

UNIVERSIDADE SANTO AMARO – UNISA
Mestrado em Ciências da Saúde

João Brogotá Perdigão Garcia

**AVALIAÇÃO DE CHUMBO (Pb), MERCÚRIO (Hg) E CÁDMIO (Cd) NO
SEDIMENTO DE MARGEM DA REPRESA DO GUARAPIRANGA,
UMA QUESTÃO DE SAÚDE PÚBLICA.**

São Paulo
2017

João Brogotá Perdigão Garcia

**AVALIAÇÃO DE CHUMBO (Pb), MERCÚRIO (Hg) E CÁDMIO (Cd) NO
SEDIMENTO DE MARGEM DA REPRESA DO GUARAPIRANGA,
UMA QUESTÃO DE SAÚDE PÚBLICA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* da Universidade Santo Amaro – UNISA, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências da Saúde

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Regina Andrade de Azevedo

São Paulo

2017

Garcia, João Brogotá Perdigão

Avaliação de Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg) e Cádmio (Cd) no Sedimento de Margem da Represa do Guarapiranga, Uma Questão de Saúde Pública / João Brogotá Perdigão Garcia. -- São Paulo , 2017
59 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde) - Universidade de Santo Amaro, 2017

Orientador(a): Prof^ª. Dr^ª. Maria Regina Andrade de Azevedo

1.Sedimento. 2.Investigação. 3.Metais Pesados. 4.Saúde Pública.
I.Azevedo, Prof^ª. Dr^ª. Maria Regina Andrade de, orient. II.Universidade de Santo Amaro III.Título

João Brogotá Perdigão Garcia

**AVALIAÇÃO DE CHUMBO (Pb), MERCÚRIO (Hg) E CÁDMIO (Cd) NO
SEDIMENTO DE MARGEM DA REPRESA DO GUARAPIRANGA,
UMA QUESTÃO DE SAÚDE PÚBLICA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* da
Universidade Santo Amaro – UNISA, como requisito parcial para obtenção do título
de Mestre em Ciências da Saúde.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Regina Andrade de Azevedo

São Paulo, 26 de setembro de 2017

Banca Examinadora

.....
Profa. Dra. Maria Regina Andrade de Azevedo

.....
Profa. Dra. Jane de Eston Armond

.....
Prof. Dr. Mario Donizete Domingos

Conceito Final

Dedico este trabalho a minha querida e amada esposa Yukico, que sempre esteve ao meu lado enfrentando todas as adversidades de nossa longa vida juntos e a mais nova integrante de nossa família, minha nenê Thayla, neta querida que veio iluminar nossa casa.

AGRADECIMENTOS

Abaixo, registro o meu carinho e agradecimento a todos os que tornaram o mestrado inesquecível.

Agradeço a minha amada esposa Yukico Suzuki Perdigão Garcia, pelo carinho, paciência, apoio e muito amor para tornar possível a conclusão deste trabalho.

A querida orientadora Prof^a. Dr^a. Maria Regina Andrade de Azevedo que teve todo o carinho a paciência e sabedoria para mostrar os caminhos tortuosos da investigação científica no Brasil, o quanto é árduo o trabalho do pesquisador.

A coordenadora Prof^a. Dr^a. Jane de Eston Armond com sua simpatia e energia positiva teve a destreza de comandar nosso grupo de mestrando sempre acreditando o quanto a saúde primária é primordial para nossa existência.

Prof^a. Dr^a. Patrícia Colombo de Souza uma das grandes cabeças pensantes da vigilância nutricional brasileira, deixando bem claro que seu corpo se torna saudável quando consome alimentos com sabedoria e regularidade.

Ao estimado Prof^o. Dr. Neil Ferreira Novo o mago dos números e sua companheira inseparável Prof^a Dr^a. Yara Juliano, matematicamente colocando os números em seus devidos lugares e com paciência descomunal nos ensinaram o grande valor numérico dos trabalhos científicos.

Ao fraternal Pró-reitor Prof. Dr. Eloi Francisco Rosa que acreditou neste trabalho possibilitando toda a execução deste projeto com a concessão da bolsa para estudos.

Aos colegas e amigos de mestrado por tornarem esta jornada a mais acolhida e positiva possível e tenham a certeza que muito aprendi com vocês. Obrigado por tudo.

A Prefeitura Municipal de Santana de Parnaíba através da Secretaria Municipal de Educação na pessoa do Exmo. Sr. Secretário Prof. Clecius Wanderley Romagnoli dos Santos que acreditando e respeitando o meu trabalho como docente do município permitiu a execução deste projeto ao longo dos anos.

A Universidade Santo Amaro – UNISA pela oportunidade e suporte técnico, permitindo o uso de suas instalações para análise e preparo do material coletado.

SUMÁRIO

Quadros.....	I
Figuras.....	II
Resumo.....	III
Abstract.....	IV
Introdução.....	1
Objetivo	19
Material e Método.....	20
Resultados.....	33
Discussão.....	36
Conclusão.....	39
Referências	40

QUADROS

Quadro 1 - Evolução da população – Guarapiranga e Billings, 1980/2006	4
Quadro 2 - Parâmetros para controle biológico da exposição ocupacional a alguns agentes químicos	18
Quadro 3 - Resultado das amostras coletadas e valores orientadores de qualidade de sedimento em mg/kg	33
Quadro 4 - Custo da fitorremediação comparada com outras tecnologias	37

FIGURAS

Figura 1 - Valores orientadores para Metais Pesados (CETESB 2014)	7
Figura 2 - Evolução do número de áreas contaminadas cadastradas (CETESB, 2014)	9
Figura 3 - Constatações de grupos de contaminantes (CETESB, 2014)	10
Figura 4 - Mapa da Cidade de São Paulo, no destaque a Represa do Guarapiranga.....	21
Figura 5 - Pontos de coleta de amostras de sedimentos na represa do Guarapiranga 2016.....	22
Figura 6 - Ponto de coleta de amostra de sedimento RGU 01.....	23
Figura 7 - Momento da coleta de amostra de sedimento RGU 01.....	23
Figura 8 - Ponto de coleta de amostra de sedimento RGU 02.....	24
Figura 9 - Momento da coleta de amostra de sedimento RGU 02	24
Figura 10 - Ponto de coleta de amostra de sedimento RGU 03.....	25
Figura 11 - Momento da coleta de amostra de sedimento RGU 03.....	25
Figura 12 - Ponto de coleta de amostra de sedimento RGU 04.....	26
Figura 13 - Momento da coleta de amostra de sedimento RGU 04.....	26
Figura 14 - Ponto de coleta de amostra de sedimento RGU 05.....	27
Figura 15 - Momento da coleta de amostra de sedimento RGU 05.....	27
Figura 16 - Ponto de coleta de amostra de sedimento RGU 06.....	28
Figura 17 - Momento da coleta de amostra de sedimento RGU 06.....	28
Figura 18 - Alguns valores orientadores de qualidade de sedimento estabelecidos pelo Canadian Council of Ministers of the Environment.....	31
Figura 19 - Níveis de classificação do material a ser dragado. (CONAMA 2004)	32
Figura 20 - Presença de Hg (mercúrio) nas amostras coletadas.....	34
Figura 21 - Presença de Cd (cádmio) nas amostras coletadas	35
Figura 22 - Presença de Pb (chumbo) nas amostras coletadas	35

RESUMO

Um dos maiores reservatórios de água da zona sul, a represa do Guarapiranga, assistiu a ocupação irregular do manancial tomar proporções irreversíveis, comprometendo a qualidade da água com o lançamento de esgotos domésticos e industriais sem tratamento prévio, gerando aumento nos níveis de poluição ambiental, causando problemas para o ecossistema, principalmente devido à contaminação química de seu sedimento. A alta concentração de metais pesados em especial nos sedimentos pode ser uma boa indicação de poluição muitas vezes atribuída a influências antropogênicas, ao invés de um enriquecimento natural dos sedimentos geológicos por intemperismo.

O objetivo deste trabalho foi analisar as características do sedimento às margens da represa do Guarapiranga determinando a concentração dos metais pesados chumbo, mercúrio e cádmio em amostras de sedimento.

Foram investigados seis pontos de coleta, escolhidos observando o acesso dos usuários e quantidade de frequentadores da represa do Guarapiranga às chamadas “praias”, onde buscam seu lazer e momento de descanso com suas famílias, ficando mais vulneráveis aos efeitos do contato dérmico ou inalado com o metal pesado presente no sedimento. No laboratório da Universidade Santo Amaro em São Paulo, as amostras foram secas à temperatura ambiente, destorroadas com auxílio de martelo de borracha, peneiradas através de malha de aço de 0,5 mm. Sofreram digestão ácida em banho-maria com ácido nítrico e ácido clorídrico ambos concentrados por 90 minutos. Após resfriamento foram acondicionados em balão volumétrico de 50 ml, completando com água deionizada o volume total. Após filtração em micropore 0,45 µm as soluções foram enviadas para leitura em espectrômetro de absorção atômica no Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT e Instituto de Oceanografia da USP, ambos em São Paulo.

Todas as amostras investigadas, sem exceção, apresentaram valores não significativos para presença de Hg (mercúrio), variando de 0,00000541mg/Kg à 0,00000000 mg/Kg. Quanto a presença de Cd (cádmio) investigado, a amostra RGU 1 obteve resultado de 1,4 mg/Kg, número acima dos limites dos valores orientadores da CETESB¹⁶, valor de referência de qualidade (VRQ) maiores que 0,5 mg/kg e valor de prevenção (VP) de 1,3 mg/Kg para solo. Excede os valores de sedimento em água

fresca de 0,6 mg/Kg TEL do CCME⁵¹ e Resolução nº 344 de 25 de março de 2004 do CONAMA⁵¹.

As amostras verificadas quanto a presença de Pb (chumbo), RGU 1 com resultante igual a 19,5 mg/Kg acima do valor de referência de qualidade da CETESB¹⁶ e abaixo dos valores TEL do CCME⁵¹ e nível 1 do CONAMA.⁵³

O resultado da investigação apresentou uma não contaminação de Hg (mercúrio) nas amostras coletadas, entretanto observou-se a contaminação de Cd (cádmio) acima dos valores permitidos que requeiram procedimentos corretivos e de monitoramento, quanto a presença de Pb (chumbo) sua contaminação foi constatado com valores acima e próximos do valor de referência de qualidade devendo ser monitorado por tempo indeterminado. As concentrações dos metais Cd (cádmio) e Pb (chumbo) que excederam os limites nas amostras coletadas comprovam a necessidade de monitoramento contínuo deste sistema e evidenciam a ação antrópica direta nas condições da represa do Guarapiranga.

Palavras-chave: Sedimento, Investigação, Metais Pesados, Saúde Pública.

ABSTRACT

One of the largest reservoirs of water in the southern zone, the Guarapiranga dam, witnessed the irregular occupation of the source take irreversible proportions, compromising the water quality with the launch of domestic and industrial sewage without previous treatment, generating an increase in the levels of environmental pollution, causing problems for the ecosystem, mainly due to the chemical contamination of its sediment. The high concentration of heavy metals in particular in the sediments can be a good indication of pollution often attributed to anthropogenic influences, rather than a natural enrichment of the geological sediments by weathering.

The objective of this work was to analyze the sediment characteristics on the banks of the Guarapiranga dam determining the concentration of heavy metals lead, mercury and cadmium in sediment samples.

Six points of collection were investigated, observing the access of the users and the number of users of the Guarapiranga dam to the so-called "small beach", where they seek their leisure and rest time with their families, being more vulnerable to the effects of direct contact with the metal heavy in the sediment. In the laboratory of the Santo Amaro University in São Paulo, the samples were dried at room temperature, dismantled with the aid of a rubber mallet, sieved through 0.5 mm steel mesh. They underwent acid digestion in a water bath with nitric acid and hydrochloric acid both concentrated for 90 minutes. After cooling, they were packed in a 50 ml volumetric flask and the total volume was filled with deionized water. After filtration in 0.45 µm micropore the solutions were sent for reading in an atomic absorption spectrometer at the Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT and Instituto de Oceanografia of USP, both in São Paulo.

All the samples investigated, without exception, presented values not significant for the presence of Hg (mercury), varying from 0.00000541mg / kg to 0.00000000 mg / kg. As regards the presence of investigated Cd (cadmium), the RGU 1 sample had a result of 1.4 mg / kg, a number above the CETESB¹⁶ guideline values, a quality reference value (VRQ) higher than 0.5 mg / kg and prevention value (VP) of 1.3 mg / kg for soil. It exceeds sediment values in fresh water of 0.6 mg / kg TEL of CCME⁵¹ and Resolution No. 344 of March 25, 2004 of CONAMA⁵¹.

Samples were checked for Pb (lead), RGU 1 with a result equal to 19.5 mg / kg above the CETESB16 quality reference value and below the TEL values of CCME⁵¹ and CONAMA level 1.⁵³

The results of the investigation showed a non-contamination of Hg (mercury) in the collected samples; however, contamination of Cd (cadmium) was observed above the allowed values that require corrective and monitoring procedures, as for the presence of Pb (lead) was verified with values above and close to the quality reference value and should be monitored indefinitely. The concentrations of the Cd (cadmium) and Pb (lead) metals that exceeded the limits in the collected samples confirm the need for continuous monitoring of this system and evidence the direct anthropogenic action in the conditions of the Guarapiranga dam.

Keywords: Sediment, Research, Heavy Metals, Public Health

INTRODUÇÃO

De acordo com a Agência Nacional de Águas¹ a cidade de São Paulo é considerada o mais populoso aglomerado urbano do Brasil e uma das cinco maiores metrópoles do planeta, abrangendo trinta e nove municípios e concentrando quase vinte milhões de habitantes. Destes municípios, trinta e um estão inseridos no Sistema Integrado de Abastecimento de Água operado pela Companhia de Saneamento Básico de São Paulo (SABESP).

