UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS E ESTUDOS AMBIENTAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA ENGENHARIA AMBIENTAL

DENISE PARIZOTTO

Avaliação dos teores de Carbono Orgânico Total, granulometria e elementos químicos nos sedimentos em três reservatórios sofridos por pressões antrópicas no estado de São Paulo

São Carlos
2021

DENISE PARIZOTTO

Avaliação dos teores de Carbono Orgânico Total, granulometria e de elementos químicos de sedimentos em três reservatórios sofridos por pressões antrópicas no estado de São Paulo

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2021

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

PPARIa

Parizotto, Denise
Avaliação dos teores de Carbono Orgânico Total, granulometria e elementos quimicos nos sedimentos em três reservatórios sofridos por pressões antrópicas no estado de São Paulo / Denise Parizotto; orientador Frederico Fábio Mauad. São Carlos, 2021.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2021.

1. Sedimentos. 2. Reservatórios. 3. Pressões antrópicas. 4. Contaminação . I. Titulo.

Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **DENISE PARIZOTTO.**

Título da dissertação: "Avaliação dos teores de carbono orgânico total, granulometria e de elementos químicos de sedimentos em três reservatórios sofridos por pressões antrópicas no estado de São Paulo".

Data da defesa: 29/07/2021.

Comissão Julgadora	Resultado
Prof. Associado **Frederico Fabio Mauad** (Orientador) (Escola de Engenharia de São Carlos/EESC-USP)	**APROVADA**
Prof. Dr. **Carlos Barreira Martinez** (Universidade Federal de Itajubá/UNIFEI)	**APROVADA**
Dra. **Raquel Cardoso Machado** (Pós-Doutoranda/UFSCar)	**APROVADA**

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental:

Prof. Associado **Frederico Fabio Mauad**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Murilo Araujo Romero**

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Vanderli e Santo, pelo apoio, o amor e compreensão nos vários momentos que estive ausente.

AGRADECIMENTOS

À Deus que iluminou os meus caminhos até chegar esse momento, ressalto ainda diante de tantos ensinamentos e a pandemia que ainda vivemos.

Aos meus familiares, principalmente aos meus pais Vanderli e Santo e minha avó Delize são a minha base de valores essenciais e de apoio que carrego pra vida. Eterna gratidão por eu ser quem sou graças a vocês, minhas inspirações.

Ao meu noivo Júnior Melo Damian, companheiro de muitos anos. Obrigada por estar ao meu lado em todos os momentos, seu amor, incentivo, respeito, paciência foram e são fundamentais.

Ao meu orientador professor Dr. Frederico Fábio Mauad pelo acolhimento desde a primeira vez que cheguei em São Carlos, por me receber tão bem ainda como aluna especial. Obrigada por todo apoio e ajuda sempre que precisei nesses anos de orientação.

Ao Paulo Roberto Silva Bairros, amigo e colega de pesquisa que abriu uma porta para que eu viesse para São Carlos. Lembro até hoje em uma conversa quando eu ainda estava realizando as análises em laboratório de TCC sobre a indicação e oportunidade de realizar um mestrado em São Carlos. Sou muito grata!

A todos meus colegas do Núcleo de Hidrometria. os que já foram e os que ainda estão, por todos os momentos no Núcleo, os diálogos, os cafés e auxílios oferecidos.

Aos funcionários do Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais e da secretaria do Programa de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental pela prestatividade e serem solícitos nas informações e auxílios quando necessários.

A todos os meus grandes amigos, amigos de infância e de colégio, amigos de faculdade, amigos que encontrei no mestrado, amigos de São Carlos e de vida. Vocês são muito importantes, minha eterna gratidão por estarem presentes na minha vida e sempre apoiando de alguma forma. Ninguém chega a algum lugar sozinho, por isso vocês são muito valiosos, sintam-se todos abraçados.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científicos e Tecnológico – CNPQ pela concessão da bolsa de mestrado.

EPÍGRAFE

“Se eu vi mais longe, foi por estar nos ombros de gigantes”

Isaac Newton (1675)

RESUMO

PARIZOTTO, D. **Avaliação dos teores de Carbono Orgânico Total, granulometria e elementos químicos dos sedimentos de três reservatórios sofridos por pressões antrópicas no estado de São Paulo**. 2021. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

Contaminação de elementos identificados acima de concentrações naturais e partículas sólidas originárias de processos erosivos, são consequências de atividades antrópicas e naturais, à exemplo das contaminações naturais são as erosões de forma natural, e o descarte de ambas atividades têm destino nos solos e nos ambientes aquáticos. Essa pesquisa pretende avaliar o carbono orgânico total, as frações granulométricas e os elementos químicos dos sedimentos nos históricos de anos de três reservatórios potencialmente emergentes de pressões antrópicas. O estudo considerou a última década (período de 2010 a 2019) dos reservatórios Billings, Rio Grande e Guarapiranga extraídos publicamente da agência CETESB. Avaliou-se primeiramente as concentrações de carbono orgânico total por meio de comparação na literatura, as frações granulométricas foram classificadas texturalmente utilizando a ferramenta do *Triângulo Textural* e os elementos químicos foram comparados com outros estudos desenvolvidos e os valores de referência regional foram utilizados para os elementos. Seguidamente, foi calculado o índice de geoacumulação juntamente com os dados de referência de qualidade do solo da bacia do Alto Tietê da CETESB. Também foi levantada uma abordagem na literatura das áreas sobre a precipitação pluviométrica a partir dos dados extraídos publicamente da SABESP. Por fim, se estabeleceu possíveis relações nos pares de variáveis por correlação de Pearson utilizando o software estatístico *SAS*. Os resultados encontrados foram de concentrações altas do carbono orgânico total, as classes texturais predominantes foram argilosas e argilosas siltosa e os elementos químicos foram altos comparados e outros autores. No índice de geoacumulação alguns elementos foram considerados com contaminação elevadas e na abordagem de precipitação, a maior precipitação registrada foi de 25,8 mm, a única intensa precipitação capaz de causar o movimento de partículas para outros locais. Sobre as relações das variáveis os resultados estatísticos foram de altas amplitudes nos dados máximos e mínimos, os coeficientes de variação com o desvio padrão apresentaram valores distantes das médias, na maioria dos coeficientes de variação foi de 20 a 30% e superior a 30%. Os coeficientes de assimetria foram entre $0,15 < Cs < 1$ na maioria dos dados do reservatório Billings, acima de 1 nos reservatórios Rio Grande e Guarapiranga. Os coeficientes de curtose foram classificados em leptocúrtica e platicúrtica. Também a maioria dos dados apresentou uma distribuição normal por teste de Shapiro-Wilk. Nas matrizes de correlação de Pearson houve diferenças nos mesmos pares de

variáveis entre todos os reservatórios, mostrando que cada reservatório atende condições particulares. Por fim, conclui-se que o presente estudo foi importante na compreensão que as atividades antrópicas alteram significativamente esses ambientes preconizando que as concentrações acima dos naturais causam contaminação nesses ambientes.

Palavras-chave: Sedimentos. Reservatórios. Pressões antrópicas. Contaminação.

ABSTRACT

PARIZOTTO, D. **Evaluation of total organic carbon content, particle size and chemical elements of sediments from three reservoirs under anthropogenic pressure in the state of São Paulo.** 2021. Dissertation (Masters) – School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2021.

Contamination of elements identified above natural concentrations and solid particles originating from erosive processes are consequences of anthropogenic and natural activities, for example natural contaminations are erosions in a natural way, and the disposal of both activities ends up in soils and aquatic environments. This research aims to assess the total organic carbon, particle size fractions and chemical elements of sediments over the years of three reservoirs potentially emerging from anthropogenic pressures. The study considered the last decade (period from 2010 to 2019) of the Billings, Rio Grande and Guarapiranga reservoirs publicly extracted by the CETESB agency. Firstly, the total organic carbon concentrations were evaluated by comparison in the literature, the particle size fractions were texturally classified using the Texture Triangle tool and the chemical elements were compared with other studies developed and the regional reference values were used for the elements. Then, the geoaccumulation index was calculated together with the reference data of soil quality of the Alto Tietê basin of CETESB. An approach in the literature of the areas about rainfall was also raised from data extracted publicly from SABESP. Finally, possible relationships in pairs of variables by Pearson correlation were established using the SAS statistical software. The results found were high concentrations of total organic carbon, the predominant textural classes were clayey and silty clayey and the chemical elements were high compared and other authors. In the geoaccumulation index, some elements were considered to have high contamination and in the precipitation approach, the highest precipitation recorded was 25.8 mm, the only intense precipitation capable of causing the movement of particles to other locations. Regarding the relationships of the variables, the statistical results were of high amplitudes in the maximum and minimum data, the coefficients of variation with the standard deviation presented values far from the averages, in most of the coefficients of variation it was from 20 to 30% and above 30%. Asymmetry coefficients were between $0.15 < Cs < 1$ in most of the Billings reservoir data, above 1 in the Rio Grande and Guarapiranga reservoirs. The kurtosis coefficients were classified into leptokurtic and platykurtic. Also most of the data presented a normal distribution by the Shapiro-Wilk test. In the Pearson correlation matrices there were differences in the same pairs of variables between all reservoirs, showing that each reservoir meets particular

conditions. Finally, it is concluded that the present study was important in understanding that human activities significantly alter these environments, advocating that concentrations above the natural ones cause contamination in these environments.

Keywords: Sediments. Reservoirs. Anthropogenic pressures. Contamination.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Composição do solo 34
Figura 2- Escala de Atterbeg 36
Figura 3- Classes texturais 37
Figura 4- Triângulo textural simplificado (Embrapa) 37
Figura 5- Mapa de localização do reservatório Billings na RMSP 44
Figura 6- Imagem aérea do reservatório Billings e as ocupações entorno 45
Figura 7- Mapa de localização do reservatório Rio Grande (destacado no círculo preto) 46
Figura 8- Localização do reservatório Guarapiranga 47
Figura 9- Ocupação urbana no entorno do reservatório Guarapiranga 48
Figura 1 (Capítulo II) - Distribuição do COT no período de anos, nos reservatórios Billings (1a), Rio Grande (1b) e Guarapiranga (1c) 62
Figura 2 (Capítulo II) - Triâgulos texturais do reservatório Billings (1a) 63
Figura 3 (Capítulo II) - Triângulos texturais do reservatório Rio Grande (1b) 65
Figura 4 (Capítulo II)- Triângulos texturais do reservatório Guarapiranga (1c) 67
Figura 5 (Capítulo II) - Variação da concentração de diferentes elementos químicos no reservatório Billings (1a) entre os anos de 2010 a 2019 69
Figura 6 (Capítulo II) - Variação da concentração de diferentes elementos químicos no reservatório Rio Grande (1b) entre os anos de 2010 a 2019 71
Figura 7 (Capítulo II) - Variação da concentração de diferentes elementos químicos no reservatório Guarapiranga (1c) entre os anos de 2010 a 2019 73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 (Capítulo II) – Estações de monitoramento da CETESB nos três reservatórios..... 54
Tabela 2 (Capítulo II) – Dados referentes ao percentual de areia, silte, argila, COT (%), concentração elementar (mg/kg) e granulometria (%) obtidos no reservatório Billings..... 56
Tabela 3 (Capítulo II) – Dados referentes ao percentual de areia, silte, argila, COT (%), concentração elementar (mg/kg) e granulometria (%) obtidos no reservatório Rio Grande ... 57
Tabela 4 (Capítulo II) – Dados referentes ao percentual de areia, silte, argila, COT (%), concentração elementar (mg/kg) e granulometria (%) obtidos no reservatório Guarapiranga..58
Tabela 5 (Capítulo II) – Valores de referência das condição de qualidade do solo da bacia do Alto Tietê (UGRHI nº 6) de cada elemento utilizado 60
Tabela 6 (Capítulo II) – Classificação dos índices de lgeo 61
Tabela 7 (Capítulo II) – Valores encontrados no índice de geoacumulação (lgeo) dos elementos químicos e categorização do reservatório Billings (1a) 75
Tabela 8 (Capítulo II) – Valores encontrados no índice de geoacumulação (lgeo) dos elementos químicos e categorização do reservatório Rio Grande (1b) 76
Tabela 9 (Capítulo II) – Valores encontrados no índice de geoacumulação (lgeo) dos elementos químicos e categorização do reservatório Guarapiranga(1c) 77
Tabela 10 (Capítulo II) – Período de amostragem e precipitações registradas para os reservatórios Billings, Rio Grande e Guarapiranga 79
Tabela 1 (Capítulo III) - Estatística descritiva das 14 variáveis de sedimentos 90
Tabela 2 (Capítulo III) - Coeficientes de correlação (r) da matriz de correlação das variáveis de sedimentos do reservatório Billings 95
Tabela 3 (Capítulo III) - Coeficientes de correlação (r) da matriz de correlação das variáveis de sedimentos do reservatório Rio Grande 96
Tabela 4 (Capítulo III) - Coeficientes de correlação (r) da matriz de correlação das variáveis de sedimentos do reservatório Guarapiranga 97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	–	Alumínio
a	–	Área agrícola
As	–	Arsênio
BILL	–	Billings
Cd	–	Cádmio
Ca	–	Cálcio
OC	–	Carbono orgânico
COT	–	Carbono Orgânico Total
Co	–	Cobalto
Cu	–	Cobre
Cs	–	Coeficiente de assimetria
Ck	–	Coeficiente de curtose
r	–	Coeficiente de correlação
CV	–	Coeficiente de variância
CETESB	–	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
SABESP	–	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
CONAMA	–	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EMBRAPA	–	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EESC	–	Escola de Engenharia de São Carlos
Pb	–	Chumbo
Cr	–	Cromo
SD	–	Desvio Padrão
Fe	–	Ferro
f	–	Folha
f	–	Fragmentos de mata
GO	–	Goiás
lgeo	–	Índice de geoacumulação
Mg	–	Magnésio
Hg	–	Mercúrio
CH_4	–	Metano

Mo	–	Molibdênio
Ni	–	Níquel
p	–	Nível de significância
PA	–	Pará
K	–	Potássio
pH	–	Potencial hidrogeniônico
Ag	–	Prata
ABC	–	Região industrial do estado de São Paulo
RMSP	–	Região Metropolitana de São Paulo
RGDE	–	Reservatório Rio Grande
GUAR	–	Reservatório Guarapiranga
RS	–	Rio Grande do Sul
SP	–	São Paulo
SED	–	Sedimentos
W	–	Teste de distribuição normal Shapiro-Wilk
IUPAC	–	União Internacional de Química Pura e Aplicada
UGRHI	–	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
VCQ_6	–	Valores de Condição da Qualidade do Solo da bacia do Alto Tietê
V	–	Variáveis
Zn	–	Zinco

LISTA DE SÍMBOLOS

cm	Centímetros
h	Hora
m	Metros
m^3	Metros cúbicos
mg/kg	Miligramas por quilo
mm	Milímetros
`W	Oeste
%	Porcentagem
km	Quilômetros
km^2	Quilômetros quadrados
mm	Miligramas
s	Segundo
`S	Sul
±	Sinal de mais ou menos

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO **31**
CAPÍTULO I: REVISÃO DA LITERATURA **33**
1.1 SEDIMENTOS X SOLOS 33
1.2 ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS 33
1.3 RELAÇÃO DOS SEDIMENTOS COM A FORMAÇÃO DOS SOLOS 34
1.4 GRANULOMETRIA 35
1.5 MINERAIS 38
1.6 ELEMENTOS QUÍMICOS 38
1.7 CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) 40
1.8 ÍNDICE DE GEOACUMULAÇÃO (lgeo) 41
1.9 RESERVATÓRIOS DE ESTUDO 43
1.9.1 Reservatório Billings *43*
1.9.2 Reservatório Rio Grande *45*
1.9.3 Reservatório Guarapiranga *46*
1.10 JUSTIFICATIVA **49**
CAPÍTULO II: AVALIÇÃO DO HISTÓRICO DE ANOS DE VARIÁVEIS DE SEDIMENTOS DE TRÊS RESERVATÓRIOS DO ESTADO DE SÃO PAULO **51**
Resumo 51
2.1 INTRODUÇÃO **52**
2.2 MATERIAL E MÉTODOS **53**
2.2.1 Metodologia 53
2.2.1.1 Dados CETESB *53*
2.2.1.2 Variáveis de Sedimentos *54*
2.2.1.3 Índice de geoacumulação (lgeo) *59*
2.2.1.4 Dados de precipitação *61*
2.3 RESULTADOS **61**
2.3.1 COT, análise granulométrica e elementos químicos 61
2.3.1.1 COT *61*
2.3.1.2 Análise granulométrica *62*
2.2.1.3 Elementos químicos *67*
2.3.2 Índice de geoacumulação (lgeo) 73

2.3.3 Precipitação 78
2.4 DISCUSSÃO 79
2.4.1 COT, análise granulométrica e elementos químicos *79*
2.4.1.1 COT 79
2.4.1.2 Granulometria 80
2.4.1.3 Teores de elementos químicos 82
2.4.2 Índice de geoacumulação (lgeo) 84
2.4.3 Precipitação 87
2.5 CONCLUSÃO 88
CAPÍTULO III: RELAÇÕES ENTRE CARBONO ORGÂNICO TOTAL, FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS E OS ELEMENTOS QUÍMICOS DE TRÊS RESERVATÓRIOS DO ESTADO DE SÃO PAULO 89
Resumo 89
3.1.INTRODUÇÃO 90
3.2 MATERIAL E MÉTODOS 90
3.2.1 Metodologia 90
3.3 RESULTADOS 91
3.4 DISCUSSÃO 97
3.5 CONCLUSÃO 97
CONSIDERAÇÕES FINAIS 99
SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS 100
REFERÊNCIAS 101

APRESENTAÇÃO

Atrelada às atividades humanas, nas últimas décadas, muito se discute sobre preocupações ambientais e os impactos causados por barragens. Desde a década de 1960 o Brasil expandiu a geração hidrelétrica baseada nos vastos recursos hidrológicos do país e no potencial energético (CALVI *et al.*, 2020).

Somado a estes fatores, os reservatórios artificias construídos em cursos d'água para a geração de energia elétrica são sumidouros de resíduos de diversas naturezas. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na resolução de 430/2011, dispõe de condições específicas sobre os resíduos que adentram os cursos d'água, incluindo reservatórios. Os resíduos, que também podem ser poluentes entram em contato primeiramente com a água e ao permanecer por longos períodos de tempo nos reservatórios, aderem aos sedimentos podendo também ocorrer a sua ressuspensão na água.

Por sua vez, os reservatórios são estudados pelas possibilidades das interferências antrópicas e as consequências trazidas junto delas no intuito de minimização dos efeitos que prejudicam o ambiente e até mesmo a saúde humana. Dessa forma, este estudo avaliou o carbono orgânico total (COT), as frações granulométricas e os elementos químicos dos sedimentos nos históricos de anos de três reservatórios emergentes por pressões humanas. Buscando contribuir na área de qualidade de sedimentos por meio de análises físicas e químicas, e de índices de qualidade ambiental considerando a potencial contaminação antrópica de três reservatórios considerando na última década, a presente pesquisa têm o intuito de responder as seguintes questões:

1) O que os históricos dos anos a partir das estações monitoradas pode influenciar na presença, concentrações dos elementos e das frações granulométricas?
2) O índice de geoacumulação pode representar a influência antrópica deletéria da presença de elementos potencialmente tóxicos na região estudada?
3) A precipitação atua como um agente na movimentação material de massa das frações granulométricas de sedimentos presentes nas áreas de estudo?
4) Qual modelo estatístico pode ser representativo das relações existentes entre os dados disponíveis de carbono orgânico, das frações granulométricas e dos elementos químicos?

O desenvolvimento do estudo foi dividido em três capítulos estruturados da seguinte forma:

Capítulo I: Diferenciação entre solo e sedimentos, estudos hidrossedimentológicos, a relação dos sedimentos com os processos de formação dos solos, os parâmetros carbono orgânico, granulometria e os elementos químicos e o índice de qualidade ambiental (índice de geoacumulação), dos reservatórios de estudo, Billings, Rio Grande e Guarapiranga;

Capítulo II: Apresenta os resultados dos dados públicos extraídos da agência da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) a partir dos teores de COT, dos elementos químicos e das frações granulométricas, o índice de qualidade ambiental com valores de referência e a abordagem da precipitação.

Capítulo III: Apresenta os resultados dos modelos estatísticos buscando demonstrar a possível relação entre os parâmetros físicos e químicos dos reservatórios de estudo, a fim de tecer uma comparação entre os mesmos.

CAPÍTULO I: REVISÃO DA LITERATURA

1.1 SEDIMENTOS X SOLOS

Os sedimentos são partículas provenientes dos solos, rochas e materiais biológicos que sofrem transporte pela ação da água ou vento de sua origem até locais de deposição como rios, reservatórios, lagos, córregos, mar (CARVALHO, 2008, MIRANDA, 2011). No entanto, diferem-se dos solos por atuarem agentes que transportam as partículas (e.g. precipitação, vento) e por serem considerados materiais inconsolidados de natureza diversa, enquanto solos resultam principalmente do intemperismo das rochas, no qual, desempenha funções conhecidas nas atividades agrícolas, fundação de obras para abastecimento público, no setor energético, na construção civil, entre outros (SANTOS *et al.*, 2019, ZAGATTO; BERTOLETTI, 2008).

1.2 ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS

O desenvolvimento mundial de estudos sedimentológicos iniciou-se principalmente na América Norte. Esses estudos se firmaram com a descoberta de petróleo em sedimentos no oeste do Texas (Estados Unidos da América) e de sedimentos devonianos no Canadá. Logo após, o progresso da Sedimentologia foi impulsionado na Europa e a Ásia (SUGUIO, 1973).

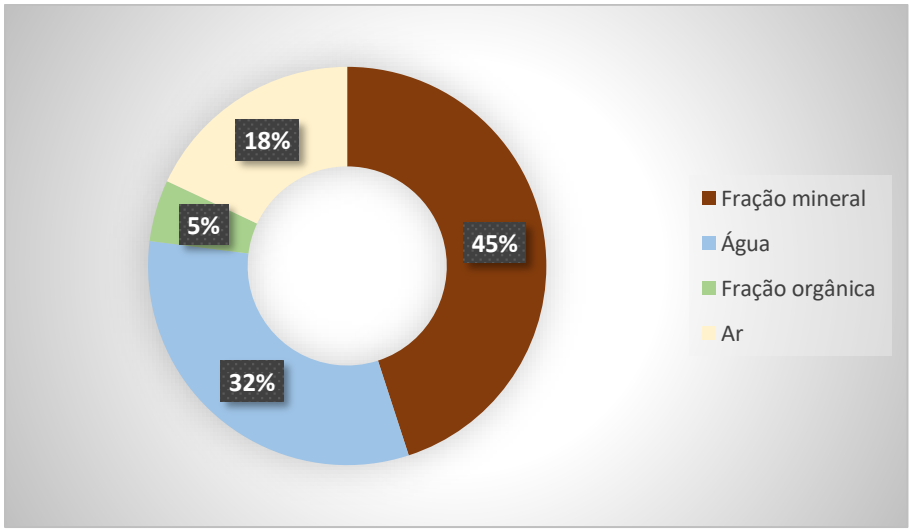
Nos estudos ambientais, a origem da sedimentação está associada às fontes naturais, como intemperismo das rochas e/ou a erosão dos solos. O intemperismo atua com magnitude distintas sobre as rochas. A erosão dos solos é desencadeada de forma e intensidade diferentes em função das condições naturais do meio. Por outro lado, existem fontes antropogênicas advindas da urbanização e do crescimento populacional, como da construção civil, as obras de drenagem, a expansão de indústrias, o abastecimento público, a agropecuária, a construção de barragens hidroelétricas, entre outros. Essas atividades são consideradas estressores antropogênicos (BEST, 2019), ou seja, possuem a capacidade de liberar poluentes orgânicos e inorgânicos e consequentemente serem retidos nos sedimentos.

Desta forma, essas atividades modificam os ecossistemas naturais onde os fragmentos dos sedimentos gerados podem ser transportados, suspensos na água ou ar e/ou acumulados em leitos, escoados e depositados no fundo de colunas d’água influenciando na qualidade ambiental, por ora no sistema hídrico (CARVALHO, 2000). Nas frações orgânica e inorgânica dos sedimentos, os poluentes estocados podem trazer efeitos negativos à biota aquática, especialmente metais e nutrientes, quando acima de concentrações naturais.

1.3 RELAÇÃO DOS SEDIMENTOS COM A FORMAÇÃO DOS SOLOS

A formação do solo é estritamente relacionada com a rocha matriz que o deu origem e dos processos físicos, químicos e biológicos que resultam nos atributos específicos. Na composição do solo, de acordo com MELLO (p. 40, 2006) o solo (Figura 1) "é constituído de 30 a 35% na fase líquida, 15 a 20% na fase gasosa e 50% na fase sólida; dessa proporção da fase sólida, 45% é mineral e o restante de 5% é orgânica".

Figura 1- Composição do solo



Fonte: Autora. Modificado de Mello (p. 40, 2006).

