

Uso de bioindicadores para estudo da contaminação do solo: a influência da matéria orgânica.

Gustavo Duarte Silva (Unesp) gustavo.duarte@unesp.br

Tiago José da Silva (Unesp) tiagosilva@itapeva.unesp.br

Danielle Goveia (Unesp) danielle.goveia@unesp.br

Resumo:

O uso de bioindicadores apresenta a vantagem de possibilitar a detecção contínua de potenciais poluentes de forma rápida e de baixo custo. Algumas espécies de mudas apresentam grande potencial para esse fim, podendo ser apropriadas para a revegetação de áreas contaminadas e ainda propiciar retorno econômico. Neste trabalho foi realizada a montagem de um sistema, a fim de determinar a capacidade de detecção de contaminantes Zinco e Cobre (Zn e Cu) do solo com o uso do *Pinus elliottii*. Os sistemas foram montados com aproximadamente 1,5kg de solos preparados com os contaminantes (Cu e Zn) e amenizantes (turfa), com quatro repetições para cada tratamento. O teor de metais (zinco e cobre) nas plantas antes do processo foi determinado por amostragem (escolha de plantas ao acaso) e o teor metais nos solos foi determinado através da caracterização físico-química e da capacidade de complexação dos solos. Foi determinada a concentração de metais nas partes das plantas e no solo após o período de contato. Todos os parâmetros estudados foram submetidos a análises estatísticas paramétricas usuais, com os dados agrupados em planilhas eletrônicas e submetidos à análise de variância. O índice de translocação foi determinado para averiguar o potencial uso desta espécie como bioindicador de contaminação de solo. O biomonitoramento através das mudas é uma alternativa viável e a espécie apresenta maior potencial para fitoestabilizar os metais em solos com 200 g de turfa por kg de solo.

Palavras chave: Bioindicador, Fitorremediação, Metais Pesados.

Use of bioindicators for soil contamination study: the influence of organic matter

Abstract

The use of bioindicators show the advantage of enabling the continued detection of potential pollutants in a fast and low-cost way. Some species of molt have a big potential for that end, being appropriated for revegetation of contained areas and propitiate economic return. In this work, a system was set up to determine the Zn and Cu (Zn and Cu) contaminants of the soil with the use of *Pinus elliottii*. The systems were assembled with approximately 1.5 kg of soils prepared with the contaminants (Cu and Zn) and softeners (peat), with four replicates for each treatment. The content of metals (zinc and copper) in the plants before the process was determined by sampling (randomly choosing plants) and the content of metals in the soils was determined through the physicochemical characterization and the soil complexing capacity. The concentration of metals in plant parts and soil after the contact period was determined. All the parameters studied were submitted to usual parametric statistical analysis, with the data grouped in electronic spreadsheets and submitted to analysis of variance. The translocation index was determined to ascertain the potential use of this species as a bioindicator of soil contamination. The biomonitoring

through the seedlings is a viable alternative and the species presents greater potential to phytostabilize the metals in soils with 200 g of peat per kg of soil.

Key-words: Bioindicators, Phytoremediation, Heavy metals.

1. Introdução

A silvicultura brasileira é uma atividade amplamente empregada pelas condições favoráveis de solo e clima, pela disponibilidade de área cultivável e pela disponibilidade de profissionais com o conhecimento técnico necessário. Devido às condições favoráveis, esse setor atende mais de 90% do que é consumido pelas indústrias e representa 5,5 % do PIB industrial nacional, com a geração de mais de 660 mil empregos (COUTINHO, CORTE, et al., 2017).

Nesse setor se destaca o cultivo de *Eucalyptus spp.* e *Pinus spp.*, em 2012 a área cultivada era, respectivamente, de 5 milhões de ha e 1,5 milhões de ha (ABRAF, 2013). Em um relatório estatístico mais recente IBÁ (2016) aponta que existem 5,56 milhões de ha destinados ao plantio de *Eucalyptus spp.*, o que posiciona o país como o maior produtor de celulose de fibra curta.

Nas últimas décadas o Brasil vem apresentando um crescimento na silvicultura que foi estimulado pelas leis ambientais e pela exportação. Segundo IBÁ (2016 apud COUTINHO, CORTE, et al., 2017) o país ainda apresenta uma tendência de crescimento na produção de madeira em 6,5 milhões de toneladas a partir de 2018.