A SABESP possui uma capacidade nominal equivalente a 68,2 m³/s de água. Visto que a região metropolitana de São Paulo situa-se nas cabeceiras da bacia do rio Tietê, local de baixa disponibilidade hídrica, esta importa 32,3 m³/s de água de bacias hidrográficas adjacentes. Dentro do contexto da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê a montante da barragem de Pirapora com uma área de drenagem de 5.720 km², está inserida a sub-região hidrográfica Cotia-Guarapiranga e seu principal reservatório, a represa do Guarapiranga, importante corpo d'água localizado na zona sul do município de São Paulo.²

A construção da represa do Guarapiranga teve suas obras iniciadas em 1906 pela empresa canadense *The São Paulo Tramway Light and Power Company* (antiga Light e atual Eletropaulo), após a concessão para o represamento do Rio Guarapiranga afluente do Rio Pinheiros. O projeto foi finalizado em 1909 e inicialmente chamado de Represa de Santo Amaro, pois pertencia ao extinto município de Santo Amaro em 1935, segundo a Prefeitura Municipal de São Paulo. Posteriormente foi renomeada de Represa do Guarapiranga, que em tupi-guarani significa garça vermelha devido ao fato da área ter sido habitada por índios tupis-guaranis.³

De acordo com a SABESP² as águas da represa até meados de 1927 eram utilizadas exclusivamente para a geração de energia elétrica, mas a constante falta de água na cidade de São Paulo culminou com a retirada de 4 m³ de águas da represa do Guarapiranga e inauguração da primeira adutora em 1929. Após oito anos de operação de adução, a repartição de água e esgotos da capital previa a situação crítica a que estaria exposta a represa do Guarapiranga, pois com o crescimento da cidade houve ocupação desordenada e povoamento de suas margens ocasionando o aumento da poluição do corpo da água. Em meados dos anos 1940 a zona sul da cidade de São Paulo teve sua ocupação pela classe trabalhadora, mas foi durante a década de 1960 que após a realização de inúmeras obras de acesso à região da

represa do Guarapiranga e seu entorno favoreceu a instalação do parque industrial de Santo Amaro, provocando uma demanda por habitação na região e seu crescimento iniciando a ocupação irregular nas margens da represa, áreas definidas posteriormente como de proteção ambiental.

A ocupação irregular do manancial tomou proporções irreversíveis, comprometendo a qualidade da água da represa com o lançamento de esgotos domésticos e das industriais metalúrgicas sem nenhum tratamento primário gerando aumento nos níveis de poluição ambiental, causando problemas para o ecossistema, principalmente devido à alteração química, afirma a SABESP.²

Ainda que o solo tenha função de depurar grande parte das impurezas depositadas, sua capacidade é limitada ocorrendo alteração da composição e qualidade devido ao efeito cumulativo de agentes agressores atmosféricos, da aplicação de fertilizantes, da disposição de resíduos sólidos industriais, urbanos, materiais tóxicos e radioativos.⁴

Para Marques et al⁵ os poluentes inorgânicos mais tóxicos que ocorrem em solos são os metais pesados ou metais traço, um grupo de elementos com densidade atômica maior que 5 g/cm³ ou número atômico maior que 20. Embora o termo metal pesado tenha conotação de toxicidade, alguns são essenciais ao metabolismo humano como sódio, potássio, magnésio, cálcio, cromo, manganês, ferro, cobalto, cobre, zinco, selênio e molibdênio, outros são altamente tóxicos aos seres humanos mesmo quando em baixas concentrações podendo causar sérios danos à saúde como no caso do cádmio, chumbo e mercúrio, afirma Ferreira.⁶

A alta concentração de metais pesados em especial nos sedimentos pode ser uma boa indicação de poluição muitas vezes atribuída a influências antropogênicas, ao invés de um enriquecimento natural dos sedimentos geológicos por intemperismo⁷. Os sedimentos para Ferreira, Horta e Cunha⁸ integram os contaminantes ao longo do tempo e estão em constante fluxo sobrejacente com a coluna d'água. A análise dos metais pesados nos sedimentos permite a detecção de poluentes que podem até estarem ausentes ou em baixas concentrações na coluna d'água fornecendo um registro da história temporal da poluição em uma determinada região ou ecossistema. Com a crise hídrica de 2014, o volume de água da represa do Guarapiranga, responsável pelo abastecimento de nove milhões de habitantes da região metropolitana de São Paulo, chegou a 20% de sua capacidade, conforme noticiado pela Empresa Brasileira de Comunicação - EBC⁹. Tal fato aliado ao uso frequente

das áreas às margens da represa com a finalidade de lazer, cultivo de vegetais, criadouros de animais de pequeno, médio e grande porte, pesca para consumo e outras atividades com fins exploratórios, torna a avaliação da concentração de metais pesados como chumbo, mercúrio e cádmio, tóxicos ao organismo humano uma preocupação constante. O contato com o sedimento contaminado, seja dérmica ou inalada, pode trazer consequências sem precedentes aos usuários e exploradores destas áreas justificando a pesquisa e a busca de alternativas para minimizar os impactos ambientais e à saúde coletiva.

REVISÃO DA LITERATURA

1. Características da Bacia do Guarapiranga

Área da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga: 63.911 hectares (638 Km²).

Área da represa: 2.600 hectares (4% da área da bacia).

Municípios parcialmente inseridos na área da bacia: Cotia, Embu das Artes, Itapeverica da Serra, Juquitiba, São Lourenço da Serra e São Paulo.

Município totalmente inserido na área da bacia: Embu-Guaçu.

População abastecida pela represa: 9 milhões.

Área ocupada por atividades humanas: 59% da bacia.

Área com vegetação natural: 37% da bacia.

Volume de armazenamento: 171.190.000 m³

Vazão média: 13,82 m³/s

Fonte: Diretoria Metropolitana. Boletim dos Mananciais. Condições de Armazenamento dos Mananciais que Abastecem a RMSP. 22 de maio de 2016¹⁰ e PDPA (Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental) Guarapiranga. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. CPLA. 2011¹¹.

Com relação ao crescimento populacional podemos observar um aumento significativo a partir de 1980, em onze anos atingiu a taxa de 68,61% e em 26 anos (2006) alcançou aproximadamente a taxa de crescimento de 184,61%, conforme Quadro 1.

As favelas foram responsáveis, em 1996, por cerca de 100.000 habitantes, situados em córregos que drenam diretamente para o corpo da represa, dotadas de péssimo serviço de infraestrutura urbana. A partir de 1980 eventos de floração de algas

tornaram-se frequentes na represa e chamaram a atenção da sociedade para os problemas da bacia².

Em 2003, mais da metade da área da Bacia Hidrográfica da Guarapiranga encontrava-se alterada por atividades humanas. Parte dessa alteração diz respeito aos usos urbanos, e o restante a usos diversos, como agricultura, mineração e solo exposto. Entre 1989 e 2003, as áreas urbanas aumentaram em 19%, e mais da metade deste crescimento se deu sobre áreas com severas restrições à ocupação, de acordo com a avaliação de Martins¹².

Segundo Carolino⁴, a população residente na bacia do Guarapiranga, segundo última estimativa, em torno de 925.000 habitantes predominantemente pelas classes de renda familiar baixa e baixíssima.

Quadro 1 – Evolução da população – Guarapiranga e Billings, 1980/2006.

Ano/Bacia	População Residente		
	Guarapiranga	Billings	Billings (sub-bacia Rio Grande)
1980	325.000	*****	*****
1991	548.000	534.400	124.200
2000	754.000	841.000	177.000
2006	925.000	976.000	202.000

Fonte: Carolino, 2015. p.35. ⁴

A situação hídrica do Guarapiranga é frágil, conforme relatório da Secretaria de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo - SSE¹³, o crescimento populacional descontrolado sobre os mananciais da represa do Guarapiranga colocam em risco o abastecimento de água para a cidade de São Paulo, promovendo a degradação da cobertura vegetal, impermeabilização do solo, permitindo o lançamento de esgotos e dejetos urbanos na represa, contaminando córregos, sedimentos e águas subterrâneas, comprometendo a qualidade da água e sedimento ali existente. A recuperação e a proteção das áreas degradadas deste manancial e seu controle mais eficaz sob o aspecto de diferentes formas de uso e ocupação do solo nesta bacia hidrográfica são essenciais para o futuro do abastecimento hídrico e efeito reverso de contaminação do solo para a região metropolitana de São Paulo.

Em 2010, foi inaugurado o trecho sul do Rodoanel Mário Covas, que apesar de medidas mitigadoras, como os projetos de replantio de mudas de espécies nativas de mata atlântica e no monitoramento ambiental permanente na região de mananciais do

Guarapiranga, causou impactos importantes que vão desde a alteração da estrutura da ocupação e das atividades econômicas como alterações decorrentes da erosão, assoreamento, contaminação do solo e da água. A represa do Guarapiranga apresenta ainda problemas como a água do reservatório com baixo índice de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), isto é, que dificulta a sobrevivência de seres aquáticos, transformando em uma água de péssima qualidade comprometendo o abastecimento hídrico para a população, e encarecendo os custos do tratamento da água.¹³

Empresas ambientais, SABESP e CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo), são encarregadas de monitorar permanentemente a qualidade da água da represa do Guarapiranga, e conforme apurado em 2005, apenas 50% das residências no manancial da represa faziam a captação de esgoto, e o restante deste percentual despejava seus esgotos nos córregos e rios afluentes que desembocam na própria represa, conforme descrito no trabalho de Andre e Vilola¹⁴. Outro problema é a perda da vegetação original, pois com a expansão urbana de forma desordenada ao redor da represa provocando aumento acentuado da erosão do solo, e conseqüentemente o assoreamento no leito do reservatório.

Andre e Vilola¹⁴ afirmam que a extração de minérios se faz presente, causando impacto ambiental significativo na Bacia do Guarapiranga através da extração excessiva de argila, areia, granito e outros, degradando o solo, removendo a cobertura vegetal original de mata atlântica, sem o devido acompanhamento preventivo da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, e do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM).

2. Contaminação do solo e sedimento

O significado de contaminação pode ser definido como a presença de concentrações elevadas de substâncias agressoras na água, solo, sedimentos ou nos organismos, isto é, concentrações acima do nível base para uma determinada área e um determinado organismo¹⁵. Em contrapartida, o termo poluição pode ser definido como ação antrópica, direta ou indireta, de substâncias ou energia no meio ambiente, provocando efeitos nocivos que prejudiquem os recursos biológicos constituindo um perigo para a saúde humana e para os ecossistemas. A contaminação fornece um

sinal de aviso, mas não constitui poluição a menos que, seja de ação antrópica e que tenha efeito nocivo, em pelo menos uma espécie seja animal ou vegetal. Biologicamente os contaminantes tóxicos causam a morte de plantas e animais no ambiente natural e suas consequências são normalmente pouco significativas, a menos que a morte tenha resultado na modificação da população no seu conjunto.¹⁵

A contaminação do solo é caracterizada pela presença de microrganismos, organismos e substâncias, que normalmente estão ausentes ou que existam em pequenas concentrações ou quantidades no solo ou nos sedimentos, e que causem efeitos adversos na saúde humana e/ou no ambiente. A contaminação pode ser biológica quando associada à presença de microrganismos patogênicos como, vírus, parasitas, fungos e bactérias. Química, quando substâncias químicas ou compostos agressores se fazem presente, incluindo agentes de propriedades radioativas.¹⁵

A capacidade de autodepuração do solo é eficiente, capaz de atenuar os efeitos negativos decorrentes da contaminação, graças a seus poderes de adsorção e tampão, e sua intensa atividade biótica, resultando desta forma numa ação protetora de outros compartimentos ambientais. Entretanto quando há acúmulo excessivo de agentes contaminantes isto induz a ultrapassar os limites da autodepuração, provocando danos irreversíveis.¹⁵

A CETESB¹⁶ fazendo uso de pesquisas de campo e testes laboratoriais elaborou uma lista de valores orientadores para solo e água subterrânea no estado de São Paulo referente ao ano de 2014 (Figura 1) que inclui substâncias inorgânicas como os metais pesados observando a Resolução 420 de 28 de dezembro de 2009 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). A lista é utilizada como referência para identificação de áreas consideradas já contaminadas ou suspeitas de contaminação, as quais venham a oferecer risco à saúde pública. Resumidamente, os valores são divididos em valores de referência, valores de alerta e valores de intervenção. Valores de referência indicam o limite de qualidade para um solo considerado próprio e devem ser utilizados em ações de prevenção da poluição no controle de áreas contaminadas.

Substância	CAS Nº	Solo (mg kg ⁻¹ peso seco)					Água Subterrânea (µg L ⁻¹)
		Valor de Referência Qualidade	Valor de Prevenção	Valor de Intervenção (VI)			
		(VRQ)	(VP)	Agrícola	Residencial	Industrial	
INORGÂNICOS							
Antimônio ⁽¹⁾	7440-36-0	<0,5	2	5	10	25	5
Arsênio ⁽¹⁾	7440-38-2	3,5	15	35	55	150	10
Bário	7440-39-3	75	120	500	1300	7300	700
Boro	7440-42-8	-	-	-	-	-	2400
Cádmio	7440-43-9	<0,5	1,3	3,6	14	160	5
Chumbo	7439-92-1	17	72	150	240	4400	10
Cobalto ⁽¹⁾	7440-48-4	13	25	35	65	90	70
Cobre ⁽²⁾	7440-50-8	35	60	760	2100	10000 ^(a)	2000
Crômio total ⁽¹⁾	7440-47-3	40	75	150	300	400	50
Crômio hexavalente	18540-29-9	-	-	0,4	3,2	10	-
Mercúrio	7439-97-6	0,05	0,5	1,2	0,9	7	1
Molibdênio	7439-98-7	<4	5	11	29	180	30
Níquel ⁽²⁾	7440-02-0	13	30	190	480	3800	70
Nitrato (como N)	14797-55-8	-	-	-	-	-	10000
Prata ⁽¹⁾	7440-22-4	0,25	2	25	50	100	50
Selênio	7782-49-2	0,25	1,2	24	81	640	10
Zinco	7440-66-6	60	86	1900	7000	10000 ^(a)	1800

Figura 1. Valores orientadores para Metais Pesados (CETESB 2014).¹⁶

Em citação de Turner e Rabalais¹⁷, Blanchoud et al.¹⁸, Galbraith et al.¹⁹, Gobel et al.²⁰, Bedore et al.²¹ e Miserendino et al.²², indústrias, efluentes domésticos e de escoamento podem contribuir para o aumento das concentrações de substâncias químicas na água, bem como compostos orgânicos e inorgânicos, diretamente envolvidos na contaminação dos sedimentos.