Assim, o solo ocupa a maior parte superficial das extensões continentais da Terra, onde se encontram organismos e o crescimento vegetal; quando não alterados por atividades humanas. Os horizontes diagnósticos resultam do intemperismo da rocha ou de sedimentos de natureza diversa. As camadas, por sua vez, são pouco ou nada afetadas pelos processos pedogenéticos, mantendo, em maior ou menor proporção, as características do material de origem (SANTOS, *et al.*, 2018).

Nestas condições, estas mudanças (intemperismo) da rocha matriz até a formação do solo liberam elementos químicos advindos dos minerais primários, que por sua vez, influenciam na formação de minerais secundários (minerais de argila e óxidos de ferro) e no fluxo de nutrientes para o ambiente (CLEMENTE; AZEVEDO, 2007).

Outra relação importante se deve que, assim como os solos, os processos de sedimentação interagem com o meio, por ser um sistema aberto que realiza troca de energia

entre constituintes existentes, como partículas sedimentares, íons, fluídos, compostos biológicos (ZERFASS H; ZERFASS G, 2016).

Referente aos solos da bacia do Alto Tietê, no documento da CETESB em 2008, foram realizadas amostragens de solos totalizada em 108 pontos de amostras coletadas com base na carta da Região Metropolitana da Grande São Paulo (RMSP) em uma matriz de 39 quadrículas distribuídas. As principais classes de solos e subdivisões de ordem encontradas são Argissolos Vermelho-Amarelos, Cambissolos Háplicos, Latossolos Vermelho-Amarelos e Organossolos Mésicos ou Háplicos compilados pelo Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA *et al.*,1999, CETESB, 2008). Essas classes estão presentes no Sistema Brasileiro de Classificação do Solo do Brasil.

Os solos são resultados dos processos de formação, diante de mudanças de combinações de fatores como, temperatura, relevo, material de origem, organismos e o tempo, caracterizando-os por aspectos de cores, espessuras, camadas (JENNY, p. 16, 1994, SANTOS *et al.*, 2018) A partir dessas características que moldam os solos por suas particularidades, quando realizado o corte vertical no perfil, é possível verificar os horizontes diagnósticos nas camadas do solo possibilitando classificá-lo. Com base nas condições naturais do solo que são os processos de formação, a manutenção da cobertura vegetal do solo mantém a função ecológica de equilíbrio do ambiente por desempenhar a regulação do ciclo hidrológico, quando as precipitações ocorrem naturalmente o escoamento percorre caminhos de infiltração até chegar no nível freático (MELLO, 2006). No entanto, quando existem alterações humanas muitos estudos indicam que as mudanças nos usos do solo tornam o solo sensível a processos erosivos, a degradação e a qualidade (WIJITKOSUM, 2016). Na ocorrência de precipitações as partículas do solo são desprendidas e transportadas até os locais de deposição, como os cursos hídricos, rios e lagos, comprometendo à qualidade dos mesmos.

A estrutura do solo se caracteriza pela forma, o arranjo e os tamanhos das partículas sólidas também sobre o equilíbrio dos agregados que diminuem a erodibilidade (BRONIC; LAL, 2005). As partículas sólidas podem ter associações com os sedimentos, quando suspensas nas águas de diversas naturezas por constituírem de minerais advindos das frações de areia, silte e argila dos solos.

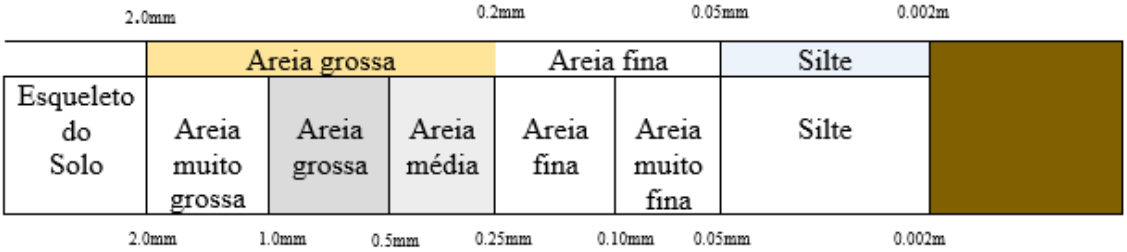
1.4 GRANULOMETRIA

As determinações das partículas sólidas são realizadas por uma análise laboratorial específica, denominado de ensaio granulométrico. O ensaio dos solos pode ser dividido em dois

grupos: solos grosseiros, compostos por pedregulhos, areias e espécie de pedras; solos finos, compostos por silte e argila (ARANTES, 2012).

O ensaio granulométrico visa identificar o tamanho dos grãos e a percentagem total em peso em relação a massa total da amostra analisada (FERNANDES, 2015), configurando dimensões diferentes de cada fração. Dessa forma, o tamanho das partículas para solos e sedimentos são fundamentais decorrentes da influência na reatividade química, suscetibilidade a carreamento, deposição, resistência à carga e permeabilidade (BLOTT; PYE, 2012). As escalas das dimensões mais utilizadas no Brasil é a Escala Internacional de Atterberg e a Escala do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (COOPER, 2015).

Figura 2 – Escala de Atterberg



Fonte: Autora. Modificado de MELLO (2006)

Partindo ao contexto de textura, esse atributo do solo é importante para a qualidade dos sedimentos. As proporções do tamanho das partículas contribuem com a afinidade de ligações, principalmente de grãos finos ou de tamanho menor. Existem três diferentes sistemas que classificam texturalmente o solo, da Embrapa, do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e do Reino Unido. A Figura 3 apresenta as classes texturais a partir dos solos encontrados e a textura. O significado de Franco (a) é a mistura de teores de areia, silte e argila em proporções relativamente iguais.

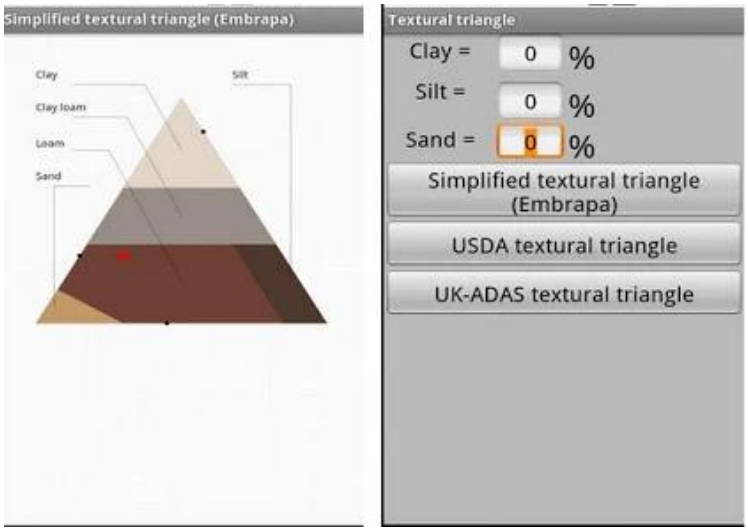
Figura 3 – Classes texturais

Termos Gerais		Classe textural
Nomes comuns	**Textura**	
Solos Arenosos	*Grosseira*	*Arenoso* *Areia Franca* *Franco arenosa*
Solos Francos	*Média*	*Franco* *Franco Siltosa* *Siltosa*
	Moderadamente Fina	*Franco argiloarenosa* *Franco argilosiltosa* *Franco argilosa*
Solos argilosos	*Fina*	*Argilo arenosa* *Argilo siltosa* *Argilosa*

Fonte: Autora. Modificado de Cooper (2015)

A classificação textural pode ser encontrada pelo método do triângulo equilátero textural. Nesse método os teores das frações de areia, silte e argila são traçados perpendicularmente no triângulo. Na presente pesquisa utilizou-se o triângulo textural simplificado (Figura 4) a partir dos dados públicos da CETESB das amostras de sedimentos. Tratando de sedimentos ao analisar as frações granulométricas infere investigar a deposição do aporte, nesse caso nos reservatórios.

Figura 4 – Triângulo textural simplificado (Embrapa)



Fonte: Disponível em:https://play.google.com/store/apps/details?id=com.agro.textura&hl=pt_BR

A deposição de materiais grosseiros e finos nos reservatórios é condicionada pela circulação das águas nesses ambientes, geralmente não uniforme e heterogênea nas regiões desses ambientes.

1.5 MINERAIS

Os minerais são elementos encontrados na natureza ainda nos processos de formação do solo originários do material de origem, as rochas. Nos sedimentos, os minerais podem ser herdados de alterações das rochas ou de solos que cobrem as bacias de drenagem verificando um sistema dinâmico (MAIA *et al.*, 2005).

Os sedimentos podem agir como fontes de poluição, mas a diferenciação dos minerais é importante distinguindo da origem natural, hidrológicos, biológicos e de ação antrópica. Nos ambientes como lagos e reservatórios, a contaminação ambiental é presente na coluna d'água ser retida nos sedimentos. O tamanho dos grãos ou das partículas e dos argilominerais, originários de solos com poder de reatividade influenciam na adsorção e retenção de contaminantes presentes (LEMES *et al*., 2003).

Existe uma tendência de descrição na literatura que quanto menor o tamanho da partícula (silte e argila) mais contaminantes e nutrientes podem ser acumulados nos sedimentos. As partículas finas são conhecidas por serem reativas, especialmente a fração argilosa, devido a área superficial específica. Apenas para contextualizar, nos solos, os componentes que são capazes de reação é a matéria orgânica, as argilas e os óxidos, todos são denominados de colóides (MELLO, 2006).

1.6 ELEMENTOS QUÍMICOS

De acordo com SOUZA *et al* (2015) e a União internacional da Química Pura e Aplicada (IUPAC), elementos-traço são elementos encontrados em baixa concentração tendo origens de plantas, solos, tecidos, águas subterrâneas. A nível de traços a baixa concentração é de <100 ug/g (MASON, 1994, VANDECASTEELE; BLOCK, 1993) ou 0,1 a 100 ug/g (LOBINSKI; MARCZENKO, 1997). Os metais distinguem sobre duas classificações: metais essenciais e não essenciais à biota. No grupo dos metais essenciais são: Magnésio – Mg, Ferro – Fe, Zinco – Zn, Cobre – Cu. Cobalto – Co e Molibdênio – Mo, importantes no processo de fotossíntese. Não essenciais são: Cádmio – Cd, Chumbo – Pb, Mercúrio – Hg, Alumínio – Al e Niquel – Ni considerados nesse grupo por não apresentar alguma função biológica observada

(FRASCARELI, 2016). Evidentemente que nos dois grupos, concentrações alteradas consideradas tóxicas (valores regionais) podem comprometer organismos, o ambiente e até mesmo a saúde humana, visto que os reservatórios não apresentam somente a função de armazenamento de água, são empregados nas atividades de lazer, turismo etc., e na captação de água por concessionárias no atendimento do abastecimento público.

Na literatura alguns exemplos de estudos que estudaram os elementos químicos como uma das variáveis que podem alterar a qualidade dos sedimentos foram, Oliveira *et al*., (2018), Santos *et al.*, (2004), Santos *et al*., (2012), Nascimento (2003), Frascareli (2016), Mariani (2006), Cervi (2017).

Oliveira *et al.*, (2018) avaliaram sedimentos de fundo no lago Água Preta, na Região Metropolitana de Belém, Pará. Os pontos de amostragens estabelecidos foram de acordo com a suscetibilidade antrópica, um ponto de menor suscetibilidade e um ponto para cada divisão do lago, próximo a três bairros. Após a análise dos sedimentos, os autores encontraram concentrações de Cr e Ni acima do índice de efeito provável (PEL), indicando contaminação do lago Água Preta sofridos por pressões antrópicas, sobretudo nas mudanças entorno do lago decorrentes de expansão urbana e do crescimento do número de indústrias.

Portanto, configura destacar indícios de contaminação paralelamente a influência de estressores antropogênicos inerentes ao lago de estudo. Esses indícios, permitem complementar que os sistemas fluviais podem conter a presença de elementos químicos existentes no ambiente naturalmente, mas as ações antrópicas incrementam elevando os teores (NASCIMENTO, *et al*., 2018).

Santos *et al.*, (2004), avaliaram sedimentos estuarinos na Lagoa dos Patos, RS, indicando que a presença de influência antrópica foi progressivamente presente num período de dez anos. As pressões antrópicas submetidas correspondem as atividades urbanas, industriais, agrícolas, portuárias e de mineração na bacia de drenagem que vieram alterando as condições naturais. Os metais determinados foram principalmente, Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Ag (Prata) e Cr. A partir dos resultados encontrados, a principal conclusão defendida foi de que a área analisada apresenta forte influência humana, independente do gerenciamento ambiental existente.

Santos *et al.*, (2012), avaliou a qualidade dos sedimentos da bacia do Ribeirão Piancó, GO, determinando as concentrações de Cu, Zn, Co, Ni e Cr. As conclusões levantadas desse estudo implicam que as adversidades dos efeitos antrópicos podem causar ao ambiente e à saúde humana, devido as ocupações das áreas por urbanização e de agricultura (uso de herbicidas,

pesticidas) que mostram permanecerem no ambiente por muito tempo e esse tempo merece investigação.

Nascimento (2003) desenvolveu um estudo no intuito de propor valores de referência para concentrações de metais e metalóides em amostras de sedimentos fluviais e limnicos para a bacia do Alto Tietê. As amostras foram coletadas em um raio de 800 km até a foz do Rio Tietê, em locais com menor interferência possível de atividades antrópicas a fim de aproximar as concentrações naturais do ambiente.

Face ao estudo, foram utilizados os valores de referência regionais obtidos para os elementos químicos do presente estudo. Uma constatação sobre os valores de referência, na literatura, geralmente, é empregue os valores de referência global, valores guia do Canadá, valores guia da Alemanha. No entanto é importante considerar que de um país a outro, de continentes diferentes, as condições dos ecossistemas, do clima, do ambiente como um todo diferem. Segundo Nascimento (2003), "o emprego de valores de referência global é inadequado necessitando de mais estudos voltados a concentrações referência regionais".

Mariani (2006) avaliou o reservatório Rio Grande (SP), que sofreu por pressões antrópicas, sendo um corpo receptor de efluentes industriais e domésticos, além de ser suporte no abastecimento público da região. Os resultados mostraram valores superiores de Cu, Cd e Pb quando comparados com valores de referência regional e global.

Cervi (2017) avaliou o reservatório Billings importante na região metropolitana de São Paulo, assim como o reservatório Rio Grande e o reservatório Guarapiranga, considerados importantes na região. Foram avaliados contaminantes orgânicos e inorgânicos através da utilização de métodos empíricos e teóricos de valores de referência. A partir das amostragens a campo e análises químicas, os métodos empregados no estudo mostraram as concentrações de Cr, Cu, Ni e Zn presentes nos sedimentos.

O emprego de método empíricos e teóricos é uma solução importante na tomada de decisão das concentrações presentes no ambiente, sendo passível ou não de contaminação dependendo dos resultados obtidos.

1.7 CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT)

O carbono é um elemento químico essencial na manutenção da vida e no equilíbrio do ambiente, assim quando ocorrem naturalmente são derivadas de plantas e animais. Nos sedimentos e nos solos, as formas presentes são na decomposição de raízes, plantas, galhos, folhas, húmus - um conjunto natural de fontes. As fontes de carbono não limitam às fontes

naturais, existem fontes derivadas de contaminação por atividades antrópicas (SCHUMACHER, 2002).

A avaliação quantitativa de carbono orgânico total dos sedimentos vem sendo investigada por processos originários da urbanização, agricultura, uso e ocupação de áreas que remontam interesses humanos. Alguns desses processos podem comprometer o equilíbrio do ambiente por tempo indeterminado (OLVEIRA *et al*, 2018). No estudo de Oliveira *et al* (2018), a anterior contextualização pôde ser verificada pelos autores, a avaliação do carbono orgânico apresentou alta concentração nos pontos demarcados no entorno de áreas intensamente urbanizadas, porém, não correspondeu ao ponto de menor influência antrópica.

Cervi (2017) avaliou o carbono orgânico total do reservatório Billings sobre diferentes pontos e os teores encontrados elucidaram a presença de atividade antrópicas. Nas áreas próximas as áreas urbanas como a Barragem Pedreira os teores foram mais elevados, relacionados ao adensamento populacional entorno do reservatório, cargas orgânicas lançadas de resíduos domésticos e industriais, demonstrando que investigar o carbono orgânico total é um indicador de qualidade do sedimento na possibilidade de haver estressores antropogênicos.

Quando contextualizado sobre as emissões de gases os reservatórios acumulam sedimentos na sequência que depositam o carbono orgânico (OC) e podem produzir metano (CH_4), dessa forma podem emitir gases de efeito estufa. Condições como temperatura, produção interna e taxas altas de sedimentação aumentam as chances de soterramento do carbono orgânico em reservatórios tropicais como descrito no estudo de Isidorova (2020). O autor concluiu que os sedimentos em reservatórios soterram o carbono orgânico terrestre e carbono orgânico aquático representando um sumidouro antropogênico de carbono e dessa forma produz e emite gases de efeito.

Nas condições pressupostas, López *et al*., (2016) apresentou informações sobreo o reservatório de Barasona, construído em 1932, que têm sofrido intenso assoreamento nos últimos 65 anos. Segundo os autores, há estudos sobre a deposição, transporte e a origem dos sedimentos, contudo, existe uma lacuna sobre o acúmulo de carbono orgânico nesse ambiente o qual os autores buscaram investigar. A avalição desenvolvida constatou que nos sedimentos superficiais a quantidade de carbono armazenado foi alta na bacia de estudo.

Portanto, dado a importância do carbono orgânico, comumente encontrado em sedimentos, sua quantificação poderá prover informações sobre o estado de degradação, relacionada a mineralização e a origem dos processos, natural ou antrópico (ALMEIDA *et al.*,2014).

1.8 ÍNDICE DE GEOACUMULAÇÃO (lgeo)

O índice de geoacumulação foi originado por Muller (1969) empregando concentrações de elementos químicos com valores padrão de xisto local e global, na identificação de contaminação por elementos químicos no ambiente. Com o avanço da urbanização e industrialização, os ecossistemas naturais foram afetados e a degradação da qualidade das águas nos diferentes ecossistemas também afetou os sedimentos locais. Uma grande variedade de elementos foi adicionada ao meio por atividades humanas. Nos reservatórios os contaminantes são retidos nos sedimentos, acarretando no aumento da concentração em comparação com as concentrações naturais. As mudanças nos reservatórios são perceptíveis, qualquer alteração como estratificação térmica e eutrofização causam efeitos no ambiente (GARCÍA-ORDIALES *et al.*,2016).

Para isso o índice de geoacumulação é um importante método na avalição da qualidade de sedimento sobre cada estação de amostragem (LOOI *et al.*, 2018, NILIN *et al.*, 2013). A adoção do índice de geoacumulação foi muito difundida nas investigações sobre as contaminações provocadas por pressões antrópicas servindo com um índice importante na avaliação da qualidade de sedimentos, utilizada no Brasil e no mundo. Alguns exemplos de estudos que aplicaram o índice de geoacumulação foram: Silva *et al* (2016), Hortellani *et al* (2013), Haris *et al* (2017) e Cevik *et al* (2008).

Silva *et al.* (2016) avaliou o rio Monjolinho (São Carlos, SP) utilizando o índice de geoacumulação para os metais Cd, Cu, Pb, Cr, Fe, Ni, Mn e Zn sobre três pontos principais, nascente, centro e foz nas estações seca e chuvosa. Os valores de referência adotados para os elementos foram da diretiva de “Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo” de 2016 da CETESB. Dos elementos avaliados destacou-se o Cd indicando um sedimento moderadamente a fortemente contaminado nos três trechos. A contaminação é relacionada com poluição advinda de áreas agrícolas e urbanas.

Hortellani *et al.* (2013), avaliou a qualidade dos sedimentos do reservatório Billings por meio de quatro estratégias, uma delas foi o índice de geoacumulação dos elementos Al, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn. Os resultados do índice inferiram que o Fe e Co foram associadas as concentrações naturais do sedimento ou o processo natural do intemperismo. No entanto para os demais elementos as concentrações foram acrescidas, sugerindo ser de atividades antrópicas.

Haris *et al.* (2017) avaliou os níveis de contaminação por elementos químicos, Zn e Pb, no sedimento do rio Langat (Selangor - Malásia). A partir dos valores de referência de Zn (23,70 – 90,02 mg/kg), os resultados de Zn obtidos no índice de geoacumulação não apresentaram nos

pontos monitorados uma significativa contaminação enquanto, para o Pb os resultados foram superiores aos de Zn em 40% das estações. Essa contaminação tem relação com a urbanização, efluentes de estações de tratamento de águas residuais, mineração de areia e lixiviados de resíduos descartados. Dessa forma, conclui-se que o Pb nesse estudo é um indicador de efeitos deletérios no ambiente, devido a alta concentração nos pontos de amostrados que também afetam no ecossistema do rio Langat.

Cevik *et al* (2008) determinou as concentrações de elementos químicos encontrados nos sedimentos do reservatório de Seyhan, o mais importante da Região Mediterrânea da Turquia. Foram amostrados sedimentos nos anos de 2004 a 2005 e avaliados as concentrações de Cd, Ca (Cálcio), Cu, Cr, Fe, Mn, K (Potássio), Na (Sódio) e Zn. Na avaliação da contaminação foram utilizados dois índices, inclusive o índice de geoacumulação. Os resultados obtidos revelaram classes de 1, 2, 4 e 5 e na estação 3 inferiram no Cd de moderado a severamente contaminado.

Considerando a importância da qualidade de sedimentos em cursos d'água, a avaliação da qualidade ambiental por meio de índices que utilizam estratégias *backgrounds* de concentrações médias locais para elementos químicos, apresenta-se como uma ferramenta de suporte a informações técnicas em linguagem simples facilitando a compreensão de comissões administrativas e a tomada de decisões na gestão de recursos hídricos (SILVA *et al.*, 2016, PARIZOTTO *et al.*, 2018).

1.9 RESERVATÓRIOS DE ESTUDO

1.9.1 Reservatório Billings

O reservatório Billings (23°47'S e 46°40'W) possui uma área de 120 km², volume de $1{,}2 \times 10^9$ m³ em uma profundidade média de 10 m. O formato da represa é irregular, dessa forma é subdivida em oito unidades correspondentes as sub-bacias do Rio Grande, Rio Pequeno, Capivari, Pedra Branca, Taquacetuba, Bororé, Cocaia e Alvarenga. Foi idealizado em 1927 pelo engenheiro americano Asa White Kenney Billings, na intenção de construir um grande projeto de geração de energia a partir do aproveitamento das águas do rio Tietê. (LAMPARELLI *et al.*, 2014, CARDOSO-SILVA *et al.*, 2014). A posição de extrema importância torna o reservatório como o maior reservatório da Região Metropolitana de São Paulo. A vazão de produção é de 12 m³/s cobrindo o abastecimento da região do ABC, parte da Cidade de São Paulo (Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul) e a região da Baixada Santista

(HORTELLANI *et al.*, 2013). A Figura 5 apresenta o mapa de localização do reservatório Billings.

Figura 5 - Mapa de localização do reservatório Billings na RMSP

Fonte: Frascareli, (2016) modificado de Nishimura *et al*., (2010) e de Moschini-Carlos *et al*., (2009)

O reservatório passou por diversas modificações no entorno e nas proximidades, representada na Figura 6, com o início do sistema de abastecimento, o despejo de efluentes nos rios Tietê e Pinheiros tornou-se comum, o que levou à na degradação das águas. Outros processos que aceleraram a degradação foi a expansão urbana, trazendo consequências de desmatamento pelas ocupações das áreas irregulares (CARDOSO-SILVA *et al.*, 2014). Os constantes problemas de lançamento de esgotos e a degradação das águas, levou em 1982 o isolamento da represa Billings, e o Braço do Rio Grande e Taquacetuba serviram de fornecedores de água com qualidade no atendimento do serviço de abastecimento (FRASCARELI, 2016).

Figura 6 - Imagem aérea do reservatório Billings e as ocupações no entorno

Fonte: Acessado em 14 de junho de 2021. Disponível em: https://fotografiasaereas.com.br/imagem-aerea/represa-billings-em-sao-paulo/

1.9,2 Reservatório Rio Grande

O reservatório do Rio Grande (23° 46’ S e 46° 32’W) é um braço desmembrado do reservatório Billings. As informações particulares do reservatório são de 7,4 km² de área, $116x10^6$ m³ e 5,5 m de profundidade média e 746 m de altitude. Conforme mencionado na descrição do reservatório Billings, em 1982 o Rio Grande foi isolado para manter a qualidade da água que serviria no abastecimento da população da região metropolitana. No entanto o reservatório passou a ser receptor de efluentes doméstico e industriais de Rio Grande da Serra, Ribeirão Pires e São Bernardo do Campo. Dos usos do reservatório além de abastecimento da região do ABC, atividades de lazer como natação, pesca e esportes náuticos são também presentes. Ainda no entorno do reservatório concentram comunidades loteamentos clandestinos, chácaras (MARIANI; PÔMPEO, 2008, LAMPARELLI *et al.*, 2014). A figura 7 apresenta o mapa de localização do reservatório Rio Grande.

