



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**Instituto de Geociências**

**ROBSON LEOCÁDIO FRANKLIN**

**GEOQUÍMICA E SEDIMENTAÇÃO EM REPRESAS NO ESTADO DE SÃO PAULO,  
BRASIL**

**CAMPINAS**

**2017**

**ROBSON LEOCÁDIO FRANKLIN**

**GEOQUÍMICA E SEDIMENTAÇÃO EM REPRESAS NO ESTADO DE SÃO PAULO,  
BRASIL**

**TESE APRESENTADA AO INSTITUTO DE  
GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE  
CAMPINAS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
DOUTOR EM CIÊNCIAS NA ÁREA DE GEOLOGIA E  
RECURSOS NATURAIS**

**ORIENTADOR: PROF. DR. WANILSON LUIZ SILVA**

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL  
DA TESE DEFENDIDA PELO ALUNO ROBSON  
LEOCADIO FRANKLIN E ORIENTADO PELO PROF.  
DR. WANILSON LUIZ SILVA**

**CAMPINAS**

**2017**

**Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s):** Não se aplica.

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca do Instituto de Geociências  
Cássia Raquel da Silva - CRB 8/5752

F854g Franklin, Robson Leocádio, 1976-  
Geoquímica e sedimentação em represas no Estado de São Paulo, Brasil /  
Robson Leocádio Franklin. – Campinas, SP : [s.n.], 2017.

Orientador: Wanilson Luiz Silva.  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de  
Geociências.

1. Reservatórios. 2. Sedimentos (Geologia). 3. Química da água. 4.  
Reservatório - Sedimentação. 5. Terras raras. I. Silva, Wanilson Luiz, 1965-. II.  
Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Geochemistry and sedimentation in dams of the State of São Paulo, Brazil

**Palavras-chave em inglês:**

Reservoirs

Sediments (Geology)

Water chemistry

Reservoir sedimentation

Rare earths

**Área de concentração:** Geologia e Recursos Naturais

**Titulação:** Doutor em Ciências

**Banca examinadora:**

Wanilson Luiz Silva [Orientador]

Ricardo Perobelli Borba

Jacinta Enzweiler

Deborah Inês Teixeira Favaro

José Eduardo Bevilacqua

**Data de defesa:** 11-10-2017

**Programa de Pós-Graduação:** Geociências



**UNICAMP**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**AUTOR:** Robson Leocádio Franklin

**GEOQUÍMICA E SEDIMENTAÇÃO EM REPRESAS NO  
ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL**

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Wanilson Luiz da Silva

Aprovado em: 11 / 10 / 2017

**EXAMINADORES:**

Prof. Dr. Wanilson Luiz Silva - Presidente

Prof. Dr. Ricardo Perobelli Borba

Profa. Dra. Jacinta Enzweller

Dra. Deborah Ines Teixeira Favaro

Dr. José Eduardo Bevilacqua

***A Ata de Defesa assinada pelos membros da Comissão Examinadora,  
consta no processo de vida acadêmica do aluno.***

Campinas, 11 de outubro de 2017.

## **DEDICATÓRIA**

**Para minha família, por sempre acreditar e nunca desistir.**

## AGRADECIMENTOS

Acima de tudo a Deus, por proporcionar a vida e tudo o que temos à nossa volta.

Ao ilustríssimo Prof. Dr. Wanilson Luiz Silva, primeiro por aceitar uma pessoa que nem sequer conhecia para orientar em um projeto em ambientes um pouco distintos, e principalmente pela orientação ímpar, segura, dedicada, atenciosa, corretiva e de grande aprendizado, e também pela paciência.

Ao Prof. Dr. Ricardo Perobelli Borba, pelas conversas, dicas e imprescindíveis análises por raios X.

Para a Profa. Dra. Jacinta Enzweiler, pela extrema e valiosa ajuda na qualificação e dicas para as análises de elementos terras raras e por proporcionar a utilização do laboratório de Geologia Isotópica do Instituto de Geociências da UNICAMP.

Para a Profa. Dra. Sandra Regina Damatto do Laboratório de Radiometria Ambiental do IPEN pelas preciosas e riquíssimas análises de datação por  $^{210}\text{Pb}$ .

Para a Profa. Dra. Déborah I. T. Fávaro pelos comentários, incentivos e por me fazer gostar de pesquisas mirabolantes.

Para a técnica do lab. de Geologia Isotópica, Margareth Navarro Sugano pela imprescindível ajuda na digestão das amostras por micro-ondas.

Ao José Maria e Laís pelas análises de textura no laboratório de Análise Ambiental da UNICAMP.

Para as funcionárias e funcionários da SPG da UNICAMP, pela ajuda e apoio.

Ao técnico de laboratório do setor de Química Inorgânica da CETESB, Adalberto Aparecido Diniz, por ter sido terceiras e quartas mãos deste doutorado, no período mais difícil deste.

Ao Me. Francisco Jorge Ferreira, gerente do laboratório de Química Inorgânica, por acreditar em loucuras (e incentivar...).

À Quim. Neusa Newa pela disposição em ceder o laboratório de Química Orgânica da CETESB, para as análises de Carbono Orgânico sempre que foi necessário.

Para a Dra. Maria Yumiko Tominaga, gerente da Divisão de Análises Físico-Químicas da CETESB, por incentivar o projeto.

Para a Dra. Maria Inês Zanoli Sato, gerente do Departamento de Análises Ambientais da CETESB, por permitir e incentivar sempre o aperfeiçoamento dos funcionários.

Ao Me. Marcos Gualberto pelos ensinamentos e análises no TOC-Shimadzu.

Aos demais profissionais do laboratório de Química Orgânica, Mayra, Carlos Alberto, Camila, Reinaldo, Carlos Barbosa e Leandro por sempre estarem dispostos a ajudar.

A Valter Roberto Diniz, Tibério Brandi, Sharlley Silva, Claudia Aguiar, Paula Marche, Eliana Cerqueira e Fernanda Mendonça pelas determinações de ânions, nutrientes e carbono, e trocas de ideias e aos demais profissionais do laboratório de Química Inorgânica da CETESB, Tina, Eleine, Claudio, Felipe, Ewerton, Juliana, Gustavo, Uyara, Rosana e Mariana.

Aos profissionais do ELC pelas coletas, especialmente ao saudoso “Gordela”, Paulo Sérgio, Renan Lourenço, Claudio Sorc, Vanderlei Queiróz, Elimar Melo, Venicio Ribeiro e Carlos Brandão.

Para o Me. Nelson Menegon e o Dr. Fabio Netto Moreno pelo incentivo e apoio financeiro institucional na CETESB, e para toda a CETESB.

Especialmente para minha família, Josiane, Gabriela e Vítor.

Para meus pais, Geraldo e Maria, e para o Rafael.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para a execução deste trabalho.

## SÚMULA

Robson Leocádio Franklin é natural de Visconde do Rio Branco – MG, nascido aos onze dias do mês de outubro de 1976. Em 1992 iniciou seus estudos em Química, no curso de segundo grau em técnico em Química pela Escola Técnica Oswaldo Cruz. Em 1996 iniciou a graduação de Bacharel em Ciências (Habilitação em Química), concluindo este em 1999 e posteriormente a Licenciatura em Química em 2000. Entre os anos de 2002 e 2003, fez o curso de especialização em Manejo e Gestão Ambiental nas Faculdades Oswaldo Cruz e em 2004 outra especialização em Pedologia Aplicada, no Instituto Agronômico de Campinas. No final de 2007 iniciou o mestrado no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-USP), tendo defendido a dissertação “*Determinação de mercúrio total e orgânico e avaliação dos processos de metilação e desmetilação em sedimentos do reservatório rio grande, estado de São Paulo*” em 2010. E em 2012 iniciou o curso de doutorado na UNICAMP. Paralelo aos estudos, em 1995 começou a atuar na indústria, trabalhando até 1998 na Companhia Nitroquímica Paulista, na área de processos químicos em uma planta de fabricação de ácido Sulfúrico. Em 1998 passou a trabalhar na CETESB, atualmente Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Dentro da CETESB, entre os anos de 1998 a 2006 trabalhou na atual Divisão de Amostragem, tendo como principal atribuição as coletas de amostras (água e sedimento) em corpos hídricos (águas subterrâneas, rios, reservatórios, estuários e mar) no estado de São Paulo. Desde 2006 atua no Laboratório de Química Inorgânica da CETESB, tendo como uma das principais atribuições a análise (e interpretação dos resultados) de elementos metálicos em amostras de águas e sedimentos coletados no estado de São Paulo fruto das ações de monitoramento e fiscalização ambiental da Companhia. Lecionou a disciplina de Química no segundo grau entre os anos de 2000 a 2005 e atualmente é docente dos cursos de tecnólogo em Gestão Ambiental das Faculdades Oswaldo Cruz (disciplinas de Análise Instrumental e Fundamentos de Poluição Ambiental) e no curso de pós-graduação de Química Ambiental e Engenharia de Controle de Poluição (disciplina de química das águas naturais)

## RESUMO

A construção de barragens em rios provoca mudanças hidrodinâmicas e geoquímicas, as quais podem ser registradas nos seus sedimentos. Estudos sobre processos de sedimentação e a partição de elementos químicos no meio físico (sedimentos, águas intersticiais e de superfície) não são comuns em reservatórios tropicais, nos quais os regimes hídricos e climáticos podem exercer importante papel neste aspecto. O objetivo principal desta tese foi compreender os processos sedimentares e hidroquímicos em reservatórios tropicais, associados aos regimes hídricos de suas bacias hidrográficas com identificação de fontes de elementos químicos. Desta forma, foram utilizados perfis sedimentares e suas águas intersticiais, além de águas de superfície, de três reservatórios do Estado de São Paulo (Jurumirim, Promissão e Ponte Nova), com o intuito de elucidar a evolução histórica da sedimentação em episódios antes e pós-represa das águas. Em geral, os resultados mostraram que a dinâmica sedimentar foi dependente das vazões afluentes e do volume útil das represas, as quais mostraram taxas de sedimentação entre 0,17 a 5,0 cm ano<sup>-1</sup>, obtidas por medidas de <sup>210</sup>Pb. A construção dos reservatórios alterou a dinâmica de sedimentação e as concentrações dos elementos nos sedimentos, com o enriquecimento de alguns elementos (e.g. Fe, Al) em detrimento de outros (e.g. Na, K) ao longo do tempo. Como resultado, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio passaram a marcar os sedimentos nos reservatórios pós-barramento, cujos contrastes na textura, o carbono orgânico total e concentrações dos elementos e minerais funcionaram como formas indiretas de datação de perfis sedimentares. Concentrações antrópicas de alguns elementos (e.g. P, Ni, As, Mo) nos sedimentos foram evidenciadas, e podem colocar em risco ambiental uma parte dos reservatórios estudados, com elevados fatores de enriquecimento especialmente associados à fração mais lábil dos elementos na matriz sedimentar. Porém, a maioria dos elementos esteve associada à fase residual nos sedimentos dos reservatórios. Os resultados químicos das águas circulantes (composição total, incluindo particulados, e de dissolvidos) indicaram que o transporte dos elementos nos reservatórios ocorreu preferencialmente via material particulado, com tendência de deposição no fundo das represas dependente mais das vazões dos reservatórios (que propiciam maior ou menor energia da corrente) do que do regime pluvial. Equilíbrios de concentrações químicas entre as águas circulantes e as intersticiais foram geralmente identificados, mas ocorreram situações nas quais as águas intersticiais apresentaram concentrações superiores para alguns elementos-traço. Neste caso, as águas intersticiais poderiam ser potenciais fornecedoras de elementos para as águas de superfície. Este estudo revelou que episódio de estratificação térmica, tanto nas águas circulantes quanto nas intersticiais, pode ser um processo marcante em reservatórios, com consequências na solubilidade de elementos. Como resultado, incrementos nas concentrações de Fe e Mn (e outros elementos associados) com a profundidade (devido à queda de temperatura) foram aspectos verificados. Em todos os reservatórios do estudo foi evidenciada uma associação entre as litologias das bacias das represas e o comportamento dos elementos terras raras, cuja presença nos sedimentos foi mais associada a silicatos e oxihidróxidos de Fe/Mn. Anomalias antrópicas de elementos terras raras leves e de gadolínio em sedimentos e águas circulantes, respectivamente, identificadas neste estudo revelaram o impacto que as atividades urbanas e rurais exercem sobre estes ambientes.

**Palavras-chave:** reservatórios; reservatório- sedimentação; sedimentos; Química da água; terras raras.

## ABSTRACT

The construction of dams in rivers causes hydrodynamic and geochemical changes, which can be recorded in their sediments. Studies on sedimentation and the chemical elements partitioning in the physical environment (sediments, interstitial and surface waters) are not common in tropical reservoirs, where hydraulic and climate conditions can play an important role in these processes. The main objective of this thesis is to propose the sedimentary and hydrochemical processes occurring on tropical reservoirs. In this way, sediment cores and both interstitial and surface waters from three reservoirs in São Paulo State (Jurumirim, Promissão and Ponte Nova) were used in order to elucidate the historical evolution of sedimentation in episodes before and after damming of waters. In general, the results showed that the sedimentary dynamics was dependent on the affluent flows and the useful volume of the dams, which showed sedimentation rates between 0.17 and 5.0 cm year<sup>-1</sup>. The construction of the reservoirs altered sedimentation dynamics and sediment elements concentrations, with the enrichment of some elements (e.g. Fe, Al) to the detriment of others (e.g. Na, K). As a result, iron and aluminum oxides and hydroxides were present in sediments of reservoirs. Anthropogenic concentrations of some elements (e.g. P, Ni, As, Mo) in the sediments were evidenced and may put at risk some of the studied reservoirs, with high enrichment factors especially associated with the more labile fraction of the elements in the sedimentary matrix. However, most of the elements were associated with the residual phase in the sediments of the reservoirs. The chemical results of the circulating waters (total composition, including particulates, and dissolved) indicated that the transport of the elements in the reservoirs occurred preferentially by particulate material, with tendency of deposition in the bottom of the dams more dependent on the reservoir flows (which provide higher or lower current energy) than the rainfall regime. Equilibria of chemical concentrations between the circulating and interstitial waters were generally identified, but situations occurred in which interstitial waters presented higher concentrations for some trace elements. In this case, interstitial waters could be potential suppliers of surface water elements. This study revealed that the episode of thermal stratification in both the circulating and interstitial waters can be a notable process in reservoirs, with consequences in the solubility of elements. As a result, striking increases in Fe and Mn concentrations (and associated elements) with depth (due to temperature drop) were verified. In all the reservoirs of the study, a striking association was found between the basin lithologies and the behavior of the rare earth elements, whose presence in the sediments was more associated with silicates and Fe / Mn oxyhydroxides. Anthropogenic anomalies of light rare earth elements and gadolinium in sediments and circulating waters identified in this study revealed the impact that urban and rural activities exert on these environments.

**Keywords:** Reservoir; reservoir sedimentation; sediment; hydrochemistry; Rare Earth Elements

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Localização dos reservatórios de Jurumirim, Promissão e Ponte nova no estado de São Paulo.

Figura 1.2 – Foto da construção da barragem de Jurumirim em 1959 (Duke 2016).

Figura 1.3 – Localização dos pontos de coleta – reservatório de Jurumirim.

Figura 1.4 – Localização dos pontos de coleta – reservatório de Ponte Nova.

Figura 1.5 – Localização dos pontos de coleta – reservatório de Promissão.

Figura 1.6 – Barco utilizado nas coletas.

Figura 1.7 – Procedimento de extrusão do perfil sedimentar, sob fluxo de nitrogênio pressurizado.

Figura 1.8– Garrafa de Van Dorn de descida horizontal.

Figura 1.9 – Fluxograma de coleta de amostras com os métodos e análises efetuadas.

Figura 2.1 – Ciclo do  $^{210}\text{Pb}$  na atmosfera e sedimentos (Ferreira *et al.* 2015).

Figura 2.2 – Gráfico de Datação por  $^{210}\text{Pb}$  obtido para o reservatório de Jurumirim.

Figura 2.3 – Vazão afluente e taxa de sedimentação no reservatório de Jurumirim.

Figura 2.4 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 1 de Jurumirim em janeiro de 2013.

Figura 2.5 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 1 de Jurumirim em julho de 2013.

Figura 2.6 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 1 de Jurumirim em janeiro de 2014.

Figura 2.7 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 2 de Jurumirim em janeiro de 2013.

Figura 2.8 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 3 de Jurumirim em julho de 2013.

Figura 2.9 – Amostras do perfil sedimentar de Jurumirim no ponto 1 em janeiro de 2014; cortes 17, 19 e 20, com resíduos de folhas e gravetos.

Figura 2.10 – variações da argila, volume útil e vazão afluente em função do ano para o reservatório de Jurumirim.

Figura 2.11 – Gráfico de datação por  $^{210}\text{Pb}$  para o ponto 3 – reservatório de Promissão

Figura 2.12 – vazões afluentes médias anuais – reservatório de Promissão.

Figura 2.13 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 1 de Promissão - janeiro de 2013.

Figura 2.14 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 1 de Promissão em julho de 2013.

Figura 2.15 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 1 de Promissão - janeiro de 2014.

Figura 2.16 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 2 de Promissão.

Figura 2.17 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 3 de Promissão.

Figura 2.18 – Fragmentos de folhas e raízes encontrados no perfil coletado no P1 Janeiro 2014 nos cortes 9 e 10.

Figura 2.19 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 1 de Ponte Nova em agosto de 2013.

Figura 2.20 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 1 de Ponte Nova em fevereiro de 2014.

Figura 2.21 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 1 de Ponte Nova em agosto de 2014.

Figura 2.22 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 2 de Ponte Nova em 2013.

Figura 2.23 – Concentrações de alguns elementos determinados em Jurumirim no perfil coletado no ponto 1 em Julho de 2013.

Figura 2.24 – Concentrações dos elementos determinados em Jurumirim no perfil coletado no ponto 1 em Janeiro de 2013.

Figura 2.25 – Mediana, *outliers* e extremos das concentrações de Ti e K nos perfis coletados em Jurumirim.

Figura 2.26 – Dendrograma dos elementos determinados em Jurumirim no perfil coletado no Ponto 1 em Julho de 2013.

Figura 2.27 – Concentrações dos elementos ao longo do perfil coletado em Julho de 2013 no ponto 1 em Jurumirim.

Figura 2.28 – Fator de enriquecimento para Fe e K no perfil de Jurumirim coletado no P1 em janeiro de 2014.

Figura 2.29 – *Box plot* para os elementos Ti (com suas concentrações divididas por 10) e P nos perfis coletados no reservatório de Promissão.

Figura 2.30 – Dendograma dos elementos determinados em Promissão no perfil coletado no Ponto 1 em Julho de 2013.

Figura 2.31 Dendograma dos elementos determinados em Promissão no perfil coletado no Ponto 2.

Figura 2.32 – Concentração dos elementos ao longo do tempo em Promissão – ponto 3.

Figura 2.33 – Fator de enriquecimento determinado para os elementos em Promissão no ponto 3.

Figura 2.34 – Fator de enriquecimento determinado para os elementos em Promissão no ponto 1 em Julho de 2013.

Figura 2.35 – Dendograma dos elementos determinados em Ponte Nova no perfil do Ponto 2.

Figura 2.36 – Concentração dos elementos no perfil coletado em Ponte Nova no ponto 1 em Agosto 2013.

Figura 2.37 Concentração dos elementos no perfil coletado em Ponte Nova no ponto 2.

Figura 2.38 – Fator de Enriquecimento para Na e Fe em Ponte Nova no ponto 1 em Agosto 2013.

Figura 2.39 – Concentração de Fe nos perfis coletados em Jurumirim ao longo do tempo.

Figura 2.40 – Concentrações de Ti nos perfis coletados e Promissão ao longo do tempo.

Figura 2.41 – Concentrações de Fe e K nos perfis coletados em Ponte Nova ao longo do tempo.

Figura 2.42 – Dinâmica dos processos de sedimentação nos reservatórios – características gerais e locais.

Figura 3.1 – Percentuais de cobre em fases sedimentares nos perfis coletados em Jurumirim.

Figura 3.2 – Evolução das concentrações (percentuais em relação ao total) de Cd em Jurumirim no ponto 1 coletado em julho de 2013.

Figura 3.3 – Concentrações percentuais de cobre e níquel (em relação à concentração total) na fase sedimentar associada a carbonatos e trocáveis – reservatório de Promissão.

Figura 3.4 – Percentuais de Mo associados a MO e sulfetos nos perfis coletados em Promissão.

Figura 3.5 – Concentrações percentuais de níquel na fase residual em perfis sedimentares no reservatório de Promissão.

Figura 3.6 - Urânio, Ba e V no reservatórios - percentuais médios das fases sedimentares.

Figura 3.7 – Níquel e cobre nos reservatórios - percentuais médios das fases sedimentares.

Figura 3.8 – Arsênio, Cd e Pb no reservatórios - percentuais médios das fases sedimentares.

Figura 3.9 – Molibdênio, Mn e Fe nos reservatórios - percentuais médios das fases sedimentares.

Figura 4.1 – Concentrações de Li nas amostras de água circulante no reservatório de Jurumirim.

Figura 4.2 – Concentrações de Cr nas amostras de água circulante no reservatório de Jurumirim.

Figura 4.3 – Concentrações de cobre nas amostras de água intersticial em Jurumirim.

Figura 4.4 – Concentrações de Cs nas amostras de água circulante no reservatório de Ponte Nova.

Figura 4.5 – Concentrações de Ti nas amostras de água circulante no reservatório de Ponte Nova.

Figura 4.6 – Concentrações de Co nas amostras de águas intersticiais de Ponte Nova.

Figura 4.7 – Concentrações de Sc nas amostras de águas intersticiais de Ponte Nova.

Figura 4.8 – Concentrações de Ti nas amostras de águas circulantes em Promissão.

Figura 4.9 – Concentrações de Ni nas amostras de águas circulantes em Promissão.

Figura 4.10 – Concentrações de bário nas amostras de água intersticial em Promissão.

Figura 4.11 – Concentrações de Cobre (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) em água intersticial (amostras filtradas) nos perfis do reservatório de Promissão.

Figura 4.12 – Vazões afluentes e defluentes e volume útil do reservatório de Jurumirim.

Figura 4.13 – Concentrações de ferro versus vazão e volume útil em Jurumirim.

Figura 4.14 – Concentrações de alguns elementos em amostras de água filtrada (conteúdo dissolvido) no reservatório de Jurumirim – ponto 1.

Figura 4.15 – Concentrações de K, Mg, Na e Sb em amostras de água filtrada (conteúdo dissolvido) no ponto 1 no reservatório de Jurumirim.

Figura 4.16 – Vazões afluentes e defluentes e volume útil no reservatório de Ponte Nova em 2013 e 2014.

Figura 4.17 – Concentrações de alguns elementos em amostras de água filtrada (conteúdo dissolvido) no reservatório de Ponte Nova no ponto 1 em agosto de 2013 e 2014.

Figura 4.18 – Concentrações de alguns elementos em amostras de água filtrada (conteúdo dissolvido) no reservatório de Ponte Nova no ponto 1.

Figura 4.19 – Vazões afluentes e defluentes e volume útil em Promissão durante os anos de 2013 e 2014.

Figura 4.20 – Concentrações de alguns elementos em amostras de água filtrada (conteúdo dissolvido) no reservatório de Promissão.

Figura 4.21 – Concentrações de alguns elementos em amostras de água filtrada (conteúdo dissolvido) no reservatório de Ponte Nova – Ponto 1 Fev/2014.

Figura 4.22 – Concentrações (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) de Mn, Co, As e Zn nas águas intersticiais (amostras filtradas) dos perfis coletado no ponto 1 em Ponte Nova.

Figura 4.23 – Perfis das concentrações de As em águas circulantes e intersticiais no reservatório de Jurumirim.

Figura 4.24 – Perfis das concentrações de Cr em águas circulantes e intersticiais no reservatório de Jurumirim.

Figura 4.25 – Perfis das concentrações de Co em águas circulantes e intersticiais em Ponte Nova.

Figura 4.26 – Perfis das concentrações de Sc em águas circulantes e intersticial em Ponte Nova.

Figura 4.27 – Perfil das concentrações de Ni em águas circulantes e intersticiais de Promissão.

Figura 4.28 – Perfil das concentrações de Mo em águas circulantes e intersticiais de Promissão.

Figura 5.1 – Interferência e equação de correção para o  $^{151}\text{Eu}$  a partir das concentrações de bário.

Figura 5.2 – Interferência e equação de correção para o  $^{157}\text{Gd}$  a partir das concentrações de cério.

Figura 5.3 – Perfis de sedimento normalizados para os ETRs no reservatório de Jurumirim.

Figura 5.4 – Distribuição das razões La/Yb, Sm/La e Sm/Yb ao longo do tempo nos perfis do reservatório de Jurumirim.

Figura 5.5 – Padrão das rochas fontes da bacia hidrográfica de Jurumirim normalizado por PAAS.

Figura 5.6 – Padrão normalizado por PAAS dos sedimentos e rochas fontes em Jurumirim.

Figura 5.7 – Distribuição dos ETRs nas fases associadas aos sedimentos (óxidos de Fe/Mn e residual) em Jurumirim.

Figura 5.8 – Distribuição dos ETRs pelas fases associadas aos sedimentos (matéria orgânica e sulfetos; carbonatos e trocável) em Jurumirim.

Figura 5.9 – Normalização por PAAS dos ETRs em águas intersticiais extraídas em Jurumirim.

Figura 5.10 – Normalização por PAAS dos ETRS em águas circulantes em Jurumirim.

Figura 5.11 – Concentrações de Yb em amostras de das águas circulantes e intersticiais em Jurumirim.

Figura 5.12 – Concentrações de La em amostras de águas circulantes e intersticiais em Jurumirim.

Figura 5.13 – Padrão normalizado por PAAS dos perfis sedimentares coletados em Promissão.

Figura 5.14 – Razões La/Yb, Sm/La e Sm/Yb nos perfis coletados no reservatório de Promissão.

Figura 5.15 – Padrão normalizado por PAAS de rochas fontes nas proximidades de Promissão.

Figura 5.16 – Padrão normalizado por PAAS das rochas locais e perfis sedimentares de Promissão.

Figura 5.17 – ETRs normalizados relativos às frações do perfil do ponto 3 relativas à década de 1930 e rochas locais.

Figura 5.18 – ETRs em fertilizantes e rochas fosfáticas brasileiras normalizados por PAAS.

Figura 5.19 – Concentrações de Sm associado a trocáveis e carbonatos em sedimentos de Promissão.

Figura 5.20 – Percentuais de ETRs associados às fases sedimentares do reservatório de Promissão.

Figura 5.21 – Padrão normalizado por PAAS dos ETRs em águas circulantes de Promissão.

Figura 5.22 – Percentual das concentrações dos ETRs em amostras dissolvidas das águas circulantes (comparado à concentração total) no reservatório de Promissão.

Figura 5.23 – Padrão normalizado por PAAS dos ETRs em água intersticial extraídos dos perfis do reservatório de Promissão.

Figura 5.24 – Concentrações de La em amostras de águas circulantes e intersticiais em Promissão.

Figura 5.25 – Concentrações de Yb em amostras de águas circulantes e intersticiais em Promissão.

Figura 5.26 – Padrão normalizado por PAAS dos ETRs nos perfis sedimentares de Ponte Nova.

Figura 5.27 – Padrão normalizado por PAAS dos ETRs das rochas do Complexo Costeiro (Dias Neto 2001).

Figura 5.28 – Distribuição das razões entre os ETRs ao longo tempo no reservatório de Ponte Nova.

Figura 5.29 – Distribuição percentual dos ETRs pelas fases associadas aos sedimentos

Figura 5.30 – Distribuição dos ETRs nas fases associadas aos sedimentos (óxidos de Fe/Mn e residual) em Ponte Nova.

Figura 5.31 – Padrão normalizado por PAAS dos ETRs em águas circulantes de Ponte Nova.

Figura 5.32 – Padrões de ETRs normalizados por PAAS em águas intersticiais de Ponte Nova.

Figura 5.33 – Concentrações de Nd em amostras de águas circulantes e intersticiais de Ponte Nova.

Figura 5.34 – Padrões de ETRs normalizados por PAAS nos sedimentos dos reservatórios.

Figura 5.35 – Distribuição dos ETRs em fases sedimentares nos reservatórios estudados.

Figura 5.36 – Percentuais de La, Sm e Yb em fases sedimentares nos reservatórios estudados.

JRM – Jurumirim, PTN – Ponte Nova, PRO – Promissão.

Figura 5.37 – Padrões normalizados de ETRs nos reservatórios em águas circulante e intersticial (amostras filtradas).

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Períodos e pontos de coleta de amostras nos reservatórios.

Tabela 1.2 – Profundidade e números de frações dos perfis coletados nos reservatórios.

Tabela 1.3 – Profundidades (em metros) das coletas de amostras ao longo da coluna de água nas represas.

Tabela 2.1 – Categorias para enquadramento do FE (Sutherland, 2000).

Tabela 2.2 – Correlações profundidade/ano obtidas pelo método de datação com  $^{210}\text{Pb}$  para o perfil do Ponto 1 (janeiro de 2014) em Jurumirim.

Tabela 2.3 – Profundidades de transição e taxas de sedimentação calculadas nos perfis coletados no reservatório de Jurumirim

Tabela 2.4 – Correlações profundidade/ano obtidas pelo método de datação com  $^{210}\text{Pb}$  para o perfil do Ponto 3 – reservatório de Promissão.

Tabela 2.5 – Fatores de Enriquecimento (normalizados com o Sc) para os elementos P, Ni, Cu, Mo, Sb e As em Promissão.

Tabela 3.1 – Classes de risco associado aos percentuais extraídos de um elemento potencialmente tóxico (em relação à massa total) na fase associada a carbonatos e elementos trocáveis.

Tabela 3.2 – Médias e desvios padrões dos elementos nas frações de extração sequencial para o reservatório de Jurumirim nos cinco pontos coletados. Resultados de média e desvio padrão em percentual (%) relativo ao total do elemento.

Tabela 3.3 – Percentual dos elementos na fase residual nos sedimentos do reservatório de Jurumirim.

Tabela 3.4 – Médias e desvios padrões dos elementos nas frações de extração para o reservatório de Promissão nos cinco pontos coletados. Resultados de média e desvio padrão em percentual (%) relativo ao total do elemento.

Tabela 3.5 – Elementos e respectivos percentuais quantificados na fase residual – reservatório de Promissão (resultados médios dos cinco perfis).

Tabela 3.6 – Médias e desvios padrões dos elementos nas frações de extração para o reservatório de Ponte Nova nos cinco pontos coletados. Resultados de média e desvio padrão em percentual (%) relativo ao total do elemento.

Tabela 3.7 – Elementos e percentuais em relação à concentração total nos perfis sedimentares em Ponte Nova (percentuais médios dos quatro perfis).

Tabela 4.1 – Proporção dos elementos na fração dissolvida em relação à concentração total dos elementos ao longo da coluna de água no reservatório de Jurumirim.

Tabela 4.2 – Percentuais médios dos elementos na fração dissolvida em água intersticial no reservatório de Jurumirim.

Tabela 4.3 – Percentuais médios dos elementos na fração dissolvida em água circulante no reservatório de Ponte Nova em comparação com a concentração total.

Tabela 4.4 – Percentuais médios dos elementos na fração dissolvida em água intersticial no reservatório de Ponte Nova em comparação com a concentração total

Tabela 4.5 – Percentuais médios dos elementos na fração dissolvida em água circulante no reservatório de Promissão em comparação com a concentração total.

Tabela 4.6 – Percentuais médios dos elementos na fração dissolvida em água intersticial no reservatório de Promissão em comparação com a concentração total.

Tabela 4.7 – Resultados de parâmetros de campo, Fe, Mn e N-NH<sub>3</sub> em Ponte Nova – P1 Fev/2014.

Tabela 4.8 – Concentrações de elementos (todos em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) em água intersticiais em distintos corpos hídricos ao redor do mundo e nos reservatórios estudados.

Tabela 5.1 – Determinações de Ba e interferências produzidas nos ETRs – resultados em  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Em vermelho, os resultados acima do limite de quantificação.

Tabela 5.2 – Determinações de La e Ce e interferências produzidas nos ETRs – resultados em  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Em vermelho, os resultados acima do limite de quantificação.

Tabela 5.3 – Condições de operação do instrumento X-series2 (Thermo Scientific).

Tabela 5.4 – Massas analíticas para os ETRs e potenciais interferências isobáricas.

Tabela 5.5 – Média e mediana das razões La/Yb; Sm/La; Sm/Yb e Eu/Eu\*

Tabela 5.6 – Razões La/Yb; Sm/La; Sm/Yb e Eu/Eu\* em rochas da bacia hidrográfica de Jurumirim.

Tabela 5.7 – Razões La/Yb, Sm/La, Sm/Yb e Eu/Eu\* para água intersticial e circulante em Jurumirim.

Tabela 5.8 – Razões (o valor apresentado é a média das razões dos perfis) La/Yb, Sm/La, Sm/Yb, Eu/Eu\* e Ce/Ce\* nos perfis coletados em Promissão.

Tabela 5.9 – Razões La/Yb, Sm/La, Sm/Yb, Eu/Eu\*, Eu/Eu\*<sup>2</sup>, Gd\* e Ce/Ce\* em águas circulantes e intersticiais de Promissão.

Tabela 5.10 – Vazão Afluente, volume útil do reservatório de Promissão e concentração de Gd antrópico nas épocas das coletas.

Tabela 5.11 – Razões La/Yb, Sm/La, Sm/Yb e Eu/Eu\* obtidas nos sedimentos de Ponte Nova.

Tabela 5.12 – Razões La/Yb, Sm/La e Sm/Yb e Ce/Ce\* obtidas em Ponte Nova para águas circulantes e intersticiais.

Tabela 5.13 – Somatório e razões dos ETRs em sedimentos dos reservatórios.

Tabela 5.14 – Razões entre os ETRs e anomalias nos reservatórios.

## **SIGLAS E ABREVIACÕES**

ANA – Agência Nacional de Águas.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

COT – Carbono Orgânico Total.

$E_H$  – Potencial de oxido-redução (apresentado os dados obtidos em campo corrigidos para o EPH – Eletrodo Padrão de Hidrogênio).

ETRs – Elementos Terras Raras.

ETRL – Elementos Terras Raras Leves – do La ao Nd (La, Ce, Pr, e Nd).

ETRM – Elementos Terras Raras Médios – do Sm ao Dy (Sm, Eu, Gd, Tb e Dy).

ETRP – Elementos Terras Raras Pesados – do Ho ao Lu (Ho, Er, Tm, Yb e Lu).

FE – Fator de Enriquecimento.

JRM – Reservatório de Jurumirim.

La/Yb – Razão normalizada entre lantânio e itérbio.

NIST - National Institute of Standards and Technology

OD – Oxigênio Dissolvido.

MO – Matéria Orgânica.

PRO – Reservatório de Promissão.

PTN – Reservatório de Ponte Nova.

SAR – Sistema de Acompanhamento de Reservatórios.

Sm/La – Razão normalizada entre samário e lantânio

Sm/Yb – Razão normalizada entre samário e itérbio

TOC – Total Organic Carbon.

UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	27
1 ÁREAS DE ESTUDO: HISTÓRICO DAS REPRESAS, ASPECTOS GEOLÓGICOS, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E AMOSTRAGEM.....	33
1.1 Reservatório de Jurumirim.....	35
1.2 Reservatório de Ponte Nova .....	36
1.3 Reservatório de Promissão .....	37
1.4 Coletas de amostras e métodos analíticos.....	38
1.4.1 Coleta dos perfis sedimentares.....	40
1.4.2 Coleta de amostras de água .....	42
1.5 Referências.....	45
2 HISTÓRICO E TAXA DE SEDIMENTAÇÃO NAS REPRESAS DE JURUMIRIM, PROMISSÃO E PONTE NOVA E A DINÂMICA DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS MAIORES E TRAÇO.....	47
2.1 Introdução.....	47
2.2 Materiais e métodos .....	49
2.2.1 Determinação da concentração de elementos .....	49
2.2.2 Granulometria, mineralogia e carbono orgânico total em sedimentos.....	50
2.2.3 Fator de enriquecimento (FE) .....	51
2.2.4 Datação com <sup>210</sup> Pb.....	53
2.3 Resultados e Discussão .....	55
2.3.1 Datação por <sup>210</sup> Pb e modelo de sedimentação .....	55
2.3.1.1 Reservatório de Jurumirim .....	55
2.3.1.2 Textura, carbono orgânico e o histórico e modelo de sedimentação em Jurumirim	57
2.3.1.3 Reservatório de Promissão .....	65
2.3.1.4 Textura, Carbono Orgânico e o histórico e modelo de sedimentação em Promissão	68
2.3.2 Modelo de sedimentação fundamentado na textura e COT a partir dos perfis datados com <sup>210</sup> Pb	74
2.3.2.1 Textura, COT e a estimativa da taxa de sedimentação média no reservatório de Ponte Nova.....	76
2.3.3 Geoquímica e mineralogia dos sedimentos nos reservatórios .....	80
2.3.3.1 Reservatório de Jurumirim .....	80
2.3.3.2 Reservatório de Promissão .....	88
2.3.3.3 Reservatório de Ponte Nova .....	95

2.3.4	A datação por $^{210}\text{Pb}$ e as alterações texturais, de COT e elementos maiores em perfis sedimentares como formas de estimativa da taxa de sedimentação e a dinâmica deposicional nos reservatórios.....	100
2.4	Conclusões.....	106
2.5	Referências.....	107
3	PARTIÇÃO DE ELEMENTOS EM FASES LIGANTES EM PERFIS SEDIMENTARES NOS RESERVATÓRIOS DE JURUMIRIM, PROMISSÃO E PONTE NOVA.....	110
3.1	Introdução.....	110
3.2	Materiais e métodos .....	113
3.2.1	Protocolo de Extração Sequencial e critério de risco ambiental .....	113
3.3	Resultados e discussão.....	115
3.3.1	Extração sequencial em sedimentos.....	115
3.3.2	Reservatório de Jurumirim.....	116
3.3.3	Reservatório de Promissão .....	119
3.3.4	Reservatório de Ponte Nova .....	124
3.3.5	Elementos e fases nos reservatórios.....	125
3.4	Conclusões.....	130
3.5	Referências.....	131
4	HIDROQUÍMICA, PARTIÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ELEMENTOS EM ÁGUAS CIRCULANTES E INTERSTICIAIS NOS RESERVATÓRIOS DE JURUMIRIM, PONTE NOVA E PROMISSÃO, SÃO PAULO ....	133
4.1	Introdução.....	133
4.2	Materiais e métodos .....	135
4.2.1	Coluna de água (água circulante).....	135
4.2.2	Água intersticial.....	136
4.3	Resultados e discussão.....	137
4.3.1	Jurumirim .....	139
4.3.1.1	Água circulante.....	139
4.3.1.2	Água intersticial.....	142
4.3.2	Ponte Nova.....	143
4.3.2.1	Água circulante.....	143
4.3.2.2	Água intersticial.....	146
4.3.3	Promissão .....	149
4.3.3.1	Água circulante.....	149
4.3.3.2	Água intersticial.....	151

4.3.4	A sazonalidade e os efeitos das vazões nos reservatórios sobre a solubilidade e a concentração dos elementos .....	153
4.3.5	A estratificação térmica e os efeitos nas concentrações dos elementos nas águas circulantes e intersticiais: o caso do reservatório de Ponte Nova .....	164
4.3.6	As distintas dinâmicas entre águas circulantes e intersticiais nos reservatórios .....	167
4.4	Conclusões.....	173
4.5	Referências.....	174
5	ELEMENTOS TERRAS RARAS EM RESERVATÓRIOS DO ESTADO DE SÃO PAULO: HIDROQUÍMICA, PARTIÇÃO E ANOMALIAS EM ÁGUAS E SEDIMENTOS .....	177
5.1	Introdução.....	177
5.2	Materiais e métodos .....	178
5.2.1	Coluna de água (água circulante) e água intersticial .....	178
5.2.2	Protocolo de extração sequencial e concentração total dos elementos em sedimentos .....	179
5.2.3	Determinação das concentrações dos ETRs em amostras de água e sedimento por ICP-MS e correções de interferências.....	179
5.2.4	Normalização dos ETRs .....	184
5.3	Resultados e discussão.....	185
5.3.1	Reservatório de Jurumirim.....	186
5.3.1.1	Concentrações de ETRs em sedimentos .....	186
5.3.1.2	Extração sequencial.....	191
5.3.1.3	Água intersticial e coluna de água.....	193
5.3.2	Reservatório de Promissão .....	198
5.3.2.1	ETRs em Sedimentos .....	198
5.3.2.2	Extração sequencial.....	205
5.3.2.3	Águas circulantes e intersticiais .....	207
5.3.3	Reservatório de Ponte Nova .....	213
5.3.3.1	ETRs em Sedimentos .....	213
5.3.3.2	Extração sequencial.....	216
5.3.3.3	Águas circulantes e intersticiais .....	218
5.3.4	Elementos terras raras em reservatórios de São Paulo: aspectos comuns e peculiaridades .....	221
5.4	Conclusões.....	227
5.5	Referências.....	228
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	234
7	REFERÊNCIAS.....	236

ANEXO A – LIMITES DE QUANTIFICAÇÃO, CONTROLE DE QUALIDADE ANALÍTICA, RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS MATERIAIS DE REFERÊNCIA CERTIFICADOS (MRC) DETERMINADOS. ....	242
ANEXO B – RESULTADOS DE TEXTURA E CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) OBTIDOS NAS FRAÇÕES DOS PERFIS SEDIMENTARES COLETADOS NOS RESERVATÓRIOS.....	266
ANEXO C – DIFRATOGRAMAS .....	269
ANEXO D – RESULTADOS DA CONCENTRAÇÃO TOTAL DE ELEMENTOS NOS PERFIS COLETADOS NOS RESERVATÓRIOS.....	280
ANEXO E – RESULTADOS OBTIDOS NAS FRAÇÕES LIGANTES ATRAVÉS DA EXTRAÇÃO SEQUENCIAL NOS PERFIS SEDIMENTARES COLETADOS. ....	303
ANEXO F – RESULTADOS OBTIDOS EM CAMPO, Ânions e Nutrientes; e resultados dos elementos nas frações total e dissolvida das amostras da coluna de água e água intersticial. ....	335
ANEXO G – RESULTADOS OBTIDOS NOS RESERVATÓRIOS DE JURUMIRIM, PROMISSÃO E PONTE NOVA PARA OS ELEMENTOS TERRAS RARAS NAS MATRIZES ANALISADAS.....	384

## APRESENTAÇÃO

Com sua repleta hidrografia, o Brasil é um dos países com maior capacidade hídrica no mundo. Como consequência, o aproveitamento das águas superficiais é fato notório no país, tanto para o consumo humano, quanto para a geração de energia elétrica a partir dos cursos de água. Para maximizar o aproveitamento hídrico, é necessária a construção de reservatórios, com a finalidade de regularizar o fluxo das águas e manter uma geração de energia constante ao longo do tempo, sem preocupações com os períodos de estiagem.

A construção de reservatórios provoca alteração no regime hídrico do rio, com substanciais mudanças na dinâmica do mesmo. Ao ser barrada, a velocidade da água altera-se, e o regime lótico, comum ao rio, passa para um regime lântico, de velocidade reduzida. Esta baixa velocidade de escoamento facilita a deposição dos materiais finos particulados em suspensão carregados pelas águas, acumulando estes no fundo dos reservatórios, formando seus sedimentos.

Logo, é esperado que em reservatórios a sedimentação tenha uma importância e destaque próprios. Enquanto os sedimentos de um rio sofrem com episódios de cheias extremas, que inclusive podem deslocar o leito do rio, e secas severas, que podem expor os sedimentos a condições oxidantes, os sedimentos de um reservatório apresentam uma característica de maior estabilidade. Isso ocorre devido à capacidade da barragem de regularizar a vazão, onde as situações de cheia e seca não causam alterações tão significativas quanto nos ambientes fluviais.

Desta forma, os sedimentos de reservatórios propiciam um registro histórico dos processos que ocorreram pré e pós-barramento, pois os registros paleolimnológicos destes sedimentos são mais bem preservados, e podem ser inclusive datados com muita precisão, ou seja, podem mostrar a idade e a taxa deposicional mediante as quais as partículas foram sedimentadas.

Para este fim, perfis de sedimentos são coletados com tubos longos e perpendiculares ao leito do reservatório, onde os sedimentos superficiais retratam o caráter deposicional mais recente, enquanto os sedimentos mais profundos retratam um quadro histórico de sedimentação pretérita. Assim, o estudo e o conhecimento das condições pré-representamento são fundamentais para o entendimento das alterações atuais provocadas pela

nova dinâmica de sedimentação. Entretanto, não se tem de uma forma muito bem estabelecida quais mecanismos podem ser utilizados para tais caracterizações, antes e depois da construção de um reservatório.

Ainda em relação ao caráter histórico que os sedimentos possuem, estes podem ser considerados bons indicadores da poluição ambiental, pelo fato de eles serem o destino final de grande parte dos elementos químicos emitidos por fontes antrópicas que se somam às naturais. Nesta estudo, vários termos e expressões relacionados à concentração dos elementos em ambientes aquáticos são usados e aqui resumidos. Em geral, a determinação da concentração total de elementos em sedimentos não traz informações precisas, por exemplo, sobre sua disponibilidade à biota, tratada nesta tese como a concentração de um elemento disponível para a biota ou homem em uma matriz ambiental, incluindo sedimento e água (Quinágua 2006; Miller 2011; Manahan, 2013). Outro aspecto importante diz respeito à possibilidade de toxicidade que estes elementos podem oferecer, a qual diz respeito à capacidade de um composto ou elemento químico de afetar de forma adversa uma função biológica de um ser vivo (Miller 2011; Manahan, 2013). O termo contaminação tem sido tratado na literatura como introdução no ambiente de concentrações de substâncias ou elementos em desacordo com padrões ou valores considerados normais, com possibilidade de alterar o ecossistema (Quinágua 2006; Miller 2011; Manahan, 2013). Já a poluição refere-se conceitualmente ao dano químico ao ambiente provocado pelo homem que causa efeitos adversos à biota ou ao ser humano (Quinágua 2006; Miller 2011; Manahan, 2013). Isso depende, dentre outros aspectos, do tipo de associação do elemento químico, ou seja, da forma química associada (ou ligada) que os elementos se encontram, e também da composição geral da matriz sedimentar, por exemplo.

Nas avaliações sobre a disponibilidade de elementos em sedimentos, a concentração total é apenas o “ponto de partida”. Esta informação não permite de forma clara inferir se os elementos em estudo (independente de seu caráter tóxico ou não) têm origem natural ou antrópica e tampouco sobre mobilidade (capacidade de deslocamento de uma substância ou elemento em um meio – água, solo ou sedimento) (Manahan 2013). Para conseguir estas respostas, os processos de extração sequencial têm destaque no cenário ambiental. A técnica visa caracterizar o potencial de partição, mobilidade e associação dos metais nas fases inorgânicas e orgânicas do sedimento, as quais podem inferir também o grau de disponibilidade de elementos, com o foco no risco ambiental que altas concentrações dos elementos nos sedimentos podem propiciar.

Ainda sobre os elementos químicos, estes ao serem depositados nos sedimentos podem ainda interagir com outras espécies químicas ali presentes e serem efetivamente fixados no sedimento de forma não disponível. Ademais, podem permanecer em formas que possam ser acessíveis à biota local (biodisponibilidade), sejam como complexos inorgânicos ou orgânicos, na forma livre (não complexada - iônica). Desta forma, não só a determinação dos metais em sedimentos, mas também a quantificação destes na água existente em seus interstícios (ou seja, água de poro ou água intersticial) poderão trazer informações mais corretas em relação às concentrações de metais disponíveis, capazes de produzir efeitos tóxicos adversos.

A água intersticial do sedimento é a que concentra a maior parte dos elementos metálicos propensos à biodisponibilidade, se comparada, por exemplo, à água de superfície (coluna d'água). Esta fase aquosa (água intersticial) também está em contato com a água de fundo (base da coluna d'água) e pode disponibilizar não somente os metais, mas também nutrientes e/ou ânions dos sedimentos para a coluna d'água. Uma análise integrada entre a água circulante de um reservatório e as águas intersticiais pode indicar se os sedimentos atuam como fonte (ao fornecer os elementos para a massa de água) ou sumidouro (deposição final) dos elementos em reservatórios.

Outro aspecto importante na avaliação geoquímica de reservatórios diz respeito às flutuações hidrodinâmicas. O regime hídrico do reservatório (épocas de chuvas e estiagem, evaporação, diferenças de temperatura ao longo do dia e anual) pode provocar alterações significativas no comportamento de um reservatório. Portanto, além de uma avaliação que cubra os períodos de alta e baixa pluviometria, é necessário também considerar que reservatórios de climas tropicais estão sujeitos a variações maiores de temperatura ao longo do dia e do ano, que pode provocar os fenômenos de estratificação térmica, que inicialmente provoca uma separação das massas de água, prevalecendo na parte superior dos lagos as águas quentes e menos densas, e no fundo, águas mais frias e de maior densidade.

Em função disto, não há mistura destas massas, e as águas superficiais passam a apresentar condições mais oxidantes do que as águas de fundo, que acabam por ter características mais redutoras em função da deficiência de oxigênio dissolvido. Além disso, a falta de mistura provocada pelo contraste de densidades das águas em um perfil vertical da massa aquosa do reservatório é um aspecto a ser considerado. Apesar de ser um processo comum em reservatórios tropicais, notadamente em reservatórios de menor porte, muitos estudos sobre estratificação térmica de represas objetivaram avaliar as condições físico-

químicas dominantes nestes e os processos de disponibilidade de nutrientes para o lago, sem um foco específico na dinâmica que este processo pode provocar nos elementos químicos (Esteves 1988; Luzia 2004; Rodgher *et al.* 2005; Jorcin & Nogueira 2005; Costa & Henry 2010).

Finalmente, em se tratando de aspectos deposicionais, os elementos terras raras (ETR) são considerados bons indicadores de fontes (Cornu & Laveuf 2009; Deberdt *et al.* 2002; McLennan 1989). Apresentam um comportamento ambiental muito similar e têm sido estudados nos últimos anos em diversas matrizes ambientais, muito em função das novas descobertas de usos destes elementos, que têm crescido no mundo e vão desde a utilização em exames laboratoriais até a dopagem de ligas metálicas para fortalecimento de propriedades específicas, passando pela agricultura (via impurezas em fertilizantes). São inclusive considerados poluentes emergentes devido a algumas utilizações pontuais que provocam um desequilíbrio dos padrões normalizados, gerando resultados anômalos, para um ou alguns destes elementos, nos compartimentos ambientais, notadamente nas águas. Apesar de os estudos sobre estes elementos já serem bem difundidos, ainda há questões em aberto sobre os ETRs em ambientes tropicais, mais especificamente no Brasil e em reservatórios.

O objetivo principal deste estudo é compreender os processos sedimentares e hidroquímicos em reservatórios tropicais associados aos regimes hídricos de suas bacias hidrográficas com identificação de fontes de elementos químicos.

Para alcançar este objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos;

1 – Compreender a dinâmica sedimentar de reservatórios por meio de perfis sedimentares e sua associação com o regime hídrico e os aspectos deposicionais antes e após a construção das barragens. Neste aspecto, a determinação da taxa de sedimentação é um aspecto importante deste estudo;

2 – Definir a mobilidade de elementos nas fases sedimentares por meio da extração sequencial (método operacionalmente definido) para avaliar os conteúdos lábil e residual dos elementos, e definir o risco ambiental para elementos de origem antrópica;

3 – Verificar como se dá o transporte dos elementos (formas particulada, coloidal e dissolvida) para os reservatórios, a partição dos elementos nas águas intersticiais e circulantes, a ocorrência de estratificação térmica, e os efeitos das condições físico-químicas sobre a distribuição de elementos em um reservatório;

4 – Avaliar as concentrações dos ETRs nos sedimentos antes e após as construções dos reservatórios, verificar como se dá a dinâmica de transporte destes elementos, as partições nas fases sedimentares, águas de superfície e intersticiais, e as relações destas partições com as formações geológicas e fontes antrópicas.

Esta tese está dividida em cinco capítulos. O primeiro apresenta os reservatórios objeto de estudo, suas formações geológicas e solos da bacia de drenagem, características demográficas e de uso e ocupação territorial, e finalmente os pontos e métodos de coletas das amostras.

O segundo capítulo versa sobre a dinâmica de sedimentação e a geoquímica dos reservatórios, a datação pelo método clássico do  $^{210}\text{Pb}$ , como também por meio de outros marcadores, tais como características texturais, geoquímicas e mineralógicas dos sedimentos. São verificados processos comuns de sedimentação em lagos artificiais que podem ser extrapolados para outras situações para determinar a taxa de sedimentação média e algumas particularidades dos reservatórios estudados.

No terceiro capítulo é tratada a partição dos elementos nas fases sedimentares associadas a carbonatos e trocáveis; associados aos oxi-hidróxidos de Fe/Mn; associados à matéria orgânica e sulfetos e à fase residual, e a verificação do risco ambiental associado aos elementos nos sedimentos dos reservatórios de acordo com as concentrações na fase mais lábil.

A hidroquímica dos reservatórios é o tema do quarto capítulo, com discussões sobre as águas circulantes e intersticiais nos reservatórios. São avaliados o transporte dos elementos para os reservatórios, os efeitos da estratificação térmica da coluna de água sobre a dinâmica dos elementos e a importância da vazão nos processos hidroquímicos.

Por fim, o último capítulo aborda os ETRs nos reservatórios em estudo. O texto discorre sobre as alterações que o barramento pode provocar em suas dinâmicas sedimentares, as partições destes elementos entre as fases do sedimento, e as anomalias verificadas, tanto litológicas quanto antrópicas.

## REFERÊNCIAS

- Costa, M.L.R. & Henry, R. 2010. Phosphorus, nitrogen, and carbon contents of macrophytes in lakes lateral to a tropical river (Paranapanema River, São Paulo, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensis*, **22(2)**:122-132
- Cornu C. & Laveuf S. 2009. A review on the potentiality of Rare Earth Elements to trace pedogenetic processes. *Geoderma*, **154**:1–12
- Debert S., Viers J, Dupré B. 2002. New Insights about rare earth elements REE mobility in river waters. *Bull. Soc. Geol. France*, **173(2)**:147-160.
- Esteves F. A. 1988. *Fundamentos de Limnologia*. Interciência/FINEP. Rio de Janeiro.398pp.
- Jorcín, A. & Nogueira, M. G. 2005; Temporal and spatial patterns based on sediment and sediment–water interface characteristics along a cascade of reservoirs (Paranapanema River, south-east Brazil). *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, **10**:1–12
- Luzia, A.P. 2004 Limnologia e grau de trofia dos reservatórios em cascata do rio tietê (médio e baixo tietê, São Paulo). Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo,120p.
- McLennan, S.M., 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks. Influence of provenance and sedimentary processes. *In: Lipin, B.R., McKay, G.A. (Eds.), Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements. Rev. Mineral. vol. 21*:169–200
- Miller, G. Tyller. 2011. *Ciência Ambiental*. São Paulo, Cengage Learning, 501pp.
- Manahan, S. E. 2013. *Química Ambiental*. Porto Alegre, Bookman, 912pp.
- Quinágua G. A. 2006. Caracterização de Níveis basais de concentração de Metais nos sedimentos do sistema estuarino da baixada Santista. Tese de Doutorado, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, 168p
- Rodgher S., Espíndola E.L.G., Rocha O., Fracácio R., Pereira R.H.G., Rodrigues M.H.S. 2005. Limnological and ecotoxicological studies in the cascade of reservoirs in the Tietê river (São Paulo, Brazil). *Braz. J. Biol.*, **65(4)**: 697-710

## **1 ÁREAS DE ESTUDO: HISTÓRICO DAS REPRESAS, ASPECTOS GEOLÓGICOS, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E AMOSTRAGEM**

Foram estudados três reservatórios no estado de São Paulo, a saber.

O reservatório de Jurumirim está localizado na região sudoeste do estado de São Paulo, possui uma área alagada de 546 km<sup>2</sup> e situado entre as coordenadas S 23°13'09'' a 23°28'31'' e O 49°13'30'' a 48°38'09''. Foi construído para aproveitamento hidroelétrico e é o primeiro reservatório da região do alto Paranapanema. A área alagada total se estende pelos municípios de Piraju, Tejupá, Taquarituba, Itaí, Itatinga, Paranapanema, Avaré, Cerqueira Cesar, Angatuba e Arandu. O reservatório e sua área de drenagem estão totalmente inseridos na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) denominada “Alto Paranapanema” – UGRHI 14 (CETESB 2011), considerada a maior do estado de São Paulo com pouco mais de 22 mil km<sup>2</sup> (CETESB 2009).

A ocupação da bacia hidrográfica caracteriza-se por ter sua área de drenagem ocupada por 14% de áreas preservadas (florestas e áreas reflorestadas) e apenas 2% da população do Estado (cerca de 800 mil habitantes).

Este reservatório foi escolhido como tema desta tese justamente por estar localizado em uma das poucas regiões com áreas preservadas no estado de São Paulo. Existem poucas e pequenas indústrias na região, e a agricultura desta bacia hidrográfica ser apenas a de subsistência ou familiar, pequenos e médios agricultores, sem papel de destaque para a agroindústria.

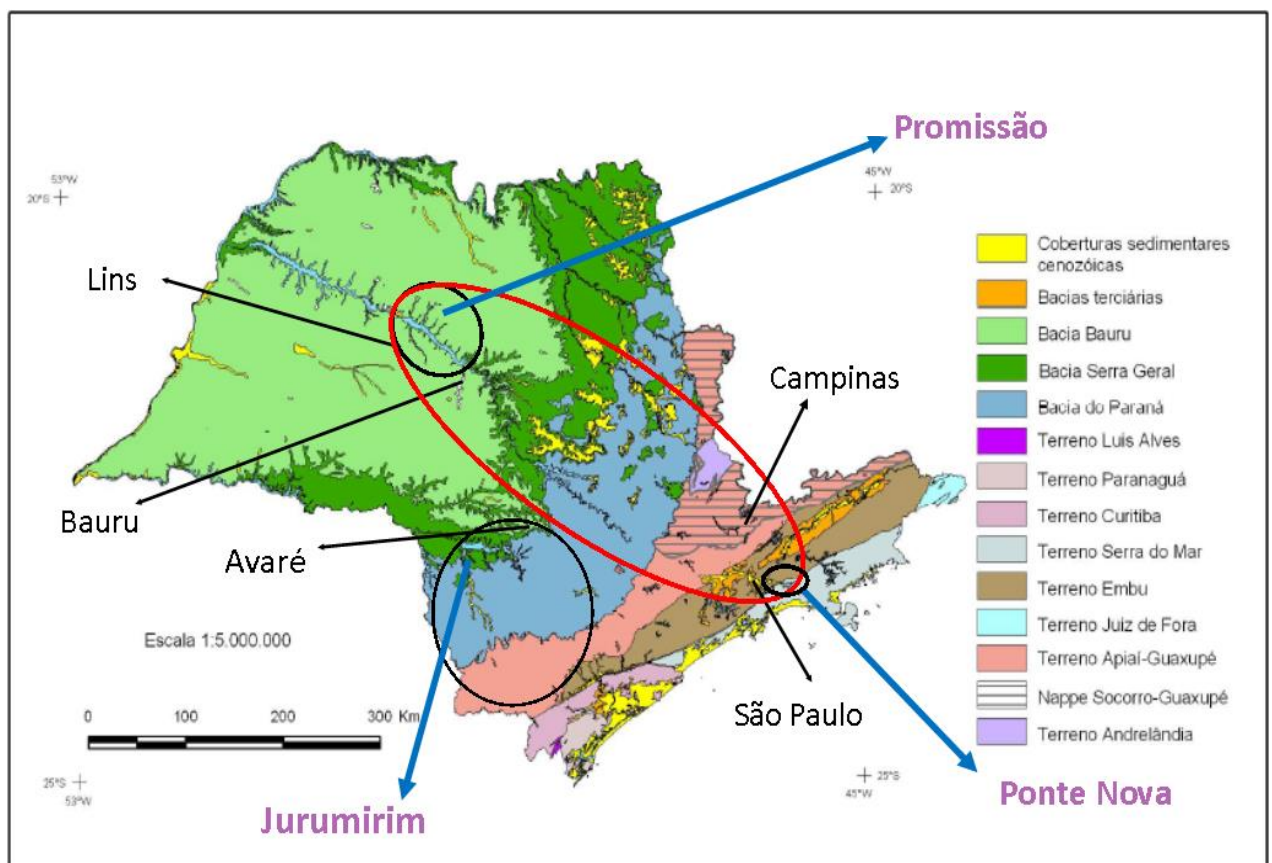
O reservatório de Promissão está localizado na região central do estado de São Paulo, no rio Tietê, dentro da UGRHI 16 (Tietê–Batalha). Sua finalidade primordial é a geração de energia elétrica. Abrange os municípios de Promissão, Guaiçara, Pongai, Pirajuí, Ibitinga, Borborema, Novo Horizonte, Sales Adolfo José Bonifácio e Iacanga. Com uma área alagada de 530 km<sup>2</sup>, está localizado entre as coordenadas S21°17'07'' – 21°45'45'' e O 49°45'54'' – 49°02'00''.

A população desta UGRHI foi estimada para 2016 em 570 mil habitantes (CBH-TB, 2008), pouco mais de um por cento da total do Estado de São Paulo, e destacam-se na região as atividades agropastoris, com ênfase à agroindústria (CETESB 2009). A escolha deste reservatório deu-se exatamente por este motivo, pela grande atividade agrícola inserida nesta bacia hidrográfica do médio Tietê.

O reservatório de Ponte Nova está inserido dentro da região metropolitana de São Paulo (UGRHI 6 – Alto Tietê), entre as cidades de Salesópolis e Biritiba-Mirim. Possui área alagada de 28 km<sup>2</sup> e as coordenadas do reservatório são S 23°34'39'' – 23°38'07'' e O 45°58'18'' – 45°54'30'32''. É um reservatório utilizado exclusivamente para abastecimento público.

A opção de escolha por este reservatório foi pelo fato de ser o reservatório mais a montante do rio Tietê, com trabalhos (Monteiro Jr 2006; Moraes 2011; Mortatti *et al.* 2012) citando o comprometimento da qualidade de suas águas e sedimentos.

A seguir, serão detalhados os aspectos operacionais e geológicos dos reservatórios estudados e sobre as coletas de amostras, e a Figura 1.1 apresenta a localização destes reservatórios situados dentro do estado de São Paulo, com a extensão (aproximada) de suas áreas de drenagem, localização (aproximada) de algumas cidades e formações geológicas (detalhadas mais adiante).



Legenda: círculo preto – área de drenagem direta. Elipse vermelha – área de drenagem indireta.

Figura 1.1 – Localização dos reservatórios de Jurumirim, Promissão e Ponte Nova no estado de São Paulo (Adaptada de Perrota *et al.* 2005).

## 1.1 Reservatório de Jurumirim

A represa Armando Avellanal Laydner, mais conhecida como represa de Jurumirim, é o primeiro reservatório do rio Paranapanema, na região conhecida como alto Paranapanema, no estado de São Paulo. A barragem deste reservatório começou a ser construída em 1956, e o início do enchimento do reservatório aconteceu em outubro de 1961 com operação para aproveitamento hidroelétrico em 1962. A Figura 1.2 apresenta uma foto da construção da barragem em 1959 (Duke 2016).

Sua área total de drenagem é de 17,8 mil km<sup>2</sup>, com volume máximo total de 7,0 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> e área alagada de 546 km<sup>2</sup>. A profundidade média aproximada da represa é de 15 m, e a extensão do lago é de aproximadamente 100 km no rio Paranapanema e 40 km no rio Taquari, os principais formadores, além de outros tributários de menor porte. A vazão média na usina de Jurumirim é de 200 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> e o tempo de residência médio da água neste reservatório é de 405 dias (CESP 1998; Duke 2016).



Figura 1.2 – Foto da construção da barragem de Jurumirim em 1959 (Duke 2016).

O reservatório em si está inserido no contexto litológico da Província Magmática do Paraná, com parte na Bacia Serra Geral, nas formações Serra Geral (basalto e andesito basalto tholeítico) e Botucatu (arenito) e parte na Bacia do Paraná, na Formação Pirambóia (arenito) (Perrota *et al.* 2005). Entretanto, a área de drenagem da represa abrange, ainda dentro da Bacia do Paraná, algumas formações do Grupo Passa Dois – as de Serra Alta,

Teresina e Irati (arenito, folhelho, siltito e argilito), o Grupo Itararé (arenito, tilito, siltito e folhelho) e todas as formações do Grupo Guatá (siltito, arcóseo, arenito e folhelho) (Perrota *et al.* 2005).

As cabeceiras dos principais rios da bacia estão situadas na Província Mantiqueira, em diversas unidades e formações do Super Grupo Açungui (metarenito, metadolomito, metasiltito, metagrabo, metadiabásio, filito, quartzito dentre outras) e também da Formação Iporanga (granito e gnaisse) (Perrota *et al.* 2005).

Em relação aos solos, os latossolos são predominantes na área da bacia de drenagem de Jurumirim, contando ainda com nitossolos, argissolos, neossolos e cambissolos em menores proporções na região do reservatório (Oliveira *et al.* 1999).

## 1.2 Reservatório de Ponte Nova

Situado entre as cidades de Salesópolis e Biritiba-Mirim, possui cota máxima (altitude máxima) de 770 m, com área de 28km<sup>2</sup> e bacia de drenagem de 320 km<sup>2</sup>. Abrange a totalidade do município de Salesópolis e parcialmente a cidade de Biritiba-Mirim. O volume de acumulação de água do reservatório é de 0,29x10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>, com vazão média anual de 5,4 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. É a primeira barragem de maior porte na calha do rio Tietê (mais à montante), sendo este rio e o rio Claro seus principais contribuintes (DAEE 2016; Monteiro Jr. 2006).

Concluída em 1971, tem como objetivo inicial o controle de vazão do rio na região metropolitana de São Paulo com vistas ao controle de enchentes, mas atualmente é utilizado para abastecimento público, pois integra o Sistema Produtor Alto Tietê (SPAT), controlado pela SABESP. Este reservatório faz parte deste sistema produtor, onde um total de quatro represas são interligadas por túneis à estação de tratamento de água de Taiapuêba. Por fazer parte de um sistema, a retirada de água para tratamento em Ponte Nova segue os interesses da SABESP, que retira quantidades variáveis de água deste conjunto de represas de acordo com suas necessidades, sem estabelecer um volume fixo de vazão tratada de cada um deles. Em função disto, seu tempo de retenção é muito variável e oscila de 5 a 80 dias (DAEE 2016; Monteiro Jr. 2006).

Geologicamente, está inserido no terreno Serra do Mar e Complexo Costeiro, e as formações rochosas predominantes referem-se a rochas magmáticas (intrusivas e vulcânicas) e metamórficas (metagranitos e gnaisses) do Proterozoico (Perrota *et al.* 2005). Em relação

aos solos, argissolos, cambissolos e organossolos são os tipos predominantes na área da bacia de drenagem de Ponte Nova (Oliveira *et al.* 1999).

### 1.3 Reservatório de Promissão

O reservatório de Promissão é o quarto reservatório do rio Tietê no sistema conhecido como “reservatórios em cascata” (Rodgher *et al.* 2005; Zanata 2005) construídos durante as décadas de 1960-70 ao longo do rio Tietê, no interior do estado de São Paulo, na região do médio e baixo Tietê. Os três reservatórios a montante são Barra Bonita, Bariri e Ibitinga, e, após Promissão, estão as represas de Nova Avanhandava e Três Irmãos. Todos estes reservatórios foram construídos visando o aproveitamento hidroelétrico do rio Tietê.

A bacia hidrográfica de drenagem direta do Reservatório de Promissão tem área de 13,2 mil km<sup>2</sup>, correspondente a área de drenagem após o reservatório de Ibitinga (Figura 1.1 – círculo preto), e a área indireta de 51,8 mil km<sup>2</sup> (Figura 1.1 – elipse em vermelho), quando se considera desde a nascente do Rio Tietê, em Salesópolis, e inclui os dois maiores centros urbanos do estado: a região metropolitana de São Paulo e a região metropolitana de Campinas (CETESB 2009; CESP 1998).

A área alagada é de 530 km<sup>2</sup> e o volume útil de acumulação de  $8,1 \times 10^9$  m<sup>3</sup>. A extensão total desta represa é de 110 km ao longo do rio Tietê. A represa foi construída entre 1966 e 1974, com o início do alagamento em Julho de 1974. O tempo de residência médio de suas águas é de 134 dias, e pode atingir até 450 dias no inverno. Na barragem de Promissão, o rio Tietê apresenta vazão média de  $640 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , sendo que  $520 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  vêm do reservatório de montante (Ibitinga), ou seja, a vazão média drenada na área de influência direta é de  $120 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (AES Tietê 2016; CESP 1998; Zanata 2005 e Espíndola *et al.* 2003).

O reservatório e sua área de drenagem direta estão inseridos geologicamente no contexto do Grupo Bauru, e abrange as formações Vale do Rio do Peixe e Araçatuba, compostas por arenitos e siltitos; e o Grupo São Bento, em áreas da Formação Serra Geral (rochas vulcânicas básicas – basalto e andesito basalto tholeítico) (Perrota *et al.* 2005). Todo este contexto é referido ao Mesozoico (Perrota *et al.* 2005). Em relação aos solos, argissolos e latossolos são os tipos predominantes na área de influência direta de Promissão, com ainda mínimas inserções de gleissolos (Oliveira *et al.* 1999).

#### 1.4 Coletas de amostras e métodos analíticos

As amostras de coluna de água e de sedimento foram coletadas durante os anos de 2013 e 2014, conforme indicado na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Períodos e pontos de coleta de amostras nos reservatórios.

Represa	1º campanha	2º campanha	3º campanha	4º campanha
Jurumirim	Janeiro/2013 (1,2)	Julho/2013 (1,3)	Janeiro/2014 (1)	Julho/2014 (1)
Promissão	Janeiro/2013 (1)	Julho/2013 (1)	Janeiro/2014 (1,2)	Julho/2014 (1)
Ponte Nova	Agosto/2013 (1)	Fevereiro/2014 (1,2)	Agosto/2014 (1)	

Os números entre parênteses refere-se ao ponto coletado na respectiva campanha.

As Figuras 1.3 a 1.5 apresentam os mapas dos reservatórios com os pontos coletados.

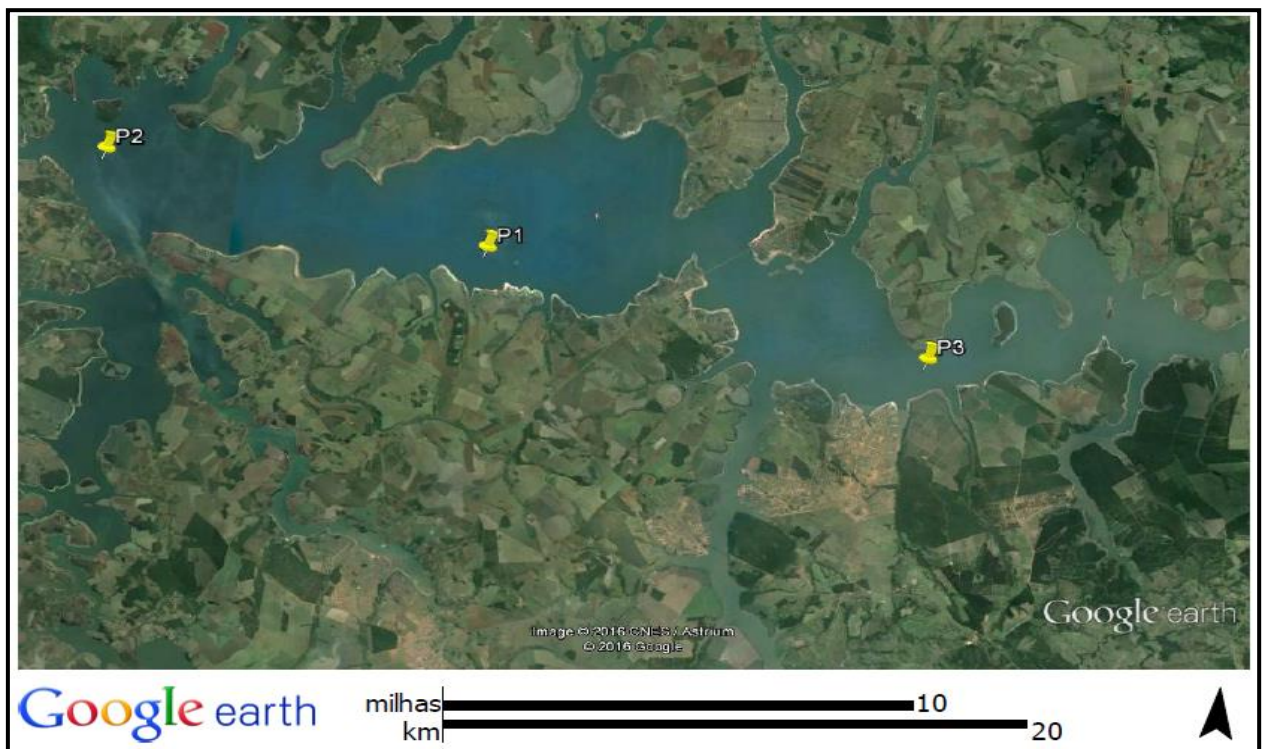


Figura 1.3 – Localização dos pontos de coleta – reservatório de Jurumirim.



Figura 1.4 – Localização dos pontos de coleta – reservatório de Ponte Nova.

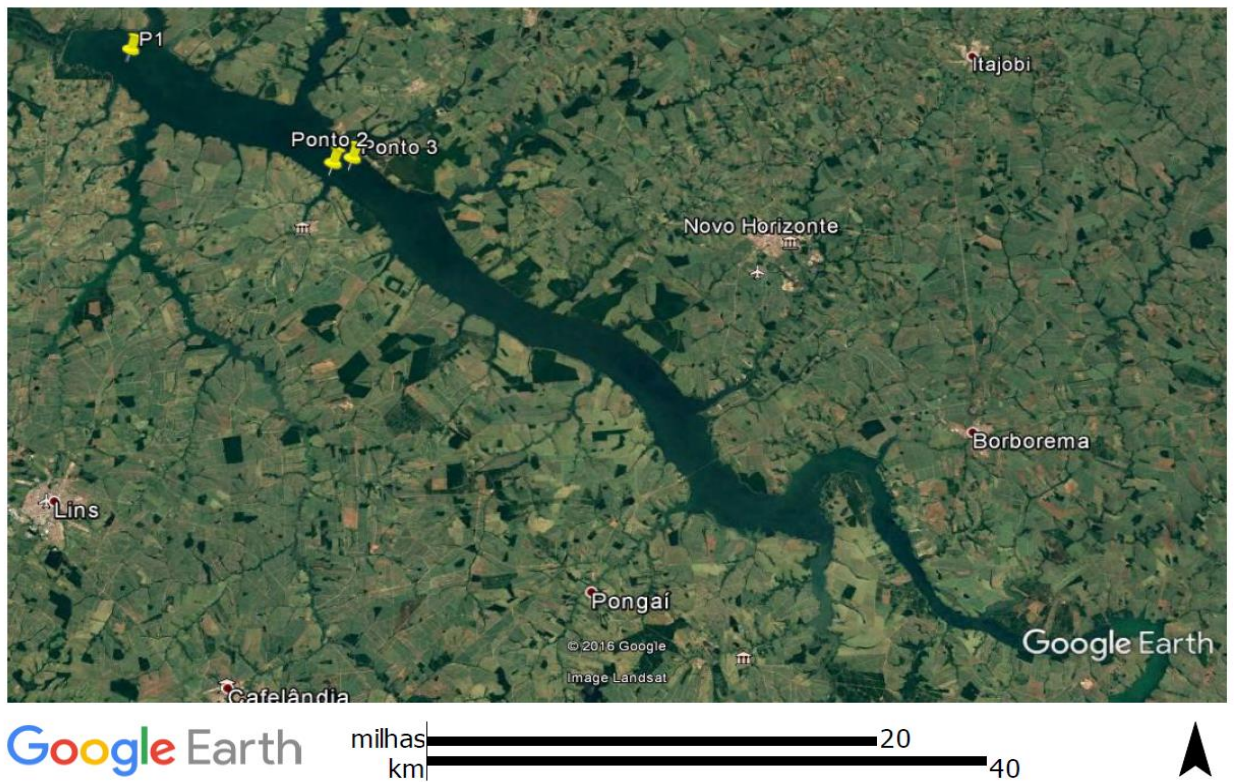


Figura 1.5 – Localização dos pontos de coleta – reservatório de Promissão.

Foi escolhido um ponto fixo para ser monitorado ao longo de pelo menos três campanhas em todos os reservatórios, e este foi definido como o ponto 1 (P1) de cada reservatório. Neste ponto, foram coletadas informações com distintos objetivos descritos nos capítulos a seguir, desde avaliações de possíveis sazonalidades hidroquímicas, até estabilidade de elementos nos sedimentos. Os pontos 2 e 3 foram executados em coletas únicas e demarcados com o objetivo de comparar as concentrações dos elementos entre os pontos ao longo dos reservatórios. Em todas as campanhas, foi utilizado para as coletas um barco com um ecobatímetro, cuja função maior foi tentar localizar o leito original dos rios formadores dos reservatórios estudados (Figura 1.6). Em Promissão, os pontos 2 e 3 ficaram próximos devido à dificuldade de coleta no reservatório e ao elevado tempo de navegação dentro do mesmo.



Figura 1.6 – Barco utilizado nas coletas.

#### 1.4.1 Coleta dos perfis sedimentares

Os perfis de sedimento foram coletados com amostrador tipo *core sampler* com tubos de acrílico de 5 cm de diâmetro e com profundidade de até 60 cm. Após a coleta, os perfis foram fatiados ainda no barco a cada 2,5 centímetros, o que gerou diversas sub-amostras em cada perfil. O topo do perfil sedimentar corresponde à camada de sedimento mais atual (superfície do sedimento, com profundidade 0,0 a 2,5 cm). As sub-amostras fatiadas em sequência foram adicionadas de 2,5 cm. A base do perfil sedimentar corresponde

ao sedimento mais antigo e sua profundidade oscilou entre 40 a 55 cm nos perfis coletados em Jurumirim; 27 a 50 cm em Promissão e 40 a 60 cm em Ponte Nova. A Tabela 1.2 apresenta os perfis coletados em cada reservatório, suas profundidades e fatias.

A amostragem dos sedimentos dos testemunhos foi realizada por extrusão via pistão, um procedimento rápido que evita a exposição atmosférica demasiada, mas ainda assim, foi realizado sob fluxo de nitrogênio pressurizado (Figura 1.7). As fatias foram armazenadas em sacos plásticos tipo *zip-lock*, e a presença de ar no interior dos mesmos foi minimizada ao máximo no momento da coleta.

Tabela 1.2 – Profundidade e números de frações dos perfis coletados nos reservatórios.

<b>Jurumirim</b>		
Local	Profundidade (cm)	Frações (cortes)
P1 Janeiro 2013	48	19
P1 Julho 2013	48	19
P1 Janeiro 2014	55	22
P1 Julho 2014	40	16
P2	41	16
P3	52	21
<b>Promissão</b>		
Local	Profundidade (cm)	Frações (cortes)
P1 Janeiro 2013	32	13
P1 Julho 2013	35	14
P1 Janeiro 2014	28	11
P1 Julho 2014	27	11
P2	27	11
P3	50	20
<b>Ponte Nova</b>		
Local	Profundidade (cm)	Frações (cortes)
P1 Agosto 2013	40	16
P1 Fevereiro 2014	51	20
P1 Agosto 2014	39	16
P2	62	25

Em cada uma das frações foram determinadas a granulometria, o carbono orgânico total (COT), e as concentrações totais dos elementos. A extração de água intersticial e a extração sequencial foram realizadas apenas nas primeiras frações dos perfis. Esta restrição foi devido ao fato de que na medida em que se aproximava da base do perfil

sedimentar, o sedimento ficava mais compactado, e não havia quantidades suficiente de água em seus interstícios para recuperação. Da mesma forma, a extração sequencial de elementos químicos foi realizada até as camadas de onde foi possível extrair a água intersticial.



Figura 1.7 – Procedimento de extrusão do perfil sedimentar, sob fluxo de nitrogênio pressurizado.

#### 1.4.2 Coleta de amostras de água

Durante a amostragem, foram determinados *in situ* os seguintes parâmetros físico-químicos nas amostras de água; oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH,  $E_H$  e temperatura. Todos estes parâmetros foram obtidos com sonda multiparâmetros com cabo de 60 metros, com sensores previamente calibrados. Os resultados de  $E_H$  foram obtidos com um eletrodo de Ag/AgCl e posteriormente corrigidos para o padrão de hidrogênio.

Em todos os pontos foram coletadas amostras da coluna de água e perfis de sedimento. As amostras de água de fundo e coluna d'água foram coletadas com o auxílio de garrafas de *Van Dorn* de descida horizontal (Figura 1.8).

As amostras da coluna d'água foram intercaladas da seguinte forma no ponto 1: superfície e quatro profundidades equidistantes em relação à profundidade total, incluindo a água de fundo (ou seja, superfície; 25% da profundidade total; 50% da profundidade; 75% da profundidade e no fundo). Nos pontos 2 e 3, as amostragens não necessariamente seguiram esta sequência para todos os reservatórios. A Tabela 1.3 apresenta as profundidades (em metros) e períodos das coletas.



Figura 1.8– Garrafa de Van Dorn de descida horizontal.

As amostras de água foram coletadas em tubo de polipropileno de 15 mL previamente lavados em laboratório com ácido nítrico ultrapuro a 5% e enxaguados com água das próprias represas instantes antes das coletas.

Foram coletadas duas alíquotas das amostras de água. Uma destas foi filtrada ainda em campo em membrana de acetato de celulose com 0,20  $\mu\text{m}$  de porosidade, e esta fração foi considerada a “fração operacionalmente dissolvida” (apesar de provavelmente possuir alguns coloides). A outra alíquota foi coletada e mantida sem filtração prévia para fins de análise da “fração total” dos elementos na coluna de água, que inclui os coloides e materiais particulados.