Além disso, fatores como a geomorfologia e clima também desempenham um papel importante na qualidade da água.

Para Tucci²³, um dos maiores problemas ambientais dos países em desenvolvimento é controlar a poluição difusa oriundas de esgoto urbano e rural. No entanto, nestes países, a importância relativa de poluição difusa é menor do que a importância de fontes pontuais. Cunha, Grull, Damato et al.²⁴, fazem o diagnóstico que rios urbanos brasileiros estão subordinados não só para o escoamento de águas pluviais, mas também, e principalmente, para as descargas domésticas e industriais, que contribuem para a diminuição da qualidade da água.

Sumariamente, águas residuais e gestão de águas pluviais vêm progressivamente tornando-se uma tarefa complexa para as megacidades em todo o mundo.²⁵

Para Freitas²⁶ com o desenvolvimento das tecnologias e o crescimento populacional mundial ocorre à ampliação das atividades industriais e agrícolas, e como principais consequências desse fato torna-se comum encontrar em todas as partes do mundo

solos contaminados por diferentes substâncias, tais como: sais, metais, compostos orgânicos, organometálicos, elementos radioativos e outras substâncias.

Em suas prerrogativas Silva²⁷ afirma que medidas preventivas de agentes poluentes e a limpeza de áreas contaminadas se tornaram uma prioridade ambiental. As unidades de produção industriais estão sendo pressionadas a introduzirem em seus processos de produção, técnicas ou tecnologias de purificação e ou reciclagem para redução acentuada da contaminação ambiental.

O acúmulo de metais a partir da água sobrejacente ao sedimento depende de uma série de fatores ambientais externos, tais como pH (potencial hidrogeniônico), força iônica, o tipo e concentração de ligantes orgânicos e inorgânicos e da superfície disponível para adsorção causada pela variação da granulometria^{28,29}.

Nos últimos trinta anos, os sedimentos não têm sido considerados apenas ambientes de deposição de espécies químicas, mas como compartimento aquático ativo que tem papel fundamental na redistribuição dessas espécies à biota aquática. Na formação natural de sedimentos através de seus processos, ocorre intensa modificação pela ação antrópica, a erosão do solo devido à atuação da engenharia na construção de prédios e rodovias, como o lançamento sem nenhum tratamento de seus efluentes industriais e municipais, propiciam uma mudança significativa daqueles ambientes naturais não impactados. Nesse contexto, os metais pesados devem ser vistos com maior atenção, pois não são decompostos naturalmente e tão pouco permanecem fixados nos sedimentos, retornando ao corpo d'água através de alterações de suas propriedades físico-químicas, tais como pH e potencial redox.³⁰

Segundo Netto³¹ no Brasil é possível encontrar substâncias tóxicas contaminantes no solo em todo o território nacional. Um diagnóstico realizado em 2012 pela Fundação Nacional da Saúde - FUNASA identificou a existência de 8.850 áreas com populações potencialmente expostas a áreas com solo contaminado em todo território nacional.

No Estado de São Paulo, a CETESB³², mapeou 5.148 sítios com solo contaminado em 2014 sendo que 31,76% do total estavam em processo de remediação e 10,93% estavam reabilitados para uso declarado (área anteriormente contaminada que, depois de submetida às medidas de intervenções, tem restabelecido o nível de risco aceitável à saúde humana, ao meio ambiente e a outros bens a proteger). Tais áreas estão relacionadas a épocas passadas, ao desrespeito aos procedimentos seguros de manejo de substâncias perigosas e a ocorrência de acidentes ou vazamentos

durante os processos produtivos nas unidades fabris, de logística, de transporte e armazenagem de matérias primas e produtos acabados.

A existência de uma área contaminada pode gerar problemas, como danos à saúde, comprometimento da qualidade dos recursos hídricos, restrições ao uso do solo e danos ao patrimônio público e privado, com a desvalorização das propriedades, além de danos ao meio ambiente. Em maio de 2002, a CETESB divulgou pela primeira vez a lista de áreas contaminadas, registrando a existência de 255 áreas contaminadas no estado de São Paulo (Figura 2). Após a última atualização, ocorrida em dezembro de 2014 observou-se um aumento no número de áreas cadastradas demonstrando o esforço na identificação de novas áreas cujo número de registros no Cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo passou de 4.771 para 5.148.³²

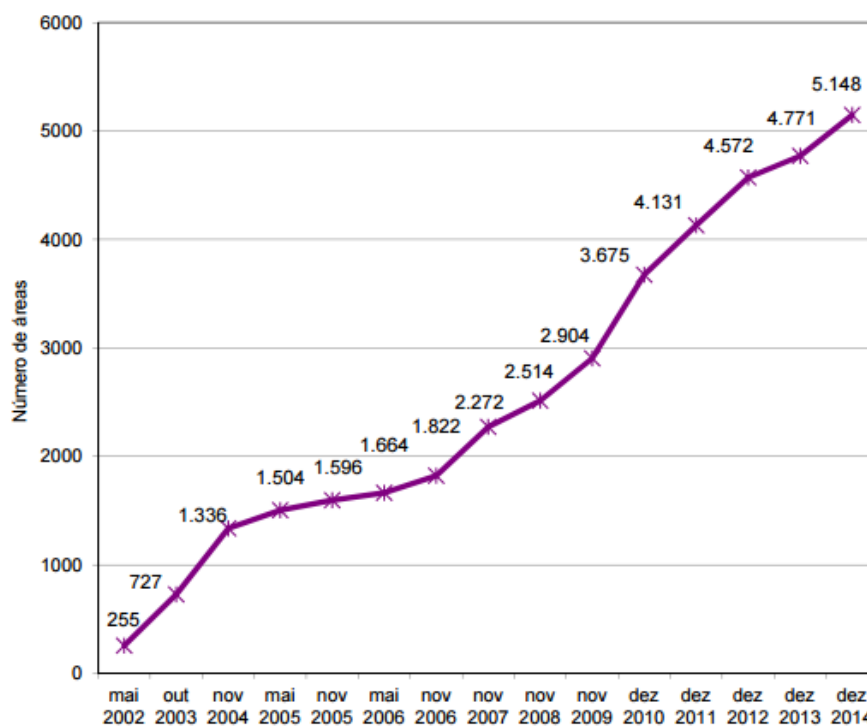


Figura 2 - Evolução do número de áreas contaminadas cadastradas (CETESB, 2014).³²

Nakano e Avila-Campos³³ afirmam que dos 2,9 milhões de toneladas anuais de resíduos industriais perigosos gerados no Brasil, apenas 600 mil toneladas recebem tratamento de maneira adequada e o restante é depositado em terrenos irregulares, lixões ou a beira de corpos d'água sem nenhum pré-tratamento, conforme estimativa

da Associação Brasileira de Empresas de Tratamento, Recuperação e Disposição de Resíduos Especiais (ABETRE).

Com relação ao grupo de contaminantes, aproximadamente 74% do número total de áreas registradas de solos contaminados no estado de São Paulo são atribuídas aos postos de combustíveis. Entre os principais grupos de contaminantes encontrados nestas áreas destacam-se: os solventes aromáticos (representados pelo benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos presentes na gasolina vazada nos postos de combustíveis), combustíveis líquidos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs) e os metais (Figura 3).

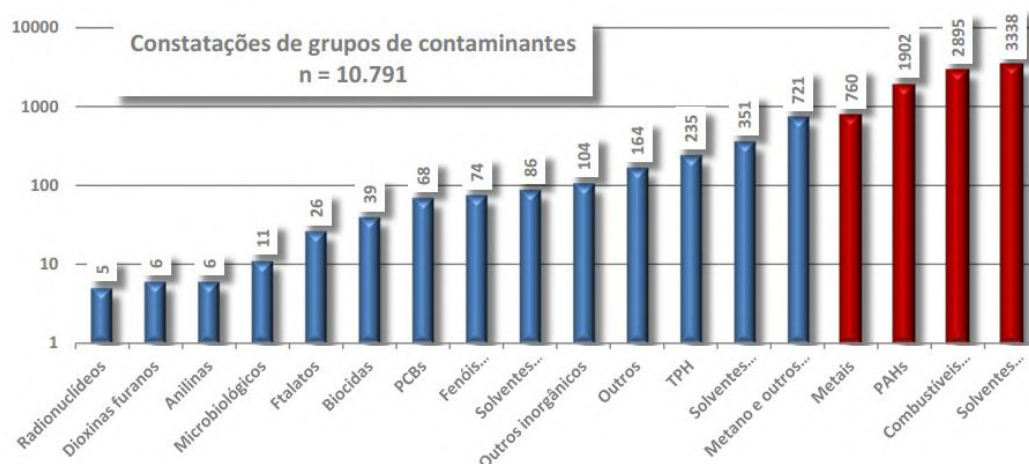


Figura 3 - Constatações de grupos de contaminantes (CETESB, 2014).

Fonte: <http://www.cvs.saude.sp.gov.br/up/An%C3%A1lise%20AC%202014.pdf>

3. Metais Pesados e seus efeitos tóxicos

Quando os metais pesados atingem o ecossistema aquático, são distribuídos nos diversos níveis do ambiente; solo, sedimento, plantas e animais, entretanto no caso dos sedimentos, a literatura mostra que este local funciona como um sistema de reserva de poluentes³⁴.

A expressão "metais pesados" segundo Duarte e Pasqual³⁵ apesar de ser um termo usual, parece não ser a nomenclatura ideal, podendo ser utilizados sinônimos como; "metais traço", "elementos traço", "micronutrientes", "microelementos", entre outros. Quimicamente considera-se metal pesado um grupo de elementos que, presentes em

sistemas naturais estão em pequenas concentrações e possuem densidade igual ou acima de 5 g/cm³.

O solo tem a capacidade acentuada de retenção de metais pesados, entretanto se esta capacidade for ultrapassada, os metais no meio transitam na cadeia alimentar dos organismos vivos ou sofrem lixiviação, colocando em risco a qualidade do sistema de água subterrânea. Sua retenção no solo ocorre de diferentes formas, já que os argilominerais possuem sítios negativos onde os metais são adsorvidos por forças eletrostáticas.³⁵

As fontes corriqueiras de metais pesados no ambiente têm origem nos fertilizantes, defensivos agrícolas, das emissões veiculares, da combustão de carvão e óleo, mineração, fundição, incineração e refinação de resíduos urbanos e industriais, que em torno de 95% de Hg (mercúrio); 90% de Cd (cádmio); 33% de Pb (chumbo) e 27% de Zn (zinco) são perdidos na forma de particulados e gases quando queimados.³⁵

A contaminação de cádmio nos solos ocorre principalmente por mineração, material particulado atmosférico oriundo de indústrias metalúrgicas, queima de combustíveis fósseis e outros. Algumas pesquisas demonstraram que a cultura do fumo é acumuladora de Cd através do uso do lodo de esgoto como material orgânico para fertilização desta cultura. O fumo é uma fonte potencial de Cd para os seres humanos, pois indivíduos que fumam um maço de cigarros por dia adquirem uma concentração de Cd nos rins 50% maior que um indivíduo não fumante. A preocupação é tão significativa que alguns estados que cultivam fumo nos Estados Unidos da América proibiram o manejo do lodo de esgotos nos solos onde esta cultura é explorada. Nos animais, o Cd se acumula nos rins e em menor proporção no fígado e no baço. O excesso pode provocar danos nos rins, inflamação na mucosa do nariz e enfisema pulmonar.³⁶

Duarte e Pasqual³⁵ relatam que à exposição a contaminantes afeta a qualidade de vida e interfere diretamente na saúde e sobrevivência. O Cd é um dos agentes agressores do ambiente e um veneno profissional bastante perigoso. O conteúdo de Ca (cálcio) presente na dieta alimentar tem relação muito estreita com a absorção do metal pela via gastrointestinal e por consequência o acúmulo no organismo. O caso mais conhecido por contaminação de Cd por intoxicação alimentar em seres humanos, ocorreu no Japão em 1947 na cidade de Toyama. Moradores desta região faziam uso das águas do Rio Jintsu, que com o despejo de resíduos de Zn e Cd oriundos da uma fundição, levou seus usuários a óbito. Todos os óbitos apresentavam

os mesmos sintomas, dores nas pernas e nas costas de alta intensidade evoluindo para fraturas múltiplas no esqueleto, caracterizando a osteomalácia: mineralização inadequada da matriz óssea, e a osteoporose: definida como sendo uma excessiva, porém proporcional, redução do Ca e matriz óssea.

O Cd (cádmio) está naturalmente presente nos solos, como resultado do desgaste da rocha-mãe. As rochas sedimentares apresentam as maiores proporções de Cd com as maiores concentrações encontradas em depósitos de solos com fosfato e xisto. A contribuição das fontes antropogênicas de Cd é fator significativo para o aumento da concentração deste metal no solo.³⁷

Segundo Oga, Camargo e Batistuzzo³⁸, o Cd teve seus estudos científicos intensificados nas últimas décadas, pois até 1950 havia pouca informação a respeito dos efeitos tóxicos deste metal, independentemente de sua crescente utilização a partir da primeira guerra mundial. Com os avanços tecnológicos, houve uma ampliação dos estudos deste metal, pois apresentavam persistência e se tornavam amplamente contaminantes no meio ambiente.