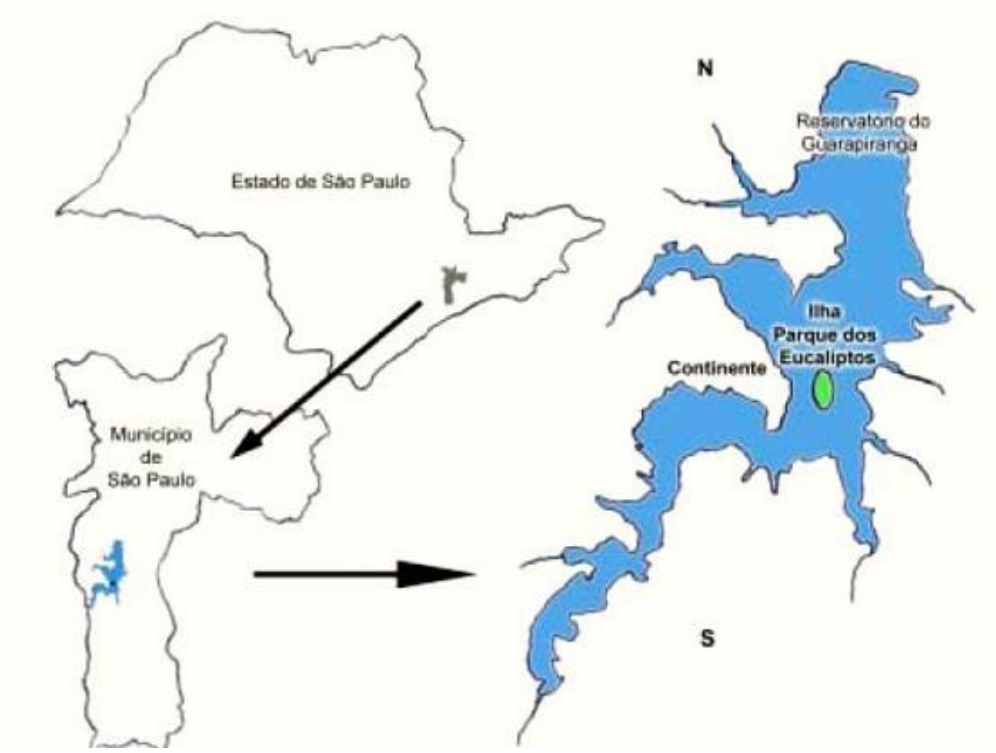
Figura 7 - Mapa de localização do reservatório Rio Grande (destacado no círculo preto)

Fonte: (Mariani; Pômpeo, 2008)

1.9.3 Reservatório Guarapiranga

O reservatório Guarapiranga é também localizado na Região Metropolitana de São Paulo, assim como os reservatórios Billings e Rio Grande. Considerado como um reservatório urbano situado na zona sul da cidade (23° 43′ S; 46° 32′ W a 712 m acima do nível do mar). A figura 8 apresenta a localização do manancial.

Figura 8 – Localização do reservatório Guarapiranga



Fonte: Acessado em 05 de maio de 2021. Disponível em: http://lemad.fflch.usp.br/node/5348

As principais atividades do reservatório foram, primeiramente no fornecimento energético e, nos anos seguintes, o reservatório foi usado no abastecimento da população atingindo a segunda posição de abastecimento mais importante na região (LÓPEZ-DOVAL *et al*., 2017). Além do abastecimento, a represa tem função no controle de enchentes e recreação (PADIAL, 2008). É reportado na literatura que o reservatório é impactado por desmatamento, erosão do solo, ocupação de regiões urbanas não regulamentadas (Figura 9).

Figura 9 - Ocupação urbana no entorno do reservatório Guarapiranga

Fonte: (Guimarães, 2011, Whately & Cunha, 2006)

A preocupação com a qualidade do reservatório iniciou a partir de 1960 por motivos de identificação da presença de esgotos lançados nesse ambiente. A partir de então a qualidade da água sofreu uma grande degradação passando a causar problemas nos equipamentos utilizados na captação de água. Os gastos necessários para a recuperação e tratamento do afloramento de algas foram altos. Esses problemas foram continuamente ocorrendo por pressões antrópicas das expansões urbanas e as cargas de esgotos lançados foram identificados pelas moradias irregulares ocupadas sem acesso a condições de infraestrutura sanitária (PADIAL, 2008, GUIMARÃES, 2011).

As áreas do reservatório sofreram importantes impactos nas perdas de vegetação, recobrimento de solo permeável, poluição de áreas por insumos químicos, escoamento de poluentes domésticos e industriais, contribuintes para uma significativa degradação e comprometendo a qualidade do ambiente (LÓPEZ-DOVAL *et al.*, 2017). Contudo, a agência da CETESB reconhece no relatório de "Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo" que os rios da região Metropolitana de São Paulo foram se descaracterizando nos aspectos hidrológicos e sanitários (CETESB, 2007).

1.10 JUSTIFICATIVA

Tradicionalmente, o ecossistema aquático contém nutrientes, elementos químicos e compostos orgânicos ou inorgânicos que em quantidades significativas, podem trazer problemas de contaminação. Nesse mesmo aspecto, a atividade humana pode causar o comprometimento da qualidade dos recursos hídricos, que por sua vez potencializam efeitos deletérios. A preocupação com a preservação da qualidade da água diante de poluentes de diversas naturezas introduziu nas investigações científicas voltados a sedimentos, pertinentes a qualidade.

Portanto, a informação da quantidade de sedimentos encontrada em um corpo receptor pode não estar relacionada à sua qualidade, sendo importante considerar a presença do grau de contaminação (MELLO, 2006), diante de valores de referência locais, a precipitação como um agente importante na movimentação das partículas e uma de análise dos dados estatísticos são meios de compreender com mais clareza a contaminação que possa estar presente nos locais estudados, como nos reservatórios do Alto Tietê (Billings, Rio Grande e Guarapiranga), que sofrem pressões antrópicas constantemente conforme estudos de Franklin *et al* 2016, Coutinho 2018, Cervi, 2017, Mariani, 2006, Frascareli, 2016, Pômpeo *et al*, 2013, Cardoso-Silva *et al* 2014. Além disso, a CETESB realiza o monitoramento anual desses mananciais visto a importância que representam à RMSP.

O reconhecimento da qualidade dos sedimentos, ainda que crescente nas informações disseminadas sobre os níveis de contaminação (POLETO, 2012), apresentam limitações justamente pela complexidade de avaliação que requerem custos de avaliação, métodos eficazes, estudos desenvolvidos para o monitoramento contínuo e de mais estudos, que são poucos, que apresentem valores de referências regionais voltados ao Brasil.

Nesse sentido, os sedimentos são como vetores de transferência de elementos e poluentes no ambiente (aquático, terrestre). Para isso estudos relacionados a qualidade de sedimentos desenvolvidos pelo Núcleo de Hidrometria, do Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais do Programa de Pós-graduação em Ciências da Engenharia Ambiental fazem parte dessa área de pesquisa.

Arantes (2012), avaliou a deposição de sólidos e nutrientes na sub-bacia do Ribeirão Cruzes, no estado de São Paulo, nos períodos seco e chuvoso, sendo uma coleta no mês de janeiro e a outra em agosto, visando comparar as taxas de sedimentação. Coletaram-se amostras de sedimentos de fundo. A partir dos resultados obtidos foi demonstrado que quando ocorrem altas taxas de sedimentação, exportação de sólidos e nutrientes, ocorre a incidência de

eutrofização e assoreamento do corpo hídrico, expressivos de impactos provenientes do uso e ocupação entorno da área de estudo que alteraram a qualidade da água.

Silva (2019), avaliou a influência das extrações minerais (atividades antrópicas) capazes de constatar os riscos associando a qualidade dos sedimentos do Rio da Várzea, no sul do Brasil. Os sedimentos foram distribuídos em três campanhas amostrais. O autor considerou a integração de parâmetros analíticos (digestão de amostras de elementos químicos, análise granulométrica) e investigações que atendessem ao objetivo principal. A identificação de contaminação dos sedimentos do Rio da Várzea, foram demonstradas por índices de qualidade ambiental e da construção de uma linha de base (*background*) que demonstrasse a avaliação da qualidade dos sedimentos.

Diante das premissas anteriores da literatura sobre os reservatórios do Alto Tietê que sofrem por pressões antrópicas, a importância que esses reservatórios representam para a população da RMSP e estudos voltados a qualidade de sedimentos, a presente pesquisa é uma proposta de compor mais um estudo de qualidade de sedimentos que também compõem ao Núcleo de Hidrometria e dar continuidade na investigação científica desses três reservatórios importantes na RMSP.

CAPÍTULO II: AVALIAÇÃO DO HISTÓRICO DE ANOS DE VARIÁVEIS DE SEDIMENTOS DE TRÊS RESERVATÓRIOS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Resumo: Os reservatórios são ambientes importantes no atendimento da população para suprir as demandas constantes. No entanto esses represamentos causam efeitos negativos no regime natural da água e as atividades antrópicas que desenvolvem na região entorno dos reservatórios e nas proximidades são alterações possíveis de verificar nos sedimentos. Dessa forma, o objetivo do capítulo foi avaliar os teores de carbono orgânico total, granulometria e de elementos químicos de três reservatórios do estado de São Paulo por meio do levantamento do histórico de anos das estações monitoradas pela CETESB. Foram utilizados dados públicos da CETESB de carbono orgânico total (COT), granulometria e elementos químicos (Al, As, Cd, Cu, Pb, Cr, Fe, Hg, Ni e Zn), selecionados a partir de 2010 de três reservatórios importantes na região Metropolitana de São Paulo. Avaliou-se o histórico de anos das variáveis de sedimentos e também se empregou o índice de geoacumulação com valores de referências (*background*) de qualidade do solo da bacia do Alto Tietê, pertencente aos reservatórios. Por fim, foi realizado uma abordagem de precipitação com dados públicos de precipitação da SABESP para esses mananciais. A partir dos resultados o carbono orgânico total apresentou um incremento acima da concentração natural baseada na CETESB indicando influência antrópica. Nas frações granulométricas as classes texturais predominantes foram muito argilosas, argilosa e argila siltosa. Os elementos químicos apresentaram concentrações altas conforme os estudos comparados. No reservatório Billings destacou-se o Al, As, Cd, Cu, Pb, Cr, Fe, Ni e Zn, no reservatório Rio Grande As, Cd, Cu, Pb, Fe e Hg e no reservatório Guarapiranga Al, As, Cu e Fe. O índice de geoacumulação indicou contaminação dos elementos sobre os valores de referência background de solo. Para valores de referência com dois tipos de solo: mata e agrícola, a superioridade dos resultados foi no solo de mata. A abordagem de precipitação na literatura destacou a intensidade das chuvas no movimento de partículas, das precipitações registradas nos anos e nas datas amostradas, destacou-se a maior com 25,8 mm. Assim, a presente pesquisa pode identificar influências antrópicas nos reservatórios pelas variáveis e o índice de geoacumulação aplicado, ressaltando a importância do monitoramento constante e de estudos que continuem nas investigações detalhadas.

2.1 INTRODUÇÃO

Os reservatórios artificiais são empreendimento construídos para atender demandas humanas e os usos dessas implantações se tornou presente devido as necessidades constantes por bens naturais servindo de suprimento à população. Sobretudo a importância da construção de barragens impulsiona o desenvolvimento, incentivando investimentos de indústrias, o fornecimento de energia renovável e outras atividades que mobilizam o crescimento econômico. Entretanto, esses empreendimentos podem causar mudanças no regime natural das águas levando à degradação da qualidade da água e impactos nos ecossistemas próximos (EZCURRA *et al.*, 2019).

Notoriamente reservatórios funcionam como sumidouros de poluentes, estudos que envolvem os processos dinâmicos, a qualidade do ambiente, as múltiplas interações de contaminantes no ambiente-água, verificando o "status" do contaminante (BUBB; LESTER, 1996, MURRAY, 1996, RUIZ-COMPEAN *et al.*, 2017) são importantes e desafiadores na mitigação desses ambientes. Quando adentram elementos e nutrientes nesses represamentos as partículas suspensas podem se manter assim ou ser depositadas, esses depósitos são nos sedimentos.

Evidentemente que sedimentos têm um grau de importância no ambiente por apresentarem ciclos naturais que servem como benefícios a biota e na circulação de elementos nos sistemas de água e solo (CIEŚLA; BARTOSZEK; GRUCA-ROBOSZ, 2020). Por outro lado, são como vetores de transferência de nutrientes e de poluentes no ambiente (aquático, terrestre).

Relatando a importância dos sedimentos nos reservatórios, o carbono orgânico, as frações granulométricas e os elementos químicos tornam instrumentos de identificar possíveis influências externas. As pressões antrópicas modificam as características intrínsecas levando à consequências nesses ambientes e fora deles, mas que de alguma forma interligam em um sistema dinâmico e capaz de refletir nos ecossistemas. À exemplo, os reservatórios é um meio de fornecimento de água para abastecimento público, com sedimentos poluídos geram mais custos no tratamento de água e alguns poluentes não são facilmente degradados tornando os reservatórios em constante monitoramento.

Dessa forma, o Capítulo II dessa dissertação teve por objetivo avaliar as variáveis de carbono orgânico total, granulometria e elementos químicos por meio do levantamento de histórico de anos, a de 2010 até 2019 das estações monitoradas dos reservatórios Billings, Rio Grande e Guarapiranga pela CETESB.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Metodologia

2.2.2 Dados CETESB

Para a realização da pesquisa foram utilizados os dados públicos da CETESB na qual a Tabela 1 apresenta as informações das estações georreferenciadas e os períodos de amostragem de sedimentos dos três reservatórios (Billings, Rio Grande e Guarapiranga). As estações são monitoradas pela agência.

Tabela 1- Estações de monitoramento da CETESB nos três reservatórios

Reservatórios	Tipo	Estações de coleta	Data de coleta	Coordenadas geográficas
Billings	SED	BILL 02100	26/08/2010	23º 47`11”S 46º 38`49”W
	SED	BILL 02100	06/07/2011	23º 47`11”S 46º 38`49”W
	SED	BILL 02100	17/10/2012	23º 47`11”S 46º 38`49”W
	SED	BILL 02100	12/06/2013	23º 47`11”S 46º 38`49”W
	SED	BILL 02100	10/06/2014	23º 44`57”S 46º 38`52”W
	SED	BILL 02100	18/05/2015	23º 44`57”S 46º38`52”W
	SED	BILL 02100	23/08/2017	23º 44`57”S 46º38`52”W
	SED	BILL 02100	24/07/2019	23º 44`57”S 46º38`52”W
	SED	BILL 02030	24/07/2019	23º 43`04”S 46º39`51”W
Rio Grande	SED	RGDE 02900	14/06/2010	23º 46`40”S 46º30`42”W
	SED	RGDE 02900	27/07/2011	23º 46`40”S 46º30`42”W
	SED	RGDE 02900	30/05/2012	23º 46`40”S 46º30`42”W
	SED	RGDE 02030	01/08/2013	23º44`30”S 46º24`59”W
	SED	RGDE 02900	23/10/2013	23º 46`40”S 46º30`42”W
	SED	RGDE 02900	13/08/2014	23º 46`40”S 46º30`42”W
	SED	RGDE 02030	25/03/2015	23º 44`30”S 46º24`59”W
	SED	RGDE 02900	06/05/2015	23º 46`40”S 46º30`42”W
	SED	RGDE 02030	12/07/2016	23º 44`30”S 46º24`59”W
	SED	RGDE 02900	02/06/2016	23º 46`40”S 46º30`42”W
	SED	RGDE 02030	11/07/2017	23º 44`30”S 46º24`59”W
	SED	RGDE 02900	10/08/2017	23º 46`40”S 46º30`42”W
	SED	RGDE 02030	25/07/2018	23º 44`30”S 46º24`59”W
	SED	RGDE 02400	04/09/2018	23º 45`16”S 46º28´10”W
	SED	RGDE 02400	03/07/2019	23º 45`16”S 46º28´10”W
Guarapiranga	SED	GUAR 00900	06/07/2010	23º41`22”S 46º43`35”W
	SED	GUAR 00900	03/08/2011	23º41`22”S 46º43`35”W
	SED	GUAR 00900	28/05/2012	23º41`22”S 46º43`35”W
	SED	GUAR 00900	13/06/2013	23º41`22”S 46º43`35”W
	SED	GUAR 00900	24/07/2014	23º41`22”S 46º43`35”W
	SED	GUAR 00900	05/05/2015	23º41`22”S 46º43`35”W
	SED	GUAR 00900	20/06/2017	23º41`22”S 46º43`35”W
	SED	GUAR 00100	04/06/2019	23º46`02”S 46º43`33”W
	SED	GUAR 00751	04/06/2019	23º41`47”S 46º44`26”W
	SED	GUAR 00900	10/07/2019	23º41`22”S 46º43`35”W

Fonte: Autora

2.2.3 Variáveis de Sedimentos

Foram utilizados dados (Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4) de carbono orgânico total (COT), de granulometria e dos elementos químicos (Al, As, Cd, Cu, Pb, Cr, Fe, Hg, Ni e Zn) dos três reservatórios e os anos obtidos nas medições das estações (apresentados na Tabela 1)

A plotagem dos resultados de COT e dos elementos químicos foram no software *Origin*, versão 2020 e na ferramenta desenvolvida por cientistas brasileiros empregada para triângulos

texturais (*Triângulo Textural*). A ferramenta consiste em classificar os solos a partir de dados de entrada (em porcentagem) para quantidades de areia, argila e silte. Nesta pesquisa empregou-se para as quantidades das frações encontradas nos sedimentos os dados da CETESB.

Tabela 2 – Dados referentes ao percentual de areia, silte, argila, COT (%), concentração elementar (mg/kg) e granulometria (%) obtidos no reservatório Billings

Estações	Anos	Areia	Argila	Silte	COT	Al	Cd	Pb	Cu	Cr	As	Fe	Hg	Ni	Zn
		%				mg/kg									
BILL 02100	2010	0,88	81,16	18,04	3,03	107920	3,13	99,5	191	178	2	86806	0,68	74,6	465
BILL 02100	2011	1,48	71,83	26,69	5,71	94461	3,71	79,4	234	211	18,2	74080	0,86	103	568
BILL 02100	2012	6,81	67,33	25,86	5,32	112347	4,05	129	198	189	13,29	87797	0,77	87,3	496
BILL 02100	2013	5,24	72,21	22,54	3,59	86984	1,68	53,2	98,9	216	8,38	85618	0,88	47,9	238
BILL 02100	2014	4,73	72,49	22,78	5,36	74058	3,37	105	215	183	20,1	86641	0,14	78,1	486
BILL 02100	2015	4,05	73,79	22,16	6,05	54440	3,13	94,4	216	169	18,8	60550	0,51	80,6	493
BILL 02100	2017	6,24	32,41	61,35	7,3	38190	1,5	75,5	163	124	13	72550	0,9	55,2	378
BILL 02100	2019	4,72	73,6	21,68	7,05	108730	2,58	120	264	157	19,1	86736	1,38	73,2	598
BILL 02030	2019	10,6	65,45	23,95	8,08	99385	2,45	114	213	131	13,3	72892	0,52	54,9	728

Fonte: Autora

Tabela 3 - Dados referentes ao percentual de areia, silte, argila, COT (%), concentração elementar (mg/kg) e granulometria (%) obtidos no reservatório Rio Grande

Estações	Anos	Areia	Argila	Silte	COT	Al	Cd	Pb	Cu	Cr	As	Fe	Hg	Ni	Zn
		%				mg/kg									
RGDE 02900	2010	0,6	71,5	27,8	4,45	78764	0,56	50,8	2448	75,4	27,6	65394	7,64	29,3	101
RGDE 02900	2011	4,7	59,0	36,2	3,57	81789	0,88	48,3	5639	83,1	21,8	69609	7,21	31,6	120
RGDE 02900	2012	3,1	63,2	33,6	3,98	75198	0,94	49,1	4317	72,1	26,6	79785	7.2	35,2	117
RGDE 02900	2013	11,6	55,4	32,8	5,22	95741	0,99	50	4436	74,2	18,1	83063	9,47	33,1	122
RGDE 02030	2013	3,8	43,0	53,1	4,85	65220	0,67	14,9	13,4	68,8	3,56	67860	16,1	13,5	139
RGDE 02900	2014	6,6	71,7	21,6	4,2	73360	0,6	48,7	4923	41,5	20,1	76320	2,59	30,3	107
RGDE 02030	2015	28,2	40,3	31,4	3,74	39883	0,91	49,8	46,2	55,5	9,01	41183	40,33	29,7	505
RGDE 02900	2015	4,6	72,2	23,1	6,24	66890	0,5	52,5	5824	68,4	20,6	79610	2,52	31,6	114
RGDE 02030	2016	17,4	46,6	35,9	4,1	18830	0,56	45,5	32,4	42,1	7,08	35130	4895	18,7	296
RGDE 02900	2016	6,0	74,7	19,2	6,5	30590	0,5	59,4	5866	52,7	18,2	74740	2,76	26,5	120
RGDE 02030	2017	26,4	39,4	34,1	3,8	25532	1,11	62,9	35,5	46,7	5,96	39725	25,1	14,1	99,7
RGDE 02900	2017	6,5	69,3	24,06	7,7	34890	0,5	46,7	5796	47,1	15,5	73750	4,71	19,5	329
RGDE 02030	2018	9,4	48,2	42,32	7,01	26449	0,8	45,5	41,1	46,4	6,28	51620	52,7	16,2	607
RGDE 02400	2018	2,9	75,1	21,84	6,73	42075	0,56	53,1	3076	49,2	14	80620	3,3	20,8	121
RGDE 02400	2019	3,3	73,3	23,36	6,69	89341	0,6	81	2529	68.8	2,05	80604	3,84	30,3	137

Fonte: Autora

Tabela 4: Dados referentes ao percentual de areia, silte, argila, COT (%), concentração elementar (mg/kg) e granulometria (%) obtidos no reservatório Guarapiranga

Estações	Anos	Areia	Argila	Silte	COT	Al	Cd	Pb	Cu	Cr	As	Fe	Hg	Ni	Zn
		%				mg/kg									
GUAR00900	2010	61,93	8,37	29,70	3,85	93461	4,34	38,5	2269	59,1	2	56901	0,32	24,3	130
GUAR00900	2011	13,33	44,76	41,91	5,57	69491	0,5	35,6	1885	37,4	10,2	34693	0,19	16,4	92,1
GUAR00900	2012	16,51	52,62	30,87	3,29	85656	0,5	48,7	2257	50,1	9,56	53306	0,32	21,1	132
GUAR00900	2013	5,38	66,77	27,85	4,87	75758	0,92	62,8	3991	64,4	10,8	71869	0,14	27,5	160
GUAR00900	2014	7,34	68,32	24,34	2,7	67580	0,6	75,4	916	61,5	7,57	48483	0.1	16,2	99,4
GUAR00900	2015	7,61	61,41	30,98	6,84	97790	0,81	48,3	4295	60,3	11,7	61910	0,31	26,5	157
GUAR00900	2017	6,54	61,88	31,58	7,1	59452	1,01	78,8	4326	56,8	7,6	60608	0,18	17	152
GUAR00100	2019	9,23	48,02	42,75	5,51	114250	0,97	96,2	121	69,9	16,8	39740	0,14	26,9	179
GUAR00751	2019	15,76	43,18	41,06	7,97	91117	1,47	90	493	52,3	5,27	47206	0,22	20,6	420
GUAR00900	2019	13,56	47,10	39,34	6,84	115790	0,69	98	3119	62,4	13,1	53963	0,17	28,9	149

Fonte: Autora

2.2.4 Índice de geoacumulação (lgeo)

Empregou-se o índice de geoacumulação determinado por Muller (1969), no qual é amplamente utilizado em diversos trabalhos nacionais e internacionais como um dos instrumentos de verificação da qualidade do sedimento. A determinação por meio do índice compara as concentrações dos metais em sedimentos sofridos por atividades antrópicas das concentrações naturais do ambiente. O cálculo do índice é expresso pela seguinte equação:

$$\mathrm{lgeo} = \log_2 \left\lfloor \frac{c_n}{1.5\mathrm{Bn}} \right\rfloor \quad (1)$$

Sendo:

- Cn é a concentração do metal da amostra
- Bn concentração background geoquímico do metal

Na presente pesquisa, as concentrações background (testemunho) dos metais foram utilizados valores referentes do Guia de Valores de Condição de Qualidade do Solo (VCQ_6) da bacia hidrográfica do Alto Tietê (UGRHI nº 6) da Cetesb (2008). Os três reservatórios pertencem a UGRHI do Alto Tietê. Considerou-se os valores de condição de qualidade para os usos agrícola e de mata para alguns elementos como, Al, Cu, Cr, Zn e um único valor aos demais conforme elaborado no VCQ_6. A Tabela 5 apresenta os valores de qualidade considerados na obtenção do índice:

Tabela 5- Valores de referência de condição da qualidade do solo da bacia do Alto Tietê (UGRHI nº 6) de cada elemento químico utilizado.