A eventual diferença de concentração dos elementos entre estas amostras (concentração determinada na “fração total” menos concentração determinada na “fração dissolvida”) deverá refletir a concentração do elemento associado ao material coloidal e/ou em suspensão (particulado) na coluna de água.

Todas as amostras foram preservadas em campo com 0,2 mL de uma solução de ácido nítrico ultrapuro 1:1 (50% v/v). O procedimento de preservação foi empregado tanto para as amostras filtradas (fração dissolvida) quanto para as não filtradas (fração total).

Os procedimentos de coleta, preservação e armazenamento de amostras seguiram as orientações preconizadas no guia nacional de coletas e preservação de amostras da CETESB/ANA (CETESB/ANA 2011).

Tabela 1.3 – Profundidades (em metros) das coletas de amostras ao longo da coluna de água nas represas.

<b>Jurumirim</b>					
Ponto1				Ponto 2	Ponto 3
jul/14	jan/14	jul/13	jan/13	jan/13	jul/13
superfície	superfície	superfície	superfície	superfície	superfície
7	8	8	8	8	–
14	16	15	15	17	12
21	24	23	22	25	–
27 - fundo	31 - fundo	30 - fundo	30 - fundo	33 - fundo	24 - fundo
<b>Promissão</b>					
Ponto1				Ponto 2	
jul/14	jan/14	jul/13	jan/13	jan/14	
superfície	superfície	superfície	superfície	superfície	
5	5	6	7	–	
11	11	13	14	11	
16	16	19	21	–	
21 - fundo	22 - fundo	26 - fundo	27 - fundo	22 - fundo	
<b>Ponte Nova</b>					
Ponto1			Ponto 2		
ago/14	fev/14	ago/13	fev/14		
superfície	superfície	superfície	superfície		
3	4	4	–		
6	8	8	5		
10	12	12	–		
14 - fundo	16 - fundo	16 - fundo	10 - fundo		

A Figura 1.9 apresenta o fluxograma das coletas das amostras com as matrizes amostradas e os métodos de análises empregados neste estudo.

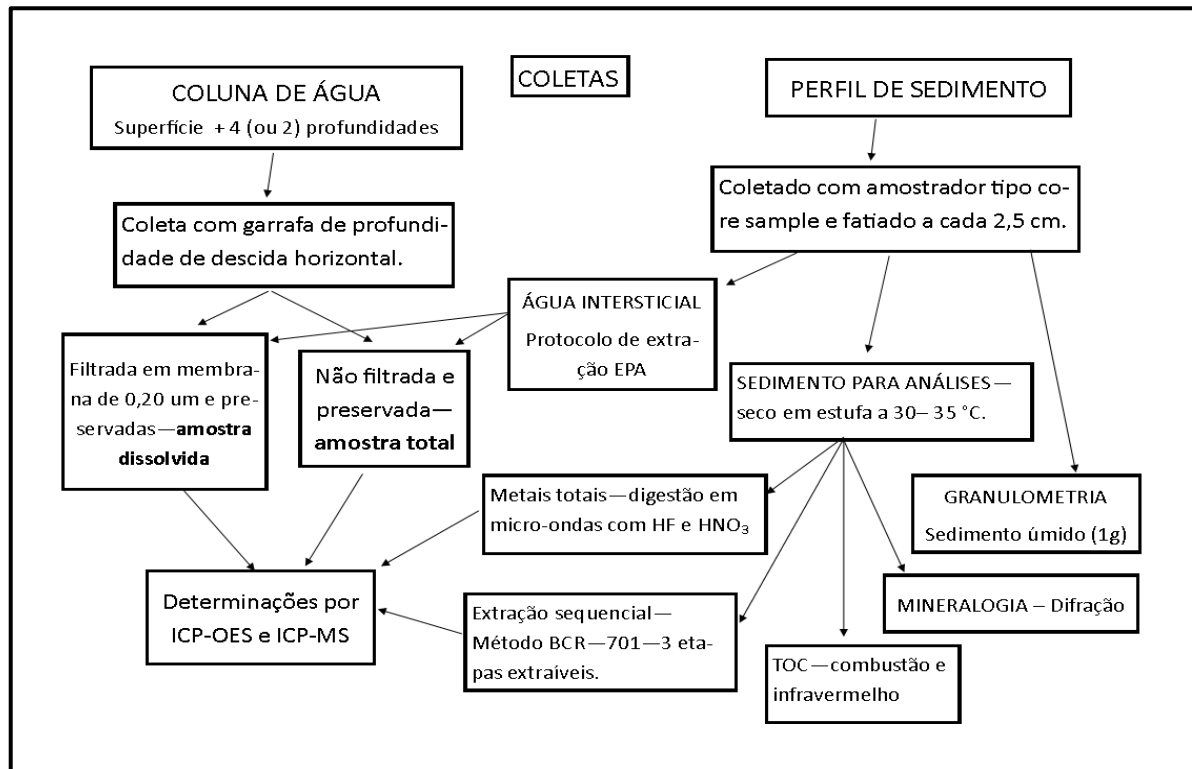


Figura 1.9 – Fluxograma de coleta de amostras com os métodos e análises efetuadas.

## 1.5 Referências

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS 2017. SAR – Sistema de acompanhamento de reservatórios. <http://sar.ana.gov.br/Home>. acessado em 20 jan 2017.
- AES Tietê. 2016. Usinas e eclusas do rio Tietê. Disponível em <http://www.aestiete.com.br/geracao/Paginas/nossas-usinas.aspx#conteudo>. acessado em 21 set 2016.
- CESP – Companhia Energética do Estado de São Paulo. 1998. *Conservação e Manejo nos reservatórios. Limnologia, Ictiologia e Pesca*. CESP, São Paulo, 166pp.
- CBH –TB Plano de bacia hidrográfica – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI-16 – bacia Tietê-Batalha 2008-2011. Disponível em <http://www.comitetb.sp.gov.br/index.php?tab=1&acao=com12> . acesso em 15 fev 2016.
- CETESB/ANA. 2011. *Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. CETESB/ANA, São Paulo/Brasília, 569pp.
- CETESB 2009. *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado De São Paulo 2008* – CETESB. São Paulo.

- DAEE 2016. As barragens do DAEE. Disponível em [http://www.dace.sp.gov.br/index.php?option=com\\_content&id=856:barragens](http://www.dace.sp.gov.br/index.php?option=com_content&id=856:barragens) acessado em 15 out 2016.
- Duke, 2016 Memoria duke energy. Disponível em <http://www.memoriaduke.com.br/LinhaDoTempo.aspx?menu=2&tipo=1> acessado em 21 set 2016.
- Espíndola E. V. G., Branco M.B.C, Fracácio R., Guntzel A.M., Moretto E.M., Pereira R.H.G., Tavares K. S. 2003. Organismos Aquáticos. In Rambaldi, D.M. & Oliveira, D.A.S. (org) *Fragmentação de Ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas*. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Brasília. 510pp
- Monteiro Junior A. J. 2006. Caracterização limnológica e compartimentação do reservatório de Ponte Nova, Alto Tietê, SP – uma contribuição ao seu manejo. Dissertação de mestrado,. Instituto de Biociências, Universidade de São Paul,. 91pp
- Moraes G. M. 2011. Distribuição de metais pesados em sedimentos de fundo na bacia do alto Tietê. – Fatores de enriquecimento e classes de poluição. Dissertação de mestrado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 158 pp.
- Mortatti J., Moraes G. M., Probst J. L. 2012. Heavy metal distribution in recent sediments along the Tietê river basin (São Paulo, Brazil). *Geochem. J.*, **46**:13-19
- Oliveira J.B., Camargo M.N., Rossi M., Calderano Filho B. 1999 *Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida*. Campinas, Instituto Agrônômico/EMBRAPA Solos. Campinas. 64p.
- Perrota M.M., Salvador E.D., Lopes R.C., D'Agostinho L.Z., Peruffo N., Gomes S.D., Lacerda Filho J.V. 2005. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000. Programa Geologia do Brasil- PGB. CPRM. São Paulo.
- Rodgher S., Espíndola E.L., Rocha, O., Fracácio, R. Pereira, R.H.G., Rodrigues, M. H.S. 2005. Limnological and ecotoxicological studies in the cascade of reservoirs in the Tietê river (São Paulo, Brazil). *Braz. J. Biol.*, **65(4)**: 697-710
- Zanata, Luci. H. 2005. Distribuição de populações de Cladocera (Branchiopoda) nos reservatórios do médio e baixo Tietê. Uma análise espacial e temporal. Tese de doutorado. Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 304pp.

## **2 HISTÓRICO E TAXA DE SEDIMENTAÇÃO NAS REPRESAS DE JURUMIRIM, PROMISSÃO E PONTE NOVA E A DINÂMICA DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS MAIORES E TRAÇO**

### **2.1 Introdução**

Reservatórios ou represas são intervenções antrópicas em ambientes aquáticos com a finalidade de fazer o barramento de um rio (i.e., a construção de uma barragem no leito do rio) seja para controle de enchentes, geração de energia elétrica ou captação de água para abastecimento humano, dentre outras funções (Esteves 1988). Este tipo de alteração no regime hídrico do rio provoca substanciais mudanças no mesmo. Ao ser barrada, a velocidade da água altera-se, e o regime lótico, comum ao rio, passa para um regime lêntico, mais parado, de velocidade reduzida. Esta baixa velocidade de escoamento facilita a deposição dos materiais finos particulados em suspensão carregados pelas águas, acumulando estes no fundo dos reservatórios, formando seus sedimentos.

O sedimento é um compartimento que tem sido cada vez mais utilizado em estudos de avaliação da qualidade de ecossistemas aquáticos, por retratar condições históricas da influência de atividades antrópicas sobre esses ambientes (CETESB 2011). O sedimento, do ponto de vista de reciclagem de matéria e fluxo de energia, é um dos compartimentos mais importantes dos ecossistemas aquáticos. Neles ocorrem processos biológicos, físicos e/ou químicos, que influenciam o metabolismo de todo o sistema, desde os organismos bentônicos, passando pela ictiofauna e algas.

O fator histórico do sedimento também tem significativa importância nos processos de avaliação ambiental. Os sedimentos recentes, superficiais, retratam a atualidade do corpo hídrico, ao passo que os sedimentos antigos, mais profundos, indicam um histórico do local. Esta informação é facilmente obtida com os perfis sedimentares, que é uma secção do sedimento coletado na vertical, perpendicular ao leito do reservatório.

Nos reservatórios artificiais, o caráter recente de sua formação e história bem documentada da maioria destas intervenções humanas, principalmente no que diz respeito ao período de construção de barragem, permitem que os registros paleolimnológicos de seus sedimentos possam ser utilizados de forma mais fácil, prática e precisa do que em sistemas naturais, como, por exemplo, para calibrar a taxa de sedimentação relativa com respeito à construção dos reservatórios. Isto contribui para separar mais decisivamente processos

geogênicos (sedimentação do rio original formador da represa) de antropogênicos (sedimentação após o barramento do rio) ao longo dos perfis de sedimentos (Cohen 2003).

Em relação à taxa de sedimentação, o procedimento da datação por  $^{210}\text{Pb}$  (isótopo radioativo de chumbo, com meia vida de 22,26 anos) é um dos mais aceitos e bem documentados na literatura para estimar tais taxas em sedimentos, sejam estes marinhos ou continentais (Damatto *et al.* 2009; Godoy *et al.* 2012; Ferreira *et al.* 2015; Sabaris 2010). Entretanto, apresenta um custo elevado e acesso não muito fácil para a maioria dos pesquisadores, justamente pelo envolvimento dos isótopos radioativos de  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{226}\text{Ra}$ .

Os perfis sedimentares podem trazer, ainda, outras informações que auxiliem a compreensão dos processos que ocorreram e ocorrem no reservatório, tais como alterações significativas de textura, provocadas pela súbita mudança de velocidade do canal, diferenciação das concentrações de carbono orgânico total (COT), em função do alagamento da várzea do rio e inundação de áreas cultivadas ou florestas, e mesmo alterações mineralógicas proveniente da deposição de sedimentos oriundos de uma nova bacia de drenagem no local, que incorpora minerais alóctones (Esteves 1998; Cohen 2003; Franklin *et al.* 2016).

De posse destas informações do perfil sedimentar torna-se possível reconstruir ou pelo menos entender o ambiente lótico antes de sua conversão para ambiente lêntico e compreender as mudanças e nuances que as alterações de escoamento provocaram na bacia hidrográfica, mais precisamente no reservatório formado, e tais parâmetros podem inclusive servir para estimar a taxa de sedimentação média em represas ou comprovar estes frente aos procedimentos clássicos de datação.

O transporte de elementos metálicos nos rios (notadamente Fe e Al) ocorre por meio do material particulado carregado via processos erosivos para o corpo hídrico (Moraes 2016). Ao ser barrado (o recurso hídrico), a tendência é de que tais particulados venham a compor os sedimentos das represas.

Uma das grandes questões na avaliação de ambientes sedimentares diz respeito ao discernimento entre os níveis de contaminação e os níveis basais (naturais, de fundo ou *background*) e quais concentrações de metais, de fato, podem causar toxicidade. A clara diferença entre concentrações litogênica e antrópica é crucial para uma correta avaliação ambiental, porque, em geral, as fases antrópicas parecem mais susceptíveis à solubilização e incorporação à biota (Gomes *et al.* 2009; Audry *et al.* 2004; Bevilacqua *et al.* 2009).

Em avaliações ambientais de metais mais gerais, valores-guias de qualidade de sedimentos são utilizados internacionalmente (e.g., PEL/*Probable Effects Levels*, TEL/*Threshold Effects Levels*, médias elementares crustais), os quais podem não ser adequados para prever o real risco de toxicidade à biota, especialmente em condições tropicais (Quinágua 2006; Gomes *et al.* 2009; Mortatti *et al.* 2012). Assim, avaliar os metais em perfis sedimentares (Audry *et al.* 2004) para se conhecer o histórico da sedimentação e os valores geoquímicos basais é um ponto chave para prever o grau de contaminação antrópica de uma represa. Algumas ferramentas neste sentido têm sido utilizadas, especialmente o fator de enriquecimento que utiliza níveis de background geoquímico para estabelecer os gradientes de contaminação de ambientes sedimentares (Sutherland 2000; Audry *et al.* 2004; Luiz-Silva *et al.* 2008; Franklin *et al.* 2016).

Este capítulo tem como objetivo compreender a dinâmica sedimentar de reservatórios por meio de perfis sedimentares e sua associação com o regime hídrico, e os aspectos deposicionais antes e após a construção das barragens, com a determinação da taxa de sedimentação dos reservatórios. Para isto, coletou-se perfis sedimentares para determinar a evolução histórica da sedimentação em reservatórios com base na datação clássica por  $^{210}\text{Pb}$  e propor uma forma de estimativa da taxa de sedimentação média em reservatórios utilizando a textura, níveis orgânicos, mineralogia e flutuações de concentração de elementos maiores. Compreender as alterações provocadas pelo barramento dos rios como uma nova dinâmica de processo sedimentar e avaliar o enriquecimento de elementos propiciados tanto pela alteração do regime hídrico como o advindo de processos antrópicos é um dos focos particularmente importante deste estudo.

## **2.2 Materiais e métodos**

As áreas de estudo foram os reservatórios de Jurumirim, Ponte Nova e Promissão (estado de São Paulo). Estas represas estão descritas no capítulo 1 em relação às suas construções, localização, pontos e amostras coletadas e contexto geológico.

### **2.2.1 Determinação da concentração de elementos**

A determinação da concentração total dos elementos foi realizada por meio da análise de amostras digeridas no Laboratório de Geologia Isotópica do IG–UNICAMP. A massa de 0,10 g de amostra foi digerida em forno de micro-ondas com 2 mL de  $\text{HNO}_3$  e 2 mL de HF. Após a digestão, o HF remanescente foi evaporado por sistema a vácuo incorporado ao

micro-ondas com o auxílio de mais 1 mL de HNO<sub>3</sub>. O resíduo final foi retomado com mais 2 mL de HNO<sub>3</sub> também no forno micro-ondas e ao final avolumado para 40 mL. As análises foram realizadas no laboratório de Química Inorgânica da CETESB por ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry*) ou por ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry*). O instrumento de análise foi escolhido de acordo com as concentrações obtidas nas amostras, ou seja, os elementos que inicialmente apresentaram seus resultados abaixo dos limites de quantificação por ICP-OES foram quantificados por ICP-MS. Junto às amostras, foram digeridos também alguns materiais de referencia certificados (MRCs), os quais foram também quantificados. Os resultados destes MRCs estão listados no Anexo A. As discussões e avaliações estatísticas dos resultados dos MRCs também estão neste Anexo. As curvas de calibração multi-elementares em ambos os instrumentos foram preparadas com padrões elementares aquosos rastreados aos padrões do NIST.

Foram quantificados os elementos Li, Na, Mg, Al, P, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Mo, Cd, Sb, Cs, Ba, Hf, Hg, Pb, Th e U em todos os perfis de sedimento. O mercúrio foi quantificado apenas em alguns perfis de cada reservatório, e o silício não foi determinado.

### **2.2.2 Granulometria, mineralogia e carbono orgânico total em sedimentos**

As determinações da textura do sedimento foram realizadas no Laboratório de Análise Ambiental do IG–UNICAMP. As amostras foram homogeneizadas e separadas em duas alíquotas com cerca de 1 g cada. Após esse procedimento, o material foi condicionado em tubo de centrífuga com capacidade para 50 mL, ao qual foi adicionada solução de hexametáfosfato de sódio a 4% até o volume de menisco. Após isto, as amostras foram colocadas em um agitador mecânico por 24 h. Posteriormente, foram peneiradas em malhas de 2,0, 1,0 e 0,5 mm, e a porção <0,5 mm foi submetida à análise de granulometria por difração a laser. Entre os materiais retidos nas peneiras supracitadas destacavam-se principalmente fragmentos de folha, raízes e troncos em algumas amostras.

O modelo do difrator granulométrico a laser utilizado foi o Cilas 1090L – *Particle Size Analyzer*, onde a amostra é analisada em uma suspensão líquida e o instrumento possui dois lasers que em resposta à distribuição e tamanho das partículas, provoca a difração destes lasers. Seu método baseia-se no princípio de que o ângulo de difração é inversamente

proporcional à dimensão da partícula, de acordo com a norma ISO (*International Organization for Standardization*) 13220 (Cilas, 2017).

Carbono Orgânico Total (COT ou TOC do inglês *Total Organic Carbon*) foi quantificado pelo método de combustão em alta temperatura com uso de detector de infravermelho não dispersivo no laboratório de Química Orgânica da CETESB, de acordo com o procedimento do *Standard Methods of Water and Wastewater 5310B, Total Organic Carbon*.

Para a análise dos minerais presentes no sedimento, foi selecionado um perfil de cada reservatório e estas amostras foram secas em estufa a 40 °C. Todos os cortes do perfil escolhido foram analisados. Cada amostra foi moída manualmente em almofariz de ágata até um pó muito fino (<63 µm), ideal para a leitura no difratômetro de raios X. Nos sólidos cristalinos (minerais), os átomos apresentam um arranjo estrutural de espaçamento uniforme. Ao incidir sobre este cristal um feixe de raios-X, ocorre a interação deste feixe energético com estes retículos cristalinos, que provocam a difração do raio de acordo com a Lei de Bragg. E cada mineral apresenta um padrão de difração coerente.

### 2.2.3 Fator de enriquecimento (FE)

O fator de enriquecimento (FE) é um índice que permite avaliar o enriquecimento de um dado elemento via normalização por outro elemento, considerado mais estável e imóvel no ambiente, e comparado com as concentrações de referência. Leva-se em consideração um elemento normalizador. A fórmula utilizada para cálculo está na equação 1.

$$FE = \frac{(Me/X)_{loc}}{(Me/X)_{ref}} \quad (1)$$

Onde,

FE – fator de enriquecimento;

Me – Metal ou elemento de interesse;

X – metal ou elemento normalizador;

Loc – local de estudo;

Ref – Valores de referência utilizado.

Como elemento normalizador, podem ser utilizados vários elementos tais como Sc, Fe, Al, Mn, Ti, Y e Li (Loska *et al.* 2003; Sutherland 2000; Lin *et al.* 2008; Dias & Prudêncio 2008; Hernandez *et al.* 2003; Luiz-Silva *et al.* 2008) e são desejáveis as seguintes características para um elemento normalizador;

O elemento deve ser assumido como de um fluxo crosta-rocha uniforme e amplo (Audry *et al.* 2004; Sutherland 2000). O elemento não deve sofrer ações de sinergismo ou antagonismo com outros elementos e ser quantificado facilmente (Loska *et al.* 1997). Não apresentar fontes potenciais de contaminação e ser de origem exclusivamente litogênica (Cukrov 2011; Lin *et al.* 2008; Rubio *et al.* 2000; Hernandez *et al.* 2003).

O elemento de referência deve ser estável e não sujeito a influências ambientais, como redução/oxidação, adsorção/dessorção, e outros processos de diagênese e intemperismo, permanecer em superfície e não ser carregado por lixiviação (Lin *et al.* 2008; Dias & Prudêncio 2008), e deve ser escolhido por características geoquímicas, e não estatísticas (Dias & Prudêncio 2008).

Em relação aos valores de referência que devem ser utilizados na equação do FE, estes devem representar a concentração basal do elemento, pois este é o princípio do FE, a comparação do local avaliado com um local não impactado ou considerado natural. Alguns autores (Blaser *et al.* 2000; Gomes *et al.* 2009; Hernandez *et al.* 2003; Rubio *et al.* 2000; Sutherland 2000) citam que o ideal é realizar esta avaliação com valores de background ou referências locais, visto que, desta forma, as diferenças litológicas da região são compensadas e os valores obtidos para FE serão mais realistas, o que permite a busca de elementos que apresentem enriquecimento antrópico de forma mais fidedigna.

Como critério de avaliação do enriquecimento, alguns autores aceitam que valores entre  $\leq 0,5$  FE  $\leq 1,5$  indicam que o elemento não é enriquecido, enquanto valores  $\geq 1,5$  já significam um discreto enriquecimento do elemento em questão (Zhang & Liu 2002). Entretanto, para Hernandez *et al.* (2003) e Luiz-Silva *et al.* (2008), apenas quando os valores de FE são maiores que 2,0 é que se pode considerar que o elemento possui origem antrópica no local avaliado. Luiz-Silva *et al.* (2008) apresentaram esta proposta com base no fato de que elementos tipicamente geogênicos podem alcançar este fator de enriquecimento.

Sutherland (2000), após justificar a ausência ou falta de critérios para definir um grau de poluição fundamentado para o FE, propôs cinco categorias empíricas de enriquecimento, conforme Tabela 2.1.

Neste trabalho, o FE foi calculado com o Sc e/ou Li como normalizadores e os resultados obtidos para os elementos na base do perfil – para comparações entre os sedimentos da fase rio com os atuais – e na primeira camada sedimentar depositada após a construção da barragem – para se ter resultados provenientes apenas da sedimentação advinda com o início do represamento do rio com os sedimentos atuais.

Tabela 2.1 – Categorias para enquadramento do FE (Sutherland, 2000).

Categorias	Descrição
FE < 2	Depleção ou baixo enriquecimento
FE entre 2 e 5	Enriquecimento moderado
FE entre 5 e 20	Enriquecimento significativo
FE entre 20 e 40	Enriquecimento muito alto
FE > 40	Enriquecimento extremamente alto

#### 2.2.4 Datação com $^{210}\text{Pb}$

A datação com o  $^{210}\text{Pb}$  de perfis sedimentares tem sido utilizada com objetivo de estabelecer uma escala temporal ou histórica nos processos limnológicos em lagos e bacias de drenagem. É originado na série de decaimento do  $^{238}\text{U}$ , e tem relação direta e em equilíbrio com o isótopo  $^{226}\text{Ra}$ , precursor do  $^{210}\text{Pb}$  e, geralmente, determinado em paralelo com este.

É um procedimento que tem como fundamento o decaimento deste isótopo radioativo de Pb. Com meia-vida de 22,3 anos, ele é indicado para datações recentes, de até 120-150 anos. O  $^{210}\text{Pb}$  em um perfil sedimentar tem origem de duas fontes distintas (Figura 2.1) (Sabaris 2010; Ferreira *et al.* 2015).

1 – da atmosfera, que é chamado de não-suportado (unsupported –  $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ ) ou alóctone e está estritamente conectado aos processos sedimentares;

2 – o produzido na própria matriz sedimentar pelo decaimento de  $^{226}\text{Ra}$  sem o escape de  $^{222}\text{Rn}$ , que é chamado “suportado” (supported -  $^{210}\text{Pb}_{\text{s}}$ ). Dessa forma, o  $^{210}\text{Pb}$  não-

suportado pode ser quantificado pela diferença entre  $^{210}\text{Pb}$  total na amostra e  $^{210}\text{Pb}$  suportado, que, por estar em equilíbrio radioativo com seus precursores na série do  $^{238}\text{U}$ , pode ser mensurado por algum dos núclídeos-pai, como o próprio  $^{226}\text{Ra}$ .

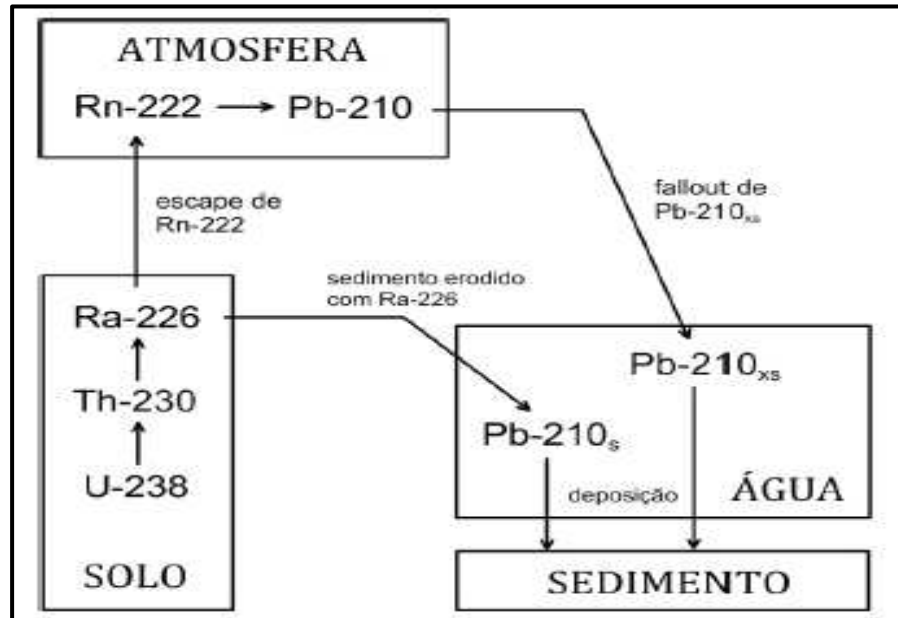


Figura 2.1 – Ciclo do  $^{210}\text{Pb}$  na atmosfera e sedimentos (Ferreira *et al.* 2015).

Foram datados dois perfis de sedimentos para este estudo. Um no reservatório de Jurumirim (Ponto 1 coletado em Janeiro de 2014) e outro em Promissão (Ponto 3 – coletado em Janeiro de 2014). Devido à pequena espessura das fatias de sedimento obtidas em campo (cada fatia do perfil foi cortada com 2,5 cm), elas foram agrupadas de duas em duas, perfazendo um intervalo de 5 cm para a datação. As amostras foram analisadas no Laboratório de Radiometria Ambiental (LRA) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) em São Paulo.

As taxas de sedimentação e as idades foram determinadas pelo método de  $^{210}\text{Pb}$  com a determinação dos radionuclídeos  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$  em cada fatia do perfil. As amostras de sedimentos foram secas em temperatura de 20-25 °C, maceradas e homogêneas em almofariz de ágata e dissolvidas em ácidos minerais ( $\text{HNO}_3$  e  $\text{HF}$ ) e  $\text{H}_2\text{O}_2$  em digestor de micro-ondas. Posteriormente foram submetidas a procedimento de separação radioquímica para a determinação de  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{210}\text{Pb}$ . Este procedimento consiste em uma precipitação inicial de Ra e Pb com  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , dissolução do precipitado com ácido nitrilo-triacético em pH básico, nova precipitação de  $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$  com sulfato de amônio e de  $^{210}\text{PbCrO}_4$  com cromato de sódio. A concentração de  $^{226}\text{Ra}$  foi determinada pela contagem alfa bruta do precipitado de

Ba( $^{226}\text{Ra}$ )SO<sub>4</sub> e a concentração de  $^{210}\text{Pb}$  pode ser determinada pela contagem do seu produto de decaimento, o  $^{210}\text{Bi}$ , (atividade beta do precipitado de  $^{210}\text{PbCrO}_4$ ). Os radionuclídeos foram determinados em um detector proporcional de baixo fluxo de gás de fundo (Damatto 2009). Maiores detalhes da técnica de datação podem ser obtidos em Damatto *et al.* (2009); Ferreira *et al.* (2015); Godoy *et al.* (2012) e Sabaris (2010).

## 2.3 Resultados e Discussão

### 2.3.1 Datação por $^{210}\text{Pb}$ e modelo de sedimentação

#### 2.3.1.1 Reservatório de Jurumirim

Foi realizada a datação com o  $^{210}\text{Pb}$  no perfil do ponto 1 da represa de Jurumirim coletado na campanha de janeiro de 2014. A Figura 2.2 apresenta o gráfico da datação e a Tabela 2.2, a correlação temporal ao longo das frações para o perfil sedimentar analisado. Este perfil datado atingiu a época de enchimento do reservatório (1962-1963).

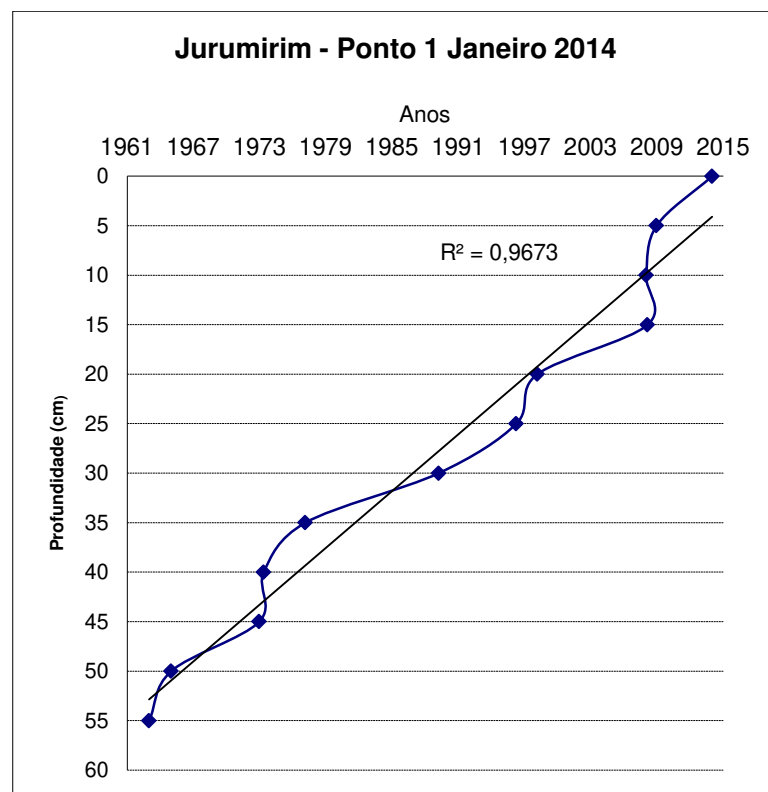


Figura 2.2 – Gráfico de Datação por  $^{210}\text{Pb}$  obtido para o reservatório de Jurumirim.

Nos procedimentos analíticos, foram considerados extratos sedimentares (amostras) espaçados a cada 5 cm ao longo do perfil sedimentar. Este procedimento, resultou em uma estimativa de taxa de sedimentação média de  $1,05 \text{ cm a}^{-1}$ , e indicou que a base do perfil (os cinco últimos centímetros) refere-se ao ano de 1963.

A datação em Jurumirim revelou que a deposição no reservatório não foi homogênea. Apesar de se obter uma excelente correlação entre ano e profundidade, ela apresentou alguns períodos com uma taxa de sedimentação de  $5 \text{ cm a}^{-1}$  (40 – 45 cm; equivalente ao ano de 1973, e 5,0 – 10,0 cm; equivalente aos anos de 2008 – 2009) e períodos com taxa de sedimentação de  $0,4 \text{ cm a}^{-1}$  (30 - 35 cm, equivalente aos anos de 1977 – 1989).

Tabela 2.2 – Correlações profundidade/ano obtidas pelo método de datação com  $^{210}\text{Pb}$  para o perfil do Ponto 1 (janeiro de 2014) em Jurumirim.

<b>Jurumirim</b>	
<b>Ano</b>	<b>Profundidade (cm)</b>
2014	0
2009	5
2008	10
2007	15
1998	20
1996	25
1989	30
1977	35
1973	40
1973	45
1965	50
1963	55

Ao observar os dados de vazão afluente (vazão de água que chega ao reservatório através dos rios) e volume útil ocupado do reservatório ao longo do tempo, pode-se verificar que estas variações apresentaram boa correlação. A Figura 2.3 apresenta a média da vazão afluente (mensal) no reservatório de Jurumirim e a taxa de sedimentação obtida. As vazões afluentes foram obtidas do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios – SAR – da ANA (ANA 2017). No gráfico das vazões (Figura 2.3), verifica-se que no período entre 1993 e 2014 ocorreram dois episódios de maior vazão afluente para o reservatório: entre os anos de 1997 e 1998 e depois entre os anos de 2008 e 2009. Os picos de afluência para o reservatório apresentaram relação com os momentos nas quais a taxa de sedimentação foi maior. Entre

1996 e 1998, a taxa foi de  $2,5 \text{ cm ano}^{-1}$  e a afluição verificada foi a maior no período recente de 20 anos (ao redor dos  $350 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ). Entre 2009 e 2010 ocorre o mesmo episódio, com vazão média mensal entre 340 a  $350 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e sedimentação também elevada ( $5 \text{ cm ao ano}$ ).

No hiato entre estes dois episódios de maiores vazões, entre 1999 e 2008, a vazão afluente para o reservatório apresentou valores mais constantes e baixos (Figura 2.3). Este período de vazão afluente menor foi o responsável por um dos períodos que apresentou taxa de sedimentação mais baixa ao longo da datação realizada. Pela datação, o período referente aos anos de 1999 a 2008 refere-se aos sedimentos da profundidade de 15 a 20 cm (anos de 2007 a 1998). Este período de nove anos representou cinco cm de sedimentação, com uma taxa de apenas  $0,55 \text{ cm a}^{-1}$ . Ou seja, a sedimentação no reservatório esteve diretamente relacionada com maiores valores de vazão afluente. Neste aspecto, a taxa de sedimentação também foi maior. De forma oposta, quando a vazão afluente foi menor, as taxas de sedimentação foram mais baixas, conforme pode ser observado na Figura 2.3.

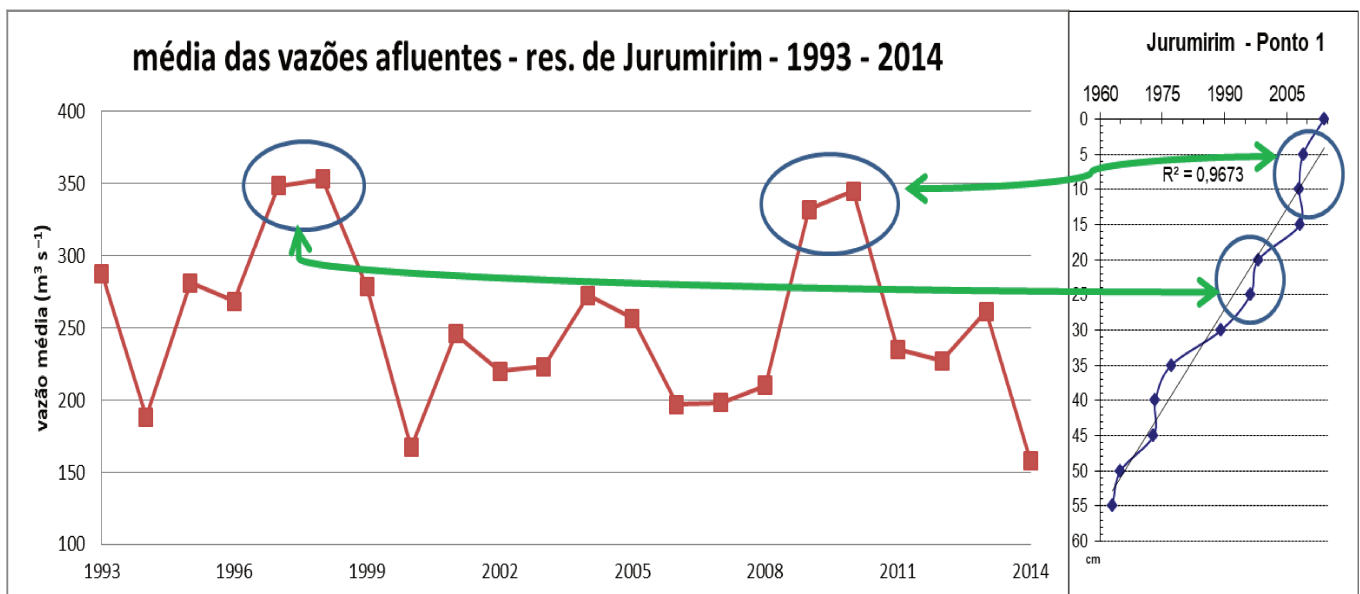


Figura 2.3 – Vazão afluente e taxa de sedimentação no reservatório de Jurumirim.

### 2.3.1.2 Textura, carbono orgânico e o histórico e modelo de sedimentação em Jurumirim

Os perfis coletados em Jurumirim possibilitaram estabelecer o histórico de sedimentação no reservatório.

Os perfis coletados no ponto 1 totalizaram 22 amostras (54 cm) em Janeiro de 2014 e 19 amostras (48 cm) em Julho e em Janeiro de 2013. O perfil coletado no ponto 2 alcançou 41 cm distribuídos em 16 amostras e o do ponto 3, com 52 cm, foi distribuído em 21

amostras. Todos os perfis foram coletados no leito original do rio Paranapanema, identificado pelo ecobatímetro disponível na embarcação.

A Tabela 1 do Anexo B apresentam os resultados de granulometria (argila, silte e areia) e COT determinados ao longo dos perfis coletados em Jurumirim.

Em Jurumirim, os resultados de COT apresentaram-se bem homogêneos ao longo dos perfis sedimentares. O COT oscilou entre 2 a 3% nas camadas superiores dos sedimentos em todos os perfis e ao longo dos mesmos, exceto quando foi atingida a parte mais basal dos perfis (ao redor dos 35- 45 cm), aonde o COT chegou a valores de até 13% (P1 julho/2013). A textura dos sedimentos apresentou comportamento similar ao COT. Todos os perfis de Jurumirim apresentaram características argilo-siltosas, com percentuais de areia no máximo ao redor de 10%, desde a superfície dos perfis até profundidades ao redor de 40 cm, onde a fração de areia começou a elevar, atingiu percentuais de até 18%, e os percentuais de argila diminuíram para menos de 20% em alguns casos.

As Figuras 2.4 a 2.8 apresentam os resultados de COT e granulometria dos perfis. Nas Figuras do ponto 1, foi inserido um quadro que indica os sedimentos da fase transicional (reservatório/rio) e fase rio. Esta marcação foi realizada tendo como base a datação de sedimentos realizada no perfil coletado no ponto 1 em Janeiro de 2014.

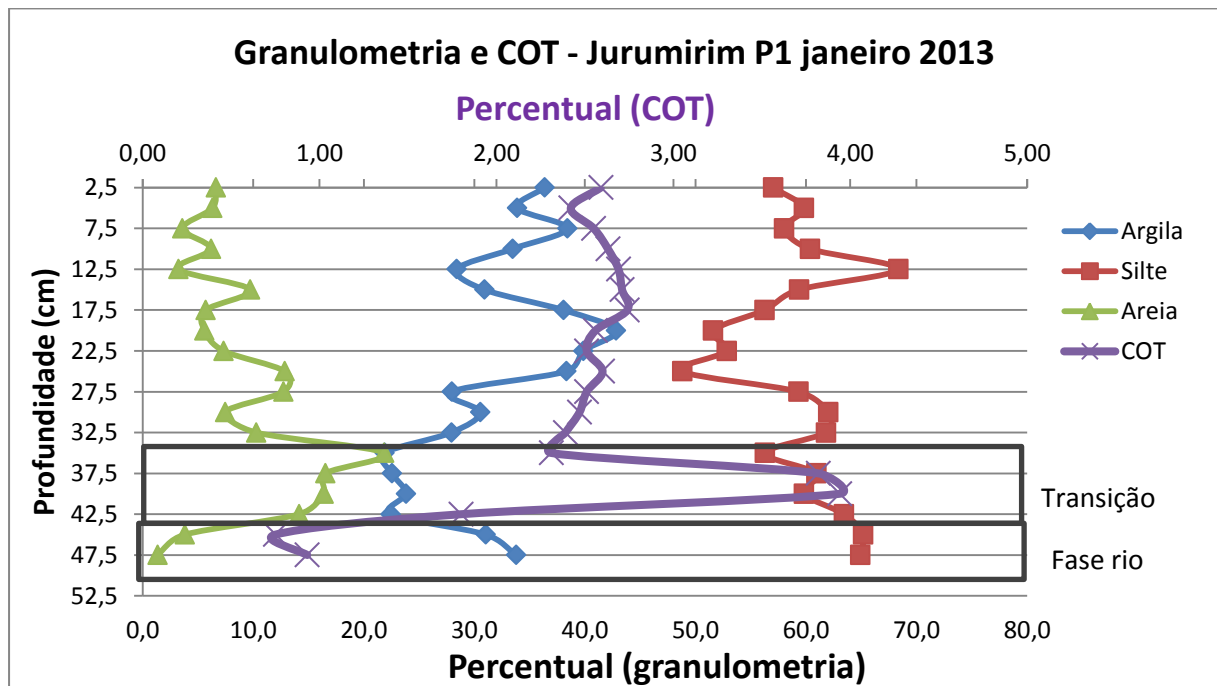


Figura 2.4 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 1 de Jurumirim em janeiro de 2013.

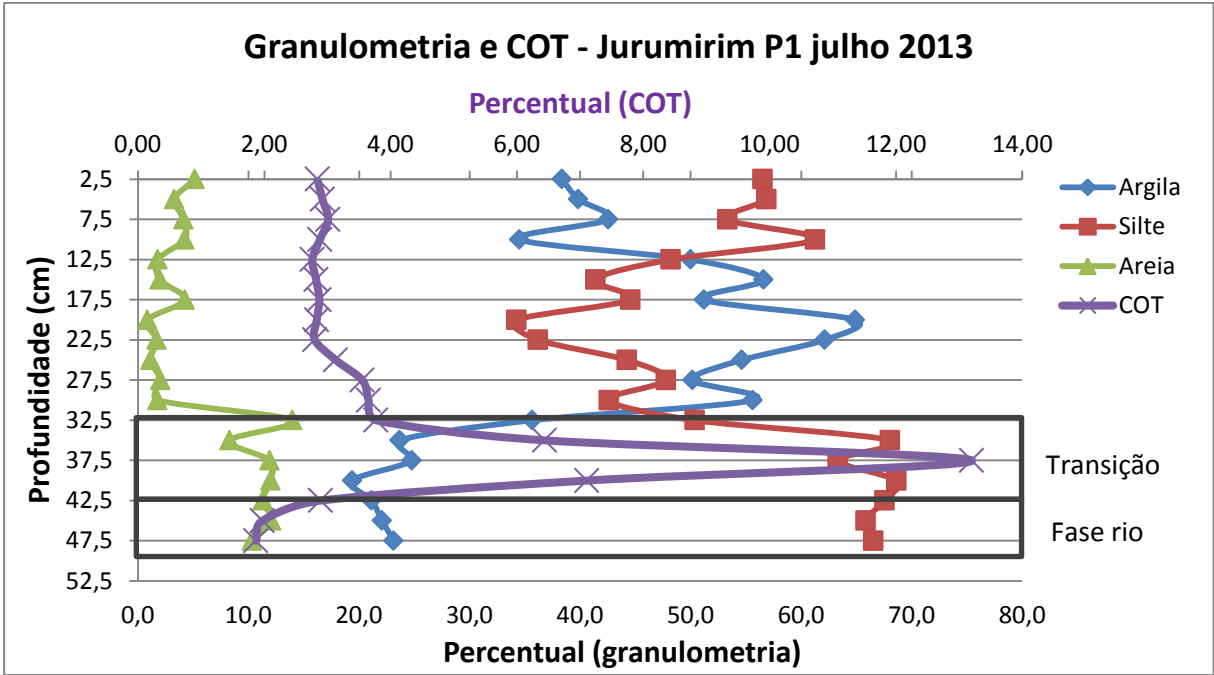


Figura 2.5 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 1 de Jurumirim em julho de 2013.

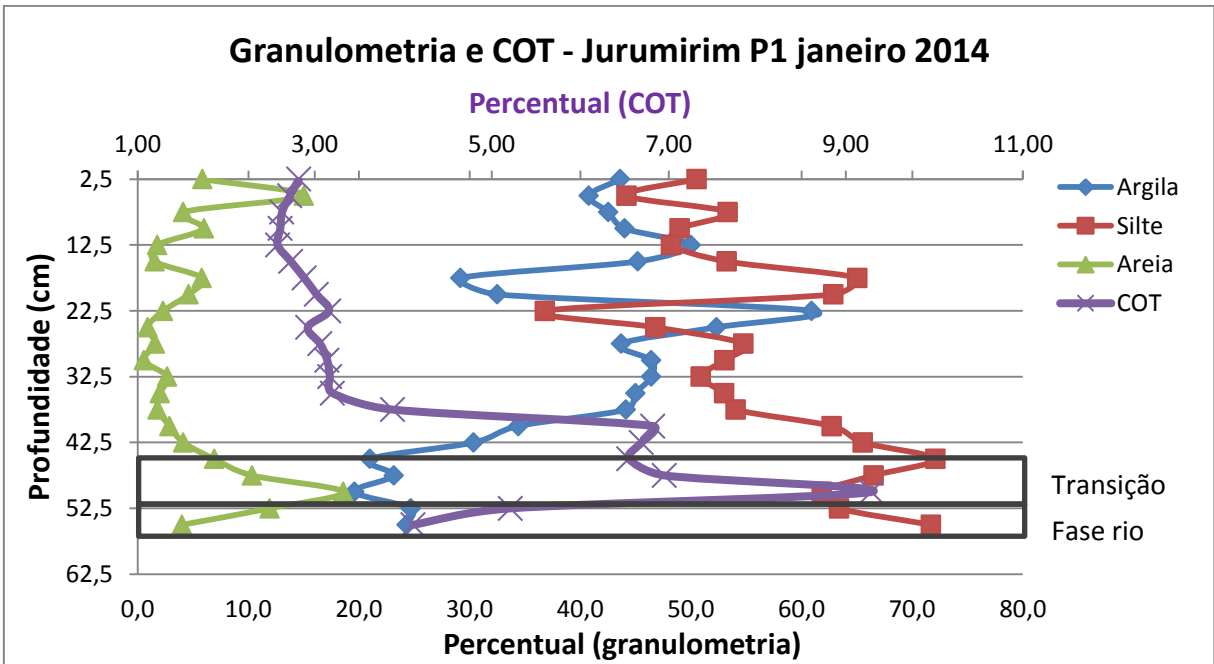


Figura 2.6 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 1 de Jurumirim em janeiro de 2014.

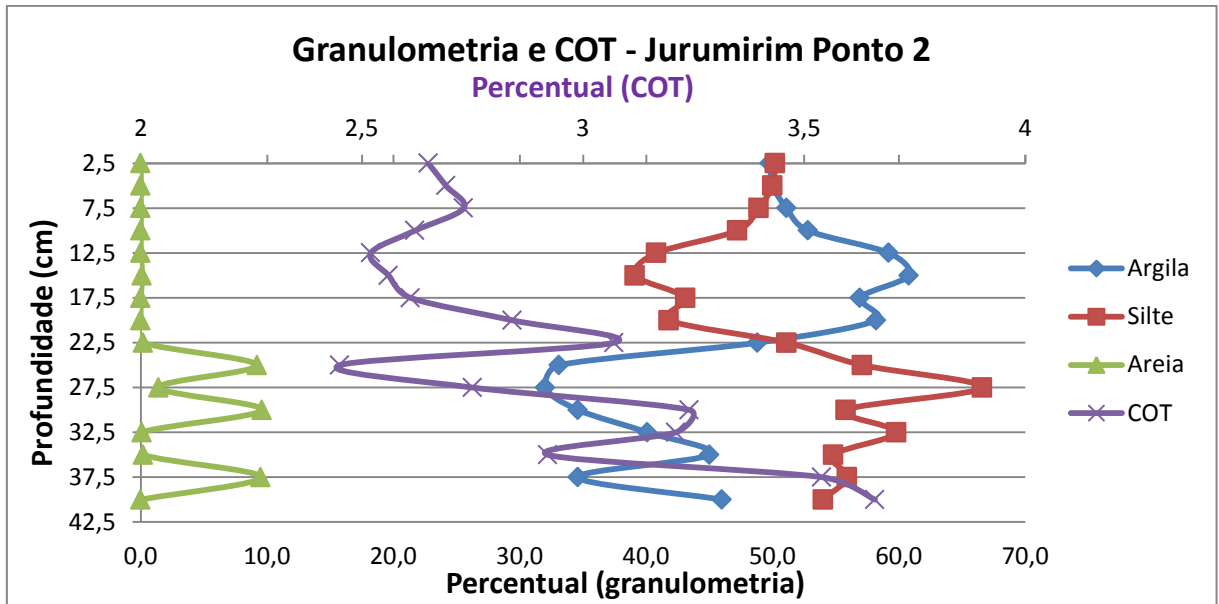


Figura 2.7 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 2 de Jurumirim em janeiro de 2013.

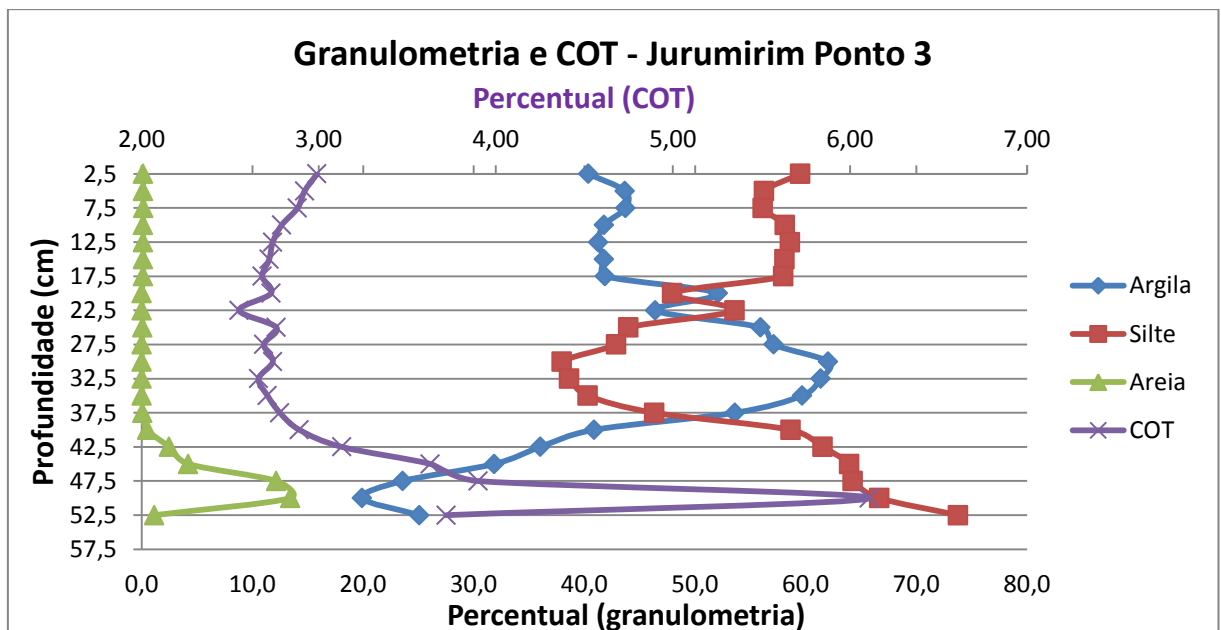


Figura 2.8 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 3 de Jurumirim em julho de 2013.

No perfil do ponto 1 coletado em janeiro de 2014 (Figura 2.6), a fração entre 50 a 55 cm foi datada como relativa ao ano de 1963. Em 50 cm de profundidade, este perfil apresentou alterações em suas textura, a argila aumentou de valores ao redor de 20% para valores ao redor de 40% em profundidade de 40 cm. E a areia sofreu um incremento, de cerca de 5% para 18%, na profundidade de 45cm para 50 cm.

O COT também apresentou na profundidade de 50 cm um pico de quase 10%, e decaiu nas camadas imediatamente superiores para valores ao redor de 3% a 40cm de profundidade.

Todos os demais perfis e pontos apresentaram contraste de textura e/ou de COT próximo à base do perfil. Resgatando o fato de estas coletas terem sido feitas na calha original do rio Paranapanema pré-represa, é muito provável que estas alterações foram provenientes do barramento do rio para a construção do reservatório, pois em todos os perfis verificou-se alterações (picos) de COT na base do perfil, acompanhado de alterações de textura com aumento das proporções de silte e areia em detrimento da argila.

Como estas alterações de textura e COT vão ao encontro da datação dos sedimentos por  $^{210}\text{Pb}$  realizadas no perfil coletado em janeiro de 2014, estes fatos indicam que estas alterações em profundidade refletem o início da formação do lago.

O perfil coletado em julho de 2013 no ponto 1 contou uma história similar ao coletado em janeiro de 2014, e a transição aqui aparece a uma profundidade de 35 a 40 cm, e da mesma forma, a fração areia aumentou de valores ao redor de 2 a 3% (em 30 cm) para 12% (em 40 cm) e o COT saiu de valores próximos a 3%, para 13% a 40 cm de profundidade. Em janeiro de 2013, o COT aumentou de valores ao redor dos 2% para 4%, com alterações granulométricas (aumento de areia e diminuição da argila) a partir dos 40 cm.

Esta alteração (provável transição sedimento rio/sedimento represa) também foi perceptível no ponto 2, mas na profundidade de 35 cm e no ponto 3, em profundidade ao redor de 50 cm.

Desta forma, tomando a data de início do enchimento do lago em Outubro de 1961, (CESP 1998) foi possível estimar a taxa de sedimentação média nos três pontos deste reservatório. Foi considerado que estas alterações granulométricas e de COT foram evidências de que os perfis sedimentares coletados atingiram o sedimento da fase rio, corroborado pela datação realizada no perfil do ponto 1 de janeiro de 2014, antes da inundação da várzea do rio

Paranapanema para a construção da represa de Jurumirim. A Tabela 2.3 apresenta um resumo destas profundidades de transição e a taxa de sedimentação obtida em cada perfil.

Os três perfis coletados no ponto 1 apresentaram uma taxa de sedimentação média de  $0,9 \text{ cm a}^{-1}$ . Estes resultados mostraram que quanto mais distante da barragem, maior foi a taxa de sedimentação. Tal comportamento já foi observado no reservatório do Rio Grande por Fávoro *et al.* (2007), onde a taxa de sedimentação de  $0,6$  a  $1,2 \text{ cm a}^{-1}$  foi estimada por datação com  $^{210}\text{Pb}$ , e esta taxa foi maior na entrada do reservatório e menor próximo à barragem.

Tabela 2.3 – Profundidades de transição e taxas de sedimentação calculadas nos perfis coletados no reservatório de Jurumirim

Perfil	Profundidade de Transição (cm)	Tempo (anos)	Taxa de sedimentação média ( $\text{cm a}^{-1}$ )
P1 Janeiro 2013	45,0	51	0,88
P1 Julho 2013	42,5	51	0,83
P1 Janeiro 2014	50,0	52	0,96
P2 Janeiro 2013	32,5	51	0,64
P3 Julho 2013	50,0	51	0,98

Isto faz sentido na medida em que o material particulado carregado pelos rios tende a sedimentar assim que chega ao reservatório, onde encontra uma menor velocidade de escoamento. À medida que a água segue seu curso dentro do reservatório, material particulado é carregado, o que confere menores taxas de sedimentação quando se aproxima da barragem. Outra evidência disto é a medida da transparência da água (Tabela 1 do Anexo F) que foi menor no ponto 3, entrada do reservatório (1,1 metro) e maior no ponto 2, mais próximo da barragem (3,5 metros), com valores intermediários no ponto 1.

O incremento nos níveis de COT na transição rio-represa nos testemunhos de Jurumirim foi corroborado pela presença de resíduos de folhas e gravetos nos sedimentos desta transição, e que não foi observado em outras profundidades dos perfis sedimentares. A Figura 2.9 apresenta algumas frações que apresentaram tais materiais orgânicos.

Estes materiais normalmente caem das árvores para os cursos de água (principalmente por ação dos ventos e escoamento pluvial), e depositam-se nos sedimentos

dos rios. Ao se construir um reservatório, normalmente, não se remove a vegetação existente nas margens dos rios, e estas ficam submersas, cujos resíduos (folhas e gravetos) incrementam o COT nos sedimentos.

Estas transições de COT e textura que ocorreram em profundidade nos perfis de sedimento coletados em Jurumirim foram adotadas como referentes à época de enchimento do lago (ano de 1962), conforme evidenciado pelo perfil datado em janeiro de 2014, e, portanto considerada a escala de tempo (ao invés de profundidade) para comparação e discussão de alguns resultados.



Figura 2.9 – Amostras do perfil sedimentar de Jurumirim no ponto 1 em janeiro de 2014; cortes 17, 19 e 20, com resíduos de folhas e gravetos.

A forma como se apresentou a textura de Jurumirim é um fato que merece destaque. Houve muitas alterações nos percentuais de argila e silte durante a sedimentação dentro do reservatório (Figuras 2.4 a 2.8). A Figura 2.10 apresenta a variação do conteúdo de argila, volume útil do reservatório e vazão afluente em função do ano. A argila foi plotada no gráfico considerando a relação estabelecida pela profundidade com o ano (conforme Tabela 2.3).

O volume útil e vazão afluente apresentaram boa correlação ( $r = 0,7$ ) e a sobreposição gráfica destes apresenta boa correlação com a argila ( $r = 0,65$ ) Isto parece indicar que a deposição das partículas mais finas foi relacionada com os episódios de maior afluência para o reservatório, junto com um aumento (e estabilidade temporal) do nível de água. Em todos os perfis do ponto 1, ocorrem picos de argila (às vezes discretos aumentos percentuais) entre os anos de 1997 e 1998 e entre 2008 e 2010, coincidentes com as situações de maior vazão e maior volume de armazenamento do reservatório. O período de menor vazão afluente para o reservatório foi também o que apresentou menores valores percentuais de volume útil ocupado no reservatório, caracterizado entre os anos de 1999 a 2007, que registrou um decréscimo nos percentuais de argila no reservatório nos perfis sedimentares coletados.

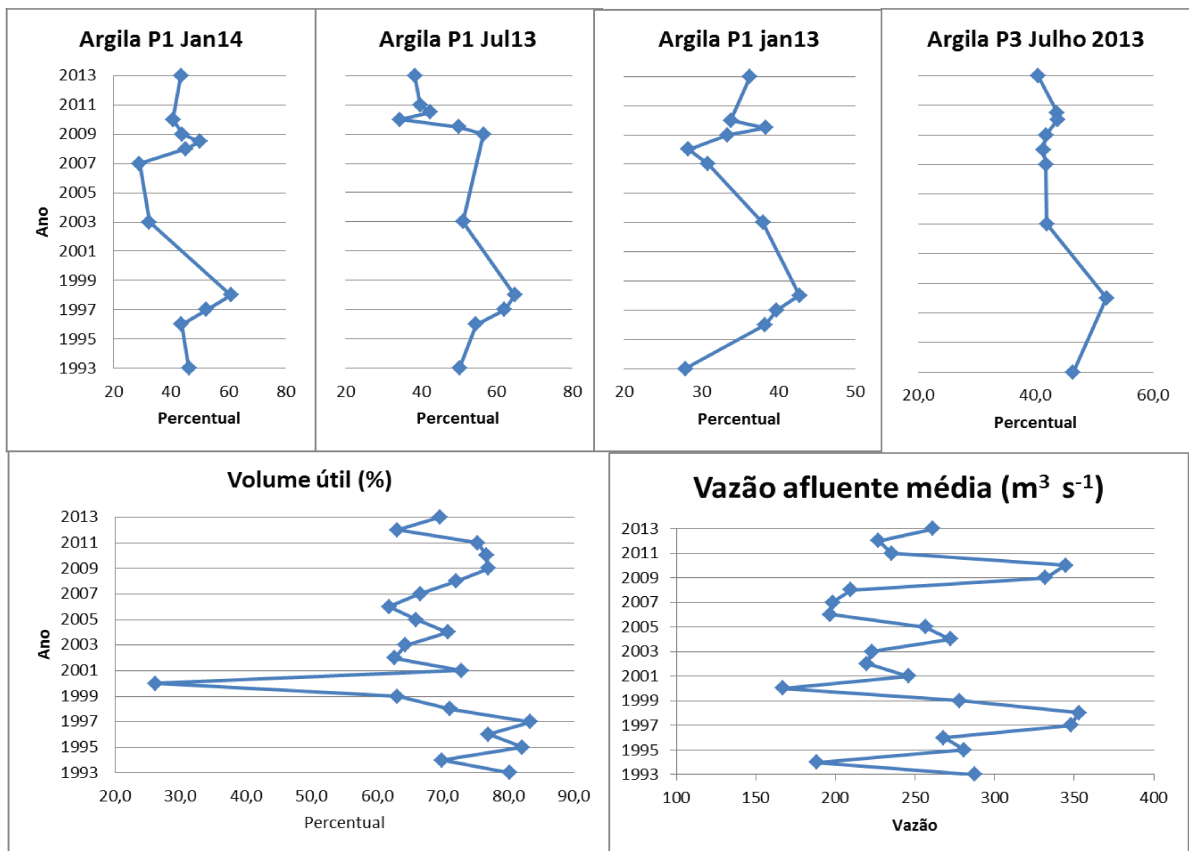


Figura 2.10 – variações da argila, volume útil e vazão afluente em função do ano para o reservatório de Jurumirim.

O reservatório de Jurumirim é o primeiro reservatório (mais a montante) de um sistema de geração de energia hidroelétrica composto por mais seis barragens ao longo do rio Paranapanema, e a sua função de regular vazão aqui fica evidente. Ao regular a vazão de jusante, retém-se a água por maior período no reservatório em episódios de cheias, isto

favorece a deposição das partículas mais finas. Os episódios de maior deposição siltosa tiveram correlação inversa com o volume, com maior deposição de silte nos momentos de menor volume útil do reservatório, e por consequência, uma menor retenção das águas na represa.

Desta forma, de acordo com a datação realizada e as informações da textura do sedimento, pode-se concluir que o processo de deposição sedimentar em Jurumirim guarda relação direta com a vazão afluyente e o volume de operação do reservatório. Nas ocasiões onde a vazão afluyente (e por conseguinte o volume útil) estiveram maiores, a taxa de sedimentação foi mais elevada e caracterizada pela maior deposição de partículas finas. De forma contrária, com menores vazões e menores percentuais de volume útil ocupado, a taxa de sedimentação foi menor, assim como os percentuais de material fino.

### **2.3.1.3 Reservatório de Promissão**

A datação por  $^{210}\text{Pb}$  foi realizada no perfil coletado no ponto 3, o mais profundo dentre os perfis desta represa (50 cm). A base deste perfil datado apontou para o ano de 1934, bem antes da construção do sistema de reservatórios em cascata do qual Promissão faz parte. No período compreendido entre 1960 e 1970 foram construídas as barragens à montante de Promissão; Barra Bonita (1962), Bariri (1965) e Ibitinga (1969) ao longo do rio Tietê (CESP 1998). A Figura 2.11 apresenta o gráfico da datação por  $^{210}\text{Pb}$  e a Tabela 2.4 a relação entre as fatias do perfil e o ano correspondente.

O enchimento do lago iniciou em Julho de 1974 (CESP 1998), e foram considerados 39 anos desde a construção do reservatório até a coleta. Uma vez que a profundidade de 30 cm tem correspondência com este período, pôde-se estimar a taxa de sedimentação média em Promissão para este perfil coletado em  $0,77 \text{ cm a}^{-1}$ .

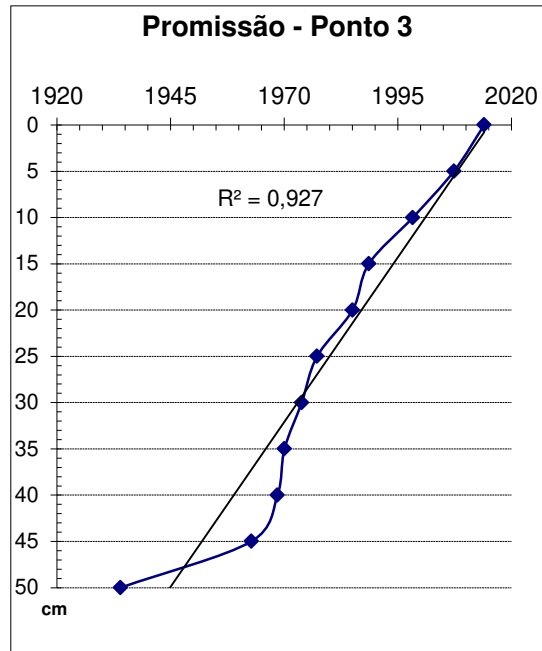


Figura 2.11 – Gráfico de datação por  $^{210}\text{Pb}$  para o ponto 3 – reservatório de Promissão

Em Promissão, a partir do enchimento do reservatório (1974), a datação demonstrou que este reservatório não apresenta alterações significativas em suas taxas de sedimentação, como ocorreu em Jurumirim. Aqui as taxas alteraram de 1,5 cm ao ano no período entre 1974 e 1977 – 30 a 35 cm de profundidade (período de enchimento do reservatório); a 0,5 cm ao ano – 5 a 15 cm de profundidade, relativo aos anos de 1989 a 2007. Muito provavelmente esta baixa alteração da taxa de sedimentação é em função de Promissão ser o quarto reservatório de um sistema de barragens em cascata e já receber uma vazão afluyente mais regularizada.

O período entre 1934 e 1963 apontado na datação, correspondente aos últimos cinco centímetros do perfil de sedimento, apresentaram relação temporal com o rio Tietê antes da construção das represas de montante. Justamente por isto, apresentou taxa de sedimentação muito baixa ( $0,16 \text{ cm a}^{-1}$ ), pois neste período o rio apresentava-se com suas corredeiras e vazões sem interferência do homem na tentativa de regularizá-las como ocorreu a partir do início da década de 1960, com a construção da primeira represa do rio Tietê (Barra Bonita, em 1962), com o objetivo de regularizar a vazão do rio para gerar energia hidroelétrica (CESP 1998).

Tabela 2.4 – Correlações profundidade/ano obtidas pelo método de datação com  $^{210}\text{Pb}$  para o perfil do Ponto 3 – reservatório de Promissão

Promissão – Ponto 3	
ano	profundidade (cm)
2014	0
2007	5
1998	10
1989	15
1985	20
1977	25
1974	30
1970	35
1968	40
1963	45
1934	50

A Figura 2.12 apresenta o histórico de 20 anos das vazões afluentes médias (mensais por ano) de Promissão (ANA, 2017).

Enquanto que em Jurumirim a diferença entre a mínima média anual e a máxima foi de 112% ( $167 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  em 2000 e  $353 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  em 1998), em Promissão este percentual foi de 75% ( $535 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  em 2006 e  $937 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  em 1995). Além disto, não se verifica em Promissão grandes picos de vazão média como os que foram observados em Jurumirim.

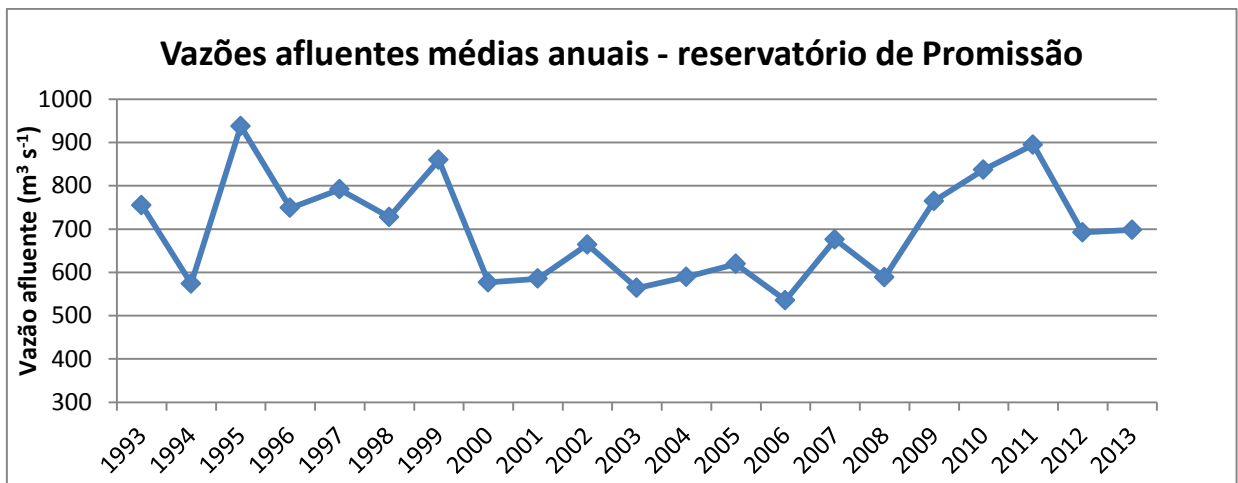


Figura 2.12 – vazões afluentes médias anuais – reservatório de Promissão.

Isto se refletiu na datação do perfil sedimentar do ponto 3. O período de vazão dos últimos 20 anos apresentou-se estável e sem grandes variações, com média de vazão anual de  $699 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . O período entre os anos de 2000 a 2008 apresentou vazão afluente bem constante

e baixa frente à média destes últimos 20 anos (oscilou entre o mínimo de  $535 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  em 2006 e o máximo de  $677 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  em 2007 ao longo de nove anos) e a taxa de sedimentação do período foi uma das menores da série determinada no perfil sedimentar datado, e compreendeu os anos de 1998 a 2007 (frações do perfil sedimentar correspondente ao intervalo de 5 a 10 cm de profundidade). A sedimentação foi de 5 cm ao todo, com taxa de sedimentação neste período de 0,5 cm ao ano.

E entre os anos de 2009 a 2013, a vazão afluente média foi maior, com a média de  $777 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Os primeiros cinco centímetros de sedimentação refletem este período de acordo com a datação (a fatia referente da superfície do sedimento a 5 cm tem correspondência ao ano de 2007) e a taxa de sedimentação neste período foi de 0,8 cm ao ano.

Ou seja, da mesma forma que em Jurumirim, a dinâmica de sedimentação em Promissão guardou relação e dominância com a vazão afluente para o reservatório, onde os episódios com maior vazão afluente resultaram em taxas de sedimentação maiores do que nos períodos onde a vazão afluente foi menor e indicou uma taxa de sedimentação mais baixa.

#### **2.3.1.4 Textura, Carbono Orgânico e o histórico e modelo de sedimentação em Promissão**

A Tabela 2 do Anexo B apresentam os resultados de granulometria (argila, silte e areia) e COT determinados ao longo dos perfis coletados em Promissão.

Em Promissão, os resultados de COT oscilaram entre 2 a 5% em média nos perfis entre a profundidade de 5 cm a até próximo à base do perfil, onde existiram picos de COT que atingiram até 10%. Em superfície (0 cm a até 5 cm), Promissão também registrou concentrações mais elevadas de COT, entre 6 e 8%.

A textura dos sedimentos de Promissão foram caracterizadas por partículas mais siltosas (silte sempre maior que 50% em todos os perfis) até atingir uma profundidade na qual ocorrem transições de textura nos perfis coletados neste reservatório, com diminuição do silte e incrementos de areia ou argila em alguns casos.

No reservatório de Promissão, foram considerados cinco perfis distribuídos em três pontos, com três coletas no Ponto 1 (P1) ao longos dos meses de Janeiro de 2013 a Janeiro de 2014 e uma no ponto 2 e outra no 3 em Janeiro de 2014. A Tabela 1.2 (Capítulo 1) apresenta estes perfis e a quantidade de sub-amostras deles.

Promissão demonstrou ser um reservatório no qual foi difícil localizar a calha original do rio Tietê. No ponto 1, próximo à barragem, a diferença de profundidade verificada no ecobatímetro na secção transversal do reservatório não permitiu concluir com segurança o local por onde o rio passava antes do alagamento da região. A profundidade mantinha-se praticamente constante, com incrementos de apenas um metro em vários locais ao longo da secção, e não foi possível caracterizar um local como o ponto mais profundo e possível canal original do rio Tietê.

Desta forma, não foi possível afirmar que em Promissão os testemunhos possam caracterizar uma transição sedimento represa/sedimento rio, mas sim uma transição sedimento represa/solo (antes do alagamento do reservatório) para os pontos 1 e 2. O ponto 3 foi o ponto no qual a identificação do leito do rio foi um pouco mais confiável (houve um desnível de dois metros de diferença apontado no ecobatímetro na secção transversal) e a coleta no leito original pode ser considerada (como de provável ocorrência) em função do tamanho do perfil. Enquanto todos os demais perfis coletados em Promissão ficaram com profundidades entre 27 e 35 cm, e atingiram os solos antes do alagamento do reservatório, este perfil do ponto 3 atingiu 50 cm, bem mais profundo.

Todos os perfis apresentaram contrastes em profundidade em relação à granulometria e ao COT. As Figuras 2.13 a 2.17 apresentam as variações para a granulometria e o COT para os cinco perfis coletados em Promissão.

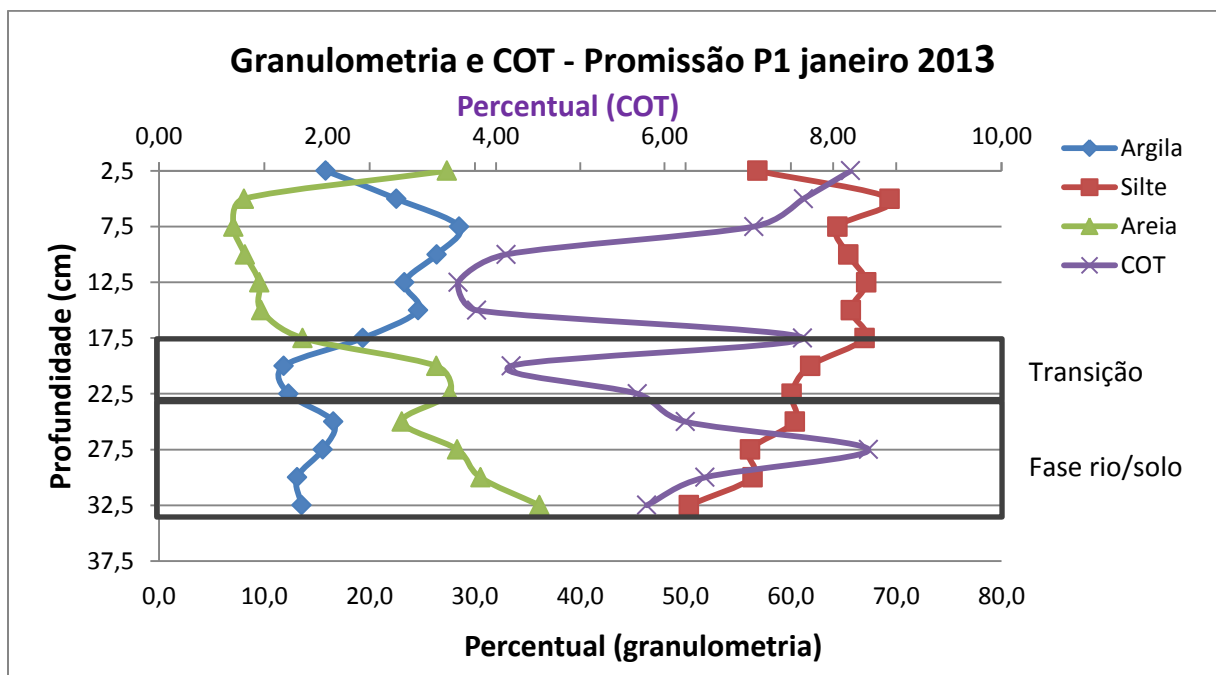


Figura 2.13 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 1 de Promissão - janeiro de 2013.

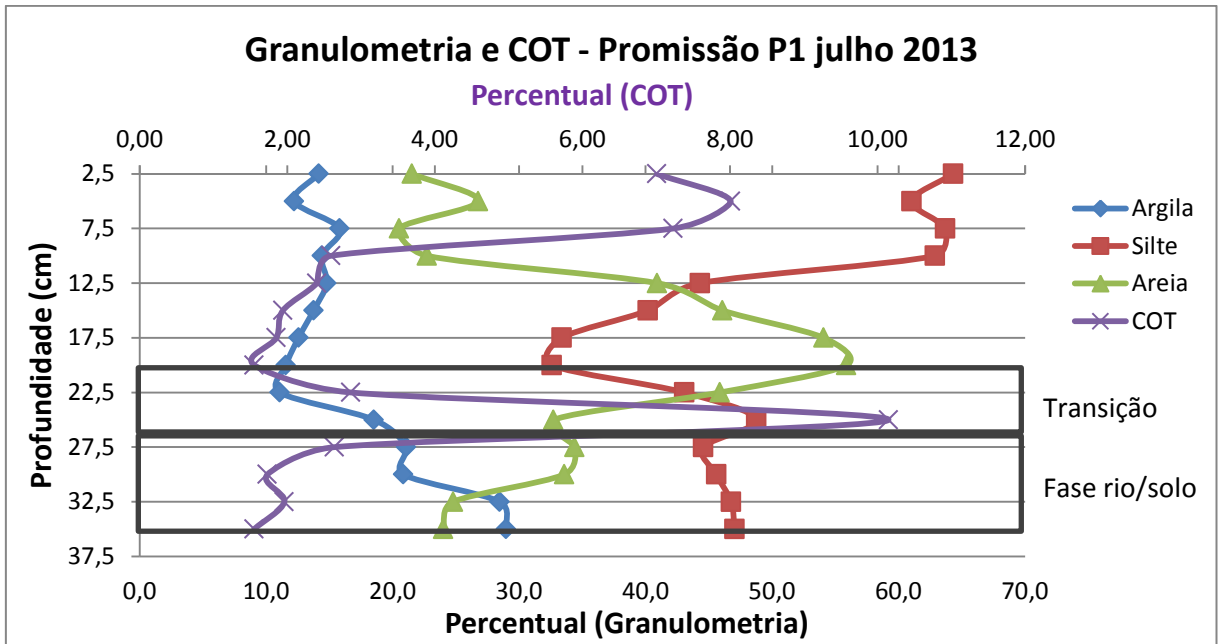


Figura 2.14 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 1 de Promissão em julho de 2013.

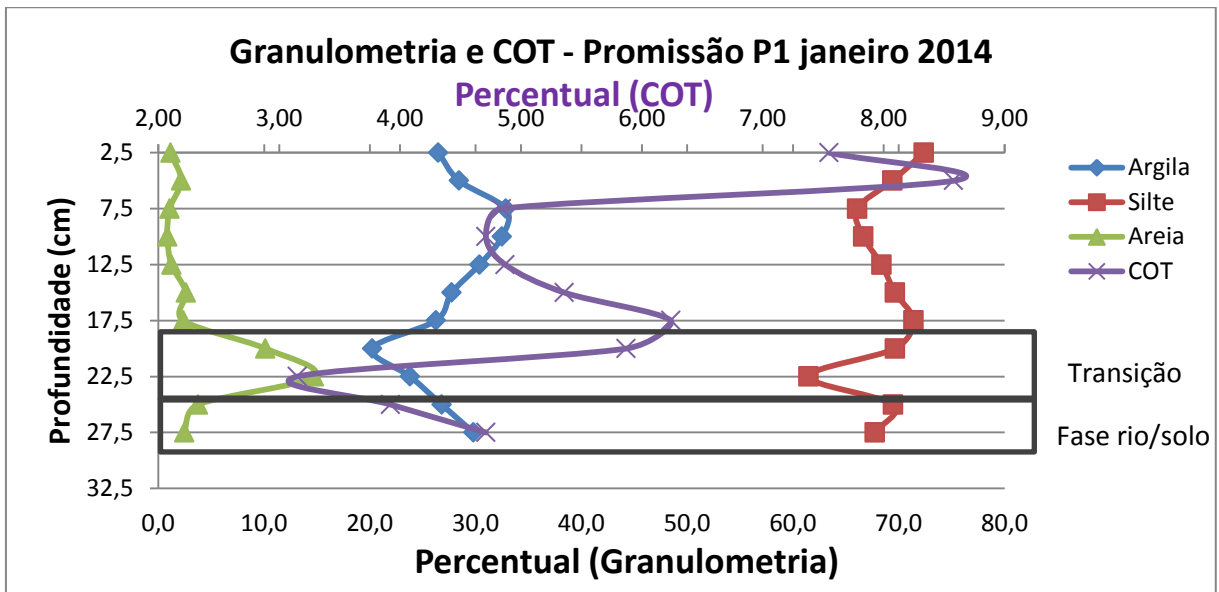


Figura 2.15 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 1 de Promissão - janeiro de 2014.