A produção mundial de Cd do ano de 2000 saltou de 19.700 toneladas/ano para 600.000 toneladas/ano em doze meses, portanto, no ritmo atual, a extração poderá durar por aproximadamente trinta anos. A presença de Cd no solo próximo às fundições chega a 100 mg/Kg de solo, circunvizinha a estas unidades fabris. Esses rejeitos da produção de metais não ferrosos e de outros produtos acabados que contém cádmio em sua composição, contribuem de maneira significativa para a poluição ambiental, do aspecto atmosférico, hídrico e sedimento.³⁸

A contaminação do cádmio no solo também ocorre durante o processamento do cimento, pois a queima de combustíveis fósseis, lixos urbanos e sedimentos de esgotos lançam suas cinzas na atmosfera e por precipitação acabam contaminando o solo. O uso deste metal na fabricação de fertilizantes fosfatados é fonte de contaminação direta do solo para fins agrícolas, transferindo e absorvendo pelos vegetais plantados doses significativas de cádmio que indiretamente irá contaminar o ser humano através de seu consumo.³⁸

A água é uma importante fonte de contaminação de cádmio pelo ser humano, por seu consumo natural, fabricação de bebidas, no preparo de alimentos e aderência no sedimento no fundo e nas margens do corpo d'água.

Os rios podem contaminar terras vizinhas, quer pela utilização da água contaminada nas irrigações ou durante os períodos que ocorrem as enchentes.³⁸

A intoxicação pelo cádmio é caracterizada por afetar o córtex renal provocando a falência renal. A toxicidade aguda surge após ingestão de concentrações elevadas de Cd, assim como a ingestão de alimentos ou bebidas contaminadas, inalação de fumos ou outros materiais aquecidos, manifestando-se na forma de pneumonia química aguda ou edemas pulmonares.

A toxicidade crônica é causada em decorrência a uma exposição prolongada de concentrações baixas de Cd, causando doença crônica obstrutiva pulmonar, enfisemas, doenças crônicas renais, efeitos no sistema cardiovascular e ósseo, de acordo com as pesquisas de Ruppenthal.⁴²

O Pb (chumbo) existe em elevadas concentrações nas rochas ígneas ácidas e sedimentos argilosos e em baixas concentrações em calcários sedimentares e rochas ultramáficas (que possuem em sua composição menos de 45% de sílica). Naturalmente o Pb está presente nos solos oriundo do material parental a chamada rocha-mãe, contudo é importante observar às atividades antropogênicas que promovem um acúmulo deste metal nos solos. A drenagem no solo e sua eficiência devem ser observadas, pois podem influenciar a mobilidade do metal a partir da rocha-mãe, isto é, solos com pouca drenagem possuem a capacidade de reter maiores concentrações de metais pesados.⁴¹

A contaminação do chumbo no solo ocorre por atividades antropogênicas, provocando muitas pesquisas e investigações, devido à entrada deste metal na cadeia alimentar do homem. A contaminação de chumbo nos solos é um processo cumulativo praticamente irreversível, provocando aumento considerável dos teores desse metal na superfície do solo, indicando uma disponibilidade de absorção pelas raízes das plantas. Os aditivos antidetonantes presentes na gasolina até 1986, como o chumbo, foram fontes de potencial contaminação de plantas e solos, pois suas partículas eram aerotransportadas a grandes distâncias ao longo das ruas e rodovias.⁴⁰

O Pb interfere diretamente em órgãos como os rins, medula óssea e o sistema nervoso provocando a desmielinização e a degeneração dos axônios, prejudicando funções psicomotoras e neuromusculares, causando; irritabilidade, cefaleia, alucinações, interfere nas fases da biossíntese do heme (hemoglobina, responsável pelo transporte de oxigênio na corrente sanguínea), contribuindo para o surgimento de anemia sideroblástica, altera os processos genéticos ou cromossômicos, inibindo o reparo de DNA e agindo como iniciador e promotor na formação de neoplasia.³⁵

O chumbo é bem absorvido por inalação e até 16 % ingerido por adultos sem maiores consequências. Em crianças, o percentual absorvido através da via digestiva é de 50 %. Uma vez absorvido, é distribuído para o sangue onde permanece por 37 dias, nos tecidos moles, sua permanência é de 40 dias e nos ossos sua permanência é mais longa, 27 anos, constituindo estes o maior depósito corporal do metal armazenando 90 a 95 % do chumbo presente no corpo. Sua excreção é extremamente lenta, ocorrendo 65 % por via renal e 35 % por via biliar o restante é pelo suor, unhas, cabelos e descamação da pele.

Além dos efeitos neurotóxicos, distúrbios hematológicos, distúrbios renais, hipertensão arterial, carcinogênicos com evidência suficiente em animais e evidência inadequada em humanos (IARC – International Agency for Research on Cancer, WHO – World Health Organization), também apresentam efeitos reprodutivos com possível aumento de abortos, malformações, natimortos e redução na contagem de espermatozoides.⁴²

A principal fonte de Hg (mercúrio), comum a todos os solos, são os minerais que compõem a rocha-mãe. Entretanto nos solos superficiais, a deposição atmosférica, proveniente de atividades antropogênicas, tem-se tornado uma fonte importante de Hg. Toda atividade antropogênica é uma importante fonte de emissão de Hg contribuindo significativamente para a contaminação dos solos. As principais fontes de contaminação incluem atividades mineiras, fundição de metais, queima de combustíveis fósseis e incineração de resíduos, atividades de produção industrial de hidróxido de sódio e também da utilização de fertilizantes na agricultura.³⁷

O Hg (mercúrio) tem como órgão alvo os rins, enquanto que o metilmercúrio atinge principalmente o cérebro, tanto em indivíduos adultos como fetos.³⁷ A intoxicação de indivíduos pelo Hg pode apresentar aceleração da diminuição das funções do sistema nervoso que normalmente estão relacionadas à idade. Efeitos neurológicos como a demência semelhante ao mal de Alzheimer, deficiência de atenção, hipoestesia (diminuição da sensibilidade ao toque), ataxia (perda do controle muscular durante movimentos voluntários), danos na visão e audição, chegando até ao autismo podem ocorrer.³⁷ Os rins acumulam quantidades elevadíssimas de mercúrio quando comparado ao cérebro e fígado, causando nefrite (inflamação dos rins), poliúria (urinar em excesso) e albuminúria (presença de albumina da urina).³⁷

A toxicidade aguda do Hg através do sistema respiratório surge pela inalação de vapores irritantes provocando bronquite e edema pulmonar, surgindo salivação, gosto

metálico, lesão renal, tremores e convulsão. Através do contato dérmico direto, provocando irritação cutânea, edema e pústula ulcerosa nas extremidades dos dedos. Na toxicidade crônica pela exposição ao Hg, a boca apresenta gengivite deixando flácida e esponjosa a gengiva, os dentes amolecem, ocorre o inchaço das glândulas salivares e há produção em excesso de saliva, entre outras patologias, afirma Ruppenthal.⁴²

Através de seu estudo, Rocha⁴³ afirma que o número de intoxicações observadas pelos metais, chumbo, mercúrio e cádmio é facilmente justificável por sua forte presença no ambiente, deixando o homem vulnerável ao contato direto e permanente com esses metais, trazendo consigo patologias importantes causando sérios problemas de saúde pública.

Mendes³⁶ chama atenção quanto à fase de exposição por substâncias químicas entre elas os metais pesados, que o ser humano fica exposto quando em contato direto com o meio ambiente, especificamente pelo ar, poeira, solo, água, sedimentos, biota e alimentos. Vale-se lembrar de que a exposição deve ser observada quanto ao perigo de absorção destas substâncias tóxicas ao organismo por vias respiratórias, cutâneas, digestivas e placentárias. Um conceito importante seria a via de exposição, isto é, a rota ambiental que leva a substância da sua fonte até o indivíduo. Estes elementos químicos são transferidos ao ambiente através de agentes agressores, como os poluentes, que ao entrar em contato com alguns elementos do meio, sofre uma série de reações químicas alterando seu estado inicial, transformando-se em uma substância de diferente nível de toxicidade ou modificando seu estado físico-químico em formas que facilita a absorção pelo ser humano. Este processo é conhecido como biomagnificação, exemplificado pelo uso do mercúrio metálico usado no processo de mineração do ouro, quando atinge um corpo d'água através da ação da cadeia biológica transforma-se em metilmercúrio, forma orgânica de cadeia curta muito mais agressiva ao homem.

As manifestações dos efeitos tóxicos dos metais estão associadas à dose, podendo distribuir-se por todo o organismo, afetando inúmeros órgãos, alterando as organelas, membranas plasmáticas e os processos bioquímicos, acreditando que pessoas idosas e crianças sejam mais suscetíveis a substâncias tóxicas e uma das fontes de exposição aos metais pesados são os alimentos, que possuem elevado índice de absorção gastrointestinal.³³

4. Questão de Saúde Pública

Antes de dissertar sobre saúde pública, há a necessidade do entendimento sobre o que é saúde pública no Brasil. Para Merhy ⁴⁴, a saúde pública é uma prática social de saúde, que visa intervir nos problemas de saúde considerados como legítimos por uma certa sociedade e época, e efetivada através da presença do estado nacional, sob a forma de uma prática técnica comprometida com uma certa forma de produzir o cuidado em saúde, tendo como objeto a dimensão coletiva do processo saúde e doença, enquanto uma questão social. Os processos específicos de produzir o cuidado sanitário vêm sendo um terreno de desenvolvimento de intervenções tecnológicas dirigidas tanto para o nível individual, quanto coletivo, dos grupos populacionais, alvos de suas práticas.

Sincronicamente ao conceito de saúde pública, a expressão “problema de saúde pública” deve ser esclarecida. Costa e Victora ⁴⁵ em seu estudo de 2006 ressaltam que no texto de Leavell e Clark a definição de problema de saúde é expressa a partir de sua natureza, extensão, severidade e significância. No livro de Morley verificou-se que os critérios que definiriam problemas prioritários seriam: o interesse da comunidade, a prevalência, a gravidade e a possibilidade de controle.

Embora a contextualização de problema de saúde pública seja ampla, e uma determinada condição não precisa certamente preencher ou atingir todos os critérios simultaneamente, sugere-se que a utilização desta terminologia seja resguardada pela análise dos princípios básicos: sua natureza, interesse da comunidade, extensão, severidade, significância e sua possibilidade de controle.

Historicamente para Merhy ⁴⁴, a dinâmica social é que imprime as diferentes facetas adquiridas pelas práticas sanitárias, de tal forma que a passagem para a utilização de outros meios é ditada pela maior presença, no cenário social, de forças sociais que se contrapõem a determinados modos de se realizar a produção social capitalista, exigindo uma resposta por parte da sociedade que as absorva e ou neutralize. Esse processo se torna bem perceptível quando se observa o surgimento das práticas de Educação Sanitária em um momento posterior da relação entre as classes sociais polares, no capitalismo monopolista. A Educação Sanitária traz implícita a ideia de que a "consciência sanitária" do indivíduo é um dos pontos básicos para manter em harmonia a relação saudável entre o homem e seu meio externo, apelando, portanto, para um esforço sistemático e permanente no nível de trabalho pedagógico de

formação (e transformação) da consciência individual, segundo preceitos e normas ditadas pela higiene. Por exemplo, no Brasil do século XX isto era tão sério que no III Congresso Brasileiro de Higiene, que se realizou em São Paulo, em 1926, o médico C. Sá apresentou um verso, que deveria ser recitado diariamente pelas crianças como um meio de se manterem saudáveis. Este verso foi apresentado junto ao tema “Formação de hábitos sadios nas crianças”, e expressa, claramente, a concepção sobre Educação Sanitária e higiene pessoal:

Hoje escovei os dentes
Hoje tomei banho
Hoje fui à latrina e depois lavei as mãos com sabão
Ontem me deitei cedo e dormi com janelas abertas
De ontem para hoje já bebi mais de 4 copos de água
Ontem comi ervas ou frutas, e bebi leite
Ontem mastiguei devagar tudo quanto comi
Ontem e hoje andei sempre limpo
Ontem e hoje não tive medo
Ontem e hoje não menti

As inúmeras patologias importantes decorrentes do contato direto e permanente dos metais pesados objeto deste estudo, é justificada pela presença acentuada no meio ambiente permitindo a vulnerabilidade do ser humano causando sérios problemas de saúde pública, conforme descrito no trabalho de Rocha⁴³, agindo como iniciador e promotor na formação de neoplasia,³⁵ demência semelhante ao mal de Alzheimer, danos na visão e audição, chegando até ao autismo no caso de contaminação pelo mercúrio.⁴¹

A absorção destes metais por vias respiratórias, cutâneas, digestivas e placentárias³⁵ é de extrema importância quanto à questão de saúde pública, pois a via de exposição, isto é, a rota ambiental que leva a substância de sua fonte até o indivíduo deve ser investigada para que medidas preventivas e corretivas possam ser aplicadas.

Os parâmetros para controle biológico da exposição ocupacional a alguns agentes químicos, incluindo chumbo, mercúrio e cádmio, conforme determinação da Portaria nº 24 de 29 de dezembro de 1994 do Ministério do Trabalho, Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho (D.O.U. de 30/12/94 – Seção 1 – págs. 21.278 e 21.280)⁴⁶

implícita na Norma Regulamentadora 7, NR 7 - Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO)⁴⁷, devem ser observados para determinação de exposição ambiental acima do limite de tolerância.

Quadro 2 – Parâmetros para controle biológico da exposição ocupacional a alguns agentes químicos.