Elementos	**VCQ_6**
(mg.kg-1 peso seco)	**índice**
Al	43.350[a] 32900[m]
As	4,35
Cd	0,1
Pb	28
Cu	40[a] 13[m]
Cr	41[a] 27[m]
Fe	31900
Hg	0,06
Ni	5,7
Zn	62[a] 26[m]

Fonte: Modificado de Cetesb (2008). Legenda: a: área agrícola, m: fragmentos de mata

A partir dos valores obtidos no índice lgeo foram enquadrados entre sete classes, de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 - Classificação dos índices de lgeo

Valor de lgeo	Classe	Descrição
>5	6	Extremamente contaminado
4-5	5	Fortemente a extremamente contaminado
3-4	4	Fortemente contaminado
2-3	3	Moderadamente a fortemente contaminado
1-2	2	Moderadamente contaminado
0-1	1	Sem contaminação a moderadamente contaminado
0	0	Sem contaminação

Fonte: Modificado de Muller (1969), Silva *et al.* (2016)

2.2.5 Dados de precipitação

Foram utilizados dados públicos de precipitação da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) para os reservatórios, considerando o mesmo período amostrado dos sedimentos.

2.3 RESULTADOS

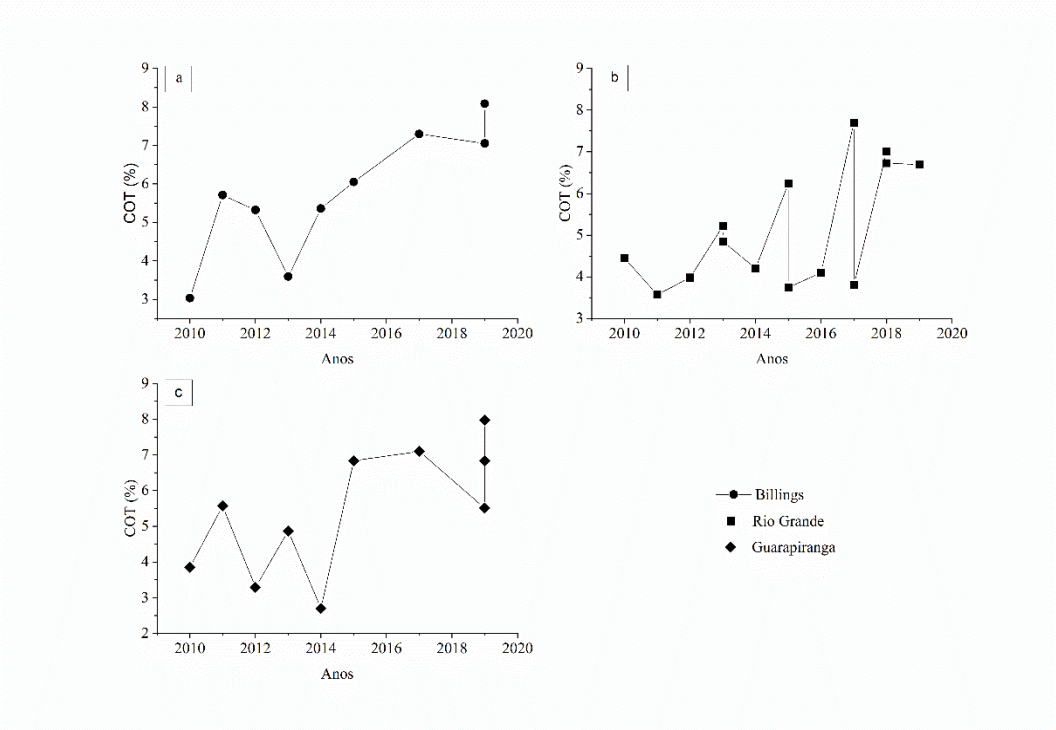
2.3.1 COT, análise granulométrica e elementos químicos

2.3.1.1 COT

Conforme a Figura 1 em todos os reservatórios as concentrações de COT tiveram aumento gradativo e redução acentuada. No reservatório 1a das nove estações de medição o menor valor foi de 3.03% e de maior valor 8,08%. O 1b das quinze estações o menor valor foi de 3,57% e maior de 7,7%. E o 1c das dez estações o menor foi de 2,7% e maior de 7,97%.

Comparando o comportamento dos anos medidos, o reservatório 1a apresentou um aumento entre os anos de 2010-2011 e queda significativa em 2013 evoluindo em 2014-2019, com algumas variações. Para os anos do reservatório 1b, houve oscilações em todos os anos, porém a atenção maior se deve entre os anos de 2017 e 2018, no qual os resultados foram expressivos. Enquanto para o reservatório 1c, a oscilação também conferiu em todos os anos, no entanto nos anos de 2015 e 2019 obtiveram o mesmo valor de COT - 6,84%.

Figura 1 – Distribuição do COT no período de anos, nos reservatórios Billings (1a), Rio Grande (1b) e Guarapiranga (1c)



Fonte: Autora

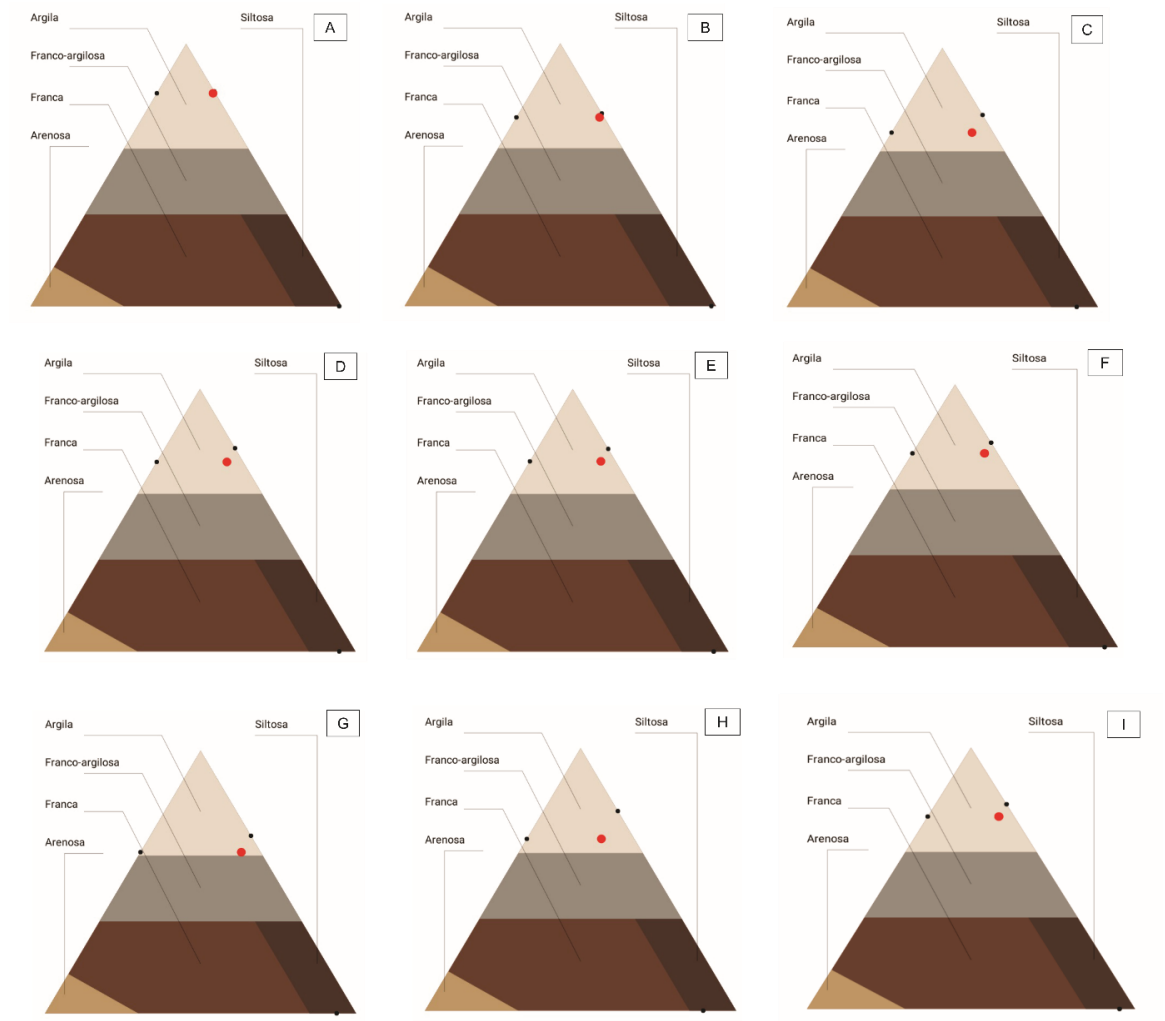
2.3.1.2 Análise granulométrica

Os triângulos texturais A, B, C, D, E, F, G, H e I são resultados das estações BILL 02100 e BILL 02030, e os anos medidos, detalhado na Figura 2. Com exceção do triângulo textural H, os demais são das estações BILL 02100.

No Brasil, a classificação das frações granulométricas são divididas em Argila, Franco-argilosa, Franca e Arenosa. A maioria dos triângulos texturais (Figura 2) apresentaram frações dominadas por argila e assim, a classificação como argilosa - representado no topo do triângulo e nos pontos em vermelho destacado. No triângulo G, o ponto vermelho se encontra entre argila e franco argilosa, no limite de transição da classificação textural.

A mudança nos anos, desde o ano de 2010 foram no conteúdo da fração de areia, inicialmente o teor foi de 0,88% e durante os anos seguintes foram superiores ao primeiro apresentado. A fração argila apresentou o maior teor de 81,16%, no ano de 2010, comparado aos anos posteriores. No ano de 2017 foram 32,41% no teor de silte e 61,35% de argila, o que define a classificação limitante no triângulo G.

Figura 2 – Triângulos texturais do reservatório Billings (1a)

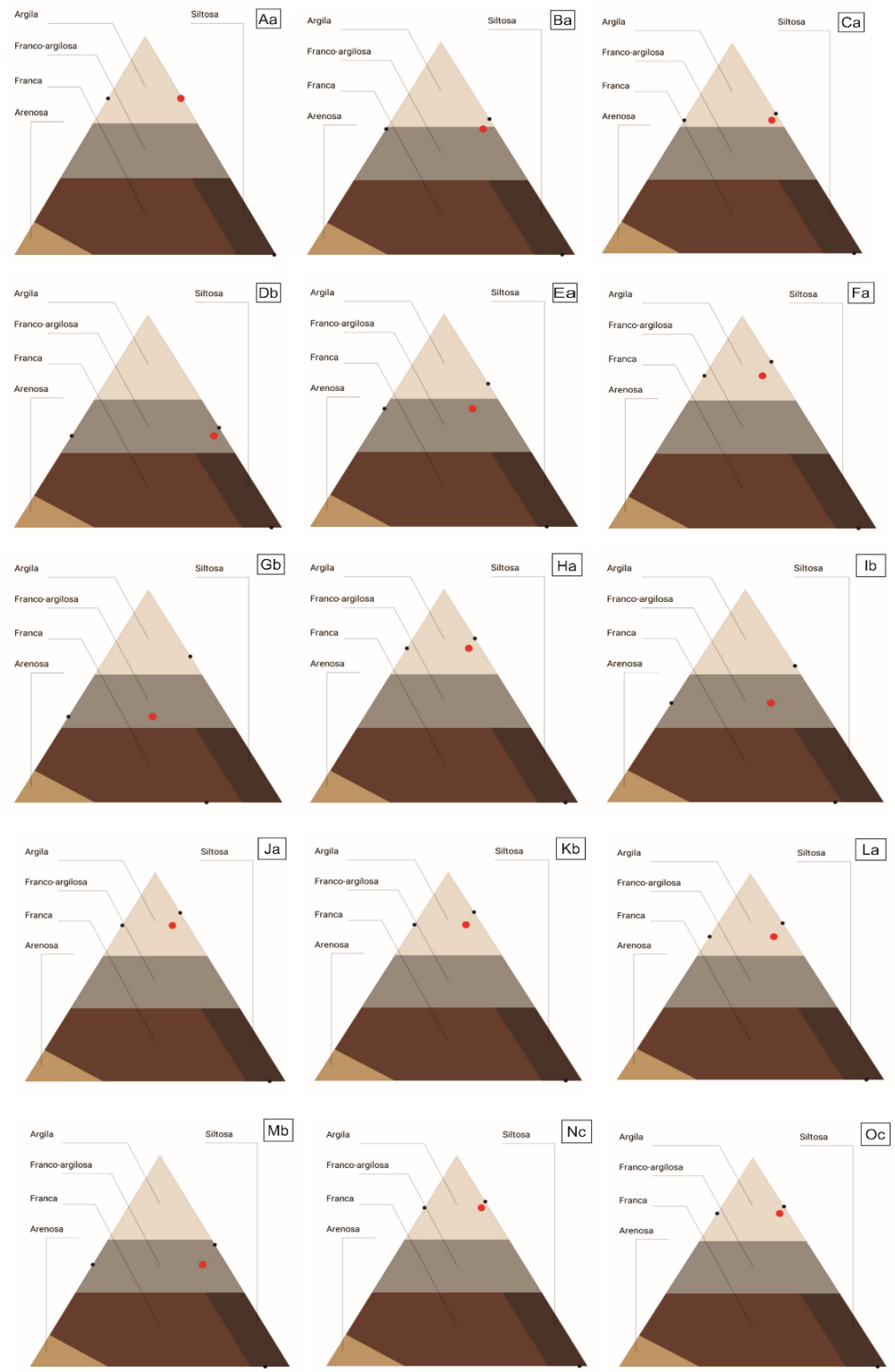


Fonte: Autora. Legenda: A, B, C, D, E, F, G, H e I (estações medidas e os anos), BILL 02100 -2010, BILL 02100-2011, BILL 02100-2012, BILL 02100-2013, BILL 02100-2014, BILL 02100- 2015, BILL 02100-2017, BILL 02030-2019 e BILL 02100-2019, nessa ordem

Os triângulos texturais do reservatório 1b (Figura 3), Aa, Ba, Ca, Db, Ea, Fa, Gb, Ha, Ib, Ja, Kb, La, Mb, Nc e Oc foram subdivido como a, b, e c a fim de diferenciar as estações de amostragem, RGDE 02900 representado por a, RGDE 02030 por b e RGDE 02400 por c. As classificações texturais das estações foram parcialmente argilosas e franco argilosa.

Observou-se que nos triângulos nomeados houve diferenças nas frações granulométricas desde o primeiro ano (2010), inicialmente a fração de areia apresentou um teor de 0,63% e ao longo dos anos foram superiores ao primeiro ano. Referente ao triângulo Ea, o único que a classificação resultou como franco argilosa, os teores foram de 11,49% de areia, 55,44% de argila e 32,47% de silte. Nos triângulos em b todos foram classificados em franco argilosa. Em c, as duas estações foram classificadas como argilosa e os teores das frações foram semelhantes, baixa diferença entre 2018 e 2019.

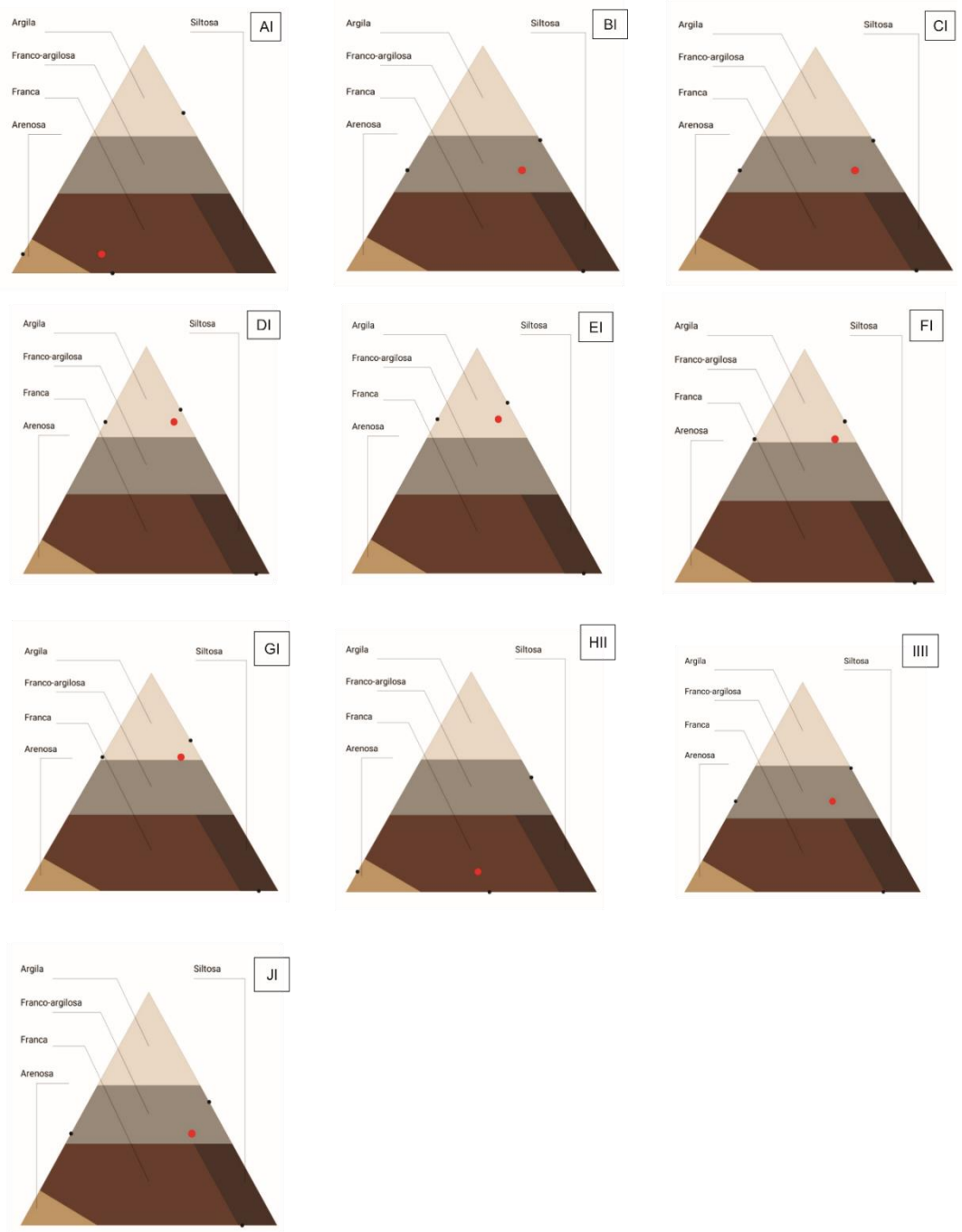
Figura 3 – Triângulos texturais do reservatório Rio Grande (1b).



Fonte: Autora - Aa, Ba, Ca, Db, Ea, Fa, Gb, Ha, Ib, Ja, Kb, La, Mb, Nc e Oc (estações medidas e os anos), RGDE 02900 -2010, RGDE 02900-2011, RGDE 02900-2012, RGDE 02030-2013, RGDE 02900-2013, RGDE 02900- 2014, RGDE 02030-2015, RGDE 02900-2015, RGDE 02030-2016, RGDE-02900-2016, RGDE 02030-2017, RGDE 02900-2017, RGDE 02030-2018, RGDE 02400-2018 e RGDE 02400-2019, respectivamente.

Baseado nas observações dos triângulos texturais dos reservatórios 1a e 1 b, o reservatório 1c (Figura 4) obteve mais de duas classificações concentrado em arenosa, franco argilosa e argilosa. E nesse caso, a maioria dos triângulos sofreram mudanças de classificação. O teor de areia no triângulo AI foi de 61,93%, seguida de 29,70% de silte e 8,37% de argila. No BI esse cenário sofreu mudanças, ocorrendo queda na fração de areia (13,33%) e aumento nas frações de silte e argila, 41,91% e 44,76%, respectivamente. Consequentemente a classificação alterou para franco argilosa, e similarmente o CI teve a mesma classificação. Os triângulos DI, EI, FI e GI foram classificados como argilosa, embora FI e GI se encontram no limite de transição textural. HIII e IIII foram novas estações monitoradas e a classificação diferenciou nas duas, sendo franca e franco argilosa, nessa ordem. E JI foi classificado como franco argilosa, semelhante ao resultado dos triângulos BI e CI.

Figura 4 – Triângulos texturais do reservatório Guarapiranga (1c)



Fonte: Autora. Legenda: AI, BI, CI, DI, EI, FI, GI, HII e IIII (estações medidas e os anos), GUAR 00900 -2010, GUAR 00900-2011, GUAR 00900-2012, GUAR 00900-2013, GUAR 00900-2014, GUAR 00900-2015, GUAR 00900-2017, GUAR 0100-2019, GUAR 00751-2019 e GUAR 00900-2019.

2.3.1.3 Elementos químicos

Os elementos do reservatório 1a foram distribuídos de acordo com as concentrações encontradas das estações amostradas de sedimentos e os anos medidos (Figura 5).

O primeiro elemento Al apresentou em 2010 uma concentração de 107920 mg/kg diminuindo em 2011 com 94461 mg/kg e aumentando em 2012 com 112341 mg/kg, nos anos seguintes as concentrações foram abaixo dos anos anteriores, no entanto, em 2019, a concentração aumentou nas estações BILL 02030 e BILL 02100, 99385 mg/kg e 108730 mg/kg, respectivamente. Particularmente, na estação BILL 02100 as concentrações de Al foram superiores e o maior valor foi em 2012. Evidentemente que a avaliação da estação BILL 02030 foi em um único ano, em 2019. A situação da estação BILL 02030 serve usualmente para os demais elementos.

As concentrações para Cd nos anos de 2010, 2011 e 2012 sofreu um aumento, 3,13 mg/kg, 3,71 mg/kg e 4,05 mg/kg, na ordem. Para os anos de 2013 a 2017 houve oscilações de aumento e queda e, em 2019, a estação BILL 02030 obteve 2,45 mg/kg e a BILL 02100 em 2,58 mg/kg. O ano 2019, para a estação BILL 02100, indicou uma concentração similar aos primeiros anos. O Pb apresentou alguns anos acima das concentrações dos demais, principalmente em 2012, 2014 e 2019, inclusive na estação BILL 02030. O maior valor encontrado foi em 2019 com 120 mg/kg e o menor em 2013 com 53,2 mg/kg.

No elemento Cu a maioria das concentrações foram acima de 200 mg/kg e somente para os anos 2010, 2012, 2013 e 2017 foram abaixo de 200 mg/kg. A estação BILL 02030 apresentou a maior concentração se comparado a outra estação – 264 mg/kg. O menor valor foi em 2013 com 98,9 mg/kg.

Para o Cr oscilou em todos os anos, alguns anos com concentrações aproximadas. Os maiores valores encontrados foram 2011 e 2013, 211 mg/kg e 216 mg/kg e, o menor em 2017, 124 mg/kg. Essa observação atende o comportamento a partir de 2014 a 2017 identificando o decréscimo.

As apresentou no primeiro ano a menor concentração, 2 mg/kg. Tendo como base um aumento significativo em 2011 e 2012, decréscimo em 2013 e aumento nos demais anos. A maior concentração foi em 2014 com 20,1 mg/kg.

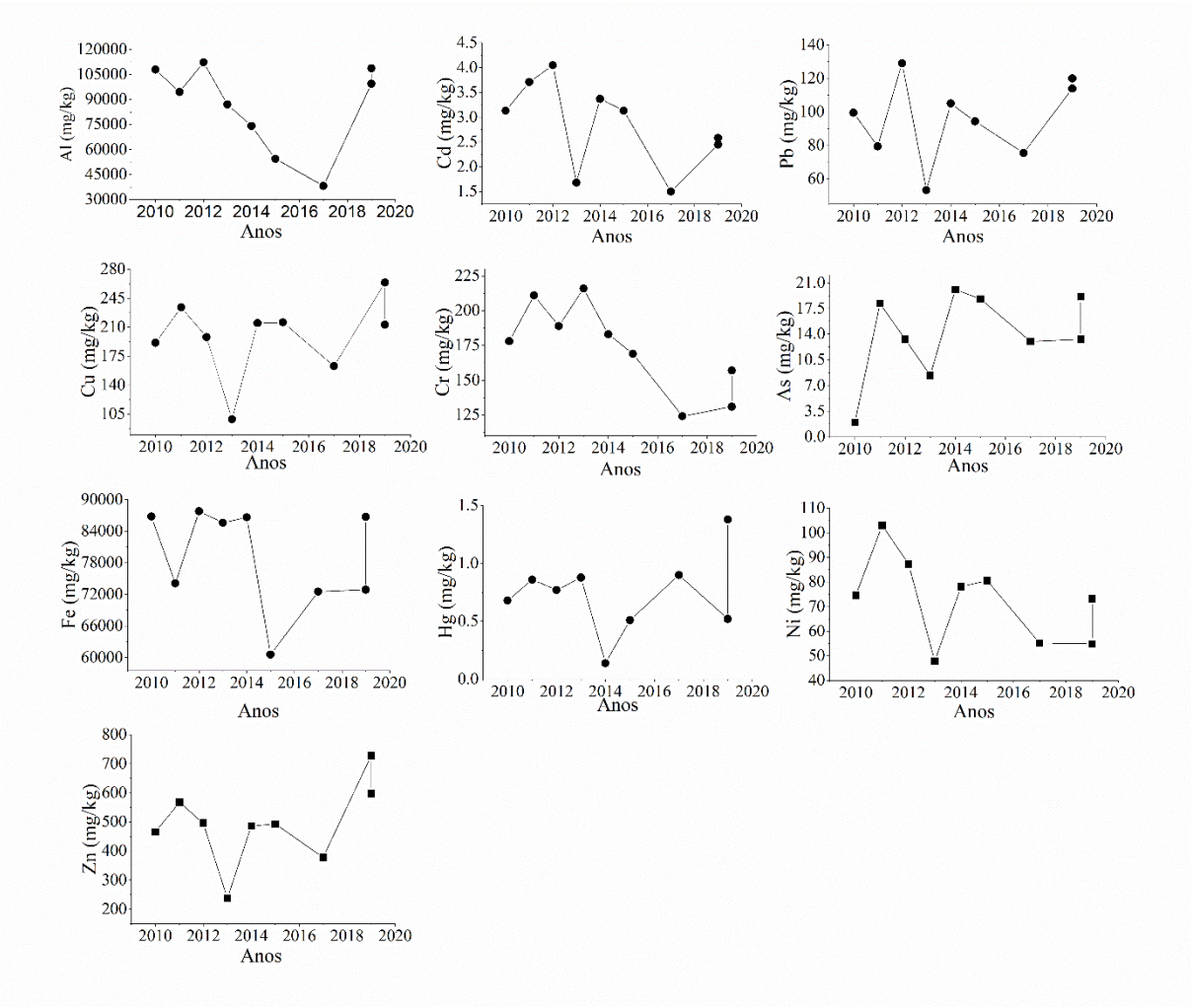
As concentrações do Fe na maioria dos anos não houve diferenças muito significativas, com exceção em 2015 apresentando a menor concentração de todos, 60550 mg/kg. Dos anos avaliados o maior valor foi de 87797 mg/kg, em 2012.

