

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E ISOTÓPICA DE SEDIMENTOS DE
FUNDO DA REPRESA DA GUARAPIRANGA (SP)

Cintia Sanae Duarte Murakami

Orientadora: Profa.Dra. Veridiana Teixeira de Souza Martins

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF- 2012 / 07)

SÃO PAULO
2012

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E ISOTÓPICA DE SEDIMENTOS DE
FUNDO DA REPRESA DA GUARAPIRANGA (SP)

Cintia Sanae Duarte Murakami

Orientadora: Profa.Dra. Veridiana Teixeira de Souza Martins

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF- 2012 / 07)

SÃO PAULO
2012

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E ISOTÓPICA DE SEDIMENTOS DE
FUNDO DA REPRESA DA GUARAPIRANGA (SP)

Cintia Sanae Duarte Murakami



Orientadora: Profa.Dra. Veridiana Teixeira de Souza Martins

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF- 2012 / 07)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900031288

SÃO PAULO
2012

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E ISOTÓPICA DE SEDIMENTOS DE FUNDO
DA REPRESA DA GUARAPIRANGA (SP)



MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2012 / 07)

Aluna: Cintia Sanae Duarte Murakami

Cintia S. D. Murakami

Orientadora: Profa.Dra. Veridiana Teixeira de Souza Martins

De acordo,

[Signature]

SÃO PAULO
2012

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização dessa monografia e também aqueles que sempre estiveram presentes na minha caminhada.

Agradeço a minha orientadora Profa. Dra. Veridiana T. S. Martins pela experiência compartilhada, pela ajuda e dedicação durante a realização deste trabalho.

Agradeço também aos meus companheiros de Geologia: Simone, Perva, Gorgonzola, Perobo, Peluda, Habiba, Derico, Sheila, Leitoa, Tiozão e todos da Turma 51 pelos trabalhos em grupo, pelos estudos intermináveis e pelas muitas risadas. Vou sentir saudades.

Agradeço aos meus avós, tios e primos e todos que diretamente ou indiretamente participaram das minhas conquistas.

Finalmente agradeço aos meus pais Maria Aparecida e Ricardo Murakami e meu irmão Thomas porque eles são a minha força. Eu dedico este trabalho a vocês, que foram fundamentais nos melhores e piores momentos.

E ao Fe, por todo o amor e carinho que me proporciona.

“De tudo, ficaram três coisas: a certeza de que ele estava sempre começando, a certeza de que era preciso continuar e a certeza de que seria interrompido antes de terminar. Fazer da interrupção um caminho novo. Fazer da queda um passo de dança, do medo uma escada, do sono uma ponte, da procura um encontro.”

(Fernando Sabino – O Encontro Marcado)

RESUMO

A água da Guarapiranga é utilizada para abastecimento e atende cerca de 3,7 milhões de pessoas da Região Metropolitana de São Paulo (ISA, 2006). Devido ao grande consumo da água deste reservatório, faz-se necessário avaliar a qualidade de suas águas. O objetivo deste trabalho é o estudo geoquímico e isotópico dos sedimentos de fundo da Represa da Guarapiranga para a detecção de possíveis impactos antropogênicos. Foram coletadas amostras de testemunhos de sedimentos de fundo, além de amostras de sedimentos aflorantes das margens da represa e amostras de água superficial. As amostras de sedimentos foram submetidas a análises químicas para a quantificação dos elementos / óxidos SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , Ba, Ce, Cl, Co, Cr, Cu, F, Ga, La, Nb, Nd, Ni, Pb, Rb, S, Sc, Sr, Th, U, V, Y, Zn e Zr. As análises isotópicas dos sedimentos foram realizadas por Lixiviado e por Rocha Total.

Por meio das análises químicas foi possível confeccionar gráficos de distribuição vertical de cada elemento em diferentes profundidades do testemunho. Além disso foi possível calcular Fatores de Enriquecimento, utilizando o elemento Sc como agente normalizador, para avaliação do grau de atividade antrópica presente nos sedimentos. As análises geoquímicas indicaram que no testemunho coletado na porção central da represa (RG-15) os elementos/óxido tiveram suas maiores concentrações nas amostras próximas à superfície do leito do reservatório. No testemunho coletado ao sul (RG-2) foi observado o comportamento contrário, os elementos e óxidos analisados apresentaram maiores concentrações em amostras mais profundas. Os Fatores de Enriquecimento indicaram anomalias TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , P_2O_5 , Cu, Y, S, Zr e Cl, principalmente nas amostras mais superficiais do testemunho coletado na porção central da represa (RG-15).

As razões isotópicas de Pb foram plotadas em um gráfico $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. Os pontos plotados das amostras do testemunho RG-2 encontraram-se próximos dos sedimentos das margens, enquanto que os pontos plotados do testemunho RG-15 encontraram-se próximos aos pontos da água da chuva e da água da represa, indicando maior contribuição antrópica para estas amostras.

ABSTRACT

The water of Represa da Guarapiranga dam is used to supply and serves about 3.7 million people in the Metropolitan Region of São Paulo (ISA, 2006). Due to this large consumption of water from this reservoir, an evaluation of the quality of its waters is necessary. The objective of this work is the isotopic and geochemical studies of bottom sediments of Guarapiranga in order to detect possible human impacts. We collected bottom sediment cores samples, sediment samples from outcrop margins of the reservoir and surface water samples. The sediment samples were subjected to chemical analysis for quantification of the elements / oxides SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , Ba, Ce, Cl, Co, Cr, Cu, F, Ga, La, Nb, Nd, Ni, Pb, Rb, S, Sc, Sr, Th, U, V, Y, Zn and Zr. The isotopic analysis of sediments was performed by Leaching and Bulk Dissolution experiments.

Through chemical analysis it was possible to make vertical distribution graphs for each element at different depths of the core. Furthermore, it was possible to calculate enrichment factors, using the element Sc as normalizer agent, to evaluate the anthropogenic activity present in the sediments. The geochemical analysis indicated that, in the core obtained in the central portion of the dam (RG-15), elements / oxide had their highest concentrations in the samples close to the bed surface of the reservoir. It was observed an opposite behavior in the core collected south (RG-2), where the elements and oxides analyzed showed higher concentrations in deeper samples. The enrichment factors indicated anomalies to TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , P_2O_5 , Cu, Y, S, Cl and Zr, mainly in superficial samples of the core collected in the central portion of the dam (RG-15).

The isotopic ratios were plotted on a $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ graph. The plotted points of the core RG-2 samples were found near the sediments of the margins, while the core RG-15 plotted points were found next to points of rainwater and superficial water from the dam, indicating probably a greater contribution of anthropogenic sources to these samples.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	5
3. OBJETIVOS	6
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
4.1. BACIA DO ALTO TIETÊ	7
4.1.1. Reservatório da Guarapiranga.....	9
4.1.2. Geologia da Região Metropolitana de São Paulo.....	10
4.1.3. Geologia do entorno da Represa da Guarapiranga.....	11
4.2. GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DE FUNDO	12
4.3. GEOLOGIA ISOTÓPICA APLICADA A ESTUDOS AMBIENTAIS	13
4.3.1. O elemento Chumbo (Pb) como indicador ambiental	13
4.3.2. Trabalhos recentes	13
4.4. HIDROQUÍMICA	14
4.5. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	14
4.5.1. pH.....	14
4.5.2. EH	14
4.5.3. Condutividade Elétrica	15
4.5.4. Taxa de Oxigênio Dissolvido (OD)	15
4.5.5. Salinidade.....	15
4.6. TOXIDADE DE ELEMENTOS/COMPOSTOS QUÍMICOS	15
4.7. ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS – CETESB	20
5. MATERIAIS E MÉTODOS	21
5.1. AMOSTRAGEM.....	21
5.1.1. Parâmetros físico-químicos medidos em campo.....	22
5.1.2. Coleta de amostras de água superficial.....	22
5.1.3. Coleta de amostras de sedimentos.....	23
5.2. PROCEDIMENTOS PÓS-AMOSTRAGEM	23
5.2.1. Preparação das amostras de água para análises de cátions e isótopos radiogênicos	23
5.2.2. Preparação das amostras de água para análise de alcalinidade	24
5.2.3. Preparação das amostras para análise granulométrica	24
5.2.4. Preparação das amostras de sedimentos para análises geoquímica e isotópica	25
5.3. ANÁLISE MINERALÓGICA	25
5.4. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	26
5.5. ANÁLISES QUÍMICAS.....	26

5.5.1.	<i>Análise química da água</i>	26
5.5.2.	<i>Análise química dos sedimentos</i>	26
5.6.	ANÁLISES ISOTÓPICAS DE Pb	27
5.6.1.	<i>Análise isotópica da água</i>	27
5.6.2.	<i>Análise isotópica dos sedimentos</i>	27
6.	RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES	28
6.1.	ÁGUA SUPERFICIAL	28
6.2.	SEDIMENTOS	31
6.2.1.	<i>Análise granulométrica</i>	31
6.2.2.	<i>Análise mineralógica</i>	31
6.2.3.	<i>Análise Geoquímica</i>	31
6.2.4.	<i>Fatores de enriquecimento</i>	39
6.2.5.	<i>Análise isotópica</i>	46
7.	CONCLUSÕES.....	46
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

FIGURAS

Figura 1. Representação do Estado de São Paulo e da Região Metropolitana de São Paulo

Figura 2. Limites da Região Metropolitana de São Paulo e da Bacia Hidrográfica da Guarapiranga

Figura 3. Bacia do Alto Tietê

Figura 4. Limites da Bacia da Guarapiranga

Figura 5. Mapa da Guarapiranga com os pontos de amostragem

Figura 6. Curvas isopotenciais de pH

Figura 7. Curvas isopotenciais de Eh

Figura 8. Distribuição vertical dos óxidos ao longo do testemunho RG-2

Figura 9. Distribuição vertical dos elementos traços ao longo do testemunho RG-2

Figura 10. Distribuição vertical dos óxidos ao longo do testemunho RG-15

Figura 11. Distribuição vertical dos elementos traços ao longo do testemunho RG-15

Figura 12. Gráfico de valores de Fatores de Enriquecimento vs óxido analisado nas diferentes profundidades para o testemunho RG-2

Figura 13. Gráfico de valores de Fatores de Enriquecimento vs elemento traço nas diferentes profundidades para o testemunho RG-2

Figura 14. Figura 10. Gráfico de valores de Fatores de Enriquecimento vs óxido analisado nas diferentes profundidades para o testemunho RG-15

Figura 15. Gráfico de valores de Fatores de Enriquecimento vs elemento traço nas diferentes profundidades para o testemunho RG-15

Figura 16. Gráfico de valores de Fatores de Enriquecimento vs elemento traço nas diferentes profundidades para o testemunho RG-15 (com zoom)

Figura 17. Gráfico $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$

QUADRO

Quadro 4.7. Classificação do IQA – CETESB

ANEXO I. Tabelas

Tabela 4.6. Valores Máximos segundo a Resolução do CONAMA 357/05

Tabela 5.1.3-1. Amostras de sedimentos da Represa da Guarapiranga

Tabela 5.2.2. Alcalinidade

Tabela 5.2.4. Amostras retiradas dos testemunhos RG-2 e RG-15

Tabela 6.1.1-1. Parâmetros físico-químicos medidos em campo (água superficial)

Tabela 6.1.1-2. Resultados das análises de ânions da água superficial

Tabela 6.1.1-3. Resultado das análises de cátions da água superficial

Tabela 6.2.1-1. Características das amostras retiradas dos testemunhos RG-2 e RG-15

Tabela 6.2.1-2. Características das amostras coletadas nas margens

Tabela 6.2.1-3. Resultado da análise granulométrica por Difração de Laser

Tabela 6.2.2. Descrição mineralógica por Difração de Raio X

Tabela 6.2.3-1. Resultado das análises de óxidos e elementos traços dos testemunhos RG-2 e RG-15

Tabela 6.2.3-2. Resultado das análises de óxidos e elementos traços das amostras de sedimentos das margens

Tabela 6.2.4. Fatores de Enriquecimento

Tabela 6.2.5-1 Resultados das análises de razões isotópicas de Pb em amostras de água

Tabela 6.2.5-2. Resultado das análises de razões isotópicas de Pb em amostras de sedimentos

ANEXO II. Índice de Qualidade das Águas – CETESB

ANEXO III. Registro Fotográfico

1. INTRODUÇÃO

A água da Represa da Guarapiranga é utilizada para abastecimento público e atende cerca de 3,7 milhões de pessoas da Região Metropolitana de São Paulo (ISA 2006). Atualmente tem-se questionado quanto à qualidade da água deste reservatório em virtude do intenso processo de urbanização ao qual se encontra a região da Represa da Guarapiranga. Segundo estudos (ISA 2006; 2009) a represa tem recebido nos últimos anos altas taxas de dejetos industriais e urbanos, o que comprometeria a qualidade da água em questão.

A caracterização geoquímica dos sedimentos de fundo tem sido utilizada como uma ferramenta para a identificação de possíveis contaminantes por fontes antrópicas que atingem os sistemas aquáticos (Senten 1989; Santos *et al*, 2011; Oliveira *et al*, 2012; Mortatti *et al*, 2010). Nestes trabalhos notou-se que os sedimentos de fundo podem acumular determinados elementos e compostos, em especial os metais pesados. A relação de dados geoquímicos de sedimentos de fundo com a química das rochas em torno, e com a da água do reservatório e subterrânea, portanto, podem contribuir para investigação das fontes de anomalias nos sedimentos.

Somados aos dados geoquímicos, a geologia isotópica aplicada a estudo ambientais tem sido utilizada para a identificação de fontes de contaminação Oliveira *et al* 2009; 2012). É possível determinar fontes de anomalias uma vez que razões isotópicas de fontes naturais são distintas das de fontes antropogênicas. No presente trabalho serão abordados os isótopos de Pb, elemento que é amplamente utilizado em baterias, inseticidas, tintas, e que pode estar ligado a contaminação de águas e sedimentos

Municípios da Região Metropolitana de São Paulo

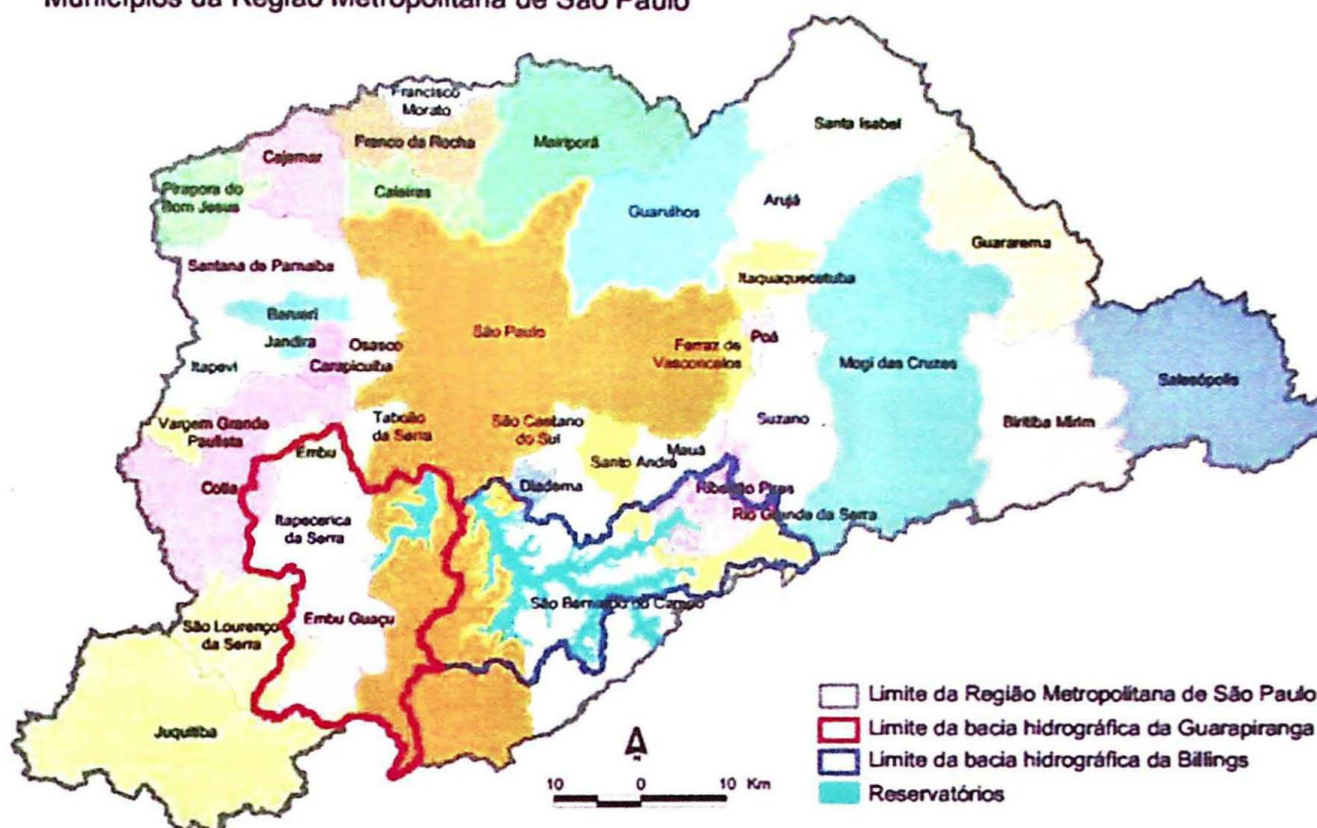


Figura 2: Limites da Região Metropolitana de São Paulo e da Bacia Hidrográfica da Guarapiranga.

Fonte: ISA (2006)

3. OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são a caracterização geoquímica dos sedimentos de fundo da Represa da Guarapiranga para a detecção de possíveis impactos antrópicos. Para chegar aos resultados foram também utilizados dados da química das rochas/solo no entorno desse reservatório e da química das águas superficiais.

Os objetivos específicos são:

- 1) Caracterização geoquímica e mineralógica dos sedimentos de fundo da Represa da Guarapiranga;
- 2) Determinar possíveis anomalias com cálculos de fatores de enriquecimento em relação a *backgrounds* naturais;
- 3) Caracterização química da água da Guarapiranga
- 4) Determinação das razões isotópicas de Pb nos sedimentos de fundo e nas rochas/sedimentos no entorno da represa.
- 5) Comparar resultados das águas com o dos sedimentos, para avaliar possíveis impactos antrópicos.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. BACIA DO ALTO TIETÊ

A Bacia Hidrográfica do Alto Tietê corresponde a área drenada pelo Rio Tietê, desde sua nascente em Salesópolis, na Serra do Mar, até a Barragem do Rasgão. A Bacia possui área equivalente a 5.985 km², e está localizada inteiramente no sudeste do Estado de São Paulo (**Figura 1**), a qual abrange 35 municípios (Rede das Águas 2002), como pode ser observado na **Figura 3**. A Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (BAT) divide-se em seis sub-bacias: Billings-Tamanduateí, Cotia-Guarapiranga, Tietê-Cabeceiras, Juqueri-Cantareira, Penha-Pinheiros e Pinheiros-Pirapora (Govágua USP s/d)

A BAT corresponde a aproximadamente 70% da área da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) (Govágua USP s/d), e é considerada uma das bacias com menor disponibilidade hídrica por habitante do Brasil. A baixa disponibilidade hídrica é agravada pela poluição dos corpos d'água decorrente da intensa urbanização da área (ISA 2006).

O suprimento hídrico da RMSP pela Bacia do Alto Tietê é realizado pelo Sistema Integrado de Abastecimento de Água, composto pelos sistemas produtores de água: Cantareira, Guarapiranga, Rio Grande (Billings), Cotia (Alto e Baixo), Alto Tietê, Rio Claro e Ribeirão da Estiva (Govágua USP s/d).

A Bacia do Alto Tietê está representada na **Figura 3**.

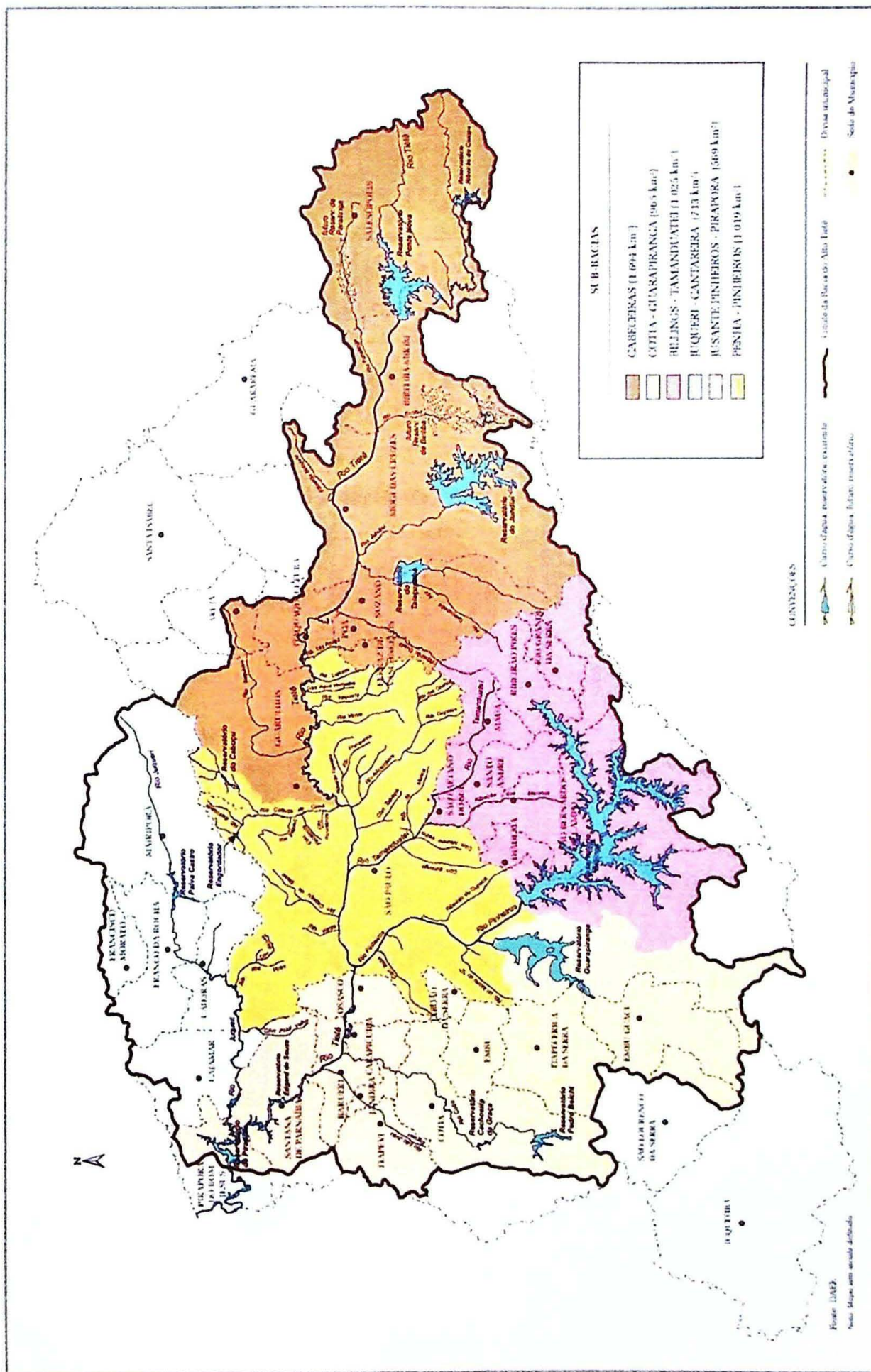


Figura 3: Bacia do Alto Tietê, desde sua nascente em Salesópolis, até a Barragem do Rasgão – Estado de São Paulo. Fonte: Rede das Águas, 2002

4.1.1. Reservatório da Guarapiranga

O reservatório da Guarapiranga está inserido dentro da Bacia da Guarapiranga que é uma sub-bacia da BAT (**Figura 2**). Localiza-se na porção sudoeste da RMSP, e abrange totalmente os municípios de Embu-Guaçu e Itapeverica da Serra; e parcialmente os municípios de Cotia, Embu das Artes, Juquitiba, São Lourenço e São Paulo. Possui área aproximada de 639 km² (**Figura 4**).

