

CENTRO UNIVERSITÁRIO SÃO CAMILO
Curso de Biomedicina

Gustavo Kenedy Santos Costa

**PERIGOS ASSOCIADOS À INTOXICAÇÃO POR CHUMBO E A
BIORREMEDIAÇÃO COMO ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE ÁREAS
CONTAMINADAS**

São Paulo
2023

Gustavo Kenedy Santos Costa

**PERIGOS ASSOCIADOS À INTOXICAÇÃO POR CHUMBO E A
BIORREMEDIAÇÃO COMO ALTERNATIVA PARA TRATAMENTO DE ÁREAS
CONTAMINADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Biomedicina do
Centro Universitário São Camilo,
orientado pela Profa. Dra. Sandra Castro
Poppe, como requisito parcial para
obtenção do título de Biomédico.

São Paulo

2023

Ficha catalográfica elaborada pelas Bibliotecas São Camilo

Costa, Gustavo Kenedy Santos

Perigos associados à intoxicação por chumbo e a biorremediação como alternativa para tratamento de áreas contaminadas / Gustavo Kenedy Santos Costa. -- São Paulo: Centro Universitário São Camilo, 2023.

25 p.

Orientação de Sandra Castro Poppe.

Trabalho de Conclusão de Curso de Biomedicina (Graduação), Centro Universitário São Camilo, 2023.

1. Biodegradação ambiental 2. Chumbo 3. Intoxicação I. Poppe, Sandra Castro II. Centro Universitário São Camilo III. Título

CDD: 540

RESUMO: Metais pesados são metais altamente reativos, bioacumulativos e não biodegradáveis, que podem apresentar riscos à saúde devido às suas toxicidades. O chumbo é um destes metais e é amplamente utilizado. A intoxicação por chumbo pode afetar diversos órgãos e sistemas do organismo humano. Estas intoxicações geralmente ocorrem devido a exposição dos indivíduos ao metal, podendo ser por conta de ambientes contaminados, resultantes do descarte inadequado de contaminantes ou então pelo contato direto, como por exemplo em indústrias siderúrgicas. Existem técnicas para lidar com estas áreas contaminadas, dentre elas, a biorremediação vem se destacando. Nela são utilizados microrganismos para facilitar a remoção dos metais, podendo estes serem de ocorrência natural ou então geneticamente modificados. O mecanismo utilizado pelos microrganismos se baseia principalmente na mudança do estado de oxidação do metal, de forma a torná-lo menos ou mais solúvel ou em um produto menos tóxico. Na biorremediação existem técnicas que podem ser “*in situ*” (no próprio local) e “*ex situ*” (fora do local original), geralmente com o intuito de proporcionarem as melhores condições ambientais para os microrganismos atuarem. Existe uma grande variedade de microrganismos que podem ser utilizados na biorremediação do chumbo. Esta é considerada uma técnica promissora, já que pode ser menos custosa e trabalhosa quando comparada com técnicas físico-químicas tradicionais, no entanto é necessário nos atentarmos a alguns cuidados ao utilizar biorremédios para obter melhores resultados e evitar descontrola da biota local. O presente estudo tem como objetivo demonstrar, por meio de levantamento bibliográfico em bases de dados e bibliotecas científicas, o potencial tóxico do Chumbo (Pb) e a possível utilização da biorremediação para remediar áreas contaminadas pelo metal, de forma a evitar o surgimento de novas intoxicações.

Palavras-chave: Chumbo, Intoxicação, Biorremediação

ABSTRACT: Heavy metals are highly reactive, bioaccumulative, and non-biodegradable metals that can present health risks due to their toxicities. Lead is one such metal and is widely used. Lead poisoning can affect various organs and systems in the human body. These poisonings often occur due to exposure of individuals to the metal, whether through contaminated environments, improper disposal of contaminants, or direct contact, such as in steel industries. There are techniques to deal with these contaminated areas, and among them, bioremediation has been standing out. In bioremediation, microorganisms are used to facilitate the removal of metals, which can be either naturally occurring or genetically modified. The mechanism used by microorganisms is mainly based on changing the metals oxidation state to make it less or more soluble or into a less toxic product. In bioremediation, there are techniques that can be 'in situ' (on-site) and 'ex situ' (off-site), usually with the aim of providing the best environmental conditions for microorganisms to act. There is a wide variety of microorganisms that can be used in lead bioremediation. This is considered a promising technique since it can be less costly and labor-intensive when compared to traditional physicochemical techniques, however, it is essential to exercise caution when using bioremediation to achieve better results and avoid the uncontrolled disruption of the local biota. This study aims to demonstrate, through a literature review in databases and scientific libraries, the toxic potential of lead (Pb) and the possible use of bioremediation to remedy areas contaminated by the metal, preventing the emergence of new intoxications.

Keywords: Lead, Intoxication, Bioremediation

SUMÁRIO

1. Introdução.....	7
2. Materiais e métodos.....	8
3. O Chumbo (Pb).....	8
3.1 Histórico e características.....	8
3.2 Aspectos toxicológicos.....	11
4. Biorremediação do chumbo.....	15
4.1 Técnicas utilizadas.....	16
4.2 Mecanismos utilizados pelos microrganismos.....	18
4.3 Microrganismos que podem ser utilizados.....	19
5. Conclusão.....	20
6. Referências bibliográficas.....	21

1. INTRODUÇÃO

Metais pesados são metais altamente reativos, bioacumulativos e não biodegradáveis, que podem apresentar riscos à saúde devido às suas toxicidades. Estes possuem efeitos cumulativos no organismo, dessa forma a maioria dos casos de intoxicações são decorrentes de exposições crônicas. A exposição a estes agentes pode ocorrer por diversas formas, como por exemplo, por meio do solo, da água, ou até mesmo pela alimentação. O chumbo (Pb) é um destes metais e é utilizado desde milhares de anos atrás até atualmente. Apesar do conhecimento dos potenciais efeitos adversos que a exposição a este metal pode causar, quadros de intoxicações continuam surgindo ao redor do mundo.