Agente Químico	Indicador Biológico		VR	IBMP
	Mat. Biológico	Análise		
Cádmio	Urina	Cádmio	Até 2 ug/g creatinina	5 ug/g creatinina
Chumbo inorgânico	Sangue	Chumbo e	Até 40 ug/100 ml	60 ug/100 ml
	Urina	Ác. Delta amino	Até 4,5 mg/g creatinina	10 mg/g creatinina
	Sangue	levulínico ou Zincoprotoporfirina	Até 40 ug/100 ml	100 ug/100ml
Mercúrio inorgânico	Urina	Mercúrio	Até 5 ug/g creatinina	35 ug/g creatinina

Fonte: Ministério do Trabalho⁴⁷

Legenda:

IBMP: Índice Biológico Máximo Permitido: é o valor máximo do indicador biológico para o qual se supõe que a maioria das pessoas ocupacionalmente expostas não corre risco de danos à saúde. A ultrapassagem deste valor significa exposição excessiva.

VR: Valor de Referência da Normalidade: valor possível de ser encontrado em populações não expostas ocupacionalmente.

Independente da intoxicação do metal pesado ser lenta e gradual ou rápida e devastadora, seus efeitos patogênicos em muitos casos são irreversíveis, e quando ocorre, deixam sequelas na vida futura do paciente. A atenção aos cuidados com a saúde pública deve ser observada com muito critério e zelo, pois a contaminação com alguns destes metais pode comprometer, e muito, o atendimento clínico emergencial no Sistema Único de Saúde (SUS), considerado um dos maiores sistemas públicos de saúde do mundo, conforme exposto no site do Ministério da Saúde.⁴⁸

OBJETIVO

OBJETIVO GERAL

Avaliar a concentração dos metais pesados chumbo, mercúrio e cádmio em amostras provenientes do sedimento de margem da represa do Guarapiranga.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Analisar as características do sedimento às margens da represa do Guarapiranga determinando a concentração dos metais pesados, chumbo, mercúrio e cádmio em amostras de sedimento minimizando os impactos ambientais e a saúde coletiva.

MATERIAL E MÉTODO

Descrição da Área

A Bacia do Reservatório Guarapiranga está inserida na porção sudoeste da Região Metropolitana de São Paulo, abrangendo parcelas territoriais dos municípios de Cotia, Embu, Itapeverica da Serra, Juquitiba, São Lourenço da Serra e São Paulo e a área total do município de Embu Guaçu. Possui área de drenagem de 638 km² (8% da área total da Região Metropolitana de São Paulo), e tem como principal corpo d'água, o reservatório formado pelo represamento do rio Guarapiranga, sendo os rios Parelheiros, Embu Mirim, Embu Guaçu e seu afluente, o Ribeirão Santa Rita, seus principais tributários, Figura 4. Aproximadamente 1 a 1,5 m³/s das águas do rio Capivari, pertencente à bacia hidrográfica da Baixada Santista, são revertidos para o rio Embu Guaçu e, desde 2000, o rio Parelheiros recebe entre 2 a 4 m³/s das águas do Braço Taquacetuba do Reservatório Billings. No período entre 1995 e 2005, a vazão natural média do reservatório foi estimada em 12,3 m³/s de acordo com o Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental - PDPA.⁴⁹

O PDPA do Governo do Estado de São Paulo⁴⁹ afirma que a represa do Guarapiranga foi construída em meados de 1906 e 1909, para regularizar a vazão do Rio Tietê e para garantir a geração de energia elétrica na Usina de Santana de Parnaíba. Com um perímetro de 85 km, área de espelho d'água de 26,6 km², volume de 180 hm³ e profundidades média e máxima de 5,7 m e 13 m, respectivamente. Localizada a 23°43" latitude sul, 46°32" longitude oeste de Greenwich e em altitude de 740 m. A partir de 1928 passou a ser usado como manancial para abastecimento público da cidade de São Paulo e atualmente é responsável pelo abastecimento de aproximadamente 20% da região metropolitana de São Paulo, isto é, 3,7 milhões de pessoas residentes nos bairros de Butantã, Campo Limpo, Morumbi e Santo Amaro na capital e no município de Taboão da Serra, através do fornecimento de 14 m³/s para o Sistema Produtor Guarapiranga, constituído pela estação de tratamento de água Alto da Boa Vista, operada pela SABESP.

Coleta das amostras de sedimento

Os seis pontos de coleta foram escolhidos observando o acesso aos usuários e quantidade de frequentadores da represa do Guarapiranga às chamadas “prainhas”, onde buscam seu lazer e momento de descanso com suas famílias, permanecendo vulneráveis aos efeitos do contato dérmico ou inalado com o metal pesado presente no sedimento, Figura 5.



Figura 5 – Pontos de coleta de amostras de sedimentos na represa do Guarapiranga 2016.

Fonte: <https://www.google.com.br/maps>

As amostras RGU 01 e RGU 02 de 0,500 Kg cada, da represa do Guarapiranga foram coletadas em triplicatas durante o mês de junho de 2016, por amostragem direta dos sedimentos de margem, até a camada de 20 cm de profundidade no substrato, utilizando a pá estreita e transportada em bolsas plásticas herméticas.

RGU 01: ATI Parque da Barragem, Orla Guarapiranga situado a Avenida João de Barros com Avenida Atlântica, bairro do Socorro no município de São Paulo, portão de acesso pela Avenida Dr. Caetano Petralia Sobrinho junto ao limite divisório do parque com o São Paulo Yacht Club, nas coordenadas geográficas 23°40'36.9"S e 46°43'03.5"W. Figuras 6 e 7.

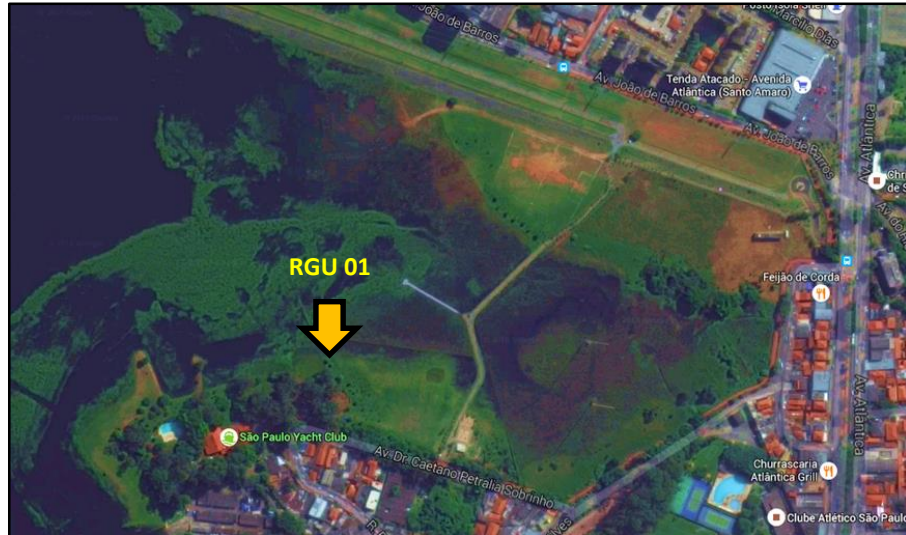


Figura 6 – Ponto de coleta de amostras de sedimento RGU 01.

Fonte: <https://www.google.com.br/maps>



Figura 7 – Momento da coleta de amostras de sedimento RGU 01.

Fonte: jbpgracia, 2016.

RGU 02: Próximo ao Clube de Campo do Castelo situado a Avenida Alcindo Ferreira no bairro Interlagos no município de São Paulo as margens da represa do Guarapiranga, ao lado dos campos de futebol, nas coordenadas geográficas 23°43'01.0"S e 46°42'43.0"W. Figuras 8 e 9.



Figura 8 – Ponto de coleta de amostras de sedimento RGU 02.

Fonte: <https://www.google.com.br/maps>



Figura 9 – Momento da coleta de amostras de sedimento RGU 02.

Fonte: jbpgracia, 2016.

As amostras RGU 03, RGU 04, RGU 05 e RGU 06 de 0,500 Kg cada, da represa do Guarapiranga foram coletadas em triplicatas durante o mês de dezembro de 2016, por amostragem direta dos sedimentos de margem seguindo a mesma conduta, procedimento e justificativa dos pontos de coleta descritos anteriormente.

RGU 03: Barragem do Rio Guarapiranga, ao lado do ponto da captação de água da SABESP destinada à unidade de tratamento do Alto da Boa Vista, nas coordenadas geográficas 23°40'18.7"S e 46°43'31.6"W. Figuras 10 e 11.

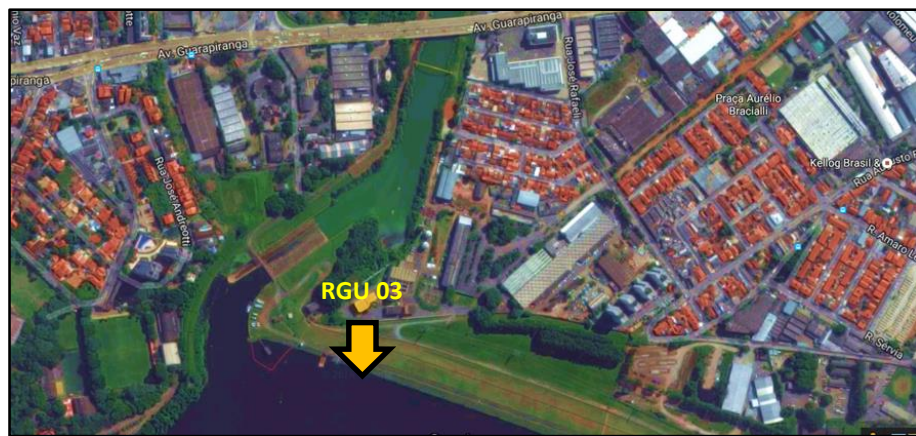


Figura 10 – Ponto de coleta de amostras de sedimento RGU 03.

Fonte: <https://www.google.com.br/maps>



Figura 11 – Momento da coleta de amostras de sedimento RGU 03.

Fonte: jbp garcia, 2016.

RGU 04: Defronte ao heliponto da polícia militar do estado de São Paulo no posto de bombeiros de salvamento aquático, nas coordenadas geográficas 23°41'56.4"S e 46°42'58.1"W. Figuras 12 e 13.



Figura 12 – Ponto de coleta de amostras de sedimento RGU 04.

Fonte: <https://www.google.com.br/maps>

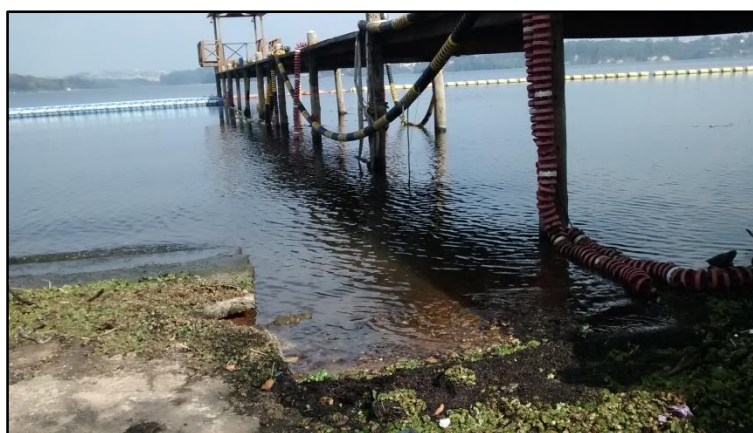


Figura 13 – Momento da coleta de amostras de sedimento RGU 04.

Fonte: jbpgracia, 2016.

RGU 05: Rua Açucena do Campo no bairro Praia Azul no final da Estrada do Riviera acesso a prainha, nas coordenadas geográficas 23°42'01.4"S e 46°44'09.1"W. Figuras 14 e 15.

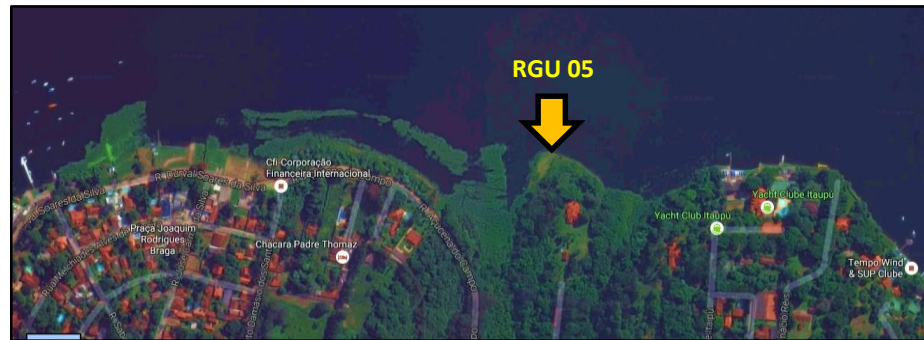


Figura 14 – Ponto de coleta de amostras de sedimento RGU 05.

Fonte: <https://www.google.com.br/maps>



Figura 15 – Momento da coleta de amostras de sedimento RGU 05.

Fonte: jbp-garcia, 2016.

RGU 06: Ao lado do playground infantil dentro do Parque Ecológico do Guarapiranga paralelo a Rua Água da Figueira, nas coordenadas geográficas 23°42'00.8"S e 46°44'52.5"W. Figuras 16 e 17.



Figura 16 – Ponto de coleta de amostras de sedimento RGU 06.

Fonte: <https://www.google.com.br/maps>



Figura 17 – Momento da coleta de amostras de sedimento RGU 06.

Fonte: jbpgracia, 2016

Preparo das amostras de sedimento

Em laboratório na Universidade Santo Amaro em São Paulo, as amostras foram secas à temperatura ambiente durante três dias e, em seguida, destorroadas com auxílio de martelo de borracha, posteriormente peneiradas através de malha de aço de 0,5 mm. Sofreram digestão ácida em banho-maria com ácido nítrico e ácido clorídrico ambos concentrados, conforme descrito: procedeu-se a pesagem de 0,5 g de cada amostra em balança analítica, acondicionadas em cadinho de porcelana com a adição de 9 mL de ácido nítrico e 3 mL de ácido clorídrico concentrados, levando ao banho-maria por 90 minutos.