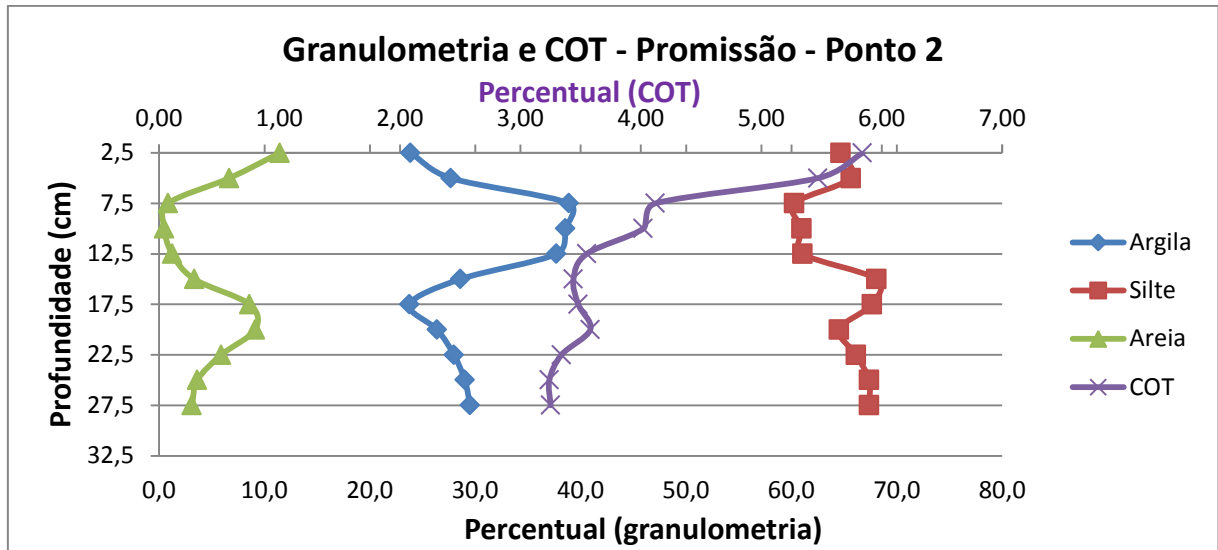


Figura 2.16 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 2 de Promissão.

O perfil do ponto 1 de janeiro de 2013 (Figura 2.13) apresentou alterações de textura e COT nas profundidades de 17,5-22,5 cm. A areia aumentou de 13 para 26% nestas profundidades, e a argila diminuiu de 20 para 11%. O COT, que era estável ao redor de 4%, teve um aumento para algo ao redor de 8% nestas profundidades.

O perfil coletado em julho de 2013 (Figura 2.14) apresentou alterações tanto na textura quanto no COT nas profundidades de 20 a 25 cm. O COT após estabilizar suas concentrações ao redor de 2,0% no perfil, apresentou um aumento para cerca de 10% a 25 cm. Nesta mesma profundidade, a argila subiu de cerca de 10 para 20% e a areia apresenta um decréscimo de 46 para 33%.

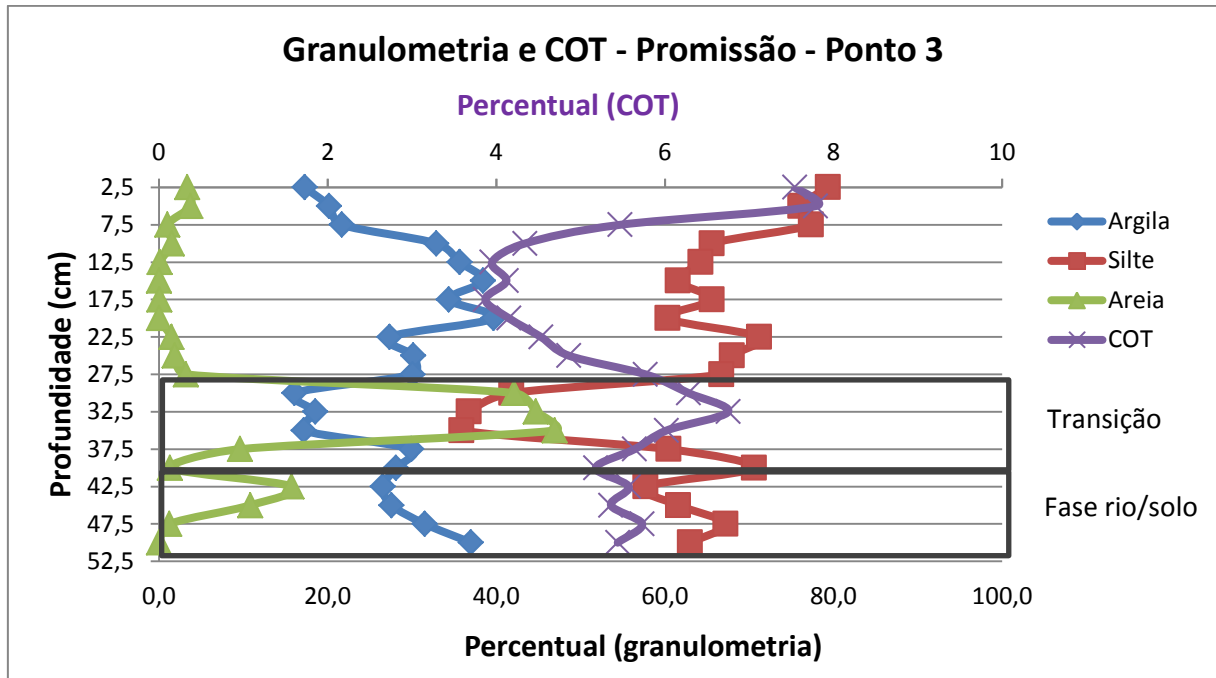


Figura 2.17 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 3 de Promissão.

O perfil coletado em janeiro de 2014 no ponto 1 novamente apresentou contrastes na profundidade entre 17,5 e 22,5 cm, o COT aumentou de 4 (base do perfil) para 6% (22,5 cm) e depois diminuiu para 4 – 5%. A areia manteve-se ao longo do perfil ao redor de 2% e aumentou para 14% em 22,5 cm, com a argila diminuindo seu percentual de 26 para 20%, assim como o silte de 70% para 60%.

O ponto 2 não apresentou nenhum contraste significativo de textura e COT (a não ser o incremento de COT no topo do perfil). Este perfil provavelmente não atingiu a transição sedimento represa/ solo (ou sedimento rio) no reservatório de Promissão.

Aliás, o incremento de COT no topo do perfil (camadas superficiais, a até 7,5 cm) em relação ao meio do perfil foi característico em todo perfis coletados em Promissão, o que pode indicar a deposição nos sedimentos de matéria orgânica oriunda de efluentes não tratados adequadamente ou carga difusa que chegaram ao reservatório.

Para o ponto 3 (Figura 2.17), as condições texturais se mantiveram quase que constantes até a profundidade de 30 cm do perfil. Entre 30 e 35 cm, houve um incremento dos percentuais de areia, com decréscimo mais significativos de silte e argila. O COT, além do incremento no topo, apresentou contraste também no meio do perfil, na profundidade entre 30 e 35 cm, onde aumentou de valores entre 4-5% para 7%. Estas alterações texturas e no COT

definem que esta profundidade do perfil coletado é correspondente a transição entre os sedimentos pré e pós-barramento do rio Tietê, e de acordo com os resultados da datação com o  $^{210}\text{Pb}$  realizada (Tabela 2.4), estas alterações tem correspondência com o ano de 1974, quando começou a formação do lago de Promissão. Destaca-se a quantidade de fragmentos de folhas e gravetos presentes em profundidade nos perfis coletados no ponto 1 e também no ponto 3, conforme apresentado na Figura 2.18 que mostra fotos dos cortes 9 e 10 do perfil coletado no ponto 1 (22,5 e 25 cm de profundidade) onde podem ser vistos gravetos e raízes nos sedimentos secos.

Tomando-se os perfis do ponto 1 onde ficou evidente a transição sedimento represa/solo como de 17,5-20,0 cm Janeiro de 2013; 25,0 em Julho de 2013 e 22,5 cm em Janeiro de 2014, podemos definir como profundidade de transição 22 cm. A construção da barragem de Promissão foi iniciada em 1966, com o alagamento iniciado em Julho de 1974 (CESP 1998). Usando como base 39 anos do barramento, temos uma taxa de sedimentação média de  $0,6 \text{ cm a}^{-1}$  neste ponto próximo à barragem, valor inferior aos  $0,77 \text{ cm a}^{-1}$  obtido para o ponto 3, coletado bem mais a montante do ponto 1.

Em Promissão, da mesma forma como em Jurumirim, a textura e o COT apresentaram respostas similares quando o perfil atingiu a fase de transição sedimentar relativa a construção destas represas. Enquanto o COT apresentou um pico logo após a datação indicar o início do enchimento destes lagos, a textura apresentou alterações, com aumentos dos percentuais de silte e argila e decréscimo dos percentuais de areia nestes perfis após a consolidação dos reservatórios nos quais ocorreu a datação e foi possível estabelecer com precisão a escala temporal dos perfis e sedimentações locais.

Os perfis sedimentares coletados em Promissão apresentaram, após a formação do reservatório, poucas alterações texturais quando comparados com os sedimentos de Jurumirim. Estes poucas alterações texturais refletem o controle da vazão afluyente desta represa exercido pelos reservatórios de montante, conforme discutido em 2.3.1.2

Entretanto, apesar de mais tênues, as alterações de textura e COT em Promissão existiram e vão ao encontro dos processos ocorridos em Jurumirim, onde a textura e o COT também apresentaram alterações quando da transição de ambientes (sedimentos pré-represamento e sedimentos pós-represamento) e a taxa de sedimentação manteve relação direta com a vazão afluyente e volume útil do reservatório.

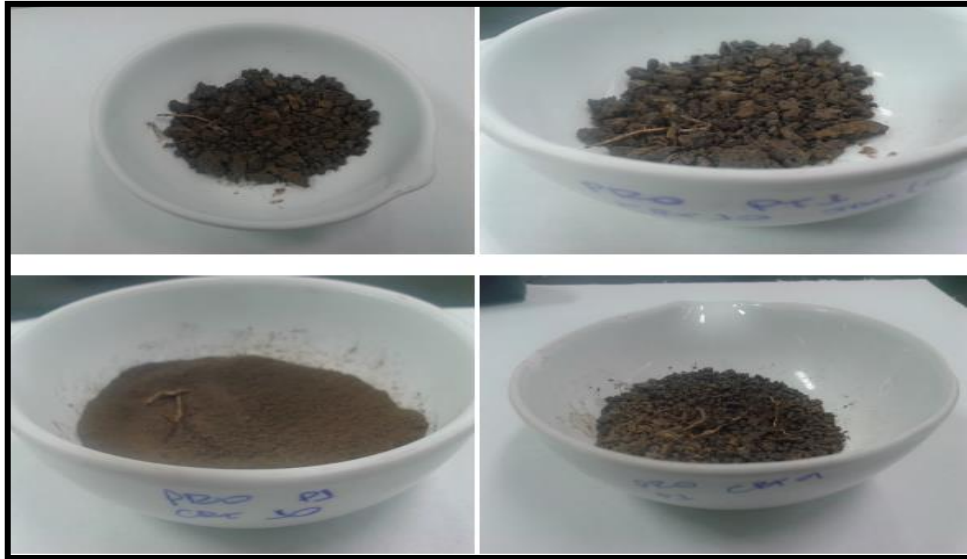


Figura 2.18 – Fragmentos de folhas e raízes encontrados no perfil coletado no P1 Janeiro 2014 nos cortes 9 e 10.

### 2.3.2 Modelo de sedimentação fundamentado na textura e COT a partir dos perfis datados com $^{210}\text{Pb}$

Os perfis sedimentares datados por  $^{210}\text{Pb}$  apresentaram parâmetros que serviram como marcadores dos eventos indicados pela datação para a estimativa da taxa de sedimentação média em outros perfis nos reservatórios de Jurumirim e Promissão.

Conforme indicado na Figura 2.2 e na Tabela 2.2, o perfil datado em Jurumirim (Ponto 1 – janeiro de 2014) apresentou na base do perfil (50 a 55 cm) correspondência ao ano de 1963. O enchimento do reservatório teve início em outubro de 1961 e, portanto estas camadas finais do perfil representaram a transição entre os sedimentos do rio Paranapanema para o reservatório em construção na época. Vale lembrar que este ponto está a mais de 20 km a montante da barragem, e que os efeitos do represamento demoraram certo tempo até atingir este local.

A Figura 2.9 apresenta fotos de fragmentos de gravetos e folhas justamente neste perfil datado que foram encontrados em profundidade referente a 45 – 55 cm. Nestas profundidades, o COT apresentou um pico, conforme demonstrado na Figura 2.6, coincidente com este material visível nas amostras.

Destaca-se que este material orgânico não foi observado em outras profundidades mais superficiais dos perfis sedimentares e que tais fragmentos normalmente caem das árvores para os cursos de água (principalmente por ação dos ventos e escoamento pluvial), e

depositam-se nos sedimentos. Ao se construir um reservatório, via de regra, não se remove a vegetação existente nas margens dos rios, e estas ficaram submersas, cujos resíduos (folhas e gravetos) incrementam o COT nos sedimentos.

Portanto, conforme indicado pela datação, o pico de COT e sua posterior diminuição de concentrações foi reflexo da época da formação do lago de Jurumirim, coincidente com a datação destas frações do perfil sedimentar (referente aos anos de 1963 – 1965). Conforme Figuras 2.4 a 2.8, todos os perfis coletados em Jurumirim apresentaram picos de COT em profundidades similares à do perfil datado e podem ser consideradas como da época de formação do lago de Jurumirim.

A textura demonstrou também grande relação com a datação no perfil de janeiro de 2014 com os eventos hidrológicos. Além da correlação com a vazão afluente (Figura 2.10), onde os percentuais de argila apresentaram grande afinidade com estas no reservatório, as Figuras 2.4 a 2.8 apresentaram alterações de textura significativas na base de todos os perfis. Tomando como exemplo e “modelo” o perfil datado (Figura 2.6), a areia, com percentuais de 18% a 50 cm de profundidade (enchimento do reservatório), apresentou menos de 5% na profundidade de 42,5 cm (equivalente ao ano de 1973), enquanto a argila apresentou na profundidade de 50 cm percentual de 19% , e aumentou para mais de 30% na fração equivalente ao ano de 1973.

Ou seja, o perfil datado em Jurumirim apresentou alterações significativas de textura e COT nas profundidades referentes ao enchimento do lago e estabelecimento de uma nova dinâmica de sedimentação, e indicou que tais alterações foram representativas deste ambiente transicional.

Em todos os demais perfis de Jurumirim ocorreram alterações texturais similares nas camadas mais inferiores dos perfis (Figuras 2.4 a 2.8), acompanhadas de alterações (picos) de COT nas mesmas profundidades.

Para o reservatório de Promissão, conforme Figura 2.11 e Tabela 2.4, o perfil datado (Ponto 3) chegou à década de 1930 e contemplou desde antes das construções das barragens em cascata do rio Tietê, iniciadas em 1962, com o reservatório de Barra Bonita. O ano de 1974, início de enchimento do reservatório de Promissão (em julho de 1974), teve correspondência com a profundidade de 30 cm no perfil datado.

De acordo com a Figura 2.17, a textura e o COT no ponto 3 apresentaram alterações de argila, silte, areia e COT nesta profundidade, e corrobora o discutido mais acima

em relação ao reservatório de Jurumirim. Ocorreu em Promissão os mesmos processos; aumento dos percentuais de argila com consequente estabilização, picos de COT nas profundidades referentes ao barramento (ano de 1974) nos pontos coletados, evidenciado tanto pelas Figuras 2.13 a 2.17 (e para o COT também pelas fotos de gravetos e folhas da Figura 2.18).

Tanto em Promissão quanto em Jurumirim, apenas um perfil de cada reservatório foi datado e foram evidenciadas nestes perfis particularidades que apresentavam relações com a datação temporal obtida (anos) com eventos ocorridos (enchimento do lago e picos ou déficits de vazões). A textura apresentou correlações com estes dois eventos, enquanto que o COT apresenta relação bem mais direta com o enchimento do lago.

A extrapolação destas características nos demais perfis (não datados) apresentaram muitas similaridades tanto em Jurumirim (conforme podem ser verificadas nas Figuras 2.3; 2.4 a 2.8 e 2.10) em relação à textura e COT quanto em Promissão (Figuras 2.13 a 2.17) para com as idades (anos) determinadas nos perfis datados, e corrobora a hipótese de que tais alterações texturais e de COT têm correspondência em perfis sedimentares com a época de enchimento de lagos artificiais e podem ser utilizadas como marcadores desta época de transição e servirem de parâmetros para pelo menos estimar uma taxa média de sedimentação para um reservatório artificial.

Desta forma, como estes processos foram comuns aos dois reservatórios com perfis datados, estes serão aplicados nos perfis do reservatório de Ponte Nova e as alterações de textura e de granulometria serão utilizadas para determinar a taxa de sedimentação média nos perfis coletados neste reservatório.

### **2.3.2.1 Textura, COT e a estimativa da taxa de sedimentação média no reservatório de Ponte Nova**

Foram coletados quatro perfis de sedimento no reservatório de Ponte Nova, três no ponto 1 (P1) ao longo dos meses de Agosto de 2013 a Agosto de 2014 e um no ponto 2 (P2). A Tabela 1.2 (Capítulo 1) apresenta as profundidades destes perfis e o total de frações obtidas.

A Tabela 3 do Anexo B apresenta os resultados de granulometria (argila, silte e areia) e COT determinados ao longo dos perfis coletados em Ponte Nova.

Em Ponte Nova, os resultados de COT apresentaram-se bem homogêneos ao longo dos perfis sedimentares. Estes oscilaram entre 6 a 8% nas camadas superficiais dos perfis até atingir algumas camadas mais profundas, aonde os percentuais de carbono chegaram a 21%.

A textura dos sedimentos apresentou tendência similar ao COT. Os sedimentos de Ponte Nova são caracterizados por siltosos (silte sempre maior que 50% em todos os perfis) até atingir uma profundidade na qual ocorrem transições de textura, com uma diminuição do silte e incrementos de areia ou argila em alguns casos.

Na primeira campanha de coleta (Agosto de 2013) ocorreu um problema no ecobatimento do barco e não foi possível localizar o leito original (antes da formação da represa) do rio Tietê. Assim, este perfil não foi coletado no leito do rio Tietê. Os demais perfis foram coletados na calha original do rio Tietê, que em Ponte Nova foi visível pelo ecobatímetro.

Os quatro perfis coletados apresentaram contrastes em profundidade na textura e COT que permitiram inferir que a transição sedimento represa/sedimento rio (ou solo) foi atingida. As Figuras 2.19 a 2.22 apresentam a distribuição da granulometria (areia e argila) e o COT nos quatro perfis coletados em Ponte Nova.

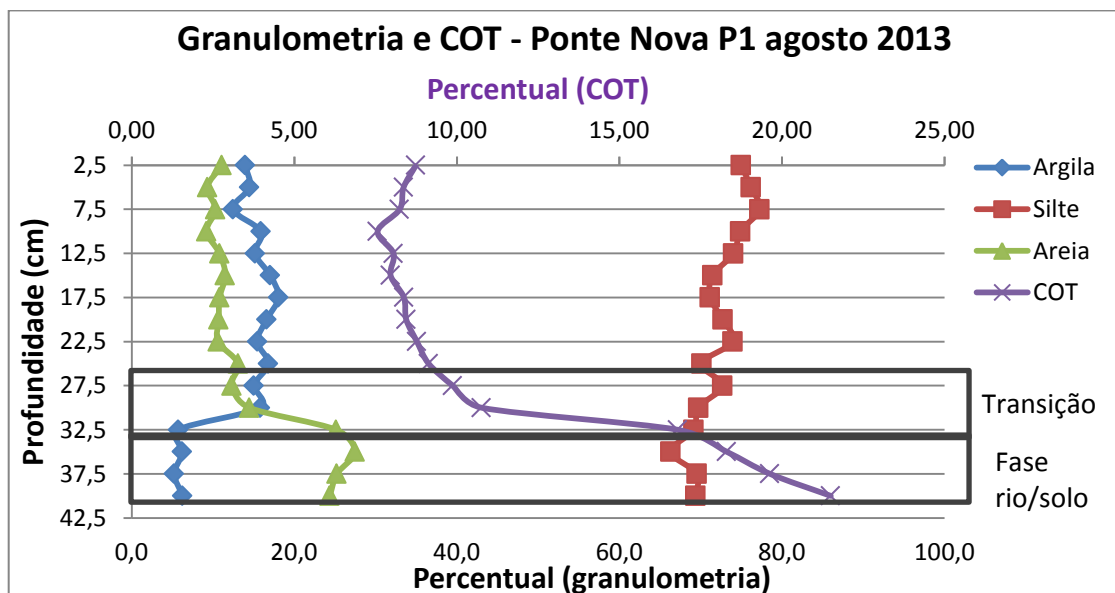


Figura 2.19 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 1 de Ponte Nova em agosto de 2013.

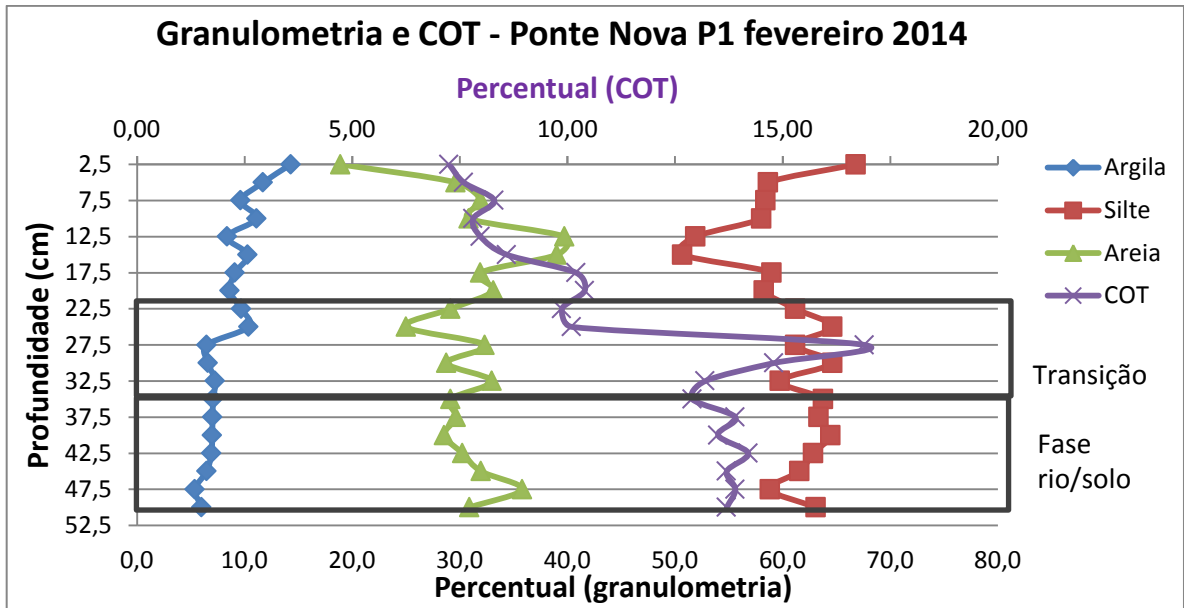


Figura 2.20 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 1 de Ponte Nova em fevereiro de 2014.

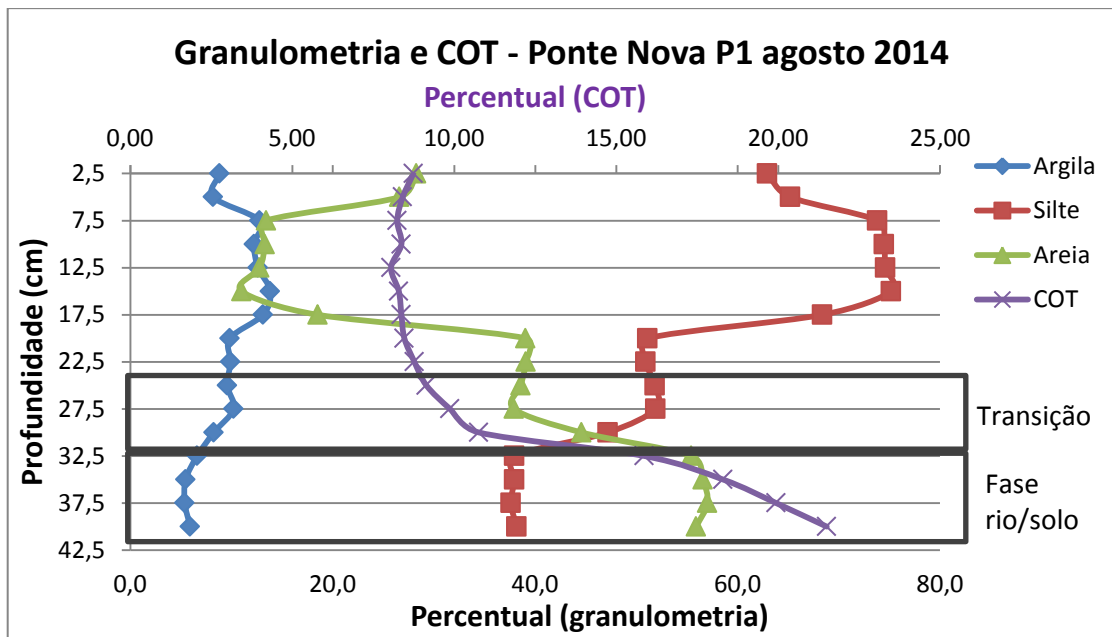


Figura 2.21 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 1 de Ponte Nova em agosto de 2014.

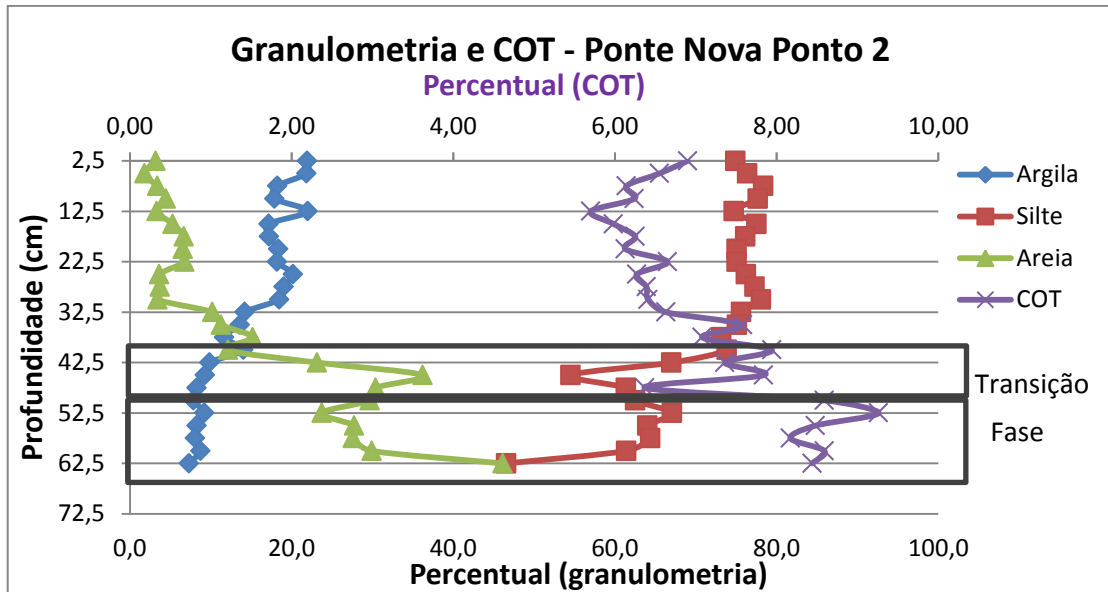


Figura 2.22 – Granulometria e COT no perfil coletado no ponto 2 de Ponte Nova em 2013.

Em Ponte Nova, foi perceptível bruscas alterações texturais, acompanhadas pelo COT, nas profundidades entre 27 a 32 cm no ponto 1 (nos três perfis) e ao redor de 40 cm no ponto 2. Em todos os pontos, foi possível verificar um incremento de areia e COT em maiores profundidades, com decréscimo dos percentuais de argila.

Em Agosto de 2013 (Figura 2.19), a transição ocorreu entre 27,5 e 30 cm, o COT aumentou de 10% para 16%; areia de 15% para 24% e argila diminuiu de 16% para 6%.

No perfil coletado em Fevereiro de 2014 (Figura 2.20) as mudanças foram um pouco mais discretas, mas ocorreram entre 25 e 27,5 cm, com a argila diminuindo seu percentual de 10 para 6% e o COT aumentando de 10 para 16% e a areia não apresentou contraste significativo.

Já no perfil coletado em Agosto de 2014 (Figura 2.21) estas transições voltaram a aparecer de forma mais pronunciada entre 27,5 a 32,5 cm com o incremento de areia de 37% para 55% e o COT de 10 para 16%, e a argila diminuiu de 10 para 6%.

O ponto 2, (distante 4,5 km do ponto 1, a montante) apresentou também estas alterações, mas em profundidade maior, entre 40 e 42,5 cm, onde os percentuais de areia aumentaram de 12 para 23% e os de argila diminuíram de 14 para 10%.

Apesar de em Ponte Nova não ter havido a datação dos sedimentos com o  $^{210}\text{Pb}$ , as mesmas transições de textura, COT e elementos maiores observadas nos reservatórios de

Jurumirim e Promissão, que foram relacionadas com o período de enchimento do reservatório, também puderam ser verificadas em Ponte Nova, conforme discuto no item 2.3.2. Desta forma, tais profundidades (nos perfis sedimentares) onde estas alterações ocorreram foram consideradas em Ponte Nova como o ano no qual o reservatório foi consolidado (ano de 1971).

Todas estas alterações de textura e COT podem ser consideradas como em função do barramento do rio Tietê para a construção do reservatório, e pôde ser estimada a profundidade média de 30 cm como a profundidade de sedimento referente à transição sedimento da represa de Ponte Nova versus sedimento do rio Tietê (ou solo às margens do rio alagado na construção do reservatório) para o ponto 1.

Desta forma, pode-se determinar a taxa de sedimentação deste reservatório. A represa de Ponte Nova teve suas construções iniciadas no final da década de 1960, e finalizada em 1971 (DAEE, 2016). Assim ao longo de um período de 42 anos (1971 – 2013) observou-se no ponto 1 um aporte de 30 cm de sedimento, o que resulta em uma taxa de sedimentação média de 0,7 cm por ano. No ponto 2, a transição ocorreu a 42 cm, e a taxa de sedimentação média foi de 1,0 cm por ano.

### **2.3.3 Geoquímica e mineralogia dos sedimentos nos reservatórios**

#### **2.3.3.1 Reservatório de Jurumirim**

As Tabelas 1 a 5 do Anexo D apresentam os resultados obtidos na digestão total das amostras de sedimentos para todos os perfis sedimentares coletados em Jurumirim. E no Anexo C estão alguns difratogramas das amostras analisadas no perfil coletado em julho de 2013 neste reservatório.

As Figuras 2.23 e 2.24 apresentam os valores médios das concentrações dos elementos determinados no reservatório de Jurumirim nos perfis coletados em Julho e Janeiro de 2013 respectivamente .

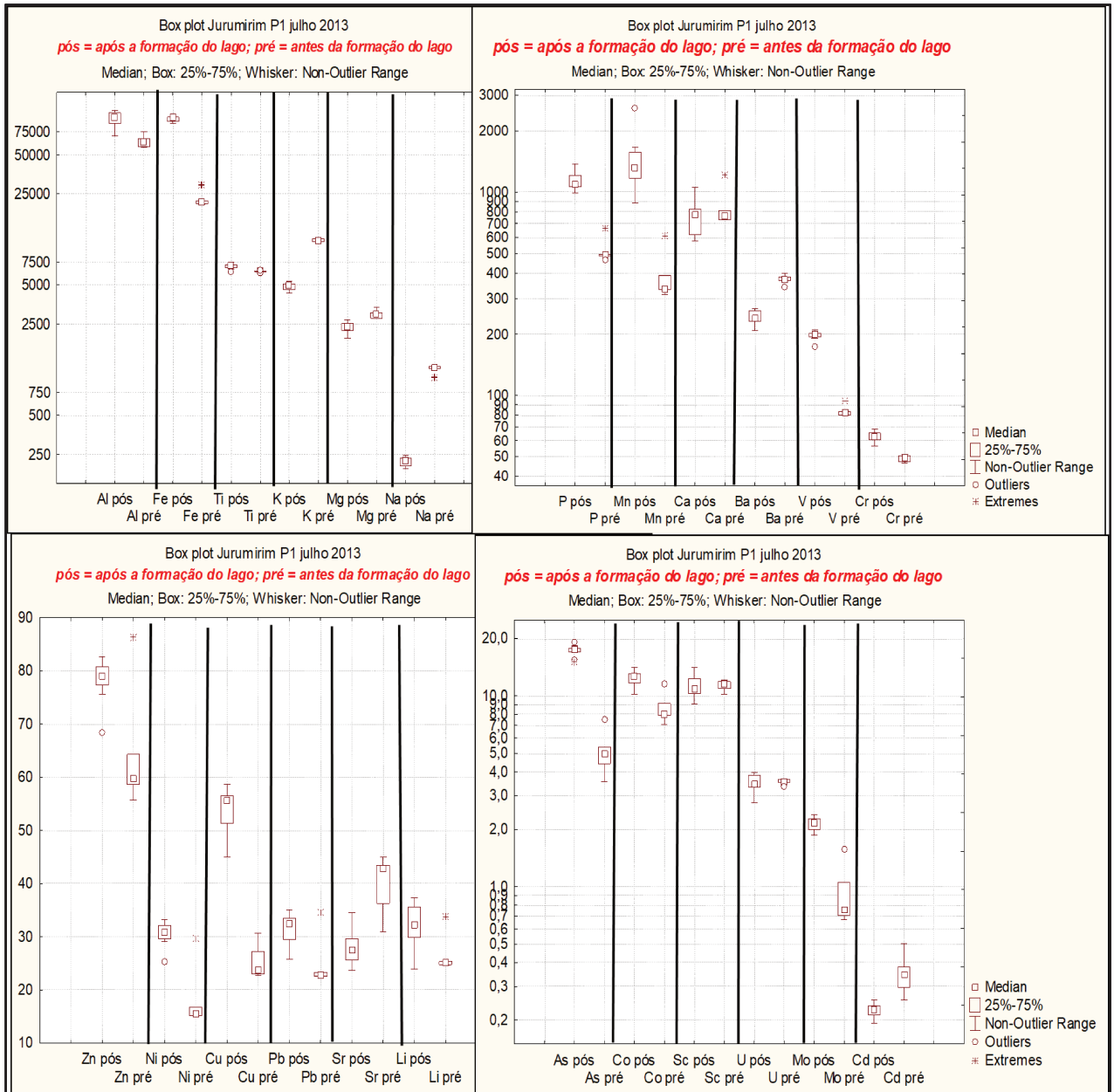


Figura 2.23 – Concentrações de alguns elementos determinados em Jurumirim no perfil coletado no ponto 1 em Julho de 2013.

As médias das concentrações foram calculadas de duas formas: primeiro, somente com os resultados referentes à sedimentação após a formação do lago de Jurumirim (nas Figuras 2.23 e 2.24 designado como “pós”), acima das transições provocadas por textura e COT (conforme a datação, este período é relativo ao ano de 1965); e depois com os resultados obtidos na fase de transição dos sedimentos entre o rio Paranapanema e o reservatório (nas Figuras 2.23 e 2.24 designado como “pré”), ou seja, antes da formação do lago da barragem de Jurumirim.

É perceptível que alguns elementos apresentaram variações de concentrações quando se estabelece esta diferenciação entre sedimentos pré e pós-represamento. Alumínio, Fe, P, Mn, V, Ni, Cu, As, Mo e Sb apresentaram, em todos os perfis, concentrações maiores nos sedimentos após a construção da barragem, enquanto os elementos K, Na, Ba, Sr e Mg apresentaram maiores concentrações nos sedimentos antes da construção da barragem.

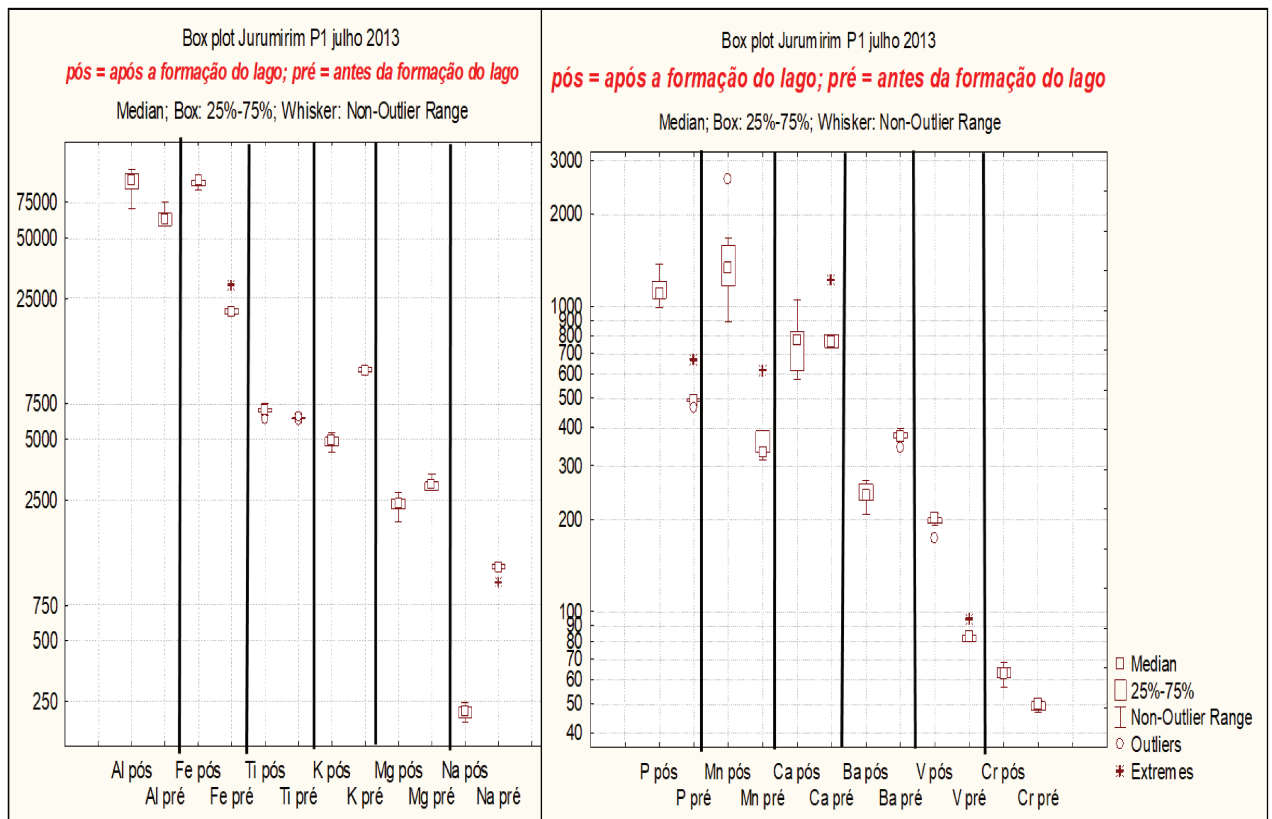


Figura 2.24 – Concentrações dos elementos determinados em Jurumirim no perfil coletado no ponto 1 em Janeiro de 2013.

As concentrações dos elementos nos demais perfis coletados foram similares em todas as campanhas, sendo mantidas as variações entre os sedimentos pré e pós-represamento com maior ou menor intensidade.

Apenas o ponto 2 apresentou variação nas concentrações de alguns elementos. Para Fe, Ti, V e Hf, as concentrações observadas no ponto 2 foram discretamente superiores aos demais pontos; e há uma menor concentração para os elementos Ca, K, Ba, Sr e Mg, em relação aos demais pontos e perfis. A Figura 2.25 apresenta um comparativo entre os elementos Ti e K (como exemplos de elementos com maior e menor concentrações no P2 em relação ao P1 e P3, respectivamente) para todos os pontos coletados em Jurumirim.

Tal comportamento diferente no ponto 2 pode ser explicado em função dos aspectos geológicos da área de drenagem correspondente a este ponto. A represa de Jurumirim neste local já incorpora o rio Taquari, principal afluente do rio Paranapanema neste reservatório. A bacia hidrográfica desta região é formada em boa parte por basaltos da Formação Serra Geral, enquanto o restante do reservatório drena áreas de rochas pré-vulcânicas e do Embasamento Cristalino, conforme já apresentado no capítulo 1.

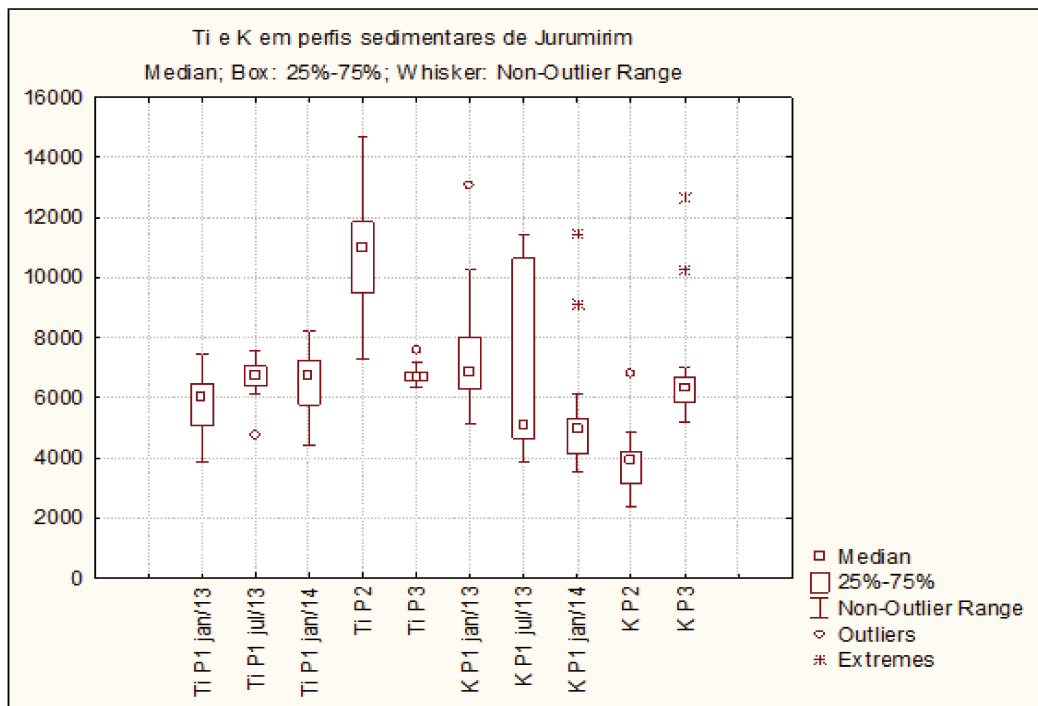


Figura 2.25 – Mediana, *outliers* e extremos das concentrações de Ti e K nos perfis coletados em Jurumirim.

O dendrograma da Figura 2.26 ilustra os grupamentos formados com os resultados dos elementos determinados nos perfis do ponto 1 em Julho de 2013. Os dendrogramas obtidos nos demais perfis são similares.

Em todos os perfis, os dendrogramas indicaram a separação em dois grandes grupos, um onde estão os elementos K, Na, Sr, Ba, Hf, e por vezes Ca e Cd, e outro grupo formado majoritariamente por Fe, Al, Mn, Ti, Cr, V, Cu, Sb e As, incluindo por vezes Sc, Li, P, Mo e Co. E justamente os elementos deste grupo são os que apresentaram enriquecimento ao se comparar o perfil com os sedimentos da fase represa com os sedimentos da fase rio, conforme também pode ser observado nas Figuras 2.23 e 2.24.

A deposição sedimentar dos elementos pode ser considerada praticamente constante nos sedimentos da fase represa. Entretanto, o barramento do rio Paranapanema propiciou uma nova dinâmica de sedimentação dos elementos, com incremento para Fe, Al, Mn, Ti, P, Cr, V, Mo, Cu e As quando em comparação com os sedimentos da fase rio Paranapanema.

Isto evidência o enriquecimento destes elementos associados a Fe e Al nos perfis sedimentares de Jurumirim após a construção da barragem. A nova dinâmica de sedimentação aqui imposta propiciou o incremento das concentrações destes dois elementos nos sedimentos de Jurumirim e dos elementos que ocorrem associados a estes majoritários nos sedimentos.

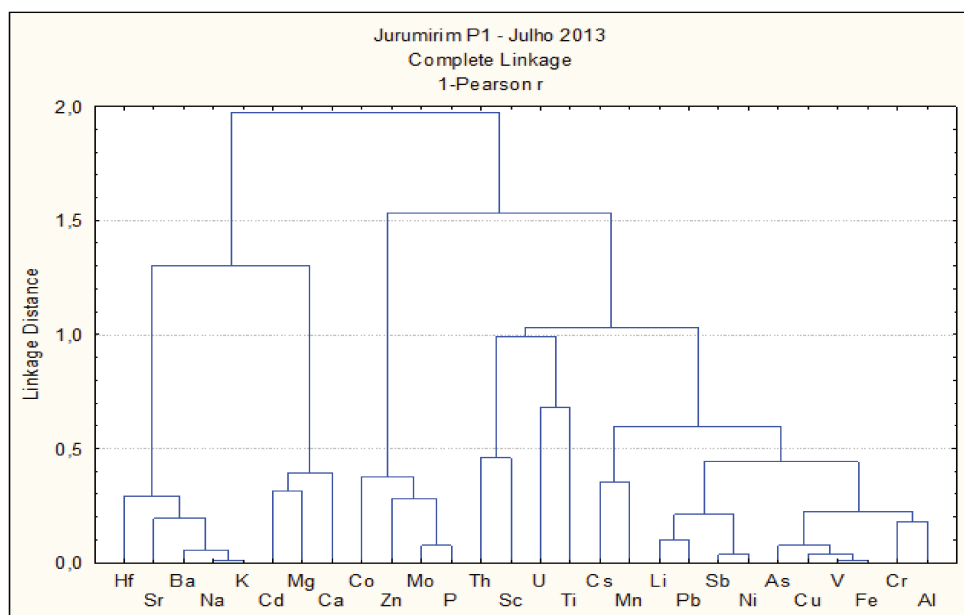


Figura 2.26 – Dendrograma dos elementos determinados em Jurumirim no perfil coletado no Ponto 1 em Julho de 2013.

A Figura 2.27 apresenta os perfis das concentrações dos elementos no ponto 1 em Julho de 2013 e ilustra esta dinâmica de estabilidade das concentrações dos elementos após a formação do lago e pode-se verificar os dois distintos grupos formados; um grupo que apresentou enriquecimento após a construção do lago (as alterações de textura e COT que ocorreram na base do perfil foram consideradas como o ano de 1963, de acordo com o perfil datado) e os elementos que apresentaram decréscimo de concentrações após este período.

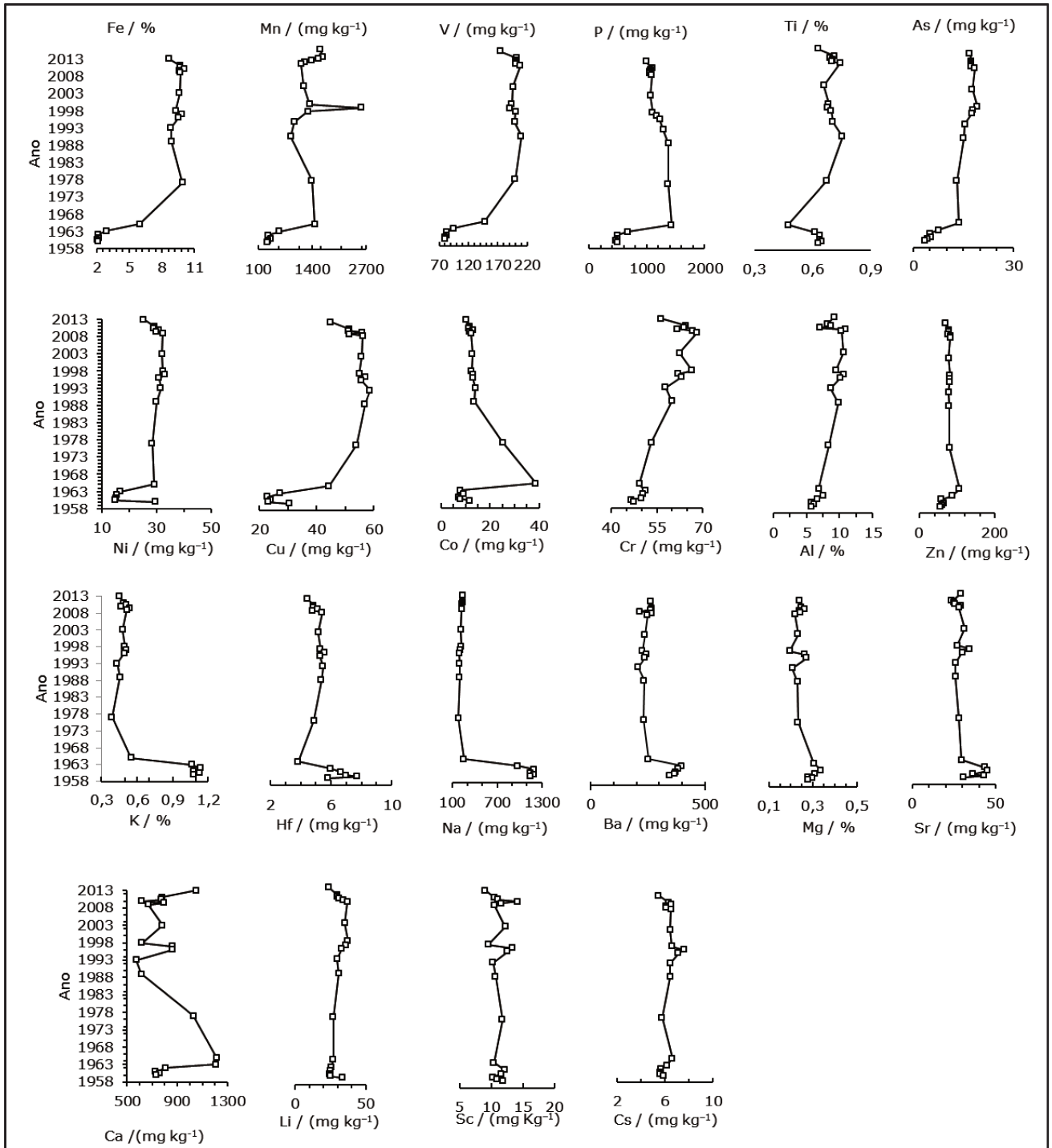


Figura 2.27 – Concentrações dos elementos ao longo do perfil coletado em Julho de 2013 no ponto 1 em Jurumirim.

A Figura 2.28 apresenta o fator de enriquecimento para Fe e K, e ilustra as alterações de deposição destes elementos nos sedimentos. Aqui foi escolhido o perfil do ponto 1 de Janeiro de 2014, mas quaisquer perfis apresentariam resultados similares. Nesta Figura, os fatores de enriquecimento (FE) calculados tomando como base os sedimentos da represa

estão representados como “40 cm”. Isto indica que os resultados deste cálculo foram realizados considerando como valor de referência os resultados obtidos na camada de 40 cm de sedimento (camada de sedimento referente ao ano de 1973), ou seja, o fator de enriquecimento foi calculado considerando como resultados de background os valores obtidos após a construção do reservatório de Jurumirim. A indicação “55 cm” refere-se ao cálculo realizado tendo como base os resultados da camada a 55 cm de profundidade do perfil, cujos resultados referem-se à sedimentação do rio Paranapanema pré-represamento ou o início do represamento de Jurumirim.

A normalização dos resultados obtidos no reservatório de Jurumirim pelo fator de enriquecimento (FE) deixa claro este comportamento de sedimentação constante a partir da formação do lago (Figura 2.28). Quando se trabalha com todos os dados do perfil e considera-se como valores de referência para o cálculo do FE (calculado utilizando o Li como normalizador) os resultados obtidos na última camada de sedimento do perfil (ou seja, resultados anteriores ao ano de 1963 – época de formação do lago) foram obtidos fatores de enriquecimento entre 2 a 6 para os elementos Fe, Mn, P e As em todos os perfis. Os elementos Al, Mo, Cr, Cu e V também apresentaram este comportamento (tendência ao enriquecimento), mas com uma intensidade menor. A Figura 2.28 ilustra o FE para os elementos K e Fe, normalizados tendo como referência os anos de 1973 (após a formação do reservatório) e 1962 (antes da formação do lago).

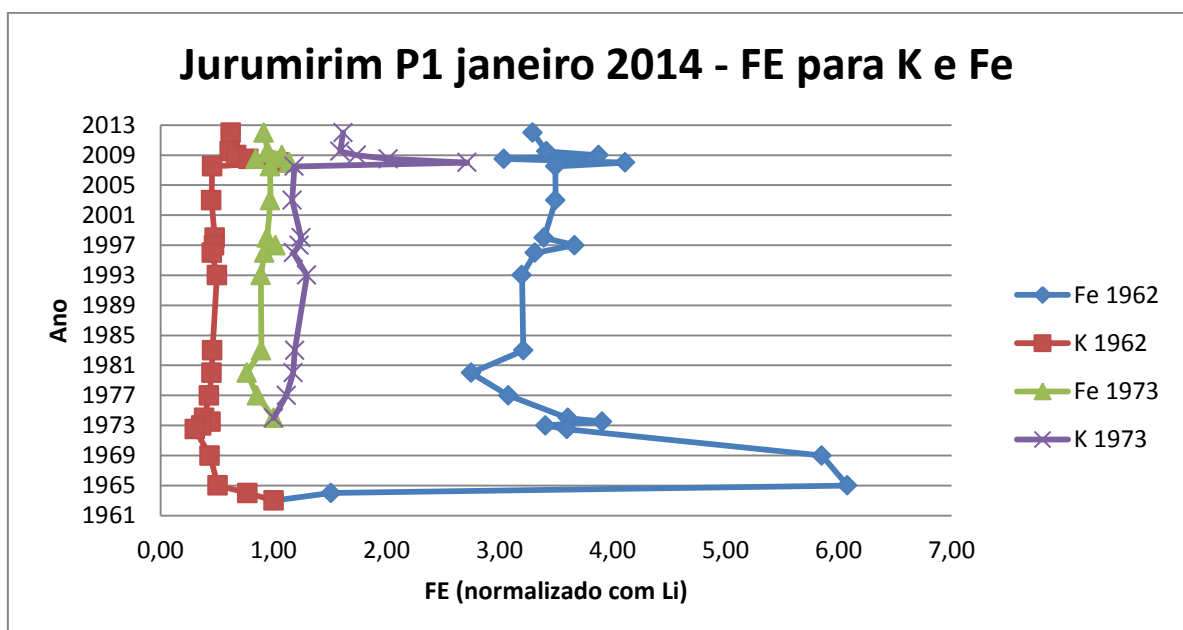


Figura 2.28– Fator de enriquecimento para Fe e K no perfil de Jurumirim coletado no P1 em janeiro de 2014.

Por outro lado, Na, K, Ba (e em menor intensidade Hf) chegaram a decair o fator de enriquecimento para cerca de 0,30 nas camadas superficiais do sedimento. Isto indica que a concentração depositada nos dias atuais é um terço da concentração quando da formação do reservatório. Os demais elementos não apresentaram variações significativas em relação à normalização e a transição rio/represa no sedimento, e seus valores permaneceram quase que constantes nos perfis, indicando que a construção da barragem e consequentes alterações nas velocidades e taxas de sedimentação não provocaram variações consideráveis em suas concentrações nos sedimentos desta bacia.

Ao verificar o fator de enriquecimento apenas com os dados da fase represa (na Figura 2.28 estão os dados referentes ao ano de 1973 para K e Fe), ou seja, sem considerar os sedimentos originais do rio Paranapanema, todos os elementos passaram a indicar fatores de enriquecimento entre 0,6 a 2,0. Isso sugere que os sedimentos da represa de Jurumirim não apresentaram alterações de concentrações significativas para os elementos determinados em função de contribuições antrópicas.

O perfil coletado no ponto 1 em Julho de 2013 foi analisado por difração de raios X para verificar os minerais presentes em cada fatia de sedimento e avaliar as evoluções e transições minerais nos sedimentos do rio Paranapanema e do reservatório de Jurumirim. Alguns difratogramas (os mais representativos) estão apresentados no Anexo C.

Nos sedimentos mais superficiais do perfil sedimentar (profundidade de 2,5 a até 32,5 cm) a variedade de minerais foi bem constante e de intensidades (de pico no difratograma) muito similares. Estas camadas correspondem aos sedimentos depositados após a formação da represa (de 1973 a 2013), com destaque para quartzo ( $\text{SiO}_2$ ); caulinita ( $\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ); gibbsita ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ); anatásio ( $\text{TiO}_2$ ) e hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), presentes em praticamente todas as frações do perfil sedimentar em sua parte superior. Estas amostras revelaram a presença de minerais de Fe-Al-Ti que foram os responsáveis pelas altas concentrações destes elementos nos sedimentos do reservatório.

Em contraste, as amostras mais profundas deste perfil (profundidades de 35,0 cm a 47,5 cm – referente aos anos entre 1973 a 1958), equivalente à fase de transição sedimentar entre a represa e o rio Paranapanema (ou ao próprio sedimento fluvial), apresentou os seguintes minerais na maioria das frações: quartzo e caulinita (em todas as frações e com intensidades de picos maiores se comparada às amostras mais superficiais do perfil sedimentar) e o aparecimento de fengita ( $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ ) e microclina ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) nos

últimos cortes do perfil. Estes dois minerais de potássio foram os responsáveis pelas maiores concentrações de K nas últimas camadas do perfil sedimentar (Figura 2.27), e nestas últimas frações do perfil não foram encontrados minerais de ferro. Estas amostras mais profundas do perfil sedimentar sugerem uma diminuição na diversidade mineral em relação ao topo do perfil, com o predomínio de quartzo e o aparecimento de minerais distintos do topo (minerais de potássio), em detrimento dos minerais de Fe-Al mais abundantes nas camadas superficiais dos sedimentos e praticamente não existentes na base do perfil sedimentar.

Ao se comparar os difratogramas do testemunho de Jurumirim em relação aos diferentes níveis ao longo do gradiente de profundidade, foi possível observar que a intensidade dos picos de quartzo aumentou com a profundidade, coincidente com maiores porcentagens de material arenoso. A gibbsita, hematita e o anatásio mostraram um comportamento inverso ao quartzo, ou seja, seus picos foram mais intensos com as menores profundidades (da superfície até cerca de 35 cm), em associação com material mais silto-argiloso no perfil. Estes fatos também vão ao encontro das concentrações de Fe e Al ao longo do perfil. Elas mantêm-se em valores constantes até atingir a profundidade ao redor de 40 cm, onde apresentam um significativo decréscimo. Tais fatos corroboram ainda mais o fato de estes perfis terem efetivamente atingido o leito original do rio Paranapanema antes da construção do reservatório.

### **2.3.3.2 Reservatório de Promissão**

As Tabelas 6 a 10 do Anexo D apresentam os resultados obtidos na digestão total das amostras de sedimentos para todos os perfis sedimentares coletados em Promissão. O Anexo C apresenta alguns dos difratogramas (os mais representativos) referentes ao perfil coletado em janeiro de 2014 no ponto 1.

Foi escolhido o perfil coletado no ponto 1 em janeiro de 2014 para a determinação da mineralogia dos sedimentos. Nas profundidades mais superficiais e até 20 cm foram encontrados em todas as frações quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), caulinita ( $\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) e anatásio ( $\text{TiO}_2$ ), com a presença de gibbsita ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) e haloisita ( $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{OH}_8\text{O}_{10}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) em algumas frações do perfil. Esta fase do perfil apresentou os minerais existentes na fase sedimentar exclusivamente inerentes à deposição após a construção da barragem de Promissão.

Dos 20 cm do perfil sedimentar até o seu final (28 cm), continuaram a aparecer o quartzo, a caulinita e o anatásio e foram encontrados os minerais fengita ( $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ ), microclina ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), illita ( $((\text{K},\text{H}_3\text{O})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,\text{H}_2\text{O}])$ ) e zircão ( $\text{ZrSiO}_4$ ) em algumas frações da base do perfil.

Esta diferenciação entre os minerais no perfil pode ser considerado um reflexo da construção da represa, pois a profundidade onde começam a aparecer mudanças tanto de minerais quanto de suas intensidades foi justamente referente ao período de enchimento do reservatório e alterações tanto de textura quanto de COT.

A comparação entre os perfis de Promissão mostrou uma heterogeneidade entre os elementos e pontos. Poucos elementos como Al, Ti, Pb, Th, U e Sc, apresentaram concentrações mais estáveis nos cinco perfis, principalmente ao se observar os resultados nos sedimentos pós-barramento. Em Promissão, esta avaliação passa a ter mais lógica principalmente pelo fato de que não foi possível a coleta na calha do rio Tietê, exceto no Ponto 3.

Alguns elementos, como o P (e também Fe, Na, Mn, Mg, Zn e Cs) apresentaram variabilidade considerável, principalmente entre as três coletas no P1, onde, por exemplo, o P oscilou de 420 a 2500  $\text{mg kg}^{-1}$  em julho de 2013 e de 1100 a 2200  $\text{mg kg}^{-1}$  em janeiro de 2014. Para o Ti, a Figura 2.29 mostra que ele apresentou concentrações medianas muito similares em todos os perfis.

Em relação às concentrações dos elementos, a Figura 2.29 apresenta o *box plot* para os elementos Ti (as concentrações de Ti foram divididas por 10), um dos elementos com concentrações mais estáveis, e P, elemento com grande variação de concentrações, nos cinco perfis coletados em Promissão.

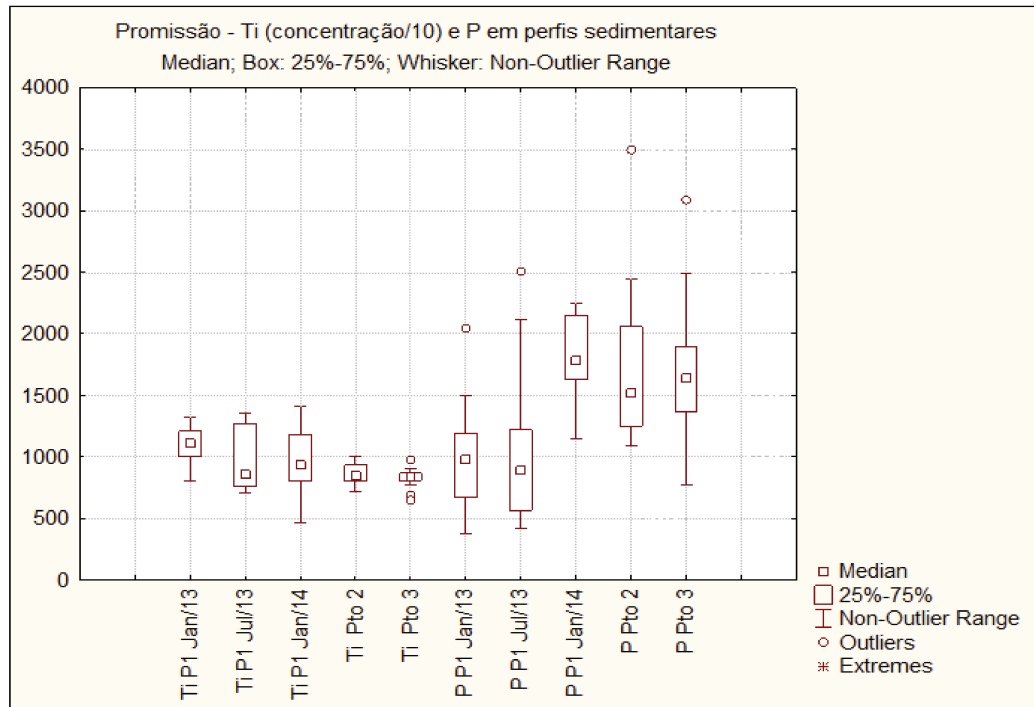


Figura 2.29 – *Box plot* para os elementos Ti (com suas concentrações divididas por 10) e P nos perfis coletados no reservatório de Promissão.

As Figuras 2.30 e 2.31 apresentam os dendrogramas dos perfis coletados no P1 em Julho de 2013 e no P2. É possível verificar alguns grupos de elementos com comportamentos similares nos perfis, independente da variabilidade de concentração. Os elementos Fe, Cu, Mo, Sb, P, As e Ni apresentaram incremento de suas concentrações ao longo dos perfis, e a base (solo) apresentou os menores valores. Por outro lado, os elementos Ti, Hf, Na, K, Ba, Ca e Mg (os dois últimos em menor proporção) apresentaram concentrações inversas, com as maiores concentrações verificadas na base do perfil e diminuindo em direção ao topo. Ademais, eles refletem a heterogeneidade observada nos sedimentos.

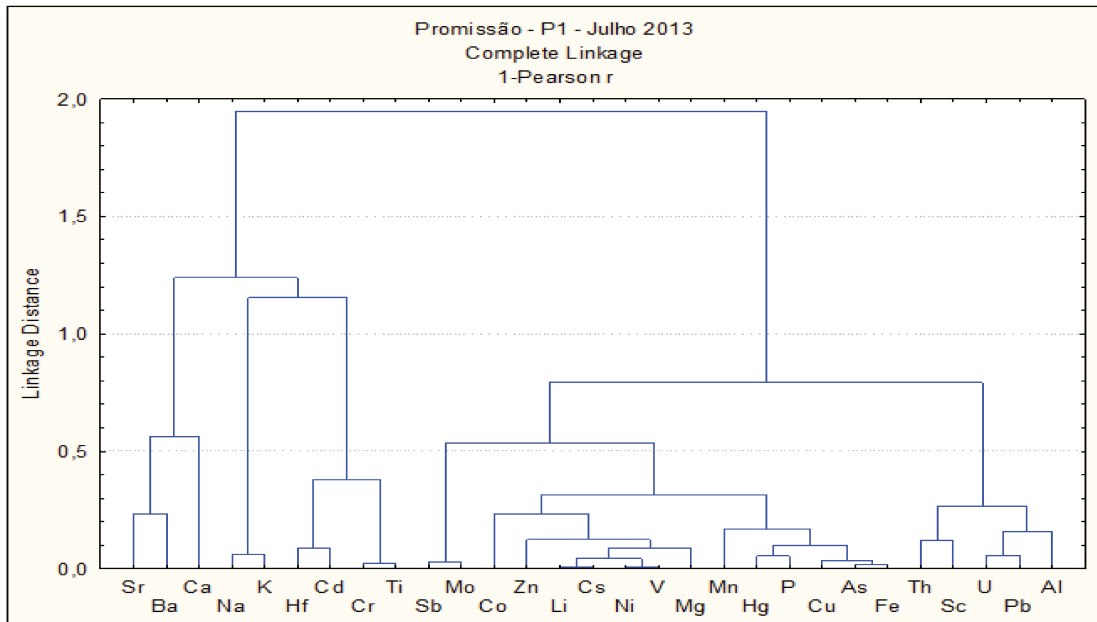


Figura 2.30 – Dendrograma dos elementos determinados em Promissão no perfil coletado no Ponto 1 em Julho de 2013.

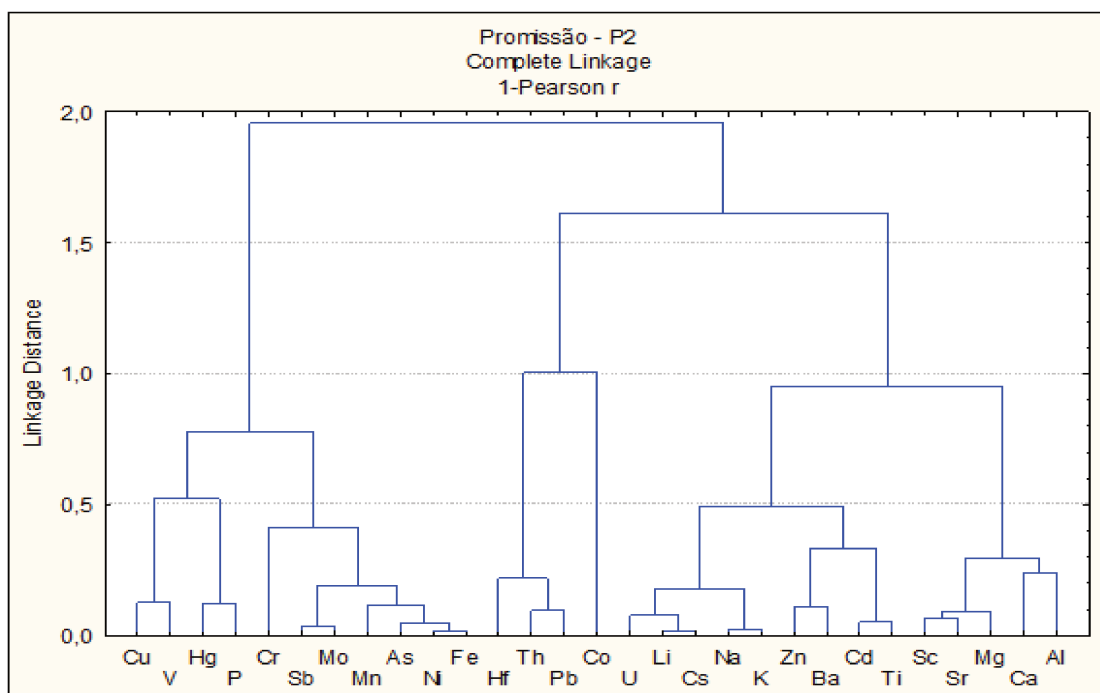


Figura 2.31 Dendrograma dos elementos determinados em Promissão no perfil coletado no Ponto 2.

A Figura 2.32 apresenta a variabilidade das concentrações dos elementos determinados nos perfis coletados no ponto 3, o mais profundo e datado no reservatório. Ao observá-lo, é perceptível verificar elementos com declínio de concentração a partir de 1974, após a formação do lago, tais como Ti, K, Ba, Na, Li, U, Cs e Cd. Já os elementos Fe, Mn, As, Mo, P, Sb e Ni apresentaram incremento de concentrações a partir de 1977, e estes

elementos também apresentaram estas tendências de forma geral nos perfis coletados no Ponto 1.

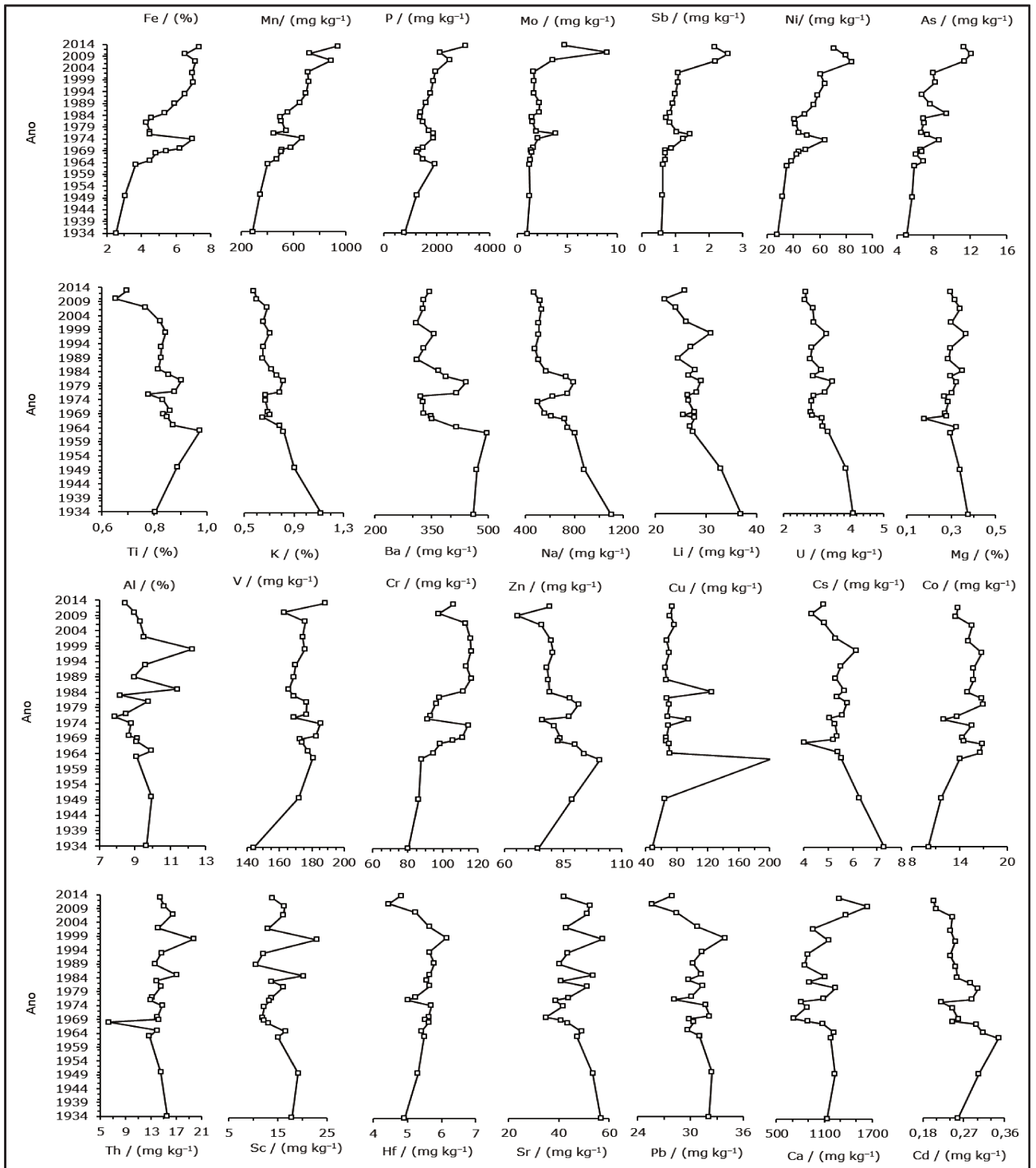


Figura 2.32 – Concentração dos elementos ao longo do tempo em Promissão – ponto 3.

Os demais elementos, apesar das oscilações de concentração temporal observadas, apresentaram padrões nestes perfis estáveis ao longo do tempo, sem tendências de incremento ou decréscimo após a formação do lago (1974).

O fator de enriquecimento (FE), normalizado com o Sc como elemento de referência, conforme ilustrado nas Figuras 2.33 e 2.34, apontaram também a tendência de depleção dos elementos Ti, Cr, K, Na, Ba, Sr, Cd e Hf na sedimentação ocorrida após o barramento do rio Tietê e o enriquecimento de Fe, P, Mn, Ni, As, Mo e Sb. Foram plotadas a sedimentação recente do reservatório (os 10 centímetros mais superficiais, ou a partir de 1998), a sedimentação referente exclusivamente à represa (pós barr – referente ao período a partir de 1974), e a sedimentação antes do barramento (pré barr – anterior a 1974) ou o solo do local.

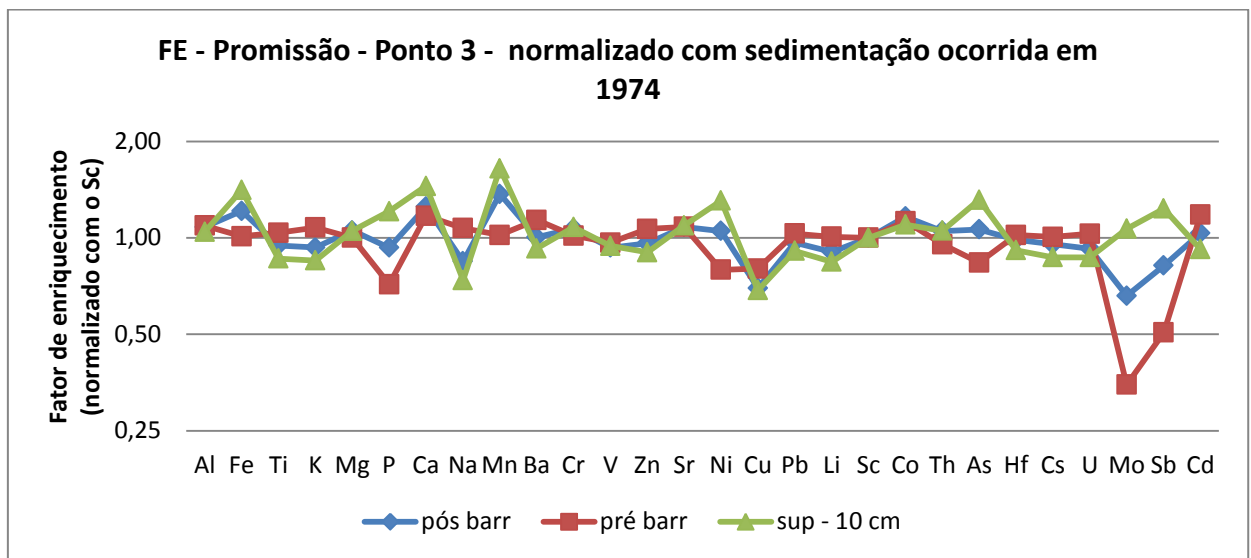


Figura 2.33 – Fator de enriquecimento determinado para os elementos em Promissão no ponto 3.

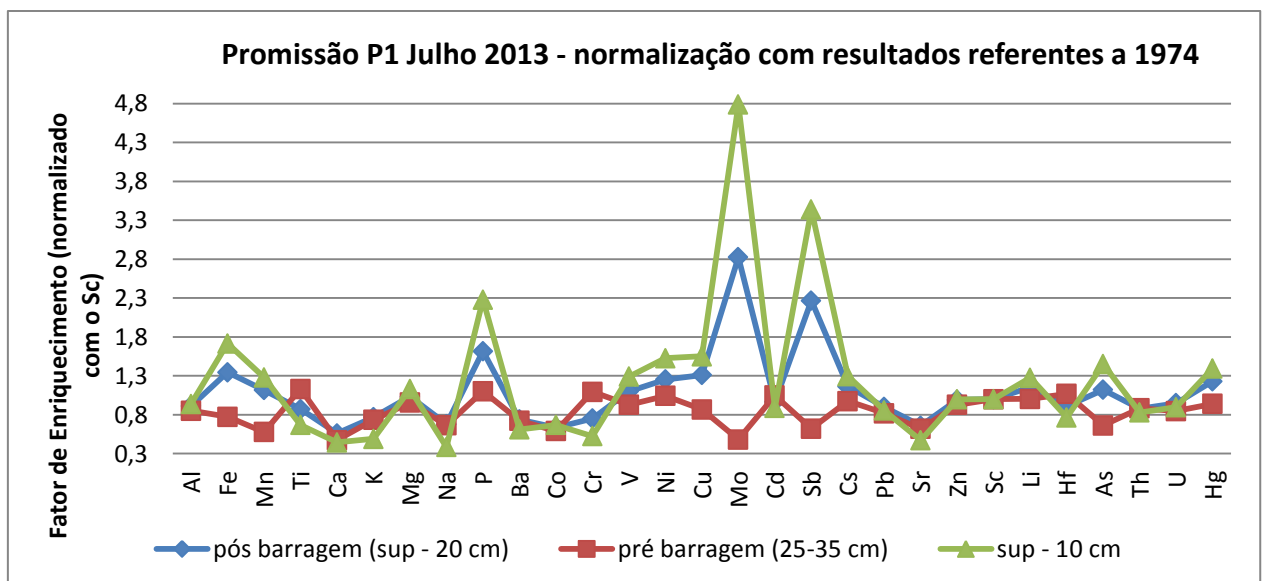


Figura 2.34 – Fator de enriquecimento determinado para os elementos em Promissão no ponto 1 em Julho de 2013.

Alumínio, Li, Pb, Sc, Co e U apresentaram sempre FE ao redor da unidade, com resultados ora maior na base do perfil, ora no topo. Entretanto, pode-se afirmar que suas concentrações foram muito similares dentro de cada perfil, e não foi possível concluir que a construção do reservatório tenha afetado as concentrações destes elementos.

O fator de enriquecimento apontou também para um incremento, ainda que discreto (conforme resultados calculados e apresentados na Tabela 2.5), das concentrações dos elementos Mo, Sb, As, P e Ni (os três últimos não ocorrem em todos os perfis) nos primeiros 10 cm (de 1998 até 2013 ou 2014) em praticamente todos os perfis do reservatório, o que pode indicar um possível enriquecimento antrópico. Na Tabela 2.5, estão destacados os resultados de FE superiores a 1,50.

Todos os resultados foram calculados considerando como valor basal as primeiras frações dos perfis após o barramento do reservatório (valores obtidos na profundidade do perfil referente ao ano de 1974). O Ponto 2 foi o local que apresentou uma situação um pouco mais crítica para o enriquecimento destes elementos, com FE superior a dois e as maiores concentrações de fósforo, próximo de  $3500 \text{ mg kg}^{-1}$  na camada superficial a 2,5 cm de profundidade de sedimento- referente ao período entre 2007 a 2014.

Apesar de ainda não ser um enriquecimento significativo, os resultados apontaram que esta sedimentação recente poderia ter aporte antrópico, principalmente devido à atividade agrícola (P, Mo e As são frequentemente associados a fertilizantes e defensivos agrícolas) (Ataíde 2012; Lima *et al.* 2016; Lazo 2010; Yuri *et al.* 2004), o que pode deteriorar a qualidade das águas e sedimentos do reservatório de Promissão ao longo do tempo.

Tabela 2.5 – Fatores de Enriquecimento (normalizados com o Sc) para os elementos P, Ni, Cu, Mo, Sb e As em Promissão.