O Brasil possui grande área de produção agrícola, que utilizam fertilizantes inorgânicos e defensivos agrícolas, e de exploração mineral e industrial, que liberam grandes quantidades de resíduos que possuem chumbo. Os resíduos gerados nessas áreas poluem os solos e a água, devido a descarga de efluentes não tratados. Indivíduos expostos ao chumbo podem acumular gradativamente em tecidos, por apresentar uma meia vida muito longa, podendo permanecer nos ossos por até 27 anos, caracterizando o fenômeno de bioacumulação, com o acúmulo se dá o quadro de intoxicação por chumbo, também conhecido como saturnismo ou “plumbismo”, onde o funcionamento de alguns órgãos pode ser afetado. O chumbo age formando complexos com os grupos funcionais das enzimas, alterando a catálise e promovendo alterações metabólicas com graves consequências fisiológicas (JORDÃO et al, 1999). Podem causar doenças neurodegenerativas e afetar principalmente órgãos relacionados ao processo de desintoxicação, como o fígado e os rins. Atualmente o principal tratamento para a intoxicação por estes metais consiste no uso de agentes quelantes, que favorecem a excreção do toxicante pela urina, além da descontinuação da exposição (SCHIFER, 2005).

Para diminuir e evitar a exposição podem ser utilizadas diversas técnicas, como a biorremediação, que consiste no uso de organismos vivos, como por exemplo bactérias, fungos e plantas. No caso do chumbo, os organismos podem atuar removendo, imobilizando, e transformando contaminantes em substâncias de menor toxicidade, por serem tolerantes (BRAUN et al, 2019). Essa é uma técnica considerada de baixo custo e alta eficiência e tem sido vista como uma boa alternativa para tratamento de efluentes contendo metais pesados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foi realizado o levantamento bibliográfico em bases de dados e bibliotecas científicas, sintetizando e analisando as informações mais recentes, de forma crítica, sobre chumbo (Pb) e a aplicação da técnica de biorremediação no tratamento de ambientes contaminados pelo metal pesado, utilizando da comparação como ferramenta para verificar a veracidade das informações.

3. O CHUMBO (Pb)

3.1 Histórico e características

O chumbo foi um dos primeiros metais a ser utilizado pelos seres humanos, há vestígios de sua extração de outros metais de cerca de 8.000 anos atrás. Isso se deve talvez pela sua abundância, fácil obtenção através de minérios e pela sua alta maleabilidade e baixa temperatura de fusão. Dessa forma o chumbo teve uma ampla utilização durante toda a história, já sendo utilizado como revestimentos, de forma estrutural e ornamental em construções, na produção de cosméticos e de pigmentos, para produzir utensílios domésticos e até mesmo em encanamentos, de onde originou-se o símbolo do elemento químico "Pb", já que tubo em latim é *plumbum*.

O chumbo pertence ao grupo dos metais não ferrosos, presente na coluna 4A da tabela periódica, possui número atômico 82 e massa atômica 207,21 g/mol, é cinza-azulado brilhante, dúctil, maleável, possui condutividade térmica e elétrica, além de ser altamente resistente a corrosão. Possui ponto de fusão igual a 327°C, a partir de 550°C produz vapor, e encontra-se em ebulição a 1740°C. Pode ser encontrado livre na natureza sob quatro formas isotópicas (PM = 208, 207, 206 e 204) (PANTALEÃO et al, 2014).

As principais fontes de obtenção são dos minerais: Galena (PbS), Cerusita (PbCO₃) e a Anglesita (PbSO₄). A Galena é o principal minério de chumbo, é pesado, quebradiço de cor acinzentada e pode ser encontrado sob a forma de massas nas rochas calcárias, é um composto de enxofre cuja fórmula química é PbS. A cerusita é um minério resinoso e vítreo, possui coloração branca ou incolor, é formada por

carbonato de chumbo e sua fórmula química é $PbCO_3$. A Anglesita, assim como a cerusita, possui coloração branca ou incolor, além de ser vítrea, é formada por sulfato de chumbo e sua fórmula química é $PbSO_4$. Além destes, o chumbo associado a outros elementos pode dar origem a vários outros compostos, como por exemplo, o cromato de chumbo ($PbCrO_4$), um composto amarelado pouco solúvel em água e utilizado como pigmento; o tetróxido de chumbo (Pb_3O_4), também conhecido como zarcão, muito utilizado como anticorrosivo e na fabricação de baterias; a wulfenita ($PbMoO_4$) um mineral secundário encontrado em jazidas de chumbo e o óxido de chumbo (PbO), também conhecido como litargírio (PANTALEÃO et al, 2014; PANTAROTO, 2008; NASCIMENTO et al, 2021).

No Brasil as maiores reservas encontram-se nos estados do Paraná, Rio Grande do Sul e Minas Gerais. A produção primária é derivada das lavras do zinco, encontradas principalmente no Morro Agudo de Minas Gerais, e a secundária advém da reciclagem da sucata do próprio chumbo. Atualmente o chumbo é utilizado de três formas, na forma metálica, em ligas e em compostos químicos com outros elementos. Dentre muitas aplicações se destacam a produção de baterias tipo chumbo-ácido, em soldas e em revestimentos para cabos elétricos (HOLZBACH et al, 2012; SANTOS, 2009; NASCIMENTO et al, 2021). No Quadro 1 são descritas algumas aplicações das três formas:

Quadro 1 - Aplicações do chumbo metálico em ligas e em compostos químicos

Forma metálica	Ligas	Compostos químicos
projéteis e munições.	Liga para mancais L50820 0,02 % Al – 0,04 % Li – 0,7 % Ca – 0,2 % Na – 0,4 % Ba – 98,7 % Pb.	Dióxido de chumbo (PbO_2): baterias tipo chumbo-ácido.
revestimento protetor de cabos elétricos para evitar difusão de água no isolante.	Ligas para grade de bateria L50770, L50775, L50780, L50790, 0,10 % Ca – 0 a 1 % Sn – 98,9 a 99,9 % Pb.	Chumbo tetraetila e tetrametila como aditivo à gasolina, atuando como anti-detonantes