Hg, na avaliação do primeiro ano, a concentração foi de 0,68 mg/kg e nos anos de 2011 a 2013 oscilou entre aumento e queda. Os anos 2014 e 2017 apresentaram as menores concentrações, 0,14 mg/kg e 0,9 mg/kg e, o maior valor foi de 2019 com 1,38 mg/kg.

Ni obteve a concentração do primeiro ano superior que 2013, 2017 e 2019 - nas duas estações de 2019. O maior destaque foi em 2011 com 103 mg/kg enquanto o menor em 2013 com 47,9 mg/kg. As concentrações tiveram diferenças em todas avaliadas.

O último elemento, Zn, obteve o maior resultado na estação BILL 02030 em 2019, com 728 mg/kg e menor valor de 238 mg/kg, em 2013.

Figura 5 – Variação da concentração de diferentes elementos químicos do reservatório Billings (1a) entre os anos 2010 a 2019



Fonte: Autora

A análise dos resultados do reservatório 1 b (Figura 6) demonstraram diferenças durante todos os anos. O elemento Al apresentou nos três primeiros anos concentrações que aumentaram e diminuíram. Em 2013 houve um aumento da estação RGDE 02900 e nos anos seguintes até 2018, as concentrações foram inferiores aos anos iniciais nas três estações. Em 2019, a concentração da estação RGDE 02400 foi superior a alguns anos comparados anteriormente.

O Cd apresentou no primeiro ano uma concentração de 0,56 mg/kg e gradativamente aumentou até 2013, referente a estação RGDE 02900. Em 2014 houve um aumento, porém, sobre três anos, 2015, 2016 e 2017 as concentrações foram semelhantes, 0,5 mg/kg. Esse evento de semelhança também ocorreu para os anos 2010, 2016 e 2018 apresentando uma concentração de 0,56 mg/kg, no entanto, as estações são diferentes, RGDE 02900, RGDE 02030 e RGDE 02400, respectivamente. Similarmente, nos anos 2014 e 2019 tiveram as mesmas concentrações, 0,6 mg/kg com a diferença das estações, RGDE 02900 e RGDE 02400. A maior concentração encontrada foi de 1,11 mg/kg, em 2017, na estação RGDE 02030.

Pb em grande parte das concentrações variaram, a partir de 40 mg/kg atingido o valor máximo de 81 mg/kg. Excepcionalmente um único valor foi abaixo dos demais, a concentração foi de 14,9 mg/kg - estação RGDE 02030.

As concentrações de Cu foram oscilantes em todos os anos, entre picos altos e outros abaixo. Os valores altos foram encontrados para as estações RGDE 02900 e RGDE 02400 enquanto na estação RGDE 02030 foram inferiores dos demais.

Observou-se que as concentrações de Cr foram a partir de 40 mg/kg variando até atingir 83,1 mg/kg, identificado como o maior valor.

A distribuição do As iniciou com 27,6 mg/kg reduzindo a 18,1 mg/kg, em 2013. No ano de 2013, para a estação RGDE 02030, a concentração foi de 3,56 mg/kg, identificado com a menor concentração de todos. A estação RGDE 02030 apresentou os menores resultados encontrados das três estações, em seguida foi a estação RGDE 02400.

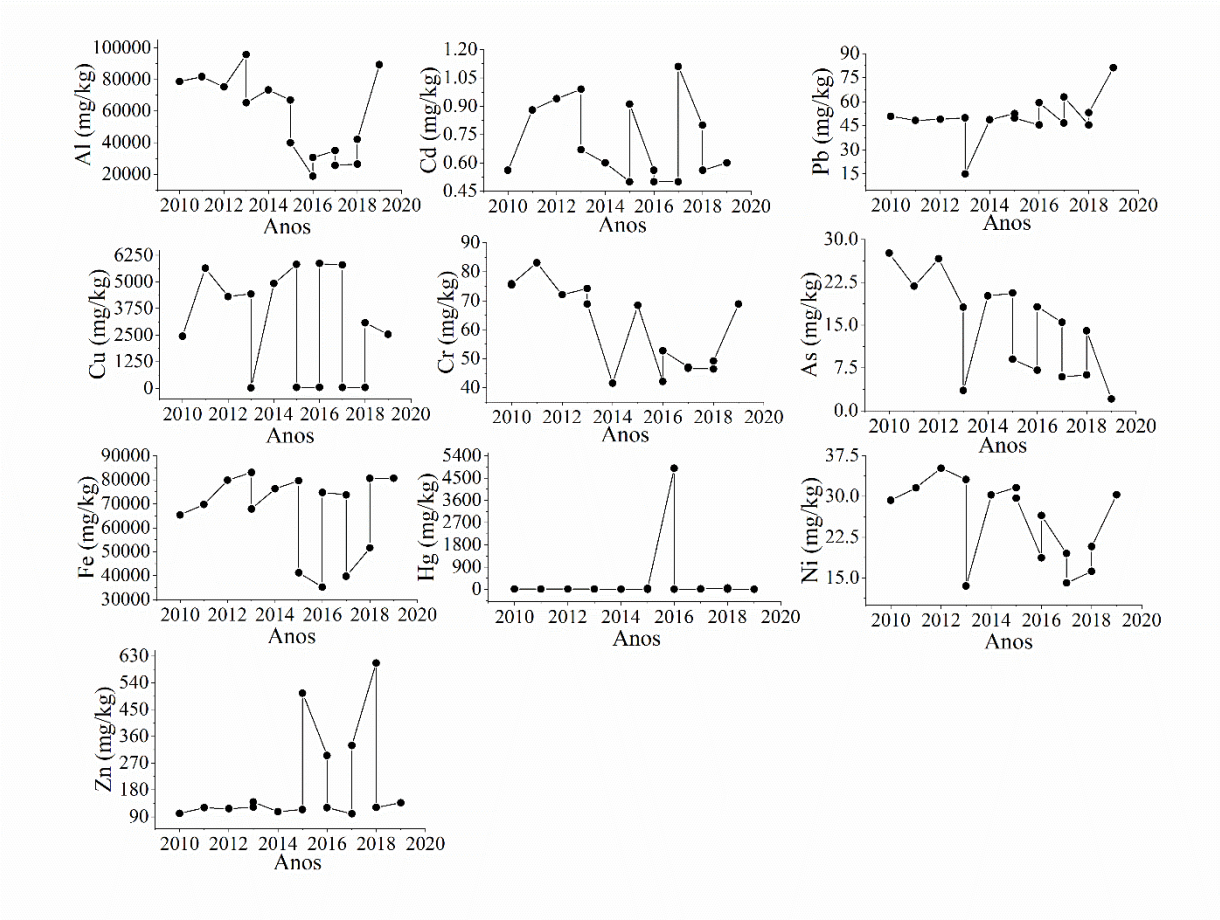
As diferenças do Fe se encontram entre as estações, as concentrações menores foram na estação RGDE 02030 e em segundo na estação RGDE 02400. A maior concentração foi 83063 mg/kg na estação RGDE 02900, em 2013.

O Hg demonstrou concentrações altas entre as estações e nos anos avaliados. O principal resultado foi de 4895 mg/kg na estação RGDE 02030, observado como o valor máximo.

Ni apresentou os maiores conteúdos nas estações RGDE 02900 e RGDE 02400. O maior valor detectado foi 35,2 mg/kg na estação RGDE 02900 e o menor 13,5 mg/kg na RGDE 02030.

O último elemento, Zn apresentou teores superiores a 100 mg/kg atingindo valores máximos de 329 mg/kg e 607 mg/kg. Nesse caso para as estações RGDE 02030 e RGDE 02400.

Figura 6 – Variação da concentração de diferentes elementos químicos no reservatório Rio Grande (1b) entre os anos 2010 a 2019



Fonte: Autora

Assim como os reservatórios 1a e 1 b os teores inorgânicos do reservatório 1c (Figura 7) apresentaram mudanças das estações e os anos medidos. A presença do Al apresentou condições de aumento e queda acentuada em todos os anos. Com um valor inicial dos anos medidos de 93461 mg/kg (estação GUAR 00900), houve decréscimo e acréscimo nos anos seguintes até atingir o valor máximo de 115790 mg/kg, em 2019. As estações GUAR 00100 e GUAR 00751 resultaram com 114250 mg/kg e 91117 mg/kg.

O Cd resultou no primeiro ano de medição, uma concentração de 4,34 mg/kg, o maior de todos e, nos anos seguintes foram abaixo da primeira medição. O segundo valor observado foi na estação GUAR 00751, em 2019, com 1,47 mg/kg de teor.

Pb apresentou uma concentração inicial de 38,5 mg/kg, decréscimo em 2011 e um crescimento até 2014. Em 2015 decresceu e 2017 aumentou até 2019. Para as estações GUAR 00100 e GUAR 00751 as concentrações foram de 96,2 mg/kg e 90 mg/kg no mesmo e único ano, 2019.

Cu apresentou resultados acentuados na maioria dos anos e estações. O maior valor foi 4325 mg/kg da estação GUAR 00900 e o menor de 121 mg/kg da estação GUAR 00100. As estações GUAR 00100 e GUAR 00751 resultaram nos menores valores.

O Cr apresentou os maiores valores em 2013 e 2019, na primeira situação registrou 64,4 mg/kg e na segunda foram 69,9 mg/kg e 62,4 mg/kg. Para os anos e valores mencionados foram de duas estações, GUAR 00900, GUAR 00100 e GUAR 00900, na ordem.

As concentrações do As foram superiores a partir de 2011, se comparado ao primeiro ano registrado de 2 mg/kg, o menor de todos. A maior concentração encontrada foi da estação GUAR 00100 com 16.8 mg/kg.

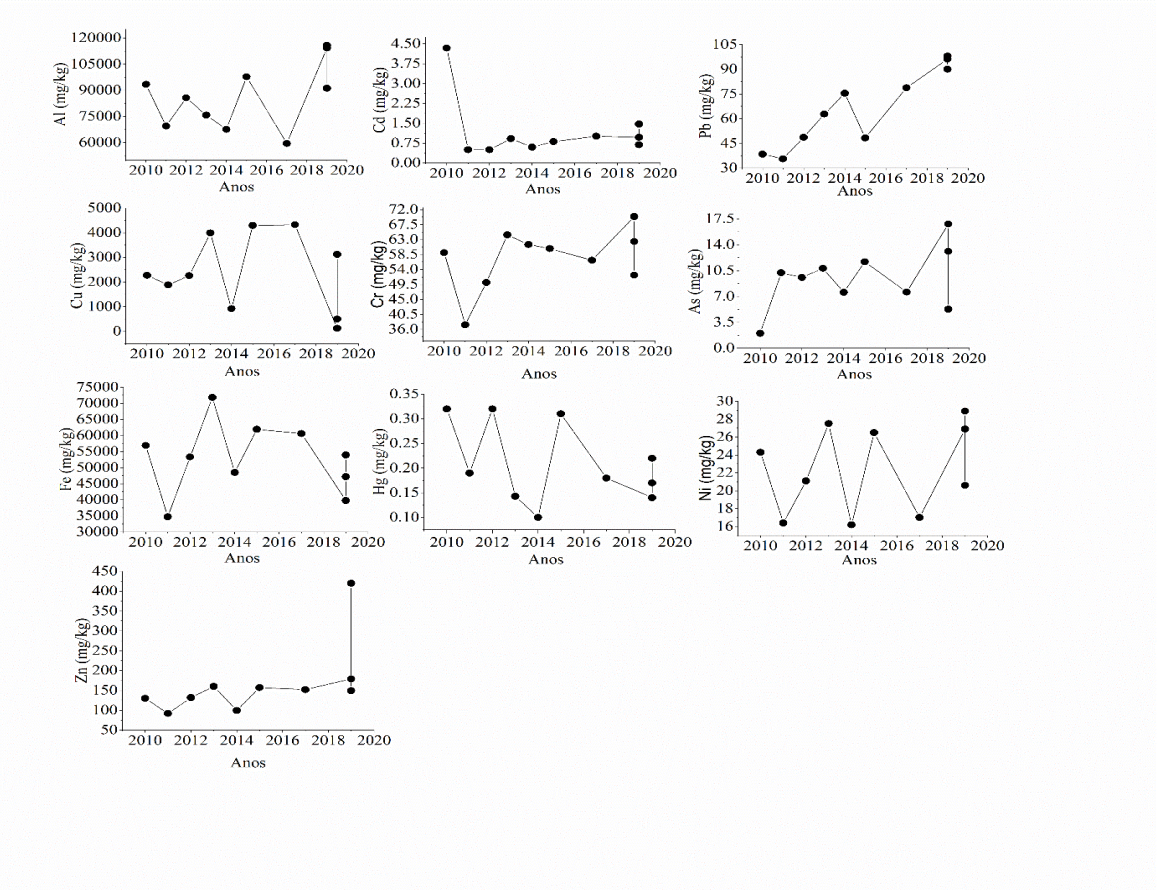
Concentrações encontradas do Fe demonstraram uma situação de superioridade e inferioridade entre os anos levantados. Observou-se esse comportamento mais presente, entre os anos de 2010 e 2013, embora houve oscilações nesse período. A maior diferença dos anos foi em 2013 com 71869 mg/kg e menor em 2011 com 34693 mg/kg.

Para o Hg em alguns anos houve similaridade nos resultados, são os anos de 2010, 2012, 2013 e 2019 com as concentrações de 0,32 mg/kg nos dois primeiros anos e 0,14 mg/kg nos restantes.

No caso do Ni, os resultados encontrados sofreram variações nos anos, em um cenário crescente e decrescente. Para o último ano, em 2019, as três estações atingiram concentrações superior a 20 mg/kg. O maior resultado foi em 2019, na estação GUAR 00900 c o menor de 16,2 mg/kg para a mesma estação.

O último elemento, Zn apresentou variações nos anos, contudo, principalmente o destaque ocorreu em 2019, o qual as concentrações das três estações foram acima dos anos anteriores.

Figura 7 – Variação das concentrações de diferentes elementos inorgânicos do reservatório Guarapiranga (1c) entre os anos de 2010 a 2019



Fonte: Autora

2.3.2 Índice de geoacumulação (lgeo)

As Tabelas 7, 8 e 9 apresentam os valores encontrados do índice de geoacumulação e que serviram de base conceitual sobre a qualidade do sedimento dos reservatórios.

Na Tabela 7 são listados os resultados do reservatório 1a dos índices de geoacumulação (lgeo) encontrados e o enquadramento das classes. Foram encontrados dois resultados de índice de geoacumulação para Al, Cu, Cr e Zn. Os índices que apresentaram dois índices, de fragmentos de mata superaram de área agrícola.

Os resultados de lgeo do Al foram enquadramento na classe 1 (pouco contaminado), em todos os anos. Além disso ocorreram resultados semelhantes para fragmentos de mata, 0,66, nos anos 2010 e 2019. Em seguida, no caso do Cd, os índices encontrados foram altos, classificados em 6 (extremamente contaminado), 5 (fortemente a extremamente contaminado) e 4 (fortemente contaminado). O maior valor foi 8,21. Por outro lado, o Pb resultou em índices

abaixo de 1, enquadrados na classe 1 e, o maior valor foi 0,9. No Cu os índices variaram, alguns foram abaixo de 1 e nos restantes acima de 1, dividindo as classes entre 5, 4, 3 (moderadamente a fortemente contaminado), 2 (moderadamente contaminado) e 1. O maior valor encontrado foi de 4,1. Para o Cr os índices encontrados não excederam a 2, classificando-os em 2 e 1, com o valor máximo de 1,61. Os índices do Fe e As foram abaixo de 1, enquadrados na classe 1. Certos valores encontrados no Fe foram semelhantes, nos anos 2010, 2012, 2014 e 2019 resultado em 0,55 e 2017 e 2019, resultado em 0,46. A mesma situação ocorreu no As, nos anos 2012, 2017 e 2019 (estação BILL 02030), com 0,6 e nos anos 2014, 2015 e 2019. Os três últimos metais, Hg, Ni e Zn enquadraram-se nas classes 1, 2, 3, 4 e 5 e 6 apenas para Zn. Os maiores valores encontrados foi 3,08 do Hg, 3,63 do Ni e 5,62 do Zn.

A Tabela 8 apresenta os índices encontrados do reservatório 1b. Resultados semelhantes foram obtidos para o Al, Pb, Fe e Cr. Para tal os quatro elementos apresentaram a mesma classe: 1. Ademais certos índices foram semelhantes dentro de cada grupo dos elementos, Al com 0,19 (área agrícola), Pb, 0,33, 0,35, 0,36 e 0,38, Cr, 0,35 (área agrícola), 0,35 (mata), 0,31 (mata), 0,51 (mata) e Fe, 0,5 e 0,51. Referente ao Cd as classes corresponderam a 2 e 3 e o maior valor encontrado foi 2,25. As e Ni apontaram resultados abaixo de 1 e os demais até 2, classificando os índices entre 1 e 2. Cu apresentou poucos valores inferiores a 1, caracterizado por pouca contaminação. Dois resultados foram classificados em 2 e 3. A maior frequência foi na classe 6, onde os resultados foram acima de 10, com um valor máximo de 90,56. Nesse sentido, o Hg apresentou todos os valores alterados e de classe 6. O maior resultado foi 16372 e coincidiu com o ano de maior valor do Cr, 2016, a diferença entre os resultados foram nas estações. No Zn boa parte dos resultados foram abaixo de 1, outros foram superiores a 1, fazendo parte classes como a 2, 3, 4 e 5. Na classe 5 o maior e único valor encontrado foi 4,69.

Com relação ao reservatório 1c (Tabela 9) os índices dos elementos Al, Pb, Cr, Fe, As e Ni foram abaixo de 1, consequentemente classe 1 a todos. No Fe e As um índice de cada grupo apresentou semelhança, 0,34 e 0,35, respectivamente. Cd demonstrou valores acima de 1, classificação 2, 3 e 6. Houve um único valor excedido, 8,8, motivo o qual a classe foi 6. Cu apresentou a classe 6 com maior frequência, seguida das classes 5, 3, 2 e 1, somente um valor. Hg e Zn boa parte dos índices foram classes 1 e 2, somente um resultado correspondeu a classe 3 – valor máximo 3,24 (fragmentos de mata).

Tabela 7 - Valores encontrados para o índice de geoacumulação (lgeo) obtidos para todos os elementos químicos e categorização do reservatório Billings (1a)

Estação	Ano	Al		Cd		Pb		Cu		Cr		Fe		As		Hg		Ni		Zn	
		lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe
BILL 02100	2010	0,66(m)	1	6	6	0,71	1	2,75(m)	3	1,32(m)	2	0,55	1	0,1	1	2,27	3	2,63	3	3,59(m)	4
		0,5(a)	1					0,96(a)	1	1,29(a)	2									1,51(a)	2
BILL 02100	2011	0,58(m)	1	7,52	6	0,57	1	3,61(m)	4	1,57(m)	2	0,47	1	0,8	1	2,88	3	3,63	4	4,38(m)	5
		0,44(a)	1					1,17(a)	2	1,03(a)	2									1,84(a)	2
BILL 02100	2012	0,69(m)	1	8,21	6	0,92	1	3,06(m)	4	1,40(m)	2	0,55	1	0,6	1	2,58	3	3,1	4	3,83(m)	4
		0,52(a)	1					0,97(a)	1	0,93(a)	1									1,61(a)	2
BILL 02100	2013	0,53(m)	1	3,41	4	0,38	1	1,53(m)	2	1,61(m)	2	0,54	1	0,4	1	2,94	3	1,69	2	1,84(m)	2
		0,4(a)	1					0,5(a)	1	1,06(a)	2									0,77(a)	1
BILL 02100	2014	0,45(m)	1	6,83	6	0,75	1	3,32(m)	4	1,4(m)	2	0,55	1	0,9	1	0,47	1	2,75	3	3,75(m)	4
		0,34(a)	1					1,08(a)	2	0,78(a)	1									1,57(a)	2
BILL 02100	2015	0,33(m)	1	6,34	6	0,68	1	3,33(m)	2	0,92(m)	1	0,38	1	0,9	1	1,71	2	2,84	3	3,81(m)	4
		0,25(a)	1					1,08(a)	4	0,83(a)	1									1,6(a)	2
BILL 02100	2017	0,23(m)	1	3,04	4	0,54	1	2,52(m)	3	0,92(m)	1	0,46	1	0,6	1	3,01	4	1,94	2	2,92(m)	3
		0,18(a)	1					0,82(a)	1	0,61(a)	1									1,22(a)	2
BILL 02100	2019	0,66(m)	1	5,23	6	0,9	1	3,29(m)	4	1,17(m)	2	0,55	1	0,9	1	3,08	4	1,93	2	4.6(m)	5
		0,5(a)	1					1,07(a)	2	0,77(a)	1									1,94(a)	2
BILL 02030	2019	0,61(m)	1	4,97	5	0,82	1	4,1(m)	5	0,97(m)	1	0,46	1	0,6	1	1,2	2	2,58	3	5,62(m)	6
		0,46(a)	1					1,32(a)	2	0,64(a)	1									2,36(a)	3

Fonte: Autora. Legenda: m: fragmentos de mata, a: área agrícola

Tabela 8: Valores encontrados para o índice de geoacumulação obtidos para todos os elementos químicos e categorização do reservatório Rio Grande (1b)