P1 Janeiro 2013						
prof. (cm)	Ano	P	Ni	Mo	Sb	As
2,5	2013	3,47	1,53	4,08	2,58	1,75
5,0	2008	2,28	1,61	4,52	2,64	1,67
7,5	2003	1,49	1,35	3,40	1,98	1,40
10,0	1998	1,26	1,10	1,34	1,27	1,10
P1 Julho 2013						
prof. (cm)	Ano	P	Ni	Mo	Sb	As
2,5	2013	3,03	1,57	2,48	2,78	1,39
5,0	2008	2,77	1,69	7,64	4,49	1,82
7,5	2003	1,75	1,24	4,21	2,74	1,16
10,0	1998	1,57	1,61	4,82	3,74	1,43
P1 Janeiro 2014						
prof. (cm)	Ano	P	Ni	Mo	Sb	As
2,5	2014	0,97	1,09	2,50	1,86	0,69
5,0	2009	0,81	1,67	2,01	1,75	0,90
7,5	2004	0,64	1,31	0,96	0,99	0,75
10,0	1999	0,67	1,21	0,71	0,92	0,59
P2						
prof. (cm)	Ano	P	Ni	Mo	Sb	As
2,5	2014	2,31	2,70	3,76	3,79	2,66
5,0	2011	1,68	2,67	1,84	2,27	2,56
7,5	2007	1,31	2,31	1,99	2,00	2,25
10,0	2003	1,25	2,14	2,31	1,65	2,47
P3						
prof. (cm)	Ano	P	Ni	Mo	Sb	As
2,5	2014	1,75	1,35	1,17	1,45	1,50
5,0	2011	0,93	1,28	1,91	1,46	1,36
7,5	2007	1,09	1,37	0,76	1,25	1,28
10,0	2003	1,07	1,23	0,83	0,78	1,12

Fonte vermelha e fundo rosa: FE>1,5

### 2.3.3.3 Reservatório de Ponte Nova

As Tabelas 11 a 14 do Anexo D apresentam os resultados obtidos na digestão total das amostras de sedimentos para todos os perfis sedimentares coletados em Ponte Nova, e no Anexo C estão apresentados alguns difratogramas de amostras do perfil coletado no ponto 1 em Agosto de 2013.

A análise mineralógica indicou que os minerais quartzo, caulinita e gibbsita apareceram em todas as frações do perfil, desde a camada superior até a base. A illita  $((K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,H_2O])$  aparece em algumas camadas mais superficiais do perfil, enquanto que microclina aparece de forma aleatória em alguns cortes do perfil, e nos cortes a partir da metade do perfil para a base, surge a muscovita  $(KA_2Si_3AlO_{10}(OH,F)_2)$  em alguns cortes no perfil sedimentar.

As correlações e associações entre os elementos podem ser verificadas com o auxílio da Figura 2.35 que apresenta os dendrogramas do perfil coletado no ponto 2, o mais profundo obtido no reservatório. Os demais perfis apresentaram associações similares nos demais dendrogramas.

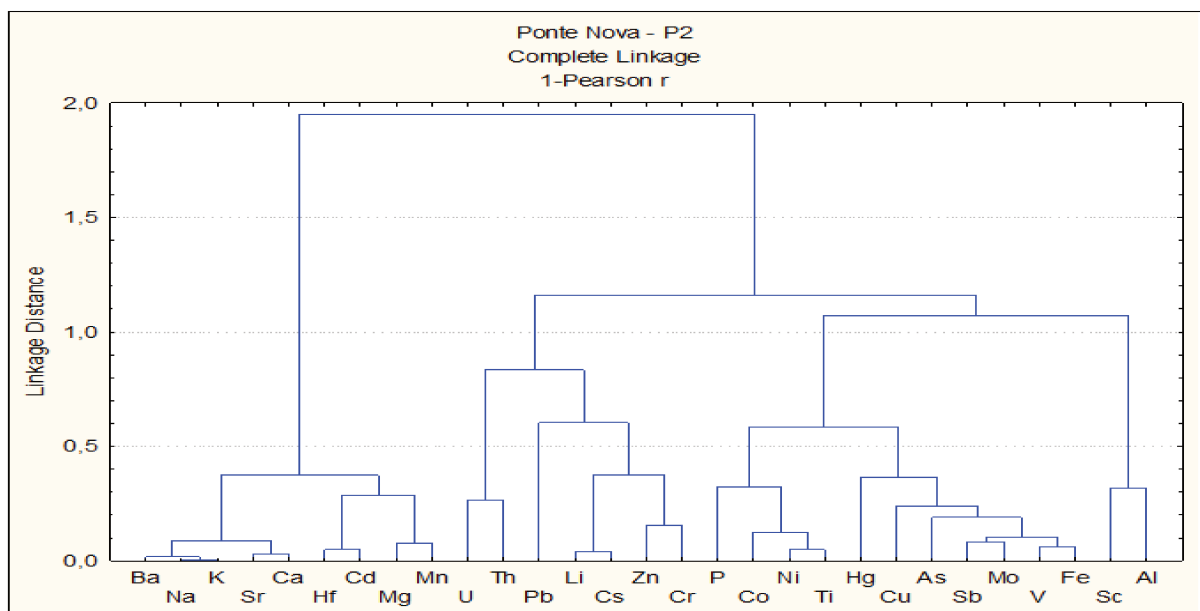


Figura 2.35 – Dendrograma dos elementos determinados em Ponte Nova no perfil do Ponto 2.

Em aspectos deposicionais, o dendrograma da Figura 2.35 e a transição sedimentar represa/rio (ou represa/solo) permitiram estabelecer associações em relação à sedimentação dos elementos. Estes formaram grupos bem distintos nos perfis de Ponte Nova de acordo com as tendências de incremento de concentrações do topo para a base do perfil (K, Na, Cd, Mn, Ca, Mg, Hf, Sr e Ba) – ou seja, as concentrações destes elementos diminuiram após o barramento – e os elementos que apresentaram uma tendência de aumento de suas concentrações nos sedimentos da fase represa – Fe, Co, V, Ni, As, Sb e Cu. Para ilustrar estes grupos, as Figuras 2.36 e 2.37 apresentam os elementos nos perfis coletados em Agosto de 2013 no Ponto 1 e no ponto 2 em fevereiro de 2014, respectivamente.

Vale ressaltar que em qualquer perfil o comportamento em termos de associação entre estes grupos foi muito similar, com flutuações discretas entre os perfis. Os demais elementos não apresentaram nos perfis associações em termos de aumento ou depleção de suas concentrações no reservatório e mesmo em associações frequentes aos elementos maiores, com exceção de Sc e Al que apresentaram significativa correlação entre si, e o Al não demonstrou afinidade nem com o Fe e nem com elementos alcalinos neste reservatório.

Nas Figuras 2.36 e 2.37, os elementos Cr, V, Ni, As, Sb e Cu apresentaram significativo decréscimo a partir de 30 cm de profundidade, de modo similar ao Fe, que também apresentou este comportamento. Os elementos K, Na, Mn, Ca, Mg, Hf, Sr e Ba apresentaram incremento de suas concentrações em profundidade, após a transição represa/rio por volta do ano de 1971.

Entretanto, após a formação e estabilização do reservatório (1971), a sedimentação passou a ser praticamente constante para todos os elementos determinados. O fator de enriquecimento (FE) (tanto normalizado pelo Li como pelo Sc) apresentam enriquecimento (FE entre 1,6 e 6,0) em praticamente todos os perfis para Fe, Cu, V, Ni, Cr, As e Sb quando se considera todas as frações obtidas nos perfis (inclusive antes da formação da represa). Entretanto, ao se desprezar as frações mais basais dos perfis e levar em consideração apenas as frações de sedimentação que ocorreram após o barramento (relativo a 1973), não se observa enriquecimento para estes elementos.

Em contrapartida, para os elementos Mn, Ca, K, Mg, Na, Ba, Sr, Cd e Hf, o FE oscilou entre 0,7 a 0,1, logo, ocorreu um decréscimo de concentrações que apontam para FE até <0,1 para o sódio em alguns casos. Ou seja, a concentração normalizada deste elemento diminuiu para *ca.* um décimo da concentração obtida na base do perfil. Ao se considerar apenas os resultados dos sedimentos referentes à deposição da represa, o FE para estes elementos fica entre 0,5 a 1,2. A Figura 2.38 ilustra o comportamento do Na e do Fe como elementos representantes destes dois grupos.

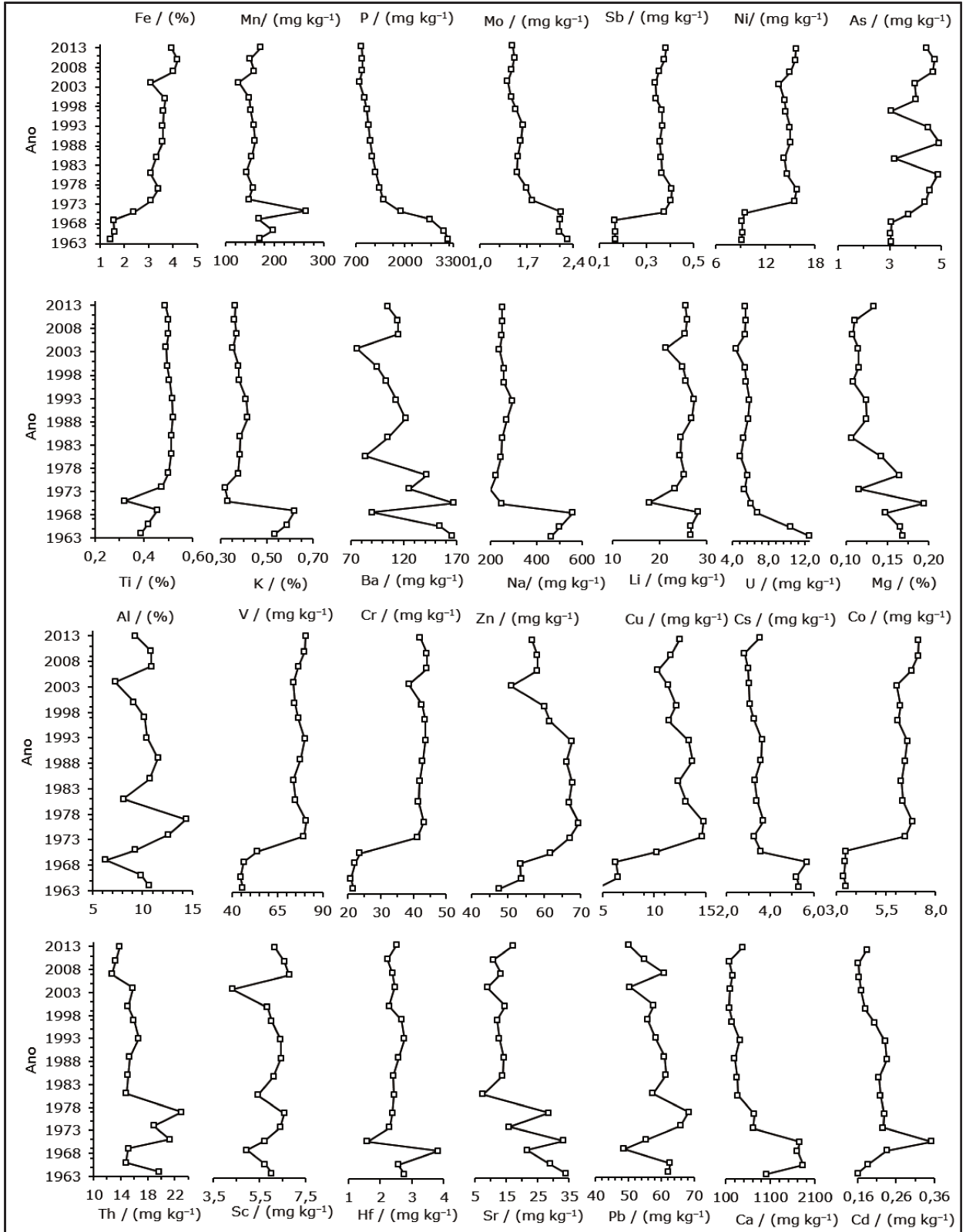


Figura 2.36 – Concentração dos elementos no perfil coletado em Ponte Nova no ponto 1 em Agosto 2013.

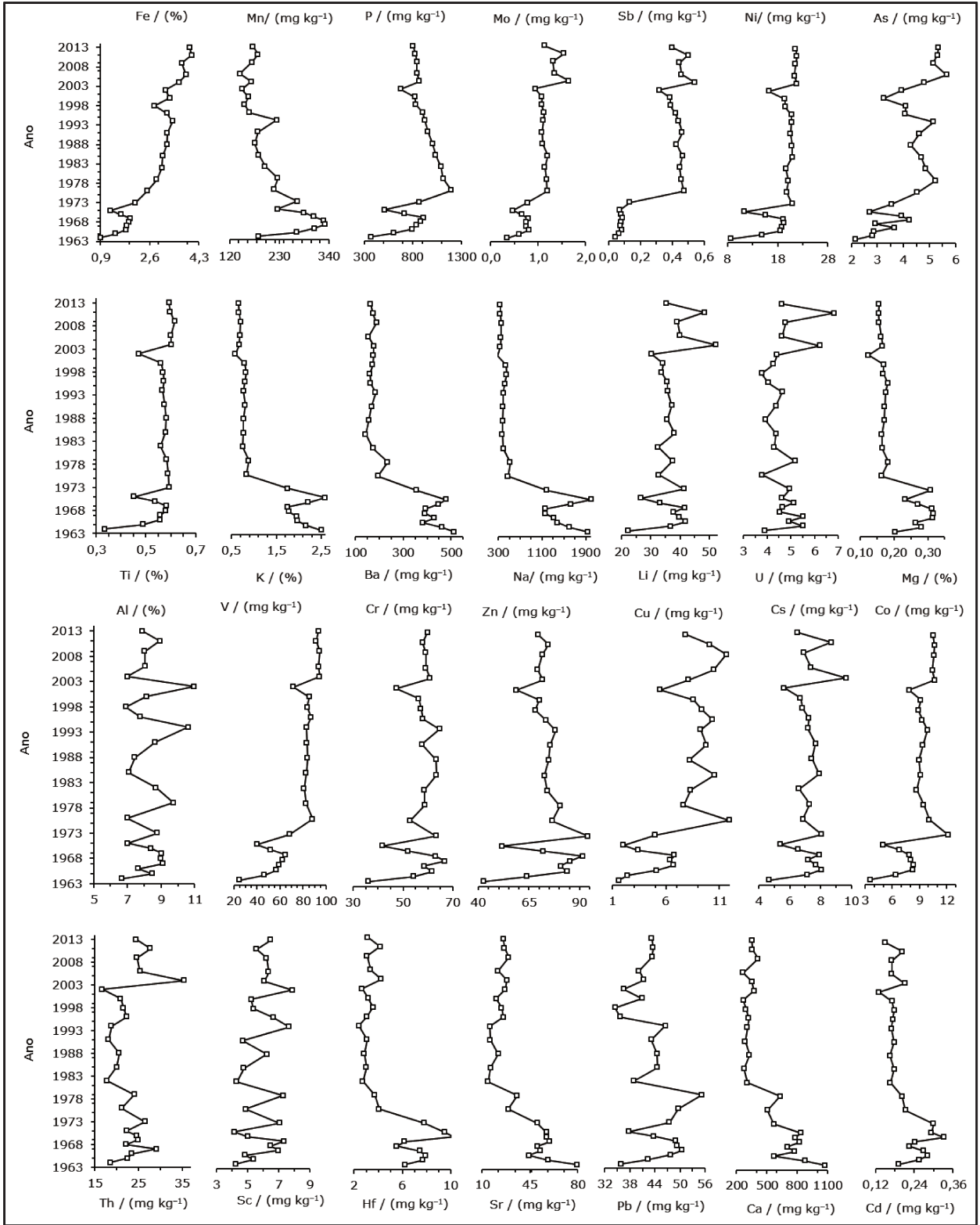


Figura 2.37 Concentração dos elementos no perfil coletado em Ponte Nova no ponto 2.

Na Figura 2.38, a indicação “pós barramento” à frente dos elementos Fe e Na se refere ao fator de enriquecimento calculado considerando como valor basal as concentrações obtidas a 27,5 cm de profundidade no perfil, ou seja os sedimentos após a construção e estabilização do reservatório (1971). Enquanto que a indicação “pré barramento” refere-se a concentração da base do perfil. É nítido o incremento para o Fe e a forte depleção para o Na ao se considerar os valores da base do perfil na determinação do fator de enriquecimento. E ao considerar como “basal” a deposição sedimentar inicial do reservatório, obtêm-se FE ao redor de 1,0 para ambos os elementos desde a formação do lago até o momento no qual as coletas foram realizadas.

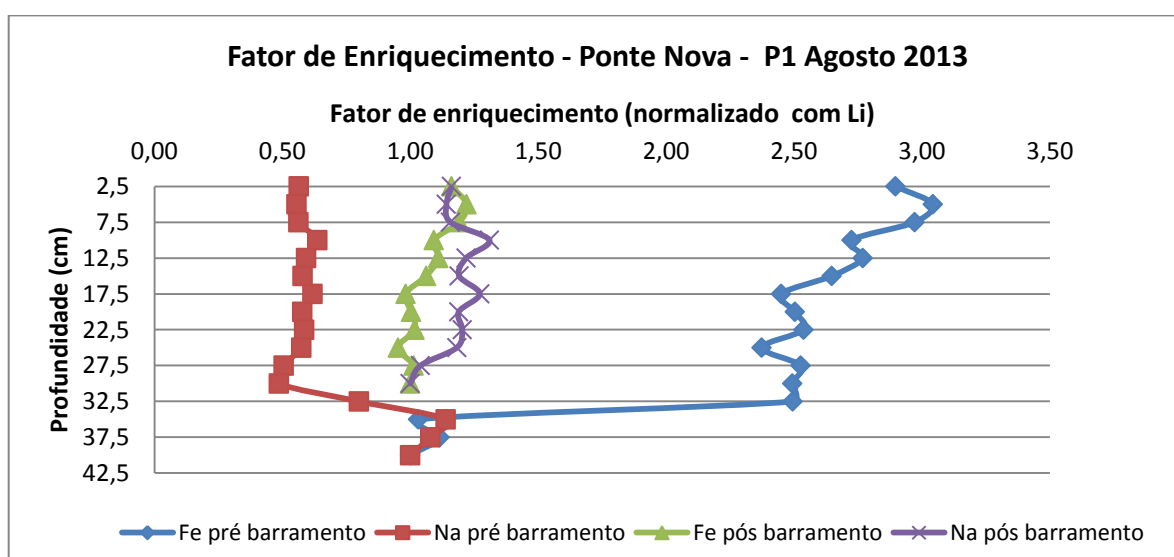


Figura 2.38 – Fator de Enriquecimento para Na e Fe em Ponte Nova no ponto 1 em Agosto 2013.

#### 2.3.4 A datação por $^{210}\text{Pb}$ e as alterações texturais, de COT e elementos maiores em perfis sedimentares como formas de estimativa da taxa de sedimentação e a dinâmica deposicional nos reservatórios

Conforme já discutido em 2.3.2, os perfis sedimentares datados por  $^{210}\text{Pb}$  apresentaram parâmetros que serviram como marcadores dos eventos indicados pela datação para a estimativa da taxa de sedimentação média em outros perfis nos reservatórios de Jurumirim e Promissão. Esta extrapolação da textura e COT como marcadores ambientais de transição entre os ambientes funcionaram nestes dois reservatórios e a aplicação desta condição para o reservatório de Ponte Nova, que não teve nenhum perfil datado, respondeu de forma similar. No ponto 1, os perfis apresentaram transições texturais e de COT em profundidades entre 27,5 e 32,5 cm e no ponto 2 a 40,0-42,5 cm. Isto indicou que nestas

profundidades o lago de Ponte Nova começou a ser formado e alterou a dinâmica sedimentar nestes locais.

Nos dois reservatórios datados por  $^{210}\text{Pb}$  e em Ponte Nova, ocorreram o mesmo padrão de alterações texturais (incremento de areia e alterações drásticas de argila/silte nas camadas profundas dos perfis) que, de acordo com a datação, foram atribuídos ao período no qual se deu o enchimento destes reservatórios.

Estas profundidades também foram caracterizadas por picos de COT, em função do alagamento e deposição de material orgânico oriundo das árvores que estavam às margens dos rios, conforme Figuras 2.9 e 2.18. O incremento de COT com posterior queda também foi uma característica marcante em todos os perfis nos três reservatórios onde esta profundidade de transição do ambiente sedimentar foi atingida.

E além destas alterações texturais e de COT, a mineralogia e a geoquímica também indicaram e corroboraram esta transição sedimentar. Alguns elementos maiores, tais como Fe, Al, Ti, K, Na e Mg (e também outros menores, como V, Cr, Mn e Hf, por exemplo) também apontaram esta alteração no regime hídrico do reservatório com o tempo. A Figura 2.39 ilustra as concentrações de Fe em alguns dos perfis de Jurumirim.

Em Jurumirim, o perfil datado do Ponto 1 em janeiro de 2014 apresentou concentrações de Fe ao redor de 4% nas profundidades referentes ao ano de 1963 (50 a 55cm). Imediatamente acima desta profundidade, a concentração de Fe aumentou para mais de 10% - referente aos anos de 1965 – 1973. Na Figura 2.39 as idades das camadas sedimentares para os demais perfis de Jurumirim foram extrapoladas de acordo com as alterações texturais, de COT e do próprio Fe observada no perfil do P1 em janeiro de 2014. O ferro apresenta alterações similares de concentrações nos demais perfis, e ocorreu um incremento de concentração após o estabelecimento do reservatório.

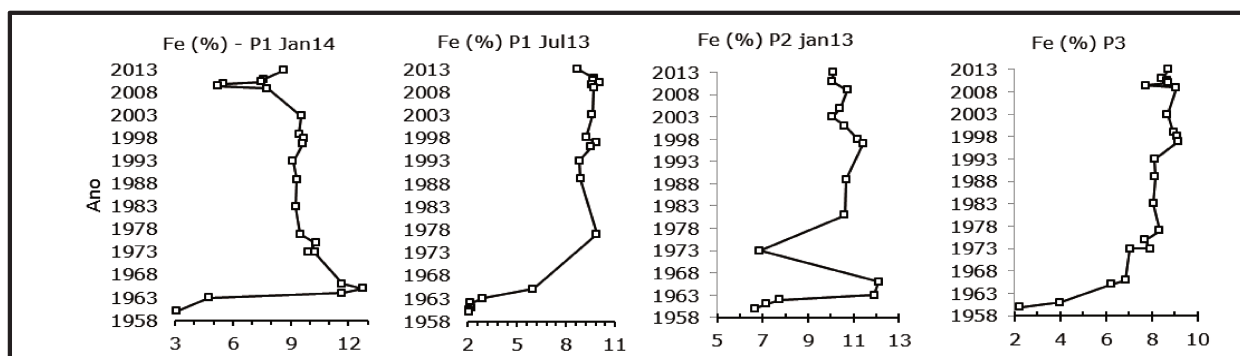


Figura 2.39 – Concentração de Fe nos perfis coletados em Jurumirim ao longo do tempo.

A mineralogia do perfil de Jurumirim apontou o surgimento de minerais de Fe/Al (hematita e gibbsita) após a construção do reservatório. Estes minerais começaram a aparecer no perfil sedimentar à profundidade de 40 cm (referente ao ano de 1973, aproximadamente) e se mantiveram até os sedimentos superficiais. Moraes (2016) indicou que o material particulado de rios é composto primordialmente por Al e Fe transportados pelas bacias fluviais em decorrência dos processos de intemperismo e erosão dos solos. E este material particulado, ao encontrar um local propício à sedimentação (represa), depositou-se nos sedimentos e provocou o enriquecimento destes elementos e minerais transportados no material particulado, que estabeleceu uma nova dinâmica de sedimentação mineral no reservatório, quando comparado com os minerais depositados anterior à construção da represa.

Neste caso, a mineralogia indicou também que os perfis basais de Jurumirim, que remetem ao período de enchimento do lago ou mesmo aos sedimentos do rio Paranapanema propriamente ditos, eram mais ricos em minerais de K (microclina e phengita), responsáveis pelas maiores concentrações de K (e também de Na) verificadas nas camadas mais profundas do perfil sedimentar (anteriores a 1965) e que desapareceram nas frações dos perfis mais superficiais, referente à época de sedimentação da represa propriamente dita.

Para o reservatório de Promissão, conforme Figura 2.19 e Tabela 2.4, o perfil datado (Ponto 3) chegou à década de 1930 e contemplou desde antes das construções das barragens em cascata do rio Tietê, iniciadas em 1962, com o reservatório de Barra Bonita.

Ocorreram em Promissão os mesmos processos verificados em Jurumirim; aumento dos percentuais de argila com consequente estabilização, picos de COT na profundidade referente ao barramento (conforme já discutido em 2.3.2), alterações significativas nas concentrações de alguns elementos. A Figura 2.40, ilustra as quedas nas concentrações de Ti observadas em todos os perfis de Promissão após a construção do reservatório (ano de 1974). Da mesma forma como em Jurumirim, as idades (anos) nos perfis não datados foram extrapoladas a partir das alterações verificadas no perfil datado (ponto 3).

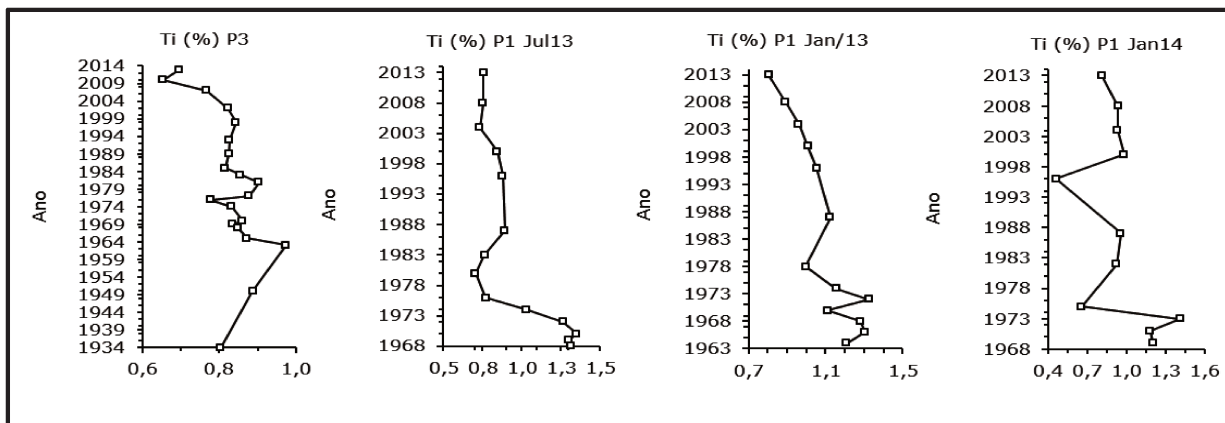


Figura 2.40 – Concentrações de Ti nos perfis coletados e Promissão ao longo do tempo.

Além da diminuição das concentrações de Ti conforme Figura 2.40, Na e K também apresentaram declínio de suas concentrações após a construção do reservatório, enquanto que o Fe, da mesma forma que em Jurumirim, apresentou incremento de suas concentrações após a formação do reservatório de Promissão. A mineralogia em Promissão também indicou alterações entre o antes e o depois da construção da barragem. Nos perfis mais basais, que remetem ao período anterior a barragem, apareceram os minerais phengita e microclina, que endossam as maiores concentrações de K na base do perfil anterior a represa, e estes minerais não foram encontrados nas camadas mais superficiais referentes à sedimentação após a construção do reservatório. Por outro lado, aparecem os minerais halloysita, gibbsita e magnetita em profundidades mais intermediárias e superficiais do perfil sedimentar, após a formação do lago.

Em Ponte Nova, fenômenos similares ocorreram no reservatório. Os perfis desta represa apresentaram transição textural e de COT em profundidade ao redor dos 30 cm no ponto 1 e entre 40 –42,5 cm no ponto 2. Os minerais e elementos também apresentaram distinções no perfis a estas profundidades. Nas camadas mais superficiais do perfil sedimentar, o mineral illita foi comum em várias frações, correspondente à sedimentação após a construção do reservatório, e não detectado nas camadas profundas do perfil, referente à transição represa/rio nos sedimentos ou mesmo sedimentos do rio Tietê antes do alagamento da região. Nestes sedimentos anteriores à formação do reservatório, apareceu o mineral muscovita, que não foi verificado nas camadas sedimentares referentes à deposição após a construção do reservatório. Em relação aos elementos, a Figura 2.41 apresenta os elementos Fe e K em perfis de Ponte Nova. O Fe (e os elementos menores mais associados V, Ni, As, Sb e Cu) apresentou incrementos de suas concentrações após a construção da barragem, enquanto que o K (assim como Na, Hf, Ca, Mg, Ba, Sr e Mn) apresentou dinâmica oposta, com maiores

concentrações antes da construção da represa e menores após a formação do lago de Ponte Nova.

Ou seja, em todos os reservatórios o processo foi similar quando da transição sedimentar entre o rio original formador do reservatório e os sedimentos neoformados após o barramento do rio: alteração texturais, com menores proporções de areia e maiores de argila/silte; alterações no COT, com picos nas profundidades referentes à formação do lago, e alterações na mineralogia deposicional e principalmente nas concentrações dos elementos, com incremento do Fe (e elementos associados) e decréscimo de Na e K (e elementos associados). Todos estes parâmetros sofreram significativas alterações nos perfis sedimentares nas profundidades na qual a datação indicou o início do enchimento dos reservatórios.

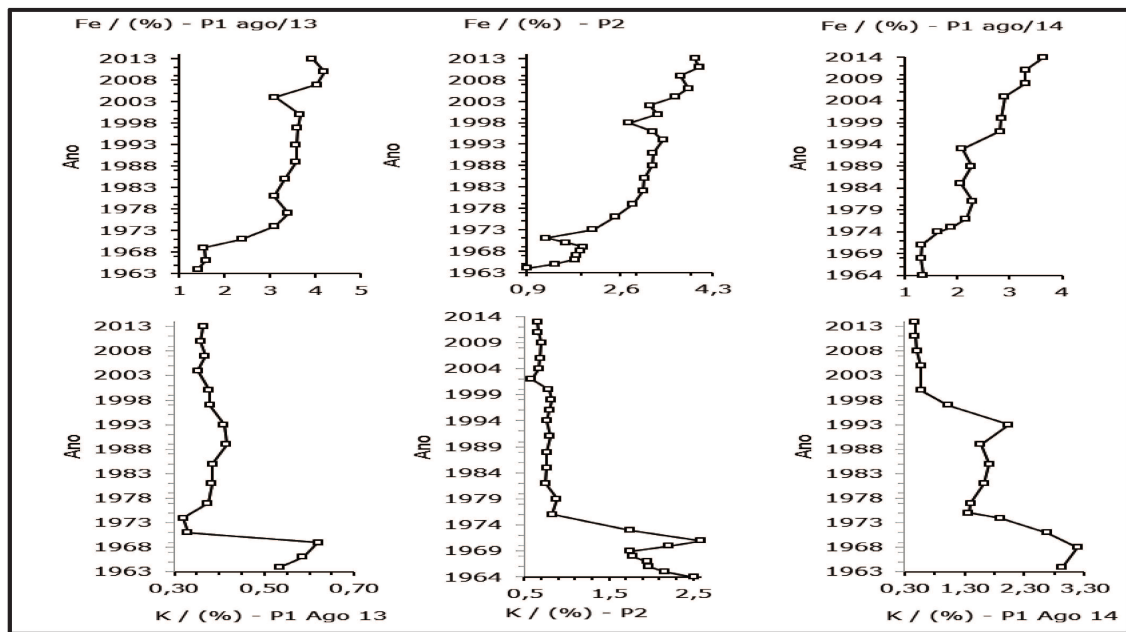


Figura 2.41 – Concentrações de Fe e K nos perfis coletados em Ponte Nova ao longo do tempo.

A Figura 2.42 apresenta e resume tais processos que ocorreram (e ocorrem) nos sedimentos dos reservatórios quando da sua formação e após a estabilização destes.

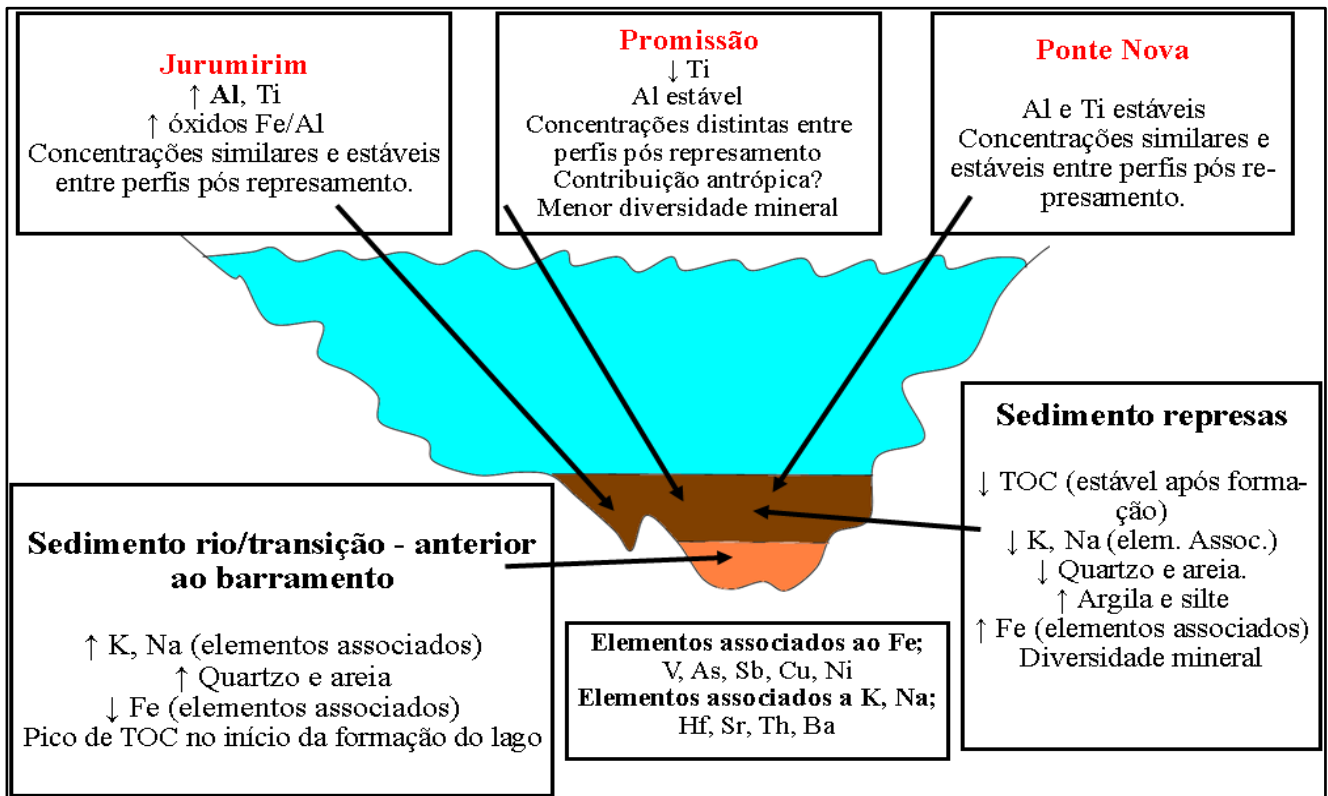


Figura 2.42 – Dinâmica dos processos de sedimentação nos reservatórios – características gerais e locais.

Os quadros na parte inferior da Figura 2.42 retratam os processos comuns que ocorreram nos reservatórios estudados. Os sedimentos dos rios ou das transições entre os ambientes fluviais e lacustre continham maiores concentrações de K e Na (e elementos associados) e menores de Fe (e elementos associados). Maiores percentuais de areia e o quartzo como mineral dominante. Aqui ainda ocorreram picos de COT na mudança de ambiente.

Após a formação dos lagos, a nova dinâmica sedimentar foi estabelecida com uma redução dos valores de COT, uma diminuição das concentrações de K e Na (e elementos associados) e aumento das de Fe (e elementos associados), acompanhado por menores percentuais de areia, com aumento do percentuais de silte e/ou argila e uma maior diversidade mineral, com redução do quartzo.

Os quadros na parte superior da Figura 2.42 retratam as particularidades observadas nos reservatórios de Jurumirim, Promissão e Ponte Nova. Em Jurumirim, as

concentrações dos elementos foram mais estáveis dentro e entre os perfis após a formação da represa, da mesma forma como em Ponte Nova. Promissão apresentou mais heterogeneidade nas concentrações de vários elementos tanto entre os perfis quando dentro dos mesmos, e existe a possibilidade de contaminação antrópica dos sedimentos deste reservatório, notadamente pelo incremento nas camadas mais recentes do perfil, a partir da sedimentação ocorrida de 1998 até 2014.

Os três reservatórios apresentaram dinâmicas distintas para Al e Ti. Enquanto em Jurumirim estes elementos apresentaram incremento das concentrações destes elementos após a construção da barragem (inclusive com o identificação de óxidos de Al nos sedimentos da represa), em Ponte Nova foram mais estáveis ao longo do tempo com as concentrações pré e pós-represamento muito similares. Em Promissão as concentrações de Al também se apresentaram mais estáveis entre as fases rio e represa, enquanto o Ti apresentou decréscimo de concentração após a formação do lago.

## 2.4 Conclusões

A dinâmica sedimentar nos reservatórios onde foram datados os perfis apresentaram relação com as vazões afluentes e o volume útil de ocupação dos lagos, com maiores taxas de sedimentação e maior deposição de materiais finos no períodos de maior vazão e volume de ocupação do reservatório.

Os perfis sedimentares forneceram respostas satisfatórias em relação ao aproveitamento da textura, COT e elementos maiores (associado com a mineralogia) para a determinação da taxa média de sedimentação destes reservatórios, conforme evidenciado pelas comparações com as datações com  $^{210}\text{Pb}$  realizadas. Estas determinações puderam ser consideradas confiáveis pra eventual substituição à datação por  $^{210}\text{Pb}$ , para determinar a taxa de sedimentação média de reservatórios e a transição entre as fases sedimentares.

Os três reservatórios apresentaram taxas de sedimentação menores próximo às suas barragens. O barramento realizado no passado nestes rios provocou alterações nas concentrações de alguns elementos nos sedimentos quando da transição rio/represa.

A deposição de partículas finas no reservatório aumentou de forma considerável, conforme demonstrado pela textura e confirmado pelo TOC. A mineralogia deu a mesma indicação ao apontar que a base dos perfis destas represas foi pobre em variedade mineral,

mas muito rica em quartzo, coerente com as percentagens de areia mais elevadas quantificadas nas bases dos perfis. A geoquímica respondeu da mesma forma para os elementos maiores – Fe, Ti, Al, Na e K, que acompanharam as alterações de textura e mineralogia verificadas ao longo do perfil.

A geoquímica dos sedimentos dos três reservatórios avaliados foi semelhante no que diz respeito ao incremento das concentrações de ferro (e elementos associados, tais como V, Cu, Ni, As) durante a sedimentação pós-barramento das águas. As poucas variações obtidas nos resultados dos perfis sedimentares (levando-se em consideração apenas os sedimentos da fase represa), obtidas em Jurumirim e em Ponte Nova, indicaram que os incrementos nas concentrações destes elementos foi associada com o barramento e fazem parte da nova dinâmica de sedimentação destas represas. Em Promissão, estes processos também foram verificados, entretanto, foi perceptível um possível enriquecimento antrópico para COT, P, As, Ni, Mo e Sb nas camadas mais superficiais dos sedimentos nos três pontos coletados.

## 2.5 Referências

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS 2017. SAR – Sistema de acompanhamento de reservatórios. <http://sar.ana.gov.br/Home> acessado em 20 jan 2017.
- Ataide, Erikson B. 2012. Uso da torta de filtro e do molibdato de potássio em cana-de-açúcar. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, 39pp.
- Audry S., Schaefer J., Blanc G., Jousneau J-M. 2004. Fifty-year sedimentary record of heavy-metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in Lot River reservoirs (France). *Environ. Pollut.*, **132**:413-426.
- Bevilacqua J. E., Silva I. S., Lichtig J., Masini J. C. 2009. Extração seletiva de metais pesados em sedimentos de fundo do rio Tietê, São Paulo. *Quím. Nova*, **32** (1):26-33.
- Blaser, P., Zimmermann S., Luster J., Shotyk W. 2000. Critical examination of trace element enrichments and depletions in soils: As, Cr, Cu, Pb and Zn in Swiss forest soils. *The Sci. Tot. Environ.*, **249**:257-280.
- CESP – Companhia Energética do Estado de São Paulo. 1998. *Conservação e Manejo nos reservatórios. Limnologia, Ictiologia e Pesca*. CESP, São Paulo, 166p.
- CETESB 2009. *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado De São Paulo 2008* – CETESB. São Paulo.
- CETESB 2011. *Qualidade das Águas Superficiais do Estado De São Paulo 2010* – CETESB. São Paulo.
- Cilas. 2017. Cilas 1090 particle size analyzer. [http://www.particle-size.com/cilas\\_1090\\_particle.htm](http://www.particle-size.com/cilas_1090_particle.htm) acessado em 20 mai 2017.
- Cohen A.S. 2003. *Paleolimnology. The history and evolution of lakes systems*. Oxford, New York, 525 pp.

- Cukrov, N., Franciskovic-Bilinski S., Hlaca B., Barisic D. 2001. A recent history of metal accumulation in the sediments of Rijeka harbor, Adriatic Sea, Croatia. *Mar. Poll. Bull.*, **62**:154-167.
- DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA 2016. As Barragens do DAEE. [http://www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com\\_content&id=856:barragens](http://www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com_content&id=856:barragens) acessado em 17 set 2016.
- Dias M. I. & Prudêncio M. I. 2008. On the importance of using scandium to normalize geochemical data preceding multivariate analyses applied to archaeometric pottery studies. *Microchem. J.*, **88**:136-141.
- Damatto S. R. 2009. Dating of lacustrine and marine recent sediments using <sup>210</sup>Pb method: some Brazilian examples. In: *Proceedings of International Topical Conference on Po and Radioactive Pb isotopes - Sevilla – España*
- Esteves F. A. 1988. *Fundamentos de Limnologia*. Interciência/FINEP. Rio de Janeiro.
- Fávaro D. I. T., Damatto S. R., Moreira E. G., Mazzili B. P., Campagnolli F. 2007. Chemical characterization and recent sedimentation rates in sediment cores from Rio Grande reservoir, SP, Brazil. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **273**(2):451-463.
- Ferreira P.A.L., Cardoso-Silva S., Pompêo M., Figueira R.C.L. 2015. Geocronologia e datação por radionuclídeos, um estudo de caso: represa Paiva Castro (Sistema Cantareira- Mairiporã - São Paulo) In; Pompêo M, Mochini-Carlos V., Nishimura P.Y., Cardoso-Silva S., Doval J.C.L. (orgs) *Ecologia de Reservatórios e interfaces*. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo. p.:109-119.
- Franklin R.L., Fávaro D.I.T., Damatto S.R. 2016. Trace metal and rare earth elements in a sediment profile from the Rio Grande Reservoir, São Paulo, Brazil: determination of anthropogenic contamination, dating, and sedimentation rates. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **307**(1):99-110.
- Godoy J.M., Oliveira A.V., Almeida A.C. Godoy M.L.D.P., Moreira I., Wagener A.R., Figueiredo A.G. 2012. Guanabara Bay Sedimentation Rates based on <sup>210</sup>Pb Dating: Reviewing the Existing Data and Adding New Data. *J. Braz. Chem. Soc.*, **23**(7):1265-1273.
- Gomes F. C., Godoy J. M., Godoy M. L. D. P., Carvalho Z. L., Lopes R. T., Sanchez-Cabeza J. A. S., Lacerda L. D., Wasserman J. L. 2009. Metal concentrations, fluxes, inventories and chronologies in sediments from Sepetiba and Ribeira Bays: A comparative study. *Mar.Poll. Bull.*, **59**:123-133.
- Hernandez L., Probst A., Probst J. L., Ulrich E. Heavy metal distribution in some French Forest soils: Evidence for atmospheric contamination. *The Sci. tot. Environ.*, **312**:195-219.
- Lazo R. A. 2010. Nitrogênio, arsênio, bário e estado nutricional de plantas de milho cultivadas em Latossolos tratados com lodo de esgoto. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. 130pp.
- Lima A.O., Emiliano E.B., Sousa M.K., Torres D.S., Muraishi C.T. 2016. Utilidades do molibdênio na agricultura. *Revista Integralização Universitária de Palmas*. **11**: 70-73
- Lin C., He M., Zhou Y., Guo W., Yang Z. 2008. Distribution and contamination assessment of heavy metals in sediment of the Second Songhua River, China. *Environ. Monit. Assess.*, **137**:329-342.

- Loska K., Cebula J., Pelczar J., Wiechula D., Kwapuliski J. 1997. Use of enrichment and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu, and Ni in the Rybnik water reservoir in Poland. *Water, Air Soil Poll.*, **93**:347-365.
- Loska K., Wiechula D., Barska B., Cebula E., Chojnecka A. 2003. Assessment of Arsenic Enrichment of Cultivated Soils in Southern Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*, **12(2)**:187-192.
- Luiz-Silva W., Machado W., Matos. R. H. R. 2008. Multi-Elemental Contamination and Historic Record in Sediments from the Santos-Cubatão Estuarine System, Brazil. *J. Braz. Chem. Soc.*, **19(8)**:1490-1500.
- Moraes G.M. 2016 Características hidrogeoquímicas das bacias de drenagem dos rios Capivari e Jundiá, SP: aspectos das influências antrópicas. Tese de doutorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. 218 pp.
- Mortatti J., Moraes G. M., Probst J. L. 2012. Heavy metal distribution in recent sediments along the Tietê river basin (São Paulo, Brazil). *Geochem. J.*, **46**:13-19
- Quinágua G. A. 2006. Caracterização de Níveis basais de concentração de Metais nos sedimentos do sistema estuarino da baixada Santista. Tese de Doutorado, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, 168p.
- Rubio B., Nombela M. A., Vilas F. 2000 Geochemistry of major ad trace elements in sediments of the Ria de Vigo (NW Spain): Assessment of Metal Pollution. *Mar. Poll. Bull.*, **40(11)**:968-980.
- Sabaris T. P. P. 2010 O método geocronológico do pb-210 aplicado no estudo da taxa de sedimentação em uma porção da bacia do rio Atibaia (SP). Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 173p.
- Sutherland R.A. 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environ. Geol.*, **39(6)**: 611-627.
- Yuri J.E., Resende G.M., Mota J.H., Gonçalves L.D., Souza R.J. 2004. Doses e épocas de aplicação do molibdênio na produção e qualidade de alface americana. *Horticultura Brasileira* **22(3)**: 589-592
- Zhang J. & Liu C. L. 2002. Riverine Composition and Estuarine Geochemistry of Particulate Metals in China – Weathering Features, anthropogenic Impact and Chemical Fluxes. *Est. Coast Shelf Sci.*, **54**:1051-1070.

### **3 PARTIÇÃO DE ELEMENTOS EM FASES LIGANTES EM PERFIS SEDIMENTARES NOS RESERVATÓRIOS DE JURUMIRIM, PROMISSÃO E PONTE NOVA**

#### **3.1 Introdução**

A contaminação dos sistemas aquáticos por metais e outros elementos é um dos maiores problemas ambientais desde a revolução industrial. A urbanização, crescimento de atividades de mineração e industrialização cada vez mais despejam resíduos e emitem para atmosfera material particulado e gases contendo elementos que possuem alta persistência devido a sua não biodegradabilidade e toxicidade (Baird 2010). Ademais, estes mesmos elementos podem ser adicionados aos sedimentos por meio dos processos naturais de intemperismo de rochas e solos, e esta é a principal contribuição geológica para a concentração de elementos nos sedimentos.

O sedimento é um dos mais importantes compartimentos aquáticos quando se trata do transporte e acumulação de elementos, e tem sido cada vez mais utilizado em estudos de avaliação da qualidade de ecossistemas aquáticos, por retratar condições históricas da influência de atividades antrópicas sobre esses ambientes. Neles ocorrem processos biológicos, físicos e/ou químicos que influenciam o metabolismo de todo o sistema, desde os organismos bentônicos, passando pela ictiofauna e algas (CETESB 2011).

Os sedimentos podem então ser considerados bons indicadores da poluição ambiental por elementos pelo fato de ser o destino final de grande parte destes emitida por fontes antrópicas e também naturais (devido aos processos erosivos e de transportes naturais dentro da bacia hidrográfica). Entretanto, a análise da concentração total desses elementos em sedimentos não traz informações precisas sobre a disponibilidade, toxicidade e o risco de contaminação que os sedimentos de um rio, mar ou represa podem causar em seres vivos e na população humana. Pois isso vai depender da forma química associada (ou ligada) que se encontram os elementos e também da composição geral dos sedimentos hospedeiros (Tessier *et al.* 1979).

Em estudos sobre a disponibilidade de elementos em sedimentos, a concentração total é apenas o “ponto de partida” destas pesquisas. Esta informação não permite de forma clara inferir se os elementos em estudo (independente de seu caráter tóxico ou não) têm origem natural ou antrópica e tampouco sobre mobilidade ou biodisponibilidade (Ishikawa *et*

*al.* 2009). Diferentes amostras com a mesma concentração total de um elemento podem variar muito em termos de toxicidade para os organismos, e isso depende do tipo de associação do elemento no sedimento (e.g. ligado a silicatos, fases trocáveis e carbonáticas, adsorvido, absorvido, etc.). Os elementos provenientes de fontes naturais tendem a permanecer associados à matriz silicática (ou residual), enquanto elementos provenientes de contribuições antrópicas ficam mais associados às fases mais lábeis, conforme revelam estudos de fracionamento geoquímico (Bevilacqua *et al.* 2009; Pereira *et al.* 2007; Sutherland 2000).

Em relação à disponibilidade de elementos nos sedimentos, os processos de extração sequencial têm destaque no cenário ambiental (Donahoe & Liu 1998; Sutherland 2000; Munk & Faure 2004; Wiechula *et al.* 2005; Korfali & Jurdi 2011; Bevilacqua *et al.* 2009; Pereira *et al.* 2007). A extração sequencial é um procedimento que visa obter a concentração dos metais em etapas (frações) partindo das fases sedimentares menos estáveis, que são consideradas de elevada disponibilidade para a biota, até as fases sedimentares mais residuais, onde o elemento metálico em questão apresenta disponibilidade insignificante para a biota. E cada etapa corresponde a uma determinada fase geoquímica do sedimento operacionalmente definida. A técnica visa caracterizar o potencial de partição, mobilidade e associação dos metais nas fases inorgânicas e orgânicas do sedimento.

As fases (ou frações) determinadas podem variar, dependendo dos reagentes aplicados e das modificações empregadas por diversos autores, e geralmente englobam as seguintes: fração trocável e solúvel; fração ligada a carbonatos; fração ligada a óxidos redutíveis (amorfo e cristalino); fração associada a sulfetos; fração associada à matéria orgânica e fração total (Bevilacqua *et al.* 2009; Gleyzes *et al.* 2003; Pereira *et al.* 2007). Com este fracionamento analítico do sedimento, definem-se as partições dos elementos, as quais podem inferir também o grau de disponibilidade destes.

Os dois protocolos de extração de maior sucesso no meio científico são o de Tessier *et al.* (1979) e o de Kersten & Förstner (1989). Porém, como esses procedimentos diferem em número de etapas e condições, é muito complicado comparar os dados obtidos entre eles (Sutherland, 2000). Além disso, trabalhos como o de Pereira *et al.* (2007) e Miller *et al.* (1986) questionaram a redistribuição e readsorção dos elementos nos procedimentos, uma vez que algum extrator mais forte pode atacar uma forma geoquímica, e retirar um elemento que teoricamente não deveria ser retirado dos sedimentos naquele momento. Ao mesmo tempo, pode abrir um sítio de adsorção para algum outro e reter tal elemento que deveria ser extraído do sedimento (Lã *et al.* 2003). Visando a padronização dos

procedimentos de extração, foi criado na década de 1990 pela Comissão Europeia um programa chamado “*Standard, Measurements and Testing programme*” (SM&T). Este visou harmonizar os procedimentos de extração sequencial e criar um material de referência para estes procedimentos harmonizados, este material de referência foi certificado e denominado atualmente como BCR 701. (Ure *et al.* 1992; Quevauviller 2002).

O fator histórico do sedimento também tem significativa importância nos processos de avaliação ambiental. Os sedimentos recentes, superficiais, retratam a atualidade do corpo hídrico, ao passo que os sedimentos antigos, mais profundos, indicam um histórico do local. Esta informação é facilmente obtida com os perfis sedimentares. E de posse destes perfis, é possível comparar as condições históricas, pois a informação fornecida pela base (fundo) do perfil retrata condições mais remotas do local, enquanto os sedimentos superficiais, a atualidade.

Segundo Ishikawa *et al.* (2009), a maioria dos trabalhos publicados na literatura que trata de poluição de sedimento por metais, referindo-se explicitamente ao termo risco ambiental, é de pesquisadores da área geológica. Na área da química, apesar da permanente preocupação dos membros da comunidade com esta questão, as referências diretas ao termo “risco ambiental” são menos frequentes. As referências mais comuns dos pesquisadores químicos em relação à poluição de sedimentos por metais são para a acumulação e disponibilidade de metais. Alguns pesquisadores (Ishikawa *et al.* 2009; Singh *et al.* 2005; Jain 2004) já utilizaram uma escala numérica para medir o risco ambiental, por meio do critério RAC (*Risk Assessment Code*), que consiste na definição de um risco de disponibilidade do elemento para a biota a partir dos resultados das fases mais lábeis da extração sequencial.

Desta forma, o objetivo deste capítulo é avaliar a mobilidade de elementos nas fases sedimentares em três reservatórios do Estado de São Paulo (Promissão, Jurumirim e Ponte Nova). O estudo usa protocolo de extração sequencial em perfis sedimentares para definir as fases em que se encontram os elementos e verificar o conteúdo lábil que oferece mais risco de incorporação à biota. Separar as fontes naturais e antrópicas destes elementos é um objetivo particularmente importante deste estudo.

## 3.2 Materiais e métodos

As áreas de estudo foram os reservatórios de Jurumirim, Ponte Nova e Promissão. Estas represas estão descritas no Capítulo 1 em relação às suas construções, localização, contexto geológico, pontos e respectivas coletas.

### 3.2.1 Protocolo de Extração Sequencial e critério de risco ambiental

A extração sequencial dos elementos foi realizada de acordo com o protocolo da Comunidade Europeia descrito por Rauret *et al.* (2001). Tal protocolo possui material de referência certificado para alguns elementos nas fases de extração operacionalmente definidas em seu guia, e é comercializado e conhecido como EC-IRMM – BCR 701 (*European Commission, Institute for reference, materials and measurements, Community Bureal Reference*). Este é dividido em três fases extraíveis. Na primeira, a amostra deve ser atacada com uma solução de ácido acético 0,11 mol L<sup>-1</sup>. Esta solução extrai do sedimento os elementos que estão adsorvidos às fases cristalinas e amorfas, facilmente trocáveis por outros cátions (neste caso pelo hidrogênio). Extrai também os elementos associados a carbonatos, que serão solubilizados com este ácido fraco. Após a adição do ácido, as amostras permanecem por 16 horas em mesa de agitação a  $\approx 40$  rotações por minuto (RPM). Após este período, a amostra deve ser centrifugada por 30 minutos a 3000 RPM. Depois, separa-se o sobrenadante para análise. À amostra de sedimento, são adicionados 20 mL de água e a mistura é levada à mesa de agitação por 20 minutos (para lavagem e descontaminação do sedimento), novamente centrifugada nas mesmas condições de velocidade anterior, e agora o sobrenadante é descartado e o sedimento do tubo fica apto para a segunda fase da extração.

A segunda fase da extração deve ser realizada com uma solução de cloridrato de hidroxilamina 0,5 mol L<sup>-1</sup> em pH acidificado com ácido nítrico (pH  $\approx 1,5$ ). Da mesma forma que a primeira etapa, as amostras permanecem por 16 horas em mesa de agitação a  $\approx 40$  RPM e os mesmos procedimentos de centrifugação e lavagem são aplicados (adição de 20 mL de água com agitação por 20 minutos e posterior centrifugação com descarte da água sobrenadante). Estas duas primeiras fases são executadas a frio. Esta etapa é responsável por retirar os elementos que estão associados aos oxi-hidróxidos de ferro e manganês.

A terceira fase inicia-se com a adição ao sedimento (proveniente da fase 2) de 20 mL de peróxido de hidrogênio 8,8 mol L<sup>-1</sup>. Deve-se deixar a solução em contato com o sedimento por aproximadamente uma hora, com apenas agitações manuais de forma ocasional. Após este tempo, a mistura passa por uma digestão em banho-maria para redução

do volume para aproximadamente 3 a 5 mL e com posterior ressuspensão do sedimento em solução de acetato de amônio  $1,0 \text{ mol L}^{-1}$  estabilizada com ácido nítrico em  $\text{pH} = 2,0$ . Após a adição da solução de acetato de amônio, as amostras permanecem por 16 horas em mesa de agitação a  $\approx 40 \text{ RPM}$  e mesmos procedimentos de centrifugação e lavagem (adição de 20 mL de água com agitação por 20 minutos e posterior centrifugação com descarte da água sobrenadante). Esta fase disponibiliza os elementos associados (adsorvidos) à matéria orgânica e/ou precipitados como sulfetos.

A última fase do protocolo é a fase residual, e consiste em um ataque com água régia em chapa convencional. No presente estudo, optou-se por não realizar esta etapa, visto não ser um ataque efetivamente total e não informar o conteúdo residual real dos elementos no sedimento. A fração residual dos elementos (matriz silicática) foi quantificada pela diferença entre a concentração dos elementos obtida com a digestão das amostras com HF (concentração total) e a soma das concentrações obtidas nas três fases do protocolo de extração.

A determinação da concentração total dos elementos foi realizada conforme descrito no item 2.2.1 do Capítulo 2.

Em todos os perfis extraídos, o material de referencia BCR-701 foi submetido às mesmas condições de extração das amostras. Os resultados obtidos para os elementos certificados nas fases das extrações estão tabelados no Anexo A e as discussões e avaliações estatísticas dos resultados deste MRC também estão neste Anexo.

Apesar de as fases associadas a carbonatos e trocáveis serem reconhecidamente as que contêm os elementos mais facilmente disponíveis para a biota (Korfali & Jurdi 2011; Bevilacqua *et al.* 2009; Pereira *et al.* 2007), os resultados foram comparados com os critérios de risco RAC – *Risk Assessment Code*, de acordo com as definições de Jain (2004) e Singh *et al.* (2005), este critério estabelece um risco de dano à biota de acordo com o percentual do elemento tóxico nas fases trocável e associadas a carbonatos, conforme demonstrado na Tabela 3.1. Neste estudo, os percentuais obtidos na primeira etapa do protocolo de extração foram comparados com este critério.

Tabela 3.1 – Classes de risco associado aos percentuais extraídos de um elemento potencialmente tóxico (em relação à massa total) na fase associada a carbonatos e elementos trocáveis.

Risco (RAC)	Concentração percentual do elemento nas frações trocável e carbonatos (%) em relação ao total
Nenhum risco	< 1
Baixo risco	1 – 10
Médio risco	11 – 30
Alto risco	31 – 50
Muito alto risco	> 50

Adaptado de Jain (2004) e Singh *et al.* (2005).

### 3.3 Resultados e discussão

#### 3.3.1 Extração sequencial em sedimentos

As Tabelas 1 a 3 do Anexo E apresentam os resultados obtidos para as três fases extraídas nas amostras de sedimentos para todos os perfis sedimentares coletados em Jurumirim (ponto 1 – janeiro de 2013; ponto 1 – julho de 2013; ponto 1 – Janeiro de 2014; ponto 2 e ponto 3).

As Tabelas 5 a 7 do Anexo E apresentam os resultados obtidos para as três fases extraídas nas amostras de sedimentos para todos os perfis sedimentares coletados em Promissão (ponto 1 – janeiro de 2013; ponto 1 – julho de 2013; ponto 1 – Janeiro de 2014; ponto 2 e ponto 3). As Tabelas 9 a 11 do Anexo E apresentam os resultados obtidos para as três fases extraídas nas amostras de sedimentos para todos os perfis sedimentares coletados em Ponte Nova (ponto 1 – agosto de 2014; ponto 1 – Fevereiro de 2014; ponto 1 – Agosto de 2013 e ponto 2).

As Tabelas 4, 8 e 12 do Anexo E apresentam, respectivamente, os resultados obtidos para a fração residual nos reservatório de Jurumirim, Promissão e Ponte Nova. Tais resultados foram obtidos pela diferença entre as concentrações totais dos elementos (apresentadas nas Tabelas 1 a 14 do Anexo D) e a soma das três fases extraídas (trocável e carbonatos; oxi-hidróxidos de Fe e Mn; Matéria orgânica e sulfetos).

Foram quantificados os elementos Li, Sc, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Mo, Cd, Sb, Cs, Ba, Pb, Th e U em todos os perfis de sedimento. O mercúrio foi determinado, mas ficou abaixo do nível de quantificação ( $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ ) em todos os perfis.

A extração foi executada apenas nos oito ou nove primeiros cortes (profundidade da superfície até 20 – 22,5 cm) de cada perfil sedimentar, relacionados às profundidades onde foi possível extrair a água intersticial dos sedimentos (Capítulo 4).

A extração da fração associada a carbonatos, solúveis e trocáveis apresentou o manganês como o elemento preponderante em todos os reservatórios e perfis, com resultados superiores a 60% em algumas frações. Na fração associada aos oxi-hidróxidos de ferro e manganês, o ferro apresentou valor médio ao redor de 25 a 35% nos reservatórios estudados, e esta fase do sedimento ainda apresentou proporções superiores a 20% da concentração total em todos os perfis dos três reservatórios para Ba, V, Pb e As.

Com proporções similares nas represas, Cu, Sc e U foram os elementos com maior proporção na fase do sedimento associada à matéria orgânica e sulfetos.

A fração residual foi a maior dentre as fases avaliadas para os elementos, com destaque para Sb, Cs, Li, e Th com mais de 85% da concentração dos elementos nesta fase em todos os perfis nos três reservatórios.

### **3.3.2 Reservatório de Jurumirim**

A extração sequencial apresentou comportamentos bem similares em todos os perfis para todos os elementos, considerando as quatro fases da extração (trocável/carbonatos; óxidos de Fe-Mn; matéria orgânica e sulfetos; residual). Não se verificou em Jurumirim diferenças significativas de concentrações entre os perfis e pontos para um mesmo elemento, e nos perfis a distribuição ao longo da profundidade foi praticamente constante para todos os elementos.

As Figuras 3.1 e 3.2 ilustram os resultados percentuais médios em cada perfil para o cobre nos perfis de Jurumirim e para o cádmio nas amostras em profundidade do perfil coletado no ponto 1 em julho de 2013, respectivamente. Estes elementos são representativos das condições verificadas na extração sequencial em Jurumirim, tanto na comparação dos elementos entre as campanhas, quanto na comparação em profundidade dos perfis. Não há alterações significativas nos percentuais entre as campanhas (Figura 3.1 – ilustrada pelo cobre, mas pode ser qualquer outro elemento) e dentro das frações de um mesmo perfil

(Figura 3.2 ilustrada pelo Cd, e pode também ser com qualquer outro elemento). A distribuição do Cd neste perfil é similar a todos os demais perfis e aplicável aos demais elementos. Sem tendências significativas.

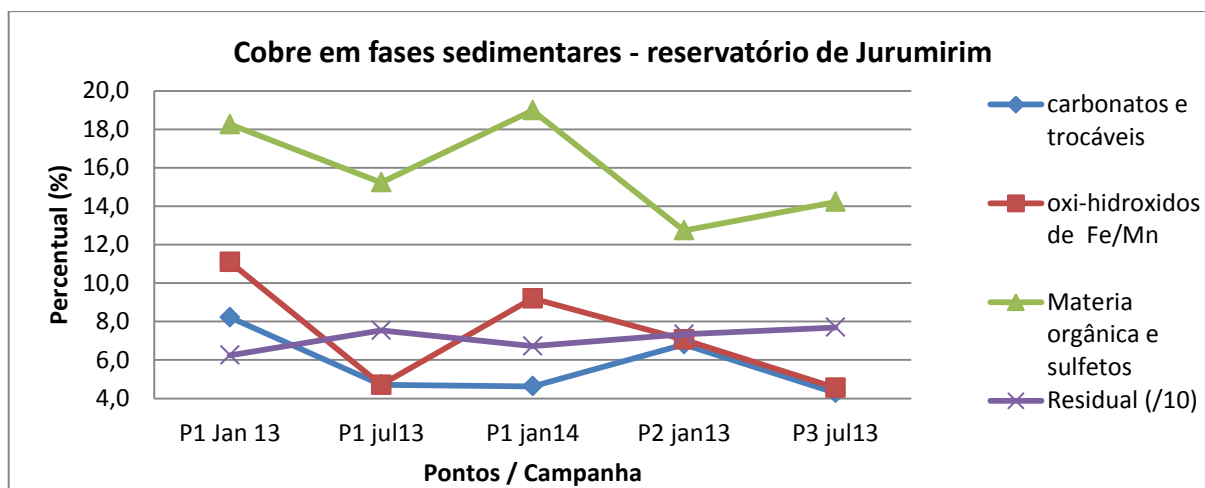


Figura 3.1 – Percentuais de cobre em fases sedimentares nos perfis coletados em Jurumirim.

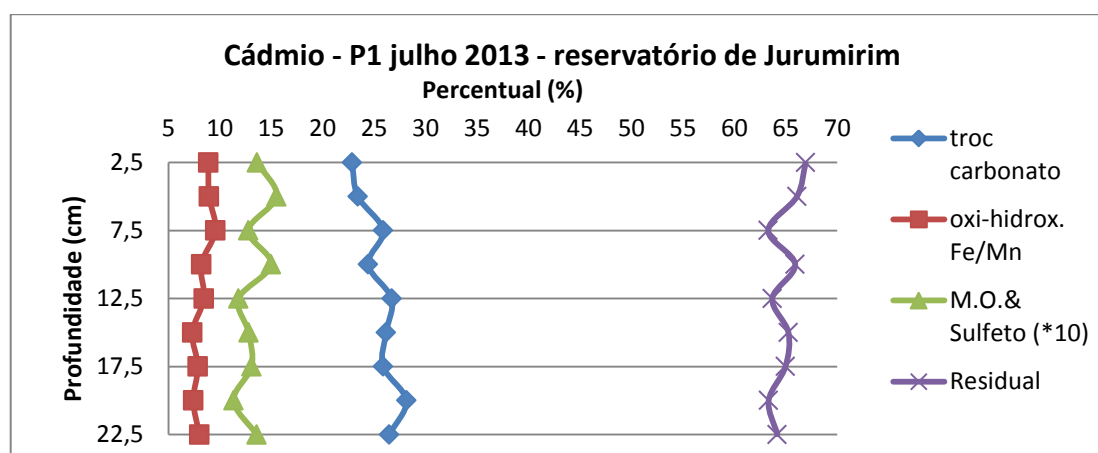


Figura 3.2 – Evolução das concentrações (percentuais em relação ao total) de Cd em Jurumirim no ponto 1 coletado em julho de 2013.

A Tabela 3.2 apresenta as médias e os desvios padrões obtidos para os percentuais de extração em cada fase, por elemento, nos cinco perfis coletados no reservatório de Jurumirim. Na fração associada aos elementos trocáveis/associados a carbonatos, os elementos que apresentaram os maiores percentuais de extração foram; Mn (52% em média); Ba (38% em média) Cd; (22% em média); e Sr (25%). O cobalto também apareceu em percentual de 10%, e dentre estes citados elementos, Co, Sr e Cd foram os elementos que ocorreram nesta fase em percentuais consideráveis, mas as maiores frações foram encontradas na fração residual do presente estudo.

A fração associada aos óxidos de Fe e Mn apresentaram vários elementos em proporções significativas, a exemplo do próprio Fe (38,3%), Mn (42%), Ba (24%), Co (25%), V (23%), Pb (38%) e As (41%). Na fase associada à matéria orgânica e aos sulfetos, Sc, (35%), U (23%) e Cu (16%) foram os maiores destaques. Na fase residual os elementos foram distribuídos conforme a Tabela 3.3.

Apenas Mn e Ba apresentaram percentual inferior a 50% na fase residual. Vários elementos que foram considerados como significativos em outras fases apresentaram percentuais superiores a 50% na fase residual, como os elementos As, Pb, Co e V, com bons percentuais de suas concentrações associadas aos óxidos de Fe/Mn (41%, 38%, 21% e 22% respectivamente) e a maior parte associada à fração residual, além do próprio ferro (36%).

No reservatório de Jurumirim, Cd (22%), Mn (52%), Ba (38%) e Sr (25%) apresentaram boas proporções de suas concentrações associadas com carbonatos/trocáveis, e dentro do critério de *Risc Assessment Code* (RAC), apresentam de médio a alto risco ambiental de transferência destes elementos para a biota. Entretanto, como estes elementos apresentaram partição constante ao longo de todos os perfis (conforme Figura 3.2) com a fase associada a carbonatos e trocáveis, tal fato não aparenta ser de origem antrópica.

Ademais, apenas o Cd dentre os elementos presentes nesta fase (trocáveis e carbonatos) apresenta toxicidade difundida e comprovada no meio científico (Quinágua 2006; Baird 2010, Siegel, 2001), e suas concentrações absolutas nesta fase foram muito baixas (inferiores a  $0,04 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Como comparação, a agência de meio ambiente norte americana (EPA – *Environmental Protection Agency*) define que as concentrações seguras de Cd em sedimentos para proteção da comunidade aquática deva ser inferior a  $0,99 \text{ mg kg}^{-1}$  (EPA, 2003). As concentrações de Cd total foram inferiores a  $0,30 \text{ mg kg}^{-1}$ , ou seja, em teoria, as concentrações de Cd em Jurumirim não devem ser preocupantes quanto à sua toxicidade para a biota aquática.

A disponibilidade de elementos no reservatório de Jurumirim deve ser considerada baixa, visto que os elementos estavam majoritariamente associados com a fase residual. A fração mais lábil da extração (associada a carbonatos e trocável) foi pouco significativa para todos os elementos (exceto Mn, Ba, Sr e Cd) e os perfis não demonstraram risco associado à biota por conta de influências antrópicas.

Tabela 3.2 – Médias e desvios padrões dos elementos nas frações de extração sequencial para o reservatório de Jurumirim nos cinco pontos coletados. Resultados de média e desvio padrão em percentual (%) relativo ao total do elemento.

fases	parâmetro	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
carbonatos e trocável	média	0,63	3,45	0,01	0,68	52,5	0,40	11,6	6,50	5,10	6,70
	desvio padrão	0,09	1,28	0,01	0,20	13,2	0,12	5,72	1,96	0,99	0,63
oxi-hidroxido de Fe/Mn	média	0,53	8,23	22,4	7,09	38,1	35,8	21,5	4,67	7,45	9,61
	desvio padrão	0,15	1,97	3,61	1,25	11,6	3,08	4,19	1,33	3,06	2,29
MO e Sulfetos	média	6,73	35,2	0,81	8,4	2,44	0,51	5,93	5,3	15,1	3,89
	desvio padrão	0,99	11,2	0,27	1,74	0,46	0,51	0,84	0,34	2,34	1,98
residual	média	92,1	53,1	76,8	83,9	6,98	61,4	61,0	83,6	72,3	79,8
	desvio padrão	0,99	13,0	3,73	3,03	3,04	3,46	5,51	2,9	4,20	4,20
fases	parâmetro	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U
carbonatos e trocável	média	0,92	23,9	0,13	21,8	0,15	0,19	37,7	0,69	0,14	4,87
	desvio padrão	0,66	4,37	0,12	5,27	0,04	0,07	2,75	0,28	0,04	0,64
oxi-hidroxido de Fe/Mn	média	41,4	3,94	0,22	7,93	1,02	2,02	23,7	37,9	0,50	10,6
	desvio padrão	28,0	1,67	0,06	2,73	0,22	0,57	7,1	4,68	0,05	2,17
MO e Sulfetos	média	6,89	0,90	0,10	1,69	0,13	4,06	3,76	6,62	10,6	22,9
	desvio padrão	1,76	0,13	0,01	1,07	0,02	0,20	1,01	1,00	4,56	3,84
residual	média	50,8	71,2	99,6	68,6	98,7	93,7	34,8	54,8	88,8	61,6
	desvio padrão	28,7	5,81	0,17	8,47	0,25	0,64	9,17	5,74	4,55	3,92

Tabela 3.3 – Percentual dos elementos na fase residual nos sedimentos do reservatório de Jurumirim.

> 90%	Mo, Sb, Cs, Li
> 80%	Cr, Ni, Th
> 70%	V, Cu, Sr, Zn
> 50%	Fe, Co, Cd, Pb, Sc, As, U

### 3.3.3 Reservatório de Promissão

O reservatório de Promissão apresentou ao longo do processo de extração dos seus sedimentos algumas variabilidades significativas para alguns elementos e em fases específicas.

Na fase associada a carbonatos e trocáveis, Mn (e em menor intensidade Ba e Zn) apresentaram grande variabilidade de concentração quando se compara os perfis, mas sem apresentar uma tendência clara dentro de cada perfil.

Já os elementos Ni e Cu apresentaram variabilidade em suas concentrações devido a um incremento destas ao longo do perfil (no sentido da base para o topo). A Figura 3.3 ilustra o comportamento do cobre e do níquel nesta fase.

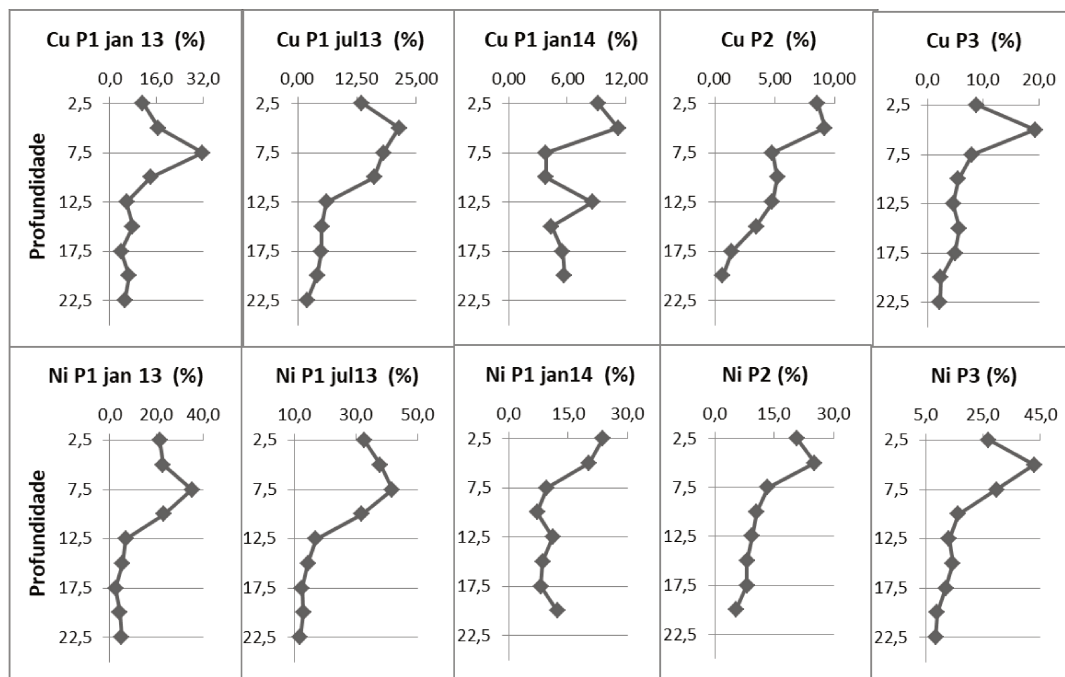


Figura 3.3 – Concentrações percentuais de cobre e níquel (em relação à concentração total) na fase sedimentar associada a carbonatos e trocáveis – reservatório de Promissão.

O cobre em profundidade de 20–22,5 cm (base do perfil) apresentou média de concentração (em percentual) associada a carbonatos e trocáveis ao redor de 4% e nas camadas superficiais dos sedimentos de Promissão (zero a 5 cm) chegou a atingir valores referentes a 20% da concentração total. Já o Ni apresentou na base dos perfis valores percentuais entre 2 a 5%, e chegou a atingir mais de 40% da concentração total em superfície nesta fase.

Estes significativos incrementos de concentração nas fases associadas a carbonatos e trocáveis nas camadas superficiais do sedimento em comparação com a base do perfil podem ser diretamente relacionados às atividades humanas, e estas fases sedimentares são consideradas as diageneticamente mais suscetíveis à disponibilidade para a biota (Tessier

*et al.* 1979; Bevilacqua *et al.* 2009; Jain 2004; Singh *et al.* 2005). Dentro do critério RAC, estes percentuais evidenciam um alto risco ambiental de transferência para a biota com respeito ao Ni (vide Tabela 3.1).

Em relação ao cobre, o risco deve ser considerado médio em função de seus percentuais nos sedimentos superficiais de promessa terem apresentado valores ao redor de 20% na camada superficial.

Na fase associada aos carbonatos e trocáveis, Mn foi o elemento mais presente em termos de concentrações proporcionais, com 60% em média. O cobalto apresentou concentração média maior que 20%, enquanto Ni, Sr e Cd apresentaram percentuais nesta fase superiores a 15% em média. No caso do cádmio (17% nestas frações), apesar do RAC apontar para um risco médio de disponibilização para a biota, suas baixas concentrações efetivas nestas fases (por volta de 0,04 mg kg<sup>-1</sup>) e sua relativa homogeneidade ao longo dos perfis sugeriram que a origem do metal pode ser geogênica.

A Tabela 3.4 apresenta as concentrações médias (em percentual em relação ao total) por fase e os seus respectivos desvios padrões. Na fase dos sedimentos associada aos oxi-hidróxidos de Fe e Mn, elementos como Ba e Mn apresentaram maior variabilidade entre os cinco perfis coletados. Todos estes elementos oscilaram suas concentrações nos perfis de forma aleatória, e não foi possível definir uma tendência. Os elementos com os maiores percentuais extraídos nesta fase foram ferro (37%), V (37%), Ba (31%), Pb (25%) e As (81%).

Na fase associada aos sulfetos e matéria orgânica, os elementos com maiores percentuais extraídos foram Sc (26%), U (26%), Cu (17%) e Mo (17%). O Molibdênio apresentou uma tendência de incremento na parte superior do perfil, referente à sedimentação mais recente, e também concentrações mais elevadas nos perfis em profundidade referente à época da transição solo/rio Tietê – reservatório de Promissão (Figura 3.4), com percentuais de até 60% da concentração total extraída nesta fase. Conforme já discutido no Capítulo 2 (item 2.3.3.2), o Mo é frequentemente associado com fertilizantes e este incremento mostrou boa relação com o conteúdo de COT nos perfis de Promissão ( $r=0,76$ ), podendo ser esta forte associação com a MO e os incrementos em superfície considerados como indicativos desta contribuição.

A fração residual apresentou as maiores concentrações para quase todos os elementos determinados. A Tabela 3.5 resume os elementos de acordo com os percentuais de concentração médios verificados nesta fase.

Tabela 3.4 – Médias e desvios padrões dos elementos nas frações de extração para o reservatório de Promissão nos cinco pontos coletados. Resultados de média e desvio padrão em percentual (%) relativo ao total do elemento.

fases	parâmetro	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
carbonatos e trocável	média	0,88	2,96	0,12	1,02	60,6	1,55	25,6	18,1	7,97	13,9
	desvio padrão	0,45	1,25	0,10	0,50	13,6	0,68	6,34	9,19	4,53	4,72
oxi-hidroxido de Fe/Mn	média	0,55	4,36	37,7	6,52	10,6	38,5	10,5	5,24	8,07	9,45
	desvio padrão	0,16	1,59	4,00	1,64	5,09	4,75	3,84	1,65	3,10	2,70
MO e Sulfetos	média	5,20	24,6	6,60	15,1	1,95	4,04	8,27	9,8	17,0	5,02
	desvio padrão	1,43	7,26	2,11	3,09	0,44	0,95	1,32	2,56	4,17	0,72
residual	média	93,4	68,0	55,6	77,3	26,8	55,9	55,6	66,8	67,0	71,6
	desvio padrão	1,60	8,72	3,90	2,75	10,0	5,62	5,38	11,6	8,78	3,11
fases	parâmetro	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U
carbonatos e trocável	média	2,10	15,5	0,15	19,0	0,17	0,29	3,72	0,53	0,46	6,31
	desvio padrão	0,98	3,63	0,04	3,29	0,08	0,15	2,38	0,18	0,34	3,75
oxi-hidroxido de Fe/Mn	média	72,6	7,18	2,32	7,80	1,88	2,31	29,2	24,8	0,37	9,44
	desvio padrão	16,7	2,03	0,83	3,89	0,44	0,48	10,1	5,68	0,08	2,26
MO e Sulfetos	média	5,65	2,38	21,1	2,57	0,70	3,91	6,94	2,94	4,65	24,9
	desvio padrão	2,19	1,61	11,4	1,19	0,26	0,66	5,79	1,64	2,50	3,89
residual	média	18,7	74,9	76,5	70,6	97,5	93,5	60,2	71,8	94,5	59,3
	desvio padrão	11,9	4,73	12,1	6,06	0,76	0,96	7,31	6,37	2,32	5,22

Na fase residual, a ampla maioria dos elementos apresentou percentual acima dos 70%. Abaixo de 50%, somente os elementos Mn, e As. Manganês esteve mais distribuído nas fases associada a carbonatos e trocáveis, enquanto o As estava em maiores percentuais associados à oxi-hidróxidos de Fe e Mn.

Ainda na fase residual, Ni e Cu apresentaram as maiores variações de concentrações dentro dos perfis. Para estes elementos a concentração na fase residual aumentou no sentido do topo do perfil sedimentar para a base. A Figura 3.5 apresenta os percentuais de Ni que ilustram esta tendência na fase residual nos cinco perfis de Promissão.