Segundo o Instituto Socioambiental (ISA 2009), mananciais de água são as fontes de água superficial ou subterrânea utilizadas para abastecimento humano e manutenção das atividades econômicas. A Bacia da Guarapiranga é um dos principais mananciais da RMSP, e produz em média cerca de 14 mil litros de água por segundo para atender 3,7 milhões de habitantes (20% da população da RMSP) (ISA 2006) nos bairros de Santo Amaro, Campo Limpo, Morumbi, Butantã e Taboão da Serra.

A Represa da Guarapiranga foi construída pelo represamento do Rio Guarapiranga, pela Companhia Light & Power, com obras iniciadas em 1906 e concretizadas em 1909. A barragem tinha finalidade inicialmente energética. A partir de 1928 a represa se tornou a principal fonte de abastecimento de água da cidade de São Paulo. Já na década de 50 surgiram alertas quanto a qualidade da água em virtude da crescente e desordenada ocupação urbana (ISA 2006).

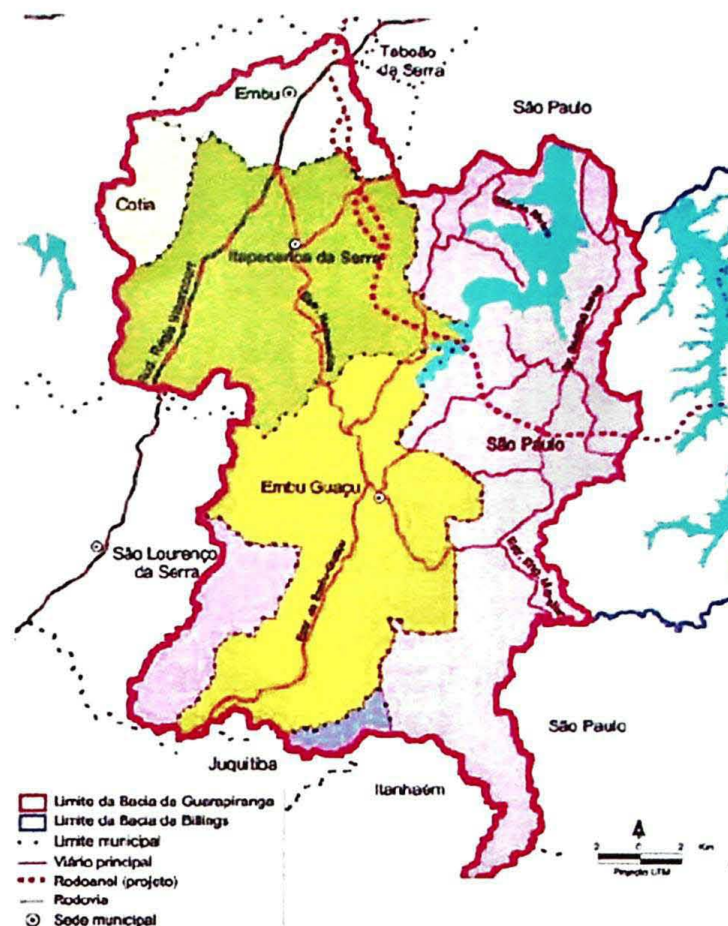


Figura 4: Limites da Bacia da Guarapiranga (linha cheia em vermelho), e os municípios que essa bacia abrange. O Reservatório da Guarapiranga se encontra na porção nordeste da Bacia, em azul claro. Fonte ISA 2006

Atualmente o reservatório se encontra em deterioração progressiva da qualidade das águas, em função do crescente aumento de despejos de esgotos e poluição em geral. Essa contaminação reflete na qualidade da água do abastecimento de grande parte da RMSP, e está diretamente relacionada com a deficiência dos serviços de saneamento da população residente na Bacia da Guarapiranga (ISA 2006).

4.1.2. Geologia da Região Metropolitana de São Paulo

Como citado em Hirata & Ferreira (2001), a Bacia do Alto Tietê engloba rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino, além de rochas da Bacia Sedimentar de São Paulo, que recobrem o embasamento.

O embasamento cristalino abrange basicamente o Complexo Embu (Grupo Açungui), a sul das falhas de Taxaquara e do Rio Jaguaribe; também os grupos São Roque e Serra do Itaberaba, a norte das falhas; e rochas granitóides intrusivas. (Juliani1992)

O Complexo Embu é constituído por migmatitos e gnaisses migmatizados. O Grupo Serra do Itaberaba, localizado estratigraficamente abaixo do Grupo São Roque, é

essencialmente constituído por sequência metavulcanossedimentar recoberta por sequência clasto-química. O Grupo São Roque abrange: 1) restritamente metaconglomerados a metarcóseos, exclusivamente no Morro Doce; 2) quartzitos no Morro do Jaraguá e Serra do Boturuna; 3) filitos laminados bandados, amplamente distribuídos; 4) mármore, calcários e dolomitos como lentes encaixadas nos filitos; 5) subordinadamente anfíbolitos, na porção basal (Juliani 1992).

A Bacia de São Paulo é uma unidade integrante do Rift Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini, 1989), feição tectônica de idade cenozóica. A Bacia, segundo Riccomini (1992) é um hemi-graben basculado para NNW.

Os sedimentos continentais terciários da Bacia de São Paulo são classificados como uma sequência basal, e compreendem as formações Resende, Tremembé, e São Paulo, reunidas no Grupo Taubaté, este recoberto de forma discordante pela Formação Itaquaquecetuba (Riccomini 1989).

A Formação Resende corresponde a 80% do preenchimento sedimentar da Bacia de São Paulo, e é constituída por depósitos de leques aluviais que gradam para depósitos de planície aluvial de leques entrelaçados (Riccomini 1992). A Formação Tremembé corresponde a camadas tabulares de argilas verdes maciças, intercaladas com argilas cinza-escuras a pretas, ricas em matéria orgânica, provenientes de ambiente lacustre (Riccomini 1992). A Formação São Paulo, que compreende depósitos sedimentares de sistema fluvial meandrante (Riccomini 1989), é constituída por duas fácies principais: 1) arenitos grossos e conglomerados com gradação para siltitos e argilitos, com estratificações cruzadas nos arenitos; 2) arenitos de granulação média a grossa a siltitos e argilitos, apresentam caráter rítmico e estratificações plano-paralelas. Estas três Formações são interpretadas como Oligocênicas (Riccomini 1989).

Por fim, a Formação Itaquaquecetuba, que corresponde a depósitos de sistema fluvial entrelaçado, que ocorrem sob os aluviões Holocênicos dos rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí (Riccomini 1992).

4.1.3. Geologia do entorno da Represa da Guarapiranga

Segundo o Mapa Geológico do Estado de São Paulo (Perrota *et al*, 2005) a Represa da Guarapiranga está inserida no contexto geológico do Complexo Embu, do Proterozóico, do Grupo Taubaté, do Paleógeno e dos depósitos sedimentares aluvionares do Holoceno.

O Complexo Embu é representado pela Unidade Paragnáissica representada por muscovita-granada-sillimanita-biotita gnaiss migmatitos, biotita gnaiss tonalitos a granodioritos e biotita gnaiss quartzosos; e pela Unidade de Xistos localmente Migmatíticos representados por muscovita-biotita-quartzo xistos com cianita, estauroлита, granada, sillimanita e quartzo xistos com muscovita, biotita, granada e plagioclásio alternados

ritmicamente, além de intercalações de rochas calcissilicáticas, anfibolitos e metaultramáficas.

O Grupo Taubaté é representado pela Formação Resende, composta por diamictitos e conglomerados com seixo, blocos e matacões, além de crostas calcíticas e lamitos arenosos.

Os Depósitos Aluvionares são compostos por areias quartzosas, cascalhos, siltes, argilas e turfas.

4.2. GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DE FUNDO

A água e os sedimentos de fundo tendem a trocar elementos e compostos químicos. Dessa forma, o material contaminante que atinge a água pode se acumular nos sedimentos de fundo. Muitas substâncias, principalmente os metais pesados podem se acumular nos sedimentos por adsorção em argilominerais, ou por complexação na matéria orgânica (Santos *et al*, 2011).

Mortatti *et al* (2010) analisaram a presença de metais pesados em sedimentos de fundo ao longo da Bacia do Rio Tietê para identificar possíveis impactos antrópicos. As intensidades das anomalias foram expressas utilizando um fator de enriquecimento (EF) tendo o elemento Sc como normalizador. Em seus estudos, Mortatti *et al* (2010) determinaram concentrações elevadas de metais como Zn e Cr nas áreas de efluentes urbanos.

Soares (2004) atenta que, para não se subestimar o grau de impacto antrópico presente em sedimentos de fundo, deve-se analisar as rochas presentes no entorno dos corpos de água em estudo. As concentrações anômalas de determinados elementos químicos nos sedimentos de fundo podem ser produtos de reações naturais das rochas ao redor.

Oliveira *et al* (2009) utilizaram a estratigrafia química (*chemostratigraphy*) como uma forma de reconstruir mudanças naturais e antrópicas de uma sequência sedimentar. Elementos químicos foram analisados a cada 10 cm ao longo de testemunhos retirados do fundo de uma lagoa em Fernando de Noronha, Brasil. A partir desse método pôde-se determinar que nas porções mais próximas do topo dos testemunhos (datadas como mais novas que 90 anos, pelo método de ^{14}C) foram encontradas maiores concentrações de elementos como Hg e Pb. Segundo estudos de Oliveira *et al.* (*op. cit.*), estes elementos podem ser produtos de fontes antrópicas distantes, trazidos até a Lagoa pela atmosfera.

4.3. GEOLOGIA ISOTÓPICA APLICADA A ESTUDOS AMBIENTAIS

Isótopos de Pb vem sendo utilizados como indicadores de atividade antrópica. Fontes antropogênicas e fontes naturais possuem diferentes composições isotópicas e dessa forma é possível distinguir e quantificar o Pb de origem antrópica e o Pb de fontes naturais, de um determinado ambiente.

4.3.1. O elemento Chumbo (Pb) como indicador ambiental

O Pb é naturalmente encontrado como ^{204}Pb (1,4%), ^{206}Pb (24,1%), ^{207}Pb (22,1%) e ^{208}Pb (52,4%). O ^{206}Pb e o ^{207}Pb são formados pelo decaimento do ^{238}Pb e ^{235}Pb , enquanto que o ^{208}Pb é produto do decaimento de ^{232}Th . Já o ^{204}Pb não é formado por decaimento, e portanto é considerado um isótopo estável.

O Pb pode estar presente em alguns minerais, como a galena (minério de Pb), ou mesmo substituindo o Ca^{2+} em suas estruturas cristalinas. O elemento é liberado das rochas na forma de Pb^{2+} , quando em contato com meio ácido (Hem 1985).

Este elemento está presente em diversos produtos industriais e são fontes potenciais a contaminação. O descarte de baterias com ácido de Pb, inseticidas, tintas a base de Pb, resíduos de mineração (galena) e liberação de aerossóis com Pb para a atmosfera são fontes antrópicas deste elemento, que contaminam um ambiente natural (Deutsch 1997; Gioia *et al* 2006).

Segundo Charalampides & Manoliadis (2002) as razões isotópicas de Pb, como indicadores ambientais, podem ser utilizadas para: 1) determinar as diferentes fontes antropogênicas de Pb; 2) detectar a origem do Pb mesmo quando transportado a longas distâncias, como por exemplo quando transportado por massas de ar; 3) em perfis sedimentares, é possível relacionar a contaminação por Pb pelo tempo.

4.3.2. Trabalhos recentes

Em trabalhos realizados por Oliveira *et al* (2009, 2012) foram utilizadas análises geoquímicas e isotópicas de sedimentos para determinação de anomalias químicas e identificação de fontes de possíveis contaminações em lagoas distantes de grandes centros urbanos. Os trabalhos tinham o intuito de quantificar elementos maiores e traços em relação a profundidade de coluna sedimentar amostrada, e também determinar a variação da composição de Pb nos sedimentos, para investigar uma possível contribuição de Pb antropogênico.

Nestes trabalhos foi possível identificar que há aumento da concentração de Pb e também aumento dos valores da razão isotópica $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em sedimentos mais recentes

(próximos ao topo do testemunho). Por meio de gráficos foi possível identificar fontes dessas anomalias de Pb.

4.4. HIDROQUÍMICA

A composição química da água é resultado da interação entre diferentes arcabouços (fontes), incluindo gases e aerossóis da atmosfera, intemperismo e erosão de rochas e solos, reações que ocorrem abaixo da superfície da Terra e de atividades humanas. Os tipos de solutos presentes na água são influenciados pelo clima, pela estrutura e posição das camadas de rocha, e pelos efeitos bioquímicos associados com o ciclo de vida plantas e animais. Esses fatores, juntamente com a influência da circulação da água no ciclo hidrológico, regem os princípios da química da água (Hem 1985).

Os reservatórios de águas superficiais em áreas urbanas são alimentados por fontes difusas atmosféricas (chuva e material particulado), superficiais (escoamento superficial, drenagens, esgotos clandestinos) e subterrâneas (área de descarga do aquífero livre e vazamentos da rede de esgoto e abastecimento). As características químicas da água refletem, portanto, o meio circundante e possíveis atividades antrópicas.

A hidroquímica tem como objetivo identificar e quantificar os constituintes químicos das águas, estabelecendo relação com o meio circundante. Tem também o objetivo de avaliar os recursos das águas subterrâneas, indicando e identificando as zonas de recarga e descarga (CPRM 2007).

4.5. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

4.5.1. pH

O pH pode influenciar diretamente no tipo de vida existente no sistema aquático. Pode também, em determinados casos, contribuir indiretamente na precipitação de elementos químicos e na solubilidade de compostos químicos. (CETESB 2009)

O pH é padrão de potabilidade, devendo as águas para abastecimento público apresentarem valores entre 6,0 a 9,5, de acordo com a Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (CETESB 2009).

4.5.2. EH

A condição biogeoquímica nos sistemas aquáticos sedimentos está muitas vezes associada à transferência de elétrons entre as espécies químicas. Tais processos podem definir condições de deficiência de elétrons (meio redutor) ou transferência de elétrons (meio oxidante) e podem ser avaliados por meio de medidas *in situ*, denominadas medidas de potencial redox (Eh) (CETESB 2009)

4.5.3. Condutividade Elétrica

Os sais dissolvidos e ionizados na água transformam-na em um eletrólito capaz de conduzir a corrente elétrica (Zimbres s/d). A medida é geralmente feita através de um condutivímetro, e a unidade pelo Sistema Internacional de Unidades é o $\mu\text{S}/\text{cm}$. A condutividade elétrica varia com a concentração total de íons na água, com a temperatura, mobilidade dos íons, com a valência dos íons e com a concentração real e relativa de cada íon (CPRM 2007).

4.5.4. Taxa de Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio presente nas águas pode ser proveniente de diversas fontes. Uma delas é a atmosfera, cujo oxigênio se dissolve na água devido à diferença de pressão parcial.

Outra fonte importante de oxigênio nas águas é a fotossíntese de algas. Esta fonte não é muito significativa nos trechos de rios à jusante de fortes lançamentos de esgotos. A turbidez e a cor elevadas dificultam a penetração dos raios solares e apenas poucas espécies resistentes às condições severas de poluição conseguem sobreviver. Desse modo, águas poluídas são aquelas que apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido devido ao seu consumo na decomposição de compostos orgânicos, enquanto que as águas limpas apresentam concentrações de oxigênio dissolvido elevadas, chegando até a um valor pouco abaixo da concentração de saturação.

Uma adequada provisão de oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e em estações de tratamento de esgotos. Os níveis de oxigênio dissolvido também indicam a capacidade de um corpo d'água natural em manter a vida aquática (CETESB 2009).

A taxa de oxigênio dissolvido pode ser expressa em mg/L , ou em porcentagem em relação ao nível de saturação de oxigênio dissolvido na água em dada temperatura.

4.5.5. Salinidade

A salinidade é a medida da quantidade de sais dissolvidos na água (STD – sólidos totais dissolvidos). Este parâmetro é geralmente medido em partes por milhão (ppm) ou partes por trilhão (ppt) (CETESB 2009).

4.6. TOXIDADE DE ELEMENTOS/COMPOSTOS QUÍMICOS

Elementos e compostos químicos que atingem os corpos de água e os sedimentos de fundo podem ser oriundos de fontes naturais ou antrópicas. Abaixo está relacionada uma lista de elementos e compostos, suas possíveis proveniências, e suas respectivas toxicidades. Esses dados são baseados em CETESB (2009). Na **Tabela 4.6 (Anexo I)** são descritos os valores máximos para cada elemento com base na Resolução do CONAMA

357/05. Para a obtenção destes valores admitiu-se que a Represa da Guarapiranga se enquadra na Classe 3, segundo a Resolução CONAMA 357/05, uma vez que suas águas podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; e à recreação por contato secundário, ou seja, por pesca e navegação.

a) Alumínio (Al)

As fontes naturais para este elemento na água são as rochas e sedimentos que o contém. Vários são os minerais que contém alumínio, um exemplo muito comum são os argilominerais. O alumínio presente nestes minerais podem atingir os corpos aquáticos por meio do intemperismo.

Além disso, o alumínio e seus sais são usados na fabricação de latas, telhas, papel alumínio, na indústria farmacêutica etc. Pode ser utilizado também no tratamento da água como aditivo alimentar (CETESB, 2009). Essas são, portanto, as fontes antrópicas para o alumínio presente na água.

A principal via de exposição humana ao alumínio é pela ingestão de alimentos e água. Não há indicações de que o alumínio apresente toxicidade aguda quando ingerido, apesar de ampla ocorrência em alimentos, água potável e medicamentos. Não há indicação de carcinogenicidade para o alumínio.

b) Bário (Ba)

O mineral de bário mais comumente encontrado é a barita (BaSO_4), que pode estar presente em vários tipos de rochas, tais como arenitos e calcários.

Os compostos de bário são usados na indústria da borracha, têxtil, cerâmica, farmacêutica, entre outras. Não é um elemento essencial ao homem e em elevadas concentrações pode ser letal, dependendo da dose e da solubilidade do sal de bário.

c) Cálcio (Ca)

As principais fontes naturais de cálcio são os minerais como plagioclásio cálcico, calcita, dolomita, apatita, entre outros que possuem este elemento em sua estrutura. O carbonato de cálcio é pouco solúvel em água pura. Em geral, o cálcio ocorre nas águas na forma de bicarbonato e sua solubilidade é função da quantidade de gás carbônico dissolvido (Zimbres, s/d).

d) Cromo (Cr)

O mineral de cromo mais comumente encontrado é a cromita (FeCr_2O_4). Este mineral está presente em rochas como peridotitos, serpentinitos, entre outras. O cromo pode estar presente também em piroxênios, como a pigeonita.

O cromo é utilizado na produção de ligas metálicas, estruturas da construção civil, fertilizantes, tintas, pigmentos, curtumes, preservativos para madeira, entre outros usos. A

concentração do metal na água subterrânea geralmente é baixa ($< 1 \mu\text{g/L}$) (CETESB,2009) Na forma trivalente, o cromo é essencial ao metabolismo humano e sua carência pode causar determinadas doenças. Na forma hexavalente, é tóxico e cancerígeno.

e) Cobre (Cu)

O cobre está presente em minerais como cuprita, malaquita, bornita, entre outros. A calcopirita é o mineral de cobre mais comumente encontrado. Este mineral está presente em rochas ígneas e hidrotermais.

O cobre é utilizado na fabricação de tubos, válvulas, acessórios para banheiro e está presente em ligas e revestimentos. Na forma de $(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$ é usado como algicida. As fontes de cobre para o meio ambiente incluem minas de cobre ou de outros metais, corrosão de tubulações de latão por águas ácidas, efluentes de estações de tratamento de esgotos, uso de compostos de cobre como algicidas aquáticos, escoamento superficial e contaminação da água subterrânea a partir do uso agrícola do cobre e precipitação atmosférica de fontes industriais.

f) Ferro (Fe)

O ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério de ferro. Também pode ser introduzido em cursos de água devido a efluentes industriais, emprego de coagulantes a base de ferro no tratamento de água.

O ferro, apesar de não ser tóxico, traz diversos problemas para o abastecimento público de água. Confere cor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários.

g) Potássio (K)

Potássio é encontrado em baixas concentrações nas águas naturais, já que rochas que contenham potássio são relativamente resistentes às ações do tempo.

Entretanto, sais de potássio são largamente usados na indústria e em fertilizantes para agricultura, entrando nas águas doces através das descargas industriais e de áreas agrícolas. Não é um elemento tóxico.

h) Magnésio (Mg)

O magnésio é encontrado em vários minerais, exemplos mais comuns são: biotita, que está presente em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares; e a dolomita, presente em rochas carbonáticas.

O magnésio possui características químicas semelhantes as do cálcio, e geralmente o acompanha. Entretanto, o magnésio forma sais mais solúveis em água. Fontes naturais de cálcio são os minerais constituintes de magnésio como dolomita, biotita, anfíbios e

piroxênios.

i) Manganês (Mn)

O manganês está presente em minerais como pirolusita e rodocrosita, dos quais pode ser extraído o minério de manganês.

O manganês e seus compostos são usados na indústria do aço, ligas metálicas, baterias, vidros, oxidantes para limpeza, fertilizantes, vernizes, suplementos veterinários, entre outros usos. Ocorre naturalmente na água superficial e subterrânea, no entanto, as atividades antropogênicas são também responsáveis pela contaminação da água. O manganês é um elemento essencial para muitos organismos, incluindo o ser humano. A principal exposição humana ao manganês é por consumo de alimentos.

j) Sódio (Na)

Todas as águas naturais contêm algum sódio, já que ele é um dos elementos mais abundantes na Terra e seus sais são altamente solúveis em água, encontrando-se na forma iônica (Na^+), e nas plantas e animais, já que é um elemento ativo para os organismos vivos. O aumento das concentrações de sódio na água pode provir de lançamentos de esgotos domésticos, efluentes industriais. A alta concentração desse íon pode ser um fator agravante na utilização dessa água para a agricultura.

k) Níquel (Ni)

O níquel pode ser encontrado em minerais como garnierita, pentlandita, millerita e pirrotita.

A maior contribuição antropogênica para o meio ambiente é a queima de combustíveis, além da mineração e fundição do metal, fusão e modelagem de ligas, indústrias de eletrodeposição, fabricação de alimentos, artigos de panificadoras, refrigerantes e sorvetes aromatizados. Doses elevadas de níquel podem causar dermatites nos indivíduos mais sensíveis. A principal via de exposição para a população ao níquel é o consumo de alimentos.

l) Zinco (Zn)

O principal mineral de zinco é a esfalerita um sulfeto de zinco, com ocorrência em rochas sedimentares, metamórficas, vulcanogênicas e magmáticas.

O zinco e seus compostos são muito usados na fabricação de ligas e latão, galvanização do aço, na borracha como pigmento branco, suplementos vitamínicos, protetores solares, desodorantes, xampus etc. O zinco é um elemento essencial ao corpo humano em pequenas quantidades. A atividade da insulina e diversos compostos enzimáticos dependem da sua presença. O zinco só se torna prejudicial à saúde quando

ingerido em concentrações muito elevadas, o que é extremamente raro, e, neste caso, pode acumular-se em outros tecidos do organismo humano. Nos animais, a deficiência em zinco pode conduzir ao atraso no crescimento.

m) Fluoreto (F^-)

O flúor é encontrado na crosta terrestre principalmente na forma de fluorita (CaF_2), fluoroapatita ($F_{10}(PO_4)_6$) e criolita (Na_3AlF_6). Traços de fluoreto são normalmente encontrados em águas naturais e concentrações elevadas geralmente estão associadas a fontes subterrâneas. Exemplos de fontes de flúor por origem antrópica são as pastas de dente, gomas de mascar, vitaminas e remédios.

O limite de potabilidade para o F é de 1,4 mg/L. No processo de tratamento da água, a Sabesp adiciona 0,6-0,8 mg/L na água.

n) Cloreto (Cl^-)

O cloreto é o ânion Cl^- que se apresenta nas águas subterrâneas oriundo da percolação da água através de solos e rochas. Nas águas superficiais, são fontes importantes de cloreto as descargas de esgotos sanitários. Diversos são os efluentes industriais que apresentam concentrações de cloreto elevadas como os da indústria do petróleo, algumas indústrias farmacêuticas, curtumes etc. Nas águas tratadas, a adição de cloro puro ou em solução leva a uma elevação do nível de cloreto, resultante das reações de dissociação do cloro na água.