construção civil (folhas de chumbo, tubos).	Liga para revestimento de cabos L50101 99,8 % Pb – 0,2 % Ag.	Monóxido de chumbo (PbO): tipos de vidro, vulcanização da borracha, pigmento para tintas.
blocos para pesagens.	Liga para eletro-refino L50122 98 % Pb – 1 % Ag – 1 % As.	Tetraóxido de Tri-chumbo (Pb ₃ O ₄): produção de tinta para proteção contra ferrugem em aços
terminais para baterias.	Liga para soldagem mole L50121, L50131 1 a 1,5 % Ag – 1 % Sn, restante Pb.	Arsenato de chumbo [Pb ₃ (AsO ₄) ₂]: usado como inseticida.
produtos injetados como: anéis, raspadores, caracteres para a indústria tipográfica, mantas protetoras.	Ligas chumbo-cálcio L50840, L 50850, L50880 1 a 6 % Ca – 94 a 99 % Pb.	Carbonato de Chumbo (PbCO ₃): Foi muito usado como pigmento na produção de tinta de cor branca.
protetor contra raios X.	Liga para anodo de eletro-refino L50730 0,5 % Ag – 0,05 % Ca - 99,4 % Pb.	Cromato de Chumbo (PbCrO ₄): usado na obtenção de tinta amarelo cromo.
usinas e laboratórios nucleares contra o raio gama.	Liga chumbo cádmio eutética L50940 17 % Cd – 83,5 Pb.	Nitrato de chumbo [Pb(NO ₃) ₂]: usado na produção de fogos de artifício e outros produtos para efeitos pirotécnicos.
dispositivos de proteção contra incêndio denominado “Sistema	Chumbo cobreado L51110 0,01 % Cu – 99,9 % Pb.	Silicato de chumbo (PbSiO ₃): alguns tipos de vidro, na produção de

Sprinkler”.		borracha e de tinta e tecidos à prova de fogo.
-------------	--	--

Fonte: PANTAROTO, 2008; INFOMET; NASCIMENTO et al, 2021.

3.2 Aspectos toxicológicos

Apesar de sua ampla utilização, o chumbo foi reconhecido pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como um dos elementos químicos mais perigosos à saúde humana devido a sua toxicidade. É um elemento sem nenhuma função fisiológica conhecida no organismo e seus efeitos podem afetar praticamente todos os órgãos e sistemas do organismo humano (LARINI et al, 1997). A intoxicação ocorre de forma lenta e gradual, devido à exposição contínua e acúmulo. A maior ocorrência de casos de intoxicação se deve principalmente à contaminação ambiental (solos e água), consumo de alimentos e bebidas contaminadas e partículas suspensas no ar (KATZUNG, 2003). A contaminação ocorre principalmente devido à efluentes industriais (principalmente siderúrgicas) e uso de defensivos agrícolas, que podem se acumular em vegetais, frutas e cereais e também em animais, como por exemplo em peixes que captam o chumbo em águas contaminadas e acumulam principalmente nas brânquias, fígado, rins e ossos (OGA, 2003). O valor de referência considerado normal para a concentração plasmática do metal é de 0,2mg/dL e 0,6mg/dL para uma pequena intoxicação (ROCHA, 2009).

Destacam-se dois grupos tóxicos: Chumbo Inorgânico (maioria dos compostos) e Chumbo Orgânico (chumbo tetraetila).

A absorção do chumbo inorgânico ocorre principalmente através da via respiratória (mais importante na exposição ocupacional) e digestiva, assim como o chumbo orgânico, no entanto, este é capaz de penetrar através da pele íntegra, por apresentarem características lipossolúveis (PASSAGLI, 2011). Sendo assim a absorção do Pb é influenciada pela rota de exposição, espécie química, tamanho da partícula e solubilidade em água, além disso, também sofre influência de variações fisiológicas e patológicas dos indivíduos, como por exemplo, fumantes e pessoas com doenças nas vias respiratórias superiores podem apresentar maior deposição de partículas de chumbo no trato respiratório devido a atividade ciliar prejudicada (MOREIRA et al, 2004).

No trato gastrointestinal a absorção ocorre principalmente no duodeno por mecanismos ainda não totalmente elucidados, mas que podem envolver transporte ativo e/ou difusão trans ou paracelular. A absorção pode variar de 2% a 16% (45% a 50% para mulheres grávidas e crianças) quando com refeições e em jejum pode aumentar para 60% a 80%. Fatores nutricionais tais como a ingestão de cálcio (Ca), ferro (Fe), fósforo (P) e proteínas também podem influenciar, foi visto que um baixo teor destes aumenta a absorção de Pb, possivelmente por envolver um mecanismo de competição com estes, na absorção da mucosa intestinal (MOREIRA, 2004).

Após absorvido, o chumbo orgânico é metabolizado em inorgânico e este não é metabolizado, e sim complexado com macromoléculas e distribuído entre três compartimentos, o primeiro seria o sangue (que possui relação direta com os outros dois), o segundo os tecidos moles (como fígado e rins) e terceiro os tecidos mineralizados (como ossos e dentes) (MOREIRA et al, 2004; KOSNETT, 2003). Quando no sangue, é distribuído entre os órgãos a depender da afinidade pelo tecido e o gradiente de concentração, sendo mais comumente encontrado no fígado e rins. Também é capaz de atravessar a barreira hematoencefálica e a membrana placentária (provocando efeitos teratogênicos). Nos tecidos moles a retenção tende a se estabilizar na vida adulta e decrescer com o tempo, contudo continua a se acumular durante toda a vida nos ossos. Para se acumular nos ossos e dentes o chumbo segue a via metabólica do cálcio, quando no esqueleto é biologicamente inerte, porém pode ser mobilizado a depender da situação (uso de determinados fármacos, infecções, alterações no equilíbrio ácido-base) e causar sintomas tóxicos, ainda que sem exposição aguda (MOREIRA et al, 2004; SCHIFER et al, 2005).

Após absorvido, de 75% a 80% é excretado pela urina e cerca de apenas 15% pelas fezes, também pode ser eliminado pelo suor, cabelo, descamação cutânea e unhas. 90% do metal eliminado nas fezes é decorrente da sua não absorção. A excreção gastrointestinal do chumbo ocorre por excreção biliar, possivelmente na forma de um complexo chumbo-glutationa (ZENZ, 1994). A excreção renal ocorre em sua maioria através de filtração glomerular, no entanto é suposto que uma parte sofre reabsorção tubular parcial, de forma ainda não completamente elucidada (MOREIRA, 2003).

O chumbo causa diversas modificações bioquímicas, sendo todas nocivas, por ser capaz de formar complexos estáveis com ligantes que contém enxofre, fósforo, nitrogênio ou oxigênio, interferindo no funcionamento de enzimas e

membranas celulares. As interações com grupamentos –SH são de grande importância toxicológica, uma vez que, quando ocorrido em uma enzima, sua atividade pode ser alterada (SCHIFER et al, 2005; PANTALEÃO, 2014).

