tradicionais, tais como, a incineração, a compostagem e o aterro sanitário, uma vez que essas tecnologias já se encontram disponíveis no mercado. As tecnologias novas têm a restrição básica o fato de não estarem disponíveis em “prateleiras comerciais”, requerem antes da sua aplicação, a realização de estudos preliminares de tratamento.

3 REMEDIAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR RESÍDUOS SÓLIDOS

Um dos principais problemas brasileiros da administração pública municipal é a questão do tratamento e destino final dos resíduos urbanos. Em geral, por falta de conhecimento, as prefeituras não sabem como lidar com o problema dos resíduos sólidos, resultando na formação de lixões e vazadouros a céu aberto que contaminam o solo, ar e recursos hídricos, afetando a saúde e a qualidade de vida da população (LIMA, 2005).

Mais recentemente, pela ação do Ministério Público e dos Órgãos Estaduais de Controle Ambiental, o problema dos lixões tem sido fiscalizado e vem gerando processos judiciais contra os prefeitos. Mesmo assim, a eficácia da simples cobrança estatal e a formalização de Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) não têm sido eficazes na busca de uma solução adequada para o problema (ANTONELLI, 2014).

A biorremediação tem sido aplicada nestes processos como medida mitigatória, onde a técnica consiste na aplicação dos resíduos sólidos em células de aterramento, similar à técnica de aterro sanitário, e são decompostos por ação de microrganismos anaeróbios, transformando a matéria orgânica (principal fonte de poluentes) em um composto organomineral que pode ser utilizado na silvicultura, produção de grama e flores (LIMA, 2005).

Um bom exemplo de projetos dessa natureza pode ser visitado na cidade de Ribeirão das Neves, região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, um município pobre, com uma população de 330 mil habitantes, vem utilizando com sucesso a biorremediação, onde os resíduos urbanos são tratados e utilizados como composto organo-mineral na produção de flores tropicais (LIMA, 2005).

A aceleração da decomposição da matéria orgânica através da ação de microrganismos decompositores específicos que tem por função transformar parte dos resíduos sólidos em líquidos e gases, resultando assim na possibilidade de reabertura das células ou camadas de lixo novo para a segregação e destinação final de inertes, compostos orgânicos, com tratamento final dos líquidos resultantes e a queima dos gases ao longo do processo (LIMA, 2005).

Nesta área tratada o gerenciamento integrado dos resíduos será fundamental para reduzir o volume, reutilizar os resíduos principalmente da construção civil e reciclar os materiais. Com a utilização do processo é possível descontaminar integralmente a área, tornando-se possível transformar em parque municipal ou utilizar como uma estação de operação do manejo, segregação, tratamento e destino final dos resíduos sólidos urbanos pela implantação do modelo de sistema integrado (LIMA, J. D, 2001).

Atualmente procura-se aperfeiçoar a técnica com implementação de novos microrganismos e também de adequação de fatores abióticos. Pesquisas mostram a eficácia do emprego de fungos amazônicos com potencial para degradar chorume, a aceleração de processos de degradação de material orgânico líquido e resíduo orgânico sólido (SOUZA, 2011).

Outra técnica apontada denomina-se bioventilação, aplicada à remediação de águas subterrâneas contaminadas com compostos orgânicos voláteis e áreas inundadas. É um processo de transferência de massas que implica na volatilização de contaminantes em contato com a água através da passagem de ar pela água, aumentando-se assim a transferência entre as fases líquida e gasosa do solo. É uma técnica de baixo custo e ideal para grandes volumes, porém não é recomendada para solos argilosos porque a remoção torna-se muito lenta (CETESB, 2007).

A bioventilação é uma técnica de remediação "in situ", baseada na degradação de contaminantes orgânicos adsorvidos no solo pela ação de microrganismos de ocorrência natural, onde a atividade destes é melhorada pela introdução de um fluxo ar (oxigênio) na zona não saturada, usando poços de injeção ou extração e caso necessário, adicionando-se macronutrientes ao meio. (FERNANDES; ALCANTARA, 2002).