O cloreto não apresenta toxicidade ao ser humano, exceto no caso de deficiência no metabolismo de cloreto de sódio. A concentração de cloreto em águas de abastecimento público constitui um padrão de aceitação, já que provoca sabor "salgado" na água. O limite de potabilidade é 250 mg/L.

o) Série do nitrogênio

As fontes de nitrogênio nas águas naturais são diversas. Os esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte, lançando nas águas nitrogênio orgânico, devido à presença de proteínas, e nitrogênio amoniacal, pela hidrólise da uréia na água. Alguns efluentes industriais também concorrem para as descargas de nitrogênio orgânico e amoniacal nas águas, como algumas indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, conservas alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes. A atmosfera é outra fonte importante devido a diversos mecanismos como a biofixação desempenhada por bactérias e algas presentes nos corpos hídricos, que incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos, contribuindo para a presença de nitrogênio orgânico nas águas; a fixação química, reação que depende da presença de luz, também acarreta a presença de amônia e nitratos nas águas, pois a chuva transporta tais substâncias, bem como as partículas

contendo nitrogênio orgânico para os corpos hídricos. Nas áreas agrícolas, o escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados também contribui para a presença de diversas formas de nitrogênio.

O nitrogênio pode ser encontrado nas águas nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato e a presença destes compostos indica proximidade de despejo de esgoto.

A amônia é uma substância tóxica bastante restritiva à vida dos peixes, sendo que muitas espécies não suportam concentrações acima de 5 mg/L. Além disso, a amônia provoca consumo de oxigênio dissolvido das águas naturais ao ser oxidada biologicamente. Por estes motivos, a concentração de nitrogênio amoniacal é um importante parâmetro de classificação das águas naturais e é normalmente utilizado na constituição de índices de qualidade das águas. Os nitratos são tóxicos, causando uma doença chamada metahemoglobinemia infantil, que é letal para crianças (o nitrato reduz-se a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre, tornando o sangue azul).

p) SO_4^{-2}

A presença de sulfato na água, por fontes naturais, ocorre através da dissolução de solos e rochas e pela oxidação de sulfeto. Já as principais fontes antrópicas de sulfato nas águas superficiais são as descargas de esgotos domésticos e efluentes industriais. É também utilizado no tratamento de água, sendo que é importante o controle do sulfato na água tratada, pois a sua ingestão provoca efeito laxativo. Já no abastecimento industrial, o sulfato pode provocar incrustações nas caldeiras e trocadores de calor. Na rede de esgoto, em trechos de baixa declividade onde ocorre o depósito da matéria orgânica, o sulfato pode ser transformado em sulfeto, ocorrendo a exalação do gás sulfídrico, que resulta em problemas de corrosão em coletores de esgoto de concreto e odor, além de ser tóxico.

4.7. ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS – CETESB

A partir de um estudo realizado nos Estados Unidos pela National Sanitation Foundation, a CETESB desenvolveu o Índice de Qualidade das Águas (IQA), que utiliza nove variáveis indicadoras para a determinação da qualidade da água: Coliformes Fecais, pH, Demanda bioquímica de Oxigênio, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Temperatura, Turbidez, Resíduo Total e Oxigênio Dissolvido (CETESB, s/d). O Índice de Qualidade é um número de 0 a 100, sendo que valores próximos a zero se referem a pior qualidade e próximos a 100 as melhores qualidades (**Quadro 4.7**).

Quadro 4.7. Classificação do IQA (Fonte CETESB, s/d)	
Categoria	Ponderação
ÓTIMA	$79 < IQA \leq 100$
BOA	$51 < IQA \leq 79$
REGULAR	$36 < IQA \leq 51$
RUIM	$19 < IQA \leq 36$
PÉSSIMA	$IQA \leq 1$

O Índice de Qualidade das Águas na Bacia do Alto Tietê proposto pela CETESB, para o ano 2009 se encontra no **Anexo II**. Nesse trabalho da CETESB foram analisados dois pontos na Represa da Guarapiranga, que indicaram qualidade boa na maior parte do ano, dois meses com qualidade ótima (março e maio) e três meses com qualidade regular (janeiro, julho e setembro).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. AMOSTRAGEM

As coletas de amostras de água e sedimentos foram realizadas nos dias 12 e 13 de dezembro de 2011, na represa da Guarapiranga. Para o transporte pela represa foi utilizado um barco cedido pelo corpo de bombeiros. O acesso à represa, portanto, foi feito pela base do corpo de bombeiros, localizada na Av. Robert Kennedy, 3638. Iniciou-se a coleta de amostras nas proximidades do município de Embu-Guaçu, a sul, e se estendeu até a extremidade norte da represa, próximo à captação da Sabesp. As amostras foram coletas de forma a obter uma distribuição homogênea dos pontos de amostragem, levando-se em consideração a descarga de afluentes e esgoto e, no caso dos testemunhos de sedimentos de fundo, também a capacidade de penetração dos tubos.

A **Foto 1** ilustra a Represa da Guarapiranga.

Foram coletadas doze amostras de água superficial (GUA-1A, GUA-1B, GUA-2, GUA-3, GUA-4, GUA-5, GUA-6, GUA-7, GUA-8, GUA-9, GUA-10 e GUA-11), cinco amostras de sedimentos aflorantes das margens da represa (material em geral proveniente da alteração das rochas - GUA-1Sed, GUA-2Sed A, GUA-2Sed B, GUA-3Sed A, GUA-3Sed B) e quinze testemunhos de sedimentos de fundo (RG-1, RG-2, RG-3, RG-4, RG-5, RG-6, RG-7, RG-8, RG-9, RG-10, RG-11, RG-12, RG-13, RG-14 e RG-15). O mapa com a plotagem das amostras foi feito a partir de uma imagem do Google e editada em ArcGis (**Figura 5**).

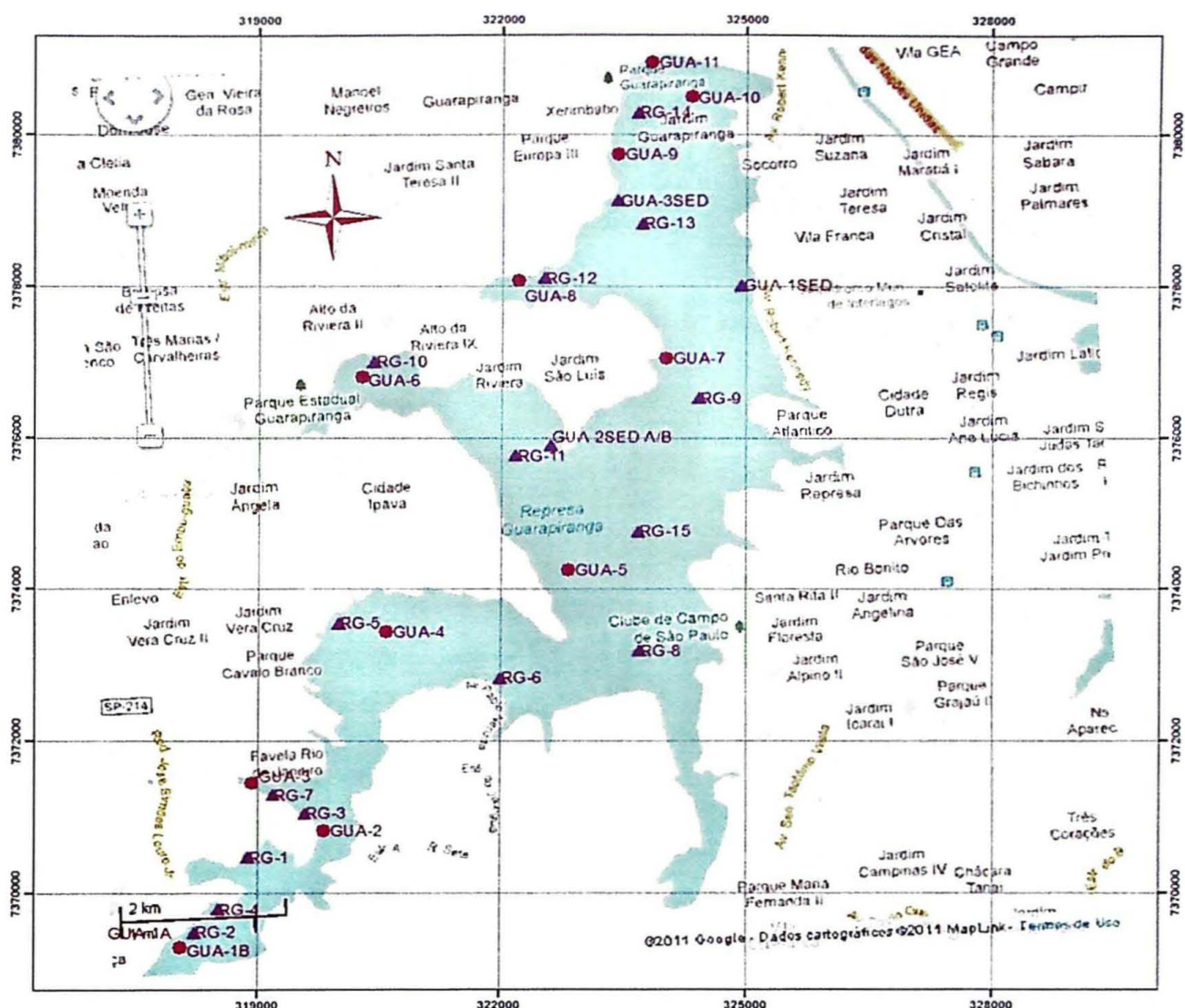


Figura 5: Mapa da Guarapiranga, com os pontos de amostragem. Os círculos em vermelho referem-se às amostras de água (GUA-x). Os triângulos em lilás referem-se às amostras de sedimentos (RG-x) são sedimentos de fundo e GUA-xSED são sedimentos das margens e ilhas da represa)

5.1.1. Parâmetros físico-químicos medidos em campo

No mesmo local em que foram coletadas as amostras de água, foram medidos os seguintes parâmetros físico-químicos: pH, Eh, Condutividade Elétrica (CE), taxa de oxigênio dissolvido (OD), temperatura e salinidade. Os parâmetros foram medidos por uma sonda multi parâmetros (Clean Environment), que era mergulhada na água da represa. A Foto 2 ilustra as medições de parâmetros físico-químicos realizados na área estudada.

5.1.2. Coleta de amostras de água superficial

Os frascos para a coleta de água para análise de isótopos radiogênicos foram previamente lavados com água destilada e descontaminados utilizando os ácidos HCl e

HNO₃ e chapa de aquecimento, segundo procedimentos descritos em Santos (2011). Os demais frascos foram enxaguados três vezes com a amostra a ser coleta, antes de armazená-la.

As amostras de água foram coletadas em três frascos diferentes, de acordo com as os parâmetros de análise. Dessa forma, em cada ponto de amostragem foram coletados:

- a) 3 frascos (polietileno) de 100ml para análise de cátions, ânions e alcalinidade;
- b) 1 frasco (polietileno) de 500ml para análise de isótopos radiogênicos.

As amostras de água foram coletadas manualmente, a profundidades de 10-30cm, exceto em GUA-1B, em que foi retirada uma amostra a aproximadamente 4m de profundidade.

As **Fotos 3 e 4** representam os frascos utilizados para coleta de água superficial. A **Foto 5** ilustra a área ao norte da represa, próxima a captação da SABESP, onde também foi coletada amostra de água superficial.

5.1.3. Coleta de amostras de sedimentos

As amostras de sedimentos de fundo foram coletadas com canos de PVC de 75mm de diâmetro. Para coletá-las, os canos eram fincados no leito da represa por mergulhadores especializados neste tipo de amostragem.

Além das amostras de sedimentos de fundo foram coletadas também amostras de sedimentos aflorantes em ilhas e nas proximidades das margens da represa. A **Tabela 5.1.3-1. (Anexo I)** apresenta os testemunhos e as amostras de sedimentos aflorantes.

As **Fotos 7 a 14** apresenta o testemunho RG-2. As **Fotos 15 a 22** ilustram o sedimento RG-15.

5.2. PROCEDIMENTOS PÓS-AMOSTRAGEM

A preparação das amostras tem a finalidade de conservar o material coletado e prepará-lo para as posteriores análises.

5.2.1. Preparação das amostras de água para análises de cátions e isótopos radiogênicos

Esta preparação foi realizada no LAMO (Laboratório de Modelos Físicos) da USP, no mesmo dia da coleta.

As amostras para análises de cátions e isótopos radiogênicos foram submetidas aos mesmos processos de preparação. Primeiramente foram filtradas no porta-filtro *Thermo Scientific Nalgene Polysulfone Filter Holder* com membrana de celulose 0,45µm, utilizando uma bomba de vácuo. A cada utilização do filtro, as membranas de celulosas eram

trocadas, e os filtros lavados com água destilada no caso das amostras para análise de cátions, e com água deionizada (MILLI-Q), no caso dos isótopos radiogênicos.

Após filtragem as amostras de cátions e isótopos radiogênicos foram acidificadas com ácido nítrico, para $\text{pH} < 2$. Utilizou-se 10 gotas de ácido ($\sim 0,5 \text{ mL}$) para os frascos de análises de cátions, e 30 gotas ($\sim 1,5 \text{ mL}$) para os frascos de análises de isótopos radiogênicos. As amostras então foram mantidas em refrigeração (aproximadamente 4°C) para conservar suas características químicas até o momento da análise.

5.2.2. Preparação das amostras de água para análise de alcalinidade

A alcalinidade é medida através de um processo de titulação da amostra com ácido sulfúrico. Para amostras de água com pH 5-8 (alcalinidade total) foram feitos os seguintes procedimentos:

- 1) Adicionou-se 100ml da amostra de água em um erlenmeyer;
- 2) Adicionou-se 4 gotas de indicador misto;
- 3) Com a utilização de uma bureta de vidro, acrescentou-se H_2SO_4 (0,005 M com precisão 0,005925 M) na água, até que esta mudasse de cor;
- 4) Anotou-se a quantidade de ácido utilizado.

Para as análises de água com $\text{pH} \geq 8$, utilizou-se indicador fenolftaleína (alcalinidade parcial), e H_2SO_4 0,05M com precisão 0,05395M.

Com as amostras GUA-4 e GUA-7 não foi possível utilizar fenolftaleína, pois a água não atingiu a cor desejada (parece que a solução estava próxima ao ponto de viragem da fenolftaleína). Foi utilizado portanto indicador misto. Os dados de pH em que a água se encontrava, o volume da água utilizada (no caso 100mL), o volume e a concentração de H_2SO_4 utilizado, foram anotados para o cálculo da alcalinidade, cujos valores estão representados na **Tabela 5.2.2. (Anexo I)**

5.2.3. Preparação das amostras para análise granulométrica

Como o aparelho utilizado na análise granulométrica demandava ausência de partículas de matéria orgânica que pudessem interferir no resultado granulométrico, como por exemplo galhos e folhas, foi feita a retirada desse material por processo químico. As amostras que continham maior teor de matéria orgânica (RG-15a, RG-15b, RG-15c, RG-15d, RG-15e, RG-15f e GUA-1 Sed) foram tratadas com peróxido de hidrogênio e água e mantidas em chapa de aquecimento até a completa oxidação da matéria orgânica.

5.2.4. Preparação das amostras de sedimentos para análises geoquímica e isotópica

Para o presente trabalho não seria possível realizar as análises dos 15 testemunhos amostrados, tendo em vista que as análises geoquímicas demandam uma quantidade notória de tempo e dinheiro. Portanto foram escolhidos dois testemunhos: RG-2, retirado próximo a Embu-Guaçu; e RG-15 retirado na porção central da represa. Dessa forma, ter-se-ia uma visão geral da geoquímica da represa, mesmo sem os dados dos demais testemunhos.

Os canos de PVC foram cortados com uma serra elétrica circular, de modo a esta não entrar em contato com o sedimento do interior do tubo. Depois disso passou-se um fio de nylon por toda a extensão do cano, seguindo o corte da serra, para assim dividir o testemunho em dois semicilindros.

As amostras de sedimento de fundo para a caracterização geoquímica e isotópica foram retiradas levando em consideração as mudanças faciológicas ao longo do testemunho. Foram retiradas quatro amostras do testemunho RG-2; e seis amostras do testemunho RG-15, que em sequência foram secas em estufa a 60°C. A **Tabela 5.2.4. (Anexo I)** apresenta as amostras dos testemunhos RG-2 e RG-15.

A amostra RG-15f foi excluída do presente trabalho por não conter material suficiente para as análises geoquímica e isotópica. Por outro lado, foi adicionada a amostra RG-2aff, que representa a fração fina (silte e argila) da amostra RG-2 (peneiramento a 250 mesh).

As demais amostras (sedimentos das margens e ilhas e dos testemunhos) foram desagregadas em almofariz de ágata, e acondicionadas em frascos de 40ml e 10ml e encaminhadas para as análises geoquímica e isotópica, respectivamente.

5.3. ANÁLISE MINERALÓGICA

A determinação dos minerais foi realizada pelo método de Difração de Raio X no Laboratório de Difração de Raio X do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do IGc-USP. As amostras utilizadas foram previamente desagregadas em almofariz de ágata até atingirem frações menores que 80 mesh. Uma lâmina contendo a amostra é colocada no difratômetro (Siemens-Bruker, modelo D5000). A amostra recebe um feixe de Raios-X que é difratado diferentemente em função dos minerais presentes.

5.4. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A análise granulométrica foi feita no laboratório de Sedimentologia da USP, pelo método de difração de laser. O aparelho utilizado foi o Malvern Mastersizer 2000 ® com sistema de dispersão Hydro. As amostras, antes de submetidas a este aparelho foram previamente desagregas com pistilo de borracha.

5.5. ANÁLISES QUÍMICAS

5.5.1. Análise química da água

Foram analisadas 12 amostras de água superficial (GUA-1A, GUA-1B, GUA-2, GUA-3, GUA-4, GUA-5, GUA-6, GUA-7, GUA-8, GUA-9, GUA-10 e GUA-11). As análises de F^- , Cl^- , Br^- , NO_3^- e SO_4^{2-} nas águas foram feitas no laboratório de Hidroquímica do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS), do Instituto de Geociências da USP. O método utilizado para a análise foi o de cromatografia iônica, no aparelho 2010i da DIONEX.

Já as análises de Al, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Sr e Zn foram realizadas no laboratório químico do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do IGc-USP, pelo método de ICP-OES.

5.5.2. Análise química dos sedimentos

A análise de elementos / óxidos como SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , Ba, Ce, Cl, Co, Cr, Cu, F, Ga, La, Nb, Nd, Ni, Pb, Rb, S, Sc, Sr, Th, U, V, Y, Zn e Zr nos sedimentos foi realizada no laboratório químico do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do IGc-USP. Esta análise foi feita por Fluorescência de Raio X, em pastilha fundida, que corresponde aos maiores, e em pastilha prensada, que corresponde aos traços, no aparelho *Phillips PW 2400 X-Ray Spectrometer*.

Foram analisadas 10 amostras de sedimentos de fundo (RG-2a, RG-2aff, RG-2b, RG-2c, RG-2d, RG-15a, RG-15b, RG-15c, RG-15d e RG-15e) e 5 amostras de sedimentos das margens da represa (GUA-1Sed A, GUA-2Sed B, GUA-3Sed A e GUA-3Sed B).

A preparação das amostras antes de submetidas ao Espectrômetro envolveu:

1) As amostras foram previamente desagregadas manualmente em almofariz de ágata (como descrito no item 5.3.1.)

2) Para a preparação das pastilhas fundidas foram necessários 1g de amostra, 9g de fundente (monoborato e tetraborato de lítio) e uma pequena alíquota de nitrato de amônio (suficiente para que não seja perceptível no peso da amostra). Esses compostos foram misturados e submetidos a fusão a 1000°C por aproximadamente 35 minutos;

3) Para as pastilhas prensadas precisou-se micronizar 7g de amostra, que depois de secas, foram misturadas a parafina (20% em relação ao peso da amostra). A seguir essa mistura foi submetida a prensagem a 30KN, para a elaboração das pastilhas;

5.6. ANÁLISES ISOTÓPICAS DE Pb

As análises de razões isotópicas foram realizadas no Centro de Pesquisas Geocronológicas do IGc-USP (CPGeo).

Foram analisadas as 5 amostras de sedimentos aflorantes coletadas nas margens da represa e duas amostras dos testemunhos RG-2 e RG-15 referentes às porções mais superficiais, sendo estas as amostras RG-2a e RG-15a. O orçamento e o tempo disponível impediram a análise isotópica de todas as amostras de sedimentos de fundo, para esse trabalho.

Da mesma forma, foram analisadas somente 5 amostras de água superficial, selecionadas em pontos distribuídos pela represa (GUA-1A, GUA-3, GUA-6, GUA-7 e GUA 11).

5.6.1. Análise isotópica da água

Primeiramente 80 ml de amostra são adicionados a um béquer de teflon Savillex® e mantidos em chapa de aquecimento a 100°C para evaporação. O resíduo é posteriormente dissolvido em 3 ml de HF e 1 ml de HNO₃ concentrados e depois mantido novamente em chapa de aquecimento a 100°C por 48 horas para evaporação. O resíduo desta última etapa é então dissolvido em 5 ml de HCl 6N e deixado em aquecimento por 24 horas.

Depois desses processos separa-se 10µL para a diluição isotópica (DI). À estas alíquotas é adicionado o traçador de Pb (²⁰⁸Pb). As soluções então são evaporadas.

A seguir as amostras obtidas nas etapas anteriormente descritas são condicionadas em 1ml de HBr 0,7N e depois purificadas em resina de troca iônica Biorad® para eluição do Pb. As amostras depois são submetidas a espectrômetro de massa para quantificação das razões isotópicas.

5.6.2. Análise isotópica dos sedimentos

As amostras de sedimentos foram submetidas a dois métodos de análise isotópica, por lixiviado e por rocha total.

Para a análise isotópica por lixiviado, primeiramente adiciona-se o ácido HNO₃ a 250 mg de amostra previamente desagregada em almofariz de ágata. Essa mistura é submetida a ultrassom por ½ hora e depois a repouso por 24h. A seguir, a mistura é colocada em centrifuga e o líquido (Lixiviado) resultante dessa separação é retirado com pipeta e condicionado em outro frasco Savillex®. O Lixiviado é colocado em chapa de aquecimento

para evaporação. A seguir é adicionado 3ml de HCl 6M à este resíduo, cuja solução é posteriormente é mantido em chapa de aquecimento a 100°C por 48h. O resultado deste último processo é então pesado, purificado por troca iônica e submetido ao espectrômetro de fonte sólida no laboratório do Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo), IGc-USP.

Para a análise isotópica por rocha total primeiramente adicionou-se 4 ml de HF e HNO₃ (3:1) concentrados em 80 mg de amostra. O produto desta etapa foi colocado em frascos savillex, que sua vez foram inseridos em cápsulas de inox denominadas de Bomba PARR ®. Esses compartimentos foram então mantidos em estufa a 150°C por seis dias. Após evaporado, adicionou-se HCl 6M ao resíduo, que depois retornou a estufa por mais um dia. Depois disso o produto é pesado e também submetido ao espectrômetro de massa.

6. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES

6.1. ÁGUA SUPERFICIAL

Os parâmetros físico-químicos medidos no local de amostragem, juntamente com seus limites estabelecidos pela Resolução do CONAMA 357/05 encontram-se discriminados na **Tabela 6.1.1-1 (Anexo I)**. Foram considerados também os valores para potabilidade propostos pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde, se as águas da represa fossem destinadas diretamente ao consumo humano. A **Figura 6** representa as curvas isopotenciais relacionadas ao pH. Observa-se que há o aumento do pH para nordeste e oeste. A **Figura 7** representa as isopotenciais de Eh. Nesta última observa-se aumento de Eh para noroeste sudoeste.