Recentemente muitos estudos voltados para a recuperação do solo com plantas estão sendo publicados e alguns autores estão buscando identificar a viabilidade de utilizar espécies com elevado potencial econômico para esse fim. Porém, ainda existem poucos estudos sobre o *Pinus elliottii*, que é uma das principais espécies arbóreas da silvicultura brasileira, um desses estudos apontou a espécie como uma planta com grande potencial para fitoestabilizar solos contaminados com cobre e zinco (SILVA, 2016).

Estudos sobre fitorremediação e bioindicadores se justificam porque a atual legislação brasileira exige que áreas degradadas devam ser recuperadas. A recuperação de áreas contaminadas por metais visa minimizar o envenenamento dos nichos ecológicos e da população humana e restaurar a biodiversidade e sustentabilidade dos ecossistemas. O método de revegetação apresenta vantagens devido a sua natureza permanente, combinada aos baixos custos de manutenção, a proteção contra a erosão eólica e hídrica, maior estruturação dos solos, aumento da fertilidade e melhoria da estética da área.

O presente estudo tem como objetivo avaliar a tolerância, o acúmulo e a distribuição de diferentes concentrações de metais (zinco e cobre) em mudas de espécies florestais perenes (*Pinus elliottii*) para avaliar o potencial bioindicador da espécie para monitoramento de contaminação ambiental do solo com adição de turfa como amenizante.

1.1 Agradecimentos

À FAPESP pela bolsa de iniciação científica (processo 2017/25958-3) e suporte financeiro (Processo 2016/23728-8).

2. Bioindicadores

Bioindicadores podem ser quaisquer seres vivos que tem alguma interação com o ambiente poluído, de forma de que seja possível verificar a presença de um agente poluente de maneira simples e econômica (CETESB, 2018). A maioria das publicações sobre o tema utiliza insetos, aves e vegetais (BAGLIANO, 2012).

Esses seres vivos podem ser utilizados de forma ativa, quando são inseridos no local onde se

espera estudar a presença do analito, ou passiva, quando são utilizados seres vivos que habitam a região naturalmente, com isso também é possível verificar o histórico ambiental do local (CETESB, 2018).

Bagliano (2012) utiliza o termo assimetria flutuante para descrever anomalias hereditárias ou que são provocadas pela exposição a um agente nocivo. Para o autor os vegetais e os insetos têm grande participação nos estudos porque por apresentarem um ciclo de vida curto apresentam metodologias rápidas e econômicas.

Mais especificamente, as plantas estão sendo estudadas como potenciais bioindicadores em diversas áreas como: indicadoras do nível de poluição do ar (YILMAZ e ZENGİN, 2004), de metais preciosos para auxiliar na prospecção (biogeoquímica) dos minérios (RESENDE e PINHO, 2011), de contaminação por radiação (KOVALCHUK, KOVALCHUK, et al., 1998), de presença de metais pesados em manguezais (RAMOS e GERALDO, 2007), de metais pesados em outros ecossistemas aquáticos (MARTINS e BOAVENTURA, 2004), de hidrocarbonetos oriundos de combustíveis fósseis, dentre outras.

Pedroso (2007 apud MAKI, SHITSUKA, et al. 2013) apresenta quatro possíveis classificações de seres bioindicadores de acordo com as suas interações com o ambiente poluído, como está detalhado no Quadro 1. As plantas podem ser classificadas como bioindicadoras, biosensoras, bioarticuladoras e biointegradoras.

Tipo	Característica
Bioindicadoras	Apresentam sintomas como necroses, cloroses e distúrbios fisiológicos como redução no crescimento, redução no número e diâmetro das flores.
Biosensoras	Reagem aos efeitos dos poluentes com efeitos não visíveis, apresentando alterações bioquímicas, fisiológicas e celulares.
Bioarticuladoras	São as plantas que também apresentam sintomas visíveis, sendo menos sensíveis aos poluentes, porém, dentro dos seus tecidos podem acumular poeira e gases.
Biointegradoras	Indica o impacto da poluição por meio de mudanças populacionais como aparecimento, desaparecimento ou mudança na densidade da população ou até de comunidades. Dentre os organismos bioindicadores, destacam-se os líquens, os musgos e as plantas superiores que têm sido amplamente empregados como métodos complementares de monitoramento da qualidade do ar e da presença de poluentes.