O método usado no processo de bioventilação é eficiente no tratamento de qualquer poluente degradável em meio aeróbico, particularmente é muito efetiva na remediação de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo, sendo mais indicada para locais onde ocorreu a liberação de compostos com peso molecular médio (LIMA, 2010).

As principais vantagens do método de são: utilização de equipamentos de fácil aquisição e instalação, minimização da extração de vapores, com redução dos custos de seu tratamento, pode ser implantando sem causar grande impacto na operação da área e atua em áreas de difícil acesso. Como

principais desvantagens ressaltam-se a sua não aplicabilidade onde as concentrações de contaminantes impedem a biodegradação ou em solos com baixa permeabilidade, não possibilitando que metas de remediação muito baixas sejam atingidas. (ALVAREZ; ILMAM, 2006)

Outro processo eficiente destacado é a tecnologia de Biofiltração, utilizada para limpeza de ar que usa microorganismos para quebrar compostos odorantes em compostos não odorantes. É um processo em que o gás poluído é purificado através de sua passagem por um meio poroso biologicamente ativo, isso oferece um número de vantagens para tratar gases poluídos com baixas concentrações de compostos químicos (WU et al., 1998).

Os compostos são absorvidos, principalmente a água, o gás carbônico, os sais minerais, alguns compostos orgânicos voláteis e microorganismos, e então biologicamente degradados. O equipamento para efetuar este processo é simples e requer pouca energia, nesse processo a unidade de tratamento denomina-se biofiltro, que se trata de reatores trifásicos, de leito empacotado, empregando partículas porosas de base orgânica. O biofiltro consiste de um recipiente com material orgânico habitado com microorganismos, onde o ar odorante é passado, usualmente em fluxo ascendente, o ar que entra pode ser pré-umidificado para manter a umidade adequada no leito orgânico (MCNEVIN, 2000).

A biofiltração é viável e possui uma excelente relação custo-benefício para tratamento de correntes de ar com baixa concentração de poluentes. O baixo custo de operação resulta da utilização da oxidação microbiológica nas condições ambientes, sob determinadas condições, alta eficiência de remoção pode ser alcançada e o processo não agride o meio ambiente.

A técnica de biofiltração tem sido usada em escala comercial para controle de odor no tratamento de esgotos por muitos anos e é promissora também para controle na emissão de solventes (WU, 1998). Um exemplo é aplicação inovadora de biofiltros para promover a oxidação de metano proveniente de aterros sanitários.

A escolha da técnica para tratar a área contaminada depende do tipo de resíduo ou poluente e das características da própria área. As tecnologias disponíveis para o tratamento desses resíduos e poluentes são diversas e, muitas vezes, precisam ser utilizadas em conjunto, para que se possa enfrentar o problema da mistura dos diversos componentes tóxicos, que não podem ser tratados de uma única forma, e junto a biorremediação por microorganismos, pode ser inserido a fitorremediação.

4 FITORREMEDIAÇÃO

O processo de fitorremediação é altamente utilizada para auxiliar no tratamento de áreas onde são destinados resíduos sólidos urbanos, esta técnica biotecnológica consiste em utilizar vegetais para remover, imobilizar ou tornar inofensivo contaminante orgânico ou inorgânico presentes no solo e na água. Quando comparada com técnicas tradicionais como bombeamento e tratamento, ou remoção física da camada contaminada, a fitorremediação tem sido considerada vantajosa, principalmente por sua eficiência na descontaminação e pelo baixo custo (CUNNINGHAM et al., 1996). Esta técnica é dividida em outras, com finalidades mais específicas:

Fitoextração: Uso de plantas para remoção de metais dos solos mediante absorção pelas raízes, transporte e concentração na biomassa da parte aérea;

Fitoestabilização: Uso de plantas para minimizar a mobilidade de metais em solos contaminados mediante a acumulação nas raízes ou precipitação na rizosfera;

Fitovolatilização: Baseado na capacidade das plantas volatilizar metais do solo, aplicável, por exemplo, a Se e Hg.