Estação	Ano	Al		Cd		Pb		Cu		Cr		Fe		As		Hg		Ni		Zn	
		lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe
RGDE 02900	2010	0,48(m)	1	1,14	2	0,4	1	37,79(m)	6	0,56(m)	1	0,41	1	1,27	2	25,55	6	1,03	2	0,78(m)	1
		0,36(a)	1					12,28(a)	6	0,37(a)	1									0,33(a)	1
RGDE 02900	2011	0,5(m)	1	1,78	2	0,35	1	87,05(m)	6	0,62(m)	1	0,44	1	1,01	2	24,12	6	1,11	2	0,93(m)	1
		0,38(a)	1					21,66(a)	6	0,35(a)	1									0,39(a)	1
RGDE 02900	2012	0,46(m)	1	1,91	2	0,35	1	66,64(m)	6	0,54(m)	1	0,5	1	1,23	2	24,08	6	1,24	2	0,9(m)	1
		0,35(a)	1					21,66(a)	6	0,35(a)	1									0,38(a)	1
RGDE 02900	2013	0,4(m)	1	2,01	2	0,36	1	68,48(m)	2	0,55(m)	1	0,52	1	0,84	1	31,68	6	1,17	2	0,94(m)	1
		0,3(a)	1					22,26(a)	1	0,36(a)	1									0,38(a)	1
RGDE 02030	2013	0,58(m)	1	1,36	2	0,11	1	0,21(m)	1	0,51(m)	1	0,43	1	0,16	1	53,85	6	0,48	1	1,07(m)	1
		0,44(a)	1					0,07(a)	1	0,34(a)	1									0,45(a)	1
RGDE 02900	2014	0,45(m)	1	1,22	2	0,35	1	76(m)	6	0,31(m)	1	0,48	1	0,93	1	8,66	6	1,07	2	0,83(m)	1
		0,34(a)	1					24,7(a)	6	0,2(a)	1									0,35(a)	1
RGDE 02030	2015	0,24(m)	1	1,84	2	0,36	1	0,71(m)	3	0,41(m)	1	0,26	1	0,42	1	134,89	6	1,05	2	3,90(m)	4
		0,18(a)	1					0,23(a)	1	0,27(a)	1									1,63(a)	2
RGDE 02900	2015	0,41(m)	1	1,01	2	0,38	1	88,91(m)	6	0,51(m)	1	0,5	1	0,93	1	8,43	6	1,11	2	0,88(m)	1
		0,31(a)	1					29,22(a)	6	0,33(a)	1									0,37(a)	1
RGDE 02030	2016	0,11(m)	1	1,14	2	0,33	1	0,5(m)	1	0,31(m)	1	0,22	1	0,33	1	16372	6	0,66	1	2,28(m)	1
		0,09(a)	1					0,16(a)	1	0,21(a)	1									0,96(a)	1
RGDE 02900	2016	0,19(m)	1	1,01	2	0,43	1	90,56(m)	6	0,39(m)	1	0,47	1	0,84	1	9,23	6	0,93	1	0,93(m)	1
		0,14(a)	1					29,43(a)	6	0,26(a)	1									0,27(a)	1
RGDE 02030	2017	0,16(m)	1	2,25	3	0,45	1	0,55(m)	1	0,35(m)	1	0,25	1	0,27	1	15,75	6	0,5	1	0,77(m)	1
		0,12(a)	1					0,18(a)	1	0,23(a)	1									0,32(a)	1
RGDE 02900	2017	0,21(m)	1	1,01	2	0,33	1	89,48(m)	6	0,35(m)	1	0,46	1	0,72	1	83,95	6	0,69	1	2,54(m)	3
		0,16(a)	1					29,08(a)	6	0,23(a)	1									1,06(a)	1
RGDE 02030	2018	0,16(m)	1	1,62	2	0,33	1	0,63(m)	1	0,34(m)	1	0,32	1	0,29	1	176,27	6	0,57	1	4,69(m)	5
		0,12(a)	1					0,21(a)	1	0,23(a)	1									1,96(a)	2
RGDE 02400	2018	0,54(m)	1	1,14	2	0,38	1	47,49(m)	6	0,37(m)	1	0,51	1	0,65	1	11,04	6	0,73	1	0,93(m)	1
		0,41(a)	1					15,43(a)	6	0,24(a)	1									0,39(a)	1
RGDE 02400	2019	0,26(m)	1	1,22	2	0,58	1	39,04(m)	6	0,51(m)	1	0,51	1	0,09	1	12,84	6	1,07	1	1,06(m)	2
		0,19(a)	1					12,69(a)	6	0,34(a)	1									0,44(a)	1

Fonte: Autora. Legenda: m: fragmentos de mata, a: área agrícola

Tabela 9: Valores encontrados para o índice de geoacumulação obtidos para todos os elementos químicos e categorização do reservatório Guarapiranga (1c)

Estação	Ano	Al		Cd		Pb		Cu		Cr		Fe		As		Hg		Ni		Zn	
		lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe	lgeo	Classe
GUAR 00900	2010	0,57(m)	1	8,8	6	0,28	1	35,03(m)	6	0,44(m)	1	0,36	1	0,09	1	1,07	2	0,86	1	0,71(m)	1
		0,43(a)	1					11,38(a)	6	0,29(a)	1									0,14(a)	1
GUAR 00900	2011	0,42(m)	1	1,01	2	0,27	1	29,10(m)	6	0,37(m)	1	0,22	1	0,47	1	0,64	1	0,58	1	0,71m)	1
		0,32(a)	1					9,46(a)	6	0,19(a)	1									0,3(a)	1
GUAR 00900	2012	0,52(m)	1	1,01	2	0,35	1	34,84(m)	6	0,37(m)	1	0,34	1	0,44	1	1,07	2	0,74	1	1,02(m)	2
		0,4(a)	1					11,32(a)	6	0,25(a)	1									0,43(a)	1
GUAR 00900	2013	0,46(m)	1	1,86	2	0,45	1	61,61(m)	6	0,48(m)	1	0,45	1	0,5	1	0,48	1	0,97	1	1,23(m)	2
		0,35(a)	1					20,02(a)	6	0,32(a)	1									0,52(a)	1
GUAR 00900	2014	0,44(m)	1	1,22	2	0,54	1	14,14(m)	6	0,46(m)	1	0,31	1	0,35	1	0,33	1	0,57	1	0,77(m)	1
		0,31(a)	1					4,6(a)	5	0,3(a)	1									0,32(a)	1
GUAR 00900	2015	0,6(m)	1	1,64	2	0,35	1	66,3(m)	6	0,45(m)	1	0,39	1	0,54	1	1,04	2	0,93	1	1,21(m)	2
		0,45(a)	1					21,55(a)	6	0,3(a)	1									0,51(a)	1
GUAR 00900	2017	0,36(m)	1	2,05	3	0,56	1	66,78(m)	6	0,42(m)	1	0,38	1	0,35	1	0,6	1	0,6	1	1,17(m)	2
		0,28(a)	1					21,7(a)	6	0,28(a)	1									0,49(a)	1
GUAR 00100	2019	0,7(m)	1	1,97	2	0,69	1	1,81(m)	2	0,52(m)	1	0,25	1	0,78	1	0,47	1	0,95	1	1,38(m)	2
		0,53(a)	1					0,61(a)	1	0,34(a)	1									0,58(a)	2
GUAR 00751	2019	0,56(m)	1	2,98	3	0,65	1	7,61(m)	6	0,39(m)	1	0,3	1	0,24	1	0,74	1	0,73	1	3,24(m)	3
		0,42(a)	1					2,47(a)	3	0,26(a)	1									1,36(a)	2
GUAR 00900	2019	0,71(m)	1	1,4	2	0,7	1	48,15(m)	6	0,46(m)	1	0,34	1	0,6	1	0,57	1	1,02	1	1,15(m)	2
		0,54(a)	1					15,65(a)	6	0,31(a)	1									0,48(a)	1

Fonte: Autora. Legenda: m: fragmentos de mata, a: área agrícola

2.3.3 Precipitação

Conforme a Tabela 10, os resultados não apresentaram eventos de precipitação em todas as datas que foram realizadas as amostragens de sedimentos nos reservatórios. No reservatório Billings houve seis eventos de precipitação, o maior registrado foi para o ano 2012, 5,6 mm. Enquanto para o reservatório Rio Grande houve sete eventos de precipitação, com maior registro de 25,8 mm, em 2016, na região da estação RGDE 02900. Por último, no reservatório Guarapiranga foram averiguados sete eventos de precipitação e o maior registrou em 2015 com 5,2 mm.

Tabela 10 - Período de amostragem e precipitações registradas para os reservatórios Billings, Rio Grande e Guarapiranga

Estações	Data de coleta	Período de coleta (h)	Precipitação (mm)
BILL 02100	26/08/2010	11:40 às 15:00	0,4
BILL 02100	06/07/2011	12:05 às 14:30	0
BILL 02100	17/10/2012	11:35 às 14:25	5,6
BILL 02100	12/06/2013	11:22 às 13:15	0,2
BILL 02100	10/06/2014	12:41 às 14:25	0,2
BILL 02100	18/05/2015	11:30	0
BILL 02100	23/08/2017	11:16	0
BILL 02030	24/07/2019	12:55	0,2
BILL 02100	24/07/2019	14:30 às 15:00	0,2
RGDE 02900	14/06/2010	12:10 às 13:20	0
RGDE 02900	06/07/2011	12:05 às 14:30	0
RGDE 02900	30/05/2012	11:25 às 12:00	0
RGDE 02900	23/10/2013	11:08 às 11:20	0,2
RGDE 02030	01/08/2013	11:45 às 12:05	0,2
RGDE 02900	13/08/2014	11:30	0
RGDE 02900	06/05/2015	11:15	0,4
RGDE 02030	25/03/2015	13:30 às 14:45	0,4
RGDE 02900	02/06/2016	11:30	25,8
RGDE 02030	12/07/2016	11:19 às 12:05	0
RGDE 02900	10/08/2017	11:40	0
RGDE 02030	11/07/2017	10:31 às 11:16	0,2
RGDE 02030	25/07/2018	12:10	0,6
RGDE 02400	04/09/2018	13:18 às 14:10	0
RGDE 02400	03/07/2019	10:05 às 10:45	0,2
GUAR 00900	06/07/2010	11:25 às 12:10	0
GUAR 00900	03/08/2011	10:50 às 11:45	0
GUAR 00900	28/05/2012	12:20 às 12:50	0,2
GUAR 00900	13/06/2013	11:20 às 13:15	0,2
GUAR 00900	24/07/2014	13:00	0
GUAR 00900	05/05/2015	11:30	5,2
GUAR 00900	20/06/2017	12:20	0,4
GUAR 00100	04/06/2019	10:53	3,2
GUAR 00751	04/06/2019	11:33	3,2
GUAR 00900	10/07/2019	12:00 às 13:15	0,2

Fonte: Autora

2.4 DISCUSSÃO

2.4.1 COT, análise granulométrica e elementos químicos

2.4.1.1 COT

Através da plotagem apresentada na Figura 1 nos três reservatórios pode-se verificar a presença de matéria orgânica. No relatório da CETESB (2010), foi adotado aproximadamente 0,3% de COT representado como um valor para condições naturais, acima desse valor registra-se como incremento do material orgânico. No estudo realizado por Cervi (2017) para o

reservatório Billings, as amostras variaram entre 5,08% e 8,76%. E no trabalho de Mariani (2005), no reservatório Rio Grande dos pontos amostrados foram encontrados teores de carbono orgânico com o mínimo de 11,9% e o máximo de 23,67%. E no reservatório Guarapiranga os pontos de amostragem resultaram acima de 10% de COT no estudo de Pompêo *et al* (2013).

Para os anos dos três reservatórios os valores foram ultrapassaram 0,3% indicando interferências humanas no entorno dos reservatórios, a ocorrência de carga orgânica nas águas originários de resíduos domésticos e industriais (CERVI, 2017), também não se descarta que esse incremento do carbono nos anos pode estar relacionado ao material já existente, de fontes de raízes, restos de plantas, solos desprendidos por fatores erosivos (antrópicos) e que sofreram transporte até encontrarem esses represamentos. Segundo Huang *et al* (2019) estudos recentes discutiram que o carbono soterrado gerou um aumento nesse século por agravante atividades humanas, eutrofização e o aquecimento global (emissões de gases de efeito estufa).

Uma barragem construída altera o ciclo biogeoquímico e o material orgânico presente inundado se decompõe lentamente aos longos anos (ISIDOROVA, 2020). Em relação as taxas globais de gases do efeito estufa em âmbito global e uma escala menor como regional, nos estudos de ALMEIDA *et al*, 2019 e KOSTEN *et al*., 2018 divulgam que a forte seca entre os anos de 2014 e 2015 no Brasil, expôs ao ar aproximadamente 1300 km² de sedimentos em todo o território nacional o que expressamente aumentou nas emissões de carbono. Como também a presença do carbono orgânico retido nos sedimentos teve descargas primeiramente na água e quando o grau de profundidade é maior pode existir um aumento de carbono soterrado. O OC mineralizado incentiva a produção de metano (CH_4) levando um estado anaeróbio do ambiente e a presença de deposição desse material orgânico é de estado depende da carga poluidora receptora e de outros parâmetros, como temperatura, pH, por exemplo. Além disso, O COT encontrado em sedimentos caracteriza nesses ambientes um soterramento de material, portanto, pode dificultar a transferência de oxigenação até a superfície e a retenção pode aumentar com a profundidade (EZCURRA, *et al.*, 2019).

2.4.1.2 Granulometria

A presença de maiores concentrações das frações de argila do reservatório 1a nas amostras dos sedimentos destaca-se principalmente dos tipos de solo encontrados na região. Considerando a ocupação dessas áreas por informações na literatura e as amostras das frações dos sedimentos os resultados das estações associam-se a vários fatores como os solos predominantes, a conservação dessas áreas seguido de falta ou pouca cobertura vegetal,

ocupação de atividades humanas recebendo nesses locais sedimentos advindos da degradação do solo. Também se leva em consideração que a contribuição urbana é fortemente presente indicando que o predomínio das frações de argila e silte inferem um processo de sedimentação num período mais lento (ARANTES, 2012).

Nas circunstâncias da fração areia as mudanças crescentes nos anos consideram que o aporte de sedimentos na estação BILL 02030 e na BILL 02100 seja recente. Como as partículas de areia possuem dimensões maiores que argila e silte a velocidade de transporte de uma partícula mais pesada diminui consequentemente depositam. Os sedimentos erodidos na bacia hidrográfica por atividades humanas é um fator que relaciona no aumento da fração areia no período dos anos nas duas estações comparado ao valor inicial de 0,88%.

O reservatório 1b apresenta condições semelhantes do reservatório 1a, as frações predominantes de argila e silte demonstram sedimentação mais tardia. A tendência de as partículas sólidas ser advindas de empreendimentos construídos nas proximidades do reservatório também existem áreas com falhas de vegetação de modo que as áreas expostas têm se risco das partículas sólidas sofrerem transporte até o reservatório. Outra possibilidade importante são as mudanças hidráulicas no curso de água provocadas por barragens no instante que a velocidade da água reduz a deposição das partículas sólidas, partículas de tamanho maiores depositam na entrada do reservatório (FRASCARELI, 2016, PAIVA; PAIVA, 2003). enquanto partículas de menores tamanho a deposição ocorre em diferentes porções do reservatório.

No reservatório 1c a quantidade da fração de areia foi superior as demais, resultado das classificações mais encontradas nos triângulos. A atuação presente é principalmente da ocupação urbana e industrial em todas as regiões tendo o reservatório como receptor do aporte de partículas sólidas. Como mencionado sobre o aporte nesse caso é recente e existe a possibilidade que esse problema acompanhou no período de anos.

Ambientes artificiais como reservatórios apresentam uma incidência alta de heterogeneidade espacial e temporal (TUNDISI, 1996). No estudo realizado por Cervi (2017) no reservatório Billings das dez estações amostradas pelo autor em 2016 a classificação textural predominou em argilosa, alto teor de argila, o silte em média de 23,1% e pouca presença de areia. Na estação sentido braço do Bororé o teor de argila foi de 75,8% coincidente a estação BILL 02100 e na região da Barragem de Pedreira o teor de argila foi acima de 70% e do presente estudo resultou em 65,45%.

O estudo de Mariani (2006) no reservatório Rio Grande foi encontrado teores de argila em uma média de 32,9 ± 3,2% e para silte 39,9 ± 1,78% enquanto no estudo de Franklin *et al*

(2016) nas primeiras profundidades (0 – 5 cm) amostradas foram encontrados 1,1% de areia, 50% de silte e 48% de argila. As diferenças dos estudos citados com o presente compreendem no método do ensaio granulométrico realizado e os pontos utilizados, evidentemente que no estudo de Mariani (2006) o ano de amostragem foi em 2005 em uma espacialização de 29 pontos amostrados.

No estudo de Guimarães (2011) no reservatório Guarapiranga as amostragens de sedimentos foram realizadas em 2009 e 2010, uma campanha por ano, das cincos estações coletadas os teores de argila foi predominante na maioria das estações, 68,1% e 65,4% os maiores resultados encontrados, o silte e a areia apresentaram superioridade uma única vez, 50,2% e 47%, respectivamente. A classificação textural do estudo foram muito argilosas, franco argilossiltosa e argilossiltosa.

2.4.1.3 Teores de elementos químicos

Os resultados dos históricos de Al nos reservatórios foram altos, embora tendo os reservatórios 1a e 1c valores superiores que o 1b no ano de 2010. As demais mudanças que oscilaram considerando as estações e os anos medidos entre aumento e diminuição das concentrações do Al nos reservatórios são fatores ambientais como precipitação e vento que facilitaram o carreamento das partículas sólidas até esses reservatórios. A degradação de solos na região e a ausência de mata ciliar devido a urbanização são efeitos recorrentes das mudanças nos anos.

Para o elemento Cd os reservatórios 1a e 1b apresentaram aumento nos três primeiros anos consecutivos e reservatório 1c o primeiro ano de medição foi o maior que os demais. O valor de referência do Cd na bacia do Alto Tietê para sedimentos fluviais é de 0,24 mg/kg e no estudo de Nascimento (2003) nas primeiras camadas de amostragem 0 – 5 cm apresentou 3,1 mg/kg, indicando contaminação assim como nas estações do presente estudo.

As concentrações do Pb mais altas foram para o reservatório 1a, seguido 1b e por último o 1c. As mudanças nos anos podem ser relacionadas com solos contaminados, segundo Cervi (2017) geralmente solos não contaminados a concentração é aproximadamente 17 mg/kg. Nessa situação apenas uma estação foi abaixo de 17 mg/kg, a estação RGDE 02030 com 14,9 mg/kg o restante foram acima nos demais resultados e os anos. Em teores baixos não oferecem riscos a biota, ao homem, animais e plantas (CERVI, 2017, COSTA 2004). No entanto quando comparado ao valor de referência do Alto Tietê para sedimentos fluviais o limite é até 61 mg/kg, definindo os valores até 61 mg/kg como não contaminados.

Para Cu os valores foram altos nos reservatórios e no período de anos. No trabalho de Frascareli (2016) o reservatório Rio Grande as concentrações encontradas pelo autor foram elevadas em toda a extensão horizontal do reservatório. Pela intensa atividade antrópica que não limita somente ao Rio Grande, mas também ao Billings e o Guarapiranga alguns autores sugerem que o uso de algicidas como sulfato de cobre e peróxido de hidrogênio são utilizados para conter a proliferação de algas. O valor de referência para sedimentos fluviais na bacia é de 18 mg/kg. No estudo de Nascimento para o reservatório Billings os valores encontrados no horizonte 0 – 5 cm foram de 293 mg/kg.

Os valores de Cr mais altos foram do reservatório 1a representando a estação BILL 0100 no ano 2019 com o maior valor. No trabalho de Franklin *et al* (2016) os autores encontraram valores de Cr a partir de 80± 4 mg/kg encontrando o valor máximo de 121± 6 mg/kg no reservatório Rio Grande. No estudo de Padial (2008) no reservatório Guarapiranga a média encontrada de Cr dos pontos amostrados foi de 510,9mg /kg. No valor de referência da bacia é de 38 mg/kg e Nascimento (2003) encontrou 215 mg/kg nas camadas superficiais, valor aproximado com o maior do presente estudo 213 mg/kg. Os resultados das altas concentrações mencionadas advém do emprego do Cr nas indústrias de galvanoplastias com possibilidade de lançamento de efluentes dos resíduos das indústrias.

Os resultados de As foram altos, nos resultados de Franklin *et al* (2014) foram até 31± 4 mg/kg e os demais a partir de 20 mg/kg, de Nascimento (2003) foi 82 mg/kg comparado ao valor de referência da bacia de 19 mg/kg. O arsênio é um dos elementos químicos que causam toxicidade nos sedimentos (FRASCARELI, 2016). Na “Ficha de Informações Toxicológicas” da CETESB (2012) o arsênio pode ser introduzido nas águas herdadas de efluentes industriais. agrotóxicos, incineração de resíduos.

As concentrações de Fe nos reservatórios foram acima de 30000 mg/kg. Esse elemento possui importância nos reservatórios do presente estudo por ser ambientes hipereutrofizado que recebem despejos de efluentes de fontes difusas (esgotos domésticos). Os teores de Fe nos sedimentos podem influenciar nas águas bombeadas para o abastecimento público causando danos nos equipamentos. No estudo de Frascareli (2016) observou-se 59821,36 mg/kg no Reservatório Grande e Guimarães (2011) até 58059 ± 1558 mg/kg observado no reservatório Guarapiranga.

Os teores de Hg foram bastante oscilantes, destacando o reservatório 1b que apresentou os maiores resultados do elemento. O mercúrio é um dos elementos contaminantes que causa maior toxicidade e tem presença em diferentes efluentes industriais, agrícolas podendo apresentar concentrações naturais altas em regiões (LACERDA; MALM, 2008), o que não

convém na região do Alto Tietê. No estudo de Nascimento (2003) o autor encontrou 0,39 mg/kg referente ao reservatório Billings enquanto o valor de referência da bacia do Alto Tietê nos sedimentos fluviais é de 0,19 mg/kg. Boa parte dos resultados dos reservatórios foram acima do valor de referência.

Nos resultados de Ni os maiores valores observados foram no reservatório 1a. Os valores observados por Cervi (2017) no reservatório Billings variaram de 23,7 mg/kg a 75,3 mg/kg de Ni, no mesmo reservatório Nascimento (2003) observou 78 mg/kg enquanto no estudo de Frascareli (2016) no reservatório Rio Grande a média do Ni observada foi de 18,91 mg/kg e no reservatório Guarapiranga Guimarães (2011) observou uma concentração superior a 10 mg/kg e até 24,8 ± 0,4 mg/kg. O valor de referência da bacia é de 20 mg/kg nos sedimentos fluviais. De acordo com Cervi (2017) no reservatório Billings com o pH acima de 6 acumula metais através de óxidos de Fe e Mn (Manganês) favorecendo a disponibilidade de Ni no sedimento. Não somente no reservatório Billings leva-se essa consideração do Ni também pode estar de acordo com o reservatório Rio Grande e o Guarapiranga.

Zn apresentou maiores valores no reservatório 1a. O elemento é empregado em indústrias galvanoplastias e derivações de sais (CERVI, 2017). Comparando os resultados observados de alguns estudos, no trabalho de Frascareli (2016) o teor médio de Zn foi de 128,22 mg/kg, no reservatório Rio Grande, Nascimento (2003) 574 mg/kg de teor médio no reservatório Billings e Guimarães (2011) o máximo de 235 ±14 mg/kg no reservatório Guarapiranga. Novamente comparado ao valor de referência na bacia é de 82 mg/kg.

2.4.2 Índice de geoacumulação (Igeo)

Através dos resultados das tabelas 7, 8 e 9 para os metais Al e Fe a presença de contaminação pode ser considerada menor quando comparado aos resultados dos metais que apresentaram índices acima de 1. Característicos dos solos do estado de São Paulo, as concentrações de Al e Fe são naturalmente altas (SILVA *et al* 2017), por essa razão nos índices encontrados para Al e até mesmo o Fe supõem-se ser originários de solos lixiviados por fatores erosivos e assim as partículas desprendidas desses metais sofreram transporte até os reservatórios. Outra análise importante é sobre a ocorrência no entorno desses reservatórios, as ocupações humanas são fortemente presentes nesses locais o que pode gerar evidências sobre demais interferências presentes, não limitando somente a solos lixiviados. Nos índices que apresentaram dois resultados para fragmentos de mata e de áreas agrícolas uma relação das diferenças apresentadas pode ser vinda das práticas agrícolas, segundo RIBEIRO *et al* (2019)

os insumos químicos utilizados na correção de pH para melhorar a fertilidade de solos agrícolas podem influenciar sobre solos de mata.

Os valores de 0,66 nos anos de 2010 e 2019 apresentaram concentrações de Al próximas nesses dois anos e foram os anos de maior destaque na concentração do metal. E novamente, a inferência não se detém somente na lixiviação de solos erodidos.

No elemento Cd os índices e consequentemente as classificações foram altas em todos os anos, o que indica que nas estações monitoradas houve descargas de fontes pontuais (lançamento de efluentes domésticos, industriais, resíduos urbanos). No estudo realizado por Hortellani *et al* (2013) foram coletadas amostras de sedimentos em quatro campanhas nos anos 2009 e 2010 e os resultados de Cd de nove amostras foram classe 4, isto é, também resultou nos sedimentos forte poluição por este metal, assim como no presente estudo.

Assim como o Fe e Al, os metais Pb e As foram todos classificados em 1. Existe poluição nos sedimentos embora abaixo dos demais metais. Essas influências são advindas também por atividades humanas, no entanto quando comparados os valores de referência de solo da bacia os valores são altos. De antemão nos três reservatórios a classificação foi 1 nesses mesmos metais, predizendo ser associado aos solos da região.

Através dos resultados do Cu, a influência antrópica foi presente sobre todos os anos, mas com diferenças entre as classes de um ano para outro ou de mesmo ano para solo de mata e agrícola. Nos três reservatórios foi destacado essa presença, mas a classe 6 foi mais presente nos reservatórios 1b e 1c. Esses resultados podem indicar aplicações de um composto químico, como o sulfato de cobre, no intuito de controlar a proliferação de algas nas águas desses reservatórios (CARDOSO-SILVA *et al*., 2017, CARDOSO-SILVA *et al* 2015).

Com relação ao Cr, no reservatório 1a os valores foram superiores comparado aos reservatórios 1b e 1c apresentando também o único reservatório com classe 2. Os solos de mata se destacaram em relação aos solos agrícolas na superioridade dos resultados. Através das classes 1 e 2 resultadas existe contaminação presente associadas às atividades antrópicas que pode envolver substâncias químicas adicionadas no solo e no contexto de condições naturais na crosta terrestre o Cr é presente em uma concentração média de 100 mg/kg (CERVI, 2017).