Fonte: Pedroso (2007 apud MAKI, SHITSUKA, et al. 2013).

Quadro 1 - Classificação das plantas bioindicadoras.

Maki, Shitsuka, et. al. (2013) defendem que plantas bioacumuladoras apresentam vantagens porque podem aprisionar internamente os contaminantes, auxiliando na despoluição do local, além disso permitem análises quantitativas posteriores. As plantas com valor econômico (*N. tabacum*) e alimentício (*P. vulgaris* e *M. indica*) também se destacam por terem outras aplicações (MAKI, SHITSUKA, et. al., 20013).

As plantas bioacumuladoras, não se limitando a sua capacidade de atuar como biossensoras, podem auxiliar na descontaminação de solos com metais, que é um tema discutido na seção 2.1. Outras tratativas que ser alternativas para recuperação de solos contaminados são apresentadas nos tópicos seguintes.

2.1 Contaminação de metais em solo

A contaminação de metais pesados no solo pela atividade antrópica começou a ter impactos significativos com a Revolução Industrial, quando se tinha pouco conhecimento dos riscos que eles apresentavam. Atualmente, com um conhecimento maior dos problemas ambientais decorrentes da contaminação, os solos estão paulatinamente sendo descontaminados (MARTINS e BOAVENTURA, 2004).

A disponibilidade dos metais no solo é afetada principalmente “pelo pH, pela composição e força iônica da solução, espécies e concentrações dos elementos e presença de ligantes e íons competidores” (HARTER, NAIDU, 2001 apud TAVARES, 2009).

No Brasil os níveis de metais nos solos e em águas subterrâneas para fiscalização são estabelecidos pelo CONAMA, Resolução nº 420. Os valores de investigação, concentrações a partir das quais existe risco para a população ou para o ambiente, são subdivididos em agrícola, residencial e industrial.

Os metais encontram-se em diferentes formas físico-químicas no ambiente e são influenciados por diversos fatores, como pH, potencial redox, tipos e concentrações de ligantes orgânicos e inorgânicos, material particulado e coloidal. Alguns elementos são considerados essenciais para a vida, tais como Fe, I, Cu, Mn, Zn, Co, Mo, Se, Cr, enquanto outros são considerados não essenciais, por exemplo, As, Cd, Pb, W. Alguns elementos são considerados indispensáveis para a função vital do organismo humano, mas podem ser altamente tóxicos quando em altas concentrações. Selênio e vanádio são exemplos, que quando presentes em altas concentrações são mais tóxicos que alguns não essenciais como tálio e mercúrio (FLORENCE, 1992).

2.2 Metodologias de recuperação do solo

Tavares (2009) define a remediação como a redução dos teores de contaminantes a níveis seguros e descreve como possíveis metodologias para recuperação de locais contaminados o pump and treat, extração de vapor do solo (SVE), dessorção térmica, air sparging, barreiras reativas permeáveis, incineração, lavagem do solo, a biorremediação e a fitorremediação. As técnicas de remediação in situ são mais utilizadas por serem economicamente mais viáveis, com destaque para a fitorremediação.

Alguns pré-requisitos para o uso da técnica são elencados por Pires, Souza, et. al. (2003): capacidade de absorção, tolerância ao contaminante, retenção do contaminante nas raízes, sistema radicular profundo e denso, alta taxa de crescimento e produção de biomassa, capacidade transpiratória elevada, fácil colheita, elevada taxa de exsudação radicular, resistência a pragas e doenças, fácil controle ou erradicação e a capacidade de desenvolver-se bem em ambientes diversos.

A fitorremediação pode ocorrer por três mecanismos: a fitoextração, a fitodegradação e a fitoestabilização. Na fitoextração os poluentes se acumulam no interior da planta ou passam no seu interior e são volatilizados, os resíduos bioacumulados podem ser tratados posteriormente. A fitodegradação é caracterizada pela degradação dos agentes nocivos por enzimas excretadas pelas raízes dos vegetais (nitroreduases, desalogenases, lacases) ou por uma microflora estimulada pelas raízes. E a fitoestabilização consiste na modificação do poluente para uma forma inativa ou retenção do poluente nas plantas ou no solo (PAVANELLI, 2004).