A grande preocupação em tratar áreas destinadas a deposição de RS são os metais pesados encontrados em grande quantidade nos dejetos e os efeitos bioacumulativos que podem causar ao ser humano, quando estes entram em contato direto ou indireto, os efeitos tóxicos desses metais encontram-se amplamente descritos na literatura, sendo que a gravidade depende do grau de exposição aos mesmos. Dentre os efeitos adversos, apontam-se danos no sistema nervoso central, no sistema hepático, no sistema renal, no sistema hematopoiético e no sistema esquelético (DENISON; SILBERGELD, 1988).

Dentre os metais pesados, podem ser citados o mercúrio, chumbo, cádmio, cromo, manganês e zinco, como os mais estudados pelos seus efeitos na saúde.

Quadro 1: Adaptação de MUÑOZ, 2002.

	Formas de Contaminação	Sintomas
Mercurio	Inorgânicas/Orgânicas	Disfunção no Sistema nervoso central e periférico: perda de memória, tremores anormais, distúrbio do sono, excitação, possível quadro de demência. Atrofia muscular, lesões renais, infertilidade, aborto, diversos tipos de câncer.
Chumbo	Pb+2	Osteoporose, anemia crônica, disfunção do sistema nervoso central: retardo mental, distúrbio de aprendizado, encefalopatias em crianças. Transtorno no sistema hematopoiético.
Manganês	Absorção em excesso	Deficiências neurológicas, transtornos comportamentais, debilidade muscular, tremores anormais, dor de cabeça, inclinação ao caminhar, salivação e reações psicóticas.
Cádmio	Metal	Dor lombar, mialgia das extremidades inferiores, deformações do esqueleto e osteoporose com fraturas múltiplas, danos neurológicos. Perda do olfato, redução na formação de glóbulos vermelhos e remoção de cálcio dos ossos. Tem sido associado também com câncer e outras doenças mutagênicas.
Cromo	Cromo (VI)	Dispneia, tosse, tumores malignos de pulmão, danos renais, irritação a mucosa da pele.
Cobre	Absorção em excesso	Diarréia, dor abdominal, náusea, vômitos, febre, fraqueza muscular, diminuição do apetite, cirrose do fígado, câncer de pulmão.
Zinco	Absorção em excesso	Irritação e corrosão do trato intestinal, necrose renal ou nefrite, fadiga, calafrios, febre, mialgia, tosse, leucitose, sede, sabor metálico na boca, e salivação.

A resistência das plantas aos íons de metais pesados pode ser obtida por um mecanismo em que a mesma o evita, o que inclui a imobilização do metal nas raízes e na parede celular. A tolerância aos metais pesados está baseada no seqüestro dos íons dos metais nos vacúolos, sua ligação com ligantes apropriados como os ácidos orgânicos, proteínas e peptídeos, e na presença de enzimas que podem funcionar a altos níveis de íons metálicos. (GARBUSU; ALKORTA, 2001)

De acordo com seu mecanismo de tolerância, as plantas podem ser: exclusoras, quando a concentração do metal absorvido é mantida constante até que seja atingido o nível crítico no substrato; indicadoras, quando ocorre absorção passiva e as concentrações internas refletem os teores externos;

e acumuladoras, que são capazes de manter níveis internos mais elevados que do substrato de cultivo (SIMÃO; SIQUEIRA, 2001); (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000). As plantas acumuladoras são próprias para fitoextração e exclusoras para fitoestabilização. (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000)

Existem espécies vegetais tolerantes, capazes de acumular altas concentrações de Zn, Pb, Cu ou outro metal tóxico (acima de 1% da massa seca) pela formação de fitoquelatinas, que irão sequestrar os íons metálicos, evitando concentrações críticas de metais nas células. (MOHR; SCHOPFER, 1995)

As espécies de plantas superiores que apresentam tolerância à metais pesados pertencem geralmente às seguintes famílias: Caryophyllaceae, Cruciferae, Cyperaceae, Gramineae, Leguminosae e Chenopodiaceae. (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992)

A maioria das plantas fitorremediadoras conhecidas são em sua maioria de clima temperado. (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000). No quadro abaixo encontram-se alguns exemplos de plantas e com quais metais elas interagem, segundo ACCIOLY e SIQUEIRA, 2000.

Quadro 2: Espécies de plantas e metais com que cada espécie interage.