Biomarcadores de exposição ao chumbo são utilizados para o diagnóstico de intoxicações, sendo importante levar em consideração fatores fisiológicos, patológicos e hábitos individuais do paciente, já que podem influenciar nos níveis destes indicadores. Distúrbios na biossíntese da heme podem servir para detecção precoce de exposição perigosa ao metal antes mesmo do aparecimento de sintomas clínicos (MOREIRA et al, 2004). Um biomarcador altamente sensível é a inibição da enzima ALA-D (ácido δ-aminolevulínico desidratase), que participa do processo de incorporação do ferro na protoporfirina IX (PPIX), o Pb inibe em torno de 76% da atividade da ALA-D. Durante a exposição algumas enzimas podem apresentar atividades aumentadas de forma indireta, como é o caso da ALA-S (ácido δ-aminolevulínico sintetase), que intermedia a reação entre glicina e o succinil CoA para a formação do ALA (ácido δ-aminolevulínico, primeiro composto na via de síntese das porfirinas), já que o chumbo reduz a síntese do heme, dessa forma o organismo tenta compensar estimulando a enzima. Com a inibição de ALA-D e aumento na atividade de ALA-S há um aumento acentuado dos níveis de ácido δ-aminolevulínico (ALA), que pode ser encontrado no soro, sangue e urina devido ao seu baixo peso molecular. Níveis de chumbo no plasma, na urina e no sangue podem funcionar como biomarcadores de exposição. Níveis sanguíneos, no entanto, não representam de forma adequada os níveis do metal nos ossos (INFARMA, 2005).

Devido às várias alterações promovidas por Pb são apresentados alguns efeitos que podem ser percebidos em várias partes do organismo, dentre as quais, os sistemas gastrointestinal, neuromuscular, neurológico, hematológico e renal são os principais prejudicados.

No sistema gastrointestinal a manifestação mais comum é a cólica saturnina, caracterizada por espasmos intestinais que causam fortes dores, que ocorrem devido a alterações na musculatura lisa do intestino causadas pelo chumbo (INFARMA, 2005).

No sistema neuromuscular é causada a desmielinização e degeneração axonal, além de provocar alterações no metabolismo de alguns neurotransmissores, como acetilcolina e catecolaminas. Em casos raros pode ocorrer a paralisia

saturnina, onde o indivíduo sente primeiramente fraqueza, fadiga e enfim paralisia (INFARMA, 2005).

No sistema neurológico é onde ocorrem as manifestações mais graves decorrentes da intoxicação por chumbo, mais comum em crianças, tendo índice de mortalidade de cerca de 25%. Há indícios de que o metal provoque anormalidade na síntese endógena de nucleotídeos piridínicos (principal fonte de NAD e NADP durante o desenvolvimento do cérebro), ácido quinolínico e no catabolismo do triptofano. Essas várias manifestações são conhecidas como encefalopatia saturnina (INFARMA, 2005).

No sistema hematológico, quando em baixa exposição ao metal, podem ser observadas a presença de pontilhados basófilos nos eritrócitos. Com a exposição contínua é desenvolvida anemia microcítica hipocrômica, devido à inibição da síntese do heme, citada anteriormente (INFARMA, 2005).

No sistema cardiovascular ocorre a síndrome de miocardite crônica, apresenta alterações no eletrocardiograma, hipotonia ou hipertonia, além de um quadro de hipertensão e arteriosclerose precoce (INFARMA, 2005).

No sistema renal o metal se mostra altamente tóxico, podendo causar distúrbio reversível dos túbulos renais e nefropatia intersticial irreversível. A toxicidade renal é evidenciada por proteinúria, hematúria e presença de cilindros na urina (SCHIFER et al, 2005).

No sistema hepático as alterações são observadas em casos de intoxicações severas, onde ocorre a redução da concentração do citocromo P450 e da atividade da glutathion-S-transferase, interferindo nos processos de biotransformação, além disso pode se desenvolver uma hepatite tóxica (INFARMA,2005).

Casos de intoxicações agudas por chumbo são extremamente raros, e o tratamento geralmente é realizado a partir de uma lavagem gástrica com água ou sulfato de sódio 1% e administração de leite e laxantes à base de sulfato de magnésio. Pacientes que apresentem uma concentração superior a 50 µg/dL de chumbo no sangue iniciam o tratamento utilizando quelantes como, edetato dissódico de cálcio, dimercaprol e Succimer. Os dois primeiros possuem efeitos sinérgicos e geralmente são utilizados em associação e administrados via intramuscular e o Succimer administrado via oral. São administrados alguns fármacos para tratar alguns sintomas, como por exemplo os barbitúricos ou benzodiazepínicos, que vão atuar controlando quadros de agitação e

hiperexcitabilidade. Além destes, também são utilizados o manitol e a dexametasona para prevenção de agravamento de edema cerebral. Em casos de anemia, caso seja necessário, são realizadas transfusões sanguíneas (INFARMA, 2005).

A seguir são descritos casos para exemplificar como as intoxicações podem ocorrer.

Em 1982, em Franca, houve um surto de saturnismo que após investigação concluiu-se que a contaminação era decorrente das tachinhas, feitas de chumbo, utilizadas no processo de montagem dos calçados. A contaminação se dava por conta dos operários colocarem as tachinhas na boca antes de utilizá-las no calçado e ficou conhecida como “Doença das tachinhas” (FUNDACENTRO, 1982).

Em uma empresa de baterias de Ribeirão Preto, os funcionários realizavam comercialização e desmontagem das baterias. Devido ao contato direto com chumbo, foram identificados, através de exames, 24 empregados com elevados índices de chumbo no sangue, já caracterizando, inclusive, intoxicações crônicas (CALIENTO, 1992).

Em uma empresa de instrução de tiro em Minas Gerais um funcionário foi avaliado devido aos sintomas que sentia e foi detectado alto teor de chumbo no sangue. Após investigações, concluíram que a intoxicação ocorreu devido ao manuseio de cápsulas de munição e limpeza de armas em ambiente sem ventilação (SILVEIRA e FERREIRA, 2003).

Em Janeiro de 2002, a CETESB interditou uma indústria de baterias em Bauru devido a emissão de partículas de chumbo no ar. Ao se estudar as crianças residentes da região, por serem consideradas grupo de maior risco, observou-se altos teores de chumbo no sangue, além disso também foi possível observar altas concentrações do metal em alimentos cultivados em áreas próximas à empresa (Caderno de Saúde Pública, 2006).