Apesar de possuir uma ampla aplicação, a fitorremediação apresenta algumas limitações como: o tempo requerido para o crescimento das plantas (em alguns casos é necessário ter mais de um ciclo), o alcance radicular da planta, o clima do local, níveis máximos de contaminantes que as plantas suportam, potencial de contaminar a cadeia alimentar, possibilidade da planta fitorremediadora se tornar uma planta daninha e o solos podem necessitar de tratamentos

prévios (Pires, Souza, et. al., 2003).

Por outro lado, essa técnica de recuperação do solo é muito mais viável economicamente por utilizar materiais de baixo custo e por ser realizada no local. Adicionalmente as plantas podem trazer outros benefícios para o solo como a incorporação de matéria orgânica, quando não é necessária a remoção, e a fixação de nitrogênio, tudo sem que as propriedades do solo sejam degradadas.

Por isso muitos autores estão estudando potenciais plantas para serem utilizadas na recuperação dos solos. Algumas espécies que foram apontadas como alternativas para recuperação de solos com herbicidas, combustíveis fósseis (PAVANELLI, 2016), metais pesados (SILVA, 2016) e outros poluentes.

2.3 Matéria orgânica no solo

Tavares (2009) defende que existem divergências sobre quais atributos têm maior influência na adsorção dos solos, mas que maior parte dos metais pesados do solo interage positivamente com a matéria orgânica, com a Capacidade de Troca de Cátions, com a superfície específica, com o conteúdo de argila e com o teor de óxidos.

Os materiais orgânicos podem ser entendidos como agentes amenizantes, substâncias que auxiliam a reduzir os efeitos tóxicos dos metais no solo, porque a biodisponibilidade dos metais é reduzida devido a ligação entre a matéria orgânica e o solo, formando uma fração de metais inerte. A matéria orgânica também pode favorecer o desenvolvimento da planta porque promove um aumento na disponibilidade de nutrientes.

A turfa é um dos principais materiais orgânicos utilizados com essa finalidade devido ao seu baixo custo e elevada disponibilidade, há experimentos (MARCO, 2017) que comprovam que a turfa é um agente amenizante que favorece o crescimento do plantas perenes em solos contaminados com cobre.

3. Procedimentos metodológicos

O presente estudo pode ser classificado como um estudo de natureza aplicada, pois possui finalidades imediatas relacionadas ao emprego de plantas com potencial bioindicador para analisar solos contaminados. Quanto à natureza das variáveis este estudo pode ser classificado como um estudo qualitativo com uma abordagem experimental.

3.1 Amostragem e preparo do solo

Os experimentos de montagem e condução dos sistemas de solo-planta desenvolvidos em Itapeva, situado na região sudoeste do estado de São Paulo, nas coordenadas Latitude: 23°57' S Longitude: 23° 57' W, Elevação: 726m, apresentando temperatura média anual de 21,9°C com umidade relativa anual de 76% e índice pluviométrico de 1.467,5 mm. O solo utilizado será coletado nos arredores do Campus em Itapeva-SP, com trincheiras abertas com cavadeira, na profundidade 0–60 cm (definido pela norma ABNT/NBR 10.007). Amostras de turfa serão coletadas em Curitiba-PR.

Todas as amostras foram armazenadas em sacos de polietileno e transportadas até o laboratório, onde serão secas ao ar, trituradas em graal e pistilo de porcelana e peneiradas em 2 mm para retirada das raízes e folhas e caracterizadas quando as suas propriedades químicas e físicas no LABCELER – Laboratório de Análises Agrônômicas.

A caracterização das propriedades físicas e químicas dos solos foi realizada a partir de uma única amostra coletada após a homogeneização dos solos e nas mudas a caracterização foi

realizada individualmente com a remoção de algumas folhas para se determinar a concentração de cobre e zinco em cada espécime estudado.

Os solos foram preparados em um delineamento em blocos com a adição de sulfato de zinco heptahidratado ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) e com sulfato de cobre (CuSO_4) na proporção de duas vezes o valor de intervenção agrícola (10,34 g.kg⁻¹ de CuSO_4 e 25,88 g.kg⁻¹ de ZnSO_4), como realizado em parte do experimento de Silva (2016). Os amenizantes correspondem a 20% em peso do solo.