Planta	Contaminante indicado
<i>Agrostis capillaris</i>	Zn
<i>Agrotis stolonifera</i>	Cu
<i>Ambrósia artemisiifolia</i>	Pb
<i>Azolla pinnata</i>	Pb, Cu, Cd, Fe, Hg
<i>Bacopa monnieri</i> L. Pennell	Cu, Cr, Fe, Mn, Cd, Pb
<i>Brassica juncea</i>	U, Zn, Cd
<i>Brassica napus</i>	Zn, Cd
<i>Brassica rapa</i>	Zn, Cd
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	Cu, Cr, Fe, Mn, Cd, Pb
<i>Eichhornia crassipes</i>	Pb, Cu, Cd, Fe, Hg
<i>Festuca rubra</i>	Zn
<i>Helianthus annuus</i> L.	Metais pesados e U
<i>Hydrocotyle umbellata</i>	Pb, Cu, Cd, Fe, Hg
<i>Hygrorrhiza aristata</i>	Cu, Cr, Fe, Mn, Cd, Pb
<i>Lemna minor</i>	Pb, Cu, Cd, Fe, Hg
<i>Lemna polyrrhiza</i>	Zn
<i>Silene cucubalus</i>	Zn
<i>Silene itálica</i> Pers.	Ni, Cd
<i>Spirodela polyrrhiza</i> L.	Cu, Cr, Fe, Mn, Cd, Pb
<i>Thlaspi</i> sp.	Metais pesados

O solo, o qual pode chamar de substrato, ao fazer parte das camadas de cobertura final dos RS, além de estarem desprovidos de atributos físicos e químicos que permitam a colonização biológica, apresentam-se suscetíveis à ação dos processos erosivos. Existem muitas dificuldades técnicas para a reabilitação ambiental desse ambiente, uma vez que envolvem fatores dependentes de características biológicas, climáticas e ambientais, intrínsecas ao local de estudo. Além do fato de existirem nos resíduos sólidos urbanos (RSU), poluentes como gases e metais tóxicos, propiciando um ambiente ainda mais adverso (MAGALHÃES, 2005).

Estudos têm sido realizados para a seleção de espécies com o intuito de recuperar as áreas com RSU, como é o caso encontrado em Inconfidentes (MG), onde foram utilizadas 12 espécies de plantas, a maioria da família Leguminosa, para identificar qual se adaptaria e viveria nas condições ambientais presentes na área. (Pinto et al., 2010) com o objetivo de evitar a erosão. Ainda em MG, LONDE, 2011, descreve sobre a importância de áreas de aterros abandonados serem recobertos pela vegetação

com o intuito de promover a recuperação do solo e evitar que ocorram erosão e dispersão de materiais orgânicos ou inorgânicos contaminantes através do escoamento do chorume.

Estudos sobre a fitorremediação estão sendo desenvolvidos visando uma série de benefícios para o meio ambiente e para as futuras gerações. Vários são os poluentes e a cada dia surge algo novo, trazendo algum tipo de dano para todo o habitat. Dessa forma, a utilização de algumas das técnicas aqui descritas já representa uma esperança interessante. Em vista disso, é necessário que mais estudos nessa área sejam realizados para melhor conhecermos a capacidade fito-remediadora das plantas e sua possível utilização no combate à poluição.

5 CONCLUSÃO

Os estudos destes processos biotecnológicos vêm sendo desenvolvidos visando uma série de benefícios para o meio ambiente. Vários são os poluentes e os mecanismos necessários para a recuperação de áreas degradadas, porém, os micro-organismos e plantas possuem maneiras específicas para remoção, imobilização ou transformação de poluentes específicos.

Os autores sugerem que a escolha da técnica para tratar a área contaminada depende do tipo de resíduo ou poluente e das características da própria área. As tecnologias disponíveis para estes tratamentos são inúmeras e cada vez estão mais aperfeiçoadas, muitas precisam ser utilizadas em conjunto, para que se possa enfrentar o problema da mistura dos diversos componentes tóxicos, que não podem ser tratados de uma única forma.