4. BIORREMEDIAÇÃO DO CHUMBO

Apesar do chumbo estar presente naturalmente na natureza, devido às ações humanas, como o descarte inadequado de lixo e resíduos contaminados, pode haver aumento na disposição do metal no meio ambiente (SOUZA et. al 2018). Dessa forma o chumbo tende a se acumular no solo, devido à sua baixa mobilidade e elevada adsorção, principalmente nas primeiras camadas do solo, podendo causar graves problemas à saúde humana e ao meio ambiente. Portanto, são necessárias

técnicas de intervenção em áreas contaminadas para que se diminua a concentração do metal e não gere consequências severas aos indivíduos expostos, de maneira direta ou indireta (BRAUN et al 2019). Estas técnicas podem ser divididas de acordo com a ação usada, podendo ser biológica, físico-química e/ou térmica, e de acordo com o local onde será realizado o tratamento, podendo ser “*in situ*” (no próprio local) ou “*ex situ*” (fora do local original), sendo a *in situ* mais utilizada por ser menos custosa, já que não há necessidade de transporte (CASTELO-GRANDE et al, 2007).

As técnicas físico-químicas tradicionais se baseiam em processos de transferência de massa, como sorção e troca iônica e as térmicas envolvem o aquecimento do contaminante, de forma a induzir sua fundição ou volatilização, facilitando a remoção do solo (MULLIGAN et al, 2001).

4.1 Técnicas utilizadas

Nas técnicas biológicas são utilizados seres vivos, plantas ou microrganismos para remover, imobilizar, e transformar contaminantes em substâncias de menor toxicidade, tais técnicas podem ser denominadas como biorremediação (BRAUN et al, 2019). A utilização dessas técnicas iniciou em 1988, quando cientistas utilizaram microrganismos para tratar o solo contaminado, e desde então vem sendo uma alternativa promissora para a remediação de áreas contaminadas, por apresentar menores custos, equipamentos de fácil obtenção, instalação e uso, quando comparadas às outras técnicas (TORTORA, 2005; ANDRADE et al, 2010; SILVA et al, 2014). Os microrganismos utilizados podem ser de ocorrência natural ou então geneticamente modificados. Alguns fatores devem ser levados em consideração ao aplicar estas técnicas, como por exemplo condições ambientais (temperatura, pH, salinidade, umidade, composição e concentração dos poluentes/contaminantes) e nutricionais favoráveis para o metabolismo e crescimento microbiano (SCHJØNNING et al., 2011; LIM, et al 2016). As principais técnicas empregadas na biorremediação são:

Técnicas In situ:

Bioestimulação: Técnica que visa estimular a ação dos microrganismos a partir da adição de nutrientes, como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), e alterando condições ambientais (pH, temperatura, umidade etc) para as mais favoráveis (MORAIS FILHO; CORIOLANO, 2016)

Bioventilação: Técnica na qual há a adição de ar atmosférico no meio, com o objetivo de aumentar a concentração de oxigênio, de forma a estimular o crescimento dos microrganismos aeróbios, geralmente utilizada no solo. Apresenta dificuldade de aplicação em solos argilosos, muito compactados ou com alta umidade, já que essas condições dificultam a passagem do ar no solo (COUTINHO et al., 2015; REIS et al., 2018).

Bioaumentação: Técnica baseada na introdução de microrganismos específicos para cada caso, de forma a aumentar a população para potencializar a ação em áreas muito deterioradas (FARIA et al. 2017).

Fitorremediação: Nesta técnica são utilizados vegetais para tratamento de ambientes contaminados. São selecionadas plantas que possuem características como, boa absorção, sistema radicular profundo, taxa de crescimento acelerada e boa resistência ao poluente. No entanto apresenta dificuldade de utilização em solos muito contaminados, por ser difícil selecionar plantas resistentes (COUTINHO et al, 2007).

Técnicas *ex situ*:

Landfarming: Técnica realizada a partir da adição do contaminante na camada arável do solo, de forma que, ao arar, os poluentes serão incorporados, formando uma superfície de pequena espessura, para posterior degradação. É importante o monitoramento de características do solo, como nutrientes, pH, temperatura e umidade. É muito utilizada para compostos derivados do petróleo (CASTRO et al, 2005).

Biopilhas: Variação da técnica *Landfarming*, na qual são construídas pilhas de solo contaminado que incluem sistemas de adição de água, nutrientes e aeração, estimulando ação microbiológica, além de sistemas para coleta de lixívia e tratamento de gases gerados (ALEXANDER, 1999).

Compostagem: Outra variante do *Landfarming*, onde são adicionados agentes estruturantes ao solo contaminado, como por exemplo palha, serragem e folhas, para promover maior transferência de oxigênio, além de servirem como fontes de carbono para os microrganismos, favorecendo o crescimento populacional (SEMPLE et al, 2001).

Biorreatores: Nessa técnica são utilizados tanques onde o solo contaminado é misturado com água, de modo a ficar na proporção de 10 a 40% de sólidos na suspensão. Esta suspensão é então submetida a rotações que favorecem a aeração

e a homogeneização do meio. Devido a esses processos temos uma melhor distribuição e maior disponibilidade do contaminante (MACLEOD; DAUGULIS, 2005).

4.2 Mecanismos utilizados pelos microrganismos

O mecanismo utilizado pelos microrganismos para remediação de solos contaminados com metais pesados se baseia principalmente na mudança do estado de oxidação do metal, de forma a permitir a aplicação de algumas estratégias, uma vez que o metal pode se tornar menos ou mais solúvel, ser convertido em um produto menos tóxico ou então permitir que haja sua volatilização (BOECHAT, 2014; SINGH e CAMEOTRA 2004; NOGUEIRA 2015). As principais interações realizadas pelos microrganismos na biorremediação de metais tóxicos são, biomineralização, biotransformação, biolixiviação, bioacumulação e biossorção.

Na biomineralização, os microrganismos excretam substâncias capazes de precipitar os metais sob uma forma insolúvel, de forma a reduzir a mobilidade. A biotransformação é bem semelhante, pois também atua tornando o metal menos solúvel, por meio de alterações em suas características químicas, estado de oxidação (BRAUN et al, 2019).

Na biolixiviação os microrganismos atuam alterando o estado de oxidação química dos elementos, de forma a torná-los solúveis e possível de serem extraídos com fluxo de água, semelhante ao processo de lixiviação (SCHENBERG, 2010).

Na bioacumulação os microrganismos removem os metais do solo internalizando os íons metálicos por meio de processos de transporte de metais, nativos do metabolismo microbiano .