Após 30 minutos de repouso obteve-se seu resfriamento, acondicionado em balão volumétrico de 50 ml, completando com água deionizada o volume total. Após filtragem em papel Micropore® 0,45 µm millipore, as soluções foram enviadas para a leitura em espectrômetro de emissão atômica, conforme descrito no trabalho de Moraes e Horn.³⁹

Determinação da concentração de metais pesados

Os metais pesados (Pb, Hg e Cd) das amostras de sedimentos foram determinados por espectrômetro de emissão atômica de plasma (ICP 03), marca Varian, modelo Vista MPX, através do método ASTM D 1976: 2012 – Standard Test Method for Elements in Water by Inductively-Coupled Argon Plasma Atomic Emission Spectroscopy. (Determinação de metais em água e efluentes por espectrometria de plasma – procedimento CQuiM-LAQ-PE-QI-018 Rev. 13 de 28.01.2016), nos laboratórios do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT em São Paulo e Instituto de Oceanografia - IO da USP. Cada metal medido segundo os valores orientadores para solo implícitos na Figura 1.¹⁶

Valores orientadores de qualidade de sedimento utilizados no estudo

Nos estudos de Quináglia⁵⁰, os sedimentos atuam como reservatórios de agentes contaminantes para o meio ambiente, interferindo e acumulando substâncias tóxicas para os ecossistemas aquáticos. Muitas destas substâncias formam associações com o material particulado sendo incorporados nos bancos de sedimentos, agindo como

fontes de longa duração dessas substâncias para o meio aquoso. Os sedimentos contaminados apresentam potencial perigo para os organismos aquáticos de águas continentais, marinhas e para todos os ecossistemas adjacentes. Tomando como base esta situação, muitas agências adotaram valores guias, critérios ou os chamados valores orientadores de qualidade de sedimentos – SQGs (sediment quality guidelines), valores numéricos que resumem informações relacionadas aos níveis de concentração de poluentes/agentes tóxicos no sedimento e quaisquer efeitos adversos à biota resultante da exposição a esses agentes contaminantes. Esses valores numéricos são denominados de valores naturais ou basais de concentração de substâncias químicas, background em inglês, são usados como ferramenta interpretativa para distinguir a provável origem dos metais, sendo natural ou antrópica. Os valores orientadores, denominação usual no Brasil, são utilizados em avaliação inicial para determinação da presença de um contaminante em níveis tóxicos, considerado um excelente indicador para áreas contaminadas e a presença de contaminantes em locais específicos, fornecendo orientação quantitativa em estudos de avaliação para as tomadas de decisões nas questões de remediação, disposição, monitoramento e outras medidas. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente⁴⁶ os valores orientadores de qualidade de sedimento estabelecidos pelo Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 1995)⁵¹ (Figura 18), dividem-se em dois níveis: o mais baixo, denominado TEL (threshold effect level) e o mais alto, denominado PEL (probable effect level), delimitam intervalos de probabilidade de ocorrência de efeitos biológicos adversos. Abaixo do menor nível espera-se que raramente seja observado algum efeito adverso e acima do maior nível espera-se observar algum efeito adverso com maior frequência. Segundo Guimarães⁵² estes valores orientadores de qualidade de sedimento do CCME são utilizados para estudos de toxicidade e para avaliação da qualidade de sedimentos, tendo como objetivo investigar e compreender as consequências da presença de substâncias químicas em quantidades que configurem risco à saúde humana e à biota aquática.

Canadian Council
of Ministers
of the Environment

CCME

Le Conseil canadien
des ministres
de l'environnement

Users are advised to consult the Canadian Environmental Quality Guidelines introductory text, factsheet, and/or protocols for specific information and implementation guidance pertaining to each environmental quality guideline.

		Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life					
		Freshwater			Marine		
		Concentration (µg/kg dry weight)	Concentration (µg/kg dry weight)	Date	Concentration (µg/kg dry weight)	Concentration (µg/kg dry weight)	Date
Chemical name	Chemical groups	ISQG	PEL		ISQG	PEL	
Cadmium CASRN 7440439	Inorganic Metals	600	3500	1997	700	4200	1997
Copper	Inorganic Metals	35 700	197 000	1998	18 700	108 000	1998
Lead	Inorganic Metals	35 000	91 300	1998	30 200	112 000	1998
Mercury CASRN 7439976	Inorganic Metals	170	486	1997	130	700	1997
Zinc	Inorganic Metals	123 000	315 000	1998	124 000	271 000	1998

Page 1

Page 1

Figura 18 – Alguns valores orientadores de qualidade de sedimento estabelecidos pelo Canadian Council of Ministers of the Environment.⁵¹

Os valores orientadores da Resolução nº 344 de 25 de março de 2004 do CONAMA⁵³ que estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, são observados neste trabalho para obtenção comparativa dos resultados (Figura 19),⁵³ foram elaborados usando como referencial as publicações oficiais canadenses e norte-americanas, entre eles está a Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME).

O artigo 7º da referida resolução em determinados itens fazem menção aos critérios técnicos a serem observados para o processo de licenciamento ambiental com a presença de chumbo, mercúrio e cádmio no sedimento, objeto de estudo deste trabalho:

Art. 7º O material a ser dragado poderá ser disposto em águas jurisdicionais brasileiras, de acordo com os seguintes critérios a serem observados no processo de licenciamento ambiental:

I - não necessitará de estudos complementares para sua caracterização:

c) material cuja concentração de metais, exceto mercúrio, cádmio, chumbo ou arsênio, estiver entre os níveis 1 e 2.

II - o material cuja concentração de qualquer dos poluentes exceda o nível 2 somente poderá ser disposto mediante prévia comprovação técnico-científica e monitoramento do processo e da área de disposição, de modo que a biota desta área não sofra efeitos adversos superiores àqueles esperados para o nível 1, não sendo aceitas técnicas que considerem, como princípio de disposição, a diluição ou a difusão dos sedimentos do material dragado.

III - o material cuja concentração de mercúrio, cádmio, chumbo ou arsênio, ou de PAHs (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos) do Grupo A estiver entre os níveis 1 e 2, ou se a somatória das concentrações de todos os PAHs estiver acima do valor correspondente a soma de PAHs, deverá ser submetido a ensaios ecotoxicológicos, entre outros testes que venham a ser exigidos pelo órgão ambiental competente ou propostos pelo empreendedor, de modo a enquadrá-lo nos critérios previstos nos incisos I e II deste artigo.

POLUENTES		NÍVEIS DE CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL A SER DRAGADO (em unidade de material seco)			
		ÁGUA DOCE		ÁGUA SALINA-SALOBRA	
		Nível 1	Nível 2	Nível 1	Nível 2
Metais Pesados e Arsênio (mg/kg)	Arsênio (As)	5,9 ¹	17 ¹	8,2 ²	70 ²
	Cádmio (Cd)	0,6 ¹	3,5 ¹	1,2 ²	9,6 ²
	Chumbo (Pb)	35 ¹	91,3 ¹	46,7 ²	218 ²
	Cobre (Cu)	35,7 ¹	197 ¹	34 ²	270 ²
	Cromo (Cr)	37,3 ¹	90 ¹	81 ²	370 ²
	Mercúrio (Hg)	0,17 ¹	0,486 ¹	0,15 ²	0,71 ²
	Níquel (Ni)	18 ³	35,9 ³	20,9 ²	51,6 ²
	Zinco (Zn)	123 ¹	315 ¹	150 ²	410 ²

Figura 19 – Níveis de classificação do material a ser dragado. (CONAMA 2004) ⁵³

RESULTADOS

Foram investigadas as concentrações de metais pesados: Pb (chumbo), Hg (mercúrio) e Cd (cádmio) no sedimento às margens da represa do Guarapiranga em seis pontos considerados críticos pela vulnerabilidade aos usuários e frequentadores e seus resultados apresentados no Quadro 3, ATI Parque da Barragem, Orla Guarapiranga junto ao limite divisório com o São Paulo Yatch Club; próximo ao Clube de Campo do Castelo ao lado dos campos de futebol; Barragem do Rio Guarapiranga ao lado do ponto de captação de água da SABESP; Defronte ao heliponto da polícia militar do estado de São Paulo no posto de bombeiros de salvamento aquático; Rua Açucena do Campo no bairro Praia Azul no final da Estrada do Riviera acesso a prainha; no Parque Ecológico do Guarapiranga ao lado do playground infantil paralelo a Rua Água da Figueira, área frequentada intensamente por bombeiros, moradores, usuários e visitantes.

Todas as amostras investigadas, sem exceção, apresentaram valores não significativos para presença de Hg (mercúrio), variando de 0,00000541mg/Kg à 0,00000000 mg/Kg. Figura 20.

Quanto a presença de Cd (cádmio) investigado, a amostra RGU 1 obteve resultado de 1,4 mg/Kg, número acima dos limites dos valores orientadores da CETESB¹⁶, valor de referência de qualidade (VRQ) maiores que 0,5 mg/kg e valor de prevenção (VP) de 1,3 mg/Kg para solo. Excede os valores de sedimento em água fresca de 0,6 mg/Kg TEL do CCME⁵¹ e Resolução nº 344 de 25 de março de 2004 do CONAMA⁵¹. Figura 21.

As amostras verificadas quanto a presença de Pb (chumbo), RGU 1 com resultante igual a 19,5 mg/Kg acima do valor de referência de qualidade da CETESB¹⁶ e abaixo dos valores TEL do CCME⁵¹ e nível 1 do CONAMA.⁵³ Figura 22.

Quadro 3 – Resultado das amostras coletadas e valores orientadores de qualidade de sedimento em mg/Kg.

Substância inorgânica (Metal pesado)	Média resultante das amostras coletadas - mg/Kg						Valores orientadores de qualidade de sedimento mg/Kg					
							CETESB 2014		CCME 1995		CONAMA 2004	
	RGU 01	RGU 02	RGU 03	RGU 04	RGU 05	RGU 06	VRQ	VP	TEL	PEL	Nível 1	Nível 2
Chumbo (Pb)	19,5	16	13	13	9,98	16	17	72	35	91,3	35	91,3
Mercúrio (Hg)	0,0000871	0,00000541	0	0	0	0	0,05	0,5	0,17	0,486	0,17	0,486
Cádmio (Cd)	1,4	0,33	0,99	0,99	0,99	0,99	<0,5	1,3	0,6	3,5	0,6	3,5

Legenda:

VRQ - valor de referência de qualidade.

VP - valor de prevenção

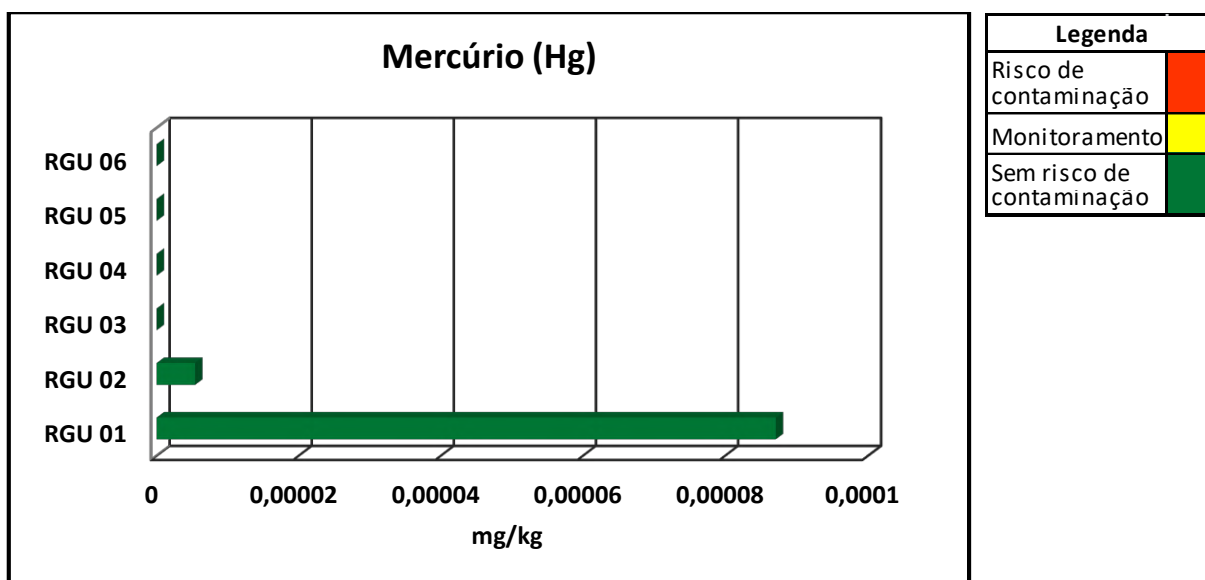
TEL - threshold effect level

PEL - probable effect level

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

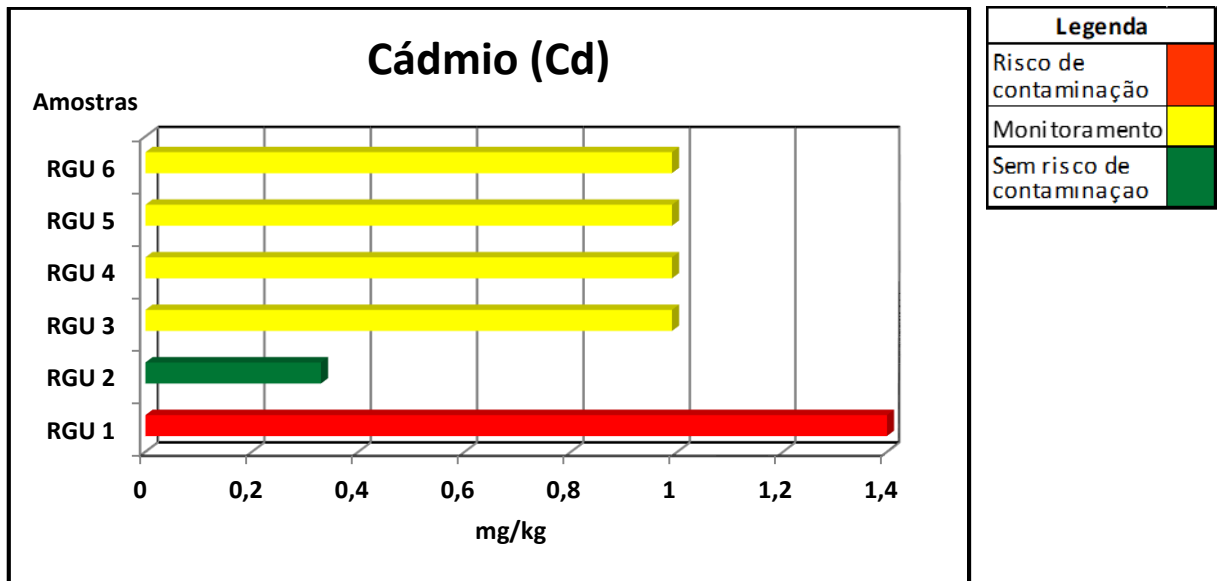
CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente



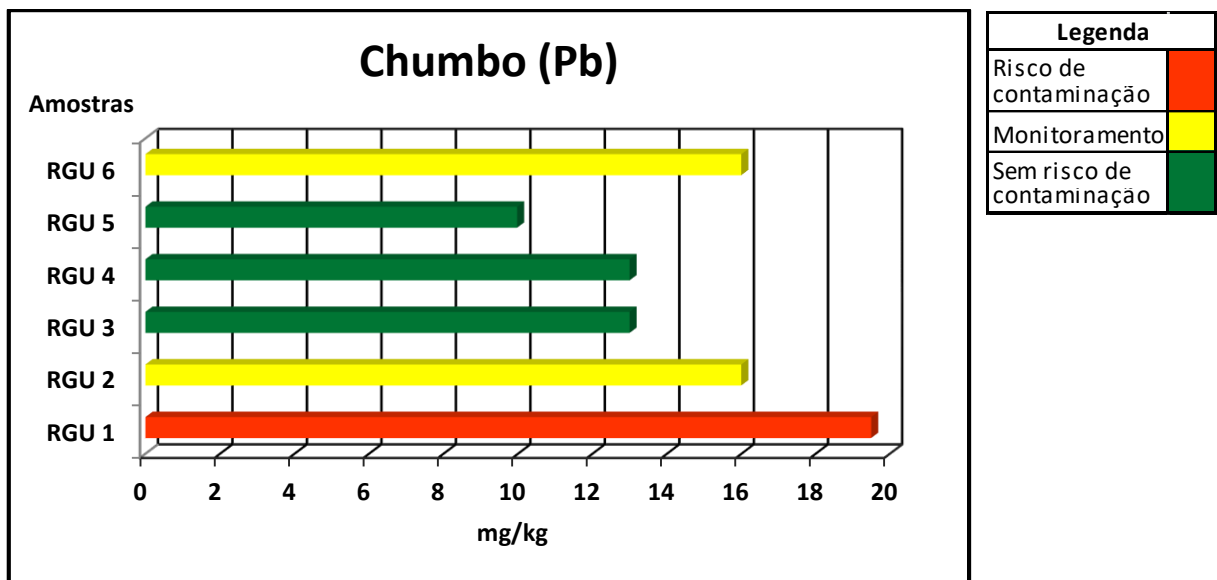
Substância inorgânica (Metal pesado)	Média resultante das amostras coletadas - mg/Kg						Valores orientadores de qualidade de sedimento - mg/Kg					
							CETESB 2014		CCME 1995		CONAMA 2004	
	RGU 01	RGU 02	RGU 03	RGU 04	RGU 05	RGU 06	VRQ	VP	TEL	PEL	Nível 1	Nível 2
Mercúrio (Hg)	0,0000871	0,00000541	0	0	0	0	0,05	0,5	0,17	0,486	0,17	0,486

Figura 20: Presença de Hg (mercúrio) nas amostras coletadas.



Substância inorgânica (Metal pesado)	Média resultante das amostras coletadas - mg/Kg						Valores orientadores de qualidade de sedimento - mg/Kg					
	RGU 01	RGU 02	RGU 03	RGU 04	RGU 05	RGU 06	CETESB 2014		CCME 1995		CONAMA 2004	
Cádmio (Cd)	1,4	0,33	0,99	0,99	0,99	0,99	VRQ	VP	TEL	PEL	Nível 1	Nível 2
							<0,5	1,3	0,6	3,5	0,6	3,5

Figura 21: Presença de Cd (cádmio) nas amostras coletadas.



Substância inorgânica (Metal pesado)	Média resultante das amostras coletadas - mg/Kg						Valores orientadores de qualidade de sedimento - mg/Kg					
	RGU 01	RGU 02	RGU 03	RGU 04	RGU 05	RGU 06	CETESB 2014		CCME 1995		CONAMA 2004	
Chumbo (Pb)	19,5	16	13	13	9,98	16	VRQ	VP	TEL	PEL	Nível 1	Nível 2
							17	72	35	91,3	35	91,3

Figura 22: Presença de Pb (chumbo) nas amostras coletadas.

DISCUSSÃO

As amostras resultantes de Hg (mercúrio) ficam caracterizadas desta forma não problemático para os efeitos de valores orientadores de qualidade de sedimento e efeitos nocivos à saúde pública.

De acordo com o parâmetro CETESB¹⁶, o valor resultante de Cd (cádmio) na amostra RGU 1 é preocupante no tocante a medidas corretivas a serem tomadas, pois seu efeito contaminante poderá se tornar irreversível junto às questões ambientais e de saúde pública, acarretando ao indivíduo contaminado a falência renal por absorção dérmica⁴³ de sedimento no fundo e nas margens do corpo d'água³⁸, inalação de partículas em suspensão pelas vias respiratórias e ingestão pelo trato gastrointestinal⁴³. A amostra RGU 2 obteve resultado 0,33 mg/Kg, número abaixo do valor de referência da CETESB¹⁶, do TEL do CCME⁵¹ e nível 1 do CONAMA⁵³, não resultante preocupante para as questões de saúde pública. Entretanto as amostras RGU 3, RGU 4, RGU 5 e RGU 6 apresentaram valores iguais a 0,99 mg/Kg acima do valor de referência de qualidade da CETESB,¹⁶ TEL do CCME⁵¹ e nível 1 do CONAMA⁵³ porém abaixo dos números do valor de prevenção da CETESB,¹⁶ PEL do CCME⁵¹ e nível 2 do CONAMA⁵³ consequentemente preconizando um estado de atenção quanto a quaisquer mudanças decorrentes desta data, prevalecendo um monitoramento com certa constância.

A presença de Pb (chumbo) na amostra RGU 1 com resultante igual a 19,5 mg/Kg, chama atenção quanto ao monitoramento mais efetivo de quaisquer elevações deste metal embasado nos parâmetros da CETESB¹⁶, preconizando qualquer alteração para fins de saúde pública, absorvido por inalação de pó em suspensão ou através do trato gastrointestinal provocando alterações neurológicas e agindo como iniciador e promotor na formação de neoplasia³⁵ do indivíduo contaminado. As amostras resultantes RGU 2 e RGU 6 com valores de 16 mg/kg, preconizam um estado de atenção com monitoramento mais efetivo ao valor de referência de qualidade da CETESB¹⁶, pois trata-se de um metal extremamente patogênico quanto as questões ambientais e de saúde pública. Todavia as amostras RGU 3, RGU 4 e RGU 5 apresentaram resultantes igual ou abaixo de 13 mg/Kg, parâmetros abaixo dos estabelecidos pela CETESB¹⁶, CCME⁵¹ e CONAMA⁵³ não preconizando nenhum estado de atenção ou medida corretiva.

A presença de chumbo acima ou muito próximos dos valores de referência das amostras RGU 1, RGU 2 e RGU 6 estão inseridos em locais mais acessíveis aos usuários dos parques investigados e áreas públicas com maior frequência de usuários, podendo se tornar um agravo para a saúde pública comprometendo seu atendimento e tratamento de seus efeitos contaminantes pois age como iniciador e promotor na formação de neoplasia e outras patologias importantes interferindo diretamente no processo reprodutivo humano⁴², seja por inalação do pó em suspensão ou a ingestão de quaisquer alimentos.

Em todas as amostras coletadas a presença do cádmio se torna evidente, independentemente de ser acima ou próximo dos valores de referência, pois em seu contexto de saúde pública colocam em risco os usuários e frequentadores destas áreas e se tratando deste metal uma exposição a baixas concentrações por um período prolongado pode trazer patologias crônicas a nível pulmonar, renal, cardiovascular e ósseo. Medidas remediadoras devem ser propostas o mais breve possível, pois quanto maior o tempo de espera maior é o acúmulo deste metal no sedimento ali existente e maior é o risco de exposição e contaminação. Torna-se preocupante a exposição do ser humano aos metais pesados quando em contato com o meio ambiente, especialmente pelo ar, poeiras, solo, água, sedimentos, biota e alimentos por vias respiratórias, cutâneas, digestivas e placentárias.³⁶ O usuário fica muito exposto a quaisquer áreas descritas neste trabalho, pois falta-lhe o conhecimento e a orientação dos órgãos públicos competentes de provável área contaminada com a presença deste metais, inalando as poeiras dos sedimentos secos ou absorvendo dermicamente os compostos tóxicos existentes nos sedimentos semissólidos às margens ou de fundo da represa do Guarapiranga durante a sua estadia de lazer.

A contaminação do sedimento por agentes agressores como compostos orgânicos, inorgânicos e metais pesados por ações antrópicas, chamam a atenção em decorrência da degradação da água e sedimento. A partir desta situação, surgiu o conceito de fitorremediação, descrevendo a utilização de vegetais para amenização ou extração do composto contaminante. Entretanto o processo de fitorremediação seja um conceito recente e que necessita mais estudos, observam-se resultados satisfatórios na remediação de solos e águas contaminadas.

Tavares⁵⁴ afirma que com a evolução das tecnologias para tratamento de agentes contaminantes no solo e seu elevado custo, soluções naturais vem se destacando

como medidas remediadoras e com resultados satisfatórios e investimento financeiro mais interessante. Há um reconhecimento comprovado de que processos de remediação natural como a biorremediação e fitorremediação, podem contribuir de maneira significativa no controle das plumas de contaminação no solo e águas subterrâneas, sendo economicamente mais viáveis que as outras tecnologias empregadas, conforme demonstrada no Quadro 4.

Quadro 4 – Custo da fitorremediação comparada com outras tecnologias.

Tipo de Tratamento	Custo Variável/ton. (US\$)
Fitorremediação	10 - 35
Biorremediação in situ	50 - 150
Aeração no solo	20 - 200
Lavagem do solo	80 - 200
Solidificação	240 - 340
Incineração	200 - 1500

Fonte: SCHNOOR (1997)⁵⁵

CONCLUSÕES

Observou-se a contaminação de Cd (cádmio) acima dos valores permitidos na amostra RGU 01 do sedimento coletado no ATI Parque da Barragem, Orla Guarapiranga situado a Avenida João de Barros com Avenida Atlântica, bairro do Socorro no município de São Paulo, portão de acesso pela Avenida Dr. Caetano Petralia Sobrinho junto ao limite divisório do parque com o São Paulo Yatch Club, requerendo procedimentos de monitoramento e correção nesta região. Quanto a presença de Pb (chumbo) na amostra RGU 01, supra identificada, mostrou valores acima e próximos do valor de referência de qualidade que devem ser monitorados. Não foi constatada a contaminação por Hg (mercúrio) no sedimento das amostras coletadas.

As concentrações dos metais Cd (cádmio) e Pb (chumbo) que excederam os limites nas amostras coletadas comprovam a necessidade de monitoramento contínuo deste sistema e evidenciam a ação antrópica direta nas condições da represa do Guarapiranga.