O Hg apresentou maiores resultados nos índices dos reservatórios 1a e 1b se comparado ao reservatório 1c. No reservatório 1a as classes foram até 4 enquanto no reservatório 1b todas resultaram classe 6 e no reservatório 1c classes 1 e 2. No relatório da “Ficha de Informação Toxicológica” da CETESB (2012) o mercúrio é dito como incomum na crosta terrestre, mas a atuação de processos erosivos, vulcões e a mineração podem influenciarem no ambiente. Contudo as atividades antrópicas são prevalecentes e esse elemento pode vir de indústrias de

cloro, fábricas de baterias, lâmpadas elétricas e fluorescentes, borrachas, medicamentos, catalisadores, efluentes de laboratórios, entre outros e uma vez liberado no ambiente o mercúrio permanece até ser transformado quimicamente em outras formas, como a forma orgânica, o metilmercúrio (MeHg), (COUTINHO, 2018, QUINÁGLIA, 2006, CETESB, 2012).

Na comparação dos reservatórios com outros estudos Coutinho (2018) encontrou para o Hg no reservatório Guarapiranga valores de até 2,07 obtendo classes 1, 2 e 3. O autor realizou campanhas em duas sazonalidades do ano, seca e chuvosa e utilizou valores de referência do índice da bacia do Alto Tietê dos autores Nascimento e Mozeto (2008). Hortellani *et al* (2013) encontrou no reservatório Billings índices que resultaram na classe 5 em uma amostra, seis amostras com classe 4, 19 amostras classe 3.

Os índices de Ni foram altos principalmente no reservatório 1a, o qual as classes foram de 2, 3 e 4. No reservatório 1 b apresentou classes 1 e 2 e o reservatório 1c obteve menores índices obtendo classe 1. A concentração média do Ni em solos basálticos no mundo é de 140 mg/kg (CERVI, 2017, ALLOWAY, 1990) e nos solos da bacia do Alto Tietê apontando ser alto, mas contribuições antrópicas são presentes causadas por lixo, efluentes industriais e dos processos erosivos dos solos.

Para os índices do Zn o maior destaque foi no reservatório 1a seguido do reservatório 1b e o último 1c. O reservatório 1b obteve uma classe 5, uma classe 4 e uma 3. Esses resultados indicam contaminação nos reservatórios em maior escala no reservatório 1a, conforme as classes obtidas, vindo de atividades antrópicas o zinco pode ter origem no lixo de indústrias químicas que produzem metais e materiais elétricos, no esgoto doméstico e até mesmo nas partículas de solo transportadas que contém zinco (AZEVEDO; CHASIN. 2003). Os resultados do índice de geoacumulação no estudo de Hortellani *et al* (2013) no reservatório Billings foi de classe 3 em quatro amostras

No geral, comparando os estudos da literatura com o *background* da presente pesquisa as divergências geradas correspondem aos valores de referência utilizados e dos métodos empíricos aplicados. A abordagem do uso de valores de referência de qualidade do solo da bacia foi uma verificação de contaminação importante, mas que necessita de estudos mais detalhados que possam servir de complemento ao método empírico empregado.

2.4.3 Precipitação

Os eventos de precipitação e a intensidade são importantes na movimentação e condução das partículas de sedimentos. No estudo de Wu *et al* (2018), a pesquisa consistiu em

investigar os efeitos dos tipos de solos e a intensidade de precipitação simulando o evento. O experimento foi conduzido contando com cinco tipos de solos, nas texturas de argila argilosa, argila siltosa e argila derivadas das condições geológicas da região específica da China e as precipitações foram simuladas duas vezes sob intensidades de 45 e 90 mm/h. Também o experimento foi preparado em áreas com cobertura vegetal preservada, áreas florestais que não contavam com atividades agrícolas evitando impactos de atividades antrópicas nas extensões da estrutura do solo. Além disso, foram amostrados solos na camada de 0-10 cm antes da simulação no campo. Para o sedimento foi determinado a distribuição do tamanho por procedimentos analíticos com a mistura de água-sedimento e, posteriormente, aplicado uma equação que determinasse os mecanismos de transporte de sedimentos.

Visto o resumo relatado do experimento desenvolvido, os principais resultados obtidos foram que o tamanho das partículas de sedimentos era intimamente responsável pelo tipo de solo e a intensidade da precipitação; uma alta intensidade de precipitação reage ao desprendimento das partículas do solo levando o transporte dos sedimentos. No deslocamento das partículas o tamanho é essencial, as partículas finas são facilmente suspensas e direcionadas no sentido do escoamento e as partículas grosseiras são roladas e salteadas pelas gotas de chuvas. Assim, além das características sintetizadas dos autores e de descrever o estudo, a principal característica é demonstrar a importância da precipitação, um agente externo essencial na ligação do solo e sedimento.

Referente as precipitações registradas nos dias de amostragem de sedimentos o estado de São Paulo, pertencente a região sudeste e é marcada por duas sazonalidades nos anos, a estação seca e chuvosa (COSTA *et al* 2019). Em meados de outubro até março a estação é chuvosa e de abril a setembro é estação seca destacando o mês de julho como o mês de queda acentuada de ocorrência de precipitações (SIQUEIRA; NERY, 2017). Dessa forma, levantando uma abordagem lógica dos eventos de precipitações que ocorreram no período de anos e a intensidade de chuva a movimentação das partículas tende ser mais propensa quando foi registrada uma precipitação de 25,8 mm ou se tivesse ocorrido precipitações acima de 25,8 mm. Ressaltando que essa evidência requer um estudo monitorado que pode ser baseada em condições semelhantes ao estudo de Wu et al (2018) mas voltado as características do Brasil, como clima, relevo, argilominerais, tipos de solos.

2.5 CONCLUSÃO

- Verificou-se que o COT sofreu incremento por atividades antrópicas nos reservatórios;
- O emprego da ferramenta de classe textural para solos possibilitou apresentar os resultados das classes texturais dos sedimentos. As classes predominantes foram muito argilosa e argila siltosa;
- Os teores dos elementos químicos foram altos nos estudos comparando na literatura e para alguns elementos estabelecidos nos valores de referência do estudo de Nascimento (2003);
- O índice de geoacumulação introduzido com valores de referência de qualidade do solo da bacia do Alto Tietê (background) verificou contaminação dos elementos nos reservatórios;
- A precipitação e sua intensidade têm influência na movimentação das partículas de sedimentos. Mas, a evidência dessa influência no presente estudo exige um cuidado, uma vez que necessita de um monitoramento envolvendo um conjunto de dados e de variáveis, no entanto como uma abordagem lógica e para um único registro de precipitação maior que as demais, é possível dizer que as partículas dos sedimentos foram movimentadas de solos degradados.
- Foi possível verificar as influências antrópicas nos reservatórios ressaltando a importância de um monitoramento constante e estudos que possam continuar com as investigações.
- Os valores de referência utilizado de Nascimento (2003) foi essencial na comparação dos elementos químicos funcionado como suporte nos resultados das concentrações.

CAPÍTULO III: RELAÇÕES ENTRE CARBONO ORGÂNICO TOTAL, FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS E ELEMENTOS QUÍMICOS DE TRÊS RESERVATÓRIOS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Resumo: Variáveis de sedimentos são importantes na compreensão da dinâmica de como as fontes antropogênicas alteram o ambiente e influenciam sobre os dados. Nesse sentido, o principal objetivo nesse estudo foi analisar os dados estatísticos das amostras de sedimentos buscando uma relação entre as variáveis. Foram organizados os dados no Excel e em seguida realizou-se a análise descritiva no software *SAS*. Verificou-se a distribuição normal dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk. Por último, construiu-se a matriz de correlação de Pearson dos reservatórios. Os resultados da estatística descritiva mostraram amplitudes altas nos máximos e mínimos dos reservatórios, os coeficientes de variação da maioria das variáveis na maioria foram entre 20 e 30% e superior a 30%, os coeficientes de assimetria foram no intervalo de $0,15 < Cs < 1$, alguns valores acima de 1, os coeficientes curtose classificaram as curvas das variáveis em leptocúrtica e platicúrtica e a maioria das variáveis apresentaram uma distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk. Nas matrizes de correlação os mesmos pares de variáveis não apresentaram correlações forte entre os reservatórios. Por fim, conclui-se que as condições dos reservatórios são particulares e ocorreram fortes alterações das variáveis de sedimentos originárias de fontes antropogênicas.

3.1 INTRODUÇÃO

A rápida industrialização e urbanização trouxe à cidades grandes problemas de poluição. Nos ambientes aquáticos conteúdos químicos e materiais orgânicos são sumidouros nesses ambientes levando tempo para degradar ou permanecendo no ambiente biodisponível.

Os reservatórios próximos a regiões com forte adensamento populacional têm sofrido constantes pressões antrópicas, em situações que podem levar a um estado de degradação e de contaminação preocupantes, cuja situação é presente nas investigações científicas dos reservatórios Billings, Rio Grande e Guarapiranga. Elementos químicos presentes nesses ambientes podem ser adsorvidos nos sedimentos alterando as funcionalidades dos reservatórios e causando danos à população (ZHENG *et al,* 2021).

Nos sedimentos uma parte constitui-se de frações orgânicas e inorgânicas que dependem de agentes naturais e da dinâmica do local (SILVA; FERREIRA; FÁVARO, 2017). Na dinâmica local fontes antropogênicas podem alterar as concentrações naturais dos elementos, as fontes incluem descargas de esgotos domésticos, industriais, atividades agrícolas, mineração, resíduos sólidos acumulados em locais inapropriados, entre outras (FRASCARELI *et al.,* 2018).

Buscando compreender a dinâmica das variáveis dos sedimentos o objetivo nesse estudo é de analisar os dados por meio de modelos estatísticos buscando uma possível relação dos elementos químicos, o COT e as frações granulométricas das amostras dos reservatórios.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Metodologia

- Dados utilizados

Foram utilizados os dados das Tabelas 2, Tabela 3 e Tabela 4, do capítulo II.

- Análise dos dados

Os dados foram organizados no Microsoft Excel®. Em seguida, no software estatístico *SAS* realizou-se uma análise descritiva dos dados e verificado a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro Wilk. É importante aplicar uma análise estatística nos dados geoquímicos devido a avaliação de problemas antropogênicos (LIMA *et al.,* 2021). Com a verificação de normalidade dos dados avaliados em cada conjunto de variáveis, foram possíveis construir as matrizes de correlação de Pearson dos reservatórios, também desenvolvida no software *SAS.*

3.3 RESULTADOS

Conforme a Tabela 1 pode-se observar que os valores mínimos e máximos das variáveis dos reservatórios apresentaram amplitude alta em relação a média. Referente aos reservatórios, o Billings, na maioria das variáveis apresentou valores máximos indicando ser o mais poluído. No entanto o reservatório Rio Grande mostrou ser mais poluído para Hg, Cu, Zn e, o reservatório Guarapiranga nos valores máximos de Cd e Cu. Esses resultados apresentam incremento por atividades antrópicas na entrada de poluentes nos reservatórios, especialmente direcionadas nas amostras coletadas das estações monitoradas.

O coeficiente de variação mostrou grande variabilidade nos dados. Segundo a classificação de Pimentel Gomes (1985), no conjunto das variáveis no reservatório Billings cinco variáveis apresentaram CV entre 20 e 30% considerado coeficientes altos. Para o As, Hg e a Areia o CV foi superior a 30% apresentando um coeficiente muito alto. E na Argila o CV foi abaixo de 10% apresentando um baixo coeficiente de variação com dados mais homogêneos. Para o reservatório Rio Grande sete variáveis apresentaram CV entre 20 e 30%, seis apresentaram CV acima de 30%, com destaque no maior CV, o Hg. Não apresentou nenhum CV abaixo de 15%. E com relação ao reservatório Guarapiranga, cinco variáveis apresentaram CV entre 15% e 30%, e outras oito variáveis apresentaram CV acima de 30%. Nenhum CV abaixo de 10% foi encontrado. No trabalho de Frascareli (2016) o autor encontrou no reservatório Rio Grande um CV de 13,67% para a Matéria Orgânica, 26,84% na Argila, 7,36%, no Silte, 75,22% na Areia fina e 89,86% para Areia Grossa, em relação a média, os CV acima dos 30% foram da Areia Fina e Areia Grossa.

A partir dos valores encontrados de assimetria segundo a classificação de Crespo (2017) no reservatório Billings a maioria das variáveis obtiveram o intervalo $0,15 < (Cs) < 1$ indicaram uma assimetria de distribuição moderada à esquerda, por ser negativo. Enquanto para Areia, Hg, Ni, Silte a assimetria é de uma distribuição moderada à direita, por ser positiva. Apenas para Cu e As os dados foram acima de 1 ocorrendo uma tendência de assimetria de distribuição forte à esquerda (sinal negativo). No reservatório Rio Grande para Areia, Hg e Zn os valores foram acima de 1, mostrando ser uma distribuição de assimetria forte positiva (sinal positivo). Os demais foram abaixo de 1, Cd, Cr, Silte e COT indicam uma distribuição normal assimétrica positiva e Pb, Cu, Fe, Ni e Argila uma distribuição normal assimétrica moderada negativa. E no Guarapiranga, Areia, Zn e Cd foram acima de 1 e positivos resultando em uma distribuição assimétrica forte e positiva, ao contrário do Cr, apresentou o valor acima de 1, mas negativo,

resultando em uma distribuição assimétrica forte negativa. Os dados que resultaram em 0,15 < (Cs) < 1 e positivos foram Al, Hg e Silte. Ni e COT resultaram em 0,15 < (Cs) < 1 e negativo. Os valores que foram abaixo de 0,15 não foram considerados.

Para o coeficiente de curtose segundo a classificação de Crespo (2017), no reservatório Billings os valores de Al e Pb apresentaram uma distribuição normal leptocúrtica, (< 0,263). Cd, Cu, Cr, As, Hg, Ni, Zn, Argila, Silte, Areia e COT apresentaram uma distribuição platicúrtica (>0,263). Para o reservatório Rio Grande todos os valores apresentaram uma distribuição normal platicúrtica (> 0,263). E no reservatório do Guarapiranga todos os valores, com exceção do Fe (< 0,263), distribuição leptocúrtica, apresentaram uma distribuição normal platicúrtica. O sinal positivo e negativo é de acordo com a tendência de distribuição da curva à direita e esquerda, respectivamente.

No teste de distribuição de Shapiro-Wilk a maioria dos dados seguem uma distribuição normal, com um *p* valor maior que 0.05.

Referente as matrizes de correlações, no reservatório Billings Cd-Ni, Cr-COT, Argila-Silte, Argila-Areia apresentaram p valor < 0,005 e Cu-Zn p valor < 0,001. O reservatório Rio Grande Al-Cr, Al-As, Al-Ni, Al-Zn, Al-Areia, Cd-Argila, Cd-Areia, Cd-COT, Cu-As, Cu-Fe, Cu-Ni, Cu-Argila, Cu-Silte, Cu-Areia, Cr-Ni, As-Ni, As-Argila, Fe-Argila, Argila-Silte e Argila-Areia apresentaram p valor < 0,005. E no reservatório Guarapiranga, Al-Ni, Al-Areia, Cu-Fe, Cr-Silte e Argila-Areia apresentaram p valor < 0,005. Com relação ao coeficiente de correlação, baseado nas correlações de Zheng *et al* (2021) no reservatório Billings as correlações de Cd-Ni, Cr-COT, Argila-Silte e Argila-Areia apresentaram uma correlação considerada forte para Cd-Ni, Argila-Silte e Argila-Areia a correlação foi forte negativa. No reservatório Rio Grande as correlações de Al-Cr, Al-Ni, Cu-As, Cu-Fe, Fe-Argila, Cu-Ni, As-Ni foram fortes e positivas, Cd-Argila, Pb-Silte, Cu-Silte, Argila-Silte e Argila-Silte correlações fortes negativa e as correlações de Al-As, Cd-Areia, Cr-Ni, As-Argila foram moderadas positivas e Al-Zn, Al-Areia, Cd-COT E Cu-Areia foram moderadas e negativas. E no reservatório Guarapiranga, Al-Ni, Al-Areia e Cu-Fe foram correlações fortes e positivas e Cr-Silte e Argila-Areia correlações fortes negativa. O sinal positivo e negativo significa que entre os pares de variáveis quando positivos os dois aumentam, são diretamente proporcionais ao contrário quando negativo enquanto uma variável aumenta a outra diminui, processo inversamente proporcional.

Tabela 1 – Estatística descritiva das 14 variáveis de sedimentos

Reservatórios	V[s]	Mínimo	Média	Máximo	CV	SD[c]	Cs[d]	Ck[e]	W[f]

Billings	Al	38190	86279.4	112347	30,01	25901	-0.95	-0.18	0.89^{ns}
	Cd	1.5	2.84	4.05	30.52	0.86	-0.36	-0.84	0.95^{ns}
	Pb	53.2	96.66	129	24.82	24	-0.51	-0.25	0.97^{ns}
	Cu	98.9	199.21	264	23.52	46.86	-1.14	2.21	0.91^{ns}
	Cr	124	173.11	216	18.39	31.84	-0.29	-0.78	0.94^{ns}
	As	2	14.01	20.1	42.31	5.93	-1.06	0.78	0.88^{ns}
	Fe	60.550	79296.7	87797	12.15	9638	-0.93	-0.10	0.81*
	Hg	0.14	0.73	1.38	46.33	0.34	0.15	1.39	0.95^{ns}
	Ni	47.9	72.75	103	24.12	17.55	0.14	-0.43	0.95^{ns}
	Zn	238	494.44	728	27.78	137.3	-0.26	1.16	0.96^{ns}
	Argila	61.35	71.29	81.16	7.78	5.55	-0.18	1.19	0.93^{ns}
	Silte	18.04	24.01	32.41	16.74	4.02	0.94	1.94	0.92^{ns}
	Areia	0.8	4.96	10.6	58.43	2.9	0.47	0.99	0.94^{ns}
	COT	3.03	5.72	8.08	28.99	1.65	-0.34	-0.55	0.95^{ns}
Rio Grande	Al	18830	56303.4	95741	46.20	26014	-0.01	-1.62	0.91^{ns}
	Cd	0.5	0.72	1.11	28.92	0.2	0.63	-1.07	0.87*
	Pb	14.9	50.54	81	26.52	13.4	-0.5	4.75	0.81*
	Cu	13.4	3001.5	5866	81.11	2435	-0.18	-1.73	0.83*
	Cr	41.5	55.5	83.1	23.44	13.94	0.18	-1.56	0.89^{ns}
	As	2.05	14.42	27.60	57.62	8.31	0.01	-1.27	0.94^{ns}
	Fe	35130	66600.8	83063	24.78	16505	-0.99	-0.51	0.82*
	Hg	2.52	338.69	4895	372.17	1261	3.87	14.99	0.29*
	Ni	13.5	25.36	35.2	29.24	7.41	-0.43	-1.43	0.88^{ns}
	Zn	99.7	202.31	607	79.26	160.3	1.79	2.24	0.66*
	Argila	39.47	60.23	75.19	22.52	13.56	-0.4	-1.59	0.86*
	Silte	19.26	30.72	53.11	29.81	9.16	0.97	1.06	0.91^{ns}
	Areia	0.63	9.03	28.20	93.91	8.48	1.52	1.35	0.78*
	COT	3.57	5.25	7.7	26.9	1.41	0.36	-1.51	0.88^{ns}
Guarapiranga	Al	59452	87034.5	115790	22.05	19199	0.2	-0.99	0.94^{ns}
	Cd	0.5	1.18	4340	97.15	1.14	2.8	8.28	0.59*
	Pb	35.60	67.23	95	35.24	23.69	-0.01	-1.69	0.91^{ns}
	Cu	121	2367.2	4326	65.55	1552	-0.06	-1.4	0.92^{ns}
	Cr	37.4	57.42	69.9	15.77	9.05	-1.13	1.88	0.92*
	As	2	9.46	16.8	43.83	4.14	-0.08	0.48	0.98^{ns}
	Fe	34693	52867.9	71869	20.66	10926	-0.04	-0.03	0.99^{ns}
	Hg	0.1	0.2	0.32	38.76	0.08	0.45	-1.31	0.88^{ns}
	Ni	16.2	22.54	28.9	21.79	4.91	-0.16	-1.77	0.89^{ns}
	Zn	92.1	167.05	420	55.59	92.87	2.66	7.83	0.64*
	Argila	8.37	50.24	68.32	34.56	17.36	-1.6	3.56	0.84*
	Silte	24.34	34.03	42.75	19.38	6.59	0.16	-1.6	0.89^{ns}
	Areia	5.38	15.71	61.93	106.36	16.71	2.83	8.48	0.58*
	COT	2.7	5.45	7.97	32.38	1.76	-0.24	-1.17	0.94*

Fonte: Autora – Legenda. V^{s} variáveis de sedimentos, ^{b} coeficiente de variação; ^{c} desvio padrão; ^{d}coeficiente de assimetria; ^{e} coeficiente de curtose; ^{f} teste de distribuição normal Shapiro-Wilk, onde: *nível de significância p <0.05 e ^{ns} não significante

Tabela 2 – Coeficientes de correlação (r) da matriz de correlação das variáveis de sedimentos do reservatório Billings

	Al	Cd	Pb	Cu	Cr	As	Fe	Hg	Ni	Zn	Argila	Silte	Areia	COT
Al	1													
Cd	0.455233	1												
Pb	0.496966	0.567688	1											
Cu	0.224202	0.539693	0.666958	1										
Cr	0.351391	0.426488	-0.32148	-0.34582	1									
As	-0.26179	0.260803	0.248296	0.470934	-0.076	1								
Fe	0.63121	0.129244	0.227232	-0.31947	0.356872	-0.3271	1							
Hg	0.268379	-0.30267	-0.0625	-0.26503	-0.03626	-0.06717	0.191946	1						
Ni	0.262335	**0.892045**	0.336139	0.488338	0.435576	0.404392	-0.03629	-0.06524	1					
Zn	0.385042	0.406598	0.709227	0.954181*	-0.40564	0.387375	-0.20654	-0.06282	0.333386	1				
Argila	0.401886	0.408235	0.045628	0.161974	0.403561	-0.46453	0.08205	-0.49871	0.187906	0.096562	1			
Silte	-0.5065	-0.24979	-0.21388	-0.14525	-0.2727	0.347933	-0.22234	0.319307	0.011535	-0.17262	**-0.87457**	1		
Areia	0.039321	-0.2876	0.352723	-0.1106	-0.34235	0.394494	0.24433	0.522059	-0.28732	0.056409	**-0.73116**	0.337184	1	
COT	-0.26632	-0.19796	0.335837	0.562474	**-0.74455**	0.602657	-0.48268	0.126747	-0.1149	0.620861	-0.61806	0.486399	0.484042	1

Fonte: Autora. ***valores em negrito são significativos a** $p < 0,005$ e * $p<0,001$

Tabela 3 – Coeficientes de correlação (r) da matriz de correlação das variáveis de sedimentos do reservatório Rio Grande

	Al	Cd	Pb	Cu	Cr	As	Fe	Hg	Ni	Zn	Argila	Silte	Areia	COT
Al	1													
Cd	0.10177	1												
Pb	0.07522	0.01613	1											
Cu	0.40767	-0.31267	0.20925	1										
Cr	**0.79633**	0.21011	-0.04316	0.28364	1									
As	**0.41903**	-0.08648	-0.00960	**0.70880**	0.40512	1								
Fe	0.67114	-0.31167	0.11479	**0.76704**	0.44819	0.48222	1							
Hg	-0.40395	-0.19840	-0.10634	-0.34589	-0.34794	-0.25034	-0.53572	1						
Ni	**0.70562**	0.05571	0.36156	**0.60348**	**0.56961**	**0.66689**	0.52358	-0.25334	1					
Zn	**-0.53555**	0.09209	-0.16060	-0.46740	-0.41782	-0.41567	-0.55301	0.17143	-0.31801	1				
Argila	0.35372	**-0.65456**	0.40702	**0.76405**	0.13422	**0.54580**	**0.77789**	-0.28665	0.47757	-0.46331	1			
Silte	-0.04663	0.45593	**-0.68662**	**-0.61885**	0.19627	-0.39010	-0.41575	0.16350	-0.45788	0.28551	**-0.78765**	1		
Areia	**-0.51543**	**0.55369**	0.09081	**-0.55289**	-0.42653	-0.45121	-0.79423	0.28014	-0.26991	0.43184	**-0.74742**	0.17938	1	
COT	-0.18477	**-0.55253**	0.19971	0.27188	-0.23206	-0.18564	0.41845	-0.22670	-0.21736	0.20723	0.49267	-0.35145	-0.40762	1

Fonte: Autora. ***valores em negrito não significativo,** $p < 0,005$ e *$p < 0,001$

Tabela 4 – Coeficientes de correlação (r) da matriz de correlação das variáveis de sedimentos do reservatório Guarapiranga

	Al	Cd	Pb	Cu	Cr	As	Fe	Hg	Ni	Zn	Argila	Silte	Areia	COT
Al	1													
Cd	0.14869	1												
Pb	0.37380	-0.28522	1											
Cu	-0.2330	-0.06081	-0.29428	1										
Cr	0.46275	0.13060	0.54870	0.04233	1									
As	0.45128	-0.66443	0.37662	0.00105	0.33246	1								
Fe	-0.13240	0.16243	-0.09712	**0.78020**	0.42004	-0.17790	1							
Hg	0.19456	0.44663	-0.60340	0.24311	-0.29904	-0.37430	0.18803	1						
Ni	**0.79797**	0.15739	0.22461	0.22744	0.63939	0.45414	0.40102	0.13715	1					
Zn	0.22849	0.08838	0.46101	-0.33381	0.01508	-0.20098	-0.04994	0.04968	0.08025	1				
Argila	-0.55489	-0.02336	-0.29729	0.19515	0.12027	-0.13581	0.31170	0.02161	-0.30908	-0.07902	1			
Silte	-0.11083	0.26683	-0.34396	-0.50061	**-0.65197**	-0.45987	-0.43005	0.33237	-0.34247	0.25717	-0.28607	1		
Areia	**0.62007**	-0.08105	0.44453	-0.00511	0.13240	0.32537	-0.15401	-0.15362	0.45619	-0.01943	**-0.92573**	-0.09756	1	
COT	0.23578	-0.14697	0.41674	0.22235	-0.04723	0.17014	0.01879	-0.01394	0.18811	0.60309	-0.17373	-0.25450	0.28089	1

Fonte: Autora. ***valores em negrito não significativo,** $p < 0,005$ e *$p < 0,001$

3.4 DISCUSSÃO

Conforme os resultados estatísticos levam a considerar que as atividades antrópicas foram motivos dos quais as amostras de sedimentos dos reservatórios obtiveram variabilidade nos valores da amplitude dos máximos e mínimos, nos coeficientes de curtose e de assimetria, no coeficiente de variação, desvio padrão e no teste de normalidade dos dados. No estudo de Peduto *et al* (2020) desenvolvido no reservatório Rio Grande, a partir da submissão ao teste de Shapiro-Wilk os dados ambientais seguiram uma distribuição normal.