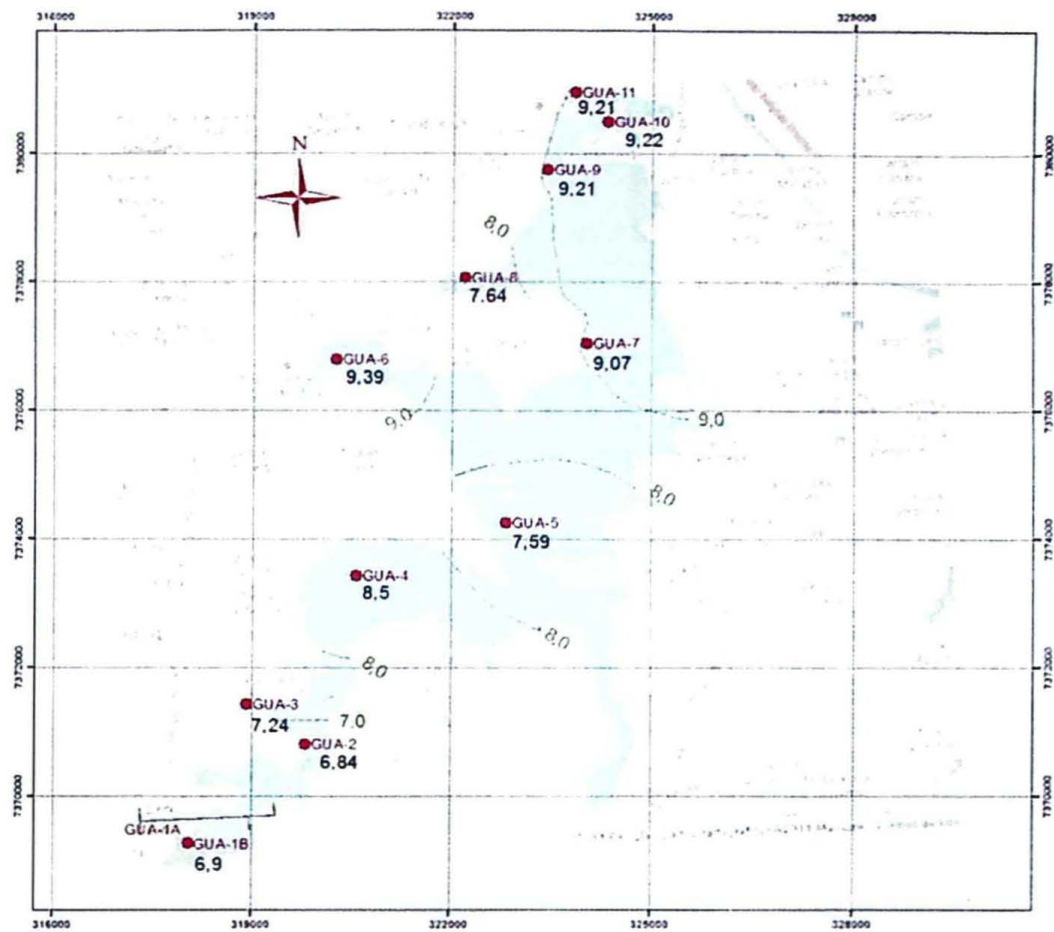


Figura 6. Curvas isotérmicas de pH

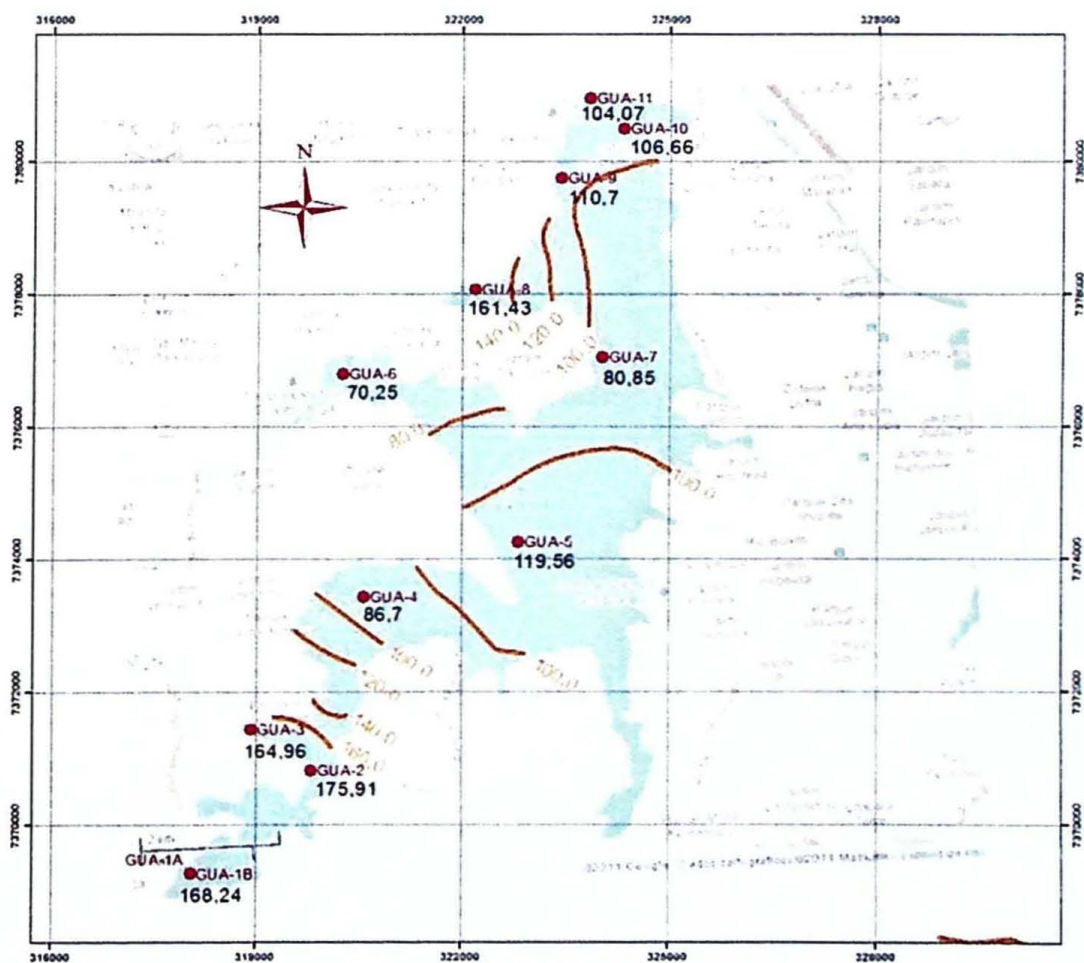


Figura 7. Curvas isotérmicas de Eh.

Os resultados das análises de F^- , Cl^- , Br^- , NO_3^- e SO_4^{2-} nas águas realizadas pelo CEPAS encontram-se na **Tabela 6.1.1-2 (Anexo I)**. Já os resultados das análises de Al, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Sr e Zn realizadas no laboratório químico do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do IGc-USP, pelo método de ICP-OES encontram-se discriminados na **Tabela 6.1.1-3 (Anexo I)**.

Os resultados obtidos, quando comparados com os valores propostos pelo CONAMA 357/05 indicaram anomalia hidroquímica para o elemento Cobre nas amostras GUA-5, GUA-7, GUA-8, GUA-9, GUA-10 e GUA-11, pontos localizados na porção central e norte da represa. As concentrações dos demais elementos não excederam os valores propostos pelo CONAMA 357/05.

Os resultados obtidos não excederam os Valores Máximos Permitidos pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (VMP).

6.2. SEDIMENTOS

6.2.1. *Análise granulométrica*

Primeiramente as amostras de sedimentos de fundo e de sedimentos aflorantes foram descritas de forma tátil-visual (**Tabelas 6.2.1-1 e 6.2.1-2 – Anexo I**). A seguir as amostras foram submetidas a análise granulométrica pelo método de difração de laser no laboratório de Sedimentologia da USP.

As amostras de sedimentos aflorantes apresentaram porcentagem de argila entre 3,631 (GUA-Sed B) e 27,839 (GUA-2Sed B). Já as amostras de sedimentos de fundo apresentaram valores entre 3,353% (RG-2a) e 34,949% (RG-15c).

Em geral, as amostras analisadas apresentaram maior porcentagem de material na granulometria silte e argila em relação à granulometria areia. Exceto as amostras GUA-3Sed B e RG-2a que apresentaram maior porcentagem de areia em relação às demais faixas granulométricas. O resultado da análise granulométrica das amostras está discriminado na **Tabela 6.2.1-3. (Anexo I)**.

6.2.2. *Análise mineralógica*

De acordo com a análise mineralógica realizada pelo método de Difração de Raio X, foi possível identificar que na maioria das amostras há presença de Quartzo, Muscovita e Caulinita. Em algumas dessas amostras havia também Gibbsita (RG-2b, RG-15a, RG-15b, RG-15c, RG-15d e RG-15e). Na amostra GUA-3Sed A e GUA-3Sed B foi identificado também Feldspato Microclínio. Tais minerais encontrados nas amostras da Represa da Guarapiranga podem estar presentes ou serem oriundos de alteração de rochas de composição granítica.

A **Tabela 6.2.2. (Anexo I)**, apresenta a descrição mineralógica realizada pelo método de Difração de Raio X.

6.2.3. *Análise Geoquímica*

Os resultados das análises de elementos/óxidos maiores, menores e traços das amostras dos testemunhos RG-2 e RG-15 encontram-se discriminados na **Tabela 6.2.3-1. (Anexo I)** e os das amostras de sedimentos aflorantes das margens na **Tabela 6.2.3-2. (Anexo I)**.

É possível identificar que os óxidos mais abundantes nos sedimentos são Al_2O_3 , Fe_2O_3 e SiO_2 , o que se encontra em concordância com a análise mineralógica por difração de Raio X que indicou presença de Quartzo - SiO_2 ; Muscovita - $\text{KAl}_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$; Caulinita - $\text{Al}_2(\text{Si}_2)_5(\text{OH})_4$ essencialmente.

As **Figuras 8 a 11** ilustram a distribuição vertical dos elementos e óxidos nos testemunhos RG-2 e RG-15.

A distribuição vertical dos óxidos/elementos maiores, menores e traços no testemunho RG-2 indica que, em geral, há diminuição das concentrações nas amostras próximas à superfície do leito da represa. Ocorrem em exceção os óxidos/elementos SiO_2 , CaO e Zr que apresentam concentrações superiores com a diminuição da profundidade.

No testemunho RG-15 observa-se o comportamento oposto: aumento da concentração dos óxidos/elementos maiores, menores e traços em amostras próximas à superfície, exceto para Na_2O , La , U e Y . Nota-se também que a perda ao fogo (LOI), que indica a porcentagem de matéria orgânica no material analisado, é maior nas amostras mais profundas do testemunho RG-15. Além disso, observa-se que há maior porcentagem de LOI nas amostras dos sedimentos RG-15 em relação ao testemunho RG-2. No testemunho RG-15, elementos como Pb , Cu e Al_2O_3 , tiveram suas maiores concentrações em profundidades em torno de 20 cm, atingindo valores como 36,80 ug/g, 1386,10 ug/g e 32,93 %, respectivamente. Em contrapartida, nessa profundidade ocorreu a menor porcentagem de LOI (21,59 %). No testemunho RG-2, Pb , Cu e Al_2O_3 tiveram suas maiores concentrações em profundidades entre 40-60 cm, atingindo valores como 18,60 ug/g, 7,50 ug/g e 22,57 %. No RG-2, LOI ocorre em maior concentração nestas mesmas profundidades.

Na distribuição vertical dos elementos é possível identificar também que, em ambos os testemunhos, óxidos como TiO_2 e Al_2O_3 ocorrem em concentrações maiores que as dos sedimentos aflorantes, enquanto que MnO , MgO e K_2O ocorrem em concentrações menores.

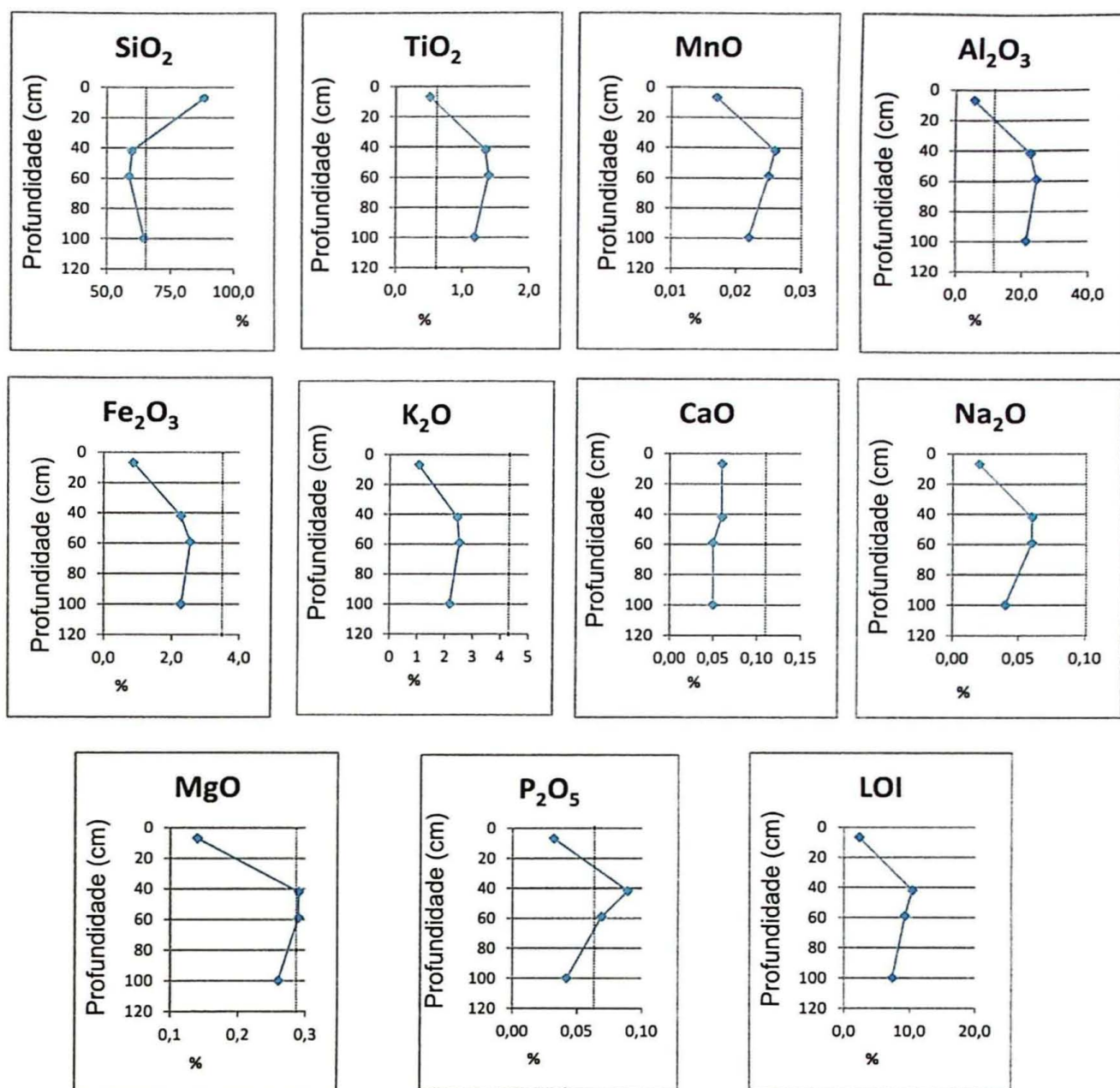


Figura 8. Distribuição vertical dos óxidos no Testemunho RG-2. A média das concentrações das amostras dos sedimentos da margem está plotada em linha tracejada.

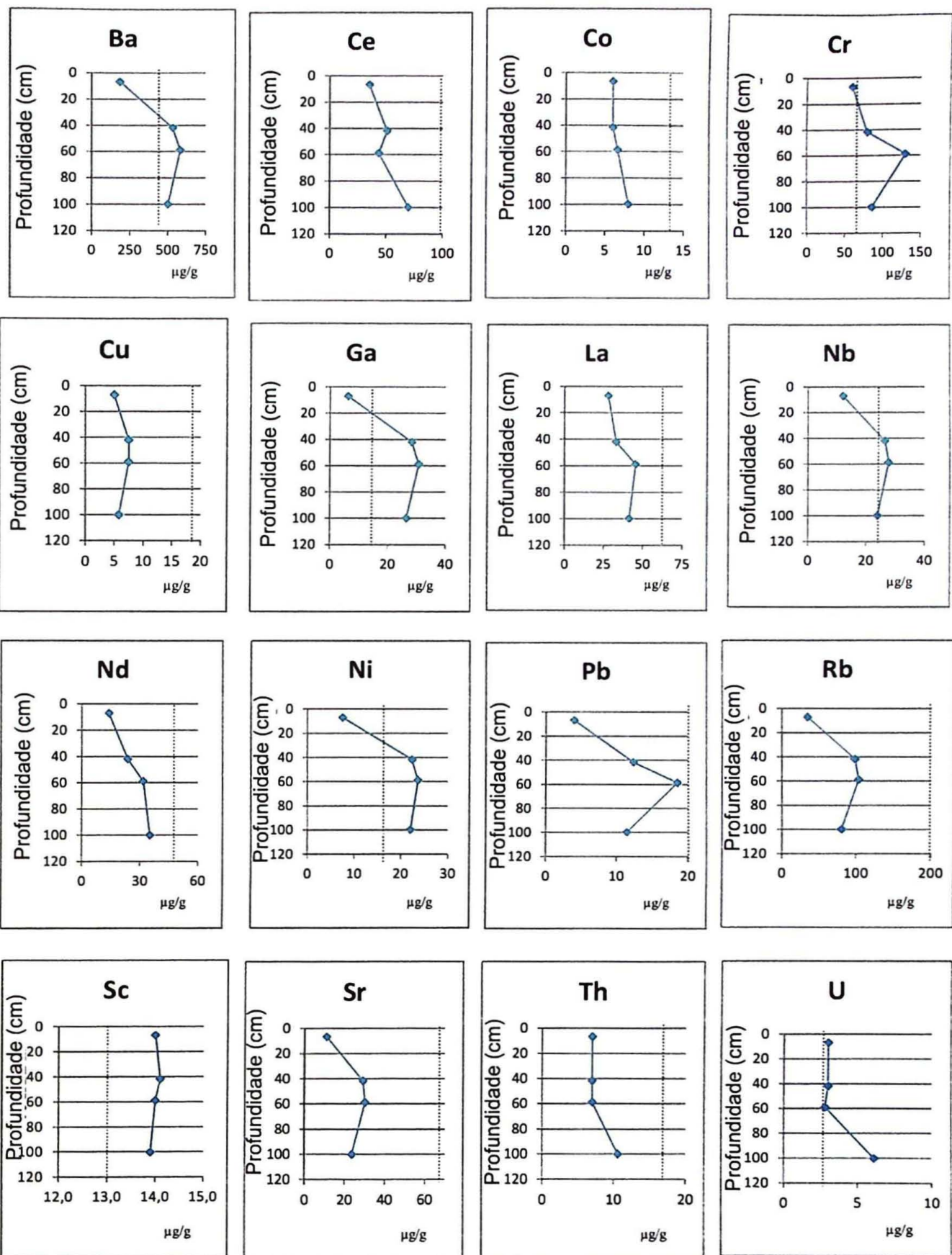


Figura 9. Distribuição vertical de elementos traços no Testemunho RG-2. A média das concentrações das amostras dos sedimentos da margem está plotada em linha tracejada. (Continuação na próxima página)

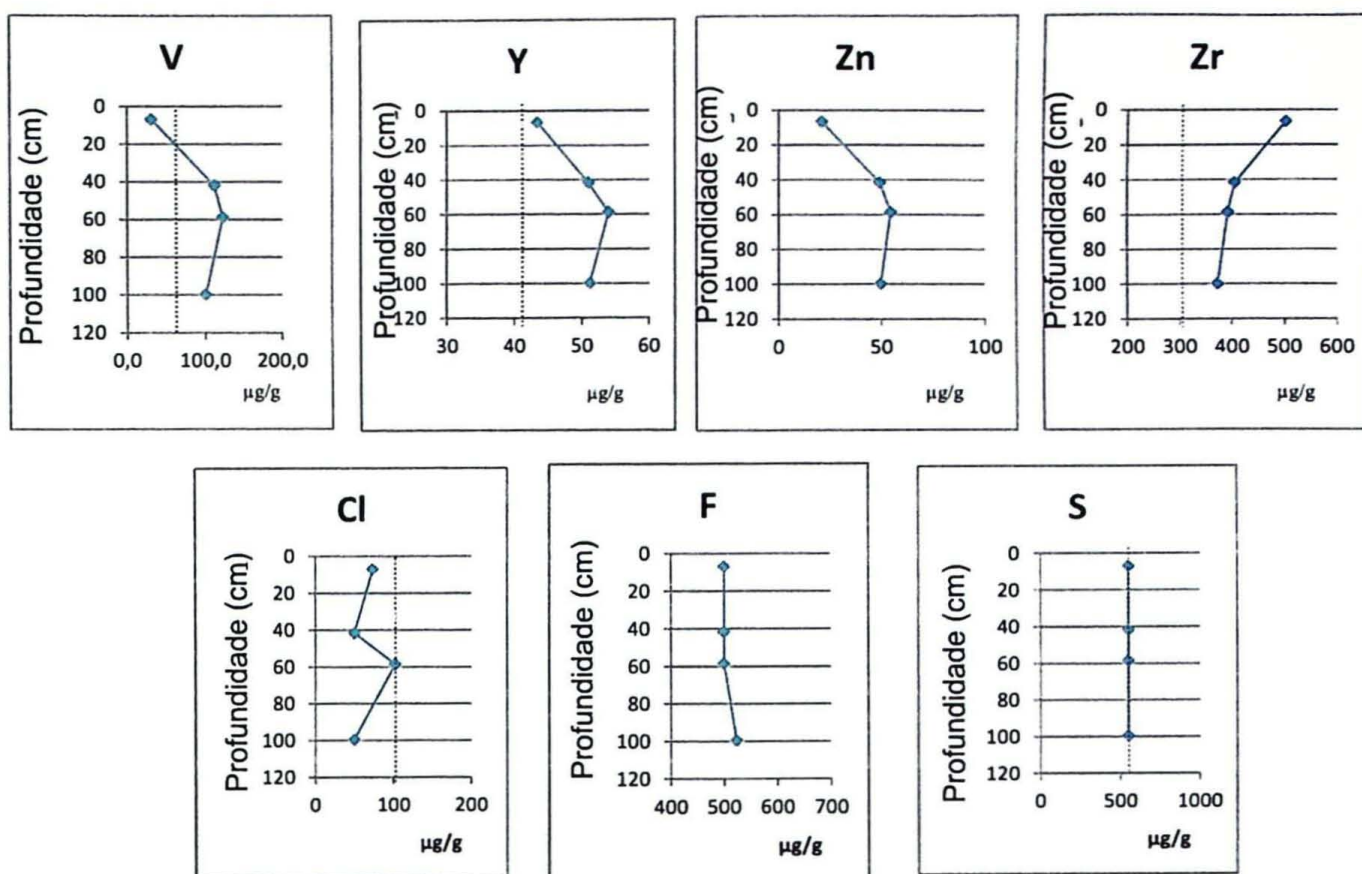


Figura 9. (Continuação) Distribuição vertical de elementos traços no Testemunho RG-2. A média das concentrações das amostras dos sedimentos da margem está plotada em linha tracejada.