3.2 Preparação dos bioindicadores

As mudas de *Pinus elliottii* com 90 dias foram adquiridas em um viveiro especializado na reprodução de pinus e eucaliptos localizado na cidade de Itapeva. Durante todo o processo as mudas foram regadas duas vezes ao dia com um sistema de aspersão automático e mantidas em uma estufa na Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva. Antes do plantio nos solos estudados as mudas foram imersas em água comum por cerca de 30 minutos para facilitar a remoção do solo.

3.3 Montagem dos sistemas

Para realizar a montagem dos sistemas foram preparados quatro grupos amostrais, com 1,5 kg de solos contaminados com 0, 1, 2 e 3 vezes o limite de intervenção agrícola dos metais cobre e zinco. Em cada grupo foram feitas quatro réplicas nas quais foram plantadas mudas selecionadas aleatoriamente. O mesmo foi feito em outros grupos amostrais com a adição de 200 mg de turfa por kg de solo, mas com apenas uma repetição.

Em seguida, amostras de folhas das mudas foram identificadas e caracterizadas no LABCELER (Laboratório de Análises Agronômicas) para determinação da quantidade de metais retida pelos vegetais, como é detalhado na próxima seção.

4 Resultados e discussão

Nas amostras contendo cobre foi adicionado ao solo doses de sulfato de cobre de uma, duas e três vezes o valor de intervenção agrícola que correspondem, respectivamente, às amostras T1, T2 e T3 da tabela 1. A tabela relaciona os resultados das concentrações iniciais de cobre com os valores recuperados no solo após a fitorremediação nos solos com e sem adição de turfa.

Amostra	Valor Inicial da concentração de Cobre	Média das repetições	Média das repetições com turfa
T3	2262	2190,5	2193,5
T2	1518	1485	1496,2
T1	758	686,05	691,2
Controle	15,2	14,95	14,95

Fonte: Autoria própria.

Tabela 1 - Valores recuperados de Cu no solo após o período estudado.

Não foi observada variação no teor de Cu no solo quando adicionada turfa nas amostras de controle porque a concentração do metal era baixa, o que provocou uma absorção menor de cobre pela raiz e por consequência a presença de cobre nas acículas foi menor.

As amostras com adição de zinco foram preparadas de forma similar às com adição de cobre, com três grupos recebendo adição de 1, 2 e 3 vezes o limite de intervenção agrícola para o zinco no estado de São Paulo e um grupo de controle. Os teores de zinco presentes no solo antes e depois do plantio estão organizados na tabela 2.

Amostra	Valor Inicial da concentração de Zinco	Média das repetições	Média das repetições com turfa
T3	5660	5214,55	5256,2
T2	3795	3100	3155
T1	1880	1453,8	1502,2
Controle	34	31,85	35,2

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 – Valores recuperados de Zn no solo após o período estudado.

Nas amostras contaminadas com cobre e com zinco pode-se perceber que o teor dos metais no solo após o experimento é maior quando há adição da turfa, porém é um aumento pouco significativo. Uma possível causa desse aumento é a redução da quantidade de metais lábeis provocada pela adsorção dos metais pela matéria orgânica.

Embora tenha sido observado uma maior retenção do metal no solo a espécie apresentou um aumento na absorção dos metais nas raízes, como é apresentado nas tabelas 3 e 4. O mesmo foi observado na espécie *Senna multijuga* e *Erythrina crista-galli* com a adição de 200 mL de turfa L⁻¹ de solo por Marco (2015).

Valores recuperados de Cu no sistema radicular após o período estudado.

Mg/Kg-1						
Tratamento	R1	R2	R3	R4	Média	Média com turfa
T3	18,6	17,65	19,1	17,5	18,125	18,3
T2	19,8	18,67	20,3	22,4	20,05	21,2
T1	58,2	60,4	59,5	60,6	59,95	61,2
Controle	6,07	6,01	6,2	6,06	6,065	6,4

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3 – Valores recuperados de Cu na no sistema radicular após o período estudado.

Valores recuperados de Zn no sistema radicular após o período estudado.