Na biossorção, os íons metálicos são adsorvidos passivamente sobre a superfície celular dos microrganismos, formando complexos metal-orgânicos (BRAUN et al, 2019).

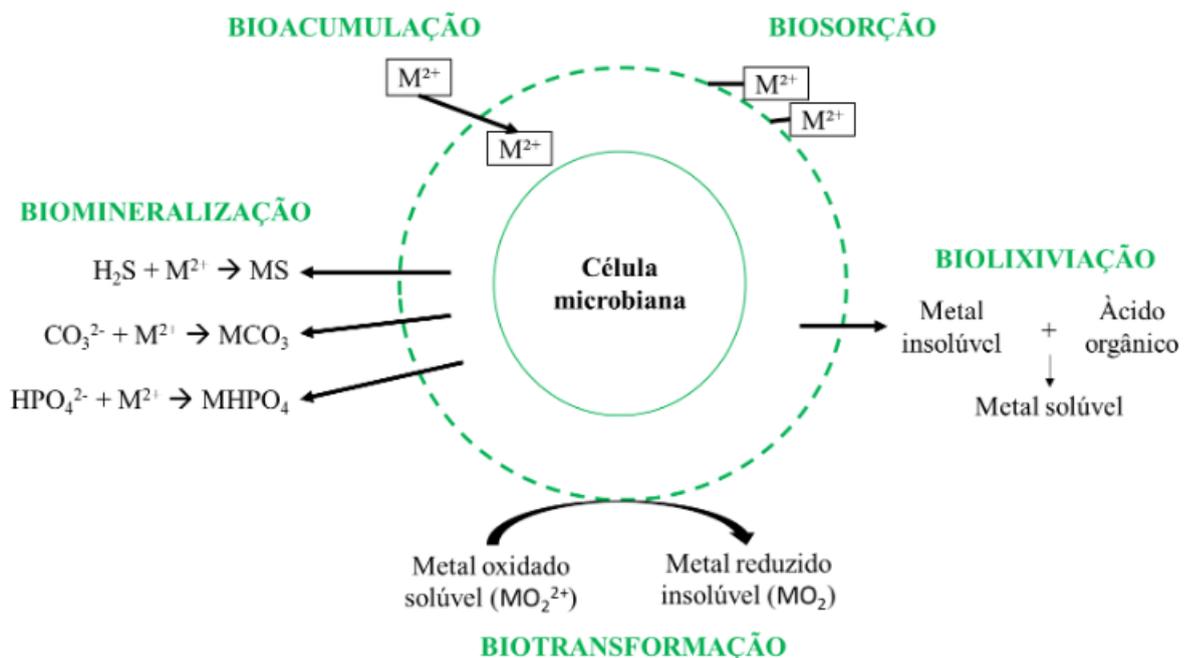


Figura 1 - Esquema de interações de uma célula microbiana com metais (representados por M^{2+}). Fonte: CIATEC, 2019.

4.3 Microrganismos que podem ser utilizados

Há uma grande variedade de microrganismos que podem ser utilizados na remediação do chumbo, que geralmente atuam com mecanismos de retenção, recuperação e remoção. A imobilização do chumbo muitas vezes se dá utilizando bactérias redutoras de sulfato para produção de sulfureto de hidrogênio, ocasionando a precipitação do metal e facilitando a recuperação.

A remoção pode ser realizada por cepas bacterianas e fúngicas, como por exemplo a *Pseudomonas marginalis*, *Plectonema boryanum* e *Desulfosporiosinus orientis*, que atuam absorvendo o metal (BEYENAL e LEWANDOVSKI, 2004; MALIK, 2003). Segundo Cabral (2008), Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) podem ser úteis na retenção do chumbo, sendo o tecido fúngico de *Glomus clarum* o que apresentou maior capacidade de retenção. Além destes fungos, microrganismos como *Pseudomonas marginalis*, *Plectonema boryanum* e *Desulfosporiosinus orientis* também atuam na absorção e retenção do metal.

Estudos de Kang et al. (2015) apontam a utilização de bactérias ureolíticas na biorremediação do chumbo, utilizando o processo de biomineralização. Estirpes

KJ-46 e KJ-4 de *Enterobacter cloacae* apresentaram taxas de remoção de 68,1%, sendo possível a identificação pela precipitação do $PbCO_3$, conferido a partir de microscopia eletrônica de varredura.

Estudos realizados por Nogueira (2015) revelaram grande potencial de remoção de Chumbo por diversas comunidades bacterianas, dentre as quais temos como exemplo: *Pseudomonas cepacia*, 86% de remoção em Pb 200ppm; *Enterobacter sp.*, 80% de remoção em 400ppm, *Amycolatopsis sp.*, 85% de remoção em Pb 400ppm, *Bacillus cereus*, 92% de remoção em Pb 300ppm e *Citrobacter freundii*, 88% de remoção em Pb 400ppm.

A eficácia desses processos não depende apenas do microrganismo utilizado, mas também de fatores como pH, temperatura, o tipo de íon e a concentração, sendo importante o controle destes parâmetros (TEODÓSIO, 2011). O pH altera a solubilidade dos metais pesados e afeta a atividade de grupos funcionais (sítios de ligação) presentes na parede celular, devido à competição entre o metal e os íons H^+ (SANNASI et al., 2006). Segundo Boechat (2014) bactérias *Kluyvera intermédia* e *Klebsiella oxytoca* apresentaram crescimentos diferentes em diferentes pH, na mesma concentração de Pb, tendo o maior crescimento no pH 6,5. Luo et al. (2006), observaram a adsorção de chumbo pela alga *Laminaria japonica* em diversas faixas de pH, sendo o pH 5,3 o que obteve a maior taxa de remoção, redução de 74% de chumbo do meio. Lu et al, (2006), de forma semelhante, verificaram a adsorção de *Enterobacter sp* com diferentes íons e obtiveram a remoção quase completa de Pb em pH 3,0. Nos experimentos realizados por Yilmaz et al. (2010) a bactéria *E. Faecium* também foi submetida a diferentes valores de pH, apresentando os maiores valores de adsorção em pH 5 e 6, caindo drasticamente em pH iguais ou menores que 4,5.