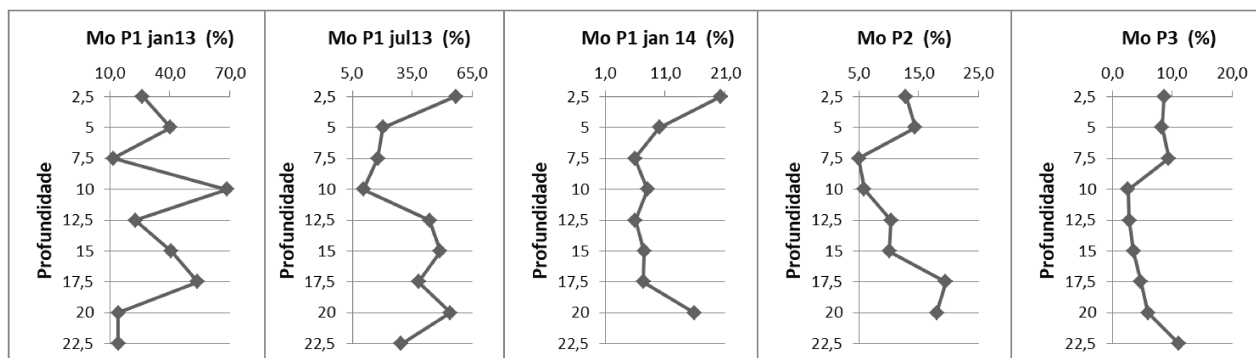


Figura 3.4 – Percentuais de Mo associados a MO e sulfetos nos perfis coletados em Promissão.

Tabela 3.5 – Elementos e respectivos percentuais quantificados na fase residual – reservatório de Promissão (resultados médios dos cinco perfis).

Percentual	Elementos
> 90%	Sb, Cs, Li, Th
> 70%	Mo, Cr, Pb, Sr, Cd, Zn
> 60%	Sc, Ni, Cu
> 50%	Fe, Ba, Co, V, U

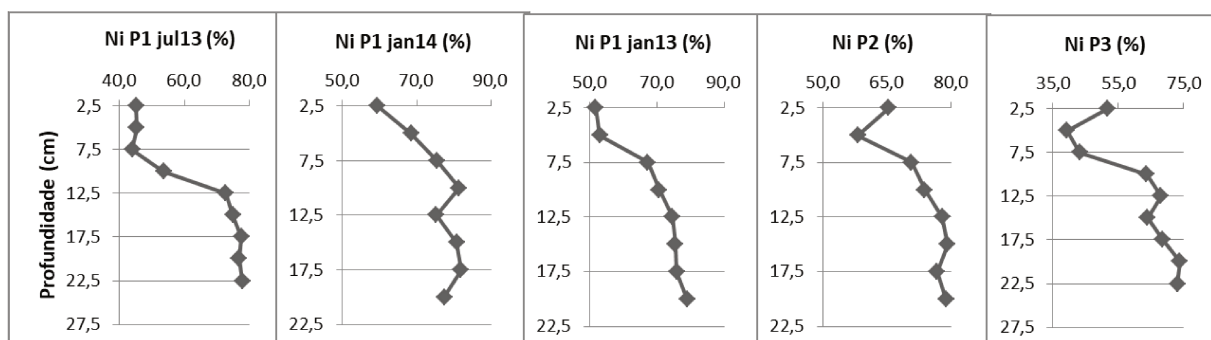


Figura 3.5 – Concentrações percentuais de níquel na fase residual em perfis sedimentares no reservatório de Promissão.

Em todos os pontos e perfis coletados, as concentrações de Ni (e também Cu e Na) apresentaram esta tendência de incremento do topo para a base do perfil sedimentar (Figura 3.5). Para o Ni, nos sedimentos superficiais (até 7,5 cm) as concentrações percentuais apresentaram variabilidade e oscilaram entre 31% a 74%. A partir dos 12,5 cm de

profundidade, estas se mantiveram mais constantes e entre 65 a 80%. No caso do cobre, esta variação nos primeiros 7,5 cm do perfil sedimentar foi de 43% a 76%, e aumentou para valores entre 70% a 85% na base do perfil.

Este comportamento é inverso ao observado na fração associada a carbonatos e trocáveis. É mais uma evidência de que estes elementos foram incorporados de forma antrópica nos sedimentos superficiais de Promissão. Além do incremento em suas concentrações absolutas (Tabelas 6 a 10 do Anexo D), as altas proporções observadas na fase associada a carbonatos e trocáveis com uma diminuição da fração residual permitem concluir tal afirmação.

### **3.3.4 Reservatório de Ponte Nova**

A Tabela 3.6 sintetiza as concentrações médias (em percentual em relação ao total) por fase e os seus respectivos desvio padrão obtidos para as fases do protocolo de extração sequencial para o reservatório de Ponte Nova.

Neste reservatório, poucos elementos apresentaram variações em suas concentrações pelas fases associadas aos sedimentos, e não foram verificadas tendências de incremento ou decréscimo de concentrações ao longo dos perfis.

Os elementos com maiores percentuais de extração na fase associada a carbonatos e trocáveis foram Mn (55%), Cd (33%), Sr (24%) e Co (15%). Na fase associada aos oxi-hidróxidos de Fe e Mn, os elementos com maiores percentuais foram Fe (21%), V(16%), Pb (37%), Zn (17%) e As (65%).

Escândio (26%), U (22%), Mo (30%) e Cu (34%) foram os elementos com maiores percentuais extraídos na fase associada à matéria orgânica e sulfetos. A ampla maioria dos elementos estava presente na fase residual dos sedimentos deste reservatório e em proporções bem significativas. A Tabela 3.7 resume os elementos e seus percentuais de concentração (em relação ao total) na fase residual.

Mesmo os elementos que ficaram abaixo dos 50%, apresentaram percentuais bem significativos, tais como Mn (40%), Cd (47%) e As (18%).

Tabela 3.6 – Médias e desvios padrões dos elementos nas frações de extração para o reservatório de Ponte Nova nos cinco pontos coletados. Resultados de média e desvio padrão em percentual (%) relativo ao total do elemento.

fases	parâmetro	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
carbonatos e trocável	média	0,93	1,34	0,19	1,05	50,9	1,00	16,0	2,66	3,21	11,9
	desvio padrão	0,25	0,43	0,15	0,21	5,58	0,35	2,41	0,50	1,56	3,96
oxi-hidroxido de Fe/Mn	média	1,63	2,93	19,1	3,49	4,95	20,81	14,17	2,96	3,85	17,2
	desvio padrão	0,53	0,90	2,14	0,74	1,10	3,61	3,72	0,60	1,32	3,08
MO e Sulfetos	média	6,63	26,2	10,4	20,4	4,61	5,72	10,8	6,11	34,5	5,21
	desvio padrão	1,89	7,95	1,64	2,72	0,85	1,96	1,34	0,71	11,5	1,19
residual	média	90,8	69,6	70,2	75,1	39,6	72,5	59,0	88,3	58,4	65,6
	desvio padrão	1,91	9,13	3,02	2,68	6,38	5,70	4,56	1,33	12,8	4,48
fases	parâmetro	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U
carbonatos e trocável	média	2,04	24,1	0,04	33,5	0,55	2,12	7,59	2,70	0,21	1,31
	desvio padrão	0,33	6,95	0,03	4,99	0,22	0,60	2,90	0,61	0,07	0,33
oxi-hidroxido de Fe/Mn	média	64,9	6,05	0,59	15,7	3,70	5,65	15,4	36,8	0,67	3,98
	desvio padrão	7,87	2,39	0,15	2,99	0,60	0,59	3,54	3,46	0,22	1,03
MO e Sulfetos	média	15,4	2,56	29,6	4,04	1,27	6,66	4,31	7,65	9,36	21,9
	desvio padrão	4,34	0,95	11,0	0,65	0,49	1,59	0,76	1,21	2,67	3,50
residual	média	17,7	67,3	69,8	46,8	94,5	85,6	72,7	52,8	89,8	72,8
	desvio padrão	10,7	9,88	11,1	7,73	0,97	2,05	5,29	4,17	2,89	4,30

Tabela 3.7 – Elementos e percentuais em relação à concentração total nos perfis sedimentares em Ponte Nova (percentuais médios dos quatro perfis).

Percentual	Elementos
> 90%	Sb, Li
> 80%	Ni, Cs, Th
> 70%	Fe, Ba, Cr, V, Mo, U
> 60%	Sr, Zn, Sc
> 50%	Cu, Co, Pb

### 3.3.5 Elementos e fases nos reservatórios

Vários dos elementos determinados apresentaram comportamento muito similar entre os reservatórios.

É interessante destacar antes o uso e ocupação do solo nestes locais. Em Jurumirim, com área de drenagem total e direta de 17,8 mil km<sup>2</sup>, é predominante a agricultura familiar e pequenas cidades na bacia hidrográfica desta represa, e que 14% da área de

drenagem são de áreas de florestas ou reflorestamento (CETESB, 2009). Promissão, com área de drenagem direta de 13,2 mil km<sup>2</sup> caracteriza-se também por cidades de pequeno e médio porte, mas também é uma das regiões do estado de São Paulo com maior participação da agroindústria. Ponte Nova é o primeiro reservatório do rio Tietê, com apenas a cidade de Salesópolis totalmente inserida em sua bacia hidrográfica (com apenas 320 km<sup>2</sup> de extensão), caracterizada também por áreas nativas da mata atlântica, reflorestamento e agricultura familiar. Os solos majoritários no entorno de Promissão e Jurumirim são os latossolos e argissolos, enquanto que em Ponte Nova os cambissolos e organossolos são mais presentes.

Antimônio, Li e Th apresentaram concentrações percentuais na fase residual superiores ou muito próximas a 90% nos três reservatórios, o que reflete o caráter geogênico destes elementos. Crômio, Mo e Cs também podem ser considerados de caráter estritamente geogênico, pois tais elementos apresentaram-se nos sedimentos com percentuais sempre superiores aos 70% nesta fase.

Os demais elementos apresentaram percentuais inferiores a 70% na fase residual, mas com variações percentuais muito similares entre os reservatórios, como por exemplo, Sr, Co e U. A Figura 3.6 apresenta os percentuais médios das fases extraídas nos três reservatórios para o U, Ba e V, que apresentaram maior variação de percentuais extraídos nas fases associadas aos sedimentos nos três reservatórios.

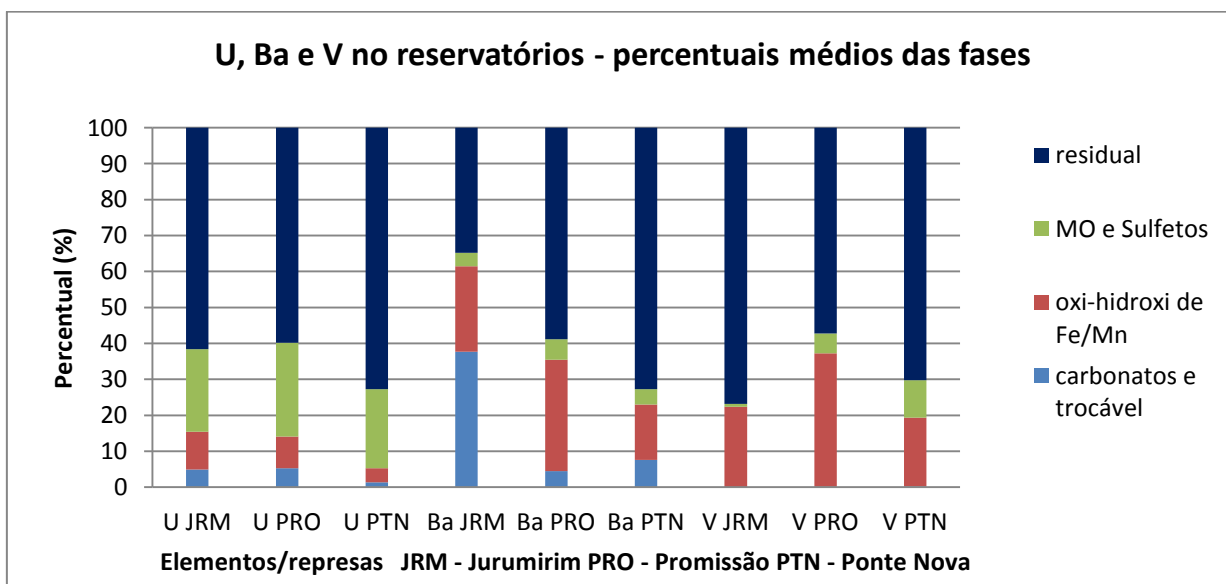


Figura 3.6 - Urânio, Ba e V no reservatórios - percentuais médios das fases sedimentares.

Em geral, o urânio apresentou percentuais extraídos entre as fases praticamente idênticos entre Jurumirim e Promissão, com percentuais aproximados de 5%, 10%, 25% e 60%, respectivamente, para as fases associada a carbonatos e trocáveis, oxi-hidróxidos de

Fe/Mn, matéria orgânica e sulfetos, e residual. Em Ponte Nova, foi verificado um maior percentual na fase residual (70%), com detrimento nos percentuais das outras três fases.

O bário apresentou percentuais bem significativos em Jurumirim, associados a carbonatos e trocáveis, e foi considerado dentro dos critérios de risco (RAC), como de alto risco de disponibilidade. Entretanto, este comportamento é observado ao longo do perfil e em todos os perfis deste reservatório, com suas concentrações oscilando entre 250 - 350 mg kg<sup>-1</sup> em todos os perfis e profundidades, o que parece indicar que as concentrações deste elemento são de características mais geogênicas. Nos demais reservatórios, o Ba nesta fase foi inferior a 10%, e Promissão e Ponte Nova apresentaram este metal na fase residual em percentuais superiores a 59 e 73%, respectivamente, e em Jurumirim foi de 35%.

O Vanádio apresentou percentual de 35% associado a oxi-hidróxidos de Fe/Mn em Promissão, enquanto nos demais reservatórios tal percentual oscilou ao redor de 20%. Na fase associada a carbonatos e trocável, o V apresentou percentuais inferiores a 0,1% em todos os reservatórios.

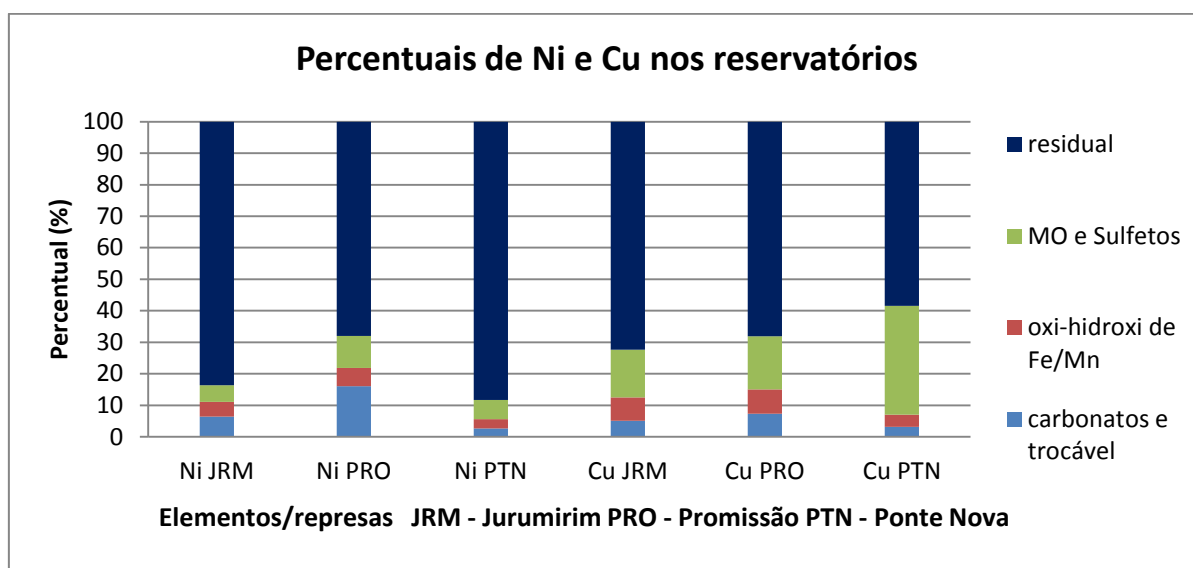


Figura 3.7 – Níquel e cobre nos reservatórios - percentuais médios das fases sedimentares.

As Figuras 3.7 e 3.8 apresentam outros elementos com seus percentuais extraídos (em relação à concentração total) nas fases sedimentares nos três reservatórios. Enquanto em Jurumirim e Ponte Nova o Ni apresentou percentual na fase residual superior a 80%, em Promissão foi por volta de 60%, com quase 20% em média na fase associada a trocáveis e carbonatos. Como já mencionado, este percentual nesta fase chegou a 50% nas camadas superficiais, e estes dados corroboram a influência antrópica deste elemento em Promissão, pois suas concentrações totais em profundidade oscilaram ao redor de 30 mg kg<sup>-1</sup> (onde há

pouco Ni na fase associada a trocáveis e carbonatos – inferior a 10%) e aumentaram para até  $75 \text{ mg kg}^{-1}$  em sedimentos superficiais (Tabelas 6 a 10 do Anexo D).

O Cobre em Promissão, conforme já discutido, apresentou similaridade com o Ni, porém em menor intensidade. Em Ponte Nova, este elemento apresenta 30% de suas concentrações associada a sulfetos e matéria orgânica, distribuídas de forma homogênea em todos os perfis. Em Ponte Nova, os sedimentos apresentaram maiores concentrações de COT nos perfis, devido ao fato do entorno do reservatório ser reflorestado, o que justifica estes percentuais mais elevados, devido à matéria orgânica oriunda de florestas nos sedimentos.

A Figura 3.8 apresenta o As com mais da metade de suas concentrações percentuais na fase associada a oxi-hidróxidos de Fe/Mn nos reservatórios, exceto Jurumirim (onde apresentou média de 40% nesta fase). Independente disto, foi muito clara e forte a associação deste elemento com oxi-hidróxidos de Fe/Mn nos reservatórios.

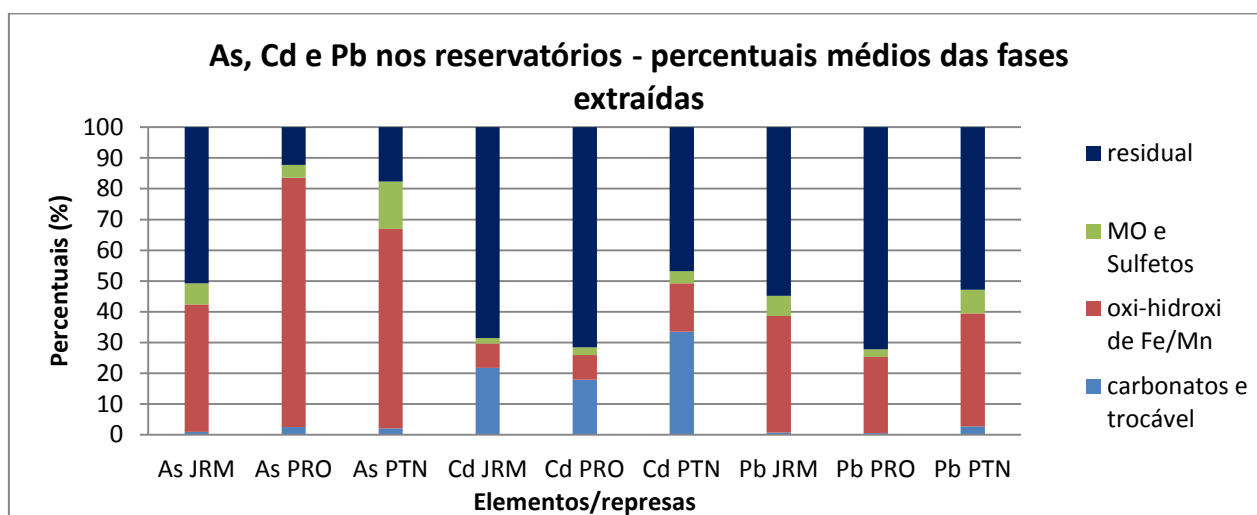


Figura 3.8 – Arsênio, Cd e Pb no reservatórios - percentuais médios das fases sedimentares.

O cádmio apresentou distribuição bem similar nos três reservatórios. Apresentou boas proporções na fase sedimentar associada a carbonatos e trocáveis, com percentuais de 22%; 18% e 33% para Jurumirim, Promissão e Ponte Nova, respectivamente. Apesar disto, a distribuição homogênea das concentrações de Cd em todos os perfis destes reservatórios e suas baixas concentrações (concentrações totais inferiores a  $0,30 \text{ mg kg}^{-1}$  em todos os reservatórios – vide Anexo E) parecem indicar que esta distribuição é de caráter geogênico.

O chumbo apresentou distribuições praticamente idênticas entre Jurumirim e Ponte Nova. Nestes reservatórios, aproximadamente 40% do Pb está na fase associada a oxi-

hidróxidos de Fe/Mn e pouco mais de 50% na fase residual. Em Promissão, o percentual na fase residual é maior (72%) em detrimento do percentual na fase associada aos oxi-hidróxidos de Fe/Mn (25%).

A Figura 3.9 apresenta as concentrações percentuais (em relação à concentração total) nas fases sedimentares nos reservatórios para Mo, Mn e Fe.

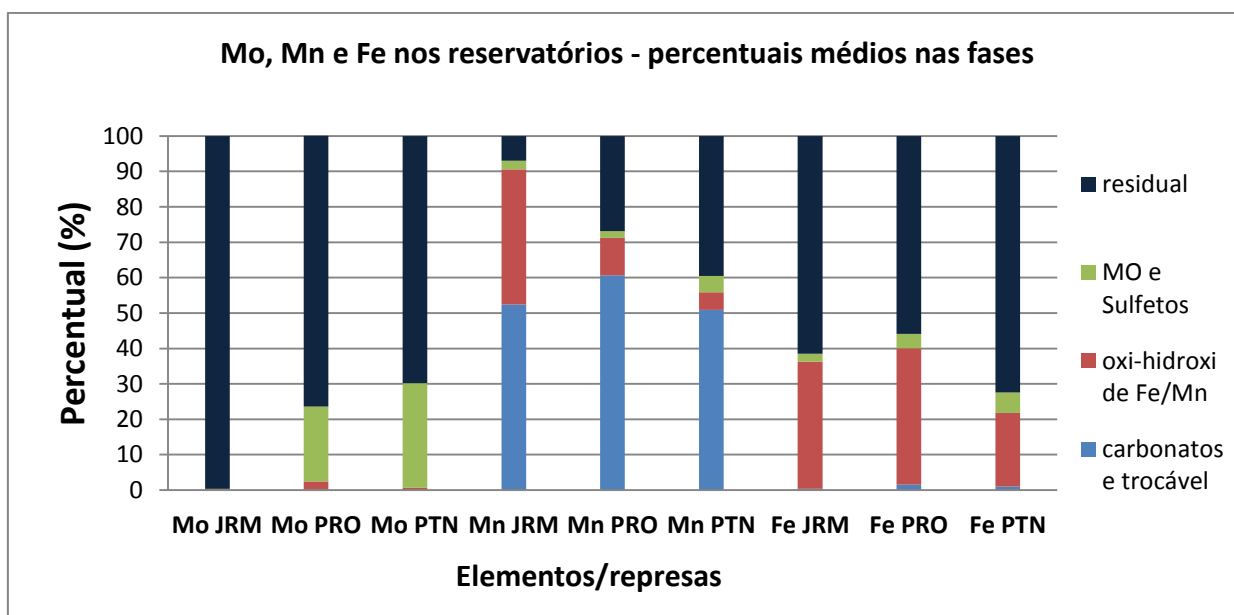


Figura 3.9 – Molibdênio, Mn e Fe nos reservatórios - percentuais médios das fases sedimentares.

O molibdênio apresentou distintas dinâmicas nas três represas. Enquanto em Jurumirim 99% do Mo foi quantificado na fase residual, em Promissão e Ponte Nova este percentual foi por volta dos 70% em média. Em Ponte Nova, o Mo apresentou por volta de 30% de suas concentrações na fase associada a matéria orgânica e sulfetos, e as concentrações nos perfis nesta fase sedimentar ou foram estáveis ou apresentaram incremento no sentido do topo para a base. Ademais, os solos orgânicos e as áreas de florestas na área de drenagem contribuíram com maior COT nos sedimentos de Ponte Nova e justificam estes percentuais. Em Promissão, também a fase associada a MO e sulfetos foi responsável pela média de 21% do Mo nesta fase. Entretanto, as maiores concentrações de Mo nesta fase sedimentar (com percentuais maior que 50% em algumas frações) nas camadas superficiais dos sedimentos (tanto em concentração total quanto associadas a Mo e sulfetos) podem ser indício da aplicação deste elemento como fertilizante, conforme discutido no Capítulo 2 (item 2.3.3.2). O manganês apresentou percentual sempre superior a 50% na fase associada a carbonatos e trocáveis nos três reservatórios, muito em função da alta solubilidade deste elemento (Siegel

2001; Gailardet & Dupret 2003). Entretanto, enquanto em Promissão e Ponte Nova a fase residual foi a segunda mais significativa (atrás apenas da associada a carbonatos e trocável), em Jurumirim esta fase foi menor que 10%. A fase associada aos oxi-hidróxidos de Fe/Mn foi o destaque neste reservatório para o Mn, com quase 40% do total do Mn nesta fase.

Em relação ao Fe, este se apresentou com aproximadamente 35% de suas concentrações associadas à oxi-hidróxidos de Fe em Jurumirim e Promissão, e apenas 20% em Ponte Nova, com a fase residual dominante em todos os reservatórios estudados.

A fase residual dominante para o Fe (ao invés da fase associada justamente aos oxi-hidróxidos de Fe/Mn) é muito em função da ineficiência do cloridrato de hidroxilamina  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  (solução utilizada no protocolo do BCR) em atacar óxidos de Fe cristalinos, tais como hematita, titanomagnetita, magnetita e goethita (Lã *et al.* 2003; Silveira *et al.* 2006). O reagente utilizado é capaz de apenas atacar os oxi-hidróxidos de Mn e os de Fe amorfos que estejam presentes nos sedimentos. Isto explica os baixos percentuais de Fe na fase associada aos oxi-hidróxidos de Fe/Mn, visto que a mineralogia destas represas (Figuras 1 a 12 do Anexo C) apresenta alguns óxidos cristalinos de Fe em sua matriz sedimentar. E tais óxidos cristalinos de Fe contribuíram diretamente com a fase residual dos sedimentos, em função das condições do método definidas.

### 3.4 Conclusões

A extração sequencial mostrou que nos três reservatórios os elementos estão associados em sua maioria à fase residual da matriz, não imputando riscos à biota aquática, com poucas exceções.

As represas cujas bacias hidrográficas apresentam menor atividade humana em seu entorno (Jurumirim e Ponte Nova) apresentaram maiores proporções de elementos associados com a fase residual.

Em Jurumirim, embora o Ba tenha apresentado significativo percentual de suas concentrações associado aos carbonatos e fases trocáveis, com o RAC indicando um alto risco de transferência à biota, as concentrações deste elemento são constantes desde a base do perfil que remete à formação do reservatório, e não foi portanto caracterizado como uma poluição antrópica.

O Cd segue o mesmo raciocínio para as três represas, com percentuais de pelo menos 18% na fase mais lábil, foi considerado como de médio risco de disponibilidade, mas devido ao fato de suas concentrações apresentarem-se sempre baixas e constantes ao longo dos perfis, esta é uma situação que parece mais ligada aos processos geológicos.

Em Promissão, os processos antrópicos evidenciaram incrementos de concentrações de Ni e Cu na fase associada a carbonatos e trocáveis nos sedimentos superficiais quando comparados aos sedimentos da base do perfil, com critério RAC indicando alto e médio risco respectivamente para estes elementos.

### 3.5 Referências

- Baird C. & Cann M. 2011. *Química Ambiental*. Porto Alegre, Bookman, 912p.
- Bevilacqua J. E., Silva I. S., Lichtig J., Masini, J. C. 2009. Extração seletiva de metais pesados em sedimentos de fundo do rio Tietê, São Paulo. *Quím. Nova*, **32 (1)**:26-33.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo 2009. *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado De São Paulo 2008* – CETESB. São Paulo.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo 2011. *Qualidade das Águas Superficiais do Estado De São Paulo 2010* – CETESB. São Paulo.
- Donahoe R. J. & Liu C. 1998. Pore water geochemistry near the sediment-water interface of a zoned, freshwater wetland in the southeastern United States. *Environ. Geol.*, **33 (2/3)**:143-153.
- Gaillardet J., Dupré B., Viers J. 2003. Trace elements in River Waters. In Turekian K.K. & Holland H. D. (eds) *Treatise of Geochemistry*. Elsevier, p.225-271.
- Gleyzes C., Tellier S., Astruc M. 2003. Fractionation studies of trace elements in contaminated soils and sediments: a review of sequential extraction Procedures. *Trends Anal. Chem.*, **21(8)**: 451-467
- Ishikawa D.N., Noale R.Z., Ohe T. H. K., Souza E. B. R., Scarmínio I.S., Barreto W.J., Barreto S.R.G. 2009. Avaliação do risco ambiental em sedimento dos lagos do riacho Cambé, em Londrina, pela distribuição de metais. *Quim. Nova*, **32(7)**:1744-1749
- Jain C.K. 2004 Metal fractionation study on bed sediments of River Yamuna, India. *Water Res.*, **38**:569–578
- Kersten M. & Forstner U. 1986 Chemical fractionation of heavy metals in anoxic estuarine and coastal sediments. *Water. Sci. Technol.*, **18(4-5)**:121-130.
- Korfali S. I. & Jurdi M. S. 2011. Speciation of metals in bed sediment and water of Qaraaoun reservoir, Lebanon. *Environ. Monit. Assess.*, **178**:563-579.

- Lã O.R., Barra C.M., Amaral Sobrinho N. M. B., Manzur N., Velloso A. C. X. 2003 Avaliação dos métodos de extração sequencial de Tessier, Keller e Miller na determinação de ferro nativo em três tipos de solos: orgânico, brunizem e latossolo. *Quim. Nova*, **26(3)**:332-330
- Manahan S. E. 2013. *Química Ambiental*. Porto Alegre, Bookman, 912p.
- Miller W.P., Martens D.C., Zelazny L.W. 1986 Effect of sequence in extraction of trace-metals from soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **50(3)**: 598-601
- Munk L. & Faure G. 2004. Effects of pH fluctuations on potentially toxic metals in the water and sediment of the Dillon Reservoir, Summit county, Colorado. *Appl. Geochem.*, **19**: 1065-1074.
- Pereira J. C., Silva A. K. G., Nalini Jr H. A., Silva E. P., Lena J, C. 2007. Distribuição, fracionamento e mobilidade de elementos traço em sedimentos superficiais. *Quím. Nova*, **30(5)**:1249-1255.
- Quevauviller, P (ed). 2012. *Methodologies for Soil and Sediment Fractionation Studies. Single and Sequential Extraction Procedures*. Royal Society of Chemistry, Brussels, 200p.
- Quinágua G. A. 2006. Caracterização de Níveis basais de concentração de Metais nos sedimentos do sistema estuarino da baixada Santista. Tese de Doutorado, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, 168p.
- Rauret G., Lopes-Sánchez J.F., Luck D., Muntau H., Quavauviller P. 2001. The certification of the extractable contents (mass fractions) of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in freshwater sediment following a sequential extraction procedure BCR 701. *European Commission*. [https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/rm/BCR-701\\_report.pdf](https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/rm/BCR-701_report.pdf) Acessado em 08 nov 2013.
- Siegel F. R. 2001. *Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals*. Springer-Verlag, Berlin, 218p.
- Silveira M.L.; Alleani L.R.F.; O'Connor G.A.; Chang A.C. 2006. Heavy Metal sequential extraction methods – A modification for tropical soils. *Chemosphere*, **64**:1929-1938
- Singh P.K., Mohan D., Singh V. K., Malik A. 2005. Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments - a tributary of the Ganges, India. *J. Hydrology*, **312**:14-27
- Sutherland R.A. 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environ. Geol.*, **39(6)**: 611-627.
- Tessier A.; Campbell P.G.C.; Bisson M. (1979) Sequential extraction procedure for the speciation of Particulate trace metals. *Anal. Chem.*, **51**: 844-851.
- Ure A.M.; Quevauviller P.H.; Muntau H. e Griepink B. 1993. Speciation of heavy metals in soils and sediments. Na account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the BCR of the commission of the European Communities. *Inter. J. Environ. Anal. Chem.*, **51**:135-151
- Wiechula D., Loska K., Korus, I. 2005. Lead partitioning in the bottom sediment of Rybnik reservoir (Southern Poland) *Water Air Soil Poll.*, **164**: 315-327.

## 4 HIDROQUÍMICA, PARTIÇÃO E DISPONIBILIDADE DE ELEMENTOS EM ÁGUAS CIRCULANTES E INTERSTICIAIS NOS RESERVATÓRIOS DE JURUMIRIM, PONTE NOVA E PROMISSÃO, SÃO PAULO

### 4.1 Introdução

Ao construir um lago artificial em um curso de um rio, seja para aproveitamento hidroelétrico ou captação de águas para consumo humano, a dinâmica do local sofre profundas alterações. O regime lótico, característico dos rios, torna-se um regime lântico, de velocidades bastante reduzidas. Este fato facilita a deposição de material particulado/coloidal em suspensão carregados pelos rios, vindo a integrar os sedimentos destes reservatórios neoformados.

O transporte de elementos metálicos nos rios (notadamente Fe, Al e elementos associados) ocorre por meio do material particulado carregado via processos erosivos para o corpo hídrico (Moraes 2016). Ao ser barrado, a tendência é de que tais particulados venham a compor os sedimentos das represas. Segundo Cánovas *et al.* (2012), as espécies metálicas operacionalmente dissolvidas na água são aquelas consideradas não retidas por uma membrana de 0,45 (ou 0,22 ou 0,20)  $\mu\text{m}$  de porosidade (e podem passar por esta porosidade alguns coloides). Já o material retido pela membrana consiste dos particulados transportados pela água. Gaillardet *et al.* (2003) citam vários autores que definem a verdadeira fração dissolvida como menor que 1 nm, e que a fase coloidal pode ser “operacionalmente” definida como aquela entre 0,20 ou 0,45  $\mu\text{m}$  (porosidade das membranas usadas para filtração) e 1  $\mu\text{m}$ , lembrando que a fase coloidal por definição é aquela entre 1  $\mu\text{m}$  e 1 nm.

Em relação aos metais, estes ao serem depositados nos sedimentos podem ainda interagir com outras espécies químicas ali presentes e serem efetivamente fixados no sedimento de forma não biodisponível. Ademais, podem permanecer em formas que possam ser acessíveis à biota local, sejam como complexos inorgânicos ou orgânicos, ou mesmo na forma solúvel (iônica). Desta forma, não só a determinação dos metais em sedimentos, mas também a quantificação destes na água existente em seus interstícios (ou seja, água de poro ou água intersticial), poderão trazer informações mais corretas em relação às concentrações de metais biodisponíveis, ou seja, a concentração de metais efetivamente disponível para a biota, com potencial para participar do seu metabolismo (CETESB 2011; Chapman *et al.* 2002).

A água intersticial do sedimento, em geral, concentra maior parte dos elementos metálicos propensos à biodisponibilidade (Chapman *et al.* 2002), se comparada, por exemplo, à água de superfície (coluna d'água). Esta fase aquosa (água intersticial) também está em contato com a água de fundo (base da coluna d'água) e pode disponibilizar elementos químicos, incluindo nutrientes e/ou ânions para a coluna d'água. A análise destas duas fases aquosas (água intersticial e água de fundo) pode fornecer subsídios para uma melhor interpretação da dinâmica e partição dos metais na transição sedimento/água. Chapman *et al.* (2002), por exemplo, citam que a água intersticial é a rota chave para exposição de contaminantes para os organismos, em particular os da infauna. Segundo os autores, esta não é a única rota de exposição e pode inclusive não ser a principal, pois existem organismos com diferentes tipos de locomoção, formas e ciclos de vida no sedimento. Por exemplo, para os organismos epibênticos, somente a informação da água intersticial pode não ser válida, visto que estes organismos passam a maior parte do ciclo de vida na interface sedimento-água, e neste caso é de suma importância a determinação da espécie de interesse também no sedimento do substrato e água de fundo.

Outro aspecto importante na avaliação geoquímica de ambiente de reservatório diz respeito às flutuações hidrodinâmicas. Majagi *et al.* (2008) citam que o regime hídrico do reservatório (épocas de chuvas e estiagem, evaporação, diferenças de temperatura ao longo do dia e anual) provocam alterações significativas no comportamento de um reservatório. Vukovic *et al.* (2012) argumentam a importância de uma análise sazonal em reservatórios devido às grandes flutuações que estes ambientes normalmente sofrem ao longo do ano climático (secas e cheias), que podem implicar em alterações significativas nos parâmetros físicos e químicos avaliados. Em geral, estudos de reservatórios (ou rios) ao redor do mundo levam em consideração períodos de avaliação de pelo menos um ano, quando é possível verificar processos de maneira mais conclusiva (Munk & Faure 2004; Majagi *et al.* 2008; Cánovas *et al.* 2012; Vukovic *et al.* 2012).

Os reservatórios de climas tropicais estão sujeitos a variações maiores de temperatura ao longo do dia e do ano, o que provoca os fenômenos de estratificação térmica. Inicialmente, ocorre uma separação das massas de água, ficam na parte superior dos lagos as águas quentes e menos densas, e no fundo, águas mais frias e de maior densidade. Em função disto, não há mistura destas massas, e as águas superficiais passam a apresentar condições mais oxidantes do que as águas de fundo, que acabam por ter características mais redutoras em função da deficiência de oxigênio dissolvido. Esta situação pode permanecer por alguns

dias, ou meses, principalmente durante o verão (Esteves 1988; Manahan 2012; Nogueira 2005). Muitos estudos sobre estratificação térmica em reservatórios objetivaram avaliar as condições físico-químicas dominantes nestes e os processos de disponibilidade de nutrientes para o lago (Esteves 1988; Luzia 2004; Rodgher *et al.* 2005; Jorcin & Nogueira 2005; Costa & Henry 2010), sem um foco específico na dinâmica que este processo pode provocar nas concentrações dos elementos nas águas do reservatório.

Neste contexto, os objetivos deste capítulo são verificar como se dá o transporte dos elementos para os reservatórios; a partição dos elementos nas águas circulantes, considerando o material particulado suspenso e os componentes operacionalmente dissolvidos nas águas; verificar a ocorrência de estratificação térmica nos reservatórios e os efeitos das condições físico-químicas das águas de fundo e intersticial sobre a distribuição de elementos em um reservatório; e finalmente, avaliar os efeitos de períodos de cheias e secas, associadas às vazões dos reservatórios, sobre a dinâmica dos elementos químicos.

## **4.2 Materiais e métodos**

As áreas de estudo foram os reservatórios de Jurumirim, Ponte Nova e Promissão. Estas represas estão descritas no Capítulo 1 em relação às suas construções, localização, pontos coletados e contexto geológico.

Foram consideradas neste estudo todas as amostras coletadas nas campanhas realizadas nos reservatórios, conforme indicado nas Tabelas 1.1 e 1.3 do Capítulo 1.

### **4.2.1 Coluna de água (água circulante)**

Nas amostras coletadas ao longo da coluna de água (item 1.4 – Capítulo 1), foram determinados os seguintes parâmetros: carbono orgânico total (COT) e dissolvido (COD) e bicarbonato (carbono inorgânico), nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal, nitrogênio Kjeldahl, sulfato, cloreto e fluoreto. Os ânions e a série nitrogenada foram quantificados por cromatografia iônica sendo que nitrogênio amoniacal e kjeldahl foram determinados após digestão e destilação prévia da amostra. O carbono (tanto o inorgânico quanto o orgânico) foi quantificado pelo método de combustão com detector de infravermelho.

Os elementos foram quantificados por ICP-MS (*inductively coupled plasma – mass spectrometry*) ou por ICP-OES (*inductively coupled plasma – optical emission spectrometry*), com o método sempre a depender do elemento em questão e de suas concentrações. Todos os parâmetros foram quantificados na Divisão de Análises Químicas da

CETESB, em laboratórios acreditados de acordo com a NBR-ABNT-ISO-17025. Todas as curvas de calibração para a determinação dos nutrientes, ânions, COT/COD e elementos foram preparadas a partir de sais ou soluções rastreadas ao *National Institute of Standard and Technology* (NIST). Os resultados dos materiais de referência certificados (inclusive padrões de qualidade internos) determinados para vários elementos junto com as amostras de água estão apresentados no Anexo A. As discussões sobre os materiais de referência também estão neste Anexo.

Os elementos foram determinados em duas alíquotas da amostra. Uma destas foi filtrada ainda em campo em membrana de acetato de celulose com 0,20 µm de porosidade, e esta fração foi considerada a “fração operacionalmente dissolvida” (apesar de provavelmente possuir alguns coloides). A outra alíquota foi determinada sem filtração prévia e representa a “fração total” dos elementos na coluna de água, pois contém os coloides e materiais particulados presentes na amostra.

A eventual diferença de concentração dos elementos entre estas amostras (concentração determinada na “fração total” menos concentração determinada na “fração dissolvida”) refletirá a concentração do elemento associado ao material coloidal e/ou em suspensão (particulado) na coluna de água.

As amostras de águas foram coletadas em frascos de polipropileno de 15 mL e preservadas em campo com 6 a 8 gotas (*ca.* 0,2 mL) de uma solução de ácido nítrico ultrapuro 1:1 (50% v/v). O procedimento de preservação foi empregado tanto para as amostras filtradas (fração dissolvida) quanto para as não filtradas (fração total). Portanto, as amostras não filtradas (e preservadas) incorporaram os elementos adsorvidos ao material particulado.

Para as águas circulantes, foi avaliado o balanço iônico destas por meio do *software* “Qualigraf” (versão 1.17) da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME (Funceme 2016).

#### **4.2.2 Água intersticial**

A água intersticial foi extraída do sedimento de acordo com o protocolo da EPA (EPA 2001), o qual cita que a amostra deve ser centrifugada por 30 minutos a 8000 rotações por minuto. Uma massa de sedimento foi retirada de forma rápida do saco zip e pesada em tubo cônico de 50 mL de capacidade e centrifugado nas condições descritas. Após o tempo estipulado, a água intersticial foi retirada do tubo e avolumada em outro tubo de 50 mL e separada em duas partes, uma mantida na forma extraída e outra filtrada em membrana de

0,20  $\mu\text{m}$ . Todas as amostras foram preservadas com 6 a 8 gotas de uma solução de ácido nítrico ultrapuro 1:1 (50% v/v). As duas frações foram quantificadas. Esta água foi extraída nas oito (ou nove) primeiras camadas do sedimento. A razão pela qual apenas estas camadas foram amostradas é que a partir destes cortes, o sedimento não apresentava quantidade de água suficiente para as análises.

A filtração da amostra de água intersticial não está sugerida nos protocolos da EPA. Entretanto, ao filtrá-la, uma parte dos coloides é retida pela membrana de 0,20  $\mu\text{m}$ . Desta forma, a amostra de água intersticial filtrada será operacionalmente definida como “dissolvida”, enquanto a alíquota não filtrada como “total”. A eventual diferença de concentração dos elementos entre estas amostras refletirá a concentração do elemento associado ao material coloidal + particulado na água intersticial.

### 4.3 Resultados e discussão

As Tabelas 1 a 3 do Anexo F apresentam os resultados de pH, OD,  $E_H$ , temperatura, condutividade elétrica e transparência determinados em campo e os resultados de COD, COT, e ânions determinados em laboratório para as amostras da coluna de água.

Todos os reservatórios apresentaram nas águas circulantes boas condições de OD (superior a 6,0  $\text{mg L}^{-1}$ ) e  $E_H$  ( $> 300$  mV, já corrigido para o potencial padrão de hidrogênio) nas águas superficiais. Esta condição foi alterada apenas nas amostras de água de fundo dos reservatórios e nas condições onde foi verificada a ocorrência de estratificação térmica dentro do reservatório.

O pH nos reservatórios oscilou da faixa alcalina (ao redor de 8,0 a 8,8) até a faixa discretamente ácida (entre 6,0 e 6,5) nos reservatórios dentro da coluna de água no sentido da superfície para o fundo em alguns pontos. Vários pontos de coleta apresentaram pH ao longo da coluna de água constante, oscilando da faixa discretamente alcalina para a faixa neutra (ao redor de 7,0).

A condutividade elétrica nos reservatórios foi muito constante entre as campanhas nas águas superficiais. Em Ponte Nova, a condutividade elétrica oscilou ao redor dos 25  $\mu\text{S cm}^{-1}$  em todas as campanhas. Em Jurumirim, este parâmetro oscilou ao redor dos 50  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , e Promissão foi o reservatório que apresentou a maior variabilidade (160 a 200  $\mu\text{S cm}^{-1}$ ). A condutividade mais elevada em Promissão foi em função das maiores concentrações de sulfato, cloretos, nitratos e elementos alcalinos verificados em suas águas. Em Jurumirim e

Ponte Nova as concentrações de nitrato, nitrito e fluoreto ficaram abaixo do limite de quantificação (LQ) ( $0,01 \text{ mg L}^{-1}$  para nitrito e fluoreto e  $0,10 \text{ mg L}^{-1}$  para nitrato) em praticamente todas as amostras. Sulfato ( $\text{LQ} = 1,00 \text{ mg L}^{-1}$ ) também foi quantificado abaixo do limite em boa parte das amostras destas represas, e amônia ( $\text{LQ} = 0,10 \text{ mg L}^{-1}$ ) foi quantificada bem próximo ao LQ na maior parte das amostras de Ponte Nova e em poucas de Jurumirim. Cloreto foi quantificado nos dois reservatórios em todas as amostras em concentrações muito similares;  $2,0$  e  $2,5 \text{ mg L}^{-1}$  em Jurumirim e Ponte Nova, respectivamente.

Em Promissão, apenas o nitrito ficou abaixo do LQ em todas as amostras. Fluoreto foi quantificado de forma bem homogênea e com concentrações próximas a  $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ , nitrato apresentou concentrações ao redor de  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$  e o nitrogênio amoniacal apresentou oscilações desde  $< \text{LQ}$  a até  $2,5 \text{ mg L}^{-1}$ . Sulfato apresentou concentrações mais constantes ao longo do tempo e amostras, com  $13,0 \text{ mg L}^{-1}$  em média, e o cloreto oscilou suas concentrações entre  $12$  a  $18 \text{ mg L}^{-1}$ .

Ponte Nova apresentou os maiores resultados de COT e COD dentre estes reservatórios, com resultados de aproximadamente  $6,0$  e  $4,0 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente. Jurumirim e Promissão apresentaram resultados mais similares, com valores médios de  $2,9$  e  $3,6 \text{ mg L}^{-1}$  para COT e  $2,6$  e  $3,5 \text{ mg L}^{-1}$  para COD, respectivamente.

Em relação aos elementos químicos, foram quantificados Li, Na, Mg, Al, P, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Mo, Cd, Sb, Cs, Ba, Hf, Hg, Pb, Th e U em todas as amostras de água (circulante e intersticial) nas três represas. Fósforo não foi analisado nas campanhas de coleta realizadas em Janeiro de 2013. O Hg foi quantificado apenas em duas campanhas – Janeiro (ou Fevereiro) e Julho (ou Agosto) de 2014.

As Tabelas 4 a 8 do Anexo F apresentam os resultados obtidos para as amostras de coluna de água “total” e “dissolvido” para os elementos em Jurumirim e as Tabelas 9 a 13 do Anexo F os resultados das amostras de água intersticial (total e dissolvida) deste mesmo reservatório.

Fósforo e Hg apresentaram resultados abaixo do limite de quantificação em praticamente todas as amostras (coluna de água e intersticial), sendo o Hg em todas. Cádmiu, Th e Hf também apresentaram resultados abaixo do LQ em várias amostras de coluna de água e água intersticial. Manganês, V, Pb e As apresentaram resultados  $< \text{LQ}$  para algumas amostras dissolvidas, tanto na coluna de água quanto nas águas intersticiais.

As Tabelas 14 a 17 do Anexo F apresentam os resultados obtidos nas amostras de coluna de água “total” e “dissolvido” para os elementos em Ponte Nova, e as Tabelas 18 a 21 do Anexo F, os resultados das amostras de água intersticial (total e dissolvida) deste mesmo reservatório.

Em Ponte Nova, Hg, P, V e Hf apresentaram resultados <LQ em praticamente todas as amostras dissolvidas (tanto de água circulante quanto intersticial), sendo o Hg em todas as amostras. Nas águas circulantes, o Cd também apresentou resultado <LQ para todas as amostras. Ainda nesta matriz, Ni, Cu e Pb apresentaram a maior parte dos seus resultados abaixo do LQ, enquanto Co, Sb, Li e Mo apresentaram alguns resultados desta forma. Nas águas intersticiais, Th, Sb e Mo apresentaram parte significativa de seus resultados abaixo do LQ e As e Li apresentaram alguns resultados menores do que o limite de quantificação.

As Tabelas 22 a 25 do Anexo F apresentam os resultados obtidos nas amostras de coluna de água (concentrações total e de dissolvidos) para os elementos em Promissão, e as Tabelas 26 a 29 do Anexo F, os resultados das amostras de água intersticial (concentrações total e de dissolvidos) deste mesmo reservatório.

Em Promissão, as concentrações de Hg, Hf e Th foram abaixo dos seus limites de quantificação em praticamente todas as amostras de águas circulante e intersticial. O chumbo apresentou resultados abaixo do LQ na coluna de água em quase todas as amostras, e nas águas intersticiais em boa parte destas, mas foi quantificado em alguns perfis. O fósforo foi quantificado em várias amostras de água circulante, com alguns resultados menores que o LQ, mas nas águas intersticiais, a maior parte das amostras ficou com resultado abaixo deste limite. Molibdênio e Sb apresentaram alguns resultados em água intersticial abaixo do LQ.

### **4.3.1 Jurumirim**

#### **4.3.1.1 Água circulante**

As amostras coletadas ao longo da coluna de água mostraram que os elementos estão distribuídos na massa de água do reservatório de forma homogênea para metais e ânions. Não foram observadas grandes variações em suas concentrações tanto ao longo da coluna de água, quanto entre as campanhas de coleta, quando se toma como referencial as concentrações dos elementos na forma dissolvida. A exceção foi o ponto 3 que apresentou concentrações dos elementos discretamente superiores aos demais pontos.

Os dados de temperatura,  $E_H$ , pH, OD e condutividade elétrica mostraram que o reservatório apresentou em todas as campanhas condições bem similares para estes

parâmetros. Em todos os perfis, a amostra de água coletada no fundo sempre apresentou OD mais baixo do que no restante da coluna de água, e chegou em alguns pontos muito próximo a zero. O pH apresentou tendência similar, com valores discretamente alcalinos (o maior resultado observado de pH foi de 7,9) em todo o reservatório e amostras, exceto no fundo dos perfis coletados, onde ficou sempre próximo à neutralidade ou com pH discretamente ácido.

O balanço iônico das amostras coletadas foi realizado com a utilização do software “Qualigraf” (FUNCEME 2016) e os resultados obtidos para as amostras de Jurumirim foram satisfatórios, não foram evidenciadas discrepâncias nos resultados obtidos para as amostras de água circulante.

A Tabela 4.1 apresenta os percentuais de concentrações dos elementos na fração “operacionalmente” dissolvida (amostras filtradas em membrana de 0,20 µm) em relação à concentração obtida na amostra de água total (preservada e não filtrada). As amostras do fundo não entraram nesta composição, pois elas contêm material particulado em sua alíquota total.

Os elementos alcalinos, como esperado, apresentaram as maiores proporções na fração dissolvida ao longo dos pontos. Alumínio, Fe, Hf e Pb ocorreram em proporções inferiores a 30%. Tório foi quantificado em boa parte das amostras totais, mas nas amostras filtradas não foi quantificado. Isto indica que em Jurumirim, significativo percentual da concentração destes elementos está associado ao material particulado/coloidal em suspensão na água.

Tabela 4.1 – Proporção dos elementos na fração dissolvida em relação à concentração total dos elementos ao longo da coluna de água no reservatório de Jurumirim.

Percentual dos elementos na fração dissolvida (em relação à concentração total)	
> 80%	Ca, K, Mg, Na, Ba, Mo, Sb, Sr, Zn, Sc
> 60%	U, As, Li, Cd, Cu, Ni, Ti
≈ 50%	Cr, V, Cs
< 50%	Al, Fe, Mn, Co, Hf, Pb.

A presença de significativa parcela da concentração dos elementos na fração coloidal/em suspensão na água é um indicativo do transporte destes componentes para o

reservatório por meio de processos erosivos da bacia de drenagem, e esta foi a principal rota de entrada de elementos como Al e Fe (e elementos associados) no reservatório.

O ponto 3 apresentou para vários elementos, uma concentração maior do que nos outros dois pontos. As Figuras 4.1 e 4.2 ilustram o comportamento dos elementos Li e Cr (um dos mais solúveis e um menos solúvel, respectivamente) ao longo do reservatório. Nestes gráficos, é possível verificar a maior concentração obtida para o ponto 3. Entre os pontos 1 e 2 as concentrações foram mais similares, e não foi possível indicar uma distinção entre os locais.

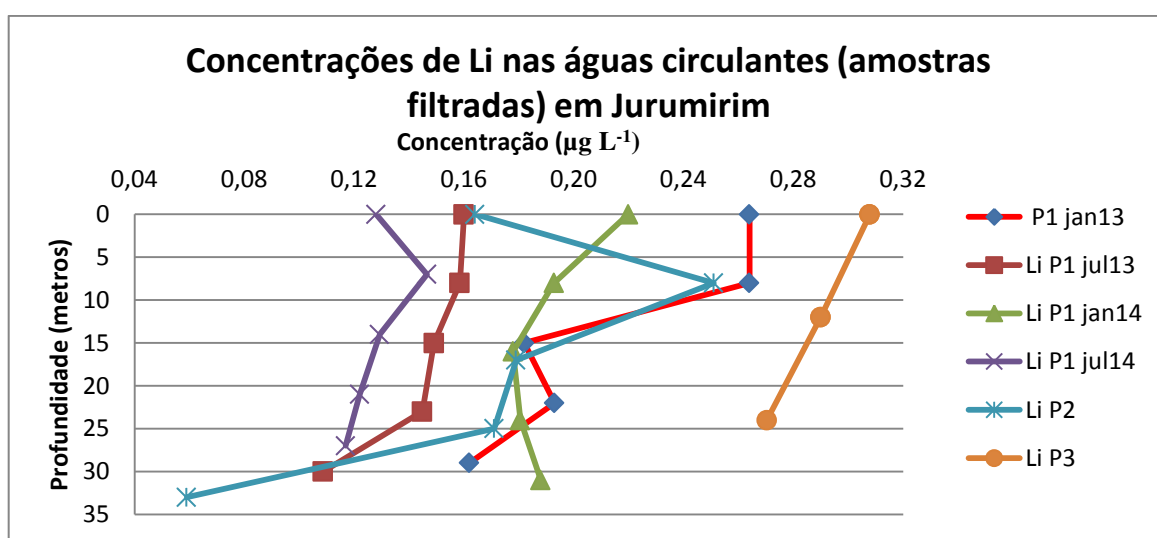


Figura 4.1 – Concentrações de Li nas amostras de água circulante no reservatório de Jurumirim.

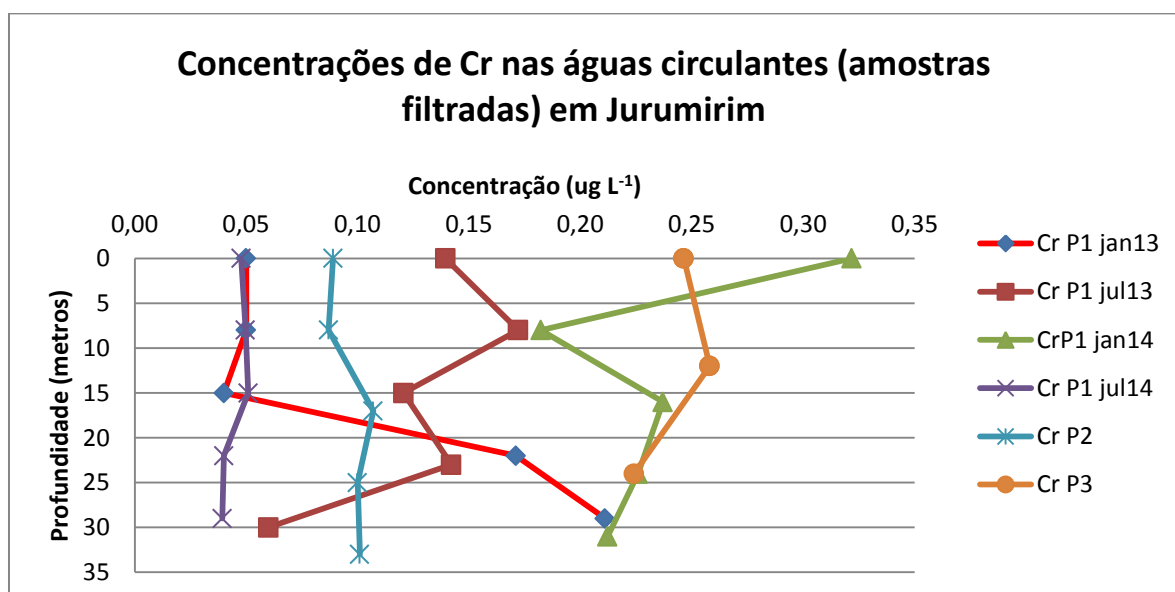


Figura 4.2 – Concentrações de Cr nas amostras de água circulante no reservatório de Jurumirim.

A maior concentração observada para os elementos no ponto 3 foi em função do transporte fluvial (erosivo) da bacia hidrográfica. Uma evidência adicional deste processo foi o fato de que o ponto 3 apresentou o maior percentual de concentrações para os elementos na fração coloidal/particulada, e ainda assim em concentração absoluta seus valores foram os maiores observados na represa. Este ponto é o mais distante da barragem (aproximadamente 40 -50 km) e isto pode ser entendido como o ponto na qual a ação do transporte fluvial é mais intensa e visível dentre os pontos coletados neste reservatório.

#### 4.3.1.2 Água intersticial

A Tabela 4.2 apresenta os percentuais (resultado médio das amostras de todos os perfis) dos elementos na fração dissolvida, quando comparadas com suas concentrações determinadas na amostra sem filtração (total).

Ferro, Al, Pb, Cr, V, As e Hf apresentaram-se em proporções ao redor de 50% ou menos na fração dissolvida tanto da água intersticial quanto da coluna de água. Isto indica que, em Jurumirim, os coloides retém boa parcela da concentração destes elementos visto que a membrana utilizada para a filtração das amostras (0,20  $\mu\text{m}$ ) é capaz de reter apenas alguns coloides maiores e partículas finas (não visíveis a olho nu).

Tabela 4.2 – Percentuais médios dos elementos na fração dissolvida em água intersticial no reservatório de Jurumirim.

> 90%	Mn, Ca, K, Mg, Na, Ba, Sr, Sc
> 80%	Co, Ni, Cd, Sb, Zn, Li
> 50%	Cr, Cu, Mo, Cs
< 50%	Al, Fe, Ti, Pb, P, Hf, As, Th, V, U

A concentração dos elementos entre os pontos de Jurumirim nas águas intersticiais não apresentou tendências claras e definidas em termos de variação de concentrações dos elementos tanto entre os pontos, quanto dentro de cada perfil sedimentar. A Figura 4.3 ilustra as concentrações do cobre como exemplo nos perfis de água intersticial de Jurumirim.

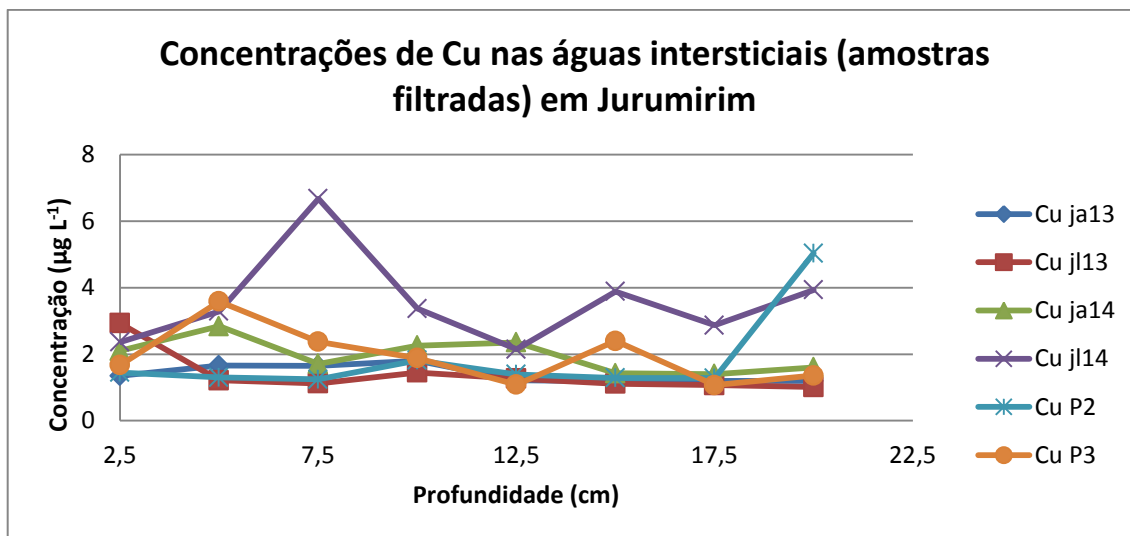


Figura 4.3 – Concentrações de cobre nas amostras de água intersticial em Jurumirim.

As concentrações do cobre (e aplica-se a todos os elementos) apresentaram-se bem estáveis nos perfis, com exceção do coletado em julho de 2014 que apresentou variações ao longo do perfil, com concentrações maiores na parte superior e mais próximas aos valores obtidos nos demais perfis em profundidade.

### 4.3.2 Ponte Nova

#### 4.3.2.1 Água circulante

A Tabela 4.3 apresenta os elementos e seus percentuais na fração dissolvida em comparação à concentração total dos elementos nas águas do reservatório de Ponte Nova.

Os elementos Vanádio, P, Ni, Cd, Hf, e Hg foram determinados, mas quantificados abaixo dos limites do método em Ponte Nova tanto nas amostras dissolvida e total para a maior parte das amostras coletadas, com exceção do P, quantificado nas amostras totais e não quantificado na dissolvida.

Crômio, Cu, Mo, Li e Sb foram elementos que em algumas campanhas apresentaram resultados abaixo do limite de quantificação.

Os elementos alcalinos e alcalinos terrosos, Sc, Mo, Sb e Zn foram os elementos de maior solubilidade em Ponte Nova. Alumínio, Fe, Mn e Pb ocorreram em proporções inferiores a 40%. Isto indica que também em Ponte Nova, significativo percentual da

concentração destes elementos está associado ao material particulado/coloidal em suspensão na água.

Tabela 4.3 – Percentuais médios dos elementos na fração dissolvida em água circulante no reservatório de Ponte Nova em comparação com a concentração total.

Percentual	Elementos
> 90%	Mg, Cs, Sr, Li, Sc
> 80%	Ca, K, Na, Ba, Mo, Sb, Zn
> 70%	Cr, Cu, As, U
> 60%	Ti, Th
< 50%	Al, Fe, Mn, Co, Pb, P

Em relação aos dados de campo, o pH neste reservatório apresentou nas campanhas de coleta características mais neutras ou discretamente ácida na maioria delas. A exceção foi a campanha de Fevereiro de 2014, onde o reservatório apresentava estratificação térmica. As águas de superfície indicaram pH discretamente alcalino, maiores teores de OD e  $E_H$  mais elevado, e após a região de termoclina (ou metalímnia), que ocorreu entre as profundidades de 8,0 e 12,0 metros, o pH diminuiu para a faixa ácida (ao redor de 6,0). A temperatura nesta campanha diminuiu de 29 °C em superfície para 21°C na profundidade de 12 metros. Nas demais campanhas, a temperatura não apresentou variações significativas que pudessem indicar algo sobre a estratificação do reservatório. O ponto 2, coletado no mesmo dia de Fevereiro de 2014 no qual foi coletado o ponto 1, também estava com estratificação.

O OD e o  $E_H$  também sofreram drásticas alterações nesta campanha do ponto 1 em fevereiro de 2014. Em superfície e até 8,0 metros as condições são plenamente oxidantes e da profundidade de 12,0 metros até o fundo (16 metros) a condição anóxica e parcialmente redutora começa a entrar em evidência. O OD estava acima de 7,0 mg L<sup>-1</sup> em superfície e diminuiu para menos de 0,5 mg L<sup>-1</sup> na profundidade de 12,0 metros, enquanto que o  $E_H$  também diminuiu de valores próximos a 400 mV para algo ao redor de 250 mV.

Com as águas de fundo do lago mais frias, a possibilidade de mistura e consequente reaeração é dificultada em função da diferença de densidade que se forma pelas águas mais quentes e menos densas que estão na parte superior com as águas mais frias – e mais densas, da parte inferior do lago.

Em relação ao OD e o  $E_H$  nas demais campanhas, estes apresentaram sempre valores superiores a  $5,0 \text{ mg L}^{-1}$  e a  $+300 \text{ mV}$ , respectivamente, exceto quando na amostragem das águas de fundo, aonde tais valores chegaram a quase zerar para o OD e o  $E_H$  ficou com valores próximos a  $+250 \text{ mV}$ .

As consequências da estratificação térmica nas concentrações dos elementos serão discutidas mais adiante.

O balanço iônico das amostras coletadas em Ponte Nova só fechou para os pontos coletados em fevereiro de 2014 quando foram adicionados ao balanço as concentrações obtidas para Fe e Mn, devido aos elevados valores obtidos em função da estratificação térmica do reservatório.

As Figuras 4.4 e 4.5 apresentam as variações dentro das quatro coletas realizadas em Ponte Nova para os elementos céσιο, um dos mais solúveis, e titânio um dos menos solúveis respectivamente. Em Ponte Nova, as concentrações obtidas para os elementos nos pontos 1 e 2 foram muito próximas para todos os elementos, e não foi possível indicar diferenças entre os locais de coleta.

Apenas a amostra de fundo apresentou para alguns elementos concentrações discretamente superiores ao restante da coluna, conforme evidenciado pelas Figuras 4.4 e 4.5,. Foram verificadas algumas diferenças nas concentrações entre as coletas, a ser discutida mais adiante (item 4.3.4).

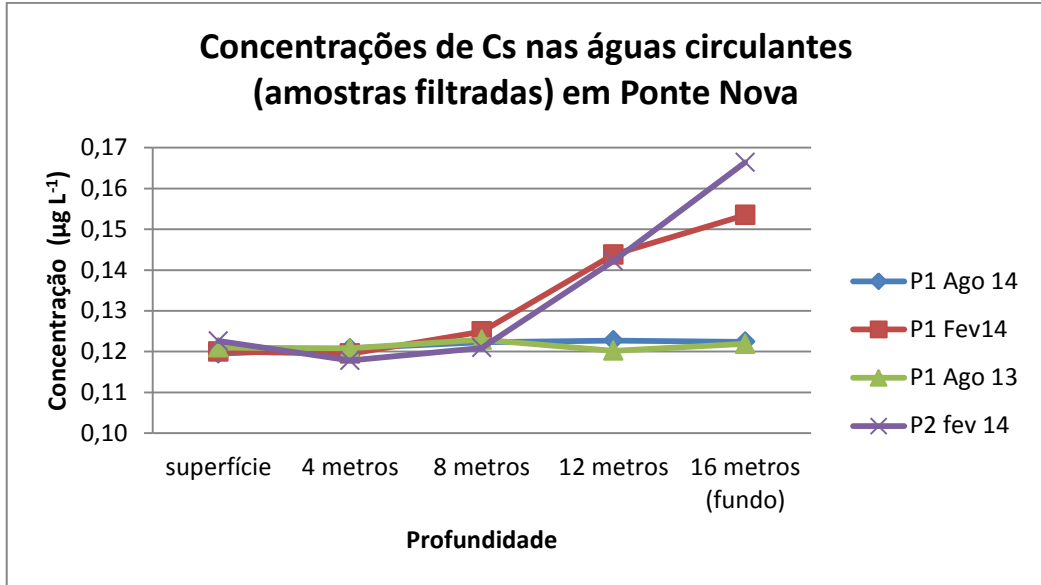


Figura 4.4 – Concentrações de Cs nas amostras de água circulante no reservatório de Ponte Nova.

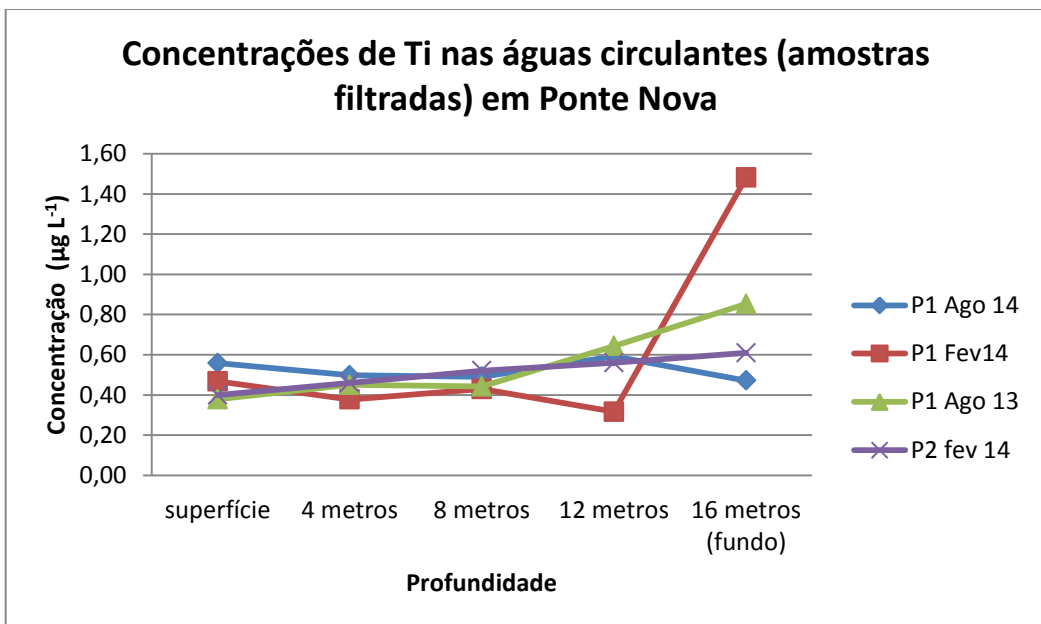


Figura 4.5 – Concentrações de Ti nas amostras de água circulante no reservatório de Ponte Nova.

#### 4.3.2.2 Água intersticial

A Tabela 4.4 mostra os percentuais dos elementos presentes nas amostras filtradas (em membrana de 0,20 µm) em relação às concentrações dos elementos determinados nas amostras sem filtração (amostra total).

Tabela 4.4 – Percentuais médios dos elementos na fração dissolvida em água intersticial no reservatório de Ponte Nova em comparação com a concentração total

> 90%	Mn, Ca, K, Mg, Na, Ba, Ni, Cd, Cs, Sr, Sc, Li,
> 80%	Co
> 70%	Al, Cr, Cu, Mo, Pb, Zn, As
> 60%	U
< 60%	Fe, Ti

A maior parte dos elementos analisados em Ponte Nova nas águas intersticiais esteve predominantemente solubilizada. Vanádio, P, Hf, Sb, Th e Hg foram determinados e não foram quantificados na maior parte das amostras ou em todas as amostras (Hg).

As Figuras 4.6 a 4.7 ilustram a dinâmica dos elementos Co e Sc nas águas intersticiais de Ponte Nova. Os elementos dentro de cada perfil não apresentaram tendências em Ponte Nova no que diz respeito a incrementos ou decréscimos de concentrações no sentido do topo para a base do perfil. O que ocorreu foram grandes variações de concentrações muito distintas entre os perfis para os elementos que foram afetados pela estratificação do reservatório (a ser discutido mais adiante). Na coluna de água, estes elementos apresentaram incrementos nas regiões mais profundas. Para este grupo de elementos afetados pela estratificação térmica, os resultados obtidos no perfil de fevereiro de 2014 foram maiores que os obtidos nas campanhas de coleta realizadas no inverno, por exemplo, o cobalto na Figura 4.6.

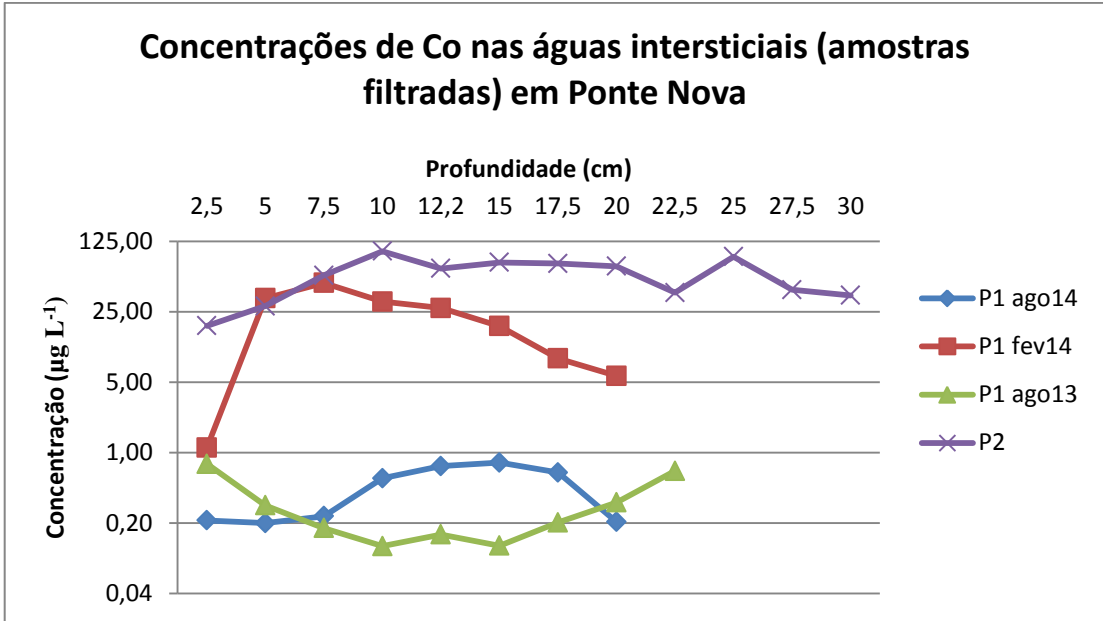


Figura 4.6 – Concentrações de Co nas amostras de águas intersticiais de Ponte Nova.

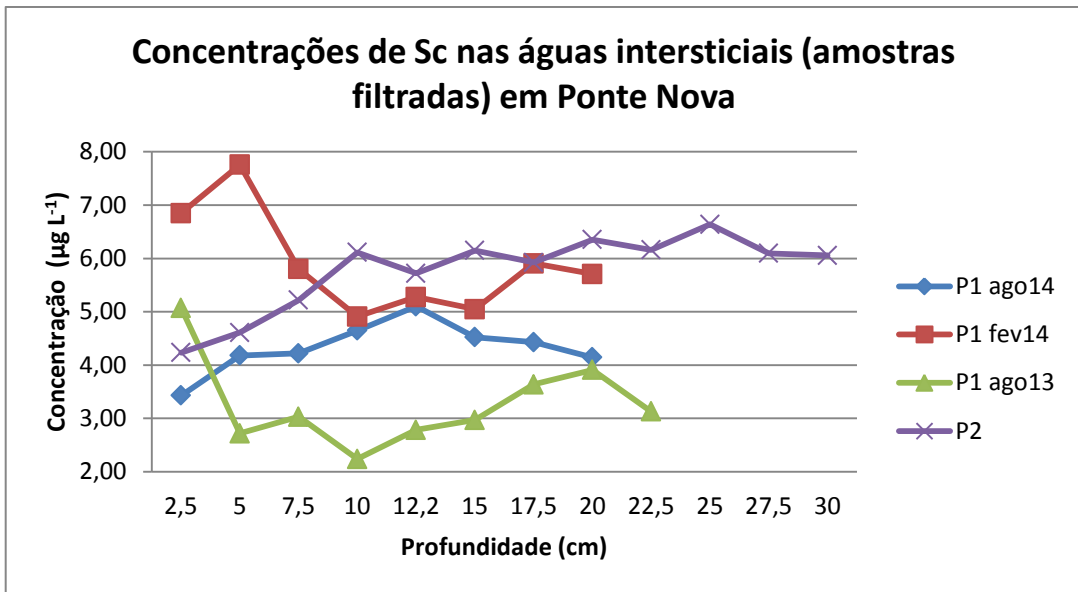


Figura 4.7 – Concentrações de Sc nas amostras de águas intersticiais de Ponte Nova.

Os demais elementos apresentaram variações de concentrações pequenas dentro dos perfis e mais similares entre as campanhas, com, por exemplo, o Sc na Figura 4.7.

### 4.3.3 Promissão

#### 4.3.3.1 Água circulante

O reservatório de Promissão apresentou concentrações dos elementos, nutrientes e ânions bem constantes ao longo do período avaliado, sem maiores alterações significativas nas águas circulantes, tanto entre as campanhas de coleta, quanto dentro de cada perfil de coluna de água amostrado.

Em todos os perfis, a amostra de água coletada no fundo sempre apresentou OD mais baixo do que no restante da coluna de água, e chegou em alguns pontos muito próximo à zero. O  $E_H$  apontou para um ambiente de poder mais oxidante, com valores de  $E_H$  sempre ao redor de +300 mV, exceto nas amostras de fundo da coluna de água, onde estes valores diminuiram para valores que oscilaram entre +200 mV a zero ao longo das campanhas.

O pH apresentou valores *ca.* 9 na campanha de Janeiro de 2014, com valores discretamente alcalinos em todo o reservatório, exceto no fundo dos perfis coletados, onde ficou sempre próximo à neutralidade ou com pH discretamente ácido. A campanha de Janeiro de 2014 foi a que apresentou maior variação de pH ao longo da coluna de água em Promissão.

Em relação aos elementos, a Tabela 4.5 apresenta os percentuais das concentrações dos elementos presentes na fase dissolvida em Promissão quando comparada à concentração total destas amostras.

Tabela 4.5 – Percentuais médios dos elementos na fração dissolvida em água circulante no reservatório de Promissão em comparação com a concentração total.

Percentual	Elementos
> 90%	Ca, K, Mg, Na, Ni, Mo, Sb, Sr, Li, Sc, As
> 80%	Ba, Co, V, U
> 70%	Ti, P, Zn, Cu
> 60%	Cr, Cd
< 50%	Al, Fe, Mn,

Os elementos Pb, Hf e Th foram analisados e quantificados abaixo do limite de quantificação para quase todas as amostras, e o Hg em todas.

Em Promissão, a ampla maioria dos elementos apresentou suas concentrações predominantemente na fase dissolvida, e apenas Fe, Al e Mn em percentuais inferiores a 50%.

Estes percentuais elevados de concentrações dos elementos na fase dissolvida podem ser explicados pelo fato de que Promissão é o quarto reservatório em cascata do rio Tietê (Barra Bonita, Bariri e Ibitinga são as barragens a montante) e estas barragens funcionam como atenuadores do transporte de material em suspensão. A transparência da água determinada em Promissão reforça este conceito, visto que esta medida tem relação direta com os materiais particulados transportados pela água, e para este reservatório esta foi sempre superior a três metros, e chegou a cinco metros em julho de 2014.

As Figuras 4.8 e 4.9 apresentam as concentrações para os elementos Ti e Ni (um dos menos solúveis e um dos mais solúveis respectivamente).

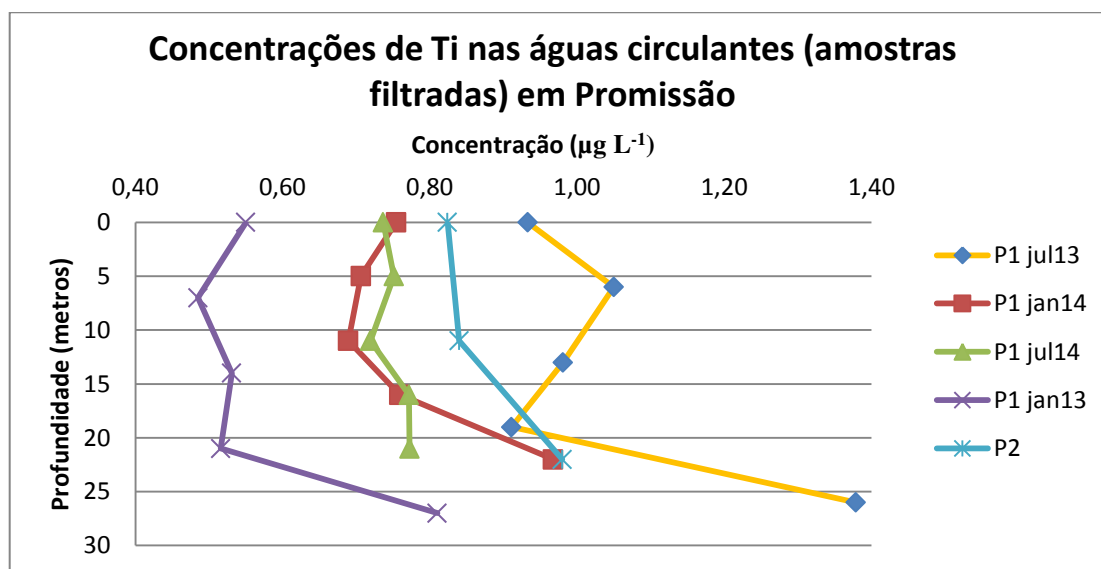


Figura 4.8 – Concentrações de Ti nas amostras de águas circulantes em Promissão.

As concentrações destes elementos apresentaram poucas flutuações ao longo das coletas e dentro de cada perfil, apenas a amostra de fundo apresentou concentrações um pouco superiores, em função de características mais redutoras das águas de fundo ( $E_H$  sempre inferior a +200 mV), que proporcionaram maior solubilização de elementos. Em Promissão as concentrações observadas para os elementos no ponto 2 foram muito similares ao ponto 1, e não foi perceptível diferenças entre os locais coletados em relação aos elementos analisados.