Uma maneira de implementar este processo é buscar e isolar novos micro-organismos potencialmente capazes de degradar poluentes, no caso da biorremediação e, estudar e determinar espécies de plantas adequadas ao bioma do local para a fitorremediação. Sabe-se que, no planeta, há uma grande diversidade de micro-organismo ainda não identificados e classificados, que vivem em ambientes extremos (extremófilos), apresentando grande plasticidade adaptativa para serem utilizados. A busca por esses organismos é fundamental para abrir novas perspectivas com vistas aos processos de recuperação de ambientes.

O advento da biotecnologia, seleção de genes, introdução de novos genes em micro-organismos e seleção de plantas remediadoras pode ser uma estratégia eficaz nas etapas necessárias ao planejamento e inserção destas como ferramentas.

O empenho da ciência, porém, não trará sozinha a solução para reverter os danos no ambiente. Estes processos devem ser trabalhados em nível social e cultural, visto que essa é ainda uma alternativa muito nova para o contexto das empresas poluidoras e da sociedade como um todo.

Faz-se importante um trabalho informativo, educativo e de conscientização sobre as vantagens no uso da biotecnologia em diversos processos de recuperação de ambientes contaminados.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: Abrelpe. 2012.

ACCIOLY, A.M.A.; SIQUEIRA, J.O. **Contaminação química e biorremediação do solo**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.

ALVAREZ, PEDRO J.J.; ILLMAN, WALTER A. **Bioremediation and natural attenuation: process fundamentals and mathematical models**. New Jersey: Wiley-Interscience, 609 p. 2006.

ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. **Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados**. *Eclética Química*, São Paulo, v.35, n.3 – setembro, 2010.

ANTONELLI, D. (2014, Julho 12). **A quatro meses do prazo limite, fim dos lixões está longe**. Público. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/vidaecidadania/conteudo.phtml?id=1461423>>. Acesso em 12 de jun. 2014.

BERGER, T.M. **Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos totais de petróleo - enfoque na aplicação do processo terraferm**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, 2005.

CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. (2007).

Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/etapas.asp>. Acesso em 20 de jun. 2014.

CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. (2007). Disponível em:

<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/areas-contaminadas/2011/texto_explicativo.pdf>. Acesso em 20 de jun. 2014.

CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. (2011). Disponível em:

<<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/areas-contaminadas/2011/texto-explicativo.pdf>>. Acesso em 20 de jun. 2014.

CUNNIGHAM, S.D.; ANDERSON, T.A.; SCHWAB, A.P. **Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants**. Adv.Agron, v. 56, p. 55-114, 1996.

DENISON, R.; SILBERG, E. **Risk of municipal solid waste incineration on environmental perspective**. Risk Analysis. v. 8, n. 3, p. 343-355, 1998.

FRANÇA, R. G; RUARO, E. C. R.; **Diagnóstico da disposição final dos resíduos sólidos urbanos na região da Associação dos Municípios do Alto Irani (AMAI), Santa Catarina**. Rev. Ciência & Saúde Coletiva, 2009.

FERNANDES, F. M.; ALCÂNTARA, G. Z. **Biorremediação de solos – Estado da Arte**. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/56616692/Contaminacao-de-solo-bioventilacao> . Acesso em: 12. Jun. 2014.

GARBISU, C.; ALKORTA, I. **Phytoextraction a cost effective plant-besed technology for the removal of metals from the environment**. Bioresoure Technology. LSL. v. 77, p. 229-236, 2001.

GODECKE, M. V.; NAIME, R.H.; FIGUEIREDO, J. A. S.; **O consumismo e a Geração de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**. Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v(8), nº 8, p. 1700-1712, SET-DEZ, 2012.

INSTITUTO ETHOS. **Política Nacional de Resíduos Sólidos: Desafios e Oportunidades para as Empresas**. São Paulo: Instituto Ethos, 2012.

KABATA, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soil and plants**. 2 ed. Boca Raton: CRC Press, 1992.

LIMA, D.F. **Biorremediação Em Sedimentos Impactados Por Petróleo Na Baía De Todos Os Santos, Bahia: Avaliação Da Degradação De Hidrocarbonetos Saturados**. Salvador : UFB, 2010. 234p. Tese (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

LIMA, J. D. de. **Sistemas Integrados de Destinação Final de Resíduos Sólidos Urbanos**. Joao Pessoa, 2001.