5. CONCLUSÃO

Tendo como base os perigos associados à intoxicação por chumbo e a contaminação do meio ambiente por este, devido principalmente ao descarte inadequado de resíduos, torna-se muito importante a aplicação de técnicas de remediação deste contaminante. Técnicas tradicionais que envolvem processos físicos e químicos podem ser muito custosas e trabalhosas, dessa forma a remediação biológica se torna uma alternativa muito atrativa. Cada vez mais são realizados estudos sobre a biorremediação e os resultados obtidos apontam ser uma

técnica promissora e viável, sendo essencial levar em consideração condições microbianas adequadas para o melhor aproveitamento. Apesar de promissora é necessário nos atentarmos a alguns cuidados ao utilizar biorremédios para evitar descontrolo da biota local.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JORDÃO, C. P.; SILVA, A. C.; PEREIRA, J. L.; BRUNE, W.; *Quim. Nova* **1999**, 22, 47.

SCHIFER, T.; BOGUSZ, S.; MONTANO, M. A. **ASPECTOS TOXICOLÓGICOS DO CHUMBO**. Informativo Profissional do Conselho Federal de Farmácia – Infarma. Brasília. 2005; Vol.17, nº05/06.

BRAUN, A. B.; TRENTIN, A. W. S.; VISENTIN, C.; THOMÉ A. **BIORREMEDIAÇÃO COMO ALTERNATIVA DE TRATAMENTO DE SOLOS CONTAMINADOS COM METAIS TÓXICOS**. Revista CIATEC – UPF, vol.11 (2), p.p. 73-87, 2019.

MAVROPOULOS, E. **A hidroxiapatita como removedora de chumbo**. p. 105. Tese (Mestrado em Saúde Pública) – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Toxicologia, São Paulo, 1999.

WHO (World Health Organization). **Biological monitoring of chemical exposure in the workplace** – *Guidelines* World Health Organization, Geneva, Suíça, vol. 1; 1996.

PANTALEÃO, S. Q.; CHASIN, A. **O CHUMBO COMO AGENTE CONTAMINANTE DO MEIO AMBIENTE**. Dissertação de mestrado pelo Centro de pós-graduação Oswaldo Cruz, São Paulo, 2014.

PANTAROTO, H. L. **UMA ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO CHUMBO NA PRODUÇÃO DE BATERIAS E SUAS IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS**. Dissertação de mestrado pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Metodista de Piracicaba. Santa Bárbara D'oeste – SP: 2008.

WHO. **Inorganic Lead** - Environmental Health Criteria 165. International Programme on Chemical Safety. World Health Organization. Geneva; p. 300. 1995.

NASCIMENTO D. C. B.; ROSA D. L. S.; SOARES E. M.; PAULA M. V. S. **Chumbo: Extração e aplicações, uma revisão**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.11, p. 103824-103836 nov. 2021.

HOLZBACH, J. C. et al. **Chumbo: Uma introdução à extração e a fitorremediação**. Journal of biotechnology and Biodiversity. V.3, n. 4, p. 178-183. 2012.

SANTOS, Juarez F. **Desenvolvimento de estudos para elaboração do plano duodecenal (2010 - 2030) de geologia, mineração e transformação mineral**. Ministério de Minas e Energia – MME. 2009.

INFOMET. **Metais & Ligas. Chumbo. Informações Técnicas: Metalurgia Física, Propriedades e Aplicações**.

LARINI, L. **Toxicologia**. 3 ed. Editora Manole, São Paulo, p. 302,1997.

KATZUNG, Bertram G. **Farmacologia Básica & Clínica**. 8.Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. p. 867-870.

OGA, S. **Fundamentos de Toxicologia**. 2. Ed. São Paulo: Atheneu, 2003. p.411-415.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à Química Ambiental**. 2. Ed., Porto Alegre: Bookman, 2009, p. 256.

PASSAGLI, M. **Toxicologia Forense**. 3. Ed. São Paulo: Millennium, 2011, p.318.

ZENS, C; DICKERSON, O. B; HORVATH, E. P. **Occupational medicine**. Mosby, p.506-541, 1994.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological profile for lead**. Atlanta: ATSDR, 1993. 307p.

IPCS (International Programme on Chemical Safety). **Environmental Health Criteria 165 – Inorganic Lead**. World Health Organization, Geneva, Suíça. 1995.

TSALEV, D. L.; ZAPRIANOV, Z. K. **Lead: Atomic absorption spectrometry in occupational and environmental health practice**. Florida: CRC Press, p.137-150, 1985.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. **A cinética do chumbo no organismo e sua importância para a saúde**. *Ciência & Saúde Coletiva*. v.9 (1), p.167-181, 2004.

Skerfving, S. **Inorganic Lead**. *Criteria documents from the Nordic Expert Group* International Labour Organisation, Estocolmo, pp. 125-238, 1993.

SALGADO, P. E. T.; CORDEIRO, R.; LIMA FILHO, E. C. **Distúrbios neurológicos em trabalhadores com baixos níveis de chumbo no sangue**. *Rev. Saúde Pública*, v.30, p.248-255, 1996.

OGUNSEITAN, O. A.; YANG S.; ERICSON J. **Microbial δ -aminolevulinatase as a biosensor of lead bioavailability in contaminated environments**. *Soil Biology & Biochemistry*. v.32, p.1899-1906, 2000.

TSAIH, S. W. et al. **The independent contribution of bone and erythrocyte lead among middle-aged and elderly men: the normative aging study**. *Environmental Health Perspectives*. v.107 (5), p.391-396, 1999.

KLAASSEN, C. D. **Metais Pesados e seus Antagonistas**. In: GILMAN, A. Goodman et al. *As bases farmacológicas da terapêutica*. 8.Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1991. p.1061- 1065.

GOES, R. C. **Toxicologia Industrial: Um guia prático para prevenção e primeiros socorros**. Rio de Janeiro: Revinter, 1997. p.109-111.

SADAO, M. **Intoxicação por chumbo**. Revista de Oxidologia. p.37-42, mar. 2002.

FUNDACENTRO. **O controle do surto epidêmico de saturnismo em Franca**. Fundacentro – Atualidades em prevenção de acidentes, v. 13, nº 151, 1982.

SILVEIRA, A.M.; FERREIRA, L.R. **Intoxicação por chumbo em atividade de instrução de tiro**. Revista Brasileira de Medicina do Trabalho, v. 1, nº 1, 2003.

CALIENTO, C.R. **Intoxicação por chumbo em trabalhadores de empresas que comercializam baterias**. Revista CIPA, Ano XIII, v. 13, nº 148, 1992.