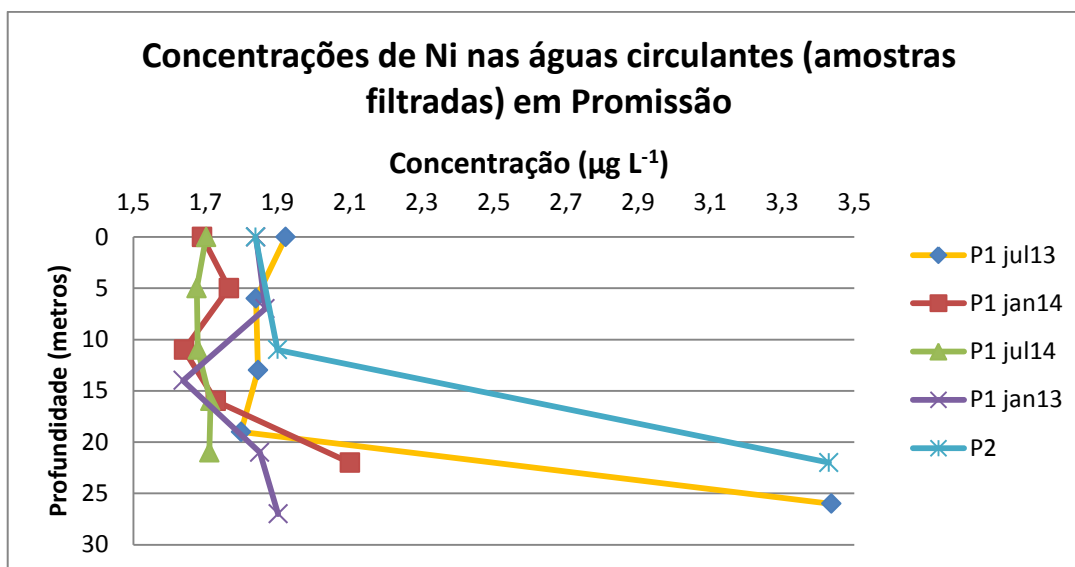


Figura 4.9 – Concentrações de Ni nas amostras de águas circulantes em Promissão.

#### 4.3.3.2 Água intersticial

A Tabela 4.6 apresenta o percentual das concentrações dos elementos presente na fração dissolvida da água intersticial em Promissão.

Tabela 4.6 – Percentuais médios dos elementos na fração dissolvida em água intersticial no reservatório de Promissão em comparação com a concentração total.

Percentual	Elementos
> 90%	Mn, Ca, K, Mg, Na, Ba, Co, Ni, Cu, Cd, Sb, Cs, Sr, Zn, Li, Sc,
> 80%	As, Cr, Mo
> 60%	Al, Ti, V
> 50%	Fe, Pb, U

A ampla maioria dos elementos está na fração dissolvida, e mesmo alguns elementos que na coluna de água estavam mais presentes na fração particulada, tais como Cd, Cr, Mn e Al Ti, apresentaram maiores proporções na fração dissolvida das águas intersticiais.

As condições de  $E_H$  e pH que foram observadas nas águas de fundo, de características redutoras e pH discretamente ácido ou neutro, podem explicar o alto percentual de solubilidade dos elementos nesta matriz.

Ademais, os elementos apresentaram uma distribuição de suas concentrações bem heterogêneas neste reservatório, seja dentro dos perfis ou em comparação entre eles. Foi possível visualizar e separar os elementos em dois grupos em função das variações de suas concentrações nos perfis de Promissão.

A Figura 4.10 ilustra as concentrações e tendências do Bário. Este elemento mais Na e K foram os que apresentaram concentrações nas águas intersticiais ou mais estáveis ao longo do perfil ou com tendência de incremento de concentração no sentido do topo para a base. Os elementos Cálcio, Mg, Mn, Co e Sr apresentaram em alguns perfis variabilidade pequena ou com incremento discreto de concentração no topo do perfil. Estes elementos (mais Na, K e Ba) foram os de maior solubilidade tanto nas águas circulantes quanto nas intersticiais de Promissão.

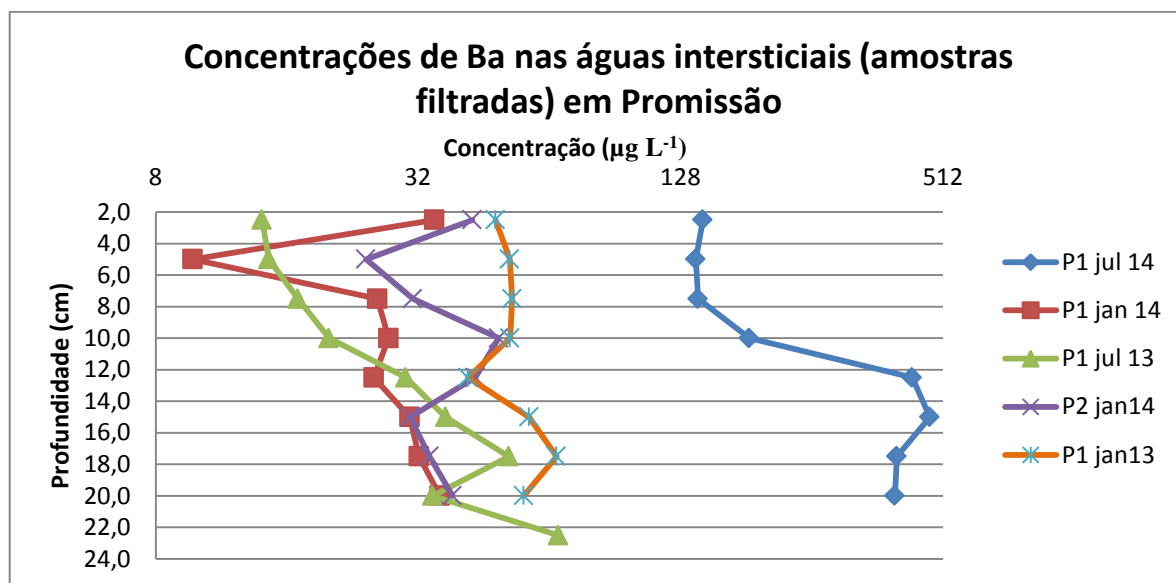


Figura 4.10 – Concentrações de bário nas amostras de água intersticial em Promissão.

Já os elementos Cu, Ni, Fe, Cr, Al, Pb, Zn, As e U apresentaram maiores concentrações no topo dos perfis em todas as campanhas de coletas, além de grande variabilidade das concentrações ao longo do perfil e entre os perfis. Para estes elementos, como o Cu (ilustrado na Figura 4.11), o incremento de concentração nas águas intersticiais nas duas camadas superiores do sedimento (superfície a 5,0 cm) chegou a ser de 400 vezes o

valor da base do perfil analisado (17,5 a 20 cm de profundidade) –  $1689 \mu\text{g L}^{-1}$  frente a  $4 \mu\text{g L}^{-1}$  nas águas intersticiais do ponto 1, coletado em Julho de 2013.

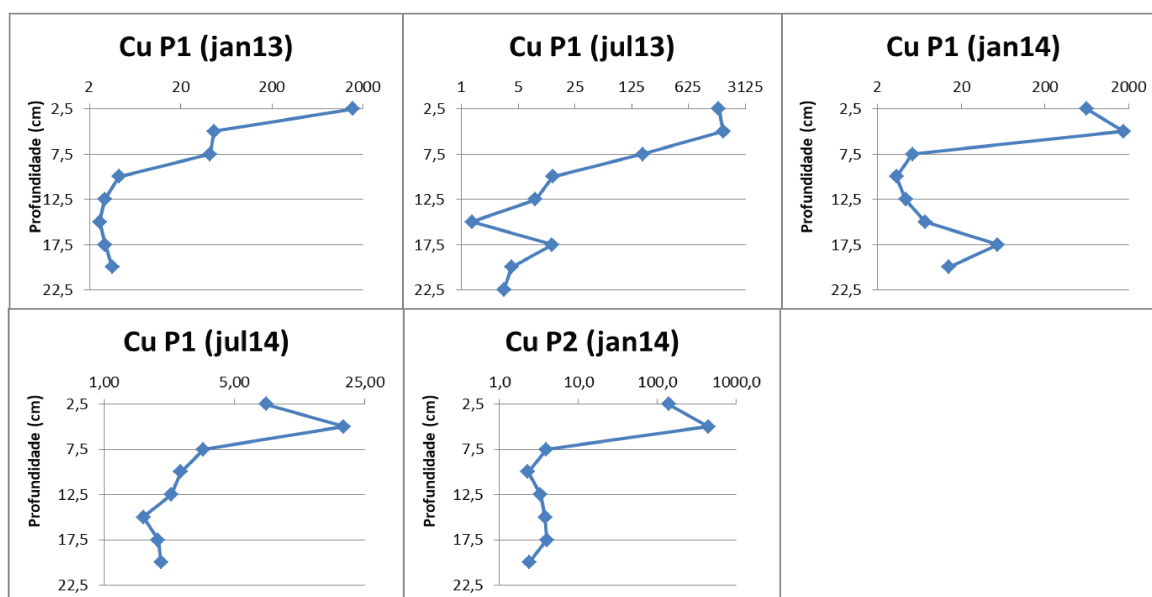


Figura 4.11 – Concentrações de Cobre (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) em água intersticial (amostras filtradas) nos perfis do reservatório de Promissão.

#### 4.3.4 A sazonalidade e os efeitos das vazões nos reservatórios sobre a solubilidade e a concentração dos elementos

As coletas de amostras de águas nos reservatórios foram realizadas com o objetivo inicial de verificar possíveis efeitos sazonais (verão e inverno – épocas de chuvas e seca) sobre a dinâmica e distribuição dos elementos químicos.

Nos reservatórios de Jurumirim e Promissão, o ponto 1 foi coletado com esta finalidade nos meses de Janeiro de 2013 e 2014 (dias 28 – no ano de 2013, e dia 30 no ano de 2014 em Jurumirim e dias 29 – em 2013 e 31 em 2014 em Promissão) e Julho de 2013/2014 (dia 30 tanto em 2013 como em 2014 em Jurumirim e dias 29 – em 2013 e 31 em 2014 em Promissão). Para o reservatório de Ponte Nova, o ponto 1 foi coletado em 13 de Agosto de 2013; 14 de Fevereiro de 2014 e 14 de Agosto de 2014. A quarta campanha de coleta, prevista para ocorrer em Fevereiro de 2015, não foi realizada em virtude do baixo nível de água do reservatório, que impossibilitava a navegação até o local da coleta.

Entre os anos de 2013 e 2014, o estado de São Paulo passou por um período de estiagem severo, e foi adotado racionamento de água em diversas cidades. Isto refletiu também nos reservatórios estudados. A Figura 4.12 apresenta as vazões afluentes (vazão de água que chegou ao reservatório através dos seus rios formadores) e defluentes (vazão de água que saiu do reservatório) e o volume útil de Jurumirim no período relativo às campanhas de coletas. Vale lembrar que Jurumirim apresenta vazão média anual estimada em  $200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e tempo de residência médio das águas de 405 dias (CESP 1998).

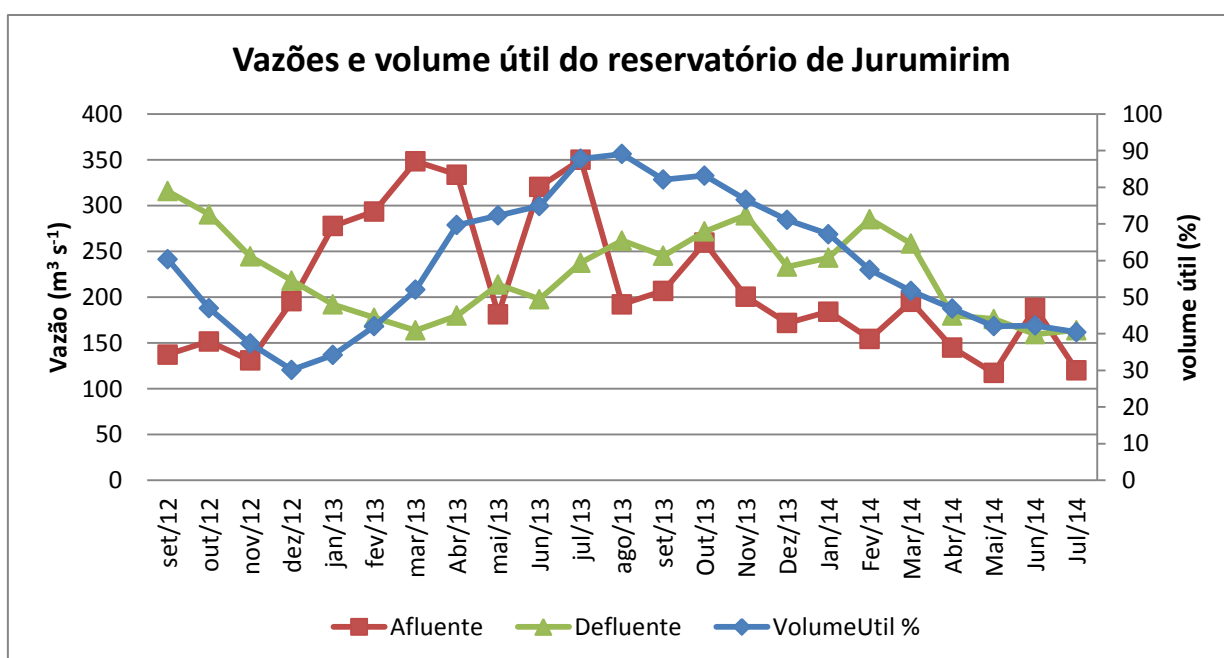


Figura 4.12 – Vazões afluentes e defluentes e volume útil do reservatório de Jurumirim.

Em Jurumirim, as coletas de julho foram realizadas com a maior e a menor vazão do reservatório e também com o maior e o menor nível de águas na represa (no período de 2012 e 2014). Em julho de 2013, na data da coleta, o volume útil era de 91,2% com vazão afluente de  $310 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ; e em julho de 2014, com 38,8% de volume útil e  $122 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  de vazão afluente. Os meses de janeiro de 2013 e 2014 registraram 34,2 e 67,2% de volume útil, respectivamente, com vazões médias de  $278 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  em 2013 e  $184 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  em 2014, e nas datas de coleta, o volume útil e a vazão foram de 37,3% e  $233 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  em 2013, e 64,1% e  $140 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  em 2014. A sazonalidade prevista de cheias em janeiro e secas em julho não foi verificada neste reservatório neste período.

No verão de 2013, o reservatório de Jurumirim recebeu uma vazão afluente significativa, mas como estava com volume útil baixo (ao redor de 30%), estocou água durante o primeiro semestre de 2013 (vazão afluente sempre maior que vazão defluente –

conforme indica a Figura 4.12). A partir do segundo semestre de 2013, começaram a diminuir tanto a vazão afluyente quanto o volume, de forma gradual e quase que constante até a campanha de Julho de 2014, devido à forte estiagem observada no verão de 2014. Durante as campanhas de julho de 2013 a julho de 2014, o reservatório operou com a vazão defluente maior que a vazão afluyente, e diminuiu o volume de ocupação e, por conseguinte, o tempo de residência da água na represa.

Entretanto, as concentrações dos elementos químicos apresentaram excelentes correlações com a vazão afluyente e o volume útil do reservatório. A Figura 4.13 ilustra as concentrações de ferro obtidas nas campanhas de 2013 e 2014 (resultado da média das coletas nos perfis de coluna de água de cada campanha) com a vazão afluyente e o volume útil do reservatório.

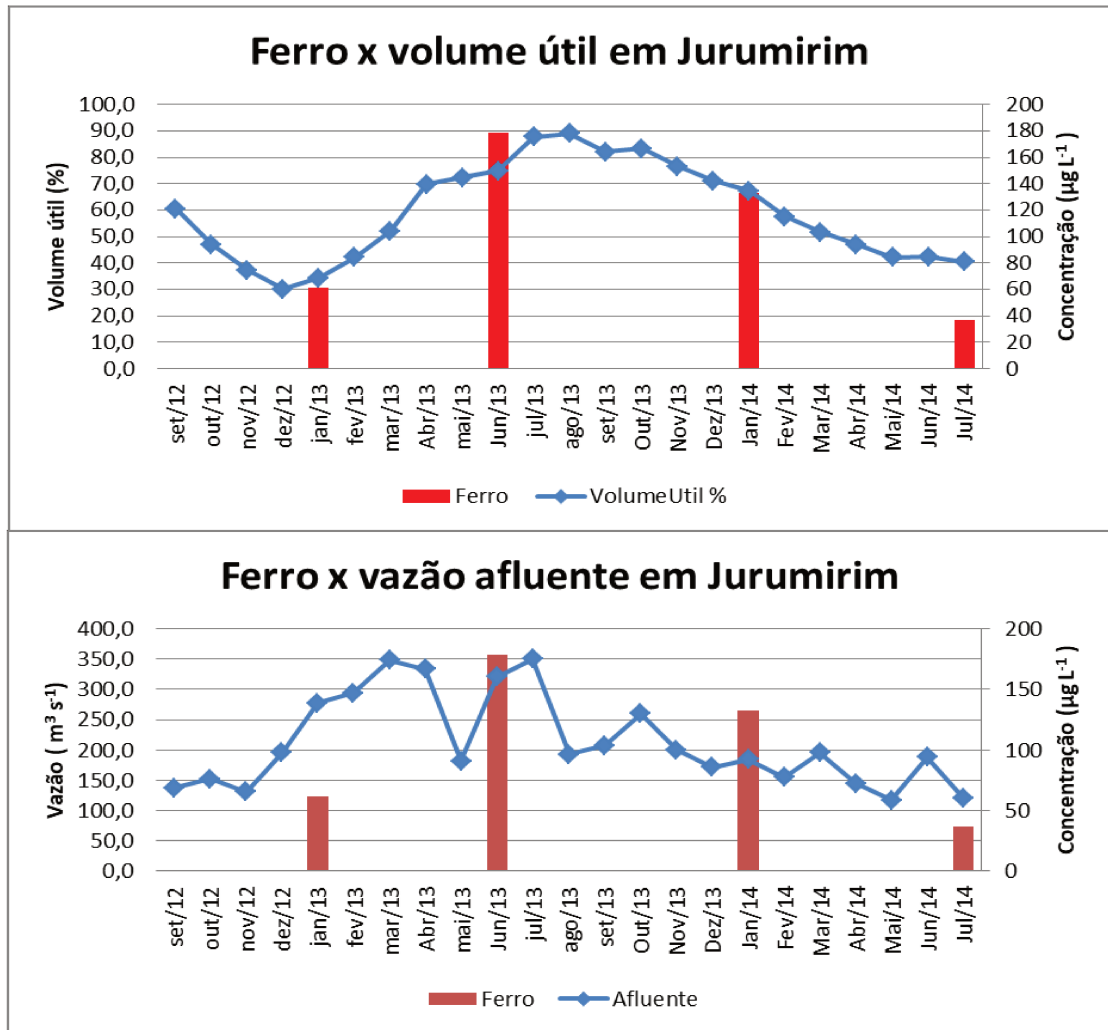


Figura 4.13 – Concentrações de ferro versus vazão e volume útil em Jurumirim.

As concentrações de ferro apresentaram correlação estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) com o volume útil ( $r = 0,95$ ) e com a vazão afluente ( $r = 0,61$ ), indicando inter-relação. Moraes (2016), em estudos nas bacias dos rios Capivari e Jundiá, indicou que o transporte de elementos, com destaque para o Fe e o Al, ocorre via material particulado. E aqui se pode estabelecer que as concentrações de Fe dependeram da vazão afluente em Jurumirim. Em janeiro de 2013, as concentrações de Fe foram menores do que em janeiro de 2014, mesmo com um registro maior de vazão verificado em janeiro de 2013. Porém, neste período, a vazão afluente nos meses anteriores foi baixa, ou seja, pouco Fe foi transportado para o reservatório, e o incremento de vazão ocorreu somente a partir de dezembro de 2012.

Em janeiro de 2014, mesmo com uma vazão nominal menor do que em janeiro de 2014, ocorreram concentrações de Fe maiores, muito em função das vazões afluentes elevadas que antecederam este período. Vale destacar o grande período de residência (405 dias), que também tem impacto sobre as concentrações dos elementos na massa de água de Jurumirim.

Foi possível observar também outros elementos similares ao comportamento do Fe nesta represa (Figura 4.14). Estes elementos (especialmente Al, V, Co, Mn, U, Cr, As, e em menor grau Ti e Th) apresentaram as maiores concentrações em julho de 2013 e/ou em janeiro de 2014, onde foram registradas as maiores vazões e séries de vazões elevadas mensalmente. Em comum, entre estes elementos, além da distribuição das concentrações, é o fato de apresentarem percentuais baixos de suas concentrações na fração solúvel (entre 27% para o Fe a 68% para o As). Ou seja, estes elementos foram transportados, em sua maior parte, pelo material particulado e provavelmente associados aos oxi-hidróxidos de Fe e Al.

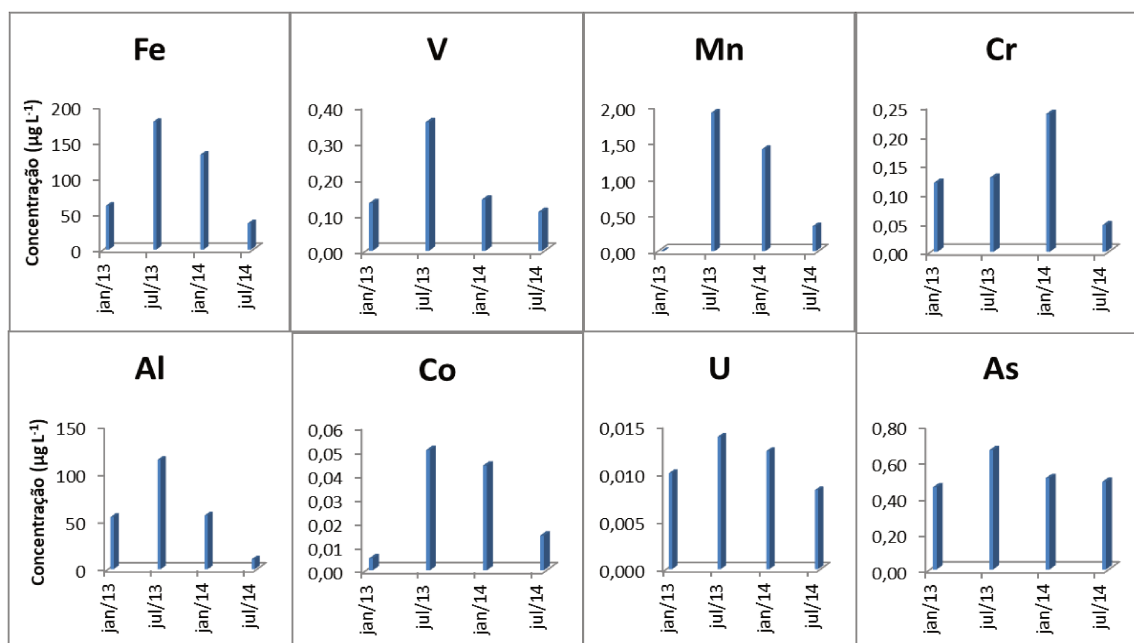


Figura 4.14 – Concentrações de alguns elementos em amostras de água filtrada (conteúdo dissolvido) no reservatório de Jurumirim – ponto 1.

Por outro lado, a Figura 4.15 apresenta elementos com dinâmica contrastante com o grupo acima. Potássio, Mg, Na e Sb, além de serem os elementos com maiores percentuais de concentrações na fração solúvel (quando comparada à fração total), ao redor de 90%, demonstraram tendência contrária.

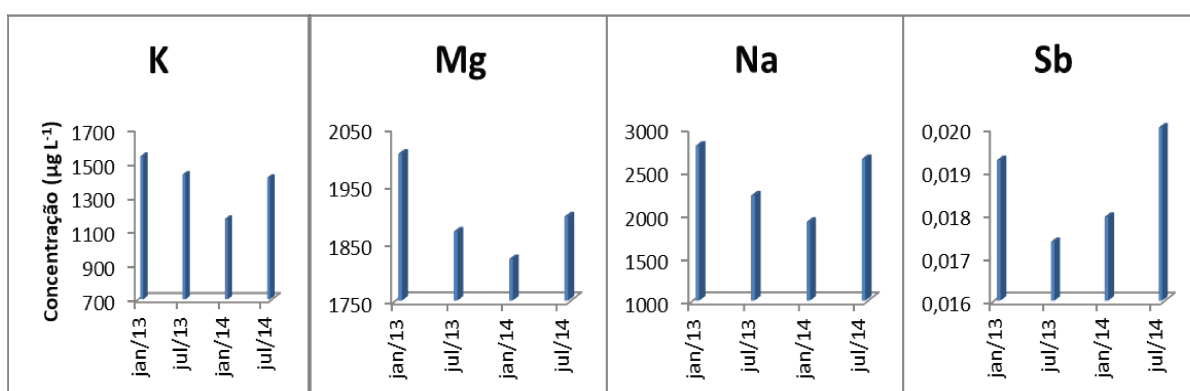


Figura 4.15 – Concentrações de K, Mg, Na e Sb em amostras de água filtrada (conteúdo dissolvido) no ponto 1 no reservatório de Jurumirim.

Estes elementos apresentaram as menores concentrações no período de vazões mais elevadas (ou com histórico de vazões elevadas em meses anteriores), e maiores concentrações em baixas vazões. Ou seja, além da elevada solubilidade, contrapõe-se à vazão afluente (fluvial) do reservatório. Isto parece ser indicativo de que em Jurumirim estes

elementos possam ser oriundos (parcial ou totalmente) de recargas de aquíferos subterrâneos para o reservatório.

A Figura 4.16 apresenta as vazões afluentes, defluentes e o volume útil ao longo de quatro campanhas (2013 e 2014) no reservatório de Ponte Nova.

Ponte Nova foi o reservatório que mais mostrou os efeitos da escassez de chuvas de 2014 dentre os demais reservatórios deste estudo. Apesar de a vazão afluente não ter decrescido muito (a vazão média anual é de  $9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), o reservatório atuou durante todo o ano de 2014 como um dos que evitaram o colapso do sistema Cantareira que fornece água para a população da grande São Paulo. Para suprir este fornecimento de água para consumo humano, a vazão defluente deste reservatório aumentou de  $6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  para  $12 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  a partir de novembro de 2013, e ficou assim até que o volume útil da represa atingisse patamar de 15% (em setembro de 2014). Neste período, a vazão afluente ficou quase todo o tempo abaixo do valor médio mensal, com média ao redor de  $8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

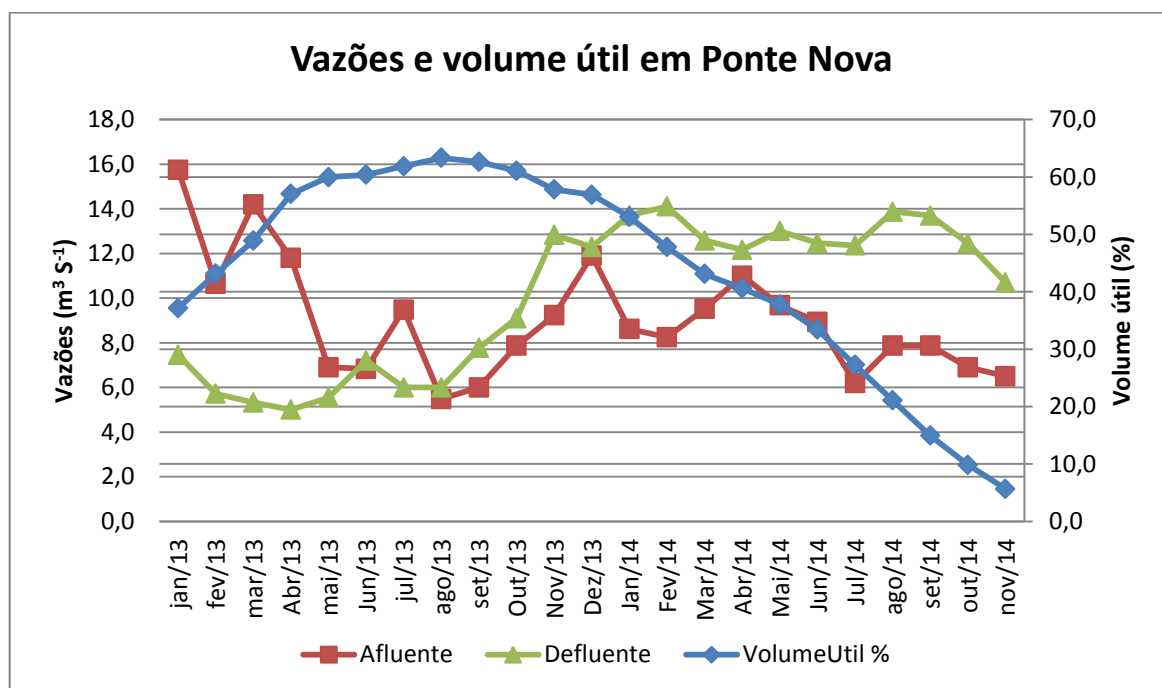


Figura 4.16 – Vazões afluentes e defluentes e volume útil no reservatório de Ponte Nova em 2013 e 2014.

A primeira coleta no reservatório de Ponte Nova (agosto de 2013) foi no ápice do seu volume útil (63% de sua capacidade). Um ano depois, o volume útil era de 20%. Isso teve reflexo na dinâmica dos elementos. Alumínio, Fe, Mn, Ca, Co, Cr, Cu, Sc, As, U (e também o Pb), por exemplo (Figura 4.17), mostraram incremento de concentrações na fração dissolvida

entre agosto de 2013 a agosto de 2014. Este aumento se deu também nas concentrações obtidas nas amostras totais quanto no percentual destas concentrações na fração dissolvida, como mostrado na Figura 4.17.

Dois fatores podem ter contribuído para esta situação: (1) o tempo de residência diminuído e a drástica redução do volume útil (devido à maior retirada de água do reservatório) propiciaram aumento da concentração dos elementos (tanto nas amostras totais quanto nas dissolvidas) em função de não haver tempo suficiente para a sedimentação do material particulado e coloidal carregados para o reservatório via processos erosivos/intempéricos pela água; e (2) a diminuição do pH no reservatório entre as coletas (variação em média de 7,1 para 6,4 entre as campanhas) pode ter provocado maior liberação dos elementos adsorvidos ao material particulado/coloidal. Dos elementos mostrados na Figura 4.17, apenas o Sc e o Ca apresentaram ao longo das coletas, percentuais de concentrações superiores a 80% na fração dissolvida. Logo, este conjunto de elementos parece guardar relação direta com estes processos de drenagem na bacia hidrográfica e foram mais suscetíveis à discreta variação do pH.

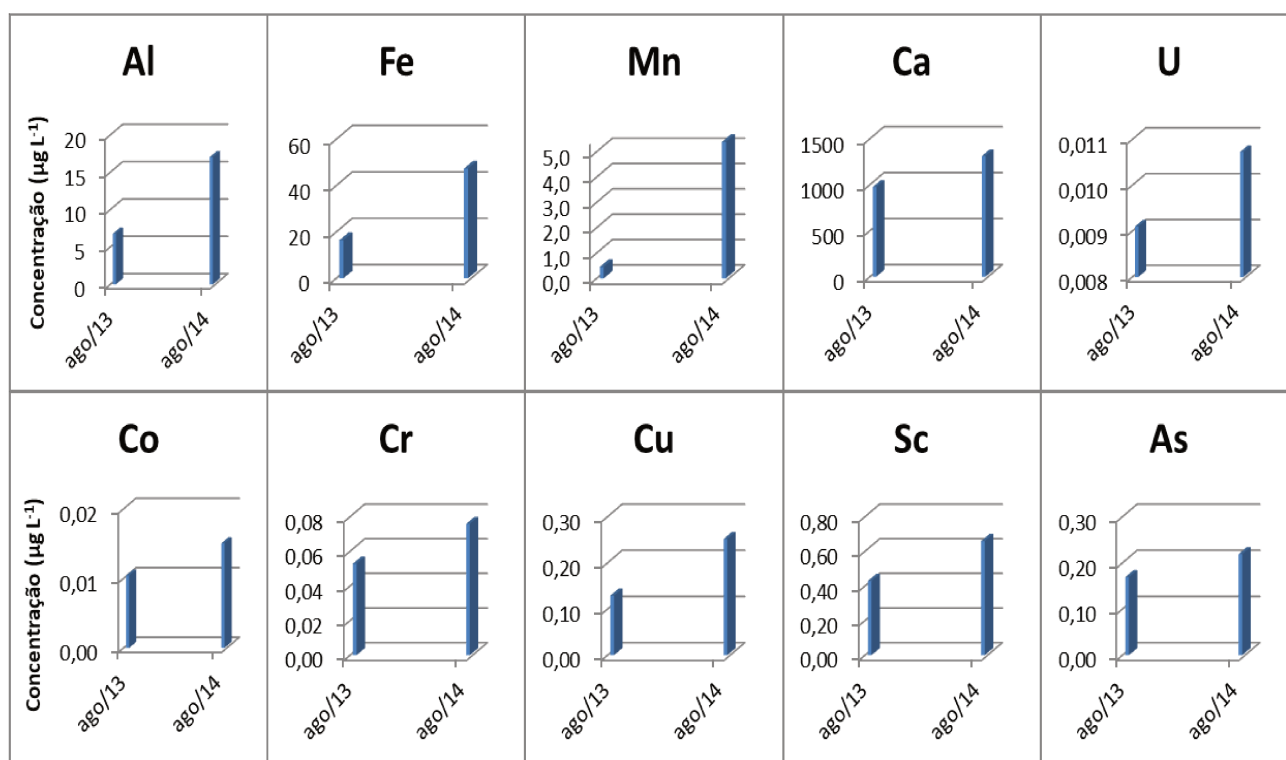


Figura 4.17 – Concentrações de alguns elementos em amostras de água filtrada (conteúdo dissolvido) no reservatório de Ponte Nova no ponto 1 em agosto de 2013 e 2014.

Por outro lado, a Figura 4.18 mostra que elementos como Ti, K, Mg, Na, Ba, Mo, Cs, Sr (e também o Li, não mostrado) apresentaram concentrações estáveis ao longo das três coletas no ponto 1 de Ponte Nova. Apenas Cs, Sr e Li apresentaram discreto incremento em fevereiro de 2014 por conta dos processos redutores conduzidos por uma estratificação térmica (discutido mais adiante).

Estes elementos da Figura 4.18 (mais o Li) sempre apresentaram percentual superior a 80% das concentrações na fração dissolvida (exceção ao Ti com 63%). Também não apresentaram oscilações nas concentrações das amostras totais e nem no percentual de solubilização das amostras filtradas ao longo das campanhas (inclusive em fevereiro de 2014 com o reservatório estratificado). Portanto, não foram afetados pelas condições de redução do pH e drástica diminuição do tempo de residência e do volume do reservatório.

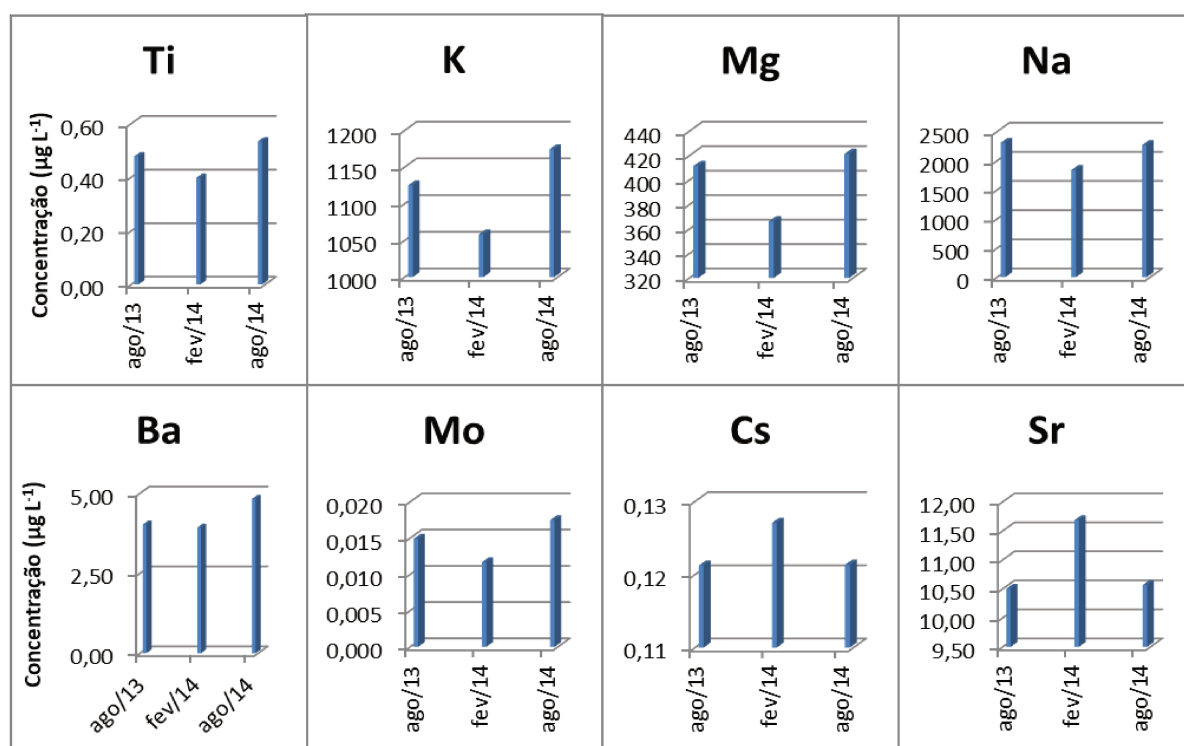


Figura 4.18 – Concentrações de alguns elementos em amostras de água filtrada (conteúdo dissolvido) no reservatório de Ponte Nova no ponto 1.

Os reservatórios de Ponte Nova e Jurumirim apresentaram elementos com dinâmicas similares. Alumínio, Fe, Mn, Cr, Cu, As (e outros como Ti, V, U, Ca em um ou outro reservatório) foram os elementos mais carregados via transporte de material particulado advindo de processos erosivos/intempéricos na bacia de drenagem, e apresentaram percentuais mais baixos de concentrações nas amostras solúveis, mantiveram a relação do aumento de suas concentrações com o aumento de vazões ou diminuição do tempo de residência do lago (e também o pH para Ponte Nova).

Elementos como Na, K, Cs, Mg e Ba (e outros associados, como Sr, Sb e Mo), por outro lado, sempre estiveram mais solubilizados nestas represas e não demonstraram ter relações com alterações de vazões nestes locais.

Apesar da grande diferença entre estas represas em relação à área de drenagem e vazão, Ponte Nova representa menos que 5% da vazão e área de drenagem de Jurumirim. Estes reservatórios caracterizam-se por serem reservatórios de cabeceiras, ou seja, a vazão afluente é unicamente da bacia de drenagem direta da represa.

O reservatório de Promissão tem uma concepção distinta. Da vazão média de  $640 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , mais de  $500 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  vêm do reservatório de montante, a represa de Ibitinga. Promissão é a quarta barragem do chamado “sistemas em cascata” de barragens existente no médio/baixo Tietê, que faz parte da hidrovia Tietê-Paraná. Ou seja, além de o reservatório de Promissão atender a demandas hidroelétricas, também é peça chave para o escoamento de grãos da região centro-oeste do país para o porto de Santos.

A Figura 4.19 apresenta as vazões afluentes e defluentes e o volume útil do reservatório de Promissão ao longo dos anos de 2013 e 2014. No primeiro semestre de 2013, o volume útil do reservatório passou de 40% para 99%. As coletas de janeiro de 2013 e julho de 2013 foram realizadas neste período de vazão afluente elevada.

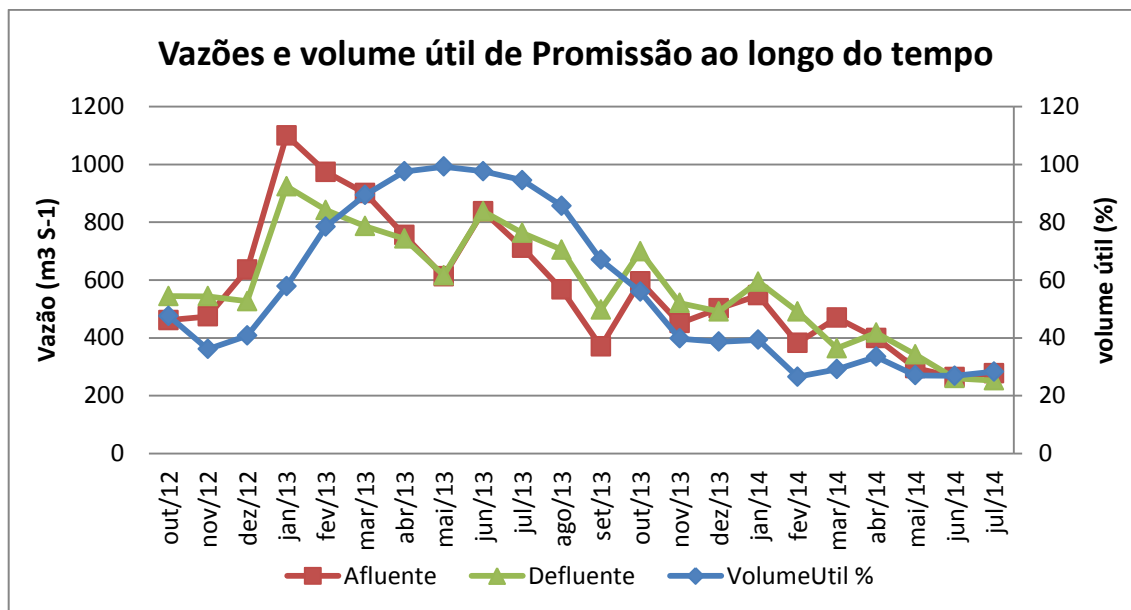


Figura 4.19 – Vazões afluentes e defluentes e volume útil em Promissão durante os anos de 2013 e 2014.

Entretanto, a partir de julho de 2013, a vazão afluente começou a diminuir ao longo do tempo, e continuou assim até a coleta de julho de 2014, quando o volume útil do reservatório atingiu 29%.

Em Promissão, as concentrações dos elementos nas campanhas foram muito similares para todos os elementos (como pode ser observada nas Tabelas do Anexo F e na Figura 4.20), e apenas o alumínio apresentou variabilidade mais significativa nas amostras de água filtradas ( $3,0$  a  $35 \mu\text{g L}^{-1}$ ).

A Figura 4.20 apresenta as concentrações (médias dos resultados obtidos nos perfis de coluna de água das amostras dissolvidas) para alguns elementos em todas as coletas em Promissão.

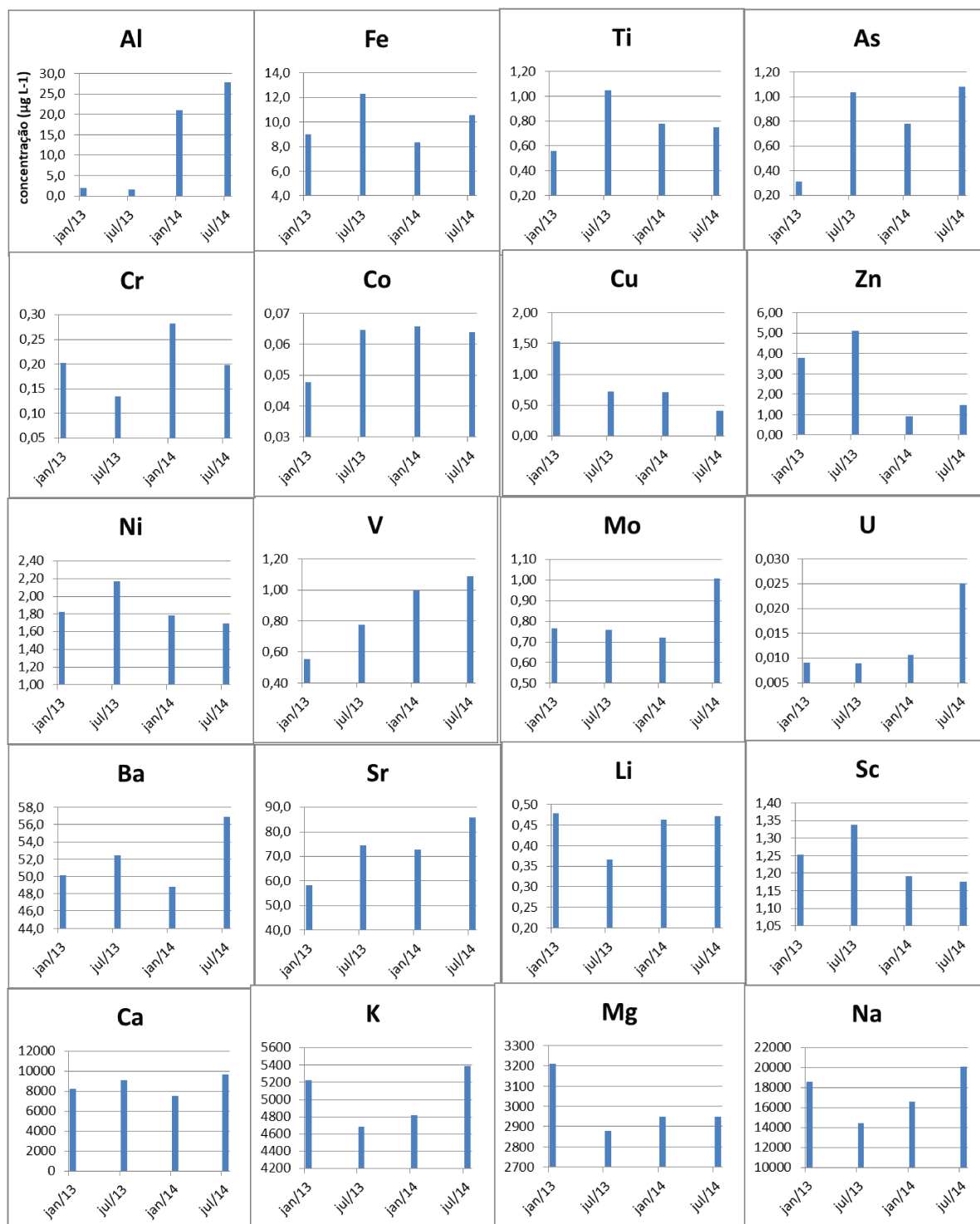


Figura 4.20 – Concentrações de alguns elementos em amostras de água filtrada (conteúdo dissolvido) no reservatório de Promissão.

Ao avaliar a distribuição das concentrações dos elementos da Figura 4.20, observa-se alguns elementos com concentrações ao longo do tempo similares. Ferro, Ti, Sc, As, Zn e Ni, por exemplo, mostraram maiores concentrações em julho de 2013, período no qual o volume útil era de quase 100% e o reservatório de Promissão mostrava histórico

recente de vazões afluentes elevadas. Urânio e Mo apresentaram, ao contrário, concentrações mais elevadas em julho de 2014, período no qual ocorreram menores vazões e volume do reservatório. Já o K e Na registraram as maiores concentrações em janeiro de 2013 e julho de 2014, períodos nos quais os volumes úteis do reservatório foram os menores registrados. Não foi possível relacionar as dinâmicas das concentrações dos elementos nem com a redução do tempo de residência e nem com as vazões afluentes em Promissão.

O pH, predominantemente alcalino, parece não ter influenciado a concentração dos elementos, visto que oscilou nas águas circulantes entre 7,5 a 8,8 em todas as campanhas.

Enfim, em Promissão, não foi possível verificar grupos de elementos com dinâmicas similares ao longo do tempo, muito provavelmente devido ao sistema em cascata no qual este reservatório está inserido, que retém o material particulado/coloidal da água nos reservatórios de montante. Vale destacar que, diferentemente de Ponte Nova e Jurumirim (reservatórios de cabeceira), em Promissão apenas Al, Fe, Mn, Cr e Cd apresentaram percentual abaixo de 70% das concentrações na fração dissolvida.

#### **4.3.5 A estratificação térmica e os efeitos nas concentrações dos elementos nas águas circulantes e intersticiais: o caso do reservatório de Ponte Nova**

A estratificação térmica que ocorreu no reservatório de Ponte Nova em fevereiro de 2014 provocou alterações na dinâmica e concentrações dos elementos na represa.

Conforme já apresentado no item 4.3.2, a diferença entre as temperaturas em profundidade verificadas não permitiram a mistura das massas de água pelo fato de as camadas mais inferiores, mais frias e, portanto, mais densas, não conseguiram se misturar com as camadas superficiais, mais quentes e menos densas. Desta, forma, não houve trocas gasosas para repor o oxigênio dissolvido na parte inferior do lago, e esta parte do lago ficou cada vez mais redutora devido a falta de OD. Logo, atingiu a anaerobiose, e consequentemente, diminuiu o  $E_H$  e também o pH das águas em Ponte Nova.

As concentrações de Fe e Mn nas amostras dissolvidas são um indicativo do quão redutor estava a parte do hipolímnio deste reservatório, com um súbito aumento de suas concentrações (Tabela 4.7). À profundidade de 8,0 m, as concentrações de Fe e Mn já apresentaram um pequeno incremento, ao passo que o OD diminuiu para aproximadamente

3,5 mg L<sup>-1</sup>. Neste contexto, a diminuição da temperatura foi de aproximadamente três graus Celsius, e o E<sub>H</sub> ainda se manteve próximo aos 400 mV e o nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) em níveis muito baixos (<0,10 mg L<sup>-1</sup>).

Tabela 4.7 – Resultados de parâmetros de campo, Fe, Mn e N-NH<sub>3</sub> em Ponte Nova – P1 Fev/ 2014.

Profundidade (metros)	Fe (µg L <sup>-1</sup> )	Mn (µg L <sup>-1</sup> )	Condutiv. Elétrica (µS cm <sup>-1</sup> )	OD (mg L <sup>-1</sup> )	pH	Redox (mV)	temperatura água (°C)	N-NH <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )
Superf.	26,0	1,03	25	7,02	8,17	382	29,5	<0,10
4,0	25,1	0,26	25	6,78	7,25	375	28,9	<0,10
8,0	70,1	3,78	24	3,52	6,83	391	26,7	<0,10
12,0	2435	121	47	0,43	6,40	232	21,9	0,30
16,0	4108	161	72	0,23	6,38	150	21,9	0,78

Aos 12 m de profundidade, a condição da represa mudou de forma significativa. As concentrações de Fe e Mn dissolvidos aumentaram bastante em relação à profundidade anterior, assim como os níveis de nitrogênio amoniacal, o OD ficou próximo a zero e o E<sub>H</sub> diminuiu de forma também significativa. Estas condições mais redutoras fizeram com que o pH da represa diminuísse em quase duas unidades em relação à superfície. Toda esta situação potencializou os processos de solubilização de alguns elementos (facilitados pelas condições redutoras e pH mais ácido), verificados no aumento da condutividade elétrica.

Entretanto, não somente Fe e Mn, mas também Ba, As, Zn, Sr, Li, Cs e Co apresentaram incremento de concentrações nas águas circulantes devido a estas condições mais redutoras e ácidas. A Figura 4.21 apresenta as concentrações destes elementos no perfil de coluna de água de fevereiro de 2014. Para Fe e Mn, o incremento de concentração foi mais significativo, o Fe oscilou de 25 µg L<sup>-1</sup> para mais de 4100 µg L<sup>-1</sup> e o Mn, de 0,26 µg L<sup>-1</sup> para mais de 160 µg L<sup>-1</sup>. O cobalto, com concentrações abaixo de 0,005 µg L<sup>-1</sup>, foi para 0,19 µg L<sup>-1</sup> em profundidade. Bário e As demonstraram incrementos de aproximadamente uma ordem de grandeza, enquanto o Zn e Li dobraram suas concentrações na região do hipolímnio. Já o Cs e Sr apresentaram incrementos da ordem de 20 a 50% nesta região.

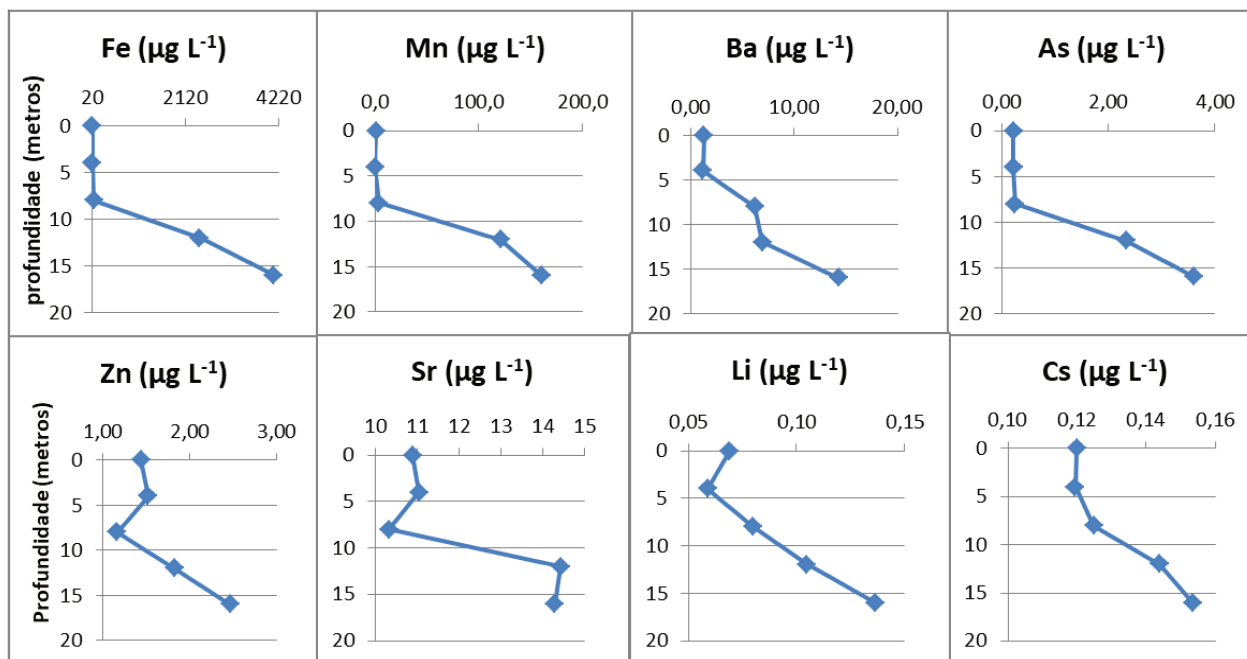


Figura 4.21 – Concentrações de alguns elementos em amostras de água filtrada (conteúdo dissolvido) no reservatório de Ponte Nova – Ponto 1 Feb/2014.

Nas águas intersticiais, as condições mais redutoras verificadas nas águas circulantes aparentemente não influenciaram de forma muito significativa a dinâmica dos elementos avaliados. O ferro e o Mn (e em menor extensão o Ba) apresentaram menores concentrações nas águas intersticiais no período no qual o lago estava estratificado (comparado às coletas ocorridas em agosto de 2013 – Figura 4.21).

De forma oposta, Zn e Co (e As em menor extensão) apresentaram aumento de concentrações nas águas intersticiais, provavelmente em função da liberação destes elementos das fases sedimentares associadas aos óxi-hidróxidos de Fe e Mn dos sedimentos do reservatório em função das condições redutoras verificadas. Como visto no capítulo anterior, os elementos Fe, Mn, Ba, Zn, Co e As foram elementos com percentuais entre 14 a 60% (em relação à concentração total) nesta fase sedimentar (Figura 4.22).

Como exemplo, a Figura 4.22 apresenta as concentrações em águas intersticiais nas campanhas do ponto 1 para os elementos de Mn, As, Zn e Co para exemplificar as condições destes elementos nas águas intersticiais de Ponte Nova. Nota-se que a estratificação térmica, além do promover um incremento nas concentrações dos elementos em águas (daqueles com maior facilidade de redução e/ou maior facilidade de solubilização devido a uma condição mais ácida), pode também incrementar as concentrações de elementos redox sensíveis, notadamente aqueles mais associados aos oxi-hidróxidos de Fe/Mn.

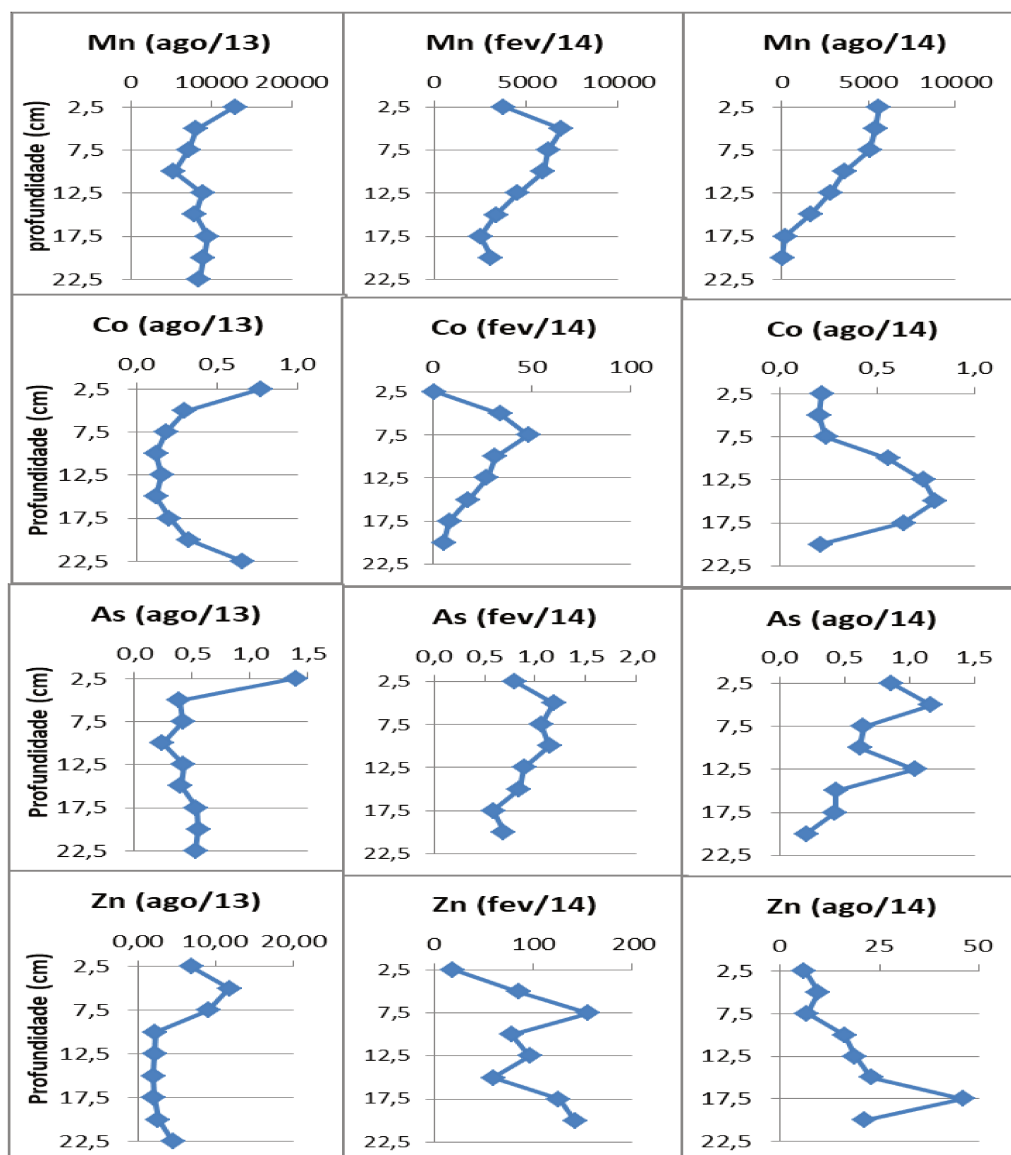


Figura 4.22 – Concentrações (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) de Mn, Co, As e Zn nas águas intersticiais (amostras filtradas) dos perfis coletado no ponto 1 em Ponte Nova.

#### 4.3.6 As distintas dinâmicas entre águas circulantes e intersticiais nos reservatórios

Os resultados obtidos na coluna de água e em águas intersticiais permitiram comparar as concentrações dos elementos nos reservatórios.

Em Jurumirim, considerando apenas as amostras dissolvidas da coluna de água e água intersticial, a pequena diferença (exceto para o Mn) entre estes valores demonstrou que o sedimento parecia funcionar como meio de disposição final dos elementos. Há elementos em que a concentração na água da coluna foi maior ou igual à concentração na água intersticial

(Sb, V, Mo, Pb, As) e para os elementos Fe, Ti, Li, Sc, Co, Ni, Cs, Cr, Al, Cu, Cd e Zn, a concentração na coluna de água foi discretamente menor do que na água intersticial.

As Figuras 4.23 e 4.24 ilustram o comportamento dos elementos As (água intersticial menor ou igual à coluna) e Cr (água intersticial maior que a coluna).

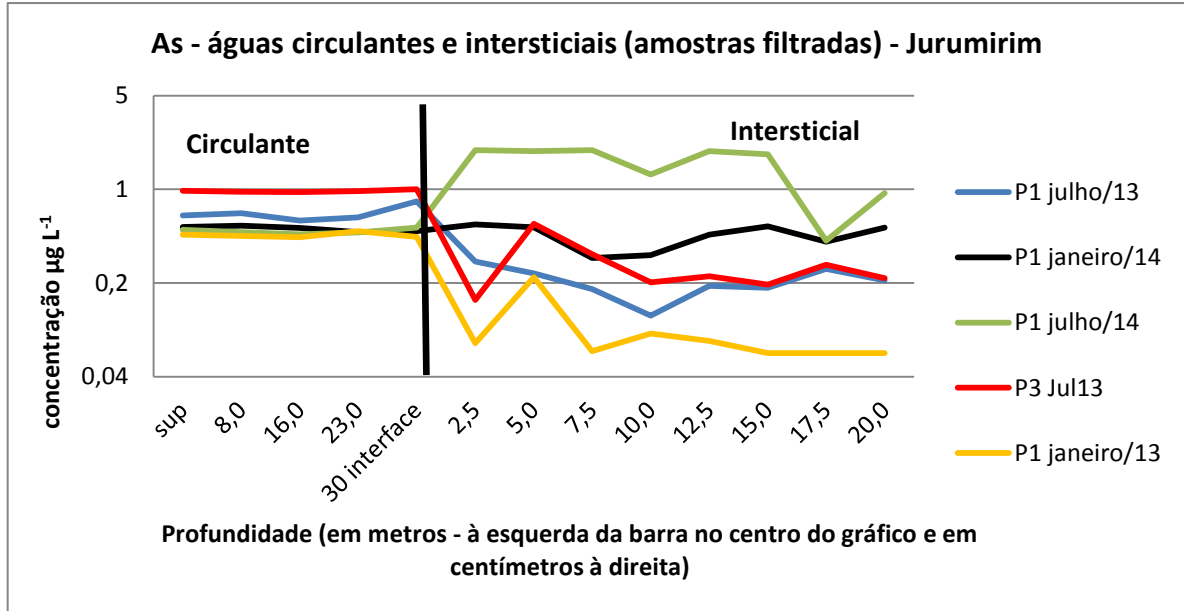


Figura 4.23 – Perfis das concentrações de As em águas circulantes e intersticiais no reservatório de Jurumirim.

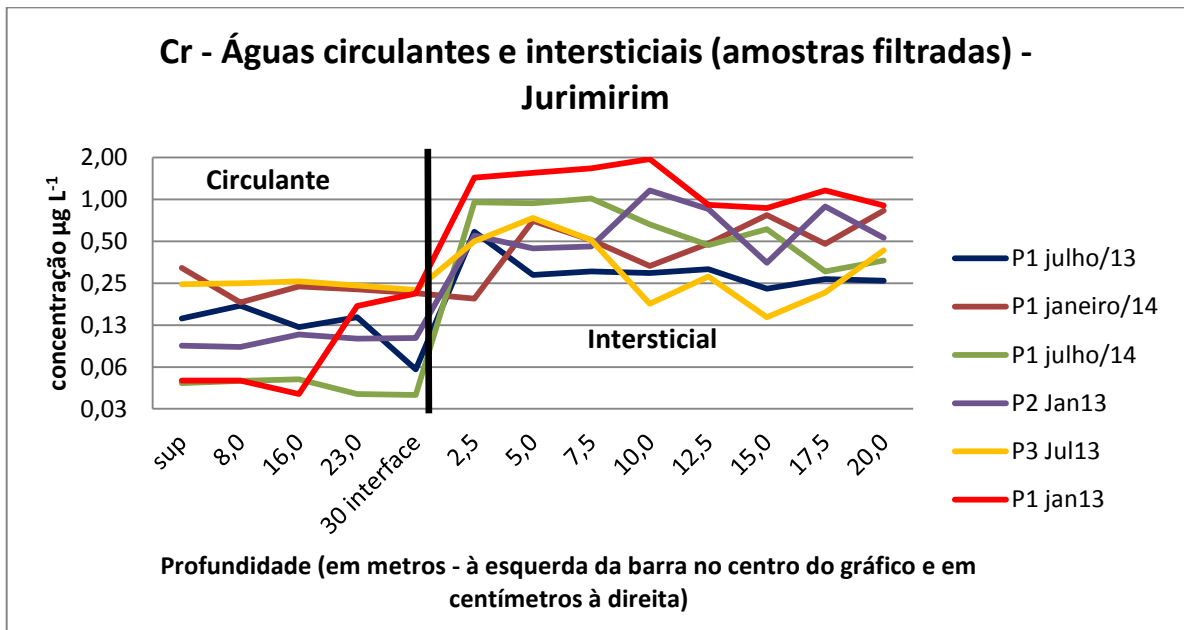


Figura 4.24 – Perfis das concentrações de Cr em águas circulantes e intersticiais no reservatório de Jurumirim.

Para o primeiro grupo (Sb, V, Mo, As) houve um equilíbrio entre as concentrações na água intersticial/coluna de água, e estes elementos não apresentaram a tendência de deposição no reservatório, uma vez que já se encontravam solubilizados e em equilíbrio na massa de água. Estes elementos ocorrem como oxi-ânions em águas naturais e isto pode elucidar este equilíbrio.

O segundo grupo (Fe, Ti, Li, Sc, Co, Ni, Cs, Cr, Al, Cu, Cd e Zn) constitui os elementos que apresentaram a tendência de se depositar nos sedimentos do reservatório e serem incorporados a estes, principalmente em função das baixas concentrações observadas (Tabela 4.8)

Para o reservatório de Ponte Nova, em relação às concentrações dos elementos entre águas circulantes e intersticiais, podem-se diferenciar três situações distintas. 1 – elementos (Fe, Mn, Ba, As, Zn, Sr, Li, Cs e Co ) que foram afetados pela estratificação térmica, conforme já discutido no tópico 4.3.5; 2 – elementos que apresentaram concentrações em águas intersticiais menores que nas águas circulantes (Mo, As e Sb), similar ao reservatório de Jurumirim (vanádio ficou abaixo do limite de quantificação em Ponte Nova); e 3 – elementos com concentrações discretamente maiores nas águas intersticiais do que nas circulantes. As Figuras 4.25 e 4.26 apresentam as concentrações do Co e Sc, respectivamente, como exemplos das situações 1 e 3.

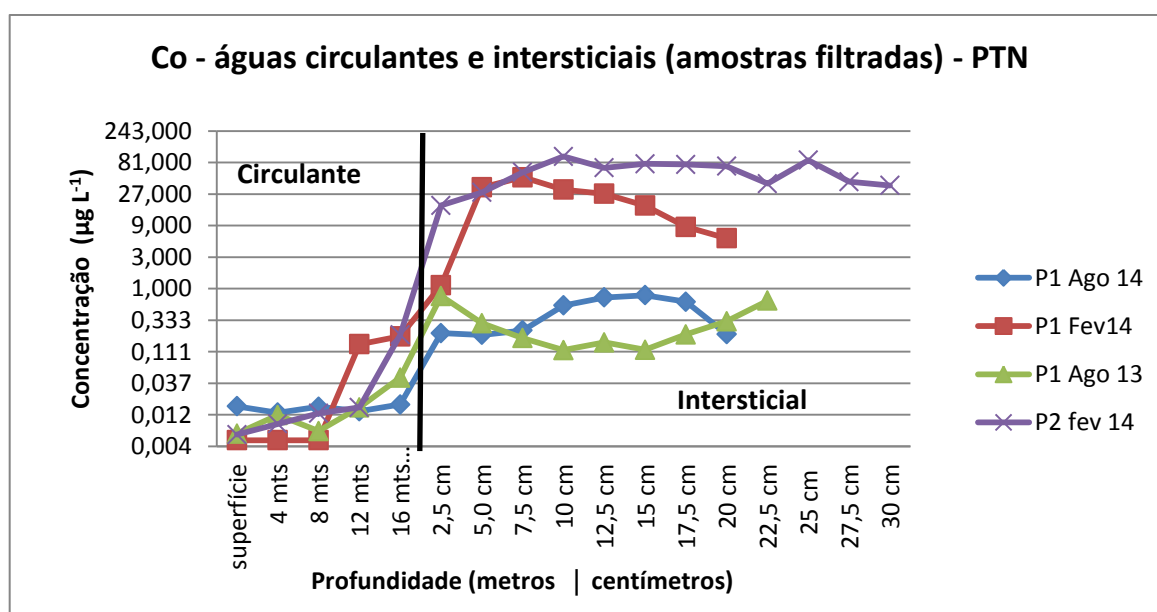


Figura 4.25 – Perfis das concentrações de Co em águas circulantes e intersticiais em Ponte Nova.

Para o cobalto, nas coletas de fevereiro de 2014, as concentrações nas águas (das águas circulantes – para as águas intersticiais) foram de aproximadamente  $0,20 \mu\text{g L}^{-1}$  para quase  $100 \mu\text{g L}^{-1}$ , enquanto no inverno as concentrações foram de aproximadamente  $0,01$  para concentrações entre  $0,10$  a  $0,80 \mu\text{g L}^{-1}$ . Nas águas circulantes, as concentrações de Sc oscilaram ao redor de  $0,50 \mu\text{g L}^{-1}$  e nas águas intersticiais oscilaram entre  $3$  a  $7 \mu\text{g L}^{-1}$  com valores muito similares entre as campanhas.

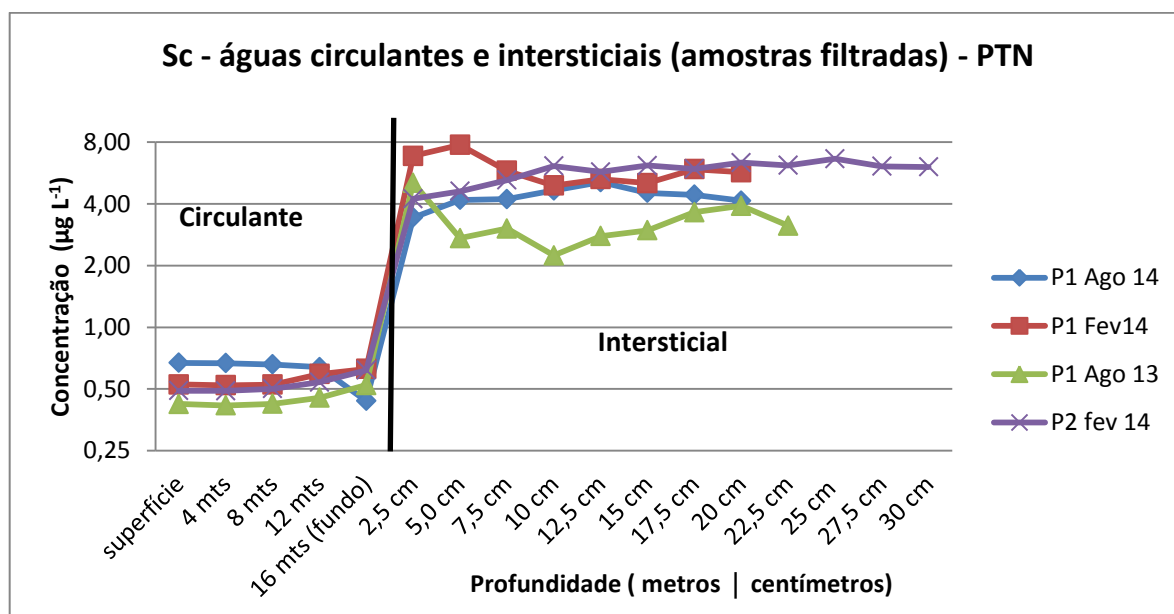


Figura 4.26 – Perfis das concentrações de Sc em águas circulantes e intersticial em Ponte Nova.

As baixas concentrações observadas para os elementos em Ponte Nova nas águas intersticiais (com exceção aos que foram influenciados pelo processo de estratificação) poderiam indicar que estes elementos apresentavam a tendência de permanecerem associados aos sedimentos (Tabela 4.8) e não disponibilizados para a coluna de água.

Em relação ao reservatório de Promissão, foram verificadas as maiores concentrações dos elementos tanto nas águas circulantes quanto nas intersticiais.

Considerando apenas as amostras dissolvidas da coluna de água e água intersticial, foi possível verificar significativas diferenças para os elementos Al, Mn, Co, Ni, Fe, Cu, Zn e Cd, com concentrações na água intersticial até mil vezes superior à coluna de água. Este incremento ocorreu nos cinco primeiros centímetros da coluna sedimentar, e a Figura 4.27 ilustra as concentrações do Ni como modelo destes elementos. Por outro lado, foi evidenciado elementos (Ba, V, Mo e Sb) com tendência totalmente oposta. Estes mostraram

concentrações nas águas circulantes maiores ou iguais à água intersticial, similar aos outros reservatórios (Jurumirim e Ponte Nova). A Figura 4.28 apresenta o Mo como exemplo.

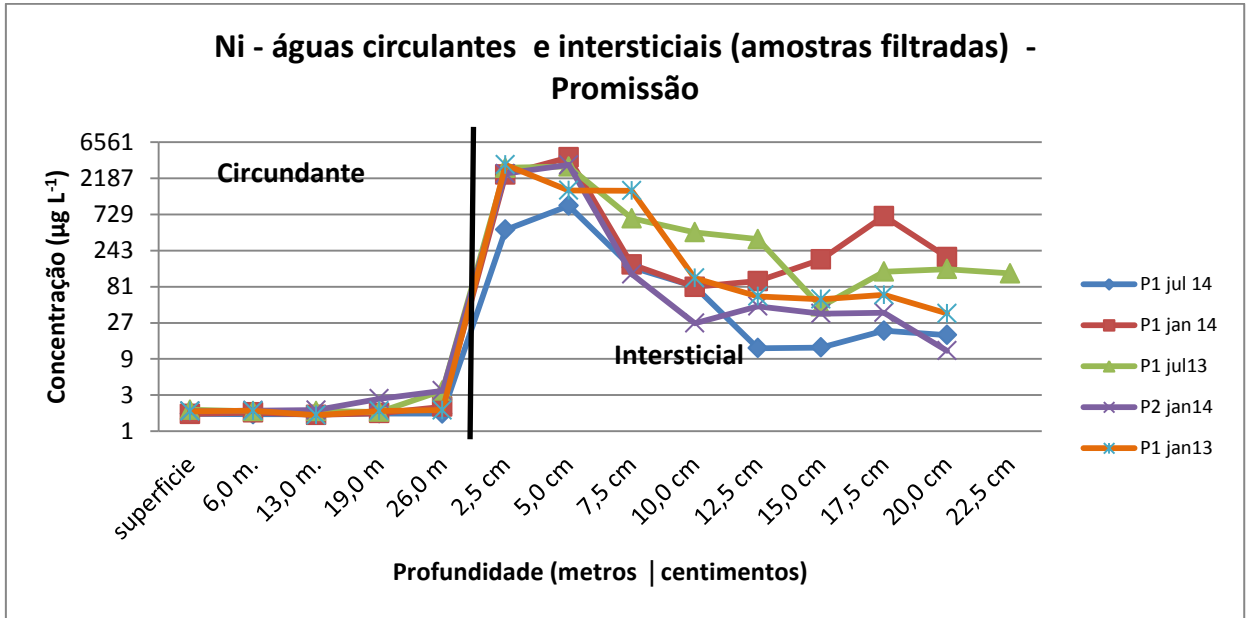


Figura 4.27 – Perfil das concentrações de Ni em águas circulantes e intersticiais de Promissão.

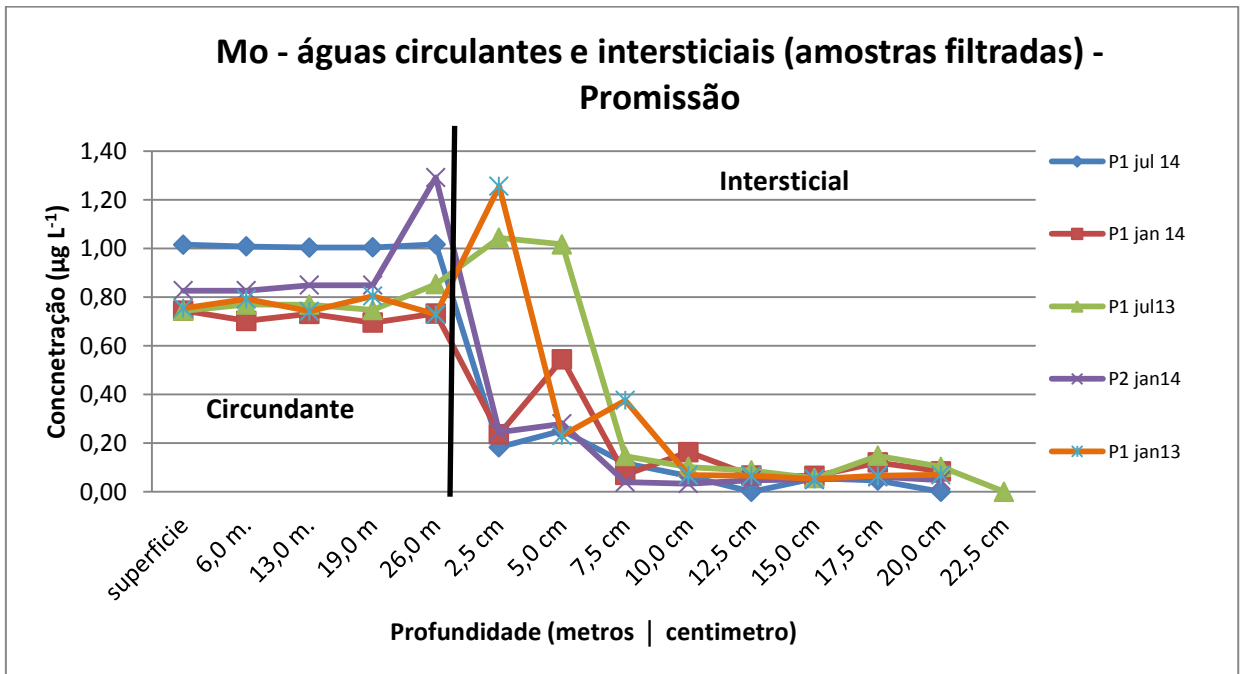


Figura 4.28 – Perfil das concentrações de Mo em águas circulantes e intersticiais de Promissão.

As condições redox verificadas nas águas de fundo (Anexo F) podem ter contribuído para uma maior solubilização dos elementos nas águas intersticiais em Promissão, como no exemplo do Ni (Figura 4.27).

Para os elementos, Ni, Fe, Cu, Mn, As e Zn, considerando que as amostras de fundo da coluna de água já apresentaram um aumento de concentração quando comparadas ao restante da coluna, é possível que o sedimento estivesse disponibilizando estes elementos para a água circulante de Promissão. A Tabela 4.8 apresenta as concentrações observadas neste estudo em águas intersticiais (os maiores resultados observados para os três reservatórios) e as concentrações em outros corpos hídricos, onde os autores afirmaram que os sedimentos destes locais disponibilizaram os elementos em questão para a coluna de água ou evidenciaram concentrações tóxicas para a biota.

Jurumirim e Ponte Nova, para todos os elementos da Tabela 4.8 (exceto o Mn), apresentaram valores abaixo dos considerados passíveis de transferência do sedimento para a água circulante, e, provavelmente, estes elementos seriam fixados aos sedimentos. O Mn, em ambas as represas, apresentou resultados entre valores nos quais poderia haver a disponibilização do metal dos sedimentos para a coluna de água.

Em Jurumirim e Ponte Nova, a ampla maioria dos elementos apresentou concentrações nas águas intersticiais aproximadamente uma ordem de grandeza maior que as águas circulantes. Alguns destes elementos estão listados na Tabela 4.8, na qual se pode verificar que as concentrações ficaram abaixo de valores considerados críticos, com potencial de disponibilização para a coluna de água, de acordo com os citados autores.

Em Promissão, Fe, Mn, Cu, Ni e Zn apresentaram resultados (tanto em valores médios quanto os maiores observados) superiores à maioria dos valores indicados como passíveis de fornecimento das águas intersticiais para a coluna de água em vários locais do mundo. Isso indica que este processo também poderia ter ocorrido em Promissão. Cromo, As e Pb apresentaram somente os resultados máximos acima de valores indicativos de transferência para a biota, com os valores médios abaixo, e não foi possível para estes elementos supor alguma tendência.

Em todos os reservatórios estudados, os elementos V, Sb, Mo e As (este último exceto em Promissão) sempre apresentaram concentrações nas águas circulantes em concentrações superiores ou iguais às concentrações em águas intersticiais, isto indicou que

tais elementos apresentaram-se em condições de equilíbrio. Esta condição pode estar associada ao fato de que estes elementos ocorrem mais como oxi-ânions e, portanto, apresentam-se muito solúveis em águas naturais (Gaillardet *et al.* 2003).

Tabela 4.8 – Concentrações de elementos (todos em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) em água intersticiais em distintos corpos hídricos ao redor do mundo e nos reservatórios estudados.