Mg/Kg-1						
Tratamento	R1	R2	R3	R4	Média	Média com turfa
T3	85,9	84,9	86,9	88,6	86,4	87,1
T2	79,8	87,4	86,3	86,6	86,45	87,6

T1	85,3	83,4	86,1	84,9	85,1	86,2
Controle	32,5	33,1	32,3	30,5	32,4	32

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4 – Valores recuperados de Zn no sistema radicular após o período estudado.

Segundo Marco (2015) a turfa pode competir com a planta pelos metais disponíveis no solo e reduzir a fitoextração do metal, mas em algumas espécies há um aumento na concentração dos metais nas raízes e nas acículas porque a turfa favorece o desenvolvimento da planta e melhora as suas características morfológicas.

Esses resultados indicam que a adição de turfa no solo melhora o desempenho da planta como fitoestabilizadora de Cu e Zn. Segundo Silva (2016) o *Pinus Elliottii* naturalmente apresenta maior potencial para ser fitoestabilizadora do que fitoextratora dos metais cobre e zinco porque o acúmulo do metal é maior no sistema radicular do que nas acículas da espécie.

Analisando os resultados das tabelas 5 e 6 referentes aos teores de cobre e zinco presentes nas partes aéreas da espécie pode-se perceber que a planta apresentou um maior acúmulo dos dois metais nos solos com adição da turfa, o que é um indicador de que a espécie apresenta maior potencial para ser utilizada como bioindicadora desses metais quando é adicionada turfa ao solo.

Valores recuperados de Zn na parte aérea após o período estudado.

Tratamento	Mg/Kg-1					Média com turfa
	R1	R2	R3	R4	Média	
T3	60,2	59,6	60,1	60,2	60,15	62,3
T2	54	54,2	54,3	54,1	54,15	55
T1	35,3	35,6	35,1	35,3	35,3	35,3
Controle	34	34	34	34	34	34,1

Fonte: Autoria própria.

Tabela 5 – Valores recuperados de Zn na parte aérea após o período estudado.

Valores recuperados de Cu na parte aérea após o período estudado.

Tratamento	Mg/Kg⁻¹					Média com turfa
	R1	R2	R3	R4	Média	
T3	16,9	17,2	17,3	17,5	17,23	18,1
T2	16,4	16,7	17,1	16,9	16,78	17,3
T1	12,3	11,7	11,8	12,1	11,98	12,1
Controle	5	5,2	5,2	5,3	5	5

Fonte: Autoria própria.

Tabela 6 – Valores recuperados de Cu na parte aérea após o período estudado.

Os índices de translocação calculados com os valores presentes nas tabelas 3,4,5 e 6 apresentaram uma variação insignificante quando comparados os valores obtidos nos tratamentos com turfa e sem turfa, o que indica que a capacidade de translocar metais da planta foi pouco afetada pela presença da turfa. Todos os índices de translocação estão organizados na

tabela 7.

Tratamento	Solo com Zn		Solo com Cu	
	Sem turfa	Com turfa	Sem turfa	Com turfa
T3	0,70	0,72	0,95	0,99
T2	0,63	0,63	0,84	0,82
T1	0,41	0,41	0,20	0,20
Controle	1,05	1,07	0,82	0,78

Fonte: Autoria própria.

Tabela 7 – Índices de translocação dos grupos amostrais estudados.

Dessa forma a presença da matéria orgânica no solo melhorou o desempenho da planta como fitorremediadora, mas não foram identificadas alterações fisiológicas significativas entre os tratamentos com turfa e sem a presença de matéria orgânica.

5 Considerações finais

A adição de 200 g de turfa por kg de solo tem efeito amenizante e potencializa a fitoestabilização do cobre e do zinco pela espécie *Pinus elliottii* em solos contaminados em até três vezes o limite de intervenção agrícola do estado de São Paulo.

O *Pinus elliottii* apresenta potencial para ser empregado como bioindicador dos dois metais analisados devido ao acúmulo nas acículas e a presença da turfa favorece o emprego dessa espécie para essa finalidade.

Em experimentos futuros poderia ser estudada a interação da espécie com variações do teor de turfa no solo para averiguar se há resultados mais significativos do que os do presente estudo.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. NBR 10.007: Amostragem de resíduos sólidos. 2 ed. Brasília: ABNT, 2004

ABRAF, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012 / ABRAF. – Brasília: 2013. Disponível em: <<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/3910>>. Acesso em out. de 2014.