SOUZA, N. U.; VICAKAS, O. M.; ANICETO A. P.P.; NEGRÃO, G. N. **Potencial fitorremediador da Syngonium podophyllum sob os efeitos de Chumbo no solo**. I Colóquio de Pós-Graduação do SEAA, UNICENTRO, Guarapuava, Paraná, 2018.

CASTELO-GRANDE, T.; AUGUSTO, P. A.; BARBOSA, D. **Técnicas de descontaminação de solos: uma revisão**. Revista Ingenium, Lisboa, 2007.

MULLIGAN, C.N.; YOUNG, R.N.; GIBBS, B.F. **An evaluation of technologies for the heavy metal remediation of dredged sediments**. Journal of Hazardous Materials, v. 85, p. 145–163, 2001.

TORTORA, G. J; FUNKE, B. R; CASE, Christine L. **Microbiologia**. 8ª.ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2005.

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, nº. 3, p. 17-43, 2010.

SILVA, J. S.; SANTOS, S. S.; GOMES, F. G. G. **A biotecnologia como estratégias de reversão de áreas contaminadas por resíduos sólidos**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental –REGET, v. 18, nº. 4, p. 1361-1370, 2014.

SCHJØNNING, P.; THOMSEN, I. K.; PETERSEN, S. O.; KRISTENSEN, K.; CHRISTENSEN, B. T. **Relating soil microbial activity to water content and tillage-induced differences in soil structure.** *Geoderma*, v. 163, p. 256-264, 2011.

LIM, M. W.; LAU, E. V.; POH, P. E. **A comprehensive guide of remediation technologies for oil contaminated soil:** Present works and future directions. *Marine Pollution Bulletin*, 2016.

MORAIS FILHO, M. C.; A. C. F. CORIOLANO. **Biorremediação, uma alternativa na utilização em áreas degradadas pela indústria petrolífera.** *Holos*, Rio Grande do Norte, p. 133-150, 2016.

COUTINHO, P. W. R.; CADORIN, D. A.; NORETO, L. M.; GONÇALVES. **Alternativas de remediação e descontaminação de solos:** Biorremediação e Fitorremediação. *Nucleus*, v.12, n.1, abr. Paraná, Brasil, 2015.

REIS, E. A. BISPO, E. P.; LEÃO, M. H. M. R. Leite, S. G. F. **Comparison of different slow-release nutrient composites produced to stimulate microorganisms.** *Rev. Ambient. Água*, Taubaté, v.13 nº.6, 2018.

FARIA, A. B. C.; MONTEIRO, P. H. R.; AUER, C. G.; ÂNGELO, A. C. **Uso de Ectomicorrizas na Biorremediação Florestal.** *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.27, nº. 1, p. 21-29, 2017.

COUTINHO, H. D. BARBOSA, A. L. R. **Fitorremediação:** Considerações Gerais e Características de Utilização. *Silva Lusitana*, Lisboa, v. 15, nº. 1, p. 103–117. 2007.

CASTRO, R. A.; CARVALHO, F. J. P. C.; KRENZCZYNSKI, M. C.; GONÇALVES, C. M.; OLIVEIRA, S. C. T.; LIMA, V.; CREPLIVE, M.; JOANELLO Jr. L. A. **Otimização do Sistema de Landfarming da RPBC – Refinaria Presidente Bernardes.** 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. 2005.

ALEXANDER, M. **Biodegradation and bioremediation**. California, Academic Press. Inc. 1999.

SEMPLE, K. T.; REID, B. J.; FERMOR, T. R. **Impact of composting strategies on treatment of soils contaminated with organic pollutants**. Environmental Pollution, v.112, p. 269-283. 2001.

MACLEOD, C. T.; DAUGULIS, A. J. **Interfacial effects in a two-phase partitioning bioreactor: degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by a hydrophobic Mycobacterium**. ProcessBiochemistry, v. 40, nº. 5, p. 1799-1805, 2005.

BOECHAT, C. L. **Biorremediação de solos contaminados por metais pesados em áreas de beneficiamento de minério de ouro**. Tese de doutorado UFRS Porto Alegre, 2014.

SINGH P.; CAMEOTRA S. S. **Potentail applications of microbial surfactants in biomedical sciences**. Trends in Biotechnology 2004; 22: 14246

NOGUEIRA, V. S. **ISOLAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE MICRORGANISMOS COM POTENCIAL PARA BIORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS COM CHUMBO (Pb) E ZINCO (Zn)**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, Rio de Janeiro, 2015.

SCHENBERG, A. C. G. **Biotecnologia e desenvolvimento sustentável**. Estudos Avançados, v. 24, nº. 70, 2010.

BEYENAL, H.; LEWANDOWSKI, Z. **Dynamics of Lead Immobilization in Sulfate Reducing Biofilms**. Water Research, v. 38, nº. 11, p. 2726-2736, 2004.

CABRAL, L. **Retenção de metais pesados em tecidos de Fungos Micorrízicos Arbusculares In Vitro**. Dissertação (Mestre em Ciência do Solo) –Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2008.

MALIK, A. **Metal Bioremediation Through Growing Cells.** Environmental International, v. 30, 2003.

KANG, C.-H.; OH, S. J.; SHIN, Y.; HAN, S.-H.; NAM, I.-H.; SO, J.-S. **Bioremediation of lead by ureolytic bacteria isolated from soil at abandoned metal mines in South Korea.** Ecological Engineering, v.74, p. 402–407, 2015.

TOMASSONI, F.; SANTOS, R. F. SANTOS F. S.; CARPINSKI, M.; SILVEIRA, L. **Técnica de biorremediação do solo.** Programa de Pós-graduação em Energia na Agricultura –Nível Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Acta Iguazu, Cascavel, v.3, nº.3, p. 46-56, 2014.

FRANCISCO, W. C.; QUEIROZ, T. M. **BIORREMEDIAÇÃO.** Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ituverava, Nucleus, v.15, nº.1, abr., 2018.

ANICETO, A. P. P.; IRAZUSTA, S. P. **Biorremediação de solos contaminados com chumbo: revisão.** Brazilian Journal of Business, Curitiba, v. 5, nº. 1, p. 40-52, jan./mar., 2023

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. **A cinética do chumbo no organismo humano e sua importância para a saúde.** Ciência & Saúde Coletiva, v. 9, nº. 1, p. 167–181, 2004.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. **Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde.** Rev Panam Salud Publica/Pan Am J Public Health 15(2), 2004.