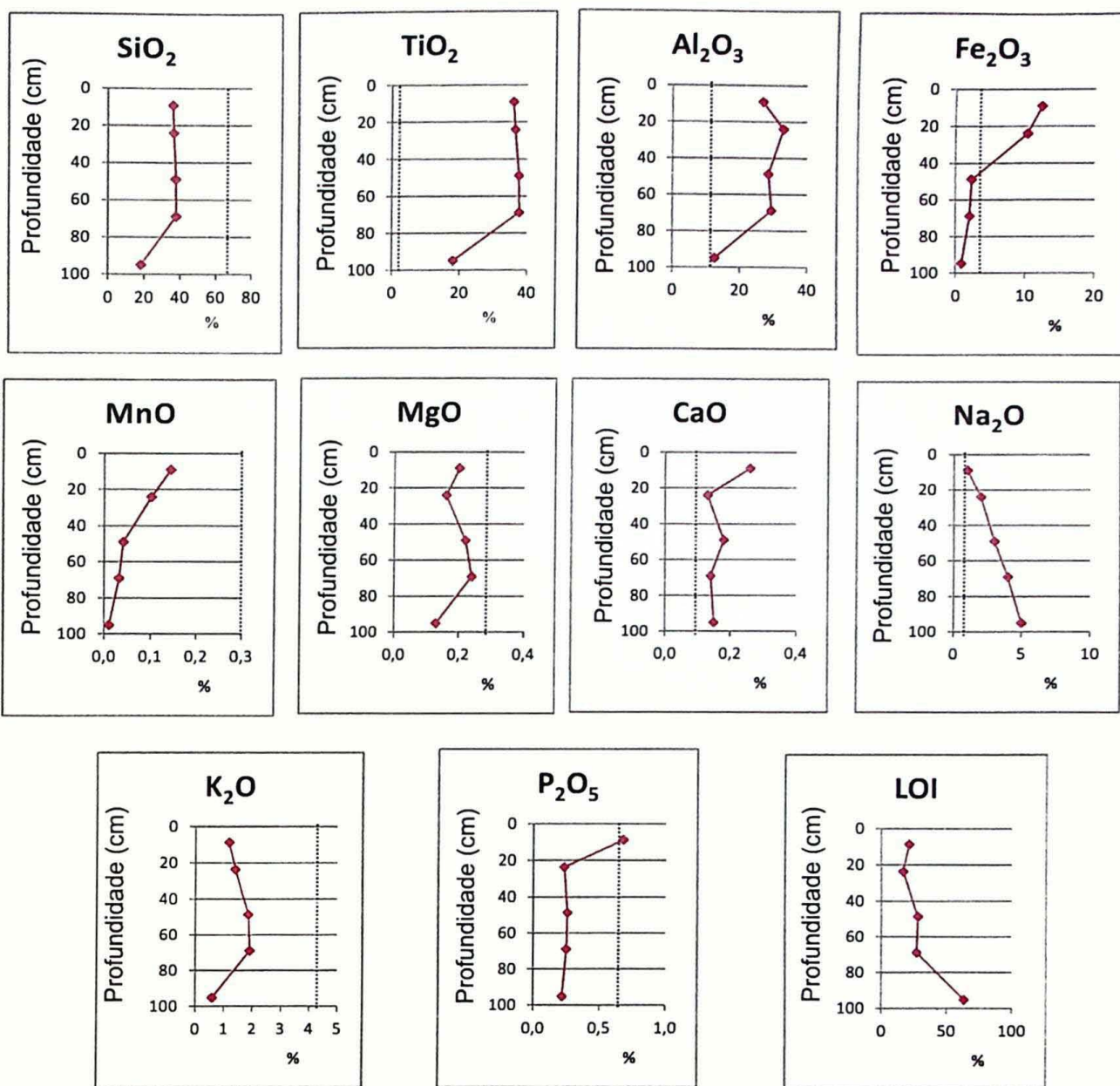


Figura 10. Distribuição vertical dos óxidos no Testemunho RG-15. A média das concentrações das amostras dos sedimentos da margem está plotada em linha tracejada.

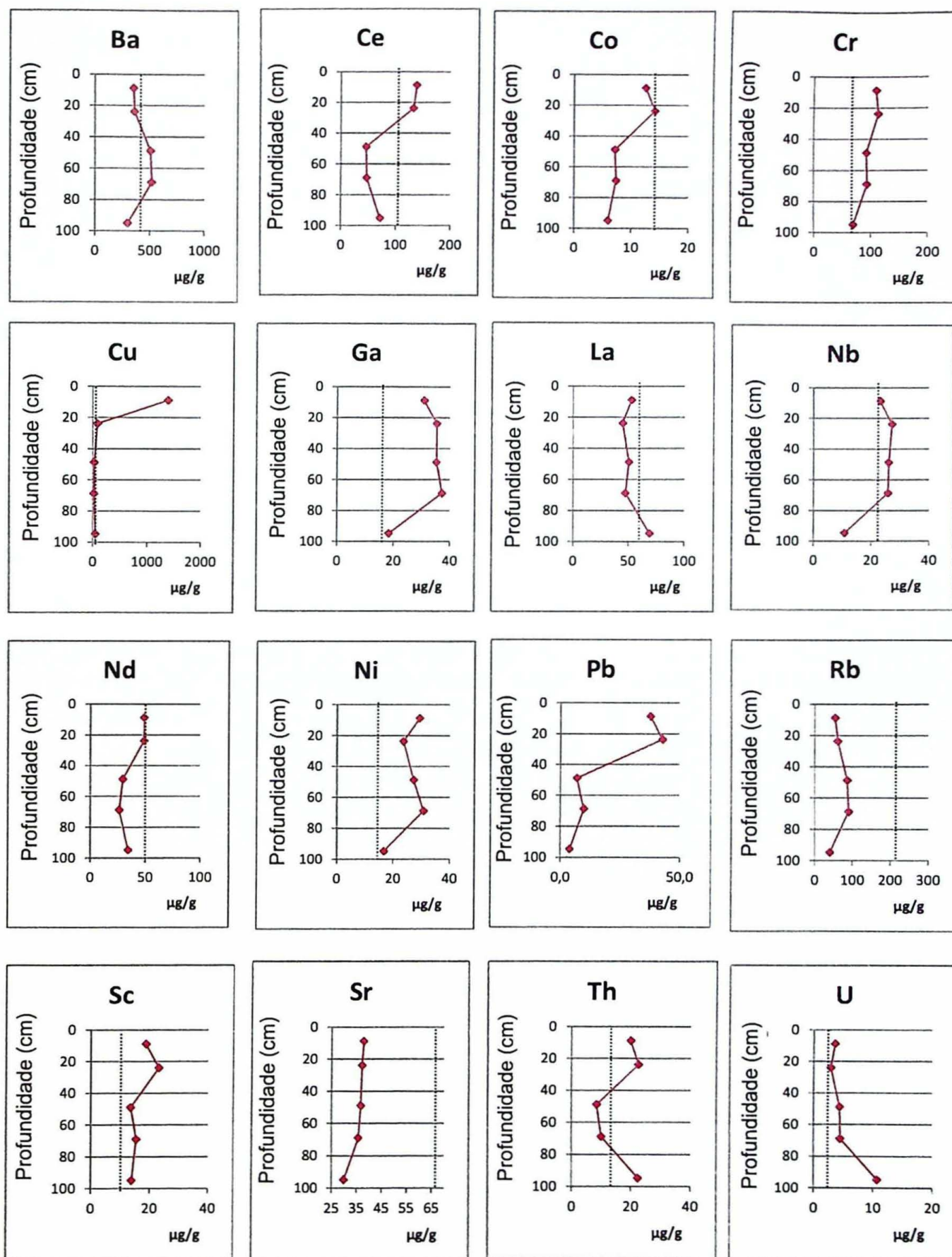


Figura 11. Distribuição vertical de elementos traços no Testemunho RG-15. A média das concentrações das amostras dos sedimentos da margem está plotada em linha tracejada. (Continuação na próxima página)

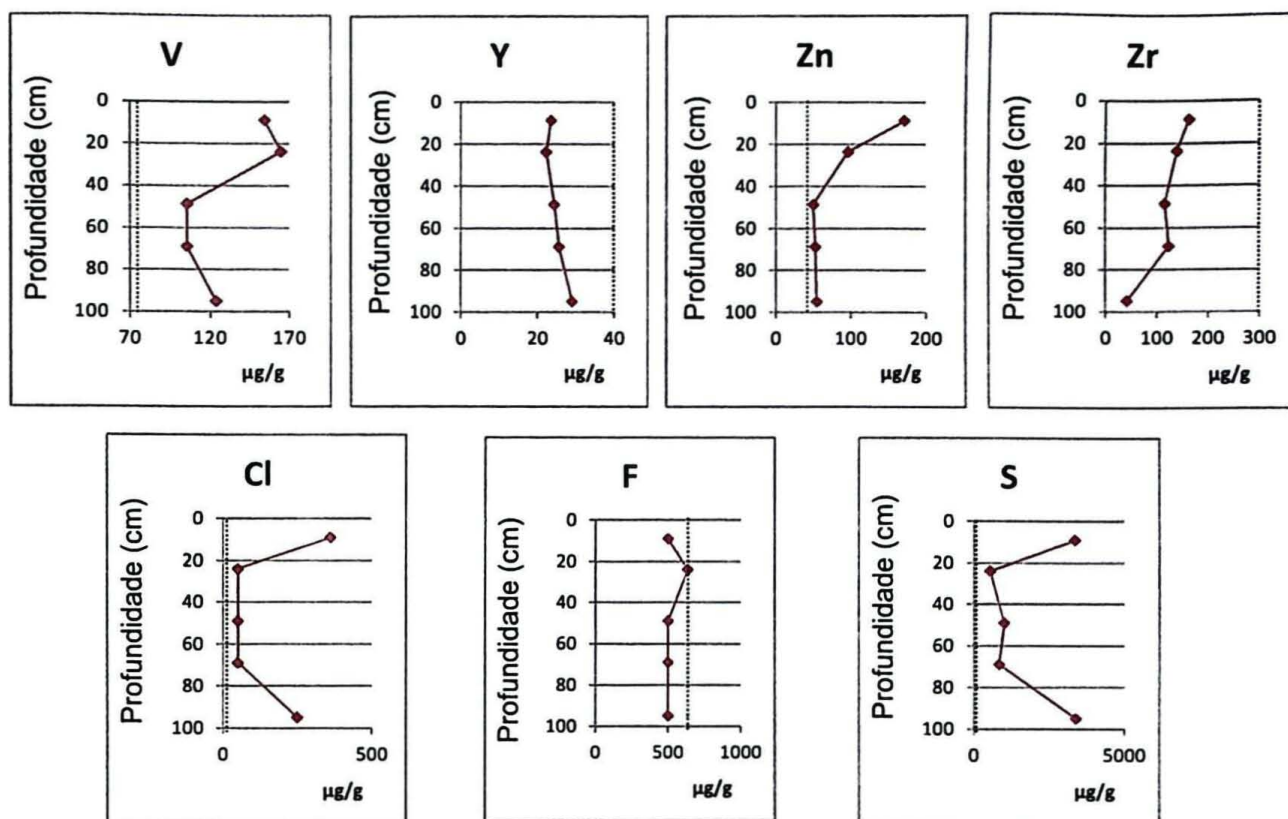


Figura 11. (Continuação) Distribuição vertical de elementos traços no Testemunho RG-15. A média das concentrações das amostras dos sedimentos da margem está plotada em linha tracejada.

6.2.4. Fatores de enriquecimento

"Valores de referência", também chamados de background são utilizados como medidas relativas para distinguir concentrações naturais de contribuições antrópicas para determinado elemento (Mortatti *et al*, 2010). Fatores de Enriquecimento (EF) são razões obtidas por meio de valores de referência. Sposito (1989) considera contribuição natural para $EF < 2$ e contribuição antrópica para $EF > 2$. Outros autores sugerem contribuição antrópica para valores de $EF > 5$ (Sutherland & Tolosa, 2000).

O Fator de Enriquecimento (EF) para cada elemento foi estimado utilizando o elemento Sc como agente normalizador (Oliveira *et al* 2009), conforme a equação:

$$EF = (X_1/Sc_1)_{na amostra} / (X_2/Sc_2)_{de referência},$$

A composição das amostras de sedimentos aflorantes das margens foi utilizada como referência. Assim, tem-se $(X_1/Sc_1)_{na amostra}$ como a razão entre a concentração do elemento analisado e a concentração de Sc na amostra de testemunho; e $(X_2/Sc_2)_{de referência}$ a razão entre a média da concentração do elemento e a média da concentração de Sc nas amostras dos sedimentos da margens.

Os Fatores de Enriquecimento foram calculados para cada profundidade amostrada e encontram-se na **Tabela 6.2.4. (Anexo I)**. Nas **Figuras 12 a 16** estão representados os gráficos de valores de EF vs elementos analisados nas diferentes profundidades dos testemunhos.

Observa-se por meio dos gráficos, que no testemunho RG-2 há maiores valores de EF nas amostras coletadas em maiores profundidades. Entretanto, os maiores valores foram identificados na amostra RG-2aff referente à fração fina (silte e argila) de RG-2a (amostra próxima à superfície do leito da represa), atingindo $EF=8,59$ para o elemento Zr.

Nas amostras do testemunho RG-15, os maiores valores de EF foram identificados na amostra RG-15a referente à porção mais próxima a superfície do leito. O maior valor observado foi para o elemento Cu na amostra RG-15a (amostra próxima à superfície), atingindo $EF=52,42$.

Se considerado contribuição antrópica para valores de $EF>2$ (Sposito, 1989) tem-se anomalias antropogênicas para os óxidos TiO_2 (na amostra RG-2aff), Fe_2O_3 (na amostra RG-15a), MnO (nas amostras RG-15a e RG-15b) e P_2O_5 (nas amostras RG-15a, RG-15c, RG-15d e RG-15e); e para os elementos traços Cu (RG-15a, RG-15b e RG-15e), Y (RG-2aff), S (RG-15a e RG-15e), Zr (RG-2aff) e Cl (RG-15a e RG-15e).

Já segundo Sutherland & Tolosa (2000) tem-se contribuição antrópica (valores de $EF > 5$) para o óxido P_2O_5 (nas amostras RG-15a) e os elementos traços Cu (RG-15a), Y (RG-2aff), Zr (RG-2aff) e S (RG-15e).

Observa-se que a maior parte das amostras que possuem contribuição antrópica, considerando tanto o trabalho de Sposito (1989), quanto o de Sutherland & Tolosa (2000),

são aquelas localizadas nas porções superficiais dos testemunhos, inclusive na fração fina da amostra de RG-2a.

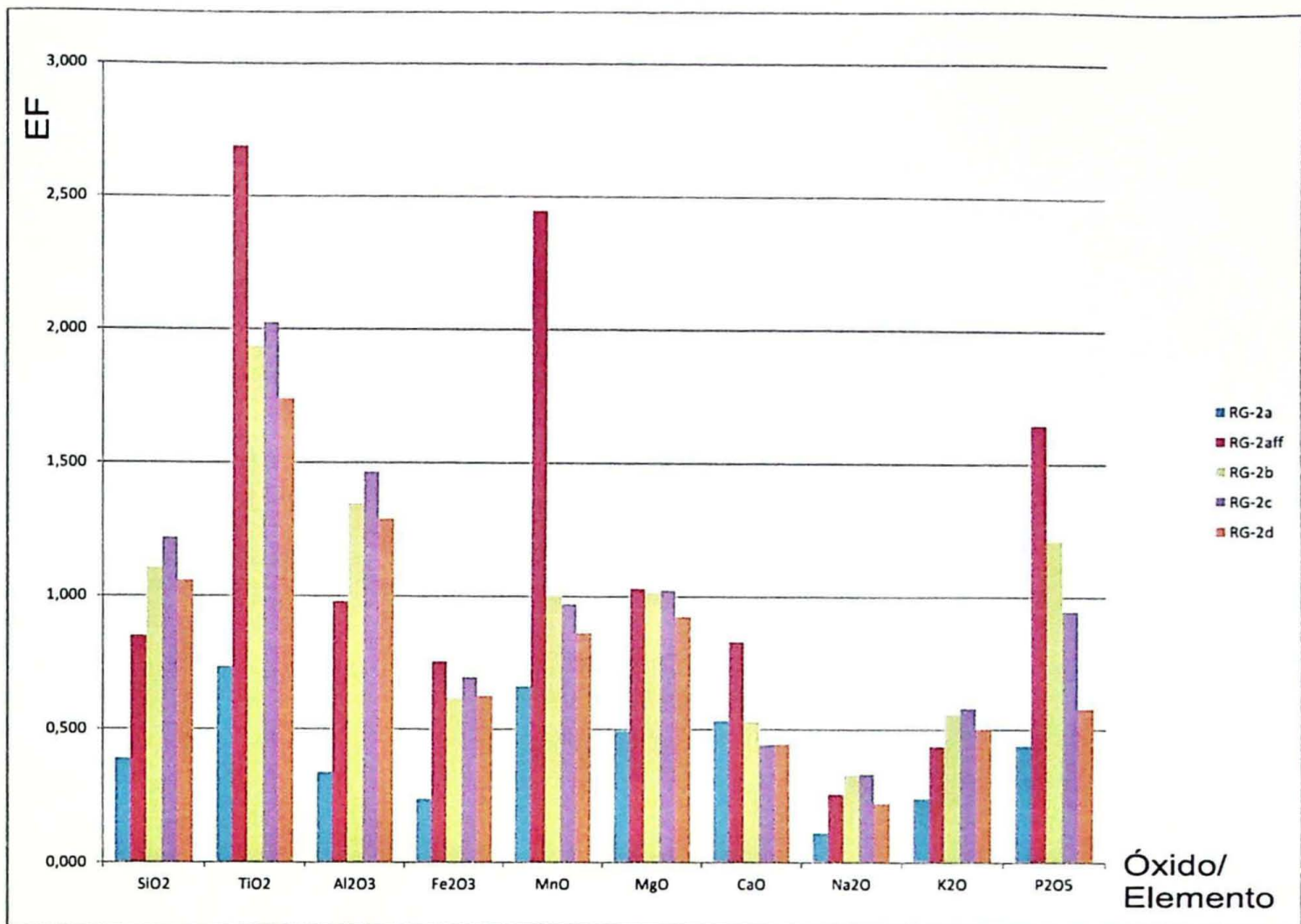


Figura 12. Gráfico de valores de Fatores de Enriquecimento vs óxido analisado nas diferentes profundidades para o testemunho RG-2.

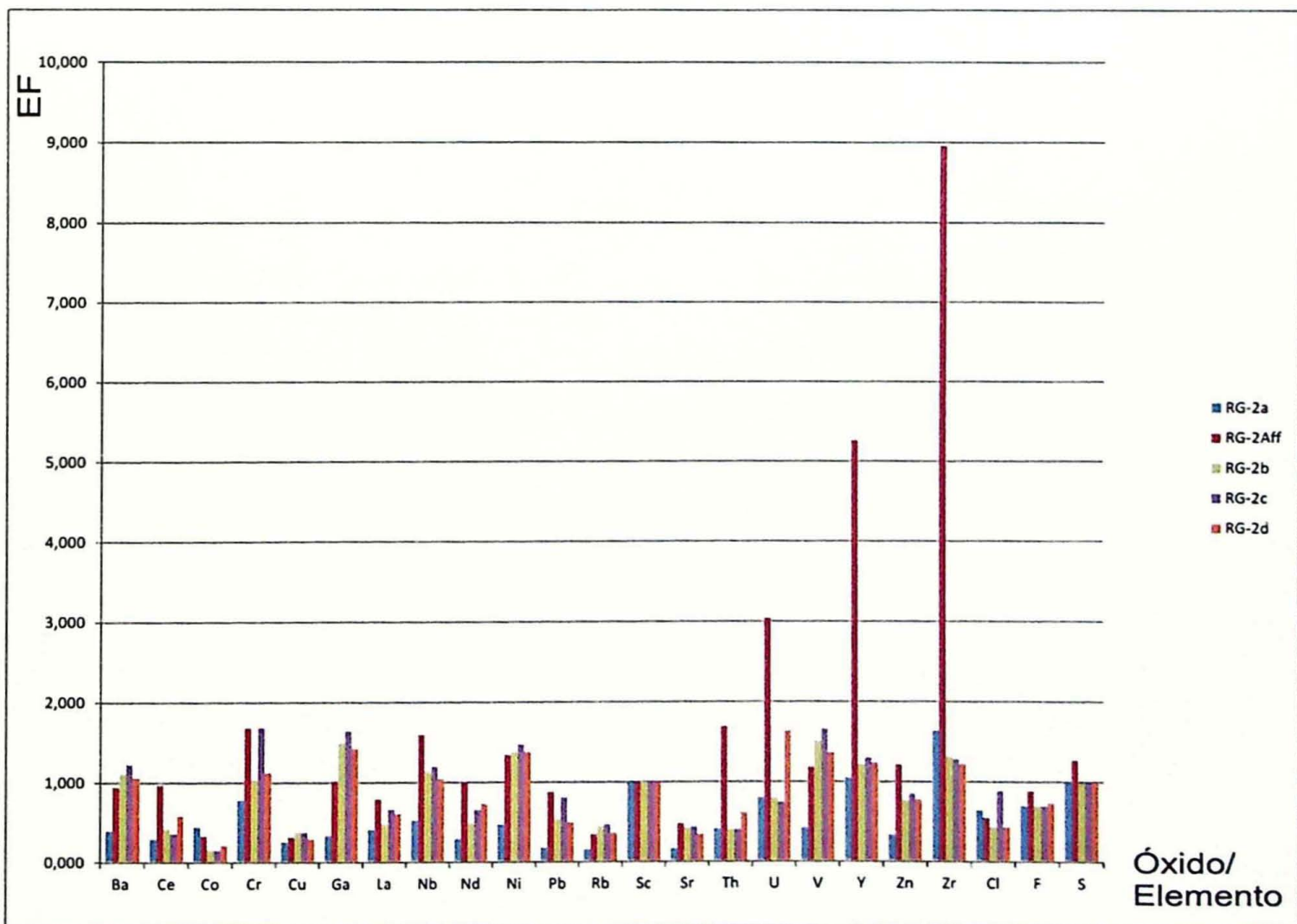


Figura 13. Gráfico de valores de Fatores de Enriquecimento vs elemento traço analisado nas diferentes profundidades para o testemunho RG-2.

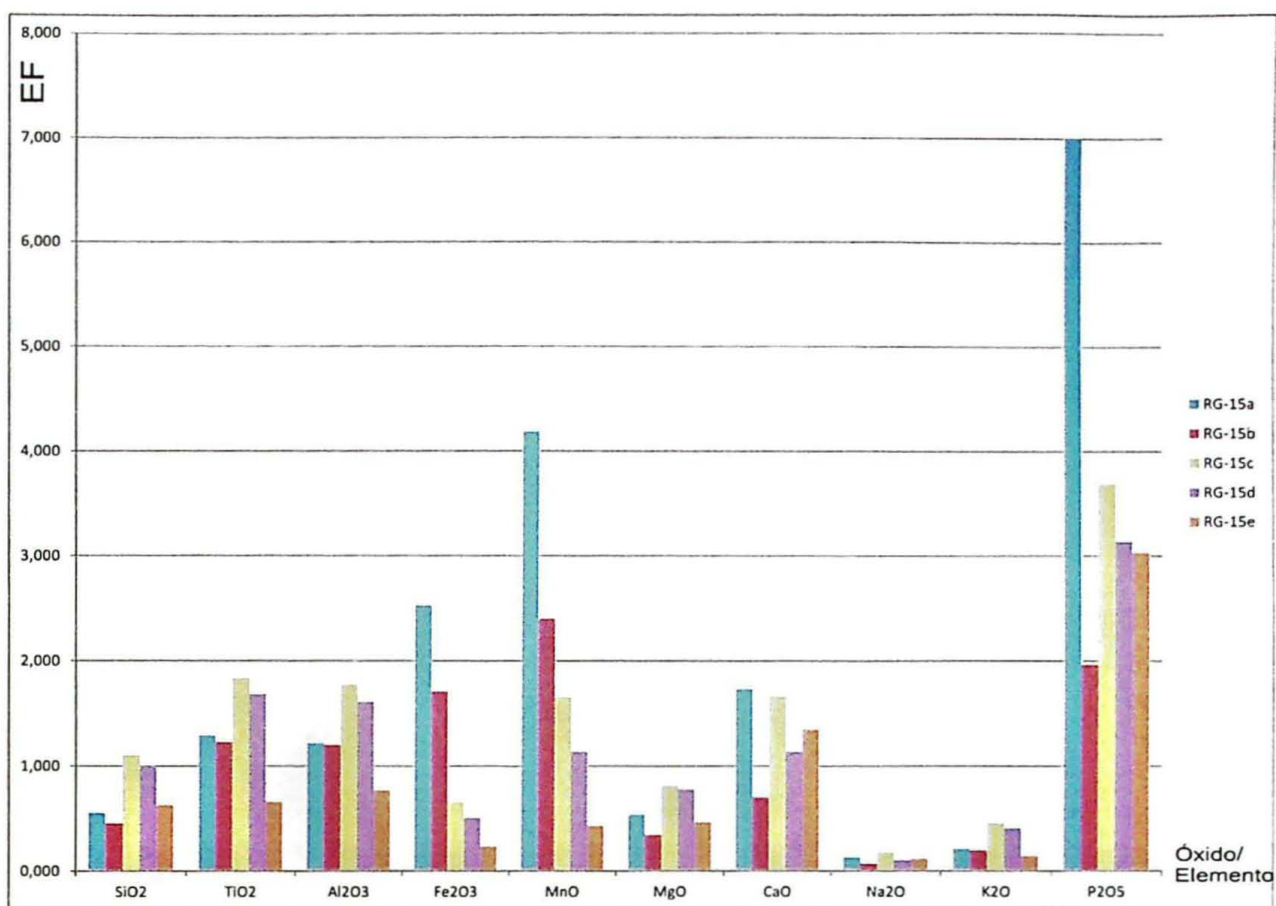


Figura 14. Gráfico de valores de Fatores de Enriquecimento vs óxido analisado nas diferentes profundidades para o testemunho RG-15.