	Fe	Mn	Cu	Pb	Ni	Cr	Zn	As
Campanha <i>et al.</i> 2012 (Rio Grande/Turvo - SP)	60000	2000	300	90	80	500		
Hellali <i>et al.</i> 2015 (Delta rio Mejarda - Tunísia)	10248	1045	13,5	26,0			594	
Blasco <i>et al.</i> 2000 (rios estuarinos de Cadiz - Espanha)	20000	12000	900			130		
Mozeto <i>et al.</i> 2014 (Lago Ibirité - MG)	23840		35,0	6,0			75,0	
Tang <i>et al.</i> 2016 (rios chineses)			20,0					19,0
Wen <i>et al.</i> 2012 (Lago Chaohu - China)		5000						400
Jurumirim (maior resultado)	1480	9300	6,7	0,5	18	2,0	53	2,0
Ponte Nova (maior resultado) estratificado / não estratificado	164 / 367	8700 / 12900	2,3 / 4,2	4,3 / 4,6	16,0 / 5,5	2,2 / 1,3	230 / 46	1,4 / 1,3
Promissão (maior resultado a até 7,5 cm)	240000	86700	1730	23	4100	250	2700	195
Promissão (resultados médios)	25000	26300	210	2,0	740	40,0	510	12,4

#### 4.4 Conclusões

O transporte de elementos a partir dos processos erosivos dos solos do entorno dos reservatórios de Ponte Nova e Jurumirim e os aspectos geográficos dos mesmos (não são reservatórios em cascata) resultaram em significativa presença destes elementos no material particulado suspenso destes lagos artificiais. Em Promissão, devido aos reservatórios de montante em cascata, este processo não foi expressivo, e a concentração dos elementos foi mais dominante na fração dissolvida.

As águas circulantes apresentaram concentrações similares dentro dos reservatórios com poucas alterações provocadas principalmente pelos fenômenos de estratificação térmica, especialmente no reservatório de Ponte Nova. Em geral, fracionamentos geoquímicos imputados aos regimes tradicionais de cheia e seca (verão e inverno) não foram evidenciados, e as variabilidades geoquímicas nas águas circulantes foram mais associadas às vazões afluentes e defluentes dos reservatórios.

As águas intersticiais apresentaram, em grande parte, concentrações multi-elementares maiores do que as águas circulantes em todos os reservatórios, o que leva a suposições diferenciadas quanto às possibilidades de o sedimento disponibilizar os elementos para a coluna de água. Em Jurumirim, não se verificou esta possibilidade, em função das baixas concentrações dos elementos nas águas intersticiais e em proporções pequenas, quando comparadas às concentrações dos elementos nas águas circulantes. Em Ponte Nova, o episódio de estratificação térmica verificado foi o responsável por desencadear um processo no qual ficou evidente o transporte de elementos dos sedimentos para a água circulante do reservatório. Entretanto, nas coletas onde não foi evidenciada a estratificação, os sedimentos de Ponte Nova aparentaram funcionar como sumidouro de elementos. Já em Promissão, as altas concentrações nas águas intersticiais para alguns elementos, comparadas a outros locais, permitiram supor que os sedimentos funcionaram como fonte destes elementos para as águas circulantes.

#### 4.5 Referências

- Blasco J., Saenz V. Parra A. G. 2000. Heavy metal fluxes at the sediment-water interface of three coastal ecosystems from south-west of the Iberian Peninsula. *Sci Tot, Environ.*, **247**:189-199.
- Campanha M.B., Moreira A.B., Bisinoti M. C. 2012. Metal fluxes at the sediment-water interface in rivers in the Turvo/Grande drainage basin, São Paulo State, Brazil. *J. Soil Sed.*, **12**:1508-1512.
- Cánovas C. R., Olias M., Vasquez-Suné E., Ayora C., Nieto J. M. 2012. Influence of releases from a fresh water reservoir on the hydrochemistry of the Tinto River (Spain). *Sci. Tot. Environ.*, **416**:418-428.
- CESP – Companhia Energética do Estado de São Paulo. 1998. *Conservação e Manejo nos reservatórios. Limnologia, Ictiologia e Pesca.* . CESP, São Paulo, 166p
- CETESB 2009. *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado De São Paulo 2008* – CETESB. São Paulo.
- CETESB 2011. *Qualidade das Águas Superficiais do Estado De São Paulo 2010* – CETESB. São Paulo.
- Chapman P. M., Wang F., Germano J. D., Batley, G. 2002. Pore water testing and analysis: the good, the bad and the ugly. *Mar. Poll. Bull.*, **44**:359-366.

- Costa M.L.R. & Henry R. 2010. Phosphorus, nitrogen, and carbon contents of macrophytes in lakes lateral to a tropical river (Parapanema River, São Paulo, Brazil). *Acta Limnologica Brasiliensia*, **22(2)**:122-132
- EPA US. 2001. *Methods for collection, storage and manipulation of sediments for chemical and toxicological analyses: technical manual*. EPA 823-B-01-002. Washington, DC. 421 pp.
- Esteves F. A. 1988. *Fundamentos de Limnologia*. Interciência/FINEP. Rio de Janeiro.
- Funceme – FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS 2016. Programa Qualigraf. Disponível em <http://www3.funceme.br/qualigraf/app/pagina/show/2> acessado em 29 jul 2016.
- Franklin R. L. 2010. Determinação de Mercúrio total e Orgânico e avaliação dos processos de metilação e desmetilação em sedimentos do reservatório Rio Grande, Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, 158p.
- Gaillardet J., Dupré B., Viers J. 2003. Trace elements in River Waters. In Turekian, K.K. & Holland H. D. (eds) *Treatise of Geochemistry*. Elsevier, p.225-271.
- Hellali M. A., Zaaboub N., Ouslati W., Added A., Aleya L. 2015. Diagenetic processes and sediment–water exchanges of heavy metals in the Mejerda River Delta (Gulf of Tunis). *Environ. Earth Sci.*, **74**:6665–6679
- Jorcin A. & Nogueira M. G. 2005. Temporal and spatial patterns based on sediment and sediment–water interface characteristics along a cascade of reservoirs (Parapanema River, south-east Brazil). *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, **10**: 1–12
- Luzia A.P. 2004 Limnologia e grau de trofia dos reservatórios em cascata do rio Tietê (médio e baixo Tietê, São Paulo). Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 120p.
- Majagi S. H., Vijaykumar K., Vasanthkumar B. 2008. Concentration of heavy metals in Karanja reservoir, Bidar district, Karnataka, India. *Environ. Monit. Assess.*, **138**:273-279
- Manahan S. E. 2013. *Química Ambiental*. Bookman, Porto Alegre, 912pp.
- Monteiro Junior A. J. 2006. Caracterização limnológica e compartimentação do reservatório de Ponte nova, alto Tietê, SP – uma contribuição ao seu manejo. Dissertação de mestrado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 91pp
- Moraes G.M. 2016 Características hidrogeoquímicas das bacias de drenagem dos rios Capivari e Jundiá, SP: aspectos das influências antrópicas. Tese de doutorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 218 pp.
- Mozeto A.A., Yamada T.M. Morais C.R., Nascimento M.R.L., Fadini P.S., Torres R.J., Sueitt A.P.E. 2014. Assessment of organic and inorganic contaminants in sediments of an urban tropical eutrophic reservoir. *Environ. Monit. Assess.*, **186**:815–834
- Munk L. & Faure G. 2004. Effects of pH fluctuations on potentially toxic metals in the water and sediment of the Dillon Reservoir, Summit county, Colorado. *Appl. Geochem.*, **19**: 1065-1074.
- Nogueira M. G. 2005. Limnologia de reservatórios e sistemas em cascata. In Roland, F, Cesar, D, Marinho, M. (eds) *Lições de Limnologia* RIMA. São Carlos. p.:141-160.

- Rodgher S., Espíndola E.L.G., Rocha O. Fracácio R. Pereira R.H.G., Rodrigues M.H.S. 2005. Limnological and ecotoxicological studies in the cascade of reservoirs in the Tietê river (São Paulo, Brazil). *Braz. J. Biol.*, **65(4)**: 697-710
- Tang W., Duan S., Shan B., Zhang H, Zhang W., Zhang C., Zhao Y. 2016. Concentrations, diffusive fluxes and toxicity of heavy metals in pore water of the Fuyang River, Haihe Basin. *Ecotox. Environ. Saf.*, **127**:80–86
- Vukovic Z., Vukovic D., Radenkovic M., Stankovic, S. 2012. A new approach to the analysis of the accumulation and enrichment of heavy metals in the Danube river sediment along the Iron Gate reservoir in Serbia. *J. Serbian Chem. Soc.*, **77(3)**:381-392
- Wen S., Shan B., Zhang H. 2012 Metals in sediment/pore water in Chaohu Lake: Distribution, trends and flux. *J. Environ. Sci.*, **24(12)**:2041-2050

## 5 ELEMENTOS TERRAS RARAS EM RESERVATÓRIOS DO ESTADO DE SÃO PAULO: HIDROQUÍMICA, PARTIÇÃO E ANOMALIAS EM ÁGUAS E SEDIMENTOS

### 5.1 Introdução

Os elementos terras raras (ETR) são aqueles da série dos lantanídeos ( $^{57}\text{La}$  ao  $^{71}\text{Lu}$ ), que apresentam um comportamento ambiental muito similar (Cornu & Laveuf 2009; Leleyter *et al.* 1999) e, segundo alguns autores e a IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), incluem também Y e o Sc (Serra 2011; Tang & Johannesson 2009; Gambino *et al.* 1991). São divididos em três grupos; os elementos terras raras leves (ETRL), do La ao Nd; elementos terras raras médios (ETRM), do Sm ao Dy, e os elementos terras raras pesados (ETRP) do Ho ao Lu. Diversos estudos no mundo (Goldstein & Jacobsen 1998; Iriondo *et al.* 2007; Veríssimo *et al.* 2007; Leybourne & Johannesson 2008; Hughes *et al.* 1986; Noack *et al.* 2014; Devert *et al.* 2015; Santos 2015) utilizam tais definições e fracionamentos que existem entre estes grupos em estudos sobre o comportamento dos ETR.

Estes elementos têm sido muito estudados nos últimos anos em matrizes ambientais, principalmente sedimentos, muito em função das novas descobertas de usos destes elementos, que têm crescido no mundo e vão desde a utilização em exames laboratoriais, até a dopagem de ligas metálicas para fortalecimento de propriedades específicas, passando inclusive pela agricultura.

Entretanto, estudos sobre os elementos terras raras que utilizam procedimentos de extração sequencial em sedimentos são bem raros. Poucos trabalhos no mundo (Zhang *et al.* 2014; Leleyter *et al.* 1999; Liu *et al.* 2013; Martins *et al.* 2013; Song *et al.* 2009; Xu *et al.* 2012) apresentaram resultados em relação às fases ligantes em sedimentos e/ou em perfis sedimentares em ambientes continentais. Em adição, não há registro na literatura sobre geoquímica e partição de elementos terras raras em sedimentos de reservatórios de águas na América Latina.

Dentre os trabalhos sobre ETR em sedimentos por extração sequencial no Brasil, apenas Leleyter *et al.* (1999) quantificaram ETR em amostras de sedimentos do rio Piracicaba (estado de São Paulo) em sete etapas de extração. Este estudo mostrou que a distribuição dos ETR em sedimentos depende de vários fatores, principalmente os associados ao material

parental, granulometria e as condições redox do meio. No caso do rio Piracicaba, a maior fração foi associada aos óxidos de ferro.

Estudos de ETR em águas intersticiais de sedimentos são mais raros ainda, e os principais estudos no mundo foram realizados em ambientes costeiros e marinhos e, geralmente, no hemisfério norte. No Brasil, a maioria dos estudos de ETRs em águas superficiais continentais foi realizada na região amazônica (Deberdt *et al.* 2002; Gaillardet *et al.* 2003; Viers *et al.* 2009; Horbe *et al.* 2013). Outros estudos no Brasil incluem os de Campos & Enzweller, (2016) que abordaram os ETRs em rios na região de Campinas (SP); Merschel *et al.* (2015), que estudaram os ETRs no lago Paranoá, em Brasília; Lecomte *et al.* (2016), que analisaram ETRs em afluentes do rio São Francisco no estado da Bahia; e Valitutto *et al.* (2006) que avaliaram águas do rio Paraíba do Sul no estado do Rio de Janeiro. Estes trabalhos fora da região amazônica focaram primordialmente anomalias antrópicas ou a relação dos ETR com aspectos geológicos locais.

Questões ainda em aberto sobre os ETRs em ambientes tropicais, mais especificamente no Brasil, estão relacionadas às alterações que o barramento de rios pode provocar em suas dinâmicas de sedimentação ao longo do tempo, a dinâmica destes elementos e a partição em águas (intersticiais e circulantes) e em fases sedimentares em reservatórios do sudeste brasileiro. Dentro deste contexto, este trabalho propõe avaliar as concentrações dos ETRs antes e após as construções dos reservatórios, verificar como se dá a dinâmica de transporte destes elementos nos reservatórios, verificar as partições nas fases sedimentares e tentar relacionar estas partições com a formação geológica local e fontes antrópicas.

## **5.2 Materiais e métodos**

As áreas de estudo foram as represas descritas no Capítulo 1 em relação as suas construções, localização, pontos coletados, coleta de amostras e contexto geológico.

### **5.2.1 Coluna de água (água circulante) e água intersticial**

As amostras de coluna de água e água intersticial foram coletadas, preservadas e processadas da mesma forma como descrito no capítulo 4 (item 4.2.1).

### 5.2.2 Protocolo de extração sequencial e concentração total dos elementos em sedimentos

O protocolo de extração sequencial e de preparo das amostras para a determinação da concentração total dos elementos para os ETRs foram os mesmos descritos no capítulo 3 (item 3.2.1).

### 5.2.3 Determinação das concentrações dos ETRs em amostras de água e sedimento por ICP-MS e correções de interferências

Os elementos foram quantificados por ICP-MS (*inductively coupled plasma – mass spectrometry*) ou por ICP-OES (*inductively coupled plasma – optical emission spectrometry*) para os elementos La e Ce em algumas amostras de sedimentos. Todos os parâmetros foram quantificados no Laboratório de Química Inorgânica da CETESB. Todas as curvas de calibração para a determinação dos elementos foram preparadas a partir de soluções (*Accustandard*) rastreadas a padrões do *National Institute of Standard and Technology* (NIST). O Anexo A apresenta os resultados dos materiais de referência certificados (para água, sedimentos e inclusive padrões de qualidade internos) para os ETRs determinados junto com as amostras. As discussões sobre os materiais de referência também estão neste anexo.

A determinação dos ETRs por ICP-MS tem como fundamento a razão entre massa atômica e carga dos íons analisados (razão  $m/z$ ). Mas alguns elementos podem possuir quantidades variáveis de nêutrons e, portanto, diversas massas atômicas, e são chamados de isótopos. No plasma de argônio do ICP ocorre a formação de íons dos elementos presentes na amostra. Este plasma possui energia suficiente para produzir íons elementares de carga +1 para quase a totalidade dos elementos conhecidos (por exemplo,  $\text{Cr}^+$ ,  $\text{La}^+$ ) e o sistema de espectrometria de massas (MS) é o responsável por fazer a separação destes íons e sua quantificação baseado na comparação com uma curva de calibração previamente construída.

Entretanto, no plasma de argônio também são formados alguns íons bivalentes e espécies moleculares, como óxidos e dímeros (exemplos,  $\text{ArO}^+$ ,  $\text{LaO}^+$ ,  $\text{Ar}_2^+$ ). Deve se evitar que estas espécies cheguem ao quadrupolo e detector, pois apresentam razão  $m/z$  praticamente iguais a de outros íons monovalentes de interesse e, em função disto, são computados como destas mesmas massas e considerados interferências falso-positiva. Ou seja, o resultado obtido é maior do que o real (Longerich 1987; Montaser 1998; Giné 1999).

Para boa parte dos elementos quantificados por ICP-MS, incluindo os ETRs, ocorrem interferências isobáricas de espécies moleculares, todos com razão  $m/z$  similares ao

isótopo que se quer quantificar. Esta interferência é minimizada pela escolha de isótopos livres de sobreposição isobárica, com a otimização dos parâmetros de operação do instrumento para diminuir a formação de óxidos e íons bivalentes e, também, com equações matemáticas considerando-se os possíveis interferentes. Para os ETRs, estas interferências são bem conhecidas e documentadas (Longerich 1987; Dulski 1994; Veen *et al.* 1995; Raut *et al.* 2005).

A correção por equações matemáticas é um método muito utilizado e pode-se partir da determinação do elemento que provoca interferência em outro sem a presença do elemento(s) determinado(s). Por exemplo, pode-se analisar a interferência do Ba nos ETRs ou do Ce nos ETRM. As Tabelas 5.1 e 5.2 apresentam dados obtidos experimentalmente no instrumento *X-series2* da *Thermo Scientific* para os elementos Ba e Ce com as condições de operação mencionadas na Tabela 5.3. Este instrumento é operado com nebulizador concêntrico com câmara de nebulização ciclônica e pérola de impacto integrada, e este conjunto é resfriado por uma peltier para a temperatura de 1 °C equipado com cone e skimmer de platina após o plasma.

Tabela 5.1 – Determinações de Ba e interferências produzidas nos ETRs – resultados em  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Em vermelho, os resultados acima do limite de quantificação.

	<sup>135</sup> Ba	<sup>139</sup> La	<sup>140</sup> Ce	<sup>141</sup> Pr	<sup>143</sup> Nd	<sup>146</sup> Nd	<sup>147</sup> Sm	<sup>149</sup> Sm	<sup>151</sup> Eu	<sup>153</sup> Eu	<sup>155</sup> Gd	<sup>157</sup> Gd
Ba 20 $\mu\text{g L}^{-1}$	19,43	-0,0008	-0,0003	0,0001	-0,0001	0,0002	0,0003	0,0002	0,0019	0,0039	0,0497	0,0003
Ba 50 $\mu\text{g L}^{-1}$	48,07	-0,0003	-0,0009	0,0000	0,0000	0,0002	0,0001	0,0002	0,0046	0,0096	0,1260	0,0005
Ba 100 $\mu\text{g L}^{-1}$	97,51	0,0007	-0,0001	0,0001	-0,0001	0,0003	0,0004	0,0006	0,0097	0,0199	0,2589	0,0014
Ba 150 $\mu\text{g L}^{-1}$	146,4	0,0009	-0,0004	0,0000	0,0002	0,0003	0,0008	0,0005	0,0135	0,0284	0,3815	0,0020
Ba 200 $\mu\text{g L}^{-1}$	200,2	0,0017	-0,0005	-0,0001	-0,0001	0,0006	0,0008	0,0010	0,0183	0,0380	0,5155	0,0025
Ba 250 $\mu\text{g L}^{-1}$	254,3	0,0026	-0,0002	0,0000	0,0001	0,0006	0,0014	0,0011	0,0236	0,0475	0,6546	0,0033
Ba 300 $\mu\text{g L}^{-1}$	294,2	0,0028	-0,0009	0,0000	0,0000	0,0009	0,0011	0,0013	0,0278	0,0549	0,7570	0,0034
Ba 400 $\mu\text{g L}^{-1}$	403,1	0,0042	-0,0001	0,0000	-0,0001	0,0011	0,0019	0,0015	0,0375	0,0730	1,0240	0,0051
Ba 500 $\mu\text{g L}^{-1}$	503,9	0,0061	-0,0003	0,0000	0,0001	0,0015	0,0020	0,0019	0,0476	0,0968	1,3060	0,0058
Ba 750 $\mu\text{g L}^{-1}$	756,9	0,0093	-0,0001	0,0000	0,0002	0,0019	0,0029	0,0025	0,0728	0,1445	1,9730	0,0064
Ba 900 $\mu\text{g L}^{-1}$	946,4	0,0109	-0,0004	0,0000	0,0002	0,0024	0,0032	0,0034	0,0828	0,1642	2,2900	0,0068

Tabela 5.2 – Determinações de La e Ce e interferências produzidas nos ETRs – resultados em  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Em vermelho, os resultados acima do limite de quantificação.

	<sup>139</sup> La	<sup>140</sup> Ce	<sup>141</sup> Pr	<sup>143</sup> Nd	<sup>146</sup> Nd	<sup>147</sup> Sm	<sup>149</sup> Sm	<sup>151</sup> Eu	<sup>153</sup> Eu	<sup>155</sup> Gd	<sup>157</sup> Gd	<sup>158</sup> Gd	<sup>159</sup> Tb
Ce, La 1 $\mu\text{g L}^{-1}$	1,2410	1,2450	0,0002	0,0006	0,0006	0,0006	0,0002	0,0003	0,0002	0,1967	0,0083	0,0164	0,0003
Ce, La 2 $\mu\text{g L}^{-1}$	2,2150	2,2400	0,0007	0,0009	0,0009	0,0011	0,0008	0,0005	0,0002	0,3621	0,0129	0,0304	0,0005
Ce, La 5 $\mu\text{g L}^{-1}$	5,4140	5,4530	0,0008	0,0009	0,0013	0,0006	0,0008	0,0009	0,0006	0,8250	0,0301	0,0677	0,0008
Ce, La, 10 $\mu\text{g L}^{-1}$	10,990	11,110	0,0011	0,0013	0,0008	0,0013	0,0007	0,0013	0,0005	1,6701	0,0545	0,1299	0,0012
Ce, La 20 $\mu\text{g L}^{-1}$	22,180	22,200	0,0016	0,0012	0,0012	0,0007	0,0009	0,0008	0,0013	3,5161	0,1180	0,2591	0,0028
Ce, La 30 $\mu\text{g L}^{-1}$	32,670	33,060	0,0022	0,0009	0,0015	0,0012	0,0010	0,0009	0,0008	5,2571	0,1707	0,4004	0,0039

Na Tabela 5.1, várias soluções de diferentes concentrações de bário (de 50 a 900  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) foram determinadas em uma massa analítica de Ba e nas massas analíticas de alguns ETRs que poderiam vir a sofrer interferências das espécies  $\text{BaO}^+$  e  $\text{BaOH}^+$  que podem se formar no plasma. Os resultados destacados em cor vermelha são interferências do Ba nestas massas analíticas. A Tabela 5.2 apresenta no mesmo formato as interferências causadas por La e Ce, os dois ETRs de maior concentração natural, e segue o mesmo molde de formatação da tabela anterior.

Nas tabelas 5.1 e 5.2, verifica-se que Ba interfere nos elementos <sup>139</sup>La, <sup>146</sup>Nd, <sup>147</sup>Sm, <sup>149</sup>Sm, <sup>151</sup>Eu, <sup>153</sup>Eu, <sup>155</sup>Gd e <sup>157</sup>Gd. La interfere em <sup>155</sup>Gd, e Ce interfere em <sup>141</sup>Pr, <sup>157</sup>Gd, <sup>158</sup>Gd e <sup>159</sup>Tb.

Tabela 5.3 – Condições de operação do instrumento X-series2 (Thermo Scientific).

Potência do plasma	1400 Watts
Tempo de resposta (Dwell)	50 ms
Vazão de Argônio no nebulizador	0,81 L $\text{min}^{-1}$
Razão <sup>137</sup> Ba <sup>++</sup> / <sup>137</sup> Ba <sup>+</sup>	<0,02
Razão <sup>156</sup> CeO/ <sup>140</sup> Ce	<0,02

A Tabela 5.4 apresenta as massas analíticas utilizadas para os ETRs e os seus principais interferentes.

As interferências listadas podem ou não ocorrer de forma significativas, a depender da matriz. Por exemplo, a provocada por compostos de  $^x\text{Ba}^y\text{Cl}^+$  devem ser sempre corrigidas quando da análises de águas marinhas e salobras, não sendo muito significativa para águas continentais, salvo poucas exceções. Os elementos Sm e Eu não apresentam

tendência de formação de óxidos no plasma, e as interferências por estes óxidos pode ser na maioria dos casos desprezível (Longerich 1987; Dulski 1994; Veen *et al.* 1995; Raut *et al.* 2005). Por outro lado, interferências causadas por Ce, La e Nd devem ser, de modo geral, corrigidas, pois são os três ETRs de maior concentração absoluta, com potencial de causar erros em outros elementos, assim como as interferências causadas por Pr, Gd e Tb. O bário também deve ser corrigido, notadamente para o európio, enquanto para o La sua interferência é insignificante.

Tabela 5.4 – Massas analíticas para os ETRs e potenciais interferências isobáricas.

Massa/Elemento	Espécies interferentes
$^{89}\text{Y}$	
$^{139}\text{La}$	$^{138}\text{BaH}^+$
$^{140}\text{Ce}$	$^{139}\text{LaH}^+$
$^{141}\text{Pr}$	$^{140}\text{CeH}^+$
$^{143}\text{Nd}$	
$^{147}\text{Sm}$	$^{132}\text{BaOH}^+$
$^{151}\text{Eu}$	$^{135}\text{BaO}^+$
$^{157}\text{Gd}$	$^{140}\text{CeOH}^+$ ; $^{138}\text{Ba}^{18}\text{OH}^+$ ; $^{141}\text{PrO}^+$
$^{159}\text{Tb}$	$^{142}\text{CeOH}^+$ ; $^{143}\text{NdO}^+$ ; $^{142}\text{NdOH}^+$
$^{163}\text{Dy}$	$^{147}\text{SmO}^+$ ; $^{146}\text{NdOH}^+$
$^{165}\text{Ho}$	$^{148}\text{NdOH}^+$ ; $^{149}\text{SmO}^+$
$^{166}\text{Er}$	$^{150}\text{NdO}^+$ ; $^{150}\text{SmO}^+$
$^{169}\text{Tm}$	$^{153}\text{EuO}^+$ ; $^{152}\text{SmO}^+$ ; $^{134}\text{Ba}^{35}\text{Cl}^+$
$^{172}\text{Yb}$	$^{156}\text{GdO}^+$ ; $^{137}\text{Ba}^{35}\text{Cl}^+$
$^{175}\text{Lu}$	$^{159}\text{TbO}^+$ ; $^{138}\text{Ba}^{37}\text{Cl}^+$ ; $^{158}\text{GdOH}^+$

Fonte: Longerich 1987; Montaser 1998; dados experimentais.

As Figuras 5.1 e 5.2 apresentam duas das equações de correção produzidas e aplicadas para ajustes de resultados de Eu e Gd em razão de interferências causadas por Ba e Ce, respectivamente, obtidas a partir de dados experimentais das Tabelas 5.1 e 5.2.

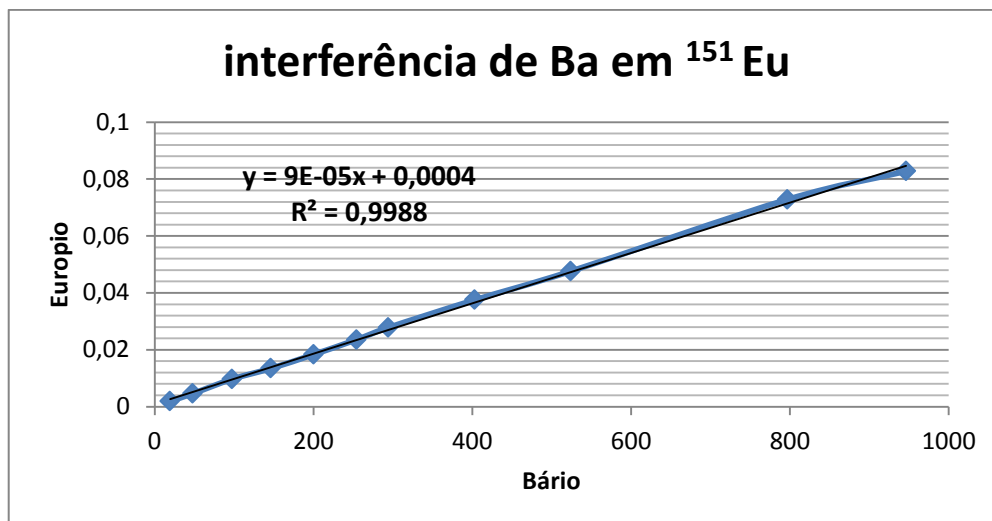


Figura 5.1 – Interferência e equação de correção para o  $^{151}\text{Eu}$  a partir das concentrações de bário.

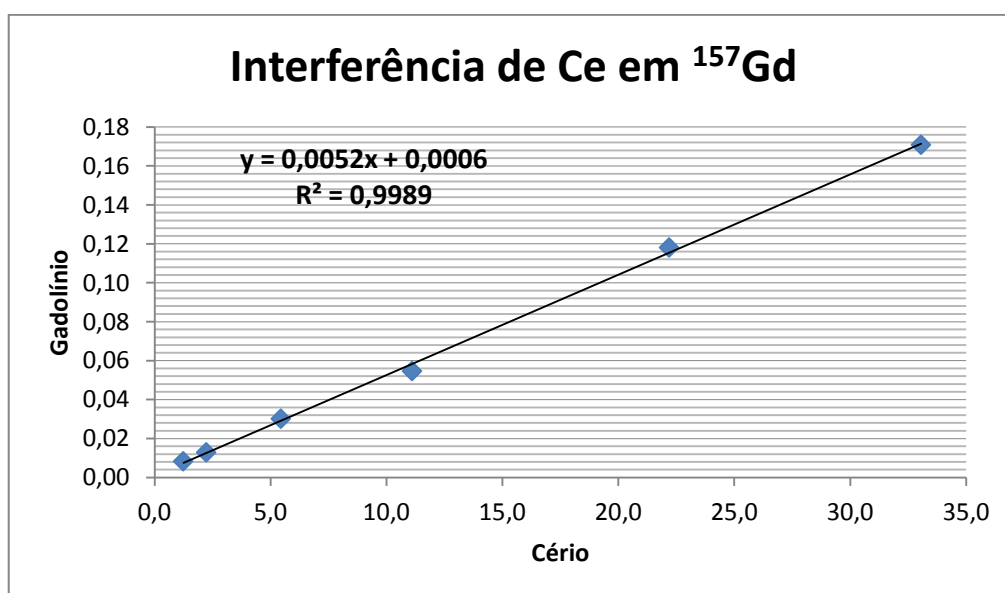


Figura 5.2 – Interferência e equação de correção para o  $^{157}\text{Gd}$  a partir das concentrações de cério.

Estas equações foram aplicadas aos resultados obtidos inicialmente no ICP-MS para correção destes dois elementos. E de forma análoga, equações similares foram aplicadas aos elementos Pr, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu, independentes das correções serem significativas ou não.

### 5.2.4 Normalização dos ETRs

De acordo com vários autores (Bau & Dulski 1996; Goldstein & Jacobsen 1988; Veríssimo *et al.* 2007; Leybourne & Johansson 2008; Hughes *et al.* 1986; Noack *et al.* 2014; Devert *et al.* 2015; Moller *et al.* 2014; Santos 2015), o fracionamento e anomalias dos ETR pode ser verificado por meio de algumas razões e equações. A normalização dos ETR por valores padrões deve ser precedida a estas verificações. Como valores padrões de ETR, foram utilizados os valores de PAAS (*Post-Arquean Australian Sedimentary*) definidos por McLennan *et al.* (1989) para as amostras de sedimentos e águas.

A Equação 1 apresenta a forma de cálculo para verificação de anomalias de európio:

$$\frac{Eu}{Eu^*} = \frac{Eu_n}{(Sm_n * Gd_n)^{0,5}} \quad (1)$$

Onde o subscrito “n” indica o resultado normalizado.

A Equação 2 também é utilizada para verificação de anomalias de európio, especialmente onde o gadolínio possa ter interferências antrópicas.

$$\frac{Eu}{Eu^* 2} = \frac{Eu_n}{Sm_n^{0,67} * Tb_n^{0,33}} \quad (2)$$

A Equação 3 é utilizada para o cálculo de anomalias de cério.

$$\frac{Ce}{Ce^*} = \frac{3 * Ce_n}{(2 * La_n + Nd_n)} \quad (3)$$

E a equação 4 é utilizada para o cálculo de anomalias de gadolínio

$$Gd^* = \frac{Gd_n}{(0,33 * Sm_n + 0,67 * Tb_n)} \quad (4)$$

A equação 4 para o reservatório de Promissão foi parcialmente alterada. Em função dos resultados de Tb terem ficado abaixo do limite de quantificação em várias amostras da coluna de água, este elemento foi substituído pelo Dy, e mantida as mesmas proporções da equação original, conforme equação 5. Este tipo de substituição é usual, e já foi utilizada por Moller *et al.* (2014), com um pequeno ajuste para reequilibrar as proporções dos ETRs.

$$Gd^*2 = \frac{Gd_n}{(0,50 * Sm_n + 0,50 * Dy_n)} \quad (5)$$

Também foi utilizada a equação (6) proposta por Kulaksiz & Bau (2007) para quantificar anomalias de Gd em água doce.

$$\frac{Gd_n}{Gd_n^*} = \frac{Gd_n}{10^{(2 * \log Sm_n - \log Nd_n)}} \quad (6)$$

O gadolínio antrópico foi calculado de acordo com as equações 7 e 8 propostas por Kulaksiz & Bau (2007), onde “ $Gd_{anthro}$ ” é o Gd antrópico calculado, “ $Gd_{mea}$ ” significa o Gd determinado e “ $Gd_{nat}$ ” é o Gd natural teórico calculado de acordo com a equação 8.

$$[Gd_{anthro}] = [Gd_{mea}] - [Gd_{nat}] \quad (7)$$

$$[Gd_{nat}] = Gd_n^* \times [Gd_{PAAS}] \quad (8)$$

As razões La/Yb, Sm/La e Sm/ Yb são utilizadas para verificar enriquecimentos dos ETRL (La ao Nd) frente aos ETRP (Ho ao Lu); ETRM (Sm ao Dy) sobre ETRL e ETRM sobre ETRP, respectivamente. Tais equações também são calculadas com os resultados já normalizados.

### 5.3 Resultados e discussão

As Tabelas 1 a 7 do Anexo G apresentam os resultados obtidos para as determinações dos ETRs em água circulante, água intersticial, etapas de extração sequencial (associada a carbonatos e trocáveis; óxi-hidróxidos de Fe-Mn; associada a sulfetos e matéria orgânica; e residual) e a concentração total em sedimentos obtidas nos pontos analisados no reservatório de Jurumirim.

Nas amostras de águas circulantes, Tb, Ho, Tm e Lu apresentaram resultados abaixo do LQ ( $0,001 \mu\text{g L}^{-1}$  para os três primeiros e  $0,0005 \mu\text{g L}^{-1}$  para Lu) em algumas amostras filtradas. Todos os demais ETRs foram quantificados nas matrizes analisadas.

As Tabelas 8 a 14 do Anexo G apresentam os resultados obtidos para as determinações dos ETRs em água circulante, água intersticial, etapas de extração sequencial e concentração total em sedimentos obtidas nos pontos analisados no reservatório de Promissão.

Os elementos Tb, Ho, Tm e Lu apresentaram resultados abaixo do limite de quantificação na ampla maioria das amostras de água circulante e em algumas de água intersticial.

Érbio também apresentou resultados abaixo do limite de quantificação ( $0,001 \mu\text{g L}^{-1}$ ) em algumas amostras de água circulante, mas foi quantificado nas demais matrizes.

As Tabelas 15 a 21 do Anexo G apresentam os resultados obtidos para as determinações dos ETRs em água circulante, água intersticial, etapas de extração sequencial e concentração total em sedimentos obtidas nos pontos analisados no reservatório de Ponte Nova.

De forma análoga ao reservatório de Promissão, em Ponte Nova os elementos térbio, Ho, Tm e Lu apresentaram resultados abaixo do limite de quantificação na ampla maioria das amostras de água circulante e em algumas de água intersticial.

Érbio, itérbio e európio apresentaram concentrações abaixo do limite de quantificação ( $0,001 \mu\text{g L}^{-1}$ ) em algumas amostras de água circulante, e foi quantificado nas demais matrizes.

As determinações das concentrações totais dos ETRs nos sedimentos foram realizadas em todas as frações dos perfis coletados nos três reservatórios. Como em todos estes ambientes os perfis sedimentares atingiram o leito original do principal rio formador do reservatório ou então atingiram o solo da região antes do alagamento da área, pode-se avaliar o caráter temporal da distribuição dos ETRs em sedimentos e a evolução de suas concentrações e padrões ao longo do tempo.

### **5.3.1 Reservatório de Jurumirim**

#### **5.3.1.1 Concentrações de ETRs em sedimentos**

A Figura 5.3 apresenta o padrão dos ETRs normalizados pelo PAAS em Jurumirim para as amostras totais de sedimento.

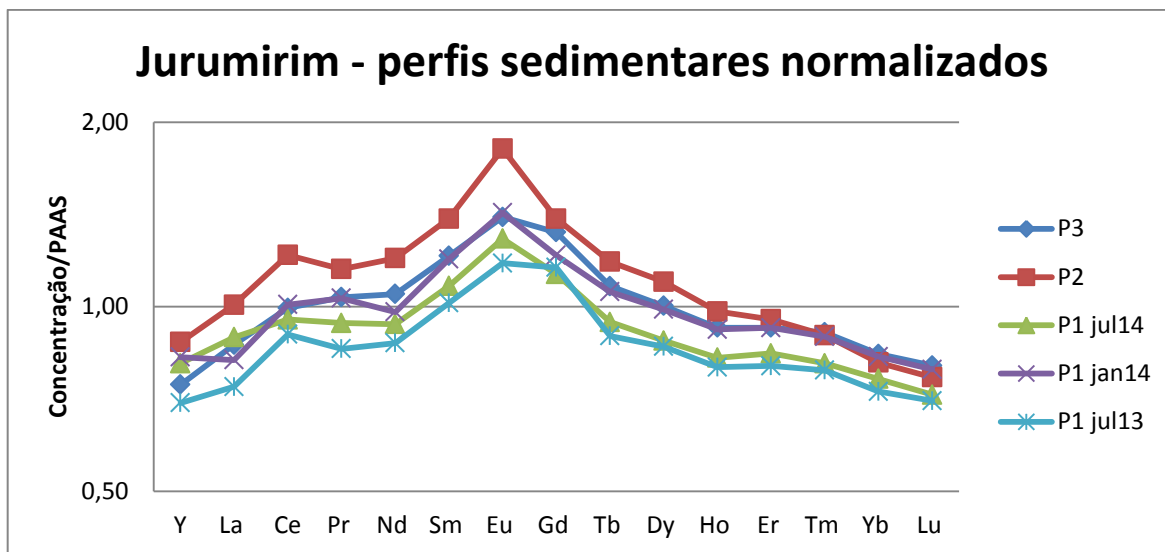


Figura 5.3 – Perfis de sedimento normalizados para os ETRs no reservatório de Jurumirim.

As concentrações obtidas no reservatório de Jurumirim nos três pontos coletados foram bem similares dentro dos perfis. Foi perceptível apenas um discreto incremento no ponto 2 para os ETR leves e médios, com os pesados mantendo as concentrações em valores similares aos demais pontos. As variações das concentrações dos ETRs dentro dos perfis foram pequenas e sem tendências.

A Tabela 5.5 mostra os valores das relações La/Yb; Sm/La; Sm/Yb e Eu/Eu\*.

Tabela 5.5 – Média e mediana das razões La/Yb; Sm/La; Sm/Yb e Eu/Eu\*

		La/Yb	Sm/La	Sm/Yb	Eu/Eu*
P3	média	<b>1,04</b>	<b>1,42</b>	<b>1,46</b>	<b>1,11</b>
	mediana	<b>1,04</b>	<b>1,40</b>	<b>1,46</b>	<b>1,11</b>
P1 **	média	<b>1,05</b>	<b>1,37</b>	<b>1,42</b>	<b>1,14</b>
	mediana	<b>1,05</b>	<b>1,34</b>	<b>1,41</b>	<b>1,17</b>
P2	média	<b>1,26</b>	<b>1,38</b>	<b>1,73</b>	<b>1,30</b>
	mediana	<b>1,19</b>	<b>1,38</b>	<b>1,63</b>	<b>1,29</b>

\*\* média e mediana referentes aos três perfis coletados neste ponto.

De acordo com a Tabela 5.5 e a Figura 5.3, os ETRs em Jurumirim apresentaram a sequência ETRM>ETRL>ETRP em seus sedimentos, com um padrão convexo de distribuição.

Como as concentrações dos ETR ao longo dos perfis foi praticamente constante para os cinco perfis coletados (conforme pode ser visualizado na Figura 5.4, com a distribuição das razões nos perfis), incluindo as fatias do perfil sedimentar relativas a transição rio/represa e a própria fase rio, pode-se concluir que este padrão convexo (enriquecimento dos ETRM frente aos demais, com anomalia positiva de Eu) ocorre desde antes do represamento do rio Paranapanema.

Ocorreu apenas no ponto 2 incrementos pontuais para as razões La/Yb e Sm/Yb, sem alterações para a razão Sm/La em algumas profundidades. Estas alterações estão relacionadas a episódio de grandes vazões registradas no reservatório (vide Capítulo 2). O incremento apenas das razões La/Yb e Sm/Yb indica que houve aporte de ETRs leves e médios neste ponto, mas não há registros similares nos pontos 1 e 3. Estes picos de ETRL e ETRM podem ter sido provocados pela deposição sedimentar oriunda do material particulado carregado através da bacia do rio Taquari (Vide Capítulo 1, Figura 1.2), e não do rio Paranapanema. E pelo fato desta deposição ter relação com episódios de cheias, pode ser relacionada com o material particulado advindo da região de cabeceira do rio Taquari.

Logo, os processos deposicionais dos ETRs estão diretamente associados às rochas fontes da bacia hidrográfica do reservatório de Jurumirim, e que a construção da represa não provocou alterações significativas na deposição dos ETRs, visto que a deposição antes do enchimento do lago (1962/1963) e a deposição atual são similares.

Conforme discutido no Capítulo 1, a área de drenagem de Jurumirim é muito extensa e abrange desde o embasamento cristalino na região onde nasce o rio Paranapanema e seus afluentes de cabeceiras, de rochas predominantemente graníticas, até atingir o reservatório de Jurumirim, que está inserido nas bordas da Província Magmática do Paraná e tem influência dos basaltos da Formação Serra Geral. Desta forma, é esperado que os sedimentos deste reservatório apresentassem uma mistura destas fontes. Squisato *et al.* (2009) e Renner *et al.* (2011), em estudos independentes, estudaram a litogeoquímica de algumas rochas na região próxima a represa de Jurumirim, enquanto Bolonini *et al.* (2013) apresentaram alguns dados litogeoquímicos de granitos do Grupo Açungui, região de cabeceira do rio Paranapanema e do rio Taquari. A Figura 5.5 apresenta o padrão normalizado por PAAS da litogeoquímica das rochas estudadas por estes pesquisadores.

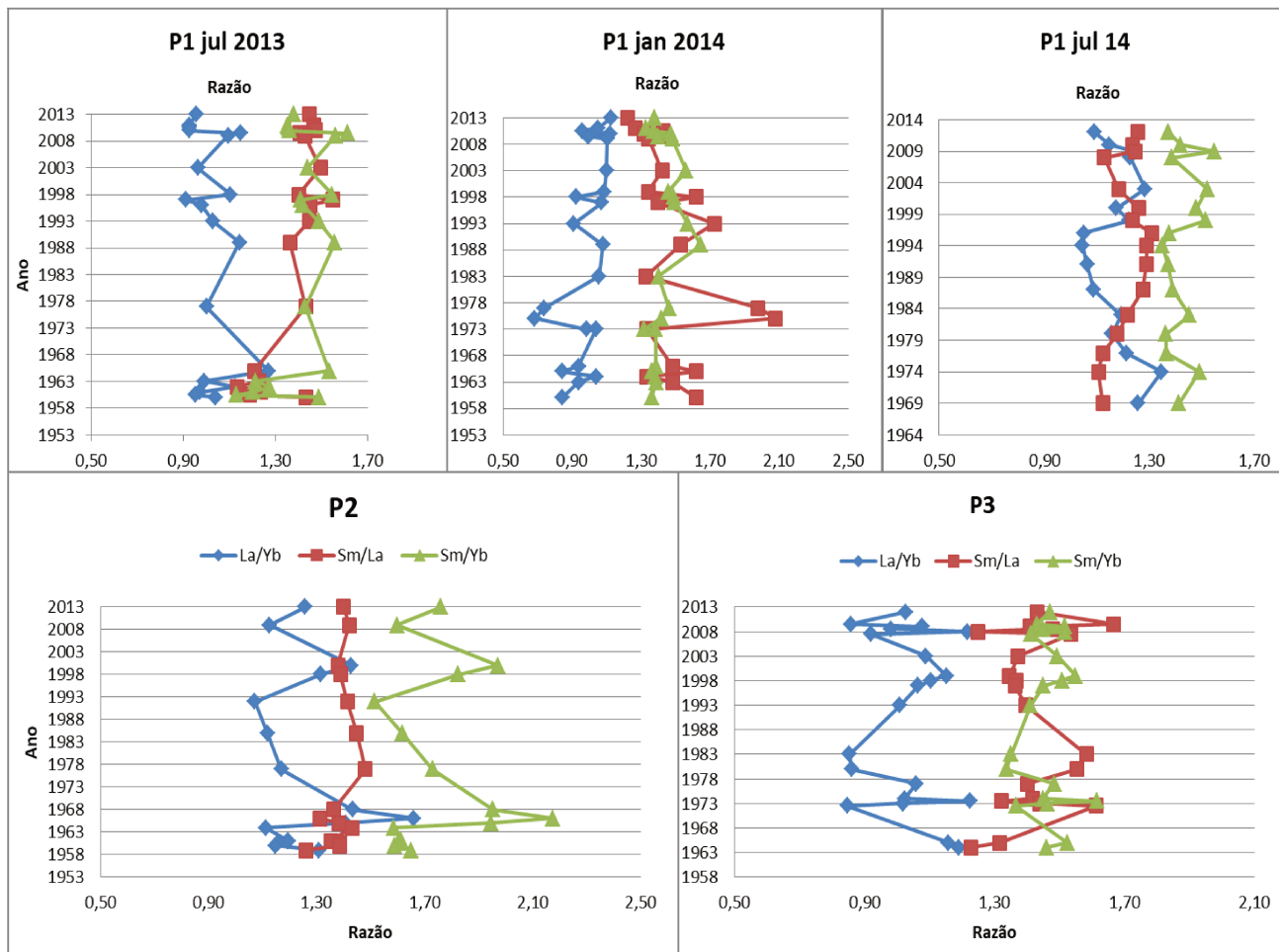


Figura 5.4 – Distribuição das razões La/Yb, Sm/La e Sm/Yb ao longo do tempo nos perfis do reservatório de Jurumirim.

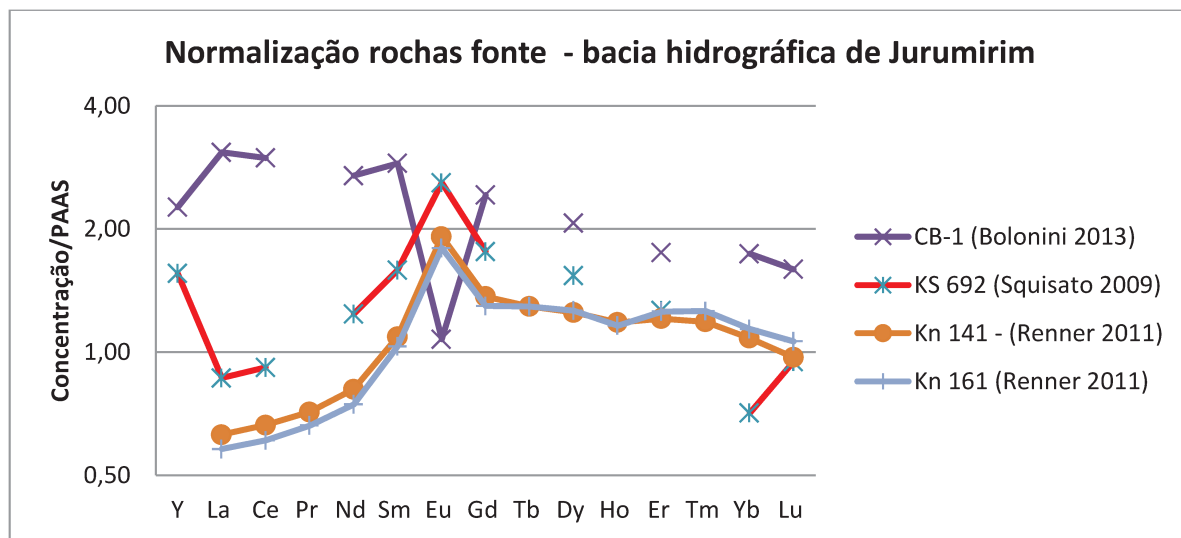


Figura 5.5 – Padrão das rochas fontes da bacia hidrográfica de Jurumirim normalizado por PAAS.

As rochas provenientes dos basaltos estudadas por Squisato *et al.* (2009) apresentaram padrão de enriquecimento dos ETRM, com anomalia positiva de európio e com  $ETRL > ETRP$ . As rochas estudadas por Renner *et al.* (2011) são sedimentares pré-vulcânicas (próximas à Formação Serra Geral) e também apresentaram anomalia positiva de európio e  $ETRM > ETRP > ETRL$ . Já os granitos estudados por Bolonini *et al.* (2013) apresentaram anomalias negativas de európio com  $ETRL > ETRM > ETRP$ . A Tabela 5.6 resume estas razões.

Tabela 5.6 – Razões La/Yb; Sm/La; Sm/Yb e Eu/Eu\* em rochas da bacia hidrográfica de Jurumirim.

	La/Yb	Sm/La	Sm/Yb	Eu/Eu*
KS 692 (Squisato 2009)	1,22	1,84	2,24	1,55
Kn 141 - (Renner 2011)	0,58	1,74	1,01	1,57
Kn 161 (Renner 2011)	0,51	1,78	0,91	1,55
CB-1 (Bolonini 2013)	1,77	0,94	1,66	0,41

A Figura 5.6 apresenta os padrões normalizados dos sedimentos de Jurumirim (o ponto 1 refere-se à média dos três perfis) com as rochas fontes citadas.

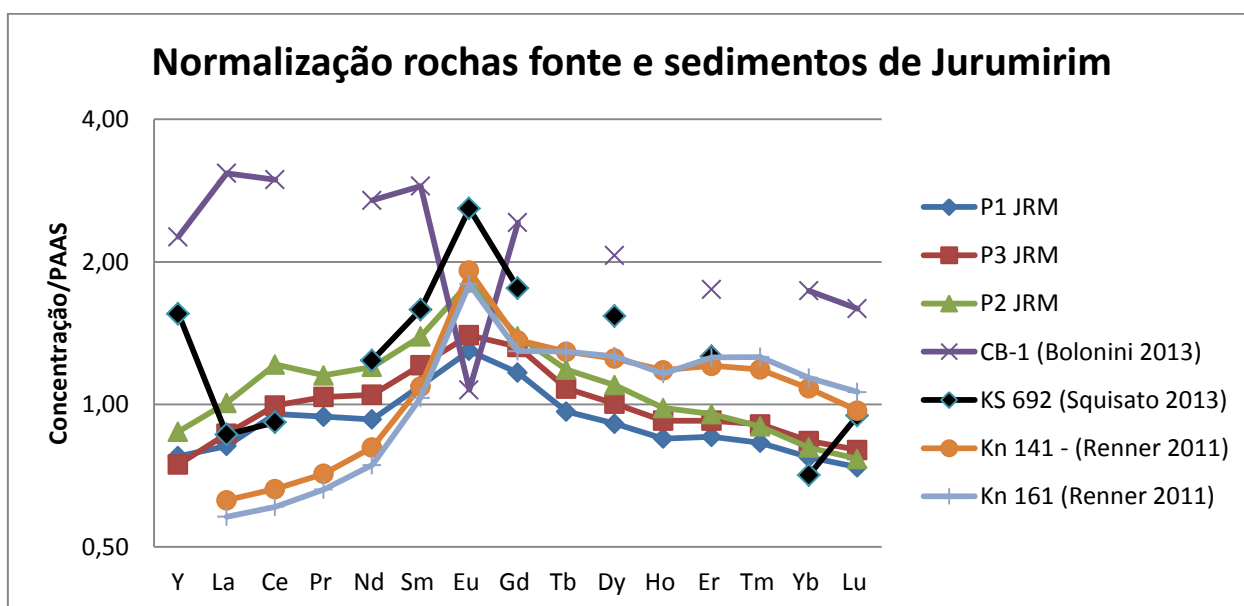


Figura 5.6 – Padrão normalizado por PAAS dos sedimentos e rochas fontes em Jurumirim.

O local do ponto 2 do reservatório de Jurumirim é o que está mais suscetível a influência dos basaltos, pois é o ponto mais próximo à barragem e territorialmente inserido dentro da Formação Serra Geral. Isto explica sua maior razão  $Eu/Eu^*$  (Tabela 5.5) muito mais compatível com os dados da amostra KS-692 de Squisato *et al.* (2009), enquanto os pontos 1 e 3 (mais distantes da barragem e fora do domínio territorial direto da Formação Serra Geral) já apresentaram uma característica maior de mistura das fontes, com a anomalia positiva de európio menor que no ponto 2. Por outro lado, o ponto 2 está mais perto – vide o rio Taquari (Figura 1.2 do Capítulo 1) – dos granitos, o que explica as razões  $La/Yb$  e  $Sm/Yb$  mais elevadas para este ponto.

A mistura das fontes provoca o formato de padrão normalizado convexo observado nos três pontos de Jurumirim, visto que tanto os granitos observados por Bolonini *et al.* (2013) quanto às demais amostras de Squisato *et al.* (2009) e Renner *et al.* (2011) apresentaram padrões de ETRM superiores a unidade. O Ponto 3, o mais a montante no reservatório e portanto com mais influência dos granitos, foi o ponto que apresentou a menor anomalia de európio e o formato convexo mais suave dentre os pontos observados, com a maior razão  $Sm/La$  e menor valor de  $Eu/Eu^*$  entre os pontos aqui observados. Este padrão convexo e com menor pico do  $Eu$  é característico das misturas das fontes graníticas, das rochas sedimentares pré-vulcânicas da Bacia do Paraná e com pequena influência dos basaltos da Formação Serra Geral. O ponto 1, com mais influência dos basaltos e menor dos granitos, evidenciou uma maior anomalia de európio, com o formato convexo mantido. O ponto 2, por outro lado, apresenta composição muito similar aos basaltos analisados por Squisato *et al.* (2009), com anomalia positiva de  $Eu$  e razões  $La/Yb$  maiores que a unidade.

#### **5.3.1.2 Extração sequencial**

Em Jurumirim, a extração sequencial para os ETRs apresentou resultados sem tendências, com os ETRs mantendo suas concentrações dentro das fases e ao longo dos perfis.

As Figuras 5.7 e 5.8 apresentam a distribuição percentual dos ETRs nos pontos 1 e 3 distribuídos pelas frações agrupadas – Carbonatos e trocável; matéria orgânica e sulfetos; associada a óxidos de  $Fe/Mn$ ; e residual. Para o ponto 1, os resultados refletem a média dos três perfis coletados.

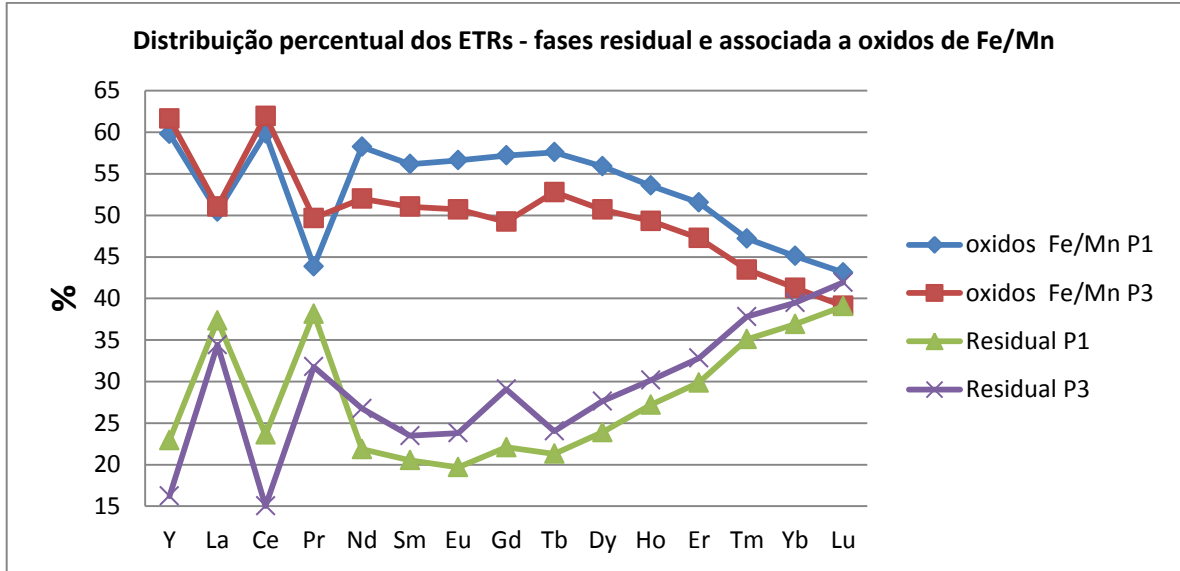


Figura 5.7 – Distribuição dos ETRs nas fases associadas aos sedimentos (óxidos de Fe/Mn e residual) em Jurumirim.

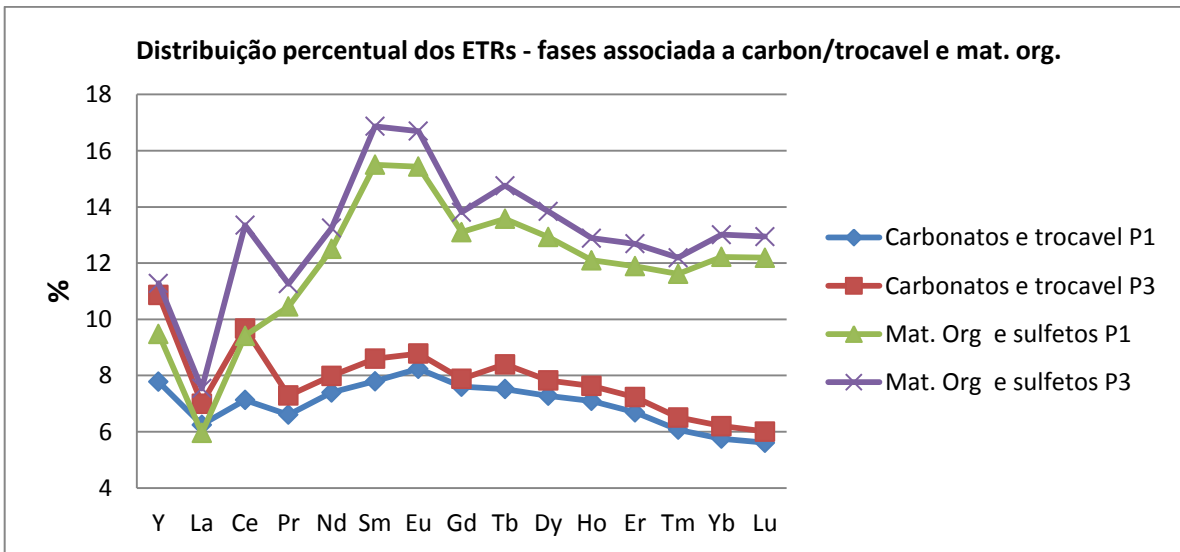


Figura 5.8 – Distribuição dos ETRs pelas fases associadas aos sedimentos (matéria orgânica e sulfetos; carbonatos e trocável) em Jurumirim.

Na fase associada a carbonatos e trocável, os ETRs ficaram no limiar de 10%, com os  $ETRM > ETRL > ETRP$ . A fase associada a sulfetos e matéria orgânica também apresentou percentuais baixos, ao redor dos 10-15% para todos os ETRs, com os  $ETRM > ETRP > ETRL$ .

A fração associada aos oxi-hidróxidos de Fe/Mn foi a mais significativa para todos os ETRs. Contudo, foi observada a tendência de os  $ETRM$  estarem em proporção superior a 50% em ambos os perfis, enquanto que os  $ETRP$  mostraram proporção ao redor dos

40 – 50%. Cério, La e Pr proporcionaram efeitos distintos nestas extrações, enquanto cério foi o elemento com maior afinidade com os oxi-hidróxidos de Fe/Mn, o praseodímio e o La foram elementos que apresentaram menores proporções dentre os ETRL para esta fase. O inverso foi observado na fase residual, na qual, o Pr foi encontrado em maiores proporções, assim como o La e os ETRP.

Conforme já demonstrado por Davranche *et al.* (2008) e Laveuf & Cornu (2009), os oxi-hidróxidos Mn têm ação preferencial de sorção pelo Ce, em virtude do seu estado de oxidação +4. Isto justifica o comportamento diferenciado deste ETR frente aos demais, em relação ao maior percentual presente na fase dos oxi-hidróxidos de Fe/Mn notadamente quando comparado aos seus pares mais leves (La e Pr), devido à redução que pode ocorrer nestes ambientes, proporcionando a formação de anomalias positivas de Ce.

Sobre os ETRP, eles formaram um padrão de decréscimo de percentual bem escalonado na fase de óxidos de Fe/Mn, como pode ser observado na Figura 5.7. E de forma oposta, na medida em que ocorreu o aumento da massa, aumentou o percentual da fase residual destes elementos.

Pode-se concluir que em Jurumirim os ETRM e Ce mostraram maiores afinidade com fases de óxi-hidróxidos de Fe/Mn, enquanto os ETRP apresentaram tendência de correlação negativa (diminuição) com estas em função do incremento de suas massas atômicas. Neste caso, aumento percentual de ETRP na fase residual foi verificado. Para o Lu, particularmente, estas fases foram praticamente iguais. Lantânio e Pr apresentaram comportamento mais similar aos ETRP, com maior afinidade à fase residual do que aos oxi-hidróxidos de Fe/Mn, quando comparados aos demais ETRL. Cério e Y apresentaram comportamento bem mais voltado às fases mais lábeis do que quaisquer outros ETRs, com os menores percentuais na fase residual semelhante aos ETRM.

### **5.3.1.3 Água intersticial e coluna de água**

As águas intersticiais de Jurumirim apresentaram os ETRs na amostra filtrada (<0,20 µm) em valores muito próximos a 40% da amostra total (não filtrada). Isto é um indicativo de que a maior parte das concentrações dos ETRs está presente no material coloidal/particulado em Jurumirim.

A Figura 5.9 apresenta o padrão das concentrações de ETRs normalizados por PAAS para as concentrações determinadas na fase dissolvida.

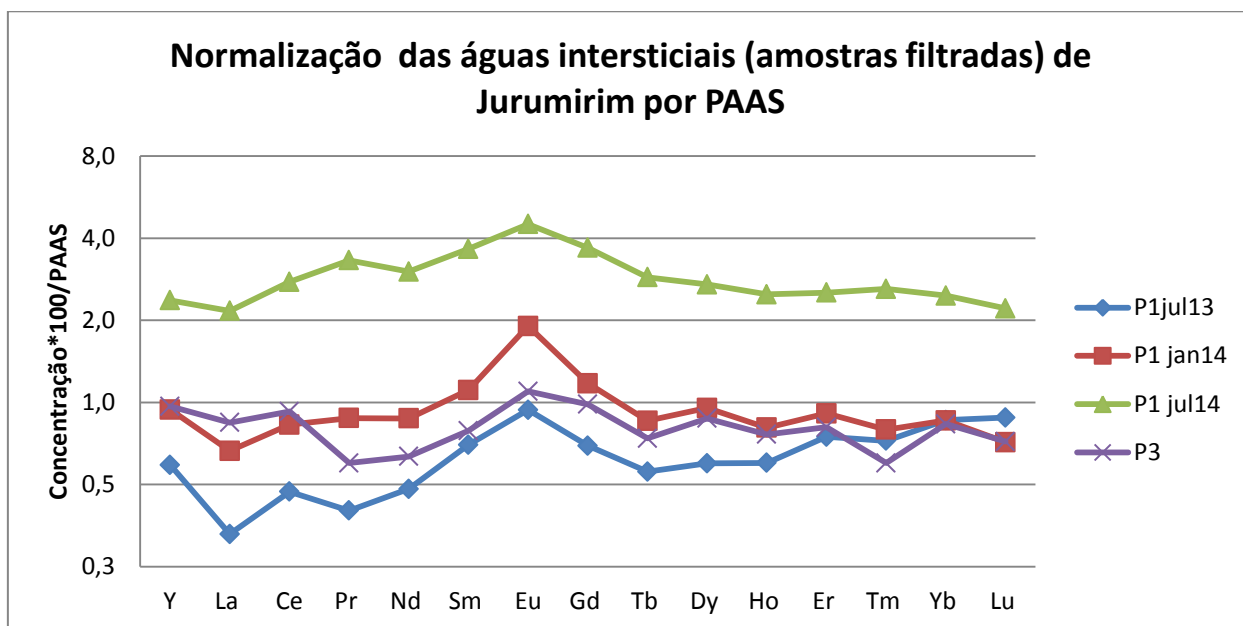


Figura 5.9 – Normalização por PAAS dos ETRs em águas intersticiais extraídas em Jurumirim.

Estes padrões foram muito similares aos obtidos para as amostras de sedimento, com anomalia positiva de Eu e os ETRM superiores aos ETRL e ETRP. Entretanto, houve uma inversão nas águas, o padrão demonstrou que as concentrações de ETRP foram discretamente maiores do que ETRL em águas intersticiais. Conforme discutido por Bosco (2015), os ETRP têm maior poder de complexação e são mais solúveis do que os ETRL.

A Tabela 5.7 apresenta as razões La/Yb, Sm/La, Sm/Yb e Eu/Eu\* para as águas intersticiais e também as águas circulantes em Jurumirim. Estas razões nas águas intersticiais para o ponto 1 coletado em julho de 2013 divergem das coletas posteriores neste ponto. Em julho de 2013, todas as razões entre ETRL, ETRM e ETRP indicaram que a proporção dos ETRL era menor do que os demais ETRs, e os ETRM discretamente menores que ETRP. Nesta campanha, os dados de campo indicaram uma condição um pouco mais oxidante para a água de fundo, com  $E_H$  de 270 mV e OD igual a 6,5 mg L<sup>-1</sup> (Anexo F), e estas condições diminuiriam a solubilização dos ETRL frente aos ETRP e ETRM.

Tabela 5.7 – Razões La/Yb, Sm/La, Sm/Yb e Eu/Eu\* para água intersticial e circulante em Jurumirim.

<b>Intersticial</b>	<b>La/Yb</b>	<b>Sm/La</b>	<b>Sm/Yb</b>	<b>Eu/Eu*</b>
P1jul13	<b>0,38</b>	<b>2,13</b>	<b>0,81</b>	<b>1,35</b>
P1 jan14	<b>0,77</b>	<b>1,67</b>	<b>1,29</b>	<b>1,67</b>
P1 jul14	<b>0,88</b>	<b>1,69</b>	<b>1,48</b>	<b>1,23</b>
P3	<b>1,01</b>	<b>0,93</b>	<b>0,94</b>	<b>1,25</b>
<b>Circulante</b>	<b>La/Yb</b>	<b>Sm/La</b>	<b>Sm/Yb</b>	<b>Eu/Eu*</b>
P1jul13	<b>1,08</b>	<b>1,70</b>	<b>1,83</b>	<b>1,22</b>
P1 jan14	<b>1,03</b>	<b>1,70</b>	<b>1,75</b>	<b>1,13</b>
P1 jul14	<b>1,05</b>	<b>1,61</b>	<b>1,69</b>	<b>**</b>
P3	<b>1,11</b>	<b>1,82</b>	<b>2,03</b>	<b>1,03</b>

\*\* valores abaixo do LQ

Esta condição pode ter sido o diferencial para uma menor fixação dos ETRP (e um pouco dos ETRM), aos sedimentos, com maior disponibilização destes para as águas intersticiais, ocasionando esta dinâmica distinta em relação aos demais pontos coletados, apesar das concentrações serem muito similares. Em janeiro de 2014 e julho de 2014, as condições de  $E_H$  e OD indicaram condições mais redutoras para o sedimento ( $E_H$  110mV e OD = 0,21 em jan/2014 e  $E_H$  90 mV e OD = 0,68 em jul/2014). Nestas condições, as razões La/Yb, Sm/Yb e Sm/La apontaram resultados mais similares entre si, o que sinalizou uma melhor solubilização dos ETRL em condições mais redutoras do que os ETRM e ETRP, conforme já citado por alguns autores em ambientes fluviais (Viers *et al.* 2009; Goldstein & Jacobsen 1988; Deberdt *et al.* 2002; Leybourne & Johansson 2008, Sultan & Shazili 2009).

No ponto 3 estas razões foram um pouco mais distintas, indicando valores muito próximos à unidade e um equilíbrio maior entre as concentrações dos ETRL, ETRP e ETRM, bem similar ao padrão observados nos sedimentos para este local (Figura 5.3).

A Figura 5.10 apresenta a normalização dos ETRs por PAAS para as águas circulantes em Jurumirim. Em geral, estas águas apresentaram padrões na ordem ETRM>ETRL>ETRP. No ponto 3, estas razões foram maiores do que as observadas no ponto 1, assim como as concentrações absolutas de todos os ETRs. Este ponto também apresentou uma anomalia positiva de európio bem mais discreta ( $Eu/Eu^* = 1,03$ ) do que nas campanhas coletadas no ponto 1 ( $Eu/Eu^* > 1,2$  em média). A localização deste ponto, mais à montante no reservatório, localizado mais próximo à borda da Província Magmática do Paraná e por ser o

ponto com maior influência dos granitos da Formação Açungui, região de cabeceira do rio Paranapanema, esclarecem o motivo da dinâmica distinta de ETRs neste local.

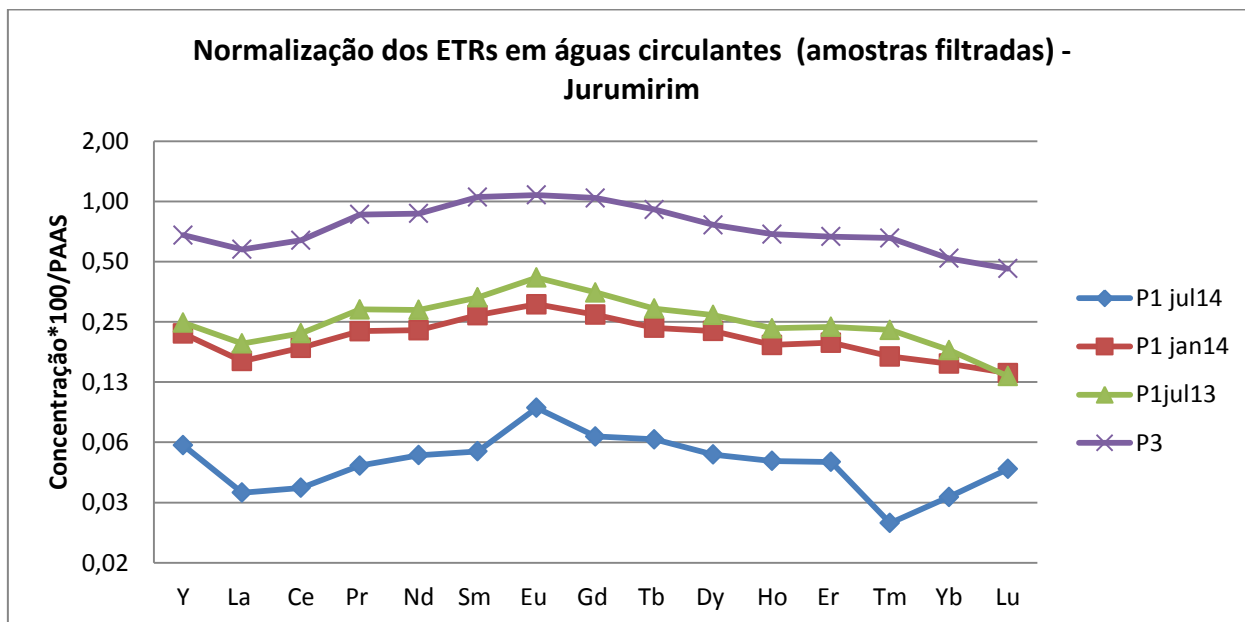


Figura 5.10 – Normalização por PAAS dos ETRS em águas circulantes em Jurumirim.

Debert *et al.* (2002), Viers *et al.* (2009) e Goldstein & Jacobsen (1988) apontaram que a maioria dos rios mundiais apresenta comportamento diferente do reservatório de Jurumirim aqui estudado. Segundo tais autores, o padrão mais comum são os ETRP enriquecidos em relação aos ETRL, e poucos rios apresentaram comportamento similar ao reservatório de Jurumirim. Segundo estes autores, razões normalizadas entre ETRL e ETRP (La/Yb) foram sempre inferiores a 1,0 para a maioria dos rios estudados, com exceção de alguns rios africanos. Os autores apontam que a formação litológica nos quais as bacias hidrográficas estão situadas é o principal fator para este comportamento em relação aos enriquecimentos de ETR leves e pesados.

O padrão obtido para o mês de julho de 2014 apresentou concentrações bem menores do que as campanhas anteriores. O transporte dos ETRs nas águas do reservatório de Jurumirim se dá pelo material particulado/coloidal carregado pelas águas (também chamado de sedimentos em suspensão). - Para os ETRs, ao redor de 40% da concentração total estão na fase dissolvida, e os 60% restantes no material particulado/coloidal transportado pela água circulante.

Em julho de 2014, o estado de São Paulo passava por um período grande de estiagem. Dois resultados obtidos em campo ilustram isto. A profundidade da represa foi a menor dentre as campanhas de coleta (27 metros – com a média das demais campanhas superior a 30 metros). A transparência da água obtida em Jurumirim nesta campanha foi a maior entre as campanhas (3,6 m – contra valores entre 2 e 3 m nas demais). Com base nestes dados, pode-se concluir que o déficit hídrico resultou em menos material particulado transportado para dentro do reservatório, com implicações (aumento) na transparência da água (maiores detalhes desta dinâmica hídrica estão no Capítulo 4) E este menor transporte de material coloidal/particulado foi fundamental para as menores concentrações de ETRs em julho de 2014.

Quando se comparam os resultados da coluna de água com a água intersticial, conforme indicado nas Figuras 5.11 e 5.12, verifica-se que não houve um incremento significativo nas concentrações dos ETRs entre a coluna de água e a água intersticial. Estas figuras apresentam a dinâmica para os elementos Yb e La (um ETRP e um ETRL). Os gráficos foram construídos com os resultados das amostras dissolvidas.

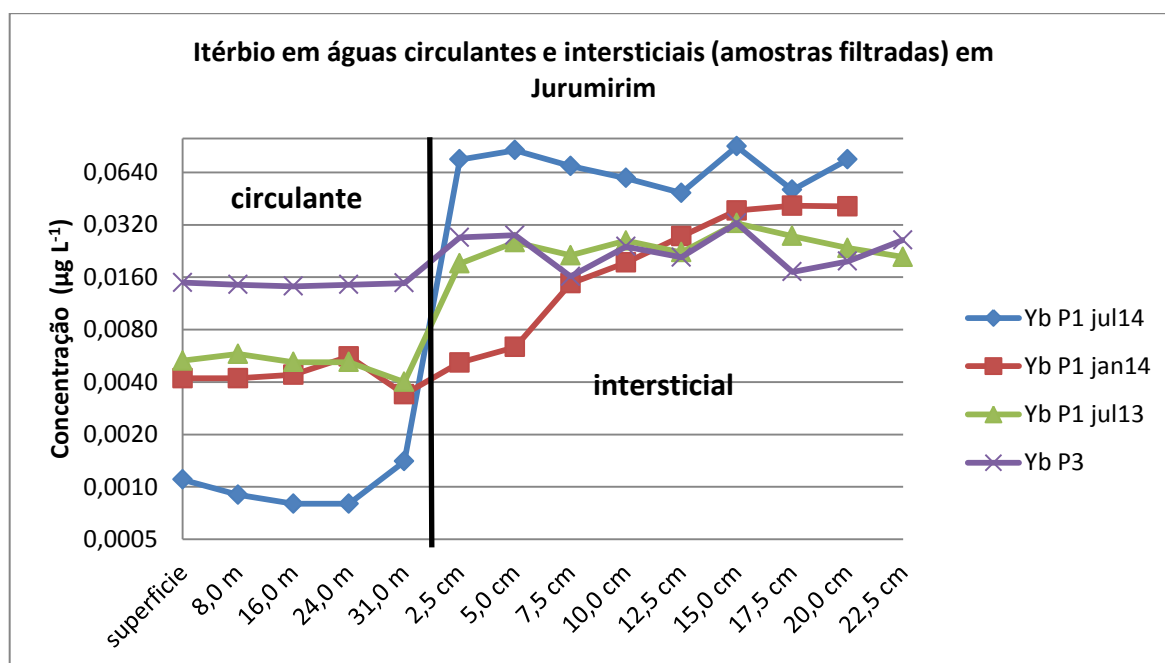


Figura 5.11 – Concentrações de Yb em amostras de das águas circulantes e intersticiais em Jurumirim.

Exceção feita ao perfil de Julho de 2014, coletado em situação atípica na bacia de drenagem do reservatório, o incremento entre as concentrações da coluna de água para a água intersticial é de no máximo cinco vezes, isto pode indicar que provavelmente os ETRs em Jurumirim foram fixados no sedimento, e não disponibilizados deste para a água.

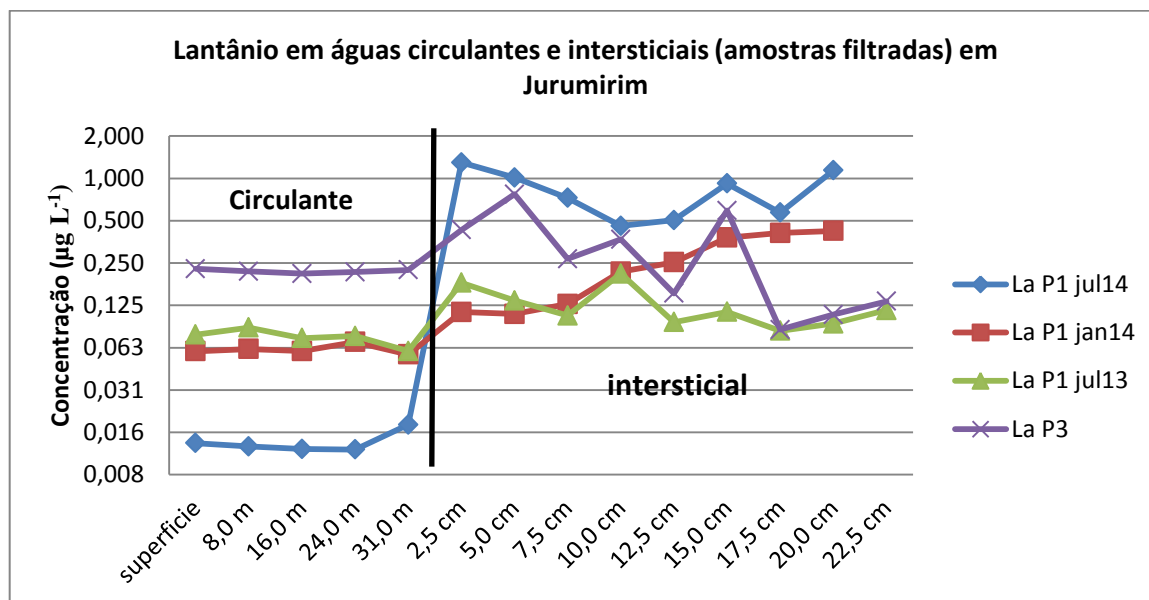


Figura 5.12 – Concentrações de La em amostras de águas circulantes e intersticiais em Jurumirim.

## 5.3.2 Reservatório de Promissão

### 5.3.2.1 ETRs em Sedimentos

Em Promissão, a Figura 5.13 apresenta os padrões obtidos em sedimentos normalizados por PAAS.

Neste reservatório ocorreu também uma anomalia positiva de európio com  $Eu/Eu^*$  ao redor de 1,25 e também uma anomalia positiva de cério (ao redor de 1,2), e o padrão do perfil normalizado apresentou a sequencia  $ETRM > ETRL > ETRP$ . A Tabela 5.8 apresenta as médias das razões dentro de cada perfil para  $La/Yb$ ,  $Sm/La$ ,  $Sm/Yb$  e  $Eu/Eu^*$ .

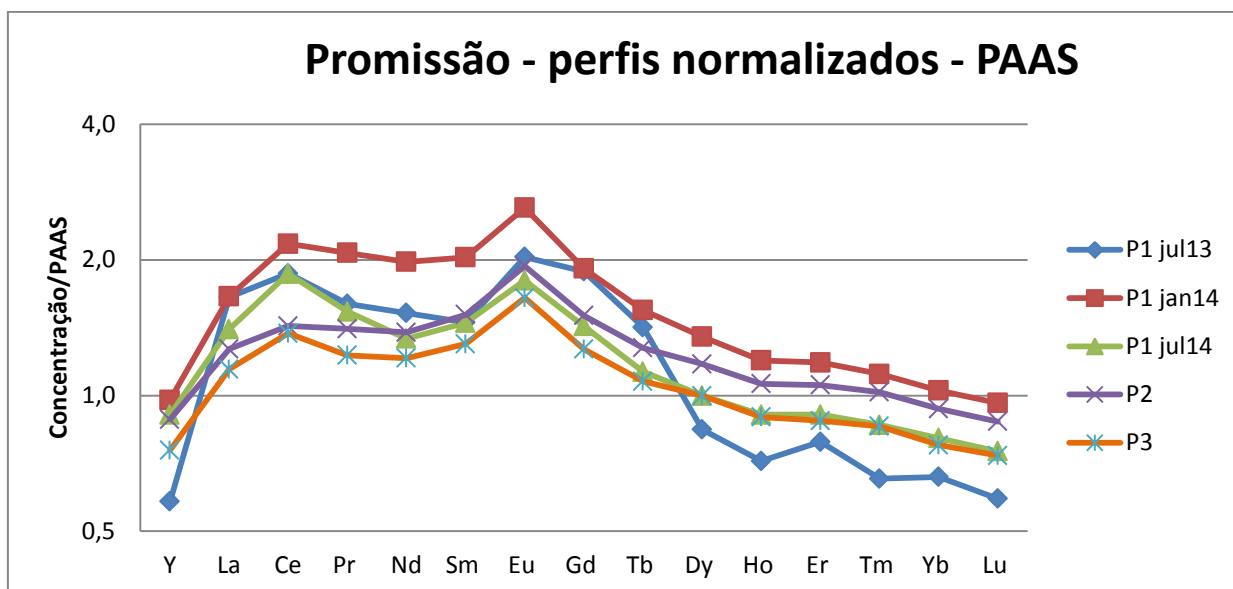


Figura 5.13 – Padrão normalizado por PAAS dos perfis sedimentares coletados em Promissão.