BAGLIANO, R. V. Principais organismos utilizados como bioindicadores relatados com uso de avaliadores de danos ambientais. Meio Ambiente e sustentabilidade, v. 2, n. 1, p. 24-40, jun/dez 2012. ISSN 2316-2856. Disponível em: <<https://www.uninter.com/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente/article/view/113/50>>. Acesso em: 16 maio 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA nº420. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009.

COUTINHO, V. M. et al. Mapeamento das áreas plantadas com *Eucalyptus spp.* no estado do Paraná. Biofix Scientific Journal, março, 2017. 32-43. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/biofix/article/view/51222>>. Acesso em: 15 maio 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. O uso de bioindicadores vegetais no controle da poluição atmosférica. [internet]. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/solo/bioindicadores/>>. Acesso em: 16 mai. 2009.

FLORENCE, T. M.; MORRISON, G. M.; STAUBER, J. L. Determination of trace element speciation and the role of speciation in aquatic toxicity. *Science of the Total Environment*, v. 125, p. 1-13, 1992.

HATER, R. D. & NAIDU, R., 2001. An assessment of environmental and solution parameter impact on trace-metal sorption by soils. *Soil Science Society of American Journal*, v. 65, n.3, pp. 597-612.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. Anuário Estatístico IBÁ 2016. Brasília, 2016. 96 p.

KOVALCHUK, I. et al. Transgenic plants are sensitive bioindicators of nuclear pollution caused by the Chernobyl accident. *Nature biotechnology*, v. 16, p. 1054-1059, fevereiro 1998. ISSN 10.1038/3505. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/3505>>. Acesso em: 15 maio 2018.

MARCO, R; et al. Amenizante Orgânico e *Eucalyptus grandis* para Fitoestabilização de Solo Contaminado com Cobre. *Floresta e Ambiente*, Frederico Westphalen, v. 24, p. 2-9, 2017.

MARCO, R. Desenvolvimento inicial e tolerância de *Senna multijuga* e *Erythrina crista-galli* associada à utilização de turfa em solo contaminado com cobre. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen.

MARTINS, R.; BOAVENTURA, R. (2004) - Briófitas aquáticas como bioindicadores da poluição de águas superficiais por metais pesados. In XI SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Natal, Brasil.

MAKI, S., et. al. Utilização de bioindicadores em monitoramento de poluição. *Biota Amazônia*, v.3, p. 169 - 178, agosto 2013. Documento disponível online em < <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v3n2p169-178> >.

PAVANELLI, A. 2004. 65 f. Avaliação da fitorremediação em solo impactado com diesel comercial. Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Química, Universidade Estadual de Londrina, 2004.

PIRES, F.R.; SOUZA, C.M., et.al. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. *Planta Daninha*, v.21, n. 2 mai/ago 2003. ISSN 1806-9681. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582003000200020> >. Acesso em: 17 maio 2018.

PEDROSO, A.N.V. Poluentes Atmosféricos & Plantas Bioindicadoras. Instituto de Botânica – IBt. Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente. Curso de Capacitação de Monitores e Educadores. S. Paulo, 2007.

RAMOS, M. G. M.; GERALDO, L. P. Avaliação das espécies de plantas *avicennia schaueriana*, *laguncularia racemosa* e *rhizophora mangle* como bioindicadoras de poluição por metais pesados em ambientes de mangues. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, 12, 09 novembro 2007. 440-445. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522007000400011>>. Acesso em: 15 maio 2018.

RESENDE, R. D. O.; PINHO, F. E. C. Estudo da espécie *Curatella americana* L - (Lixeira) utilizada como bioindicador em região aurífera do distrito de Cangas-Poconé-MT. *Revista de biologia e ciências da terra*, v. 11, p. 48-63, 2º semestre 2011. ISSN 1519-5228. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/500/50021611007/>>. Acesso em: 15 maio 2018.]

SILVA, T. 2016. Fitorremediação em escala piloto: proposta para recuperação de solos contaminados com cobre e zinco. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018

TAVARES, S.R.L. 2009. Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Instituto Alberto Luiz Coimbra de pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

YILMAZ, S.; ZENGİN, M. Monitoring environmental pollution in Ezurun by chemycal analysis of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. Environment International, 29, fevereiro 2004. 1041-1047. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412003000977>>. Acesso em: 15 Maio 2018.