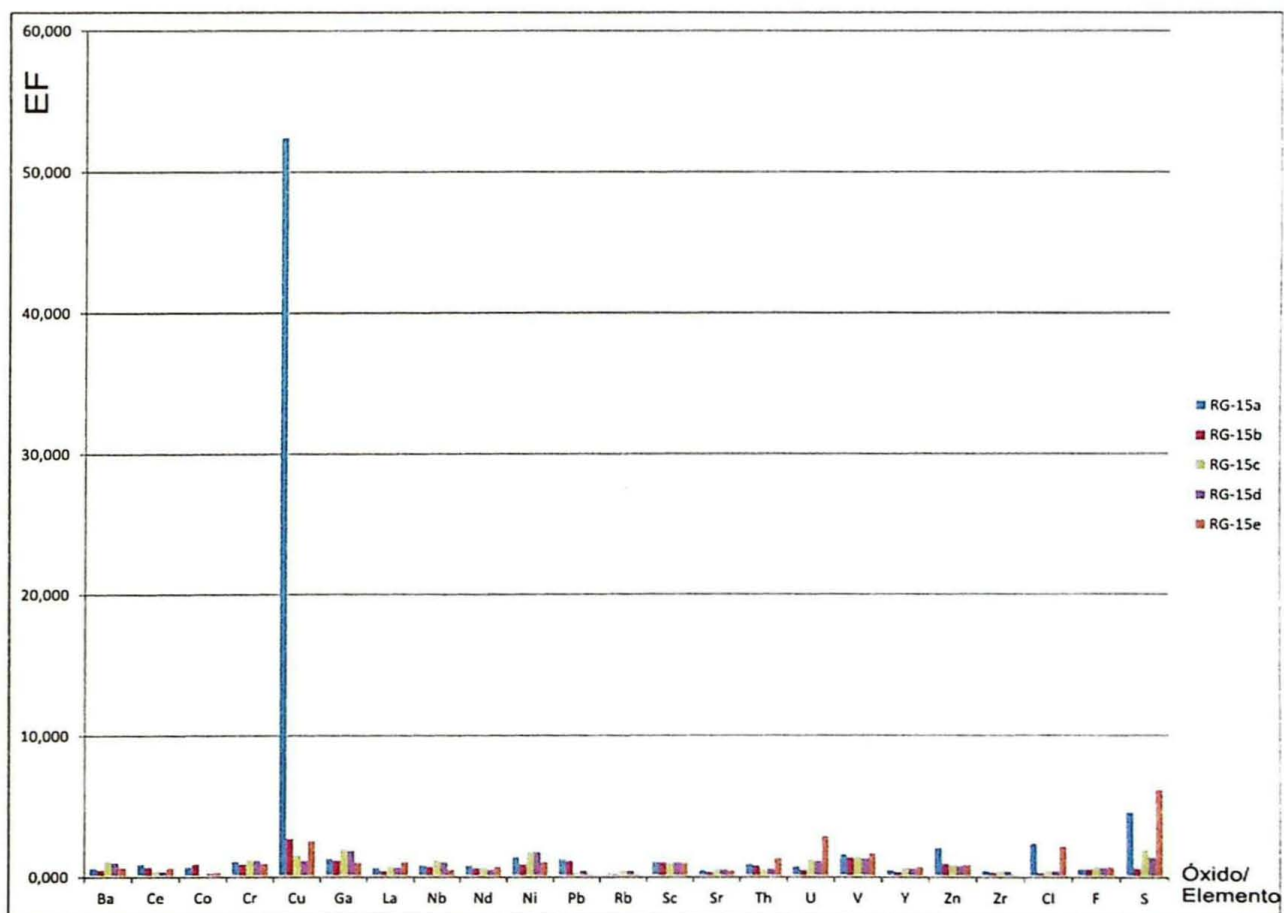


Figura 15. Gráfico de valores de Fatores de Enriquecimento vs elemento traço analisado nas diferentes profundidades para o testemunho RG-15. Notar valor de EF para o elemento cobre.

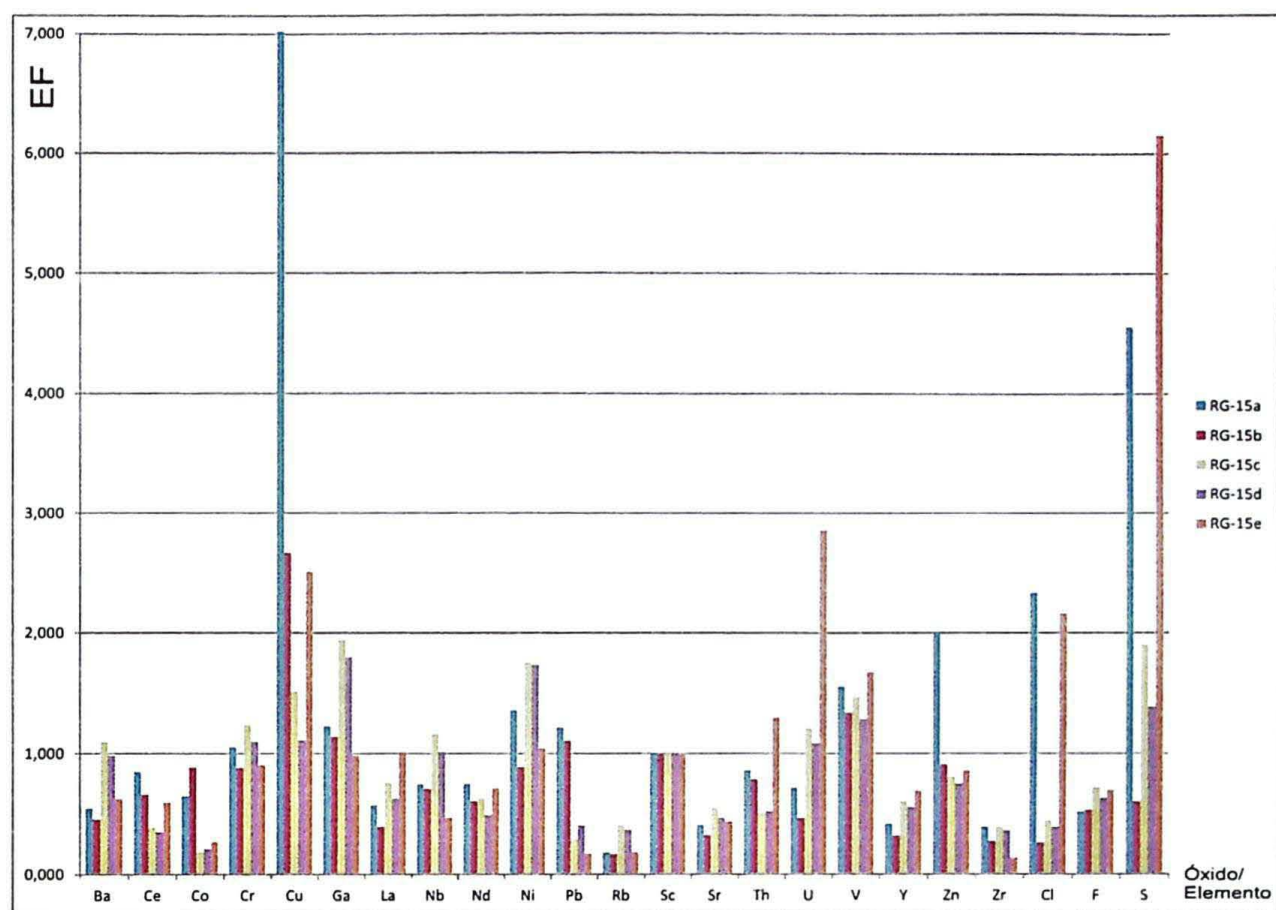


Figura 16. Gráfico anterior (Figura 15.) com zoom para melhor visualização dos demais elementos.

6.2.5. Análise isotópica

Os resultados das análises de razões isotópicas do Pb estão representados nas Tabelas 6.2.5-1. e 6.2.5-2. (Anexo I). Embora todas as cinco razões isotópicas tenham sido determinadas ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$), a caracterização isotópica do presente trabalho está focada nas razões $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, comumente utilizadas em estudos ambientais.

Para os sedimentos das margens foram identificados valores de $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ entre 0,780-0,889 e 1,933-2,239, respectivamente; e para os sedimentos de fundo foram identificados valores entre 0,781-0,849 e 1,959-2,073, respectivamente.

A amostra RG-15a, quando comparada com a amostra RG-2a, apresentou maiores valores de $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, tanto pela análise do Lixiviado quanto por Rocha Total.

As razões isotópicas de $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ obtidas neste trabalho (sedimentos das margens da represa, sedimentos de fundo e água superficial) foram plotadas em um gráfico $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ que pode ser visualizado na **Figura 17**. No gráfico foram também adicionados dados obtidos por Martins (2008) referentes a razões isotópicas da água da chuva coletada no Instituto de Geociências da USP em set/2008 e água tratada pela Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo (SABESP), além de dados de Gioia (2006) de combustíveis usados em cidades da América do Sul.

As razões plotadas alinham-se em uma linha de mistura, indicando que as rochas das margens e as rochas totais são *end-members* para a composição isotópica de Pb dos materiais analisados.

Ressalta-se que as razões isotópicas das amostras do testemunho RG-2 encontram-se próximas das dos sedimentos das margens da represa. Já as amostras do testemunho RG-15 encontra-se na porção central do gráfico, próximo aos pontos plotados da água da represa e água da chuva.

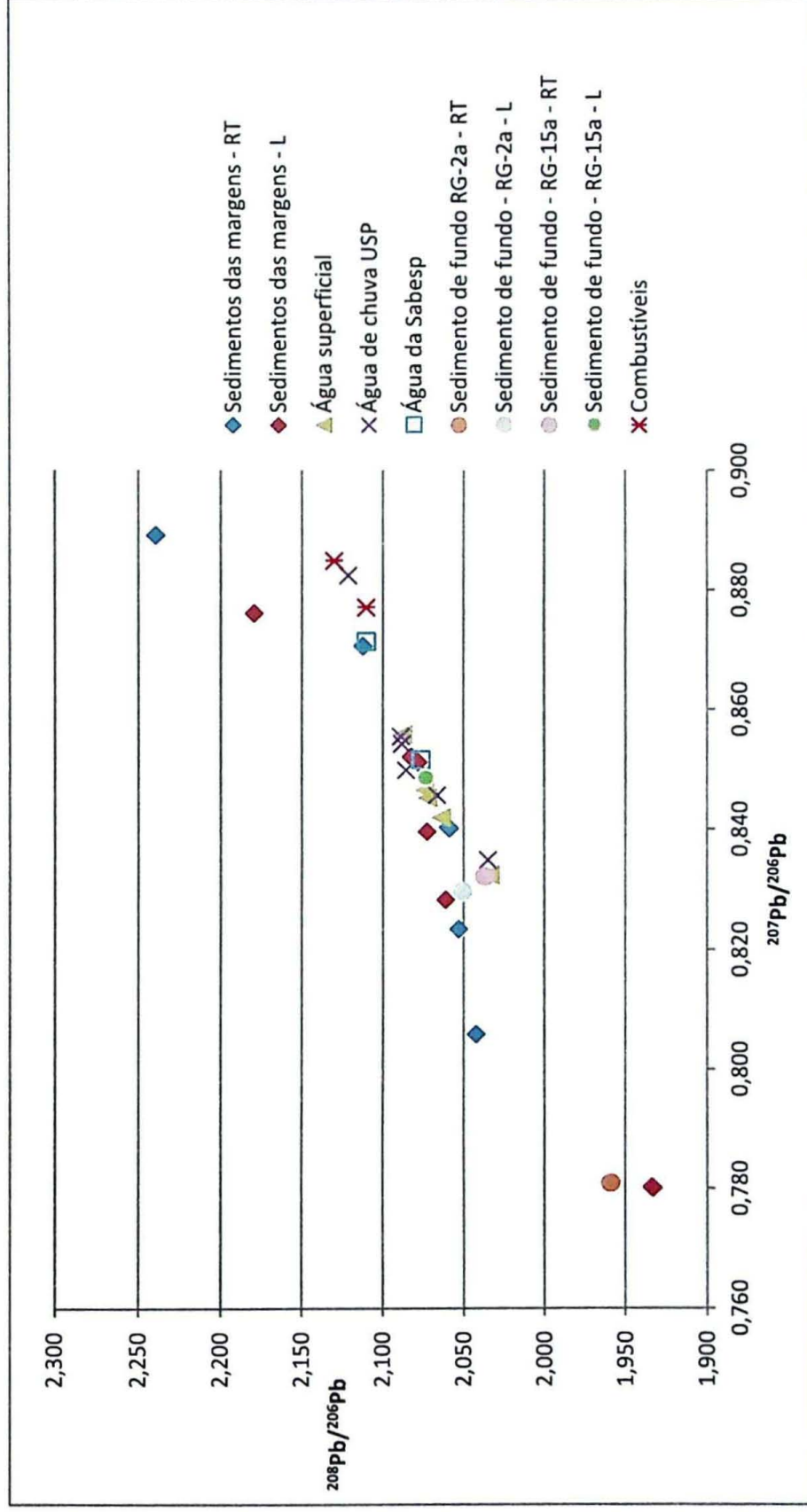


Figura 17. Gráfico $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ referente às análises isotópicas obtidas neste trabalho de: sedimentos das margens por Rocha Total (RT) e Lixiviado (L), água superficial coletada na Represa da Guarapiranga e sedimentos de fundo das amostras dos testemunhos RG-2 e RG-15; análises isotópicas obtidas por Martins (2008) de: água de chuva coletada no Instituto de Geociências da USP e água tratada pela SABESP; e análises obtidas por Gioia (2006) de: amostras de combustíveis usados em cidades da América do Sul.

7. CONCLUSÕES

A Represa da Guarapiranga é um reservatório que abastece milhões de pessoas da Região Metropolitana de São Paulo. A qualidade de sua água é de essencial importância para a população da RMSP.

A química da água e dos sedimentos é produto de reações naturais e possivelmente antrópicas. Assim, a caracterização química da água e dos sedimentos constitui uma ferramenta importante na detecção de anomalias, tanto naturais, quanto produzidas pelo homem.

Este estudo compreendeu a quantificação de parâmetros físico químicos e análises químicas e isotópicas da água superficial da Represa e dos sedimentos de fundo. Foi possível identificar valores de pH mais altos na porção oeste e norte da represa, atingindo valores superiores a 9 nesse locais.

Os resultados químicos de F^- , Cl^- , Br^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Al, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Sr e Zn em amostras de água superficial, quando comparados com valores máximos propostos pela Resolução do CONAMA 357/05 e pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde não apresentaram anomalias hidroquímicas.

Nos sedimentos foram realizadas análises mineralógicas que identificaram a presença de Quartzo, Muscovita e Caulinita na maioria das amostras. Em algumas delas foi possível identificar também Gibbsita e Feldspato Microclínio. Tais minerais podem ser oriundos de rochas de composição granítica. De fato, na Região Metropolitana de São Paulo podem ser encontrados migmatitos e gnaisses do Complexo Embu, além de rochas metavulcanossedimentares do Grupo São Roque e sedimentares da Bacia de São Paulo.

A partir dos dados obtidos da química dos sedimentos de fundo, foi possível realizar a distribuição vertical dos elementos analisados, segundo a profundidade amostrada. Observou-se que na amostra RG-2, coletada na porção sul da Represa, foi observada a diminuição da concentração dos elementos com a diminuição da profundidade do testemunho. Ou seja, a concentração era menor nas amostras próximas a superfície do leito da represa. Entretanto, nas amostras do testemunho RG-15 foi identificado o comportamento oposto, sendo encontrado maiores concentrações dos elementos nas amostras em menores profundidades.

A alta concentração de Fe_2O_3 pode ser decorrente da presença de minerais com Ferro, como por exemplo a Goetita, que foi identificada em uma amostra da margem da represa. Segundo Martins (2012) é encontrado óxido de manganês percolando rochas do embasamento cristalino na cidade de Embu-Guaçu, ao sul da Represa da Guarapiranga, indicando que há a presença desse óxido nas rochas do entorno da represa e que há uma fonte natural para ele. As altas taxas de Cu podem ser explicadas pela utilização de sulfato de cobre como algicida (Brooke *et al* 2008).

Fatores de Enriquecimento foram calculados, utilizando o elemento Sc como normalizador, e as rochas aflorantes das margens como valores de referência. Por meio de Efs foi possível identificar anomalias antrópicas (Sposito, 1989) para os elementos TiO_2 (na amostra RG-2aff), Fe_2O_3 (na amostra RG-15a), MnO (nas amostras RG-15a e RG-15b) e P_2O_5 (nas amostras RG-15a, RG-15c, RG-15d e RG-15e); e para os elementos traços Cu (RG-15a, RG-15b e RG-15e), Y (RG-2aff), S (RG-15a e RG-15e), Zr (RG-2aff) e Cl (RG-15a e RG-15e).

Em geral, as amostras que apresentaram anomalia ($\text{EF} > 2$ segundo Sposito, 1989) são aquelas coletadas nas porções mais superficiais dos testemunhos. Foi identificado maiores concentrações desses elementos no testemunho RG-15 quando comparado ao RG-2. Neste último foi identificado altas concentrações na amostra de fração fina (RG-2aff).

Por meio do gráfico $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ é possível observar que as amostras do testemunho RG-2 possuem razões isotópicas próximas as dos sedimentos das margens, enquanto que as das amostras do testemunho RG-15 encontram-se próximas às da água da chuva e água da represa.

Dessa forma, as análises químicas em concordância com as análises isotópicas indicam que o testemunho RG-15 contém componentes diferentes do testemunho RG-2, podendo indicar uma contribuição antrópica maior no ponto RG-15 do que no RG-2.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brooke D., Ribeiro D., Rodrigues L., Campos M., Mendes R. 2008. Algas e seus impactos em sistemas de tratamento de águas para abastecimento: estudos de caso sistema Guarapiranga. Escola Politécnica – Departamento de Hidráulica e Sanitária, 9 p.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO 2009. Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo – Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo, *Série Relatórios*, 310 p.
- CETESB. – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO s.d. IQA – Índice de Qualidade das Águas. Disponível em www.cetesb.sp.gov.br. Acessado em janeiro de 2012.
- Charalampides G. & Monoliadis O. 2002. Sr and Pb isotopes as environmental indicators in environmental studies. *Environmental International*, **28**:147-151.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE 2005. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acessado em julho de 2012.
- CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL 2007. Medição in loco: Temperatura, pH, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvido. Belo Horizonte, 43 pp.
- Deutsch W. J. 1997. Groundwater Geochemistry – Fundamentals and Applications to Contamination. Lewis Publishers, EUA, 221pp.
- Gioia S.; Pimentel M.M.; Tessler M., Dantas E.L., Campos J.E.G., Guimarães E.M., Maruoka M.T.S., Nascimento E.L.C. 2006 Sources of anthropogenic lead in sediments from an artificial lake in Brasília-central Brazil. *Science of The Total Environment*, 356:125-142.
- Govágua -USP. (s.d.). Disponível em <http://www.usp.br/procam/govagua/altotiete.php>. Acessado em janeiro de 2012.
- Hem J. D. 1985. Study and Interpretation of the chemical characteristics of natural water. USGS, 249 pp.
- Hirata R. C., & Ferreira L. M. 2001. Os aquíferos da bacia hidrográfica do Alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade a poluição. *Revista Brasileira de Geociências*, **31(1)**: 43-50.
- ISA - INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. 2006. Guarapiranga 2005: Como e por que São Paulo está perdendo este manancial – resultados do diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Guarapiranga. São Paulo, 50 p.
- ISA- INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. 2009. Água e esgoto na grande São Paulo: situação atual, nova lei de saneamento e programas governamentais propostos. São Paulo, 79 p.

- Juliani, C. 1992. O Embasamento Pré-Cambriano da Bacia de São Paulo. In: Problemas geológicos e geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo, ABAS/ABGE/SBG-SP, São Paulo, ABAS/ABGE/SBG-SP, pp.3-20.
- Martins V. T. S. 2008. Aplicação de Isótopos de Pb, Sr, H e O como traçadores da recarga e da contaminação de aquíferos metropolitanos: um exemplo da Bacia do Alto Tietê. Tese de doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 177 p.
- Mortatti J., Hissler C., Probst J. 2010. Distribuição de metais pesados nos sedimentos de fundo ao longo da Bacia do Tietê. *Revista do Instituto de Geociências - USP*, **10(2)**: 3-11.
- Oliveira S. M. B., Pessenda L. C., Gouveia S. E., Babinsky, M., & Favaro, D. I. 2009. A geochemical and lead isotopic record from a small pond in a remote equatorial island, Fernando de Noronha, Brazil. *The Holocene* **19,3**: 433-442.
- Oliveira S. M. B., Pessenda L. C., Favaro D. I., & Babinsky, M. 2012. A 2400-year record of trace metal loading in lake sediments of Lagoa Vermelha, southeastern Brazil. *Journal of South America Earth Sciences*, **33**: 1-7.
- Perrota M. M., Salvador E. D., Lopes R. C., D'Agostino L. Z., Peruffo N., Gomes S. D., Sach L. L. B., Meira V.T., Garcia M.G.M., Lacerda Filho J.V. 2005. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000. Programa Geologia do Brasil – PGB, CPRM, São Paulo.
- Portaria nº2914/11 do Ministério da Saúde. 2011. Disponível em http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acessado em setembro de 2012.
- Rede das Águas. 2002. Disponível em <http://www.rededasaguas.org.br/>. Acessado em janeiro de 2012
- Riccomini C. 1989. O rift continental do sudeste do Brasil. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 256 p.
- Riccomini, C. Coimbra A. M. & Takyia H. 1992. Tectônica e sedimentação na Bacia São Paulo. In: Problemas geológicos e geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo, ABAS/ABGE/SBG-SP, São Paulo, pp. 21-45
- Santos S. N., Lafon J. M., Corrêa J. A., Babinsky, M., Dias, F. F., Taddei, M. H. 2011. Distribuição e assinatura isotópica de Pb em sedimentos de fundo da foz do Rio Guamá e da Baía do Guajará (Belém-Pará). *Quim. Nova*, **XY**: 1-8.
- Senten J. R. 1989. Pollution of Harbour Sediments by Heavy Metals. *Ocean & Shoreline Management*, **12**: 463-475.
- Soares M. C. C., Mizusaki A. M. P., Guerra T., Vignol M. L. 2004. Análise geoquímica dos sedimentos de fundo do Arroio do Salso, Porto Alegre – RS – Brasil. *Pesquisas em Geoc.* **31(1)**: 39-50.
- Sposito G. 1989. *The chemistry of soils*. Oxford University Press, London, 277 pp.

Sutherland R. A. & Tolosa C. A. 2000. Multi-element analysis of road deposited sediment in an urban drainage basin, Honolulu, Hawaii. *Environmental Pollution*, **110**: 483-495.

Zimbres, E. (s.d.). Química da Água Subterrânea. Disponível em <http://www.meioambiente.pro.br/>. Acessado em janeiro de 2012.