Sobre as correlações, no trabalho de Cevik *et al* (2008), os autores encontraram correlações fortes entre Cd - matéria orgânica, Cr-matéria orgânica, Cu-matéria orgânica, Fe-matéria orgânica. No presente trabalho, somente Cd-COT no reservatório Billings foi encontrada uma correlação forte. Fe-Argila apresentaram uma correlação forte nos trabalhos dos autores e também no reservatório Billings e Rio Grande. Guimarães (2011) encontrou para o reservatório Guarapiranga coeficientes de correlação forte entre Zn-Silte, As-Silte, Cr-Silte, Cr-Zn, Cr-matéria orgânica, As-Cr.

Destaca-se que nos pares de variáveis que sofreram uma correlação inversa (negativa), que também serve ao presente trabalho, as fontes de origem podem não ser as mesmas (GUIMARÃES, 2011). Nos pares de variáveis que obtiveram correlações acima de 0,5 indicam que existe uma afinidade maior nesses pares de variáveis. Na literatura há indicativos de uma correlação dos elementos químicos com as frações granulométricas, principalmente as frações mais finas, silte e argila (QUINÁGLIA, 2006). Portanto, uma possibilidade sobre os resultados dos reservatórios presentes verifica que mesmo analisando os mesmos pares de variáveis, cada ambiente pode ser diferente, as fontes podem não ser as mesmas e a distribuição dos elementos químicos podem variar.

3.5 CONCLUSÃO

- As amplitudes dos valores de máximo e mínimo foram altas, o reservatório Billings apresentou ser o mais poluído, no reservatório Rio Grande destaca-se a amplitude dos valores de Hg e Cu e no Guarapiranga para Cd e Cu;
- Nos coeficientes de variação dos reservatórios superaram os CV de 20 a 30% e mais de 30% que correspondem aos desvios padrão distante da média sobre algumas variáveis.

- Os coeficientes de assimetria no reservatório Billings a maioria das variáveis obtiveram o intervalo 0,15 < (Cs) < 1, no reservatório Rio Grande para Areia, Hg e Zn os valores foram acima de 1, os demais foram abaixo de 1, no reservatório Guarapiranga, Areia, Zn e Cd foram acima de 1 resultando em uma distribuição assimétrica forte e positiva ao contrário do Cr resultando em uma distribuição assimétrica forte negativa, ademais foram em 0,15 < (Cs) < 1 sendo positivo e negativo.
- Os coeficientes de curtose valores de Al e Pb apresentaram uma distribuição normal leptocúrtica (< 0,263), Cd, Cu, Cr, As, Hg, Ni, Zn, Argila, Silte, Areia e COT apresentaram uma distribuição platicúrtica (>0,263). No reservatório Rio Grande todos os valores apresentaram uma distribuição normal platicúrtica (> 0,263) e no Guarapiranga todos os valores, com exceção do Fe (< 0,263), distribuição leptocúrtica, apresentaram uma distribuição normal platicúrtica;
- Na distribuição de normalidade dos dados por teste de Shapiro-Wilk a maior parte dos dados seguiu uma distribuição normal;
- As correlações mais importantes no reservatório Billings foram de Cd-Ni, Cr-COT, Argila-Silte e Argila-Areia no qual apresentaram uma correlação forte e Cd-Ni, Argila-Silte e Argila-Areia a correlação foi forte negativa. No reservatório Rio Grande Al-Cr, Al-Ni, Cu-As, Cu-Fe, Fe-Argila, Cu-Ni, As-Ni foram fortes e positivas e Cd-Argila, Pb-Silte, Cu-Silte, Argila-Silte e Argila-Silte correlações fortes negativa. Por último no Guarapiranga, Al-Ni, Al-Areia e Cu-Fe foram correlações fortes e positivas e Cr-Silte e Argila-Areia correlações fortes negativa;
- As correlações nos pares de variáveis variaram de um reservatório para outro, demonstrando que embora correlacionando os mesmos pares de variáveis os dados foram discrepantes concluindo que as condições desses reservatórios são diferentes.
- As alterações dos dados mostraram que as atividades antrópicas influenciaram nos resultados tomando como base a importância de um monitoramento contínuo e soluções que possam minimizar efeitos negativos nesses ambientes, originários de poluentes ou de processos erosivos que pode ser acelerado por atividades humanas ou serem naturais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação dos reservatórios foi importante sobretudo no aporte de materiais sólidos e de elementos químicos que são constantemente encontrados nesses reservatórios. Vários estudos na literatura que avaliaram os reservatórios e o monitoramento da CETESB nesses ambientes, mostrando que valores acima de concentrações naturais e de concentrações de referência como no trabalho de Nascimento (2003) identifica-se incrementos originárias de atividades antrópicas entre os anos.

O índice de geoacumulação demonstrou o grau de contaminação de cada elemento perante os valores de referência do solo da bacia que pertencem os reservatórios. Destacaram-se o Cd, Cr, Hg, Cu, Ni e Zn com grau de contaminação elevado principalmente quando observadas classes acima de 3.

A abordagem da precipitação independente de ser lógica demonstrou que a intensidade de um agente externo como a precipitação, pode influenciar na movimentação das partículas que adentram os reservatórios, de acordo com a intensidade.

A análise estatística descritiva mostrou valores altos e divergentes concluindo que as atividades antrópicas influenciaram nos resultados tomando como base a importância de um monitoramento contínuo e de soluções que minimizam efeitos negativos nesses ambientes, originários de poluentes ou de processos erosivos. Ainda os sedimentos são fontes de contaminação demonstrando ser importante no planejamento e gestão ambiental desses reservatórios.

SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

As sugestões nos trabalhos futuros correspondem as dificuldades encontradas no desenvolvimento da presente pesquisa, na disponibilidade de dados, que são importantes complementos de informações no desenvolvimento de uma avaliação mais aprofundada. Dessa forma como sugestões que possam incluir nos próximos trabalhos são:

- Amostragem de sedimentos em maior espacialização nos reservatórios considerando as sazonalidades e as profundidades (superficiais e profundas);
- Desenvolver novos trabalhos com valores de referência para a bacia do Alto Tietê em continuidade com existentes na literatura no intuito de comparação e por serem poucos estudos na literatura;
- Recomenda-se que o monitoramento seja constante em todos os anos nesses ambientes, na ressalva que os dados públicos continuem sendo compilados e forneça o maior número possível de informações;
- Realizar um monitoramento dos processos erosivos em toda a bacia hidrográfica sintetizando a evidência que nos períodos de intensas precipitações as partículas adentram os reservatórios;
- Sobre os processos erosivos realizar um levantamento sobre as áreas da bacia é importante para diferenciar processos erosivos de causas naturais ou provocados por atividades humanas;
- Desenvolver mais trabalhos voltados a qualidade de sedimentos, pois, desta forma podem preencher diversas lacunas que existem nas legislações do país sendo que muitos trabalhos comparam com valores guia de qualidade de sedimentos de outros países.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. F. C. F. et al. Composição da matéria orgânica em sedimentos do Reservatório do Funil, Resende, Rio de Janeiro, Brasil. Geochimica Brasilienses, v. 28, n.2, p. 201-214, 2014.

ALMEIDA, R. M. et al. Carbon dioxide emission from drawdown areas of a Brazilian reservoir is linked to surrounding land cover. **Aquatic Sciences**, v. 81, n. 68, p. 1-9, 2019.

ALLOWAY, B. J. The origins of heavy metals in soils. **Heavy Metals in Soils**. London: Chapman & Hall, 1990.

ARANTES, D. M. **Avaliação da qualidade dos sedimentos de uma sub-bacia do Baixo Tietê (SP)**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. **Bases toxicológicas da Ecotoxicologia**. São Carlos: Rima, 2003.

_____**ARSÊNIO**. CETESB, 2012. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Arsenio.pdf>.

BEST, J. Anthropogenic stresses on the world's big rivers. **Nature geoscience**, v. 12, p. 7-12, Jan 2019.

BUBB, J.; LESTER, J. Anthropogenic heavy metal inputs to lowland river systems, a case study. The river Stour U. K. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 78, p.279-296, 1994.

BLOTT. S. J.; PYE, J. Particle size scales and classification of sediment types based on particle size distributions: Review and recommended procedures. **Sedimentology,** v. 59, p. 1-26, 2012.

BRONIC, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, p. 3-22, 2005.

CALVI et al. The construction of the Belo Monte dam in the Brazilian Amazon and its consequences on regional rural labor. **Land Use Policy**, v. 90, 2020.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Valores da Condição de Qualidade dos Solos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê - UGRHI 6 e da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP, 2008**. São Paulo: CETESB. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/solo/wpcontent/uploads/sites/34/2013/12/Rel_Qualidade_Solo_Ugrhi6.pdf>

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Aplicação da tríade na avaliação da qualidade de sedimentos em redes de monitoramento**. Relatório Técnico, 2007.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Publicada DOU nº 92, de 16 de maio de 2011, p. 89.

COOPER, M. **Granulometria e textura do solo**. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/576877/mod_resource/content/1/Aula%201%20-%20Granulometria%20e%20Textura%20do%20Solo.pdf> Acessado em: 09 de jan 2021.

COSTA, A. C. S. et al. Clay mineralogy and cation exchange capacity of Brazilian soils from water contents determined by thermal analysis. **Thermochimica Acta**, v. 413, p. 73-79, 2004.

COSTA, J. C. et al. Validação Dos Dados De Precipitação Estimados Pelo Chirps Para O Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, p. 228-243, 2019.

COUTINHO, S. N. **Estudo de bioacumulação de metais tóxicos e elementos traço em amostras de macrófitas aquáticas flutuantes do Reservatório Guarapiranga, São Paulo – SP, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) – Universidade de São Paulo.

CARDOSO-SILVA, S. . et al. Compartimentalização e qualidade da água: o caso da Represa Billings. **Bioikos**, v. 28, n. 1, p. 31-43, 2014.

CARDOSO-SILVA, S. C. et al. Metals in superficial sediments of a cascade multisystem reservoir: contamination and potential ecological risk. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, p. 756, 2017.

CARDOSO-SILVA, S. et al. Temporal and spatial accumulation of heavy metals in the sediments at Paiva Castro Reservoir (São Paulo, Brazil). **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 9, p. 1-16, 2015.

CARVALHO, N. O. et al. **Guia de práticas sedimentométricas.** Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, 2000.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CERVI, E. C. **Avaliação da qualidade de sedimentos do reservatório Billings-SP por meio de linhas de evidências químicas e ecotoxicológicas**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2017.

ÇEVIK, F. et al. An assessment of metal pollution in surface sediments of Seyhan dam by using enrichment factor, geoaccumulation index and statistical analyses. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 152, p. 309-317, 2009.

CIÉSLA, M.; BARTOSZEK, L.; GRUCA-ROBOSZ, R. Characteristics and origin of suspended matter in a small reservoir in Poland. **Ecohydrology & Hydrobiology**, v. 20, p. 73-82, 2020.

CLEMENTE, C.A.; AZEVEDO, A. C. Mineral weathering in acid saprolites from subtropical, Southern Brazil. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 6, p. 601-607, 2007.

CRESPO, A. A. **Estatística Fácil.** Saraiva, 2017.

EZCURRA, E. et al. A natural experiment reveals the impact of hydroelectric dams on the stuarines of tropical rivers. **Science Advances**, v. 5, p. 1-9, mar, 2019.

FERNANDES, F. **Enriquecimento geoquímico de metais em testemunhos de sedimentos, correlacionado com granulometria e teores de matéria orgânica**, 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2015.

FRASCARELI, D. **Distribuição espacial, biodisponibilidade e toxicidade de metais em sedimentos superficiais de reservatórios do estado de São Paulo**, 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", 2016.

FRASCARELI, D. et al. Spatial distribution, bioavailability, and toxicity of metals in surface sediments of tropical reservoirs, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. p. 190, p. 1-15, 2018.

FRANKLIN, R. L.; FÁVARO, D. I. T.; DAMATTO, S. R. Trace metal and rare earth elements in a sediment profile from the Rio Grande Reservoir, São Paulo, Brazil: determination of anthropogenic contamination, dating, and sedimentation rates. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 307, p. 99-110, 2016.

GARCÍA-ORDIALES, E. et al. Heavy metal contamination in sediments of an artificial reservoir impacted by long-term mining activity in the Almadén mercury district (Spain). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, p. 6024-6038, 2016.

GUIMARÃES, G. M. **Avaliação da Concentração de Metais e Elementos traço em amostras de sedimento do Reservatório Guarapiranga, São Paulo-SP, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear) – Universidade de São Paulo,
HARRIS, H. et al. Geo-accumulation index and contamination factors of heavy metals (Zn and Pb) in urban river sediment. **Environmental Geochemical Health**, v. 39, p. 1259-1271, 2017.

_____HISTÓRIA DE SÃO PAULO: REPRESA DE GUARAPIRANGA. Disponível em: <http://lemad.fflch.usp.br/node/5348>.

HORTELLANI, M. A. et al. Assessment of Metal Concentration in the Billings Reservoir Sediments, São Paulo State, Southeastern Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 24, nº 1, p. 58-67, 2013.

HUANG, C. et al. Enhanced mineralization of sedimentary organic carbon induced by excess carbon from phytoplankton in a eutrophic plateau lake. **Journal of Soils and Sediments.** v. 19, p. 2613-2623, 2019.

ISIDOROVA, A. **The origin and fate of sediment organic carbon in tropical reservoirs.** Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 1930, 2020.

JENNY, H. **Factors of soil formation**: A system of quantitative pedology. New York: Dover publicatins, p. 16, 1994.

KOSTEN, S. et al. Extreme drought boosts CO2 and CH4 emissions from reservoir drawdown areas. **Inland Waters**, v. 8, n. 3, p. 329-340, 2018.

LAMPARELLI, M. C. et al. **Atlas de Cianobactérias da Bacia do Alto Tietê**. São Paulo: CETESB, 2014.

LEMES, M. J. L.; FILHO, P. M. F.; P. M. A. F. Influência da mineralogia dos sedimentos das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo na composição química das águas de abastecimento público. **Química Nova**, v. 26, n. 1, p. 13-20, 2003.

LIMA, G. F. C. et al. Geochemical signature and environmental background of bottom sediments in a tropical aquatic system: the Três Marias Reservoir, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, p. 85, 2021.

LOBINSKI, R.; MARCZENKO, Z. **Spectrochemical Trace Analysis for Metals and Metalloids (Comprehensive Analytical Chemistry).** Elsevier Science, 1997.

LOOI, L. J. et al. Application of enrichment factor, geoaccumulation index, and ecological risk index in assessing the elemental pollution status of surface sediments. **Environmental Geochemical Health**, v. 41, p. 27-42, 2019.

LÓPEZ-DOVAL, J. C. et al. Nutrients, emerging pollutants and pesticides in a tropical urban reservoir: Spatial distributions and risk assessment. **Science of The Total Environment**, v. 575, p. 1307-1324, 2017.

LÓPEZ, P. et al. Sediment size distribution and composition in a reservoir affected by severe water level fluctuations. **Science of The Total Environment**, v. 540, p. 158-167, 2016.

LACERDA, L. D.; MALM, O. Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 1-18, 2008.

MAIA, P. D. et al. Estudo mineralógico dos sedimentos de fundo do lago Paranoá, Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n. 4, p. 535-541, 2005.

MARIANI, C. F. **Reservatório Rio Grande: caracterização limnológica da água e biodisponibilidade de metais-traço no sedimento**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Ecologia de Ecossistemas terrestres e aquáticos) – Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências, , 2006.

MARIANI, C. F.; POMPÊO, M. L. M. Potentially bioavailable metals in sediment from a tropical polymictic environment - Rio Grande Reservoir, Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v. 8, n. 5, p. 284-288, 2008.

MELLO, N. A. Qualidade de Sedimentos. In:. POLETO, C.; MERTEN, G. H (Org). **Relação entre a fração mineral do solo e qualidade de sedimentos – o solo como fonte de sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, cap. 2, p. 39-82, 2006.

MIRANDA, R. B. **A influência do assoreamento na geração de energia hidrelétrica: Estudo de caso na usina hidrelétrica de Três Irmãos – SP**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2011.

MÜLLER, G. Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River. ***GeoJournal,*** v. 2, p. 108-118, 1969.
_____**MERCÚRIO**. CETESB, 2012. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Mercurio.pdf>.

MOSCHINI-CARLOS, V. et al. Cyanobacteria and Cyanotoxin in the Billings Reservoir (São Paulo, SP, Brazil). **Limnética**, v. 28, p. 273-282, 2009.

NASCIMENTO, M. R. L. **Proposição de Valores de Referência para Concentração de Metais e Metalóides em Sedimentos Limnicos e Fluviais da Bacia Hidrográfica do Rio Tietê, SP**. 2003. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de São Carlos, 2003.

NASCIMENTO, M. L.; MOZETO, A. A. Reference values for metal and metalloids concentrations in bottom sediments of Tietê River Basin, Southeast of Brazil. **Soil & Sediment Contamination**, v. 17, p. 269-279, 2008.

NILIN, J. M. et al. Sediment quality assessment in a tropical estuary: The case of Ceara´ River, Northeastern Brazil. **Marine Environmental Research**, v. 91, p. 89-96, 2013.

NISHIMURA, P. Y.; MOSCHINI-CARLOS, V. P. A represa Billings e as captações de água bruta. *Ln*: II Congresso Estadual de Comitês de Bacias Hidrográficas, 2010.

OLIVEIRA, G. M. T. S. et al. Concentração de metais pesados nos sedimentos do lago Água Preta (Pará, Brasil). **Revista de Engenharia Ambiental e Sanitária**, v. 23, n. 3, p. 599-605, maio/jun 2018.

OLIVEIRA, J. B. et al. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**: na escala 1:500.000. Campinas: IAC, 1999.

PADIAL, P. R. **Qualidade, heterogeneidade espacial e biodisponibilidade de metais no sedimento de um reservatório tropical urbano eutrofizado (Reservatório Guarapiranga, SP)**, 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Ecologia de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) – Universidade de São Paulo, Instituto de Biociências.

PARIZOTTO, D.; RUEZZENE, C. B.; MAUAD, F. F. Aspectos sedimentológicos: processos e princípios conceituais. In: **XVI SIMPÓSIO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA ENGENHARIA AMBIENTAL - EESC/USP, 2018**, São Carlos. 2018.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

PEDUTO, T. A. G. et al. Phytotoxicological assessment and its relationship with environmental variables of Rio Grande Reservoir waters (São Paulo State, Brazil).**Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental,** v. 24, 2020.

PIMENTEL-GOMES. **Curso de Estatística Experimental**. Piracicaba – ESALQ/USP, 1985.

PÔMPEO, M. et al. Biodisponibilidade de metais no sedimento de um reservatório tropical urbano (reservatório Guarapiranga – São Paulo (SP), Brasil): há toxicidade potencial e heterogeneidade espacial? **Geochimica Brasiliensis**, v. 27, n. 2, p. 104-119, 2013.

QUINÁGLIA, G. A. **Caracterização dos Níveis Basais de Concentração de Metais nos Sedimentos do Sistema Estuarino da Baixada Santista.** 2006. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Química.

_____**REPRESA BILLINGS EM SÃO PAULO**. Disponível em: <Represa Billings em São Paulo | Fotografias Aéreas (fotografiasaereas.com.br)> Acessado em: 05 maio de 2021.

RIBEIRO, J. M. et al. Fertilidade do solo e estoques de carbono e nitrogênio sob sistemas agroflorestais no Cerrado Mineiro. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 913-923, abr/jun, 2019.

RUIZ-COMPEAN, P. et al. Baseline evaluation of sediment contamination in the shallow coastal areas of Saudi Arabian Red Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 123, n.1-2, p. 205-218, 2017.

SANTOS, A. L. F.; BORGES, L. O.S.; BOAVENTURA, G. R. Indicadores da qualidade dos sedimentos do ribeirão Piancó, Anápolis – GO, e sua implicações ambientais. **Scientia Plena**, v. 8, n. 10, p.1-10, 2012.

SANTOS, B. B. et al. Evaluation of the laser diffraction method for measurement of suspended sediment concentration in Mogi-Guaçu reservoir (São Paulo, Brazil). **Internacional Journal of River Basin Management**, v. 17, n.1, p. 89-99, 2019.

SANTOS, H. G, et al. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. EMBRAPA: Brasília, 2018.

SANTOS, I. R. et al. Análise estatística multivariada de parâmetros geoquímicos em sedimentos do estuário da Laguna dos Patos. **Geochimica Brasilienses**, v. 18, n. 1, p. 38-45, 2004.

SILVA, F. L. et al. Qualidade dos sedimentos do rio Monjolinho: índice de geoacumulação. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 4, n. 1, p. 79-87, 2016.

SILVA, L. S.; FERREIRA, F. J. FÁVARO, D. I. T. Avaliação da concentração de metais tóxicos em amostras de sedimentos dos reservatórios do complexo Billings (Guarapiranga e Rio Grande). **Geochemica Brasiliensis**, v. 31, n. 1, p. 37-56, 2017.

SILVA, P. R. B. et al. Comparison of the analytical performance of EDXRF and FAAS techhiques in the determination of metal species concentrations using protocol 3050B (USEPA). **International Journal River Basin Management**, v. 14, 2016, p. 401-406.

SILVA, P. R. B. **Potenciais risco**s **associados à qualidade de sedimentos em zonas de prospecção mineral**: **Rio da Várzea, Rio Grande do Sul**. 2019. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

SIQUEIRA, B.; NERY, J. T. Análise do Índice Padronizado de Precipitação para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1175-1783, 2017.

SOUZA, V. L. B. et al. Biodisponibilidade de metais-traço em sedimentos: uma revisão. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 3, n. 1, p. 01-13, 2015.

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1973.

SCHUMACHER, B. A. Methods for the Determination of Total Organic Carbon (TOC) in Soils and Sediments. United States Enrivonmental Protection Agency, 2002.

TUNDISI, J. G. Reservoir as complex systems. **Ciência e Cultura**, v. 48, p.383-387, 1996.

_____**Triângulo textural**. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.agro.textura&hl=pt_BR> Acessado em: 09 de jan 2021.

MASON, R. **Modern Methods for Trace Element Determination** VANDECASTEELE, C.; BLOCK, C.B. Published by John Wiley & Sons, Chichester. [1993-1994].

ZAGATTO, P.A.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia Aquática**: Princípios e Aplicações.São Carlos: RiMa. 2008.

ZERFASS, H.; ZERFASS, G. S. A. A sedimentação em uma abordagem sistêmica. **Terra Didática**, v. 12, n.2, p.148-171, 2016.

ZHENG, T. et al. Spatiotemporal distribution, risk assessment and source appointment of metal(loid)s in water and sediments of Danjiangkou Reservoir, China. **Environmental Geochemical Health**, v. 13, p. 139-152, 2021.

WIJITKOSUM, S. The impact of land use and spatial changes on desertification risk in degraded areas in Thailand. **Sustainable Environment Research**, v. 26, p. 84-92, 2016.

WHATELY, M.; CUNHA, P. M. **Seminário Guarapiranga 2006**: Proposição de ações prioritárias para garantir água de boa qualidade para abastecimento público. Instituto Socioambiental, São Paulo, 2006.

WU, X. et al. Effects of soil type and rainfall intensity on sheet erosion processes and sediment characteristics along the climatic gradient in central-south China. **Science of the Total Environment**, v. 621, p. 54-66, 2018.

.