LIMA, L.M.Q. **Remediação de Lixões Municipais – Aplicação da Biotecnologia**.

LIMA, L.M.Q. **Biorremediação de Lixões– Biotecnologia Aplicada ao Meio Ambiente**. 278 pg. SINDBIO. 2002.

LONDE, P.R. **Importância do uso de vegetação para contenção e combate à erosão em taludes do lixão desativado no município de Patos de Minas (MG)**. UNIPAM. dez, 2008.

MACEDO, J.A.B., **Programa de bioaumentação, uma tecnologia avançada para tratamento de efluentes laticínios**. Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, p. 47- 52, v.55, n.315. jul./ago.2000.

MACEDO, R. C.; BERBERT, V. H. C. **Biorremediação de solos impactados por óleo cru utilizando fungos filamentosos**. Trabalho apresentado na X jornada de iniciação científica – Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Em: X jornada de iniciação científica, 2002.

MAGALHÃES, A. de F. **Avaliação do desempenho de técnicas de bioengenharia na proteção e conservação da cobertura final de taludes em aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos. Estudo de caso para o Aterro Sanitário de Belo Horizonte, MG**. 2005. 169 f. Dissertação de Mestrado em Saneamento , Recursos Hídricos e Meio Ambiente. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

MCNEVIN, D. e BARFORD, J. **Biofiltration as an odour abatement strategy**. Biochemical Engineering Journal, 5, p: 231-242, 2000.

MOHR, H.; SCHPFER, P. **Plant physiology**. Berlim: Sprenger-Verlag, 1995. 629 p.

MUÑOZ, S.I.S. **Impacto Ambiental na área do Aterro Sanitário e incinerador de resíduos sólidos de Ribeirão Preto, SP: Avaliação dos níveis de metais pesados**. Dissertação de Doutorado em Enfermagem em Saúde Pública. Universidade Estadual de São Paulo, Ribeirão Preto, 2002.

NIETO, R. **Gestão da qualidade dos recursos hídricos superficiais : modulo 5 - conceitos basicos do tratamento de efluentes industriais e domésticos**. Cursos e Treinamentos. CETESB, São Paulo. 2005. 57 p.

PELCZAR, M. J. J.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. **Microbiologia. Conceitos e Aplicações**. Volume 2/ 2 ed. Pearson Education do Brasil. São Paulo, jul.1997. 517 p.

PINTO, L.V.A; SILVA, S.; RESENDE, L.A.; OLIVEIRA, T.M. **Seleção de espécies para recuperação de áreas de lixão**. In CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL. Bauru. nov, 2010.

SILVA, R. L. B. **Contaminação de poços rasos no bairro brisamar, itaguaí, rj, por derramamento de gasolina: concentração de btex e avaliação da qualidade da água consumida pela população**. Tese (Doutorado) - Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SIMÃO, J.B.P.; SIQUIERA, J.O. **Solos contaminados por metais pesados: características, implicações e remediação**. Informe Agropecuário, [S.I.S.], v. 22, n. 210, p. 18-26. 2001.

SOUZA, E.G.; NUNES, A.S.; TRINDADE, D.B.; PONTES, M.P.; CASTRO E SILVA, A.; SOARES, E.P. **Crescimento radial de fungos amazônicos em meio de cultivo suplementado com corante azul de metileno**. 51º Congresso Brasileiro de Química. São Luiz- MA. 2011.

UETA, J.; PEREIRA, N. L.; SHUHAMA, I. K.; CERDEIRA, A. L. **Biodegradação de herbicidas e biorremediação: microrganismos degradadores do herbicida atrazina**. Biotecnologia, Brasília, 10: 10-13, 1999.

USEPA (United States Environmental Protection Agency), Landfarming. In: **How To Evaluate Alternative Cleanup Technologies For Underground Storage Tank Sites: A Guide For Corrective Action Plan Reviewes**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/oust/cat/landfarm.htm>>. Acesso em 20 de jun. 2014.

WU, G.; CHABOT, C.; CARON, J. J.; HEITX, M. **Biological elimination of volatile organic compounds from waste gases in a biofilter**. Water air and soil pollution, 101, 69-78, 1998.