ANEXO I. Tabelas

Tabela 4.6. Valores Máximos - Seção das Águas Doces - Classe 3, segundo a Resolução do CONAMA 357/05

Parâmetros Inorgânicos	Valor Máximo
Alumínio dissolvido	0,2 mg/L Al
Arsênio total	0,033 mg/L As
Bário total	1,0 mg/L Ba
Berílio total	0,1 mg/L Be
Boro total	0,75 mg/L B
Cádmio total	0,01 mg/L Cd
Chumbo total	0,033 mg/L Pb
Cianeto livre	0,022 mg/L CN
Cloreto total 250 mg/L Cl	250 mg/L Cl
Cobalto total	0,2 mg/L Co
Cobre dissolvido 0,013 mg/L Cu	0,013 mg/L Cu
Cromo total	0,05 mg/L Cr
Ferro dissolvido 5,0 mg/L Fe	5,0 mg/L Fe
Fósforo total (ambiente lântico)	0,05 mg/L P
Fósforo total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lântico)	0,075 mg/L P
Fósforo total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)	0,15 mg/L P
Fluoreto total 1,4 mg/L F	1,4 mg/L F
Lítio total	2,5 mg/L Li
Manganês total	0,5 mg/L Mn
Mercúrio total	0,002 mg/L Hg
Níquel total	0,025 mg/L Ni
Nitrato	10,0 mg/L N
Nitrito	1,0 mg/L N
Nitrogênio amoniacal total	13,3 mg/L N, para pH < 7,5
	5,6 mg/L N, para 7,5 < pH < 8,0
	2,2 mg/L N, para 8,0 < pH < 8,5
	1,0 mg/L N, para pH > 8,5
Prata total	0,05 mg/L Ag
Selenio total	0,05 mg/L Se
Sulfato total	250 mg/L SO ₄
Sulfeto (como H ₂ S não dissociado)	0,3 mg/L S
Uranio total 0,02 mg/L U	0,02 mg/L U
Vanádio total	0,1 mg/L V
Zinco total	5 mg/L Zn

Tabela 5.1.3-1. Amostras de sedimentos da Represa da Guarapiranga						
Data	Material	Testemunho	UTM (m)		Profundidade da represa no local	Comprimento do testemunho
			N	E		
13/12/11	Sedimento de fundo	RG-1	7370728	318888	2,0m	1,83m
13/12/11	Sedimento de fundo	RG-2	7369822	317852	0,5m	1,26m
13/12/11	Sedimento de fundo	RG-3	7371106	319648	3,2m	0,82m
13/12/11	Sedimento de fundo	RG-4	7369923	318530	3,0m	1,69m
13/12/11	Sedimento de fundo	RG-5	7373542	320071	3,0m	0,93m
13/12/11	Sedimento de fundo	RG-6	7372890	322062	4,2m	1,15m
12/12/11	Sedimento de fundo	RG-7	7371715	319131	1,5m	0,78m
12/12/11	Sedimento de fundo	RG-8	7373246	323785	4,6m	1,3m
12/12/11	Sedimento de fundo	RG-9	7376581	324509	6,5m	1,5m
12/12/11	Sedimento de fundo	RG-10	7376901	320511	2,1m	1,48m
12/12/11	Sedimento de fundo	RG-11	7375938	322223	4,3m	0,93m
12/12/11	Sedimento de fundo	RG-12	7378158	322592	4,7m	1,37m
12/12/11	Sedimento de fundo	RG-13	7378880	323802	8,3m	1,52m
12/12/11	Sedimento de fundo	RG-14	7380234	323813	9,0m	0,93m
12/12/11	Sedimento de fundo	RG-15	7374818	323766	5,9m	1,35
12/12/11	Sedimento aflorantes das margens	GUA-1 Sed	7378063	325024	-	-
12/12/11	Sedimento aflorantes das margens	GUA-2 Sed A / GUA-2 Sed B	7375963	322679	-	-
13/12/11	Sedimento aflorantes das margens	GUA-3 Sed A / GUA-3 Sed B	7379234	323384	-	-

Tabela 5.1.3-2. Amostras coletadas nas margens da Represa da Guarapiranga					
Data	Material	Amostra	UTM (m)		Descrição de Campo
			N	E	
12/12/11	Sedimento aflorantes das margens	GUA-1 Sed	7378063	325024	Sedimento na cor preta, granulometria fina, com muita matéria orgânica. Presença de principalmente quartzo, e cerca de 10% de biotita.
12/12/11	Sedimento aflorantes das margens	GUA-2 Sed A / GUA-2 Sed B	7375963	322679	Sedimento cinza-claro e granulometria fina à muito fina. Presença de principalmente quartzo e traços de biotita e óxido de ferro.
13/12/11	Sedimento aflorantes das margens	GUA-3 Sed A / GUA-3 Sed B	7379234	323384	Sedimento rosado, fino à médio. Contém essencialmente quartzo e aproximadamente 5% de biotita. Há clastos de feldspato com tamanho máximo de 1,0 cm.

Tabela 5.2.4. Amostras retiradas dos testemunhos RG-2 e RG-15 para análises de laboratório

Testemunho	UTM (m)		Amostra	Profundidade da amostra
	N	E		
RG-2	7370822	317852	RG-2a	3 a 10 cm
			RG-2b	38 a 45 cm
			RG-2c	55 a 62 cm
			RG-2d	96 a 104 cm
RG-15	7375818	323766	RG-15a	até 18 cm
			RG-15b	18 a 30 cm
			RG-15c	42 a 56 cm
			RG-15d	66 a 72 cm
			RG-15e	90 a 100 cm
			RG-15f	115 a 125 cm

Tabela 6.1.1-2. Resultados das análises de ânions da água superficial - CEPAS (2012), Valores Máximos segundo a Resolução do CONAMA 357/05 e Valores Máximos Permitidos segundo a Portaria do Ministério da Saúde 2914/11															
Amostra	GUA-1A	GUA-1B	GUA-2	GUA-3	GUA-4	GUA-5	GUA-6	GUA-7	GUA-8	GUA-9	GUA-10	GUA-11	Limites de detecção mg/L	Valor Máximo - CONAMA 357/05	VMP - Portaria 2914/11
F ⁻ mg/L	0,11	0,09	0,11	0,18	0,13	0,15	0,18	0,19	0,23	0,15	0,16	0,19	0,01	1,4 mg/L F	1,5 mg/L
Cl ⁻ mg/L	4,05	4,11	4,47	12,53	6,76	11,68	11,98	12,54	13,17	12,71	12,61	12,40	0,01	250 mg/L Cl	Nap
NO ₂ ⁻ mg/L de N	0,0025	0,0033	0,0023	0,0048	0,0047	0,0057	0,0065	0,0085	0,0074	0,0050	0,0074	0,0079	0,0015	1,0 mg/L N	1,0 mg/L N
Br ⁻ mg/L	0,006	0,013	0,013	0,018	0,014	0,021	0,015	0,029	0,026	0,018	0,019	0,018	0,005	Nap	Nap
NO ₃ ⁻ mg/L de N	0,2971	0,2407	0,5027	4,6305	0,3306	1,3564	0,8708	1,2165	1,1690	1,1173	1,1080	1,1196	0,0025	10,0 mg/L N	10,0 mg/L N
HPO ₄ ²⁻ mg/L	0,04	0,03	0,00	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,02	0,02	0,02	0,01	Nap	Nap
SO ₄ ²⁻ mg/L	2,58	3,38	3,51	9,88	3,91	7,83	10,15	8,36	9,22	8,44	8,25	8,33	0,02	250 mg/L SO ₄	Nap

Nap: Não está presente na Resolução do CONAMA 357/05 ou VMP; VMP: Valores Máximos Permitidos segundo a Portaria do Ministério da Saúde 2914/11

Tabela 6.1.1-3. Resultados das análises de cátions de água superficial - Laboratório Químico do Departamento de Mineralogia e Geotectônica USP (2012), Valores Máximos segundo a Resolução do CONAMA 357/05 e Valores Máximos Permitidos segundo a Portaria do Ministério da Saúde 2914/11 - mg/L															
Amostra	GUA-1A	GUA-1B	GUA-2	GUA-3	GUA-4	GUA-5	GUA-6	GUA-7	GUA-8	GUA-9	GUA-10	GUA-11	Limites de detecção mg/L	Valores Máximos CONAMA 357/05	VMP - Portaria 2914/11
Al	0,151	0,097	0,172	0,201	0,046	0,025	0,123	0,031	0,030	0,030	0,029	0,028	0,01	0,2	NAp
Ba	0,009	0,010	0,011	0,036	0,009	0,018	0,022	0,015	0,019	0,017	0,018	0,017	0,006	1,0	0,7
Ca	2,7	3,8	3,3	10,1	4,2	7,7	9,7	7,5	8,4	8,0	8,0	8,0	0,1	NAp	NAp
Cr	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	NAp	NAp
Cu	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,016	0,010	0,022	0,022	0,022	0,025	0,023	0,001	0,013	2,0
Fe	0,475	0,341	0,407	0,625	0,282	0,057	0,377	0,058	0,081	0,047	0,064	0,051	0,002	5,0	NAp
K	1,3	1,2	1,7	3,0	1,6	3,1	3,8	3,2	3,6	3,4	3,4	3,4	0,5	NAp	NAp
Mg	0,8	1,1	1,0	2,1	1,0	1,6	2,0	1,7	1,8	1,7	1,7	1,7	0,1	NAp	NAp
Mn	0,030	0,031	0,031	0,155	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,010	<0,01	0,01	0,5	NAp
Na	2,9	3,0	3,4	10,9	5,4	9,5	10,0	10,1	11,7	10,5	10,7	11,0	0,1	NAp	NAp
Ni	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,025	NAp
PO ₄ ³⁻	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	<0,2	0,3	0,2	NAp	NAp
Sr	0,017	0,023	0,022	0,054	0,025	0,044	0,057	0,043	0,050	0,046	0,046	0,047	0,006	NAp	NAp
Zn	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	NAp	NAp

NAP: Não está presente na Resolução do CONAMA 357/05 ou VMP; VMP: Valores Máximos Permitidos segundo a Portaria do Ministério da Saúde 2914/11; X: Concentração superior ao valor CONAMA 357/05 e valor máximo excedido

Tabela 6.2.1-1. Características das amostras retiradas dos testemunhos RG-2 e RG-15.

Testemunho	UTM (m)		Amostra	Profundidade da amostra	Descrição das amostras após a coleta
	N	E			
RG-2	7370822	317852	RG-2a	3 a 10 cm	areia siltosa marrom escura, com um pouco de matéria orgânica
			RG-2b	38 a 45 cm	argila mole bege acinzentada
			RG-2c	55 a 62 cm	argila mole bege acinzentada
			RG-2d	96 a 104 cm	argila mole bege acinzentada
RG-15	7375818	323766	RG-15a	até 18 cm	argila mole preta (com muita matéria orgânica)
			RG-15b	18 a 30 cm	argila mole marrom clara
			RG-15c	42 a 56 cm	argila marrom escura com folhas e raízes
			RG-15d	66 a 72 cm	argila marrom acinzentada
			RG-15e	90 a 100 cm	argila preta com raízes e galhos
			RG-15f	115 a 125 cm	argila preta / marrom com raízes

Tabela 6.2.1-2. Características das amostras coletadas nas margens da Represa da Guarapiranga					
Data	Material	Amostra	UTM (m)		Descrição
			N	E	
12/12/11	Sedimentos aflorantes das margens	GUA-1 Sed	7378063	325024	Sedimento na cor preta, granulometria fina, com muita matéria orgânica. Presença de principalmente quartzo, e cerca de 10% de biotita.
12/12/11	Sedimentos aflorantes das margens	GUA-2 Sed A / GUA-2 Sed B	7375963	322679	Sedimento cinza-claro e granulometria fina à muito fina. Presença de principalmente quartzo e traços de biotita e óxido de ferro.
13/12/11	Sedimentos aflorantes das margens	GUA-3 Sed A / GUA-3 Sed B	7379234	323384	Sedimento rosado, fino à médio. Contém essencialmente quartzo e aproximadamente 5% de biotita. Há clastos de feldspato com tamanho máximo de 1,0 cm.

Tabela 6.2.1-3. Resultado da análise granulométrica por Difração de Laser												
Faixa Granulométrica (%)												
Amostra	Areia					Silte					Argila	
	Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	Grosso	Médio	Fino	Muito Fino			
GUA 1Sed	0,000	0,209	2,959	6,171	16,508	19,285	16,343	14,812	10,494	13,219		
Gua-2Sed A	0,000	0,117	2,063	3,260	4,157	19,182	28,184	17,312	8,582	17,143		
Gua-2Sed B	0,000	0,796	4,449	9,071	10,637	7,613	10,597	14,263	14,736	27,839		
Gua-3Sed A	1,129	3,385	10,254	14,135	21,346	17,777	12,040	8,710	5,019	6,189		
Gua-3Sed B	2,765	5,335	13,439	16,019	22,875	17,636	9,461	5,616	2,899	3,631		
RG 15a	0,000	0,000	0,000	0,000	0,763	13,795	25,802	25,245	15,164	19,230		
RG 15b	0,000	0,000	0,000	0,000	0,743	5,403	14,509	23,388	21,576	34,381		
RG 15c	0,000	0,000	0,000	0,000	0,926	5,578	12,271	21,871	24,405	34,949		
RG 15d	0,000	0,000	0,000	0,000	12,548	33,700	21,639	11,505	9,029	11,579		
RG 15e	0,000	0,000	0,000	0,000	2,483	7,693	16,980	24,338	20,701	27,805		
RG 15f	0,000	0,000	0,000	0,000	4,643	22,233	21,251	16,722	15,483	19,667		
RG 2a	0,026	0,037	4,917	30,286	35,719	10,559	5,857	5,966	3,280	3,353		
RG 2b	0,000	0,053	0,929	3,437	7,926	15,469	22,990	21,349	14,140	13,708		
RG 2c	0,000	0,106	0,958	2,125	5,550	8,991	17,416	24,889	20,402	19,563		
RG 2d	0,000	0,000	0,265	4,130	6,603	7,975	16,491	24,626	20,258	19,651		

Tabela 6.2.2. Descrição mineralógica por Difração de Raio X

Amostra	Material	Descrição das amostras após a coleta	Descrição mineralógica por Difração de Raio X
GUA-1 Sed	Sedimento da margem	Sedimento na cor preta, granulometria fina, com muita matéria orgânica. Presença de principalmente quartzo, e cerca de 10% de micas.	Quartzo -SiO ₂ ; Muscovita -KAl ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ; Caulinita - Al ₂ (Si ₂) ₅ (OH) ₄ ;
GUA-2 Sed A	Sedimento da margem	Sedimento cinza-claro e granulometria fina à muito fina. Presença de principalmente quartzo e traços de micas e óxido de ferro.	Quartzo -SiO ₂ ; Muscovita -KAl ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ; Caulinita - Al ₂ (Si ₂) ₅ (OH) ₄ ;
GUA-2 Sed B	Sedimento da margem		Quartzo -SiO ₂ ; Muscovita -KAl ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ; Caulinita - Al ₂ (Si ₂) ₅ (OH) ₄ ;
GUA-3 Sed A	Sedimento da margem	Sedimento rosado, fino à médio. Contém essencialmente quartzo e aproximadamente 5% de micas. Há clastos de feldspato com tamanho máximo de 1,0 cm.	Quartzo -SiO ₂ ; Muscovita -KAl ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ; Caulinita - Al ₂ (Si ₂) ₅ (OH) ₄ ;
GUA-3 Sed B	Sedimento da margem		Quartzo -SiO ₂ ; Feldspato Microclínio -KAlSi ₃ O ₈ ; Calcita -CaCO ₃ ; Ilita -KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂ ; Goetita -FeO(OH)
RG-2a	Sedimento de fundo	areia siltosa marrom escura, com um pouco de matéria orgânica	Quartzo -SiO ₂ ; Muscovita -KAl ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ; Caulinita - Al ₂ (Si ₂) ₅ (OH) ₄ ;
RG-2aff	Sedimento de fundo	Silte e argila na cor marrom escura	Quartzo -SiO ₂ ; Muscovita -KAl ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ; Caulinita - Al ₂ (Si ₂) ₅ (OH) ₄ ;
RG-2b	Sedimento de fundo	argila mole bege acinzentada	Quartzo -SiO ₂ ; Muscovita -KAl ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ; Caulinita - Al ₂ (Si ₂) ₅ (OH) ₄ ; e Gibbsita -Al(OH) ₃
RG-2c	Sedimento de fundo	argila mole bege acinzentada	Quartzo -SiO ₂ ; Muscovita -KAl ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ; Caulinita - Al ₂ (Si ₂) ₅ (OH) ₄ ;
RG-2d	Sedimento de fundo	argila mole bege acinzentada	Quartzo -SiO ₂ ; Muscovita -KAl ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ; Caulinita - Al ₂ (Si ₂) ₅ (OH) ₄ ;
RG-15a	Sedimento de fundo	argila mole preta (com muita matéria orgânica)	Quartzo -SiO ₂ ; Muscovita -KAl ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ; Caulinita - Al ₂ (Si ₂) ₅ (OH) ₄ ; e Gibbsita -Al(OH) ₃
RG-15b	Sedimento de fundo	argila mole marrom clara	Quartzo -SiO ₂ ; Muscovita -KAl ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ; Caulinita - Al ₂ (Si ₂) ₅ (OH) ₄ ; e Gibbsita -Al(OH) ₃
RG-15c	Sedimento de fundo	argila marrom escura com folhas e raízes	Quartzo -SiO ₂ ; Muscovita -KAl ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ; Caulinita - Al ₂ (Si ₂) ₅ (OH) ₄ ; e Gibbsita -Al(OH) ₃
RG-15d	Sedimento de fundo	argila marrom acinzentada	Quartzo -SiO ₂ ; Muscovita -KAl ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ; Caulinita - Al ₂ (Si ₂) ₅ (OH) ₄ ; e Gibbsita -Al(OH) ₃
RG-15e	Sedimento de fundo	argila preta com raízes e galhos	Quartzo -SiO ₂ ; Muscovita -KAl ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ; Caulinita - Al ₂ (Si ₂) ₅ (OH) ₄ ; e Gibbsita -Al(OH) ₃

Tabela 6.2.3-1. Resultado das análises de elementos/óxidos maiores, menores e traços das amostras retiradas dos testemunhos RG-2 e RG-15 (Laboratório de Fluorescência de Raios X do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do IGC-USP, 2012)														
Óxidos Maiores e Menores (%)	Amostras do testemunho RG-2							Amostras do testemunho RG-15						
	RG-2a	RG-2b	RG-2c	RG-2d	RG-2aff			RG-15a		RG-15b	RG-15c	RG-15d	RG-15e	Limite de Detecção
Profundidade	3-10 cm	38-45 cm	55-62 cm	96-104 cm	3-10 cm			0-18 cm		18-30 cm	42-56 cm	66-72 cm	90-100 cm	
SiO ₂	88,17	59,83	58,76	64,66	71,45	71,44		35,65	35,87	36,39	37,55	37,70	18,15	0,03
TiO ₂	0,50	1,34	1,39	1,18	1,58	1,57		1,17	1,17	1,39	1,21	1,26	0,45	0,00
Al ₂ O ₃	5,62	22,57	24,42	21,31	13,98	13,89		26,79	26,90	32,93	28,46	29,41	12,62	0,02
Fe ₂ O ₃	0,87	2,27	2,55	2,28	2,37	2,32		12,35	12,39	10,33	2,31	2,04	0,86	0,01
MnO	0,02	0,03	0,03	0,02	0,05	0,05		0,14	0,14	0,10	0,04	0,03	0,01	0,00
MgO	0,14	0,29	0,29	0,26	0,25	0,24		0,19	0,20	0,16	0,22	0,24	0,13	0,01
CaO	0,06	0,06	0,05	0,05	0,08	0,07		0,25	0,26	0,13	0,18	0,14	0,15	0,01
Na ₂ O	0,02	0,06	0,06	0,04	0,04	0,04		0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	< 0,02	0,02
K ₂ O	1,04	2,44	2,52	2,17	1,63	1,63		1,18	1,19	1,41	1,87	1,92	0,60	0,01
P ₂ O ₅	0,03	0,09	0,07	0,04	0,10	0,10		0,69	0,68	0,24	0,26	0,25	0,22	0,00
LOI	2,35	10,44	9,30	7,36	7,58	7,59		21,59	21,48	17,02	28,09	27,22	63,59	0,01
Total	98,82	99,41	99,43	99,38	99,12	98,95		100,03	100,32	100,12	100,22	100,24	96,78	-

Tabela 6.2.3-1. Resultado das análises de elementos/óxidos maiores, menores e traços das amostras retiradas dos testemunhos RG-2 e RG-15 (Continuação)														
Elementos traços (ppm)	Amostras do testemunho RG-2						Amostras do testemunho RG-15						Limite de Detecção	
	RG-2a	RG-2b	RG-2c	RG-2d	RG-2aff		RG-15a		RG-15b	RG-15c	RG-15d	RG-15e		
Profundidade	3-10 cm	38-45 cm	55-62 cm	96-104 cm	3-10 cm		0-18 cm		18-30 cm	42-56 cm	66-72 cm	90-100 cm		
Ba	185,90	531,70	581,90	501,50	348,00	353,00	356,80	350,20	359,50	505,30	517,00	297,00	37,00	
Ce	< 35,00	50,80	43,40	69,80	104,00	92,00	142,20	138,10	132,60	45,70	46,90	71,80	35,00	
Co	< 6,00	6,00	6,60	8,00	9,00	11,00	10,60	12,60	14,20	7,20	7,40	< 6,00	6,00	
Cr	60,20	79,90	130,20	86,20	100,00	102,00	104,70	109,10	113,00	92,40	93,70	69,70	13,00	
Cu	< 5,00	7,50	7,50	5,80	6,00	5,00	1386,10	1394,00	87,80	29,10	24,40	49,70	5,00	
Ga	6,20	28,30	30,70	26,50	16,00	15,00	31,80	30,80	35,30	35,20	37,20	18,40	9,00	
La	< 28,00	33,00	45,50	41,40	53,00	43,00	53,70	53,00	45,00	50,60	47,70	69,40	28,00	
Nb	12,00	26,40	27,70	23,90	29,00	29,00	23,20	23,20	27,20	26,10	25,90	10,90	9,00	
Nd	< 14,00	23,80	31,80	35,20	50,00	38,00	46,20	48,70	48,60	29,40	26,30	34,50	14,00	
Ni	7,50	22,40	23,70	22,10	19,00	17,00	30,70	29,40	23,70	27,40	30,90	16,80	5,00	
Pb	< 4,00	12,40	18,60	11,50	16,00	16,00	36,80	37,90	42,50	6,50	10,40	< 4,00	4,00	
Rb	34,50	98,70	103,60	80,70	61,00	61,00	54,20	54,40	61,60	86,90	91,10	41,00	3,00	
Sc	< 14,00	14,10	< 14,00	13,90	12,00	11,00	19,70	18,70	23,10	13,50	15,40	13,90	14,00	
Sr	11,00	29,30	30,20	23,70	26,00	26,00	38,50	37,90	37,30	36,70	35,70	30,00	2,00	
Th	< 7,00	< 7,00	< 7,00	10,60	24,00	23,00	19,10	20,00	22,60	8,50	10,00	22,40	7,00	
U	< 3,00	< 3,00	2,80	6,10	9,00	9,00	3,70	3,60	2,90	4,40	4,50	10,70	3,00	
V	31,20	112,30	123,00	100,80	79,00	69,00	154,40	154,30	164,50	105,40	105,40	123,70	9,00	
Y	43,40	51,00	54,00	51,20	173,00	173,00	24,10	23,40	22,20	24,30	25,60	29,00	2,00	
Zn	21,00	49,10	54,30	49,50	62,00	61,00	168,60	171,50	96,20	49,80	52,90	54,50	2,00	
Zr	501,50	405,00	391,90	372,30	2358,00	2362,00	161,10	162,70	139,40	115,80	123,50	41,80	2,00	
Cl	73,50	< 50,00	102,30	< 50,00	< 50,00	< 50,00	325,50	361,30	< 50,00	< 50,00	< 50,00	249,30	50,00	
F	< 500,00	< 500,00	< 500,00	523,80	< 500,00	< 500,00	630,50	< 500,00	636,40	< 500,00	< 500,00	< 500,00	500,00	
S	< 550,00	< 550,00	< 550,00	< 550,00	< 550,00	< 550,00	3411,30	3364,90	< 550,00	1015,60	844,30	3380,00	550,00	