REFERÊNCIAS

1. Brasil. Agência Nacional de Águas (ANA). Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional. Brasília: ANA; 2010. 2 v. [acesso em 12 abr 2016]. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/downloads/atlas/Resumo%20Executivo/Atlas%20Brasil%20-%20Volume%201%20-%20Panorama%20Nacional.pdf>.
2. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). Espaço das Águas. Fundação Patrimônio Histórico da Energia e Saneamento. Dossiê – Sistema Guarapiranga. São Paulo; 2008. [acesso em 12 abr 2016]. Disponível em: http://memoriasabesp.sabesp.com.br/acervos/dossies/pdf/9_sistema_guarapiranga.pdf.
3. Dicionário Ilustrado Tupi Guarani. Guarapiranga. 2008. [acesso em 13 abr 2016]. Disponível em: <http://www.dicionariotupiguarani.com.br/dicionario/guarapiranga/>.
4. Carolino CR. Avaliação da lei específica da área de proteção e recuperação de mananciais da bacia hidrográfica do Guarapiranga: contribuições para o aprimoramento da articulação institucional à proteção de mananciais [dissertação]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2015. [acesso em 23 abr 2016]. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-26112015-105013/es.php>.
5. Marques JJGSM, Curi N, Shulze DG. Trace elements in cerrado soils. In Alvarez VH; Shaefer CGR; Barros NF; Mello JW; Costa LM. Tópicos em Ciência do solo. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2002. cap 3. Pag 103-142
6. Ferreira AP, Horta MAP e Cunha CLN. Avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento, na água e nos órgãos de *Nycticorax nycticorax* (Garça-da-noite) na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. 2010. Revista da Gestão Costeira Integrada 10(2):229-241 (2010) Journal of Integrated Coastal Zone Management 10(2):229-241 (2010). Portugal. [acesso em 15 mai 2016]. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/pdf/RGCI10f2.pdf>

7. Ferreira JG. Avaliação de parâmetros ambientais em aterros sanitários – estudo de caso. Taubaté 2006. [acesso em 15 mai 2016]. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp005033.pdf>
8. Jesus HC, Costa EA, Mendonça ASF e Zandonade E. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuário da Ilha de Vitória – ES. Revista Química Nova, Vol. 27, No. 3, 378-386, 2004. [acesso em 15 mai 2016]. Disponível, em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v27n3/20162.pdf>
9. Empresa brasileira de comunicação – EBC. Volume de Guarapiranga chega a 20%. 03 de julho de 2014. [acesso em 15 mai 2016]. Disponível em: <http://www.ebc.com.br/noticias/brasil/2014/07/volume-de-guarapiranga-chega-a-20>
10. Diretoria metropolitana - M. Boletim dos mananciais. Departamento de recursos hídricos metropolitanos – MAR. Unidade de negócio de produção de água da metropolitana – MA. Divisão de gestão e desenvolvimento operacional de recursos hídricos metropolitanos – MARG. Condições de armazenamento dos mananciais que abastecem a RMSP. 22 de maio de 2016. [acesso em 22 mai 2016]. Disponível em: http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/boletim/2016/boletim_mananciais_22mai16.pdf
11. PDPA (Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental) Guarapiranga. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. CPLA. 2011. [acesso em 16 mai 2016]. Disponível em: <http://pdpa.cobrape.com.br/Arquivos/Pdpas/PDPA-Guarapiranga.pdf>
12. Martins CR. Escola politécnica da universidade de São Paulo. Departamento de engenharia hidráulica e sanitária. PHD 2537– Águas em ambientes urbanos. Programa mananciais. Seminário. 03.11.2008. [acesso em 15 mai 2016]. Disponível em: www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=3044

13. Secretaria de saneamento e energia do estado de São Paulo – SSE. Banco internacional para reconstrução e desenvolvimento – BIRD. Relatório de avaliação ambiental dos componentes do programa: programa mananciais. São Paulo; 2009. [acesso em 23 abr 2016]. Disponível em: http://www.saneamento.sp.gov.br/mananciais/RAA_jun09/RAA%20revJun09.pdf.

14. Andre HAP e Vilola PD. Saneamento básico: Problemas sociais em áreas de mananciais na represa do Guarapiranga São Paulo – SP. UNAR – Centro universitário de Araras Dr. Edmundo Ulson. Curso de bacharelado em engenharia civil. 2014. [acesso em 22 mai 2016]. Disponível em: http://idsestudantes.org/tccsdeformados/trabalhos/tcc_helio_andre.pdf

15. Ribeiro, MAC. Contaminação do solo por metais pesados. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. Faculdade de Engenharia. Engenharia do Ambiente. Portugal. Lisboa, 2013. [acesso em 22 mai 2016]. Disponível em: <http://recil.grupolusofona.pt/bitstream/handle/10437/4770/TeseFinalMarcosRibeiro27-01-14.pdf?sequence=1>

16. Companhia ambiental do estado de São Paulo (CETESB). Decisão de Diretoria nº 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014, em substituição aos Valores Orientadores de 2005, e dá outras providências. Diário Oficial [do] Estado de São Paulo, Poder Executivo, São Paulo, v. 124, nº. 36, 21 fev. 2014. Seção 1, p. 53.

17. Turner RE, Rabalais NN. Linking landscape and water quality in the Mississippi river basin for 200 years. Bioscience. 2003; 53(6):563-572.

18. Blanchoud H, Moreau-Guigona E, Farrugiab F, Chevreuil M, Mouchelb JM. Contribution by urban and agricultural pesticide uses to water contamination at the scale of the Marne watershed. Sci Total Environ. 2007 Apr; 375(1-3):168-179.

19. Galbraith LM, Burns CW. Linking land-use, water body type and water quality in southern New Zealand. Landscape Ecology. 2007 Feb; 22(2):231-241.

20. Gobel P, Dierkes C, Coldewey WG. Storm water runoff concentration matrix for urban áreas. J. Contam Hydrol. 2007; 91(1-2):26-42.

21. Bedore PD, David MB, Stucki JW. Mechanisms of phosphorus control in urban streams receiving sewage effluent. Water Air Soil Pollut. 2008 June; 191(1):217-229.

22. Miserendino ML, Brand C, Di Prinzio CY. Assessing urban impacts on water quality, benthic communities and fish in streams of the Andes Mountains, Patagonia (Argentina). Water, Air, and Soil Pollution. 2008 Oct;194(1):91-110.

23. Tucci CEM. Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil. REGA, Rev Gest Agua Am Lat. 2004 jan/jun; 1(1):59-73. Disponível em: https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/2ad4eeedd7a7c343e9e3761021390984_7960253b5475402462f2cae2b731c23f.pdf.

24. Cunha DGF, Grull D, Damato M, Blum JRC, Eiger S, Lutti JE and Mancuso PCS. Contiguous urban rivers should not be necessarily submitted to the same management plan: the case of Tietê and Pinheiros Rivers (São Paulo-Brazil). 2009. [acesso em 09 set 2013, 20 mar 2016 e 22 mai 2016]
Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/aabc/v83n4/31.pdf>

25. Varis O, Biswas AK, Tortajada C e Lundqvist J. Megacities and water management. International journal of water resources development. V. 22, Issue 2, 2006 p.377-394. 2006. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07900620600684550>

26. Freitas JC. Avaliação da Alocasia macrorrhiza como fitorremediadora dos metais Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn. Universidade federal do Amazonas – UFAM, 2009. [acesso em 21 nov 2014] Disponível em: <http://gqa.ufam.edu.br/index.php/doutorado/fitorremediacao/43-josias-coriolano-de-freitas> [acesso em 22 mai 2016]. Disponível em: http://www.ifam.edu.br/legado/index.php?option=com_content&view=article&id=1071:planta-orelha-de-elefante-gigante-consegue-absorver-metais-pesados-do-solo&catid=3:noticias-reitoria&Itemid=373

27. Silva JF. Prospecção de plantas fitorremediadoras em solos contaminados por metais pesados. Universidade federal do Amazonas – UFAM, 2012. [acesso em 15 jun 2016]. Disponível em: <http://200.129.163.131:8080/bitstream/tede/3075/1/jose%20felicio.pdf>

28. Davies AO, Allison ME and Uyi HS. Bioaccumulation of heavy metals in water, sediment and periwinkle (*Tympanotonus fuscatus* var *radula*) from the Elechi Creek, Niger Delta. *African Journal of Biotechnology*, Vol. 5 (10), pp. 968-973. 2006. [acesso em 15 jun 2016]. Disponível em: <http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/42835/26403>

29. Bonai NC, Souza-Franco GM, Fogolari O, Mocelin DJC and Dal Magro J. Distribution of metals in the sediment of the Itá Reservoir, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensis*, 21(2): 245-250. 2009. Disponível em <http://www.ablimno.org.br/acta/pdf/v21n2a210204.pdf>

30. Bevilacqua JE, Silva IS, Lichtig J, Masini, JC. Extração seletiva de metais pesados em sedimentos de fundo do rio Tietê, São Paulo. *Quím Nova*. 2009. [acesso em 08 maio 2016]; 32(1):26-33. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n1/v32n1a05>.

31. Netto JMA e Parlatore AC. Técnica de abastecimento e tratamento de água. 3.ed. São Paulo: CETESB; 1987.

32. Companhia ambiental do estado de São Paulo (CETESB). Diretoria de controle e licenciamento ambiental. Texto explicativo: relação de áreas contaminadas e reabilitadas no estado de São Paulo. São Paulo: Cetesb; 2014. [acesso em 11 jan 2016] Disponível em: <http://areascontaminadas.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2013/11/texto-explicativo1.pdf>

33. Nakano V, Avila-Campos MJ. Metais pesados: um perigo eminente. 2002. [acesso em 30 mar 2016]. Disponível em: http://www.icb.usp.br/bmm/mariojac/index.php?option=com_content&view=article&catid=13%3Atemas-de-interesse&id=33%3Ametais-pesados-um-perigo-eminente&lang=br.

34. Santana GP, Barroncas PSR. Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na bacia do Tarumã-Açu Manaus – (AM). Acta Amaz. 2007 [acesso em 08 maio 2016]; 37(1):111-118. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672007000100013
35. Duarte RPS, Pasqual A. Avaliação do cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn) em solos, plantas e cabelos humanos. Energ Agric. 2000 [acesso em 08 maio 2016]; 15(1):46-58. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/242196709_AVALIACAO_DO_CADMIO_Cd_CHUMBO_Pb_NIQUEL_Ni_E_ZINCO_Zn_EM_SOLOS_PLANTAS_E_CABELOS_HUMANOS1:
36. Mendes R. Patologia do trabalho. 2ª ed. atual. e ampl. São Paulo: Atheneu, 2007. p.1664.
37. Ribeiro MAC. Contaminação do solo por metais pesados. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. Faculdade de Engenharia. Engenharia do Ambiente. Portugal. Lisboa, 2013. [acesso em 22 mai 2016]. Disponível em: <http://recil.grupolusofona.pt/bitstream/handle/10437/4770/TeseFinalMarcosRibeiro27-01-14.pdf?sequence=1>
38. Oga S, Camargo MMA, Batistuzzo JAO. Fundamentos de toxicologia. 3ª ed. São Paulo: Atheneu; 2008.
39. Moraes PPF e Horn AH. Teores dos metais pesados Cr, Cd e Zn em perfis de solos de veredas da bacia do rio do Formoso, município de Buritizeiro, Minas Gerais. GEONOMOS 18(2): 78 - 85. 2010. [acesso em 31 Mai 2016]. Disponível em: http://www.igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/2.5_Moraes&Horn_78_85.pdf
40. Adriano DC. Trace elements in the terrestrial environment. Springer Verlag, 533p. New York. 1986. Disponível em: <http://www.springer.com/us/book/9780387986784>

41. Faquin V. Nutrição mineral de plantas. 2005. Universidade Federal de Lavras UFLA. Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão – FAEPE Lavras – MG. [acesso em 03 jun 2016]. Disponível em: http://www.dcs.ufla.br/site/_adm/upload/file/pdf/Prof_Faquin/Nutricao%20mineral%20de%20plantas.pdf

42. Ruppenthal, JE. Toxicologia. Santa Maria – RS. 2013. Colégio Técnico Industrial da Universidade Federal de Santa Maria. [acesso em 13 out 2016]. Disponível em: http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos_seguranca/sexta_etapa/toxicologia.pdf

43. Rocha, AF. Cádmio, chumbo, mercúrio – A problemática destes metais pesados na saúde pública? 2008/2009. Faculdade de ciências da nutrição e alimentação. Universidade do Porto. [acesso em 04 mai 2016]. Disponível em: https://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/54676/4/127311_0925TCD25.pdf

44. Merhy, E.E. Introdução à saúde pública: prática técnica e social (os sentidos das ações de saúde). Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Departamento de medicina preventiva e social, Faculdade de ciências médicas. 2002. [acesso em 21 set 2016]. Disponível em: www.uff.br/saudecoletiva/professores/merhy/artigos-18.pdf

45. Costa, J.S.D., Victora, C.G. O que é “um problema de saúde pública”? Departamento de Medicina Social, Universidade Federal de Pelotas. Revista Brasileira de Epidemiologia. vol. 9 nº 1 São Paulo Março 2006 pag 144-151. [acesso em 21 set 2016]. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbepid/v9n1/13.pdf>

46. Brasil. Ministério do Trabalho. Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho. Portaria nº 24 de 29 de dezembro de 1994. [acesso em 03 nov 2016]. Disponível em: http://redsang.ial.sp.gov.br/site/docs_leis/st/st13.pdf

47. Brasil. Ministério do Trabalho. Norma Regulamentadora 7. [acesso em 02 nov 2016]. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR7.pdf>

48. Brasil. Ministério da Saúde. Portal da Saúde. Entenda o SUS. 2016. [acesso em 05 jun 2016]. Disponível em: <http://portalsaude.saude.gov.br/index.php/cidadao/entenda-o-sus>

49. PDPA (Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental) Guarapiranga. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. CPLA. 2011. [acesso em 16 Mai 2016]. Disponível em: <http://pdpa.cobrape.com.br/Arquivos/Pdpas/PDPA-Guarapiranga.pdf>
50. Quináglia GA. Caracterização dos níveis basais de concentração de metais de sedimentos do sistema estuarino da baixada santista. Universidade de São Paulo. Instituto de química. 2006. [acesso em 22 jun 2016]. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/46/46133/tde-09022007-133741/pt-br.php>
51. CEQG Chemicals. Canadian Environmental Quality Guidelines. [acesso em 05 jul 2016]. Disponível em: <http://st-ts.ccme.ca/en/index.html> e http://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/
52. Guimarães GM. Avaliação da concentração de metais e elementos traço em amostras de sedimento do reservatório Guarapiranga, São Paulo-SP, Brasil. Universidade de São Paulo. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. 2011. [acesso em 05 jul 2016]. Disponível em: www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-26082011-101237/
53. Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 344, de 25 de março de 2004. [acesso em 07 jul 2016]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=445>
54. Tavares SRL. Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos. Universidade federal do Rio de Janeiro. 2009. [acesso em 27 jun 2016]. Disponível em: <http://www.getres.ufrj.br/pdf/Tese%20Silvio%20Completa.pdf>
55. Schnoor JL. Phytoremediation. In: Technology Evaluation Report. TE-98-01. Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center. The University of Iowa. 1997. [acesso em 27 jun 2016]. Disponível em: https://clu-in.org/download/toolkit/phyto_e.pdf