Tabela 6.2.3-2. Resultado das análises de elementos/ óxidos maiores, menores e traços das amostras da margem da represa (Laboratório de Fluorescência de Raios X do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do IGc-USP, 2012)							
Óxidos Maiores e Menores (%)	GUA-1Sed	GUA-2Sed A	GUA-2Sed B	GUA-3Sed B		GUA-3Sed A	Limite de Detecção
SiO ₂	28,90	61,46	69,21	69,57	71,26	71,66	0,03
TiO ₂	1,266	1,194	0,925	0,933	0,312	0,041	0,003
Al ₂ O ₃	13,94	20,52	16,25	16,24	15,46	14,36	0,02
Fe ₂ O ₃	5,10	6,53	4,05	4,10	2,49	1,07	0,01
MnO	0,206	0,030	0,025	0,026	0,025	0,022	0,002
MgO	0,49	0,27	0,41	0,42	0,29	0,02	0,01
CaO	1,92	0,04	0,22	0,22	0,04	0,04	0,01
Na ₂ O	0,14	< 0,02	0,03	0,10	0,15	0,44	0,02
K ₂ O	0,96	1,76	2,33	2,37	5,18	9,96	0,01
P ₂ O ₅	0,440	0,095	0,079	0,080	0,035	0,074	0,003
LOI	45,46	6,90	5,37	5,37	3,85	1,49	0,01

Tabela 6.2.3-2.Resultado das análises de elementos/óxidos maiores, menores e traços das amostras da margem da represa (Continuação)							
Elementos traços (ppm)	GUA 1Sed	GUA 2Sed A	GUA 2Sed B	GUA 3Sed B		GUA 3Sed A	Limite de Detecção
Ba	295	407	512	505	495	456	37
Ce	82	117	95	98	173	< 35	35
Co	10	18	13	12	< 6	< 6	6
Cr	109	77	69	87	122	29	13
Cu	1905	33	20	21	< 5	5	5
Ga	25	23	19	18	20	14	9
La	37	66	50	54	104	< 28	28
Nb	27	20	22	20	31	< 9	9
Nd	31	60	45	39	50	< 14	14
Ni	17	27	16	16	5	< 5	5
Pb	19	19	16	16	24	40	4
Rb	55	138	145	143	296	392	3
Sc	14	17	14	11	14	14	14
Sr	89	63	61	61	51	108	2
Th	18	11	9	10	39	< 7	7
U	10	< 3	4	< 3	4	< 3	3
V	97	136	73	78	9	< 9	9
Y	49	51	49	49	47	12	2
Zn	249	94	73	76	62	13	2
Zr	445	356	433	432	252	54	2
Cl	113	< 50	120	78	120	143	50
F	642	683	603	715	870	< 500	500
S	4801	550	550	550	550	550	550

Tabela 6.2.4. Fatores de Enriquecimento calculados utilizando o elemento Sc como agente normalizador e os sedimentos da margem da represa como referência.											
Amostra	Profundidade (cm)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
RG-2a	7	0,389	0,734	0,34	0,24	0,660	0,49	0,53	0,11	0,24	0,438
RG-2aff		0,850	2,690	0,98	0,75	2,447	1,03	0,83	0,26	0,44	1,646
		0,941	2,921	1,06	0,80	2,620	1,08	0,79	0,28	0,48	1,795
RG-2b	42	1,106	1,937	1,35	0,61	1,003	1,02	0,53	0,33	0,56	1,210
RG-2c	59	1,219	2,025	1,47	0,70	0,971	1,02	0,44	0,33	0,58	0,945
RG-2d	100	1,058	1,740	1,29	0,63	0,861	0,92	0,45	0,22	0,50	0,579
RG-15a	9	0,531	1,213	1,14	2,39	3,892	0,48	1,58	0,12	0,19	6,686
		0,549	1,283	1,21	2,53	4,187	0,53	1,73	0,12	0,21	6,982
RG-15b	24	0,456	1,228	1,20	1,71	2,401	0,34	0,70	0,07	0,20	1,959
RG-15c	49	1,097	1,834	1,77	0,65	1,651	0,80	1,66	0,17	0,45	3,692
RG-15d	69	0,984	1,678	1,60	0,51	1,130	0,77	1,13	0,10	0,40	3,137
RG-15e	95	0,626	0,657	0,76	0,24	0,430	0,46	1,34	0,11	0,14	3,034

X: Segundo Sposito (1989), EF > 2 sugere contribuição antrópica para este elemento.

Tabela 6.2.4. Fatores de Enriquecimento calculados utilizando o elemento Sc como agente normalizador e os sedimentos da margem da represa como referência.												
Amostra	Profundidade (cm)	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb
RG-2a	7	0,389	0,288	0,438	0,779	0,251	0,330	0,406	0,517	0,2887	0,4639	0,172
RG-2aff		0,850	1,000	0,301	1,509	0,352	0,995	0,896	1,458	1,2027	1,3711	0,804
		0,941	0,965	0,332	1,679	0,320	1,017	0,793	1,590	0,9972	1,3383	0,877
RG-2b	42	1,106	0,416	0,154	1,026	0,374	1,497	0,475	1,130	0,4872	1,3757	0,530
RG-2c	59	1,219	0,358	0,154	1,684	0,377	1,636	0,659	1,194	0,6556	1,4659	0,801
RG-2d	100	1,058	0,579	0,215	1,123	0,293	1,422	0,604	1,037	0,7310	1,3768	0,499
RG-15a	9	0,531	0,833	0,567	0,962	49,480	1,204	0,553	0,710	0,6769	1,3495	1,127
		0,549	0,852	0,652	1,057	52,423	1,229	0,575	0,748	0,7517	1,3614	1,222
RG-15b	24	0,456	0,662	0,884	0,886	2,673	1,140	0,395	0,710	0,6073	0,8884	1,110
RG-15c	49	1,097	0,390	0,186	1,239	1,516	1,945	0,761	1,166	0,6286	1,7576	0,290
RG-15d	69	0,984	0,351	0,214	1,102	1,114	1,802	0,629	1,015	0,4930	1,7375	0,407
RG-15e	95	0,626	0,596	0,272	0,908	2,514	0,987	1,013	0,473	0,7164	1,0466	0,174

X: Segundo Sposito (1989), EF > 2 sugere contribuição antrópica para este elemento.

Tabela 6.2.4. Fatores de Enriquecimento calculados utilizando o elemento Sc como agente normalizador e os sedimentos da margem da represa como referência.

Amostra	Profundidade (cm)	Rb	Sc	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr	Cl	F	S
RG-2a	7	0,154	1,00	0,159	0,403	0,796	0,419	1,037	0,328	1,633	0,634	0,693	0,994
RG-2aff		0,318	1,00	0,438	1,614	2,785	1,239	4,825	1,130	0,137	0,503	0,808	1,160
		0,347	1,00	0,478	1,687	3,038	1,180	5,263	1,213	8,957	0,549	0,882	1,265
RG-2b	42	0,438	1,00	0,420	0,401	0,790	1,499	1,211	0,761	1,309	0,428	0,688	0,987
RG-2c	59	0,463	1,00	0,436	0,403	0,743	1,653	1,291	0,848	1,276	0,883	0,693	0,994
RG-2d	100	0,363	1,00	0,345	0,615	1,630	1,365	1,233	0,779	1,221	0,434	0,731	1,001
RG-15a	9	0,172	1,00	0,395	0,782	0,697	1,475	0,409	1,871	0,373	1,996	0,621	4,383
		0,182	1,00	0,410	0,863	0,715	1,553	0,419	2,005	0,397	2,334	0,519	4,554
RG-15b	24	0,167	1,00	0,327	0,790	0,466	1,340	0,322	0,911	0,275	0,261	0,534	0,603
RG-15c	49	0,403	1,00	0,550	0,508	1,210	1,469	0,602	0,807	0,391	0,447	0,718	1,904
RG-15d	69	0,370	1,00	0,469	0,524	1,085	1,288	0,556	0,751	0,366	0,392	0,630	1,388
RG-15e	95	0,185	1,00	0,436	1,300	2,858	1,675	0,698	0,857	0,137	2,166	0,698	6,154

X: Segundo Sposito (1989), EF > 2 sugere contribuição antrópica para este elemento.

Tabela 6.2.5-1. Resultados das análises de razões isotópicas de Pb em amostras de água superficial (Centro de Pesquisas Geocronológicas Igc-USP, 2012)												
Amostra	Material	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	erro ¹	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	erro ¹	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	erro ¹	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	erro ¹	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	erro ¹	Pb (ng/ml)
GUA-1A	Água superficial	18,567	0,026	15,634	0,025	38,312	0,025	0,842	0,004	2,064	0,003	0,105
GUA-3	Água superficial	18,508	0,018	15,645	0,018	38,341	0,018	0,845	0,003	2,072	0,003	0,181
GUA-6	Água superficial	18,764	0,060	15,617	0,058	38,152	0,060	0,832	0,006	2,033	0,005	0,093
GUA-7	Água superficial	18,413	0,107	15,588	0,106	38,181	0,105	0,847	0,010	2,074	0,007	*
GUA-11	Água superficial	18,336	0,263	15,690	0,262	38,259	0,259	0,856	0,020	2,087	0,017	*

erro¹ - Erro padrão relativo (número médio de medidas = 60)

* - Quantidade de Pb muito pequena, DI over spiked

Valor $\pm$ desvio padrão (1 σ): $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.898 \pm 0.003$; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.440 \pm 0.003$ e $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.542 \pm 0.010$

Tabela 6.2.5-2. Resultados das análises de razões isotópicas de Pb em amostras de sedimentos (Centro de Pesquisas Geocronológicas Igc-USP, 2012)													
Amostra	Análise	Material	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	erro ¹	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	erro ¹	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	erro ¹	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	erro ¹	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	erro ¹	Pb (ppm)
GUA-1Sed	"Rocha Total"	Sedimento aflorante	18,597	0,004	15,625	0,004	38,277	0,005	0,840	0,001	2,058	0,002	43,098
	"Rocha Total"	Sedimento aflorante	18,604	0,006	15,634	0,006	38,307	0,006	0,840	0,002	2,059	0,001	43,785
	"Lixiviado"	Sedimento aflorante	18,372	0,005	15,657	0,005	38,256	0,005	0,852	0,001	2,082	0,001	32,786
	"Lixiviado"	Sedimento aflorante	18,334	0,005	15,608	0,005	38,096	0,005	0,851	0,001	2,078	0,001	30,494
GUA-2Sed A	"Rocha Total"	Sedimento aflorante	19,504	0,006	15,717	0,006	39,826	0,005	0,806	0,001	2,042	0,001	25,740
	"Lixiviado"	Sedimento aflorante	18,641	0,010	15,652	0,010	38,629	0,010	0,840	0,002	2,072	0,002	2,710
GUA-2Sed B	"Rocha Total"	Sedimento aflorante	19,043	0,004	15,679	0,005	39,089	0,005	0,823	0,002	2,053	0,002	23,311
	"Lixiviado"	Sedimento aflorante	18,920	0,007	15,671	0,007	38,992	0,007	0,828	0,002	2,061	0,001	1,292
GUA-3Sed A	"Rocha Total"	Sedimento aflorante	17,446	0,006	15,514	0,007	39,064	0,008	0,889	0,002	2,239	0,003	33,281
	"Lixiviado"	Sedimento aflorante	17,714	0,006	15,521	0,006	38,600	0,006	0,876	0,001	2,179	0,002	9,952
GUA-3Sed B	"Rocha Total"	Sedimento aflorante	17,838	0,005	15,531	0,006	37,674	0,007	0,871	0,002	2,112	0,003	54,741
	"Rocha Total"	Sedimento aflorante	17,836	0,014	15,530	0,014	37,674	0,014	0,871	0,003	2,112	0,004	55,891
	"Lixiviado"	Sedimento aflorante	20,082	0,006	15,668	0,006	38,827	0,006	0,780	0,001	1,933	0,001	11,556
	"Lixiviado"	Sedimento aflorante	20,074	0,007	15,660	0,007	38,798	0,007	0,780	0,002	1,933	0,001	11,485
RG-2a	"Rocha Total"	Sedimento de fundo	20,247	0,003	15,812	0,003	39,657	0,003	0,781	0,001	1,959	0,001	13,61
	"Lixiviado"	Sedimento de fundo	18,928	0,018	15,704	0,018	38,806	0,018	0,830	0,003	2,050	0,002	4,15
RG-15a	"Rocha Total"	Sedimento de fundo	18,933	0,005	15,755	0,005	38,558	0,005	0,832	0,001	2,037	0,002	67,96
	"Lixiviado"	Sedimento de fundo	18,521	0,004	15,718	0,005	38,395	0,006	0,849	0,001	2,073	0,003	39,20

erro¹ - Erro padrão relativo (número médio de medidas = 60)

* Quantidade de Pb muito pequena, DI over spiked

Valor $\pm$ desvio padrão (1 σ): $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} = 16.898 \pm 0.003$; $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} = 15.440 \pm 0.003$ e $\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} = 36.542 \pm 0.010$

ANEXO II. Índice de Qualidade das Águas - CETESB

LEGENDA - IQA: IVA: IAP				
Otimo	Bom	Regular	Ruim	Péssimo

IQA

Nome do Ponto	Descrição	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
BILL 02030	Reservatório Billings	33		72		60		23		65		63		53
BILL 02100	Reservatório Billings	53		68		77		55		69		71		65
BILL 02500	Reservatório Billings	79		85		80		81				79		81
BILL 02900	Reservatório Billings	79		85		74		77				70		77
BITQ 00100	Brço do Taquacetuba	78		90		87		81				58		84
BMIR 02800	Rio Britão-Mirim	72		57		70		77		67		72		69
BOGU 03200	Rio Bagunçu-Guaçu	30		32		29		31		23		41		31
CABU 04700	Rio Cabucu	24		17		16		30		25		19		22
CIFO 00900	Ribeirão do Cipó	45		37		43		50		52		51		46
COGR 00900	Reservatório das Graças	71		78		88		76		79		79		77
COTI 03500	Rio Cota	37		39		36		51		44		38		41
COTI 03900	Rio Cota	40		37		33		49		45		41		41
CRIS 03400	Ribeirão dos Cristais	56		65		65		42		50		53		55
DIVA 04900	Rio Arcaanduva	21		23		18		17		17		15		18
EMGU 00900	Rio Embu-Guaçu	56		62		62		70		59		60		62
EMMI 02900	Rio Embu-Mirim	67		46		43		53		40		44		47
GADE 02600	Rio Grande ou Jurubatuba	57		51		23		54		51		61		54
GUAR 00100	Reservatório do Guarapiranga	37		78		80		50		38		75		60
GUAR 00900	Reservatório do Guarapiranga	73		80		52		76		79		71		73
JNDI 00500	Reservatório do Rio Jundiá	81		81		82		81		76		79		80
JQUJ 00900	Res. Juqueri ou Pava Castro	79		81		76		75		77		75		78
JQRI 03800	Rio Juqueri	40		36		21		23		37		29		31
KERA 04900	Ribeirão Itaquera	15		20		16		16		15		36		20
MOVE 03500	Ribeirão Monho Velho	40		41		45		35		40		36		40
NINO 04900	Ribeirão dos Meninos	28		17		14		18		17		15		16
PEBA 00900	Reservatório Taiaçupeba	92		69		83		76		76		81		79
PEDA 03900	Ribeirão das Pedras	38		25		28		33		40		37		33
PINH 04100	Rio Pinheiros	30		21		21		38	26	22	31	36	29	28
PINH 04250	Rio Pinheiros	28		17		15		16	15	21	19	24	43	23
PINH 04500	Rio Pinheiros	33		27		16		17	18	26	21	17	28	23
PINH 04900	Rio Pinheiros	21		29		14		17	15	24	16	15	31	20
PIRE 02900	Ribeirão Pires	36		28		27		51		37		16		33
RGDE 02200	Reservatório do Rio Grande	71		80		78		65		83		64		73
RGDE 02900	Reservatório do Rio Grande	77		82		78		76		84		74		78
TAIA 02800	Rio Taiaçupeba-Açu									79		75		77

Fonte: CETESB – Qualidade da Água, 2009.

ANEXO III. Registro Fotográfico



Foto 1. Represa da Guarapiranga



Foto 2. Medições de parâmetros físico-químicos

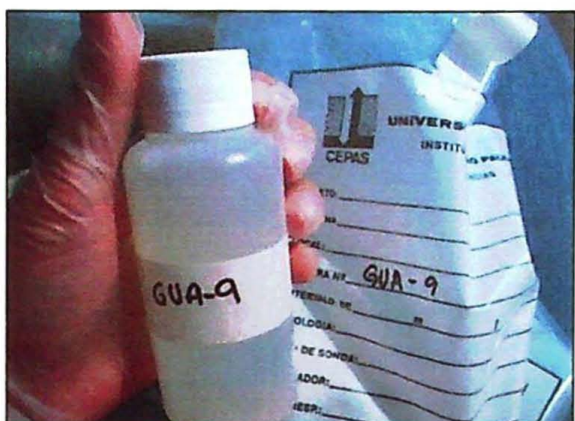


Foto 3. Frasco para coleta de amostras de água superficial para análise geoquímica



Foto 4. Frasco para coleta de amostras de água para análise isotópica



Foto 5. Vista da porção norte da represa – captação de água pela SABESP



Foto 6. Área em que foram coletados os sedimentos aflorantes GUA-2Sed A e B

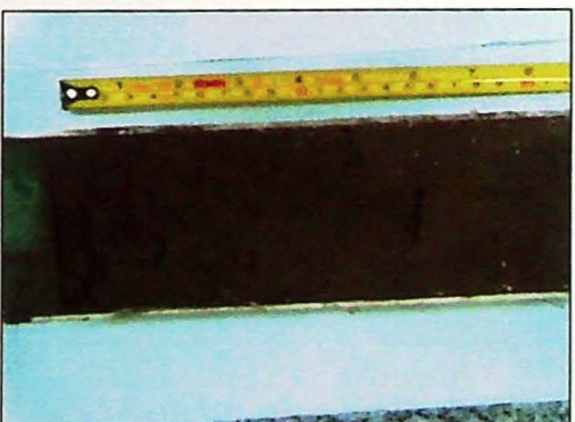


Foto 7. Testemunho RG-2 (0-22 cm)

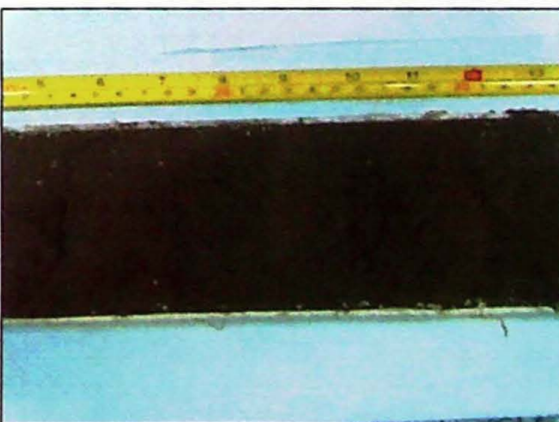


Foto 8. Testemunho RG-2 (21-34 cm)



Foto 9. Testemunho RG-2 (26-51 cm)

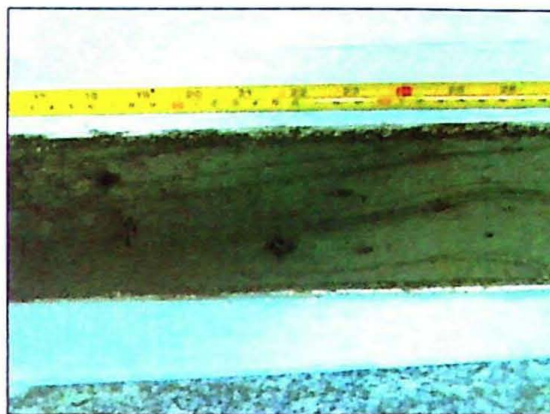


Foto 10. Testemunho RG-2 (42-68 cm)



Foto 11. Testemunho RG-2 (60-86 cm)



Foto 12. Testemunho RG-2 (78-107 cm)



Foto 13. Testemunho RG-2 (95-123 cm)

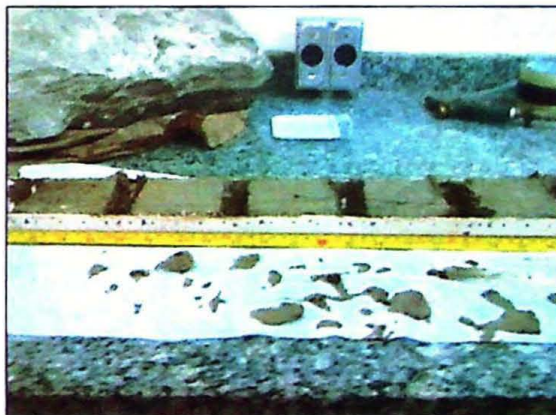


Foto 14. Coleta de amostras do RG-2

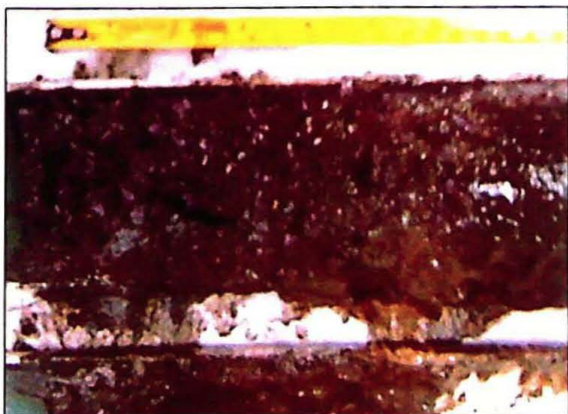


Foto 15. Testemunho RG-15 (0-20 cm)

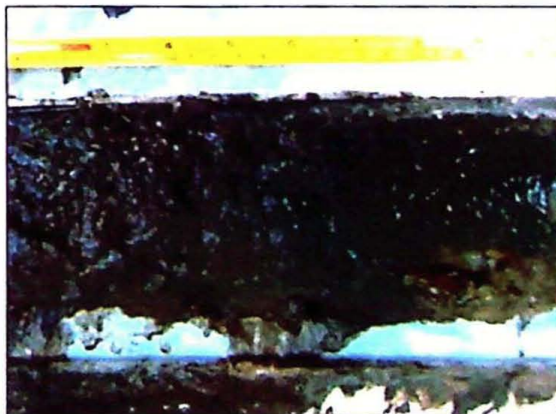


Foto 16. Testemunho RG-15 (4-26 cm)



Foto 17. Testemunho RG-15 (17-40 cm)



Foto 18. Testemunho RG-15 (40-60 cm)

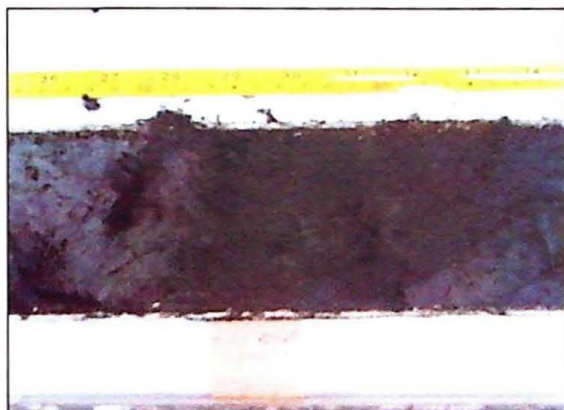


Foto 19. Testemunho RG-15 (65-88 cm)



Foto 20. Testemunho RG-15 (80-102 cm)



Foto 21. Testemunho RG-2 (108-129 cm)

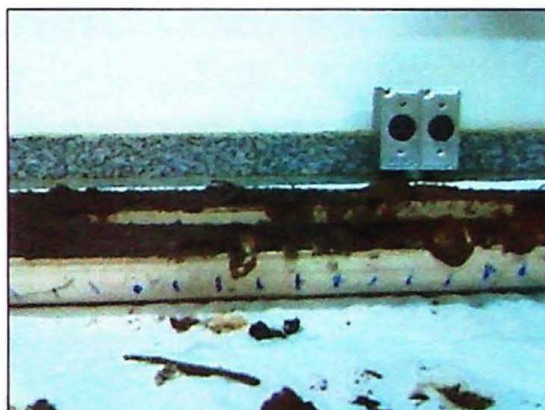


Foto 22. Coleta de amostras do RG-15

DOAÇÃO
<i>TGC-UKP</i>
Valor: <i>18103 122B</i>