Tabela 5.8 – Razões (o valor apresentado é a média das razões dos perfis) La/Yb, Sm/La, Sm/Yb, Eu/Eu\* e Ce/Ce\* nos perfis coletados em Promissão.

		La/Yb	Sm/La	Sm/Yb	Eu/Eu*	Ce/Ce*
P3	média	<b>1,48</b>	<b>1,16</b>	<b>1,69</b>	<b>1,28</b>	<b>1,18</b>
	mediana	<b>1,49</b>	<b>1,15</b>	<b>1,69</b>	<b>1,29</b>	<b>1,17</b>
P2	média	<b>1,37</b>	<b>1,19</b>	<b>1,63</b>	<b>1,29</b>	<b>1,10</b>
	mediana	<b>1,36</b>	<b>1,18</b>	<b>1,63</b>	<b>1,29</b>	<b>1,09</b>
P1 jul14	média	<b>1,76</b>	<b>1,03</b>	<b>1,80</b>	<b>1,25</b>	<b>1,35</b>
	mediana	<b>1,72</b>	<b>1,08</b>	<b>1,74</b>	<b>1,24</b>	<b>1,33</b>
P1 jan14	média	<b>1,60</b>	<b>1,23</b>	<b>1,95</b>	<b>1,31</b>	<b>1,24</b>
	mediana	<b>1,58</b>	<b>1,18</b>	<b>2,03</b>	<b>1,33</b>	<b>1,26</b>
P1 jul13	média	<b>2,52</b>	<b>0,89</b>	<b>2,22</b>	<b>1,23</b>	<b>1,17</b>
	mediana	<b>2,56</b>	<b>0,89</b>	<b>2,28</b>	<b>1,23</b>	<b>1,20</b>

A Figura 5.14 apresenta a evolução das razões La/Yb, Sm/La, Sm/Yb nos perfis coletados em Promissão.

O perfil datado (mais detalhes no Capítulo 2) apresentou dinâmica bem distinta após o início da construção do sistema de reservatórios em cascata, no início da década de 1960. Este perfil indicou um incremento ao longo dos anos dos ETRs leves em relação aos pesados. Enquanto os pontos 2 e 3 indicaram um incremento das razões La/Yb e Sm/Yb e decréscimo das razão Sm/La ao longo do tempo, os perfis do ponto 1 indicaram tendências distintas nas três coletas. O de julho de 2014 é similar aos dos pontos 2 e 3, porém com a razão Sm/La estável ao longo do perfil.

Em julho de 2013 no ponto 1 foi observado uma tendência inversa, as razões La/Yb e Sm/La diminuíram ao longo do tempo após a formação do reservatório (1974). Em janeiro de 2014 as razões La/Yb e Sm/Yb que eram maiores antes da construção da represa, diminuíram seus valores após a construção e voltaram a apresentar incremento destas razões a partir da década de 1990. Conforme já discutido no Capítulo 2, os sedimentos de Promissão apresentaram grande variabilidade de tendências e concentrações, e os ETRs seguiram esta dinâmica. Entretanto, com exceção ao perfil de julho de 2013 no ponto 1, todos os demais perfis apresentaram incremento dos ETR leves em relação aos pesados ao longo do tempo em Promissão. A Figura 5.15 apresenta o padrão normalizado por PAAS de rochas fontes da região de Promissão analisadas por Squisato *et al.*(2009) (Basaltos da Formação Serra Geral) e Renner *et al.* (2011) (rochas sedimentares subvulcânicas do Paleozoico).

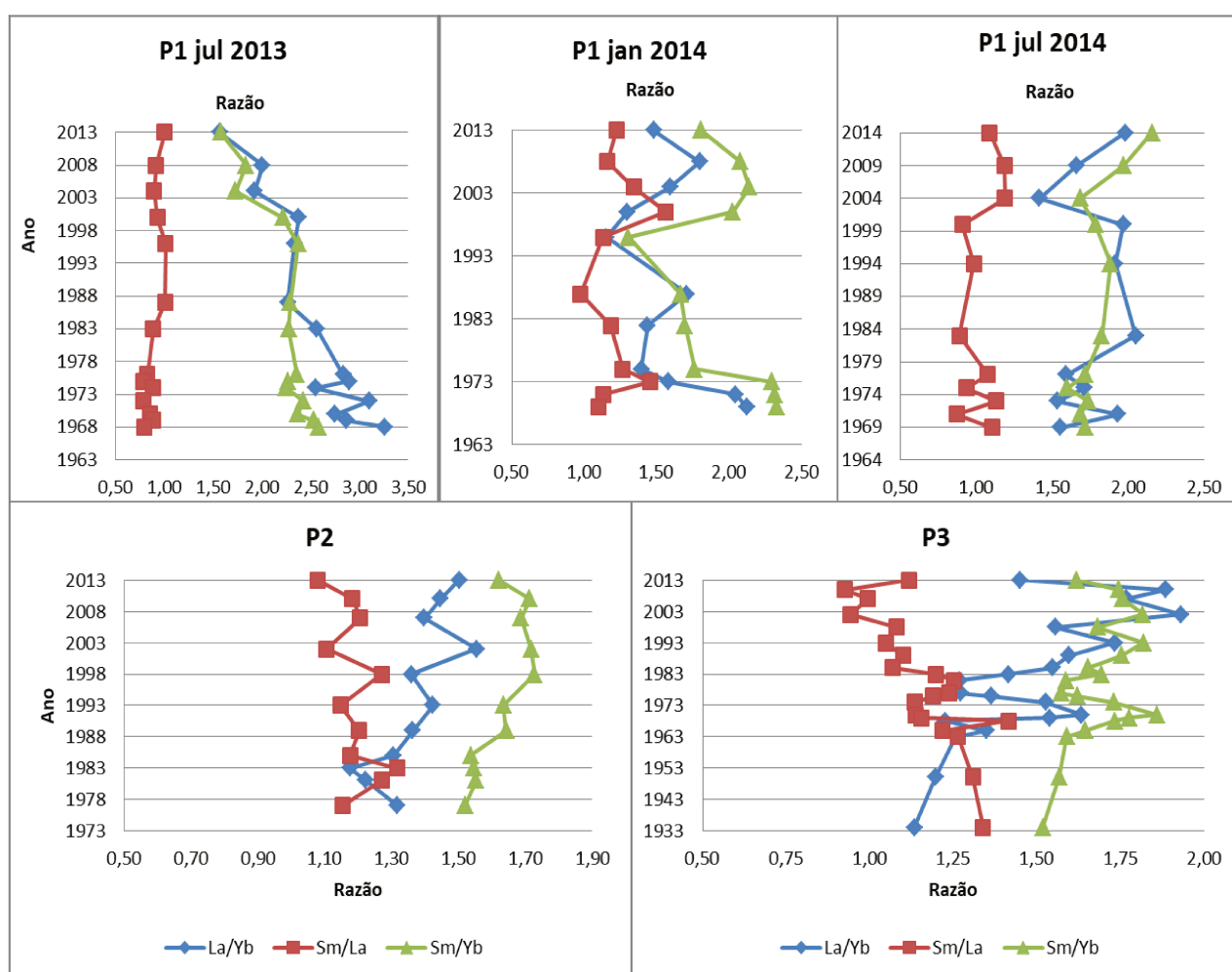


Figura 5.14 – Razões La/Yb, Sm/La e Sm/Yb nos perfis coletados no reservatório de Promissão.

Este dois trabalhos mostraram padrões com anomalia positiva de európio com razão  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  igual a 1,5 em ambos. As razões  $\text{Sm}/\text{La}$  também foram similares, com 1,6 no trabalho de Renner *et al.*(2011) e 1,8 no de Squisato *et al.*(2009). As razões  $\text{La}/\text{Yb}$  e  $\text{Sm}/\text{Yb}$  são as que apresentam maiores variações. Enquanto os Basaltos de Squisato *et al.* (2009) apresentaram resultados de 1,22 e 2,24 para as razões  $\text{La}/\text{Yb}$  e  $\text{Sm}/\text{Yb}$ , Renner *et al.*(2011) obtiveram 0,88 e 1,38, respectivamente, para estas razões. Entretanto, a forma do padrão de normalização dos ETRs destas rochas não é muito distinta, como pode ser observado na Figura 5.15

Porém, a comparação dos resultados dos sedimentos de Promissão com as rochas estudadas na região apresentaram um padrão um pouco diferente. Os sedimentos de Promissão apresentam um padrão mais enriquecido em ETRL e empobrecido em ETRP.

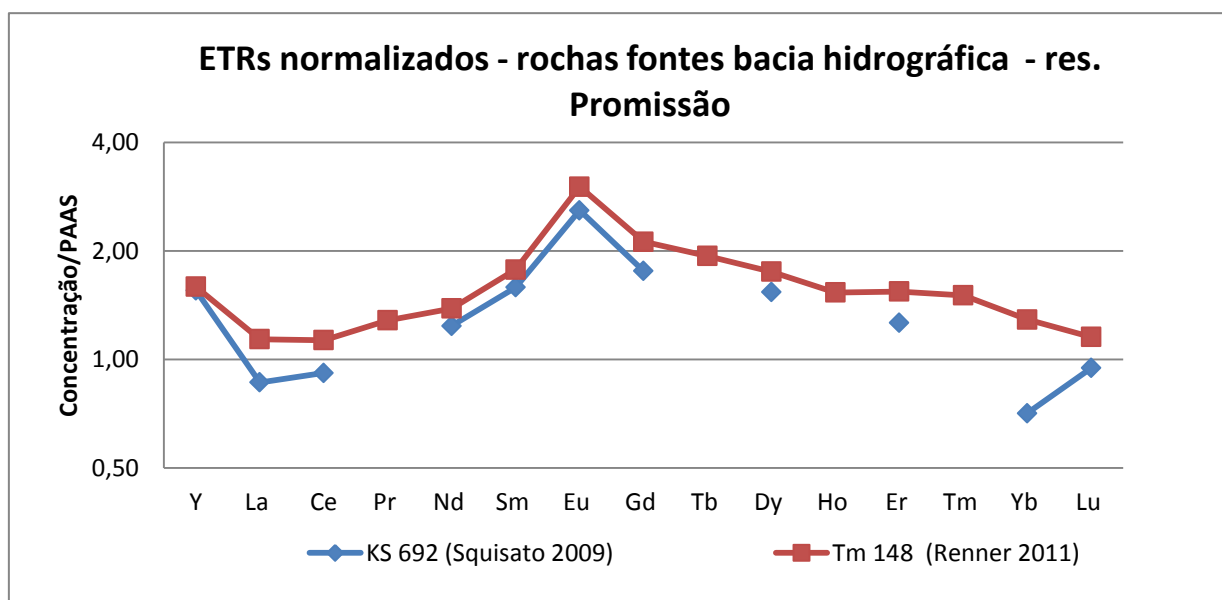


Figura 5.15 – Padrão normalizado por PAAS de rochas fontes nas proximidades de Promissão.

A anomalia de Eu vem da fonte, mas o padrão da fonte é mais enriquecido em ETRP do que os leves, e nos sedimentos ocorre o contrário, com os ETRL bem mais enriquecidos que os pesados em Promissão. A anomalia positiva de Eu nos sedimentos apareceu mais atenuada do que na fonte. A razão  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  nos sedimentos foi ao redor de 1,25 e nas rochas fontes 1,55. Ademais, os sedimentos apresentaram discreta anomalia positiva de Ce, não evidenciada nestas rochas da região.

A pequena anomalia positiva de Ce pode ser consequência de processos de sorção que este sofre (em razão da oxidação do  $Ce^{3+}$  para  $Ce^{4+}$ , que ocorrem em condições ambientais mais oxidantes, similares às que levam à oxidação do  $Mn^{2+}$  para  $Mn^{4+}$ , e incorporação do  $Ce^{4+}$  junto à oxi-hidróxidos de Mn(IV) no material particulado aquático). E uma vez que estes agregados aos sedimentos podem formar micronódulos, mesmo em condições mais redutoras, o Ce permanece como Ce (IV) nestes micronódulos (Pattan *et al.* 2005; Laveuf & Cornu 2009; Och *et al.* 2014, Su *et al.* 2017). Esta anomalia foi mais intensa na coleta de julho de 2014 (Ce/Ce\* de 1,35 em média), onde as condições das águas de fundo apontavam condições um pouco mais oxidantes ( $E_H$  de 188 mV, vide anexo F), assim como toda a coluna de água. Nesta campanha (julho/2014), as águas circulantes apresentaram anomalia negativa de Ce, justamente devido ao fato de condições mais oxidantes propiciarem maior oxidação do Ce (de 3+ para 4+) e este sofrer sorção junto aos oxi-hidróxidos de Mn (IV). Ademais, conforme apontado mais adiante, na seção 5.3.2.2, a extração sequencial demonstrou grande afinidade e percentuais de Ce associados a esta fase sedimentar (oxi-hidróxidos de Fe e Mn).

Provavelmente, Promissão deve ter alguma outra fonte de ETRs que seja mais enriquecida em ETRL. A Figura 5.16 apresenta os padrões obtidos em Promissão e os padrões das rochas regionais.

É importante destacar que o reservatório de Promissão é o quarto reservatório em cascata do rio Tietê (Barra Bonita, Bariri e Ibitinga são os anteriores) e estas sucessivas barragens apresentam como uma das principais características a retenção do material particulado (sedimentos em suspensão) carregado pelas águas. Logo, o efeito dos granitos enriquecidos em ETRL em Promissão, oriundos do embasamento cristalino onde se localizam os principais rios afluentes do Tietê e a própria nascente, pode ser descartado.

Na Figura 5.16, é possível observar que todos os perfis apresentaram padrões com maiores concentrações de ETRL e menores de ERTP quando comparados com as duas rochas fontes da região. Os resultados obtidos para os ETRs nos sedimentos mais antigos deste reservatório estão apresentados na Figura 5.17 (comparados às rochas locais). Estes resultados correspondem às duas últimas frações do perfil do ponto 3. Este perfil, conforme discutido no Capítulo 2, foi datado por  $^{210}Pb$  e estas frações corresponderam à década de 1930, antes do início da construção do sistema de represas do rio Tietê. O padrão normalizado destes sedimentos no rio Tietê antes das construções das represas do sistema em cascata está representado como o padrão da década de 1930.

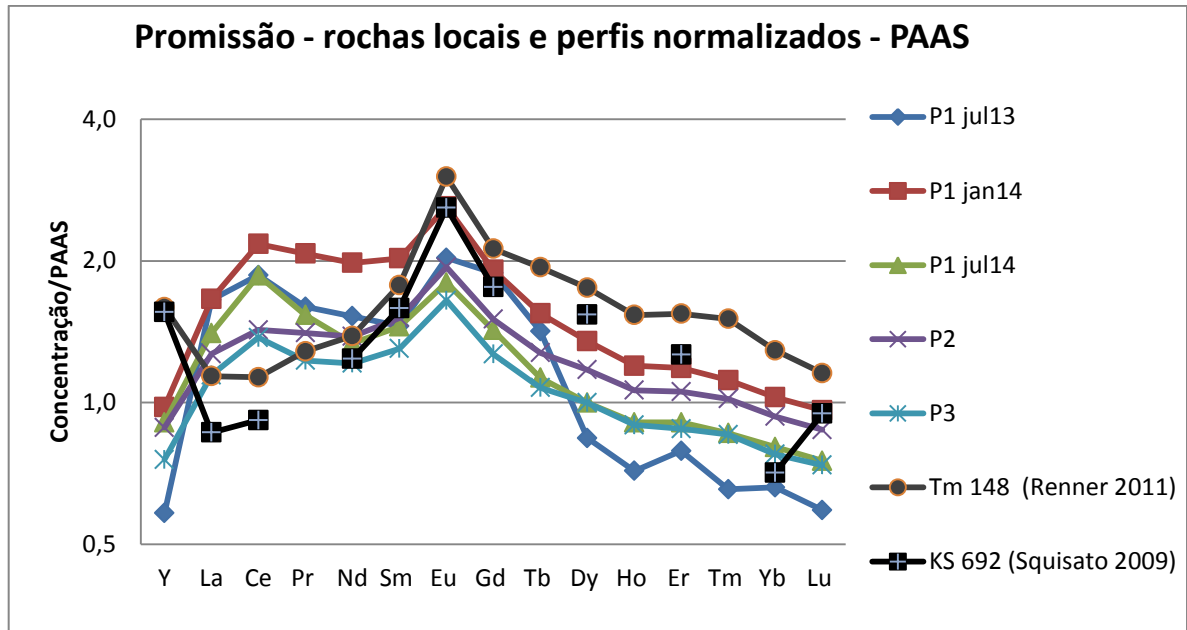


Figura 5.16 – Padrão normalizado por PAAS das rochas locais e perfis sedimentares de Promissão.

Estas frações correspondentes à década de 1930 apresentaram padrão normalizado com boa similaridade às rochas da região. As razões La/Yb foram de 1,16, mais similares às duas rochas regionais (0,88 e 1,22), e bem distintas da média dos perfis, que oscilaram entre 1,4 e 2,5 (Tabela 5.8). Estas razões indicam que os sedimentos recentes são mais enriquecidos em ETRs leves do que os sedimentos da década de 1930 (além das rochas locais).

A provável "segunda fonte" de ETR pode ser oriunda de fertilizantes aplicados no cultivo agrícola da região. Esta região tem uma atividade agroindustrial muito intensa, inclusive antes da formação da represa (1974). A Figura 5.18 apresenta o padrão normalizado por PAAS de alguns fertilizantes e matérias primas para a produção destes no Brasil. Estes apresentaram padrão muito enriquecido em ETRL, com razões La/Yb de até 28,4.

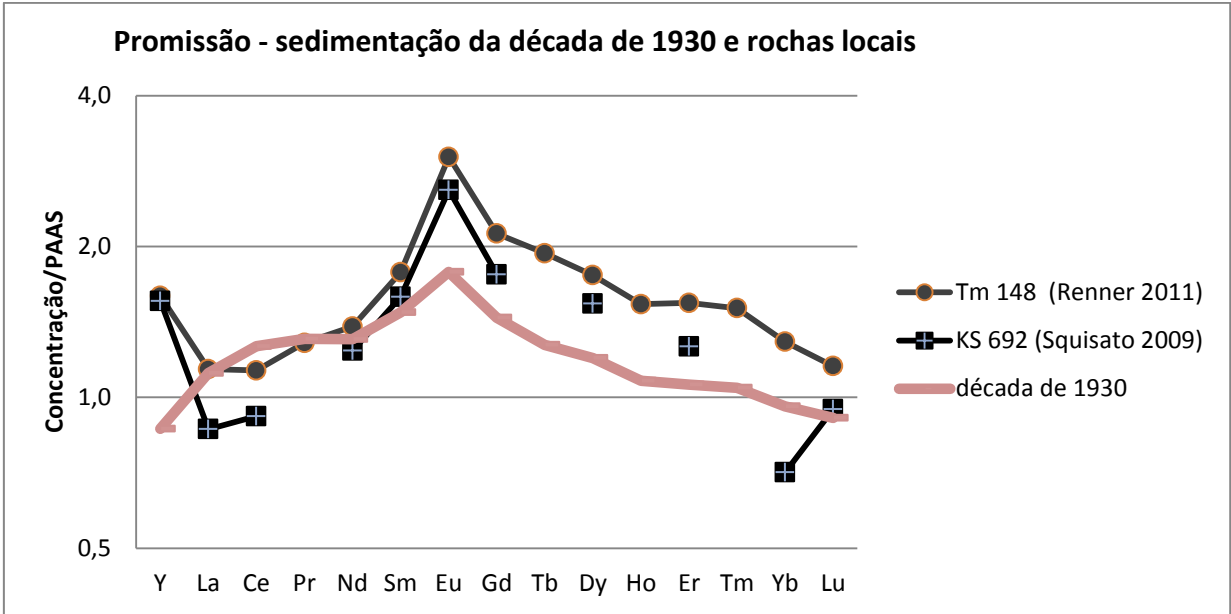


Figura 5.17 – ETRs normalizados relativos às frações do perfil do ponto 3 relativas à década de 1930 e rochas locais.

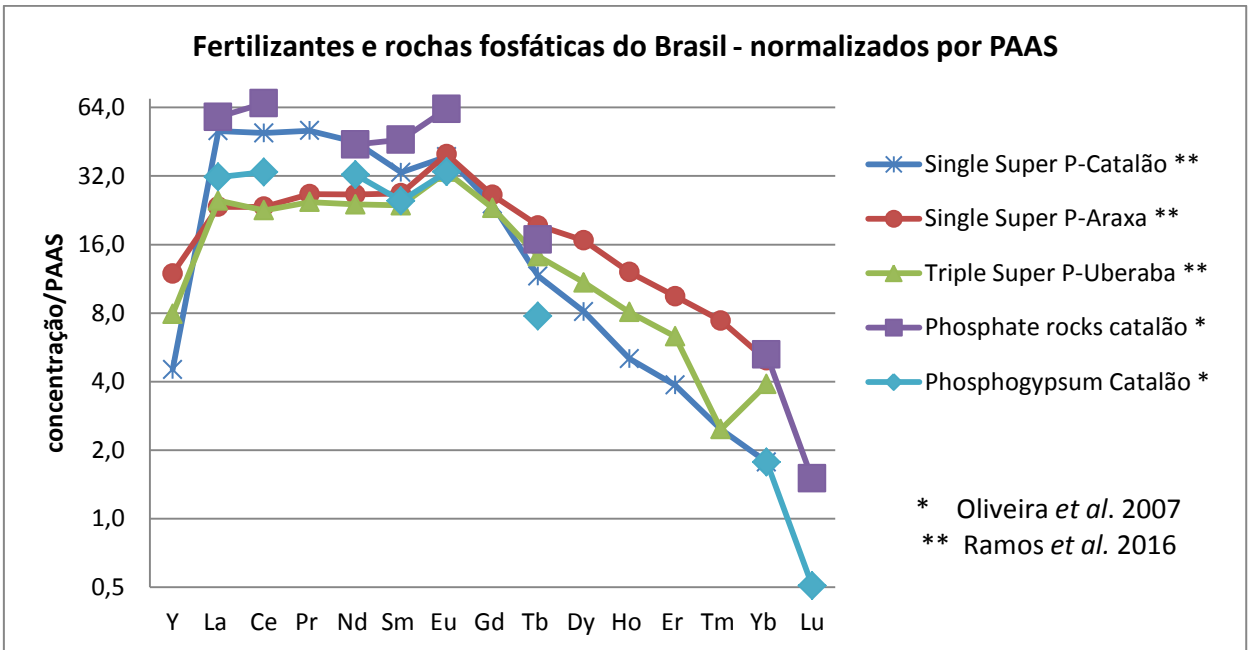


Figura 5.18 – ETRs em fertilizantes e rochas fosfáticas brasileiras normalizados por PAAS.

As razões La/Yb mais altas observadas nos sedimentos de Promissão podem ser oriundas de maiores concentrações de ETRL advindo da aplicação de fertilizantes em áreas no entorno do reservatório.

### 5.3.2.2 Extração sequencial

Os perfis de Promissão indicaram que na fase associada a carbonatos e trocáveis os ETRs apresentaram ligeira tendência de incremento de suas concentrações no sentido da base (fundo) do perfil para o topo (superfície). A Figura 5.19 apresenta as concentrações obtidas nesta fase em todos os perfis de Promissão para o elemento Sm. Todos os demais ETRs apresentaram comportamento similar ao Sm, com concentrações maiores em superfície e menores em profundidade.

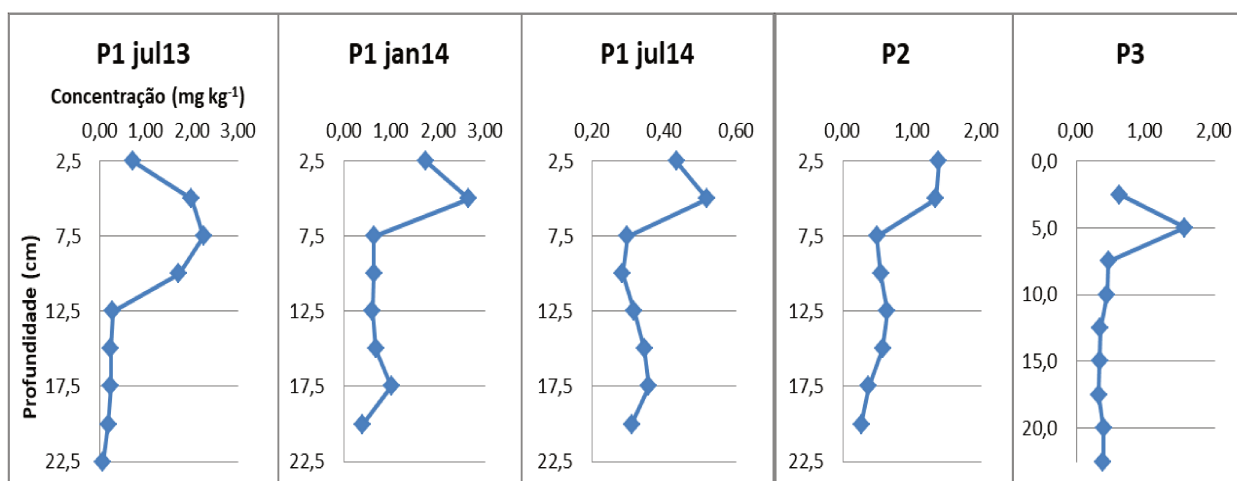


Figura 5.19 – Concentrações de Sm associado a trocáveis e carbonatos em sedimentos de Promissão.

Apesar deste padrão com incremento de concentrações na superfície do sedimento para a fração associada a carbonatos e trocáveis, os percentuais médios desta fase nos sedimentos de Promissão ficaram ao redor de 10-15% da concentração total dos elementos, e os ETRP apresentaram maior percentual extraído nesta fração quando comparado aos ETRM e ETRL. A Figura 5.20 apresenta os percentuais obtidos para os perfis coletados em Promissão. Para o ponto 1, foi considerado a média dos três perfis.

Entretanto, percentuais mais elevados em fases mais lábeis em superfície quando comparados ao fundo do perfil podem ser vistos como indícios de influência antrópica nos sedimentos (Jain 2004; Singh *et al.* 2005), visto que, na base do perfil, em todos os casos, os ETRs apresentaram sempre concentrações menores do que na parte superficial do perfil sedimentar.

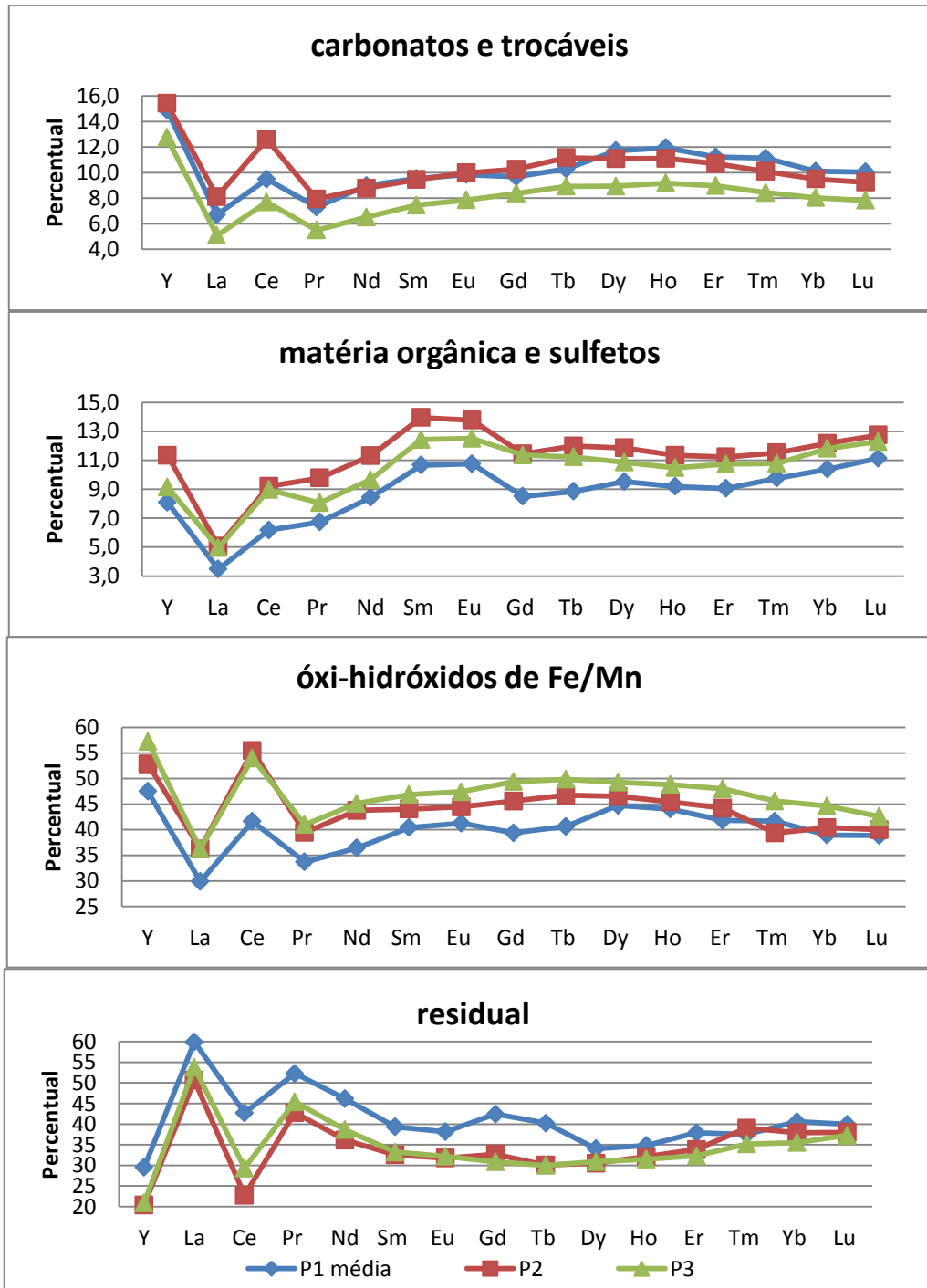


Figura 5.20 – Percentuais de ETRs associados às fases sedimentares do reservatório de Promissão.

A fração dos ETRs associados à matéria orgânica e sulfetos apresentou valores ao redor dos 10%. Nesta fração, os ETRM foram os elementos que apresentaram os maiores percentuais, seguidos por ETRP e ETRL. As frações mais significativas foram aquelas associadas aos oxi-hidróxidos de Fe/Mn e a fase residual.

Os ETRL apresentaram percentuais maiores na fração residual, com La acima de 50% e Pr entre 40 e 50%. A exceção foi o cério, com percentuais entre 20 e 45% nesta fase.

Já nos óxidos, o Ce atingiu até 55% nesta fração, e os demais ETRLs ficaram em percentuais de até 45%. Os ETRM apresentaram suas maiores proporções na fase associada aos óxi-hidróxidos de Fe/Mn, com percentuais entre 40 a 50% para estes elementos nesta fração. Na fase residual, os ETRM apresentaram percentuais que variaram entre 28 a 41%.

Os ETRP seguiram partição similar aos médios, embora com menores proporções na fase associada aos oxi-hidróxidos de Fe/Mn (35 – 48%) e maiores na fase residual (30-40%).

### 5.3.2.3 Águas circulantes e intersticiais

Em Promissão, foram analisadas as águas circulantes e intersticiais coletadas nas três campanhas no ponto 1 e no ponto 2. Para as amostras de água circulante, os elementos Tb, Ho, Tm e Lu foram analisados e o resultado da maior parte das amostras ficou abaixo do limite de quantificação. A Figura 5.21 apresenta o padrão normalizado por PAAS para os ETRs em água circulante (amostras filtradas) de Promissão.

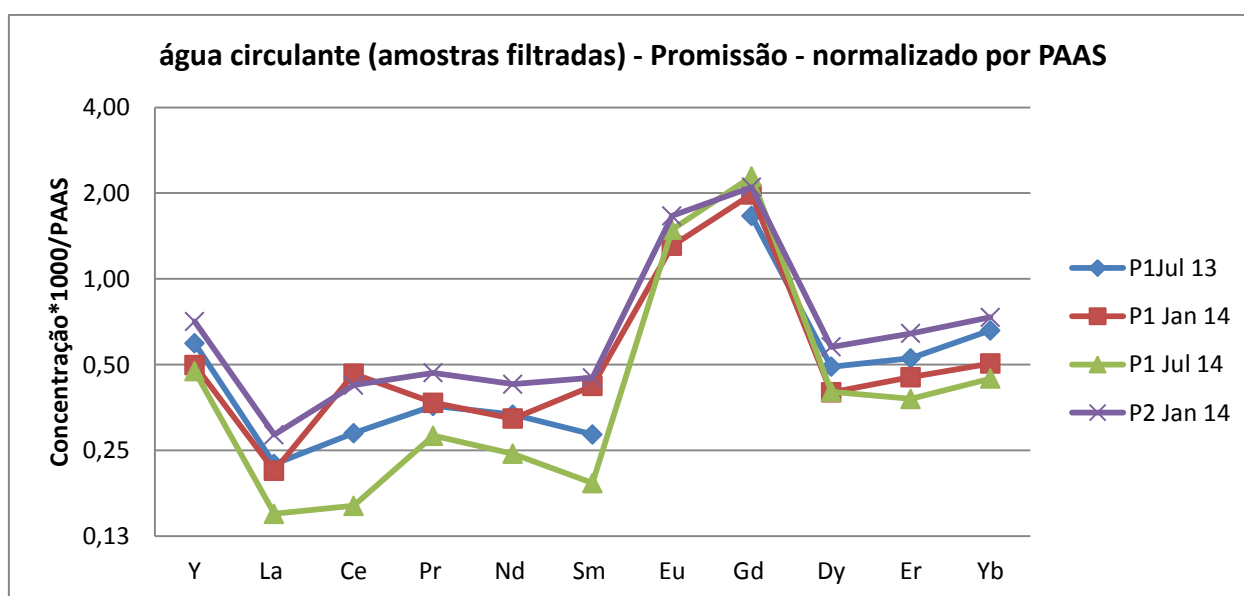


Figura 5.21 – Padrão normalizado por PAAS dos ETRs em águas circulantes de Promissão.

O padrão de Promissão apresentou anomalias positivas de Eu e de Gd em suas águas circulantes. Conforme já discutido, a anomalia de Eu, com razões Eu/Eu\* entre 1,4 e 2,2 (Tabela 5.9) é litológica, oriunda das rochas existentes na área de drenagem de Promissão.

Tabela 5.9 – Razões La/Yb, Sm/La, Sm/Yb, Eu/Eu\*, Eu/Eu\*<sup>2</sup>, Gd\* e Ce/Ce\* em águas circulantes e intersticiais de Promissão.

circulante	La/Yb	Sm/La	Sm/Yb	Eu/Eu*	Eu/Eu* <sup>2</sup>	Ce/Ce*	Gd* <sup>2</sup> (equação 5)	Gdn/Gdn* (equação 6)
P1 jul13	0,34	1,27	0,43	**	**	1,10	4,29	6,87
P1 jan14	0,42	1,98	0,83	1,43	1,73	1,86	4,83	3,62
P1 jul14	0,33	1,28	0,43	2,25	3,33	0,88	7,71	15,1
P2	0,39	1,59	0,61	1,63	2,37	1,28	4,09	4,43
Intersticial	La/Yb	Sm/La	Sm/Yb	Eu/Eu*	Eu/Eu* <sup>2</sup>	Ce/Ce*	Gd* <sup>2</sup>	
P1 jul13	1,22	1,54	1,88	1,32	7,38	1,92	1,10	
P1 jan14	1,82	0,91	1,66	1,33	7,92	1,33	1,15	
P1 jul14	1,29	0,98	1,26	1,35	7,58	1,40	1,17	
P2	1,26	0,93	1,17	1,30	8,52	1,39	1,11	

\*\*Não Calculado – valores abaixo do limite de quantificação para Eu.

Entretanto, a anomalia de Gd, com razões Gd\*<sup>2</sup> entre 3,9 a 6,8 (Tabela 5.9), não existe nas rochas fontes do entorno de Promissão. O Gd pode ser considerado de origem antrópica quando a razão Gd/Gd\* é maior que 1,4 (Merchel *et al.* 2015; Rabiet *et al.* 2009). Bau *et al.* (2006) consideram como Gd antrópico somente casos onde esta razão é maior que 1,5. Portanto, o reservatório de Promissão apresentou contaminação antrópica de Gd em suas águas circulantes.

Segundo vários autores (Woller *et al.* 2000; Rabiet *et al.* 2009; Rozemeijer *et al.* 2012; Williams *et al.* 2013), o Gd antrópico originado de quelatos orgânicos (tais quais os utilizados em exames de imagens de ressonância magnética) é um excelente traçador conservativo, que permanece nos sistemas aquáticos por vários quilômetros, e está presente na fração verdadeiramente dissolvida. Por ser um quelato orgânico, ele não tem afinidade pela matéria orgânica e nem por oxi-hidróxidos de Fe/Mn e não apresenta, portanto, tendências de sedimentação em reservatórios.

Como o Gd anômalo fica complexado em quelantes solúveis, este permanece solubilizado na massa aquosa, e desta forma, não foi retido pelos vários barramentos que ocorrem ao longo do rio Tietê, chegando (e seguindo à jusante) ao reservatório de Promissão. A principal rota natural de transporte dos ETRs em águas nos rios e reservatórios se dá por

meio do material particulado/coloidal (sedimentos em suspensão) carregados através das bacias hidrográficas (Viers *et al.* 2009; Kulaksiz & Bau 2011; Gaillardet *et al.* 2009) que ficariam retidos nas barragens anteriores ao reservatório de Promissão.

Esta anomalia de Gd foi apontada e discutida por Campos & Enzweiler (2016). Os autores analisaram amostras de água de rios na região de Campinas (300 km à montante do reservatório de Promissão) e constataram esta anomalia, e tais rios compõem a bacia hidrográfica de Promissão. Os autores observaram anomalias de Gd com razões Gd/Gd\* superiores a 50 em alguns pontos.

Sendo assim, o Gd antrópico verificado em Promissão pode ser advindo das regiões metropolitanas de São Paulo e Campinas, os dois maiores centros urbanos da bacia hidrográfica (onde residem aproximadamente 15 milhões de pessoas), mesmos distantes do reservatório a mais de 300 km.

A Figura 5.22 apresenta os percentuais de ETRs nas amostras de águas circulantes dissolvidas de Promissão. Os percentuais foram calculados subtraindo o resultado obtido das amostras dissolvidas (filtradas) das amostras não filtradas (total).

Os percentuais dissolvidos dos ETRs foram crescentes no sentido dos ETRL para os ETRP, e sinalizaram a maior solubilidade dos ETRs mais pesados frente aos mais leves, conforme indicado por diversos autores em vários locais do mundo (Sholkovitz 1993; Gaillardet *et al.* 2003; Valitutto *et al.* 2006; Viers *et al.* 2009). Entretanto, o maior percentual do Gd nas frações dissolvidas foi nítido. Enquanto a solubilidade dos ETRs oscila de valores ao redor de 20% para os ETRL, e *ca.* 50-60% para os ETRP, o Gd apresentou solubilidade entre 70 a 80% nas águas circulantes de Promissão, o que evidencia ainda mais o caráter não natural das concentrações deste elemento.

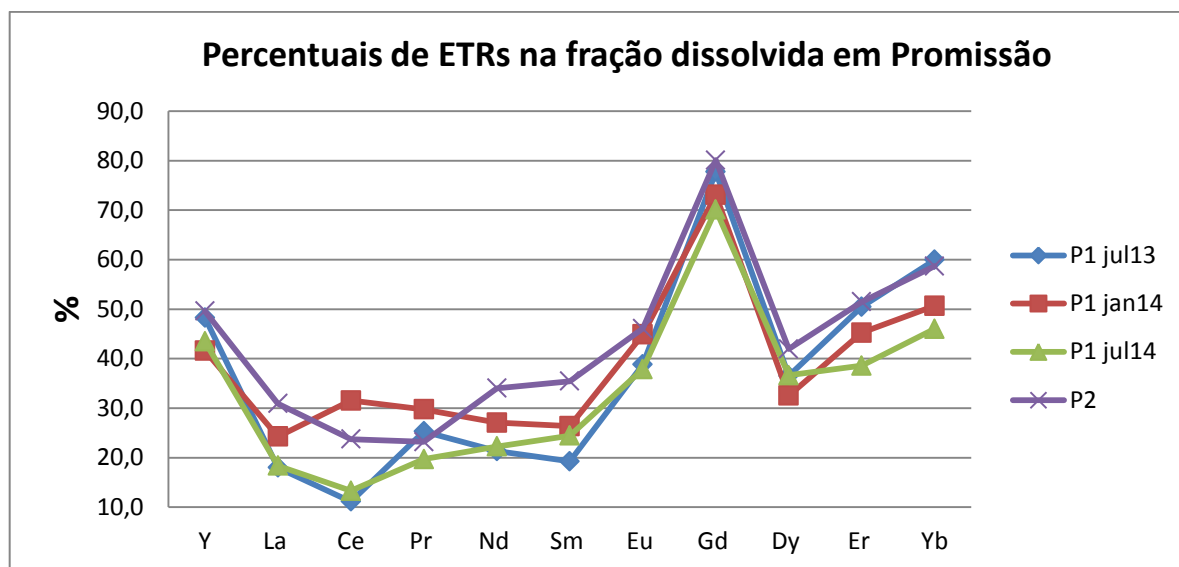


Figura 5.22 – Percentual das concentrações dos ETRs em amostras dissolvidas das águas circulantes (comparado à concentração total) no reservatório de Promissão.

A anomalia de Gd foi variável no reservatório de Promissão ao longo do tempo. As coletas foram realizadas nas estações secas (julho de 2013 e 2014) e chuvosas (janeiro de 2014). Entretanto, devido ao tamanho ( $530 \text{ km}^2$  de área) e tempo residência do reservatório de Promissão (134 dias, em média), torna-se difícil uma comparação com a pluviometria da região, até pelo fato de este reservatório estar no meio de um sistema em cascata, com suas vazões regularizadas para geração de energia elétrica.

Porém, tais anomalias exibiram interessante relação com a vazão e o nível de água do reservatório. A Tabela 5.10 apresenta a média da vazão afluente, o volume útil nos meses das coletas e a concentração de Gd antrópico calculado de acordo com as equações 7 e 8.

Tabela 5.10 – Vazão Afluente, volume útil do reservatório de Promissão e concentração de Gd antrópico nas épocas das coletas.

Mês/Ano	Vazão Afluente ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )	Volume útil (%)	Gd antrópico ( $\text{ng L}^{-1}$ )
Julho 2013	712	94,0	6,6
Janeiro 2014	547	39,4	7,1*
Julho 2014	288	28,3	9,9

\* Valor médio dos pontos 1 e 2.

Em julho de 2013, época de maior vazão e retenção de águas no reservatório, a anomalia de Gd foi a menor dentre as campanhas. Em julho de 2014, com vazão baixa e volume baixo das águas no reservatório, a anomalia de Gd atingiu seu maior valor. Este período de um ano (julho de 2013 a julho de 2014) foi caracterizado por um dos mais severos períodos sem chuvas no estado de São Paulo, fato que provocou a redução de vazão para o reservatório. O período sem chuvas e a baixa vazão provocam uma diminuição da recarga de águas naturais para o reservatório, e diminuiu o aporte de elementos oriundo do intemperismo natural das rochas da área da bacia de drenagem do reservatório. Isto pode ser observado em função dos resultados mais baixos obtidos em julho de 2014 para a maioria dos ETRs, e o Gd foi uma das exceções.

Em um cenário onde as fontes naturais estão em uma vazão menor, diminuindo os efeitos de diluição de contaminantes, a fonte antrópica tende a ter mais destaque, como o Gd em Promissão. Este elemento atingiu uma concentração antrópica (calculada) de  $9,9 \text{ ng L}^{-1}$  ou seja, 92% de sua concentração total, frente a 70-80% das campanhas anteriores.

Ainda sobre as águas circulantes a razão La/Yb apresentou valores entre 0,33 a 0,42, indicando padrões maiores de ETRP frente aos ETRL. Já a razão Sm/Yb também indica valores abaixo da unidade, entre 0,43 a 0,83, o que estabeleceu a ordem ETRP>ETRM>ETRL nas águas circulantes de Promissão.

As águas intersticiais apresentaram padrões normalizados pelo PAAS bem distintos das águas circulantes, conforme Figura 5.23.

Nestas, as razões La/Yb e Sm/Yb foram maiores do que a unidade, indicando predomínio dos ETRL sobre os ETRP e também ETRM sobre os ETRP. A razão Sm/La oscilou entre 0,9 a 1,5 entre as campanhas, mas é possível estabelecer que em Promissão as águas intersticiais apontaram para a sequência ETRM>ETRL>ETRP.

Os perfis das águas intersticiais apresentaram padrões com anomalias de Eu e Ce, ambas positivas, e sem anomalias positivas significativas de Gd. Esta foi mais uma evidência do caráter antrópico deste elemento nas águas circulantes de Promissão. Nos gráficos da Figura 5.23, os perfis de julho de 2014 no ponto 1 e o do ponto 2 estão com seus resultados normalizados multiplicados por 100 e 5, respectivamente, devido às concentrações mais baixas obtidas nestes. Os padrões obtidos foram bem similares em suas distribuições, mas com alterações em suas concentrações.

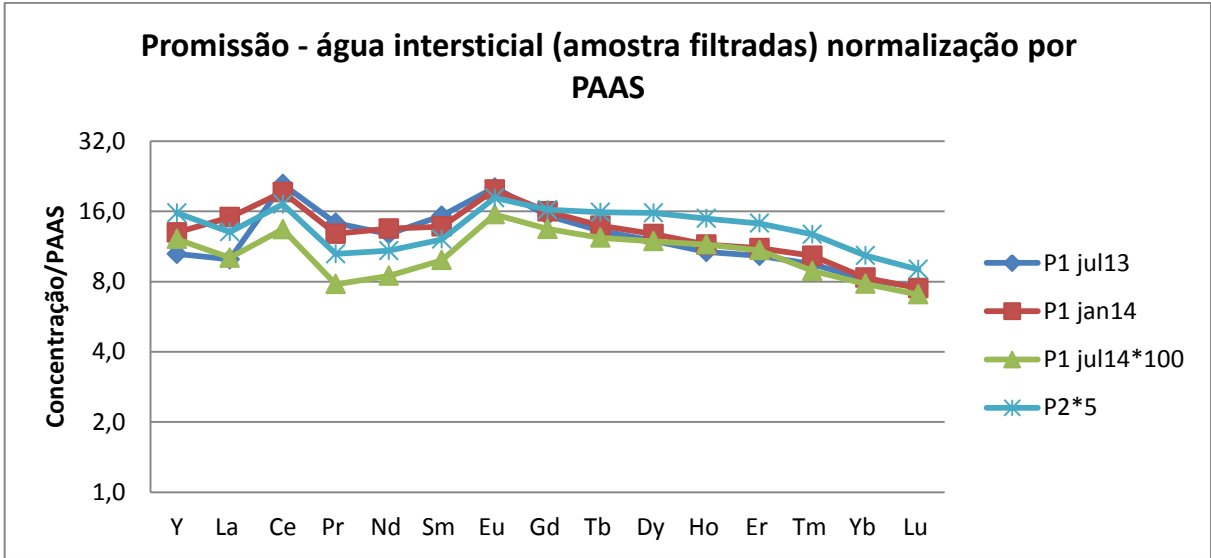


Figura 5.23 – Padrão normalizado por PAAS dos ETRs em água intersticial extraídos dos perfis do reservatório de Promissão.

As águas intersticiais apresentaram concentrações decrescentes dos ETRs em todos os perfis. As Figuras 5.24 e 5.25 apresentam as concentrações dos elementos La e Yb em águas circulantes e intersticiais (amostras dissolvidas) de Promissão.

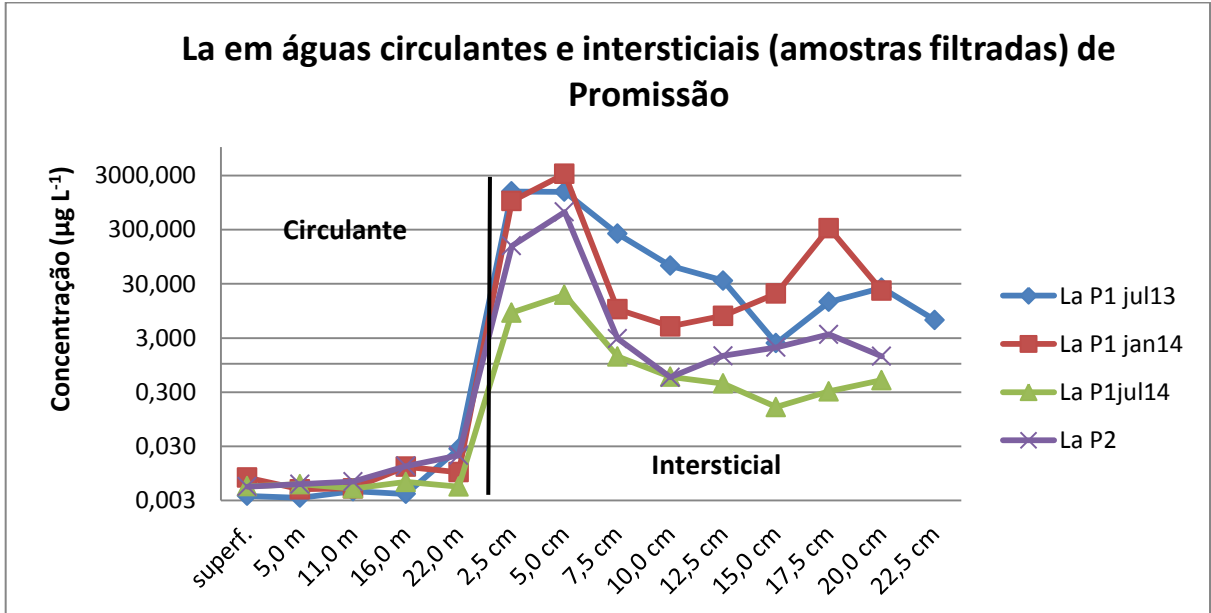


Figura 5.24 – Concentrações de La em amostras de águas circulantes e intersticiais em Promissão.

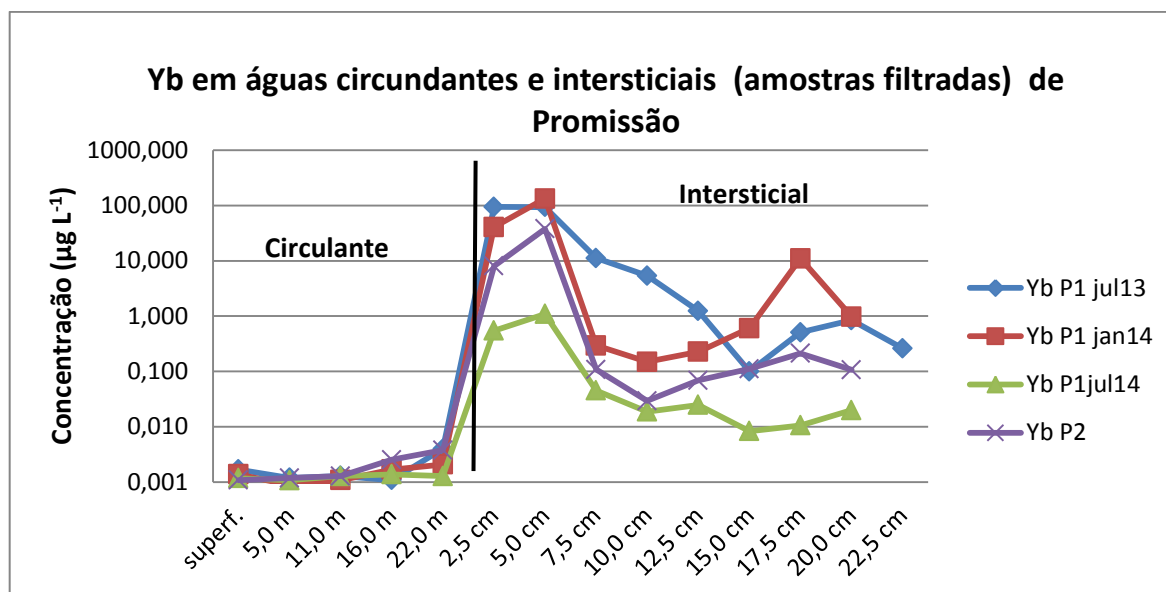


Figura 5.25 – Concentrações de Yb em amostras de águas circulantes e intersticiais em Promissão.

As águas intersticiais extraídas das camadas superiores dos sedimentos (2,5 e 5,0 cm) chegaram a apresentar concentrações até 500 vezes maior do que nas camadas mais inferiores (17,5 – 22,5 cm). As condições redox verificadas nas águas de fundo (Anexo F) podem ter contribuído para uma maior solubilização dos ETRs nas águas intersticiais. Neste aspecto, foi possível verificar um gradiente, onde os ETRL apresentaram maior solubilidade do que os ETRP em Promissão. As condições mais redutoras observadas propiciaram uma solubilização maior dos ETRL em relação aos ETRP. O incremento de concentrações dos ETRL entre as águas intersticiais e circulantes foi mais significativo para os ETRL do que para os ETRM e ETRP, e foi possível o estabelecimento de um gradiente de decaimento deste incremento de concentrações no sentido do La para o Yb.

### 5.3.3 Reservatório de Ponte Nova

#### 5.3.3.1 ETRs em Sedimentos

A Figura 5.26 apresenta os perfis normalizados por PAAS coletados em Ponte Nova, e a Tabela 5.11 a média e a mediana das razões La/Yb, Sm/La e Sm/Yb obtidas para estes perfis.

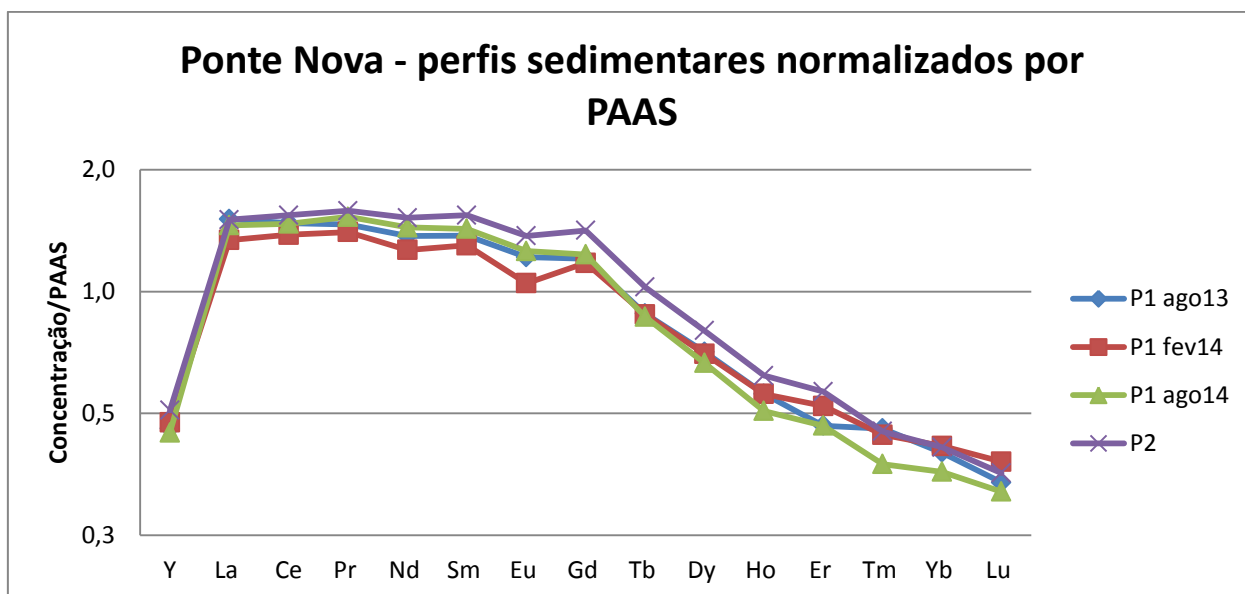


Figura 5.26 – Padrão normalizado por PAAS dos ETRs nos perfis sedimentares de Ponte Nova.

Os perfis apresentaram padrões enriquecidos em ETRL e ETRM em relação aos ETRP. O fracionamento apresentou razões La/Yb e Sm/Yb entre 3 e 4, enquanto a razão Sm/La foi próxima a unidade em todos os perfis. Foi verificada anomalia negativa de európio em todos os perfis, com razões Eu/Eu\* entre 0,85 a 0,95. A média e a mediana dos resultados foram muito similares, isto indicou uma normalidade da distribuição dos resultados em Ponte Nova. O padrão dos ETRs nos sedimentos de Ponte Nova pode ser definido como ETRL>ETRM>ETRP.

Tabela 5.11 – Razões La/Yb, Sm/La, Sm/Yb e Eu/Eu\* obtidas nos sedimentos de Ponte Nova.

		La/Yb	Sm/La	Sm/Yb	Eu/Eu*
P1 Ago13	média	3,96	0,91	3,54	0,95
	mediana	4,03	0,93	3,63	0,98
P1 Fev14	média	3,25	0,97	3,16	0,85
	mediana	3,19	0,98	3,02	0,85
P1 ago14	média	4,39	0,97	4,47	0,90
	mediana	3,88	0,90	3,40	0,84
P2	média	3,68	1,03	3,75	0,93
	mediana	3,65	1,00	3,76	0,98

Os padrões encontrados em Ponte Nova assemelham-se aos obtidos em rochas graníticas do terreno Serra do Mar, no qual está inserido todo o reservatório de Ponte Nova e sua área de drenagem. Dias Neto (2001) analisou rochas graníticas desta região, e a Figura 5.27 apresenta a normalização por PAAS das concentrações dos ETRs publicados pelo autor.

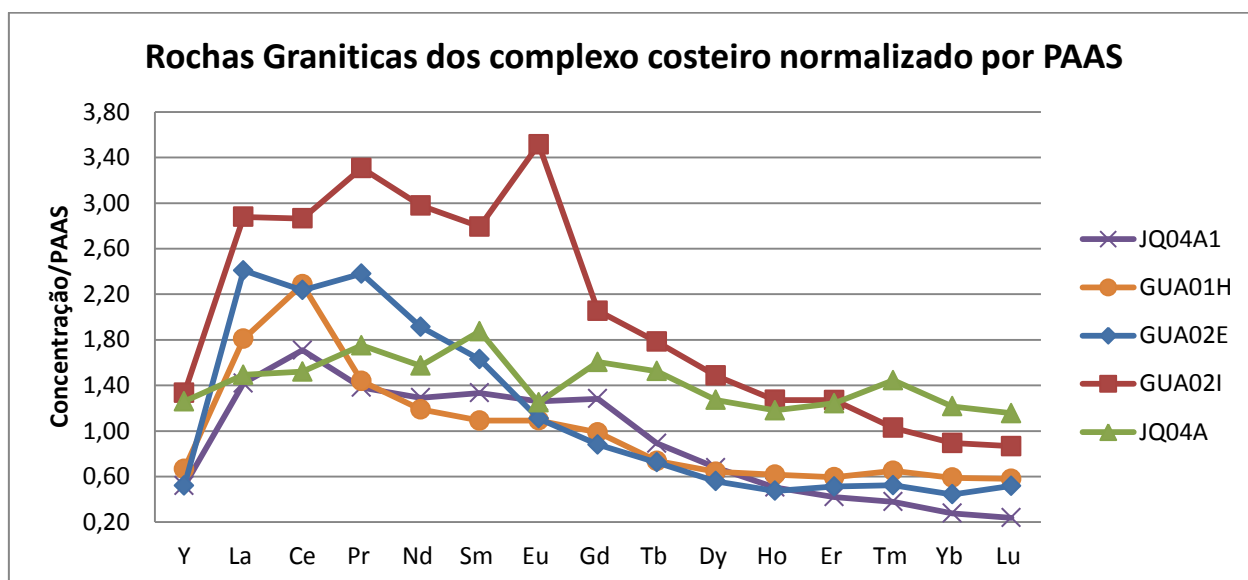


Figura 5.27 – Padrão normalizado por PAAS dos ETRs das rochas do Complexo Costeiro (Dias Neto 2001).

O padrão das rochas estudadas por Dias Neto (2001) é muito similar aos verificados em Ponte Nova. As razões La/Yb e Sm/Yb das cinco amostras apresentadas oscilaram entre 1,9 a 5,4, e as razões Sm/La flutuaram entre 0,60 e 1,0. A Figura 5.28 apresenta três perfis coletados em Ponte Nova com as razões Sm/La, La/Yb e Sm/Yb ao longo do tempo.

Apesar de uma variabilidade nas razões La/Yb e Sm/Yb, não é possível estimar tendências distintas na sedimentação dos ETRs ao longo do tempo nos perfis após a formação do reservatório de Ponte Nova (1971). As variações observadas indicaram maior ou menor sedimentação de ETRP ao longo do tempo (principalmente antes da formação da represa), visto que a razão Sm/La foi constante em todos os perfis. Esta distintas deposições de ETRP apresentaram razões entre 2,3 a 5,2 para a razão La/Yb e 2,4 a 4,6 para Sm/Yb, valores bem similares às rochas locais.

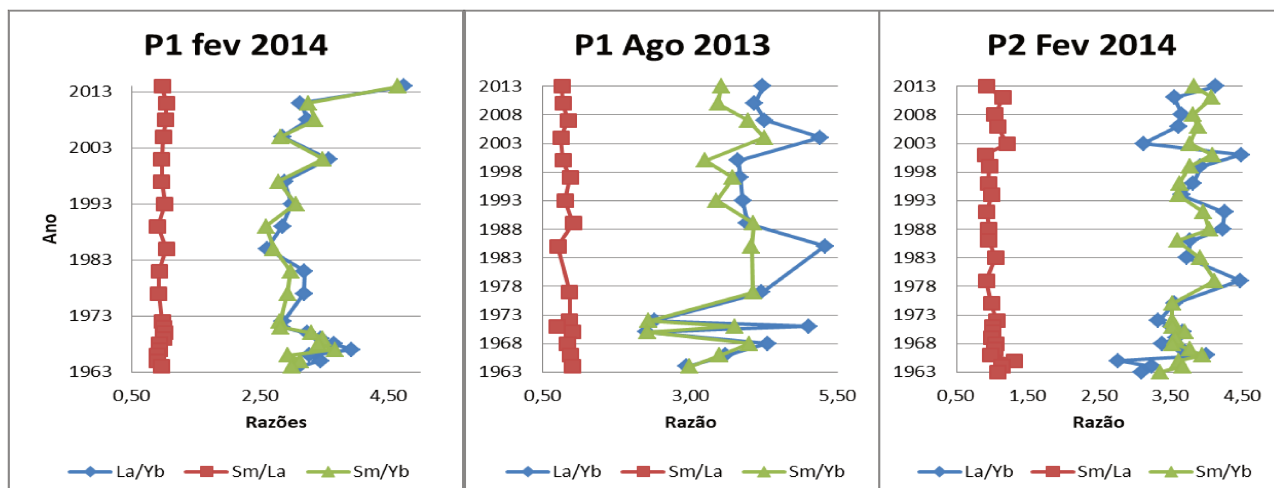


Figura 5.28 – Distribuição das razões entre os ETRs ao longo tempo no reservatório de Ponte Nova.

### 5.3.3.2 Extração sequencial

Em Ponte Nova, a extração sequencial para os ETRs não apresentou tendência nos perfis, com os ETRs mantendo suas concentrações dentro das fases e ao longo dos perfis em valores similares.

As Figuras 5.29 e 5.30 apresentam a distribuição percentual dos ETRs nos pontos 1 e 2 distribuídos pelas frações agrupadas – Carbonatos e trocável e matéria orgânica e sulfetos (Figura 5.29) e associada a óxidos de Fe/Mn e residual (Figura 5.30). Para o ponto 1, os resultados refletem a média dos três perfis coletados.

As concentrações de ETRs associadas à fase sedimentar de carbonatos e trocáveis em Ponte Nova foram pequenas, praticamente não atingiram 10% para nenhum elemento em média (Y no ponto 2 chegou a 11%). Ainda sobre esta fase, os ETRs apresentaram incremento no percentual extraído na ordem  $ETRP > ETRM > ETRL$ , ou seja, a maior afinidade a esta fase sedimentar em Ponte Nova é dos ETRs mais pesados. A exceção foi o cério, que apresentou percentuais de extração anômalos em relação aos ETRL, com maiores percentuais extraídos que seus pares (La e Pr).

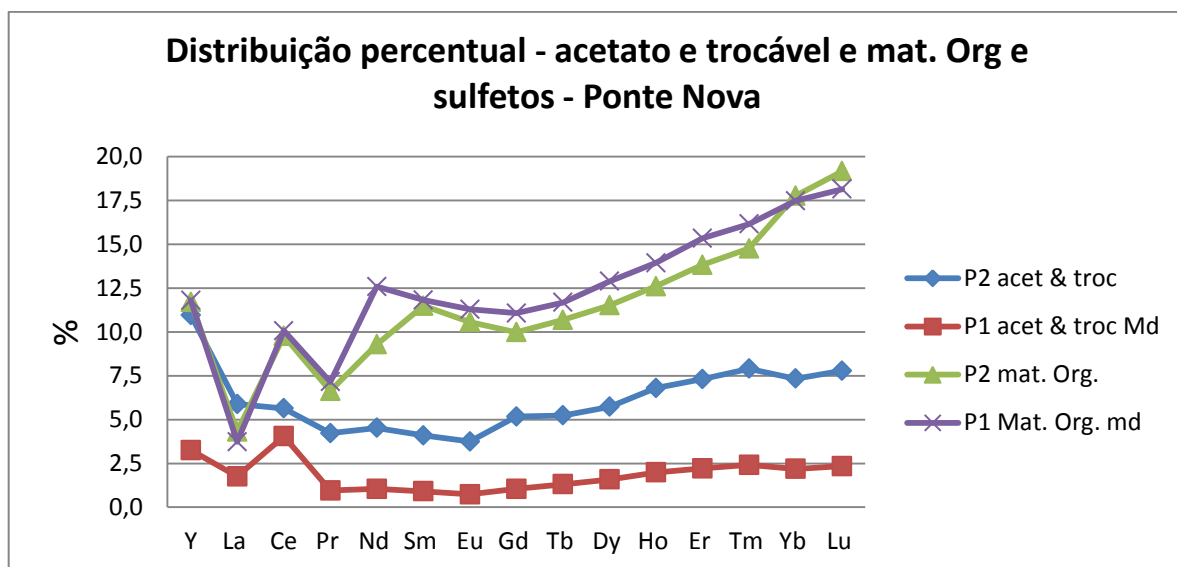


Figura 5.29 – Distribuição percentual dos ETRs pelas fases associadas aos sedimentos (matéria orgânica e sulfetos; carbonatos e trocável) em Ponte Nova.

A fase associada à matéria orgânica e sulfetos apresentou percentuais de ETRs que oscilaram entre 4 e 19%, e com formato de distribuição similar à fase associada a carbonatos e trocáveis, com  $ETRP > ETRM > ETRL$ . Aqui, a diferenciação entre os ETRs foi mais significativa. Enquanto os ETRL, não passaram dos 11% (em média) da concentração total nesta fase, os ETRP oscilaram entre 13 e 19% das concentrações totais associadas a sulfetos e matéria orgânica.

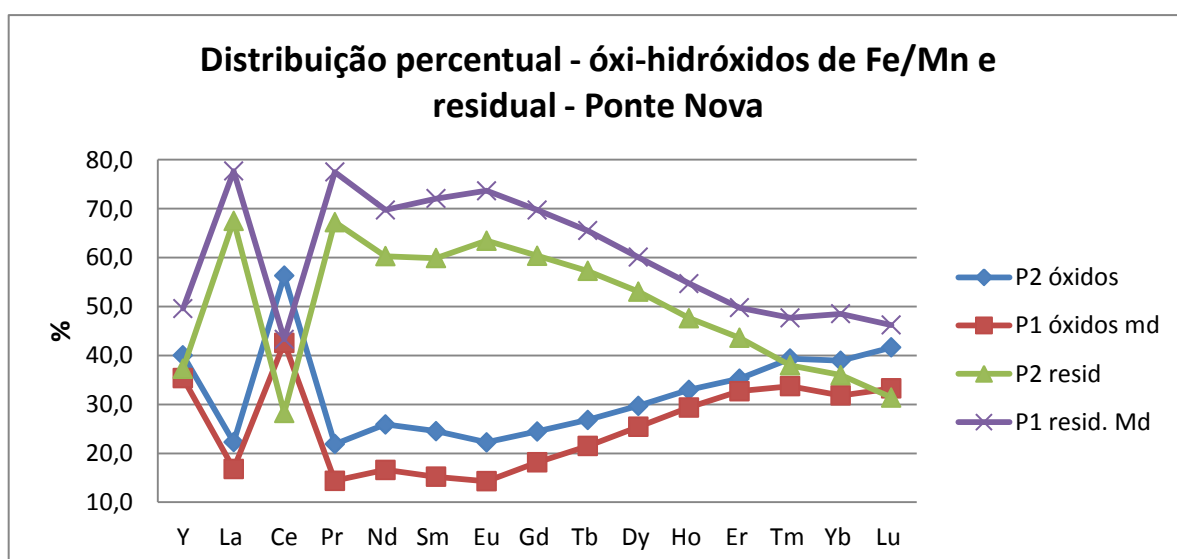


Figura 5.30 – Distribuição dos ETRs nas fases associadas aos sedimentos (óxidos de Fe/Mn e residual) em Ponte Nova.

A Figura 5.30 apresentou percentuais de ETRs com padrões opostos em relação às fases associadas aos óxidos de Fe/Mn e residual. Estas foram as duas fases mais significativas para os ETRs. Em relação à fase associada aos oxi-hidróxidos, os percentuais das concentrações totais segue a tendência  $ETRP > ETRM > ETRL$ . O cério foi exceção, com maiores percentuais nesta fase dentre os ETRs (40 a 60%). Os demais ETRL apresentaram percentuais ao redor dos 20%, enquanto os ETRP percentuais por volta dos 30 a 40%.

A fase residual foi considerada majoritária para os ETRs nos sedimentos de Ponte Nova. Os ETRL apresentaram percentuais nesta fase superior a 60% de suas concentrações totais. O cério apresentou percentual nesta fase inferior a 40% em média. Nesse caso, a ordem dos percentuais sofre uma inversão, com a sequência  $ETRL > ETRM > ETRP$ , com os ETRP apresentando percentuais por volta dos 40 a 50% em média.

### 5.3.3.3 Águas circulantes e intersticiais

OS ETRs quantificados em Ponte Nova nas águas circulantes foram normalizados pelo PAAS e estão apresentados na Figura 5.31. Os elementos Ho, Tm e Lu apresentaram a ampla maioria de seus resultados abaixo do limite de quantificação e não foram considerados na normalização. Európio e Tb apresentaram alguns resultados desta forma, mas não geraram prejuízos à normalização dos dados. Os ETRs apresentaram percentuais em torno dos 50% de suas concentrações na fase operacionalmente dissolvida, com os ETRP em proporção pouco superior aos ETRL.

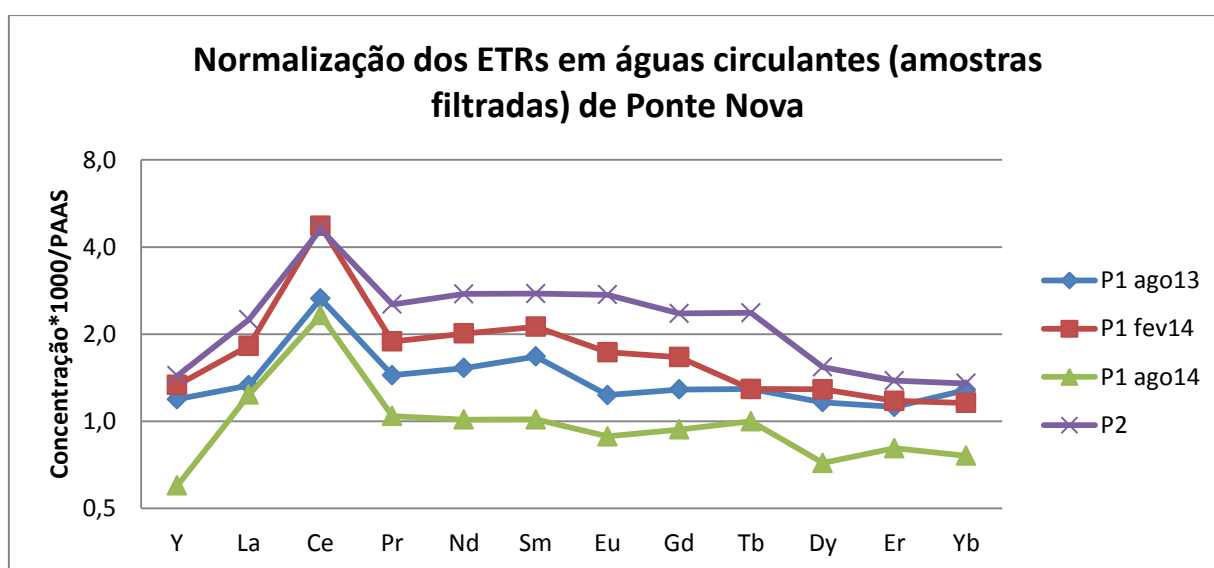


Figura 5.31 – Padrão normalizado por PAAS dos ETRs em águas circulantes de Ponte Nova.

As águas circulantes de Ponte Nova apresentaram anomalia positiva de cério em todos os pontos e padrões de ETRs na sequência ETRM>ETRL>ETRP. Conforme Tabela 5.12, as razões Sm/La oscilaram entre 0,8 a 1,2, com o valor inferior a unidade observado apenas no P1 em agosto de 2014. As razões Sm/Yb e La/Yb foram maiores que a unidade em todas as campanhas, e as razões Ce/Ce\* ~ 2. As amostras coletadas no ponto 2 apresentaram padrão em formato similar aquele do ponto 1, entretanto, com intensidade maior. As maiores concentrações dos ETRs, verificadas no ponto 2 e em fevereiro de 2014 no ponto 1, foram em função de um episódio de estratificação térmica ocorrido no reservatório, conforme discutido no Capítulo 4, que provocou um incremento das concentrações dos ETRs (principalmente ETRL e ETRM), notadamente na camada de água estratificada, em função de condições mais redutoras das águas circulantes. A anomalia positiva de Ce pode estar associada a rochas encaixantes (Complexo Costeiro) da bacia hidrográfica. De acordo com Dias Neto (2001), existem no Complexo Costeiro rochas com anomalias positivas de Ce (Figura 5.27), cujo intemperismo pode transferi-las para as águas.

As águas intersticiais também apresentaram anomalia positiva de cério e razões na ordem ETRL>ETRM>ETRP, conforme Figura 5.32 e Tabela 5.12. Nesta matriz, as razões La/Yb foram o triplo da água circulante, o que indicou maior disponibilidade de ETRL. Novamente, as amostras coletadas no ponto 2 apresentaram padrão igual ao ponto 1, porém mais intenso.

Tabela 5.12 – Razões La/Yb, Sm/La e Sm/Yb e Ce/Ce\* obtidas em Ponte Nova para águas circulantes e intersticiais.

Circulante	La/Yb	Sm/La	Sm/Yb	Ce/Ce*
P1 Ago13	1,04	1,26	1,30	1,90
P1 fev14	1,57	1,16	1,83	2,51
P1 Ago14	1,63	0,82	1,34	2,00
P2	1,66	1,23	2,04	1,91
Intersticial	La/Yb	Sm/La	Sm/Yb	Ce/Ce*
P1 Ago13	6,99	0,24	1,65	2,15
P1 fev14	4,25	0,45	1,89	1,99
P1 Ago14	6,02	0,33	2,00	2,56
P2	5,51	0,42	2,31	1,99

A Figura 5.32 apresenta os padrões de ETRs normalizados por PAAS em águas intersticiais de Ponte Nova.

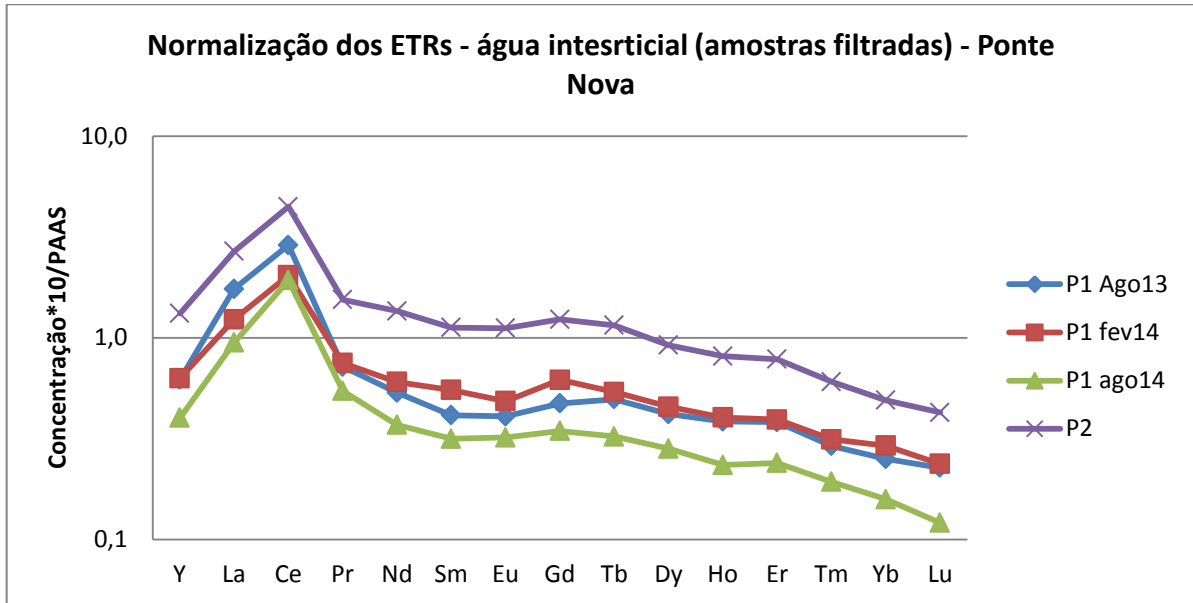


Figura 5.32 – Padrões de ETRs normalizados por PAAS em águas intersticiais de Ponte Nova.

Em relação às concentrações dos ETRs em águas intersticiais, estas foram discretamente maiores no topo do perfil do que na base. A Figura 5.33 apresenta as concentrações de Nd ao longo da coluna de água e água intersticial como exemplo da distribuição dos ETRs.

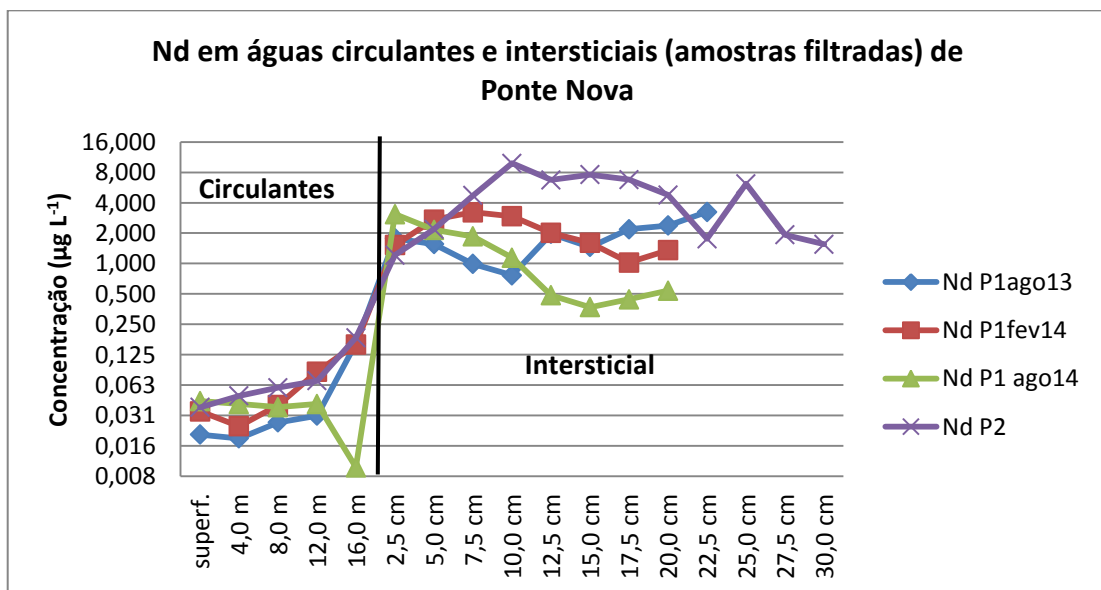


Figura 5.33 – Concentrações de Nd em amostras de águas circulantes e intersticiais de Ponte Nova.

Em fevereiro de 2014, conforme já discutido no Capítulo 4, a estratificação térmica que ocorreu no reservatório propiciou uma maior concentração dos ETRs nas águas circulantes (Figuras 5.31), inclusive com a maior anomalia positiva de cério (Tabela 5.11) dentre as três campanhas de amostragem, isto indicou que condições redutoras influenciaram na disponibilização dos ETRs – principalmente leves e médios – para as águas circulantes.

#### 5.3.4 Elementos terras raras em reservatórios de São Paulo: aspectos comuns e peculiaridades

Os ETRs apresentaram distintas dinâmicas nos três reservatórios estudados.

A Figura 5.34 apresenta o padrão de distribuição e a Tabela 5.13 o somatório dos ETRs, as razões La/Sm, La/Yb e Sm/Yb, e as anomalias nos sedimentos dos três reservatórios. Os somatórios dos ETRs representam a média dos resultados dos perfis, assim como as demais razões dos ETRs. O desvio padrão foi calculado a partir dos somatórios dos resultados dos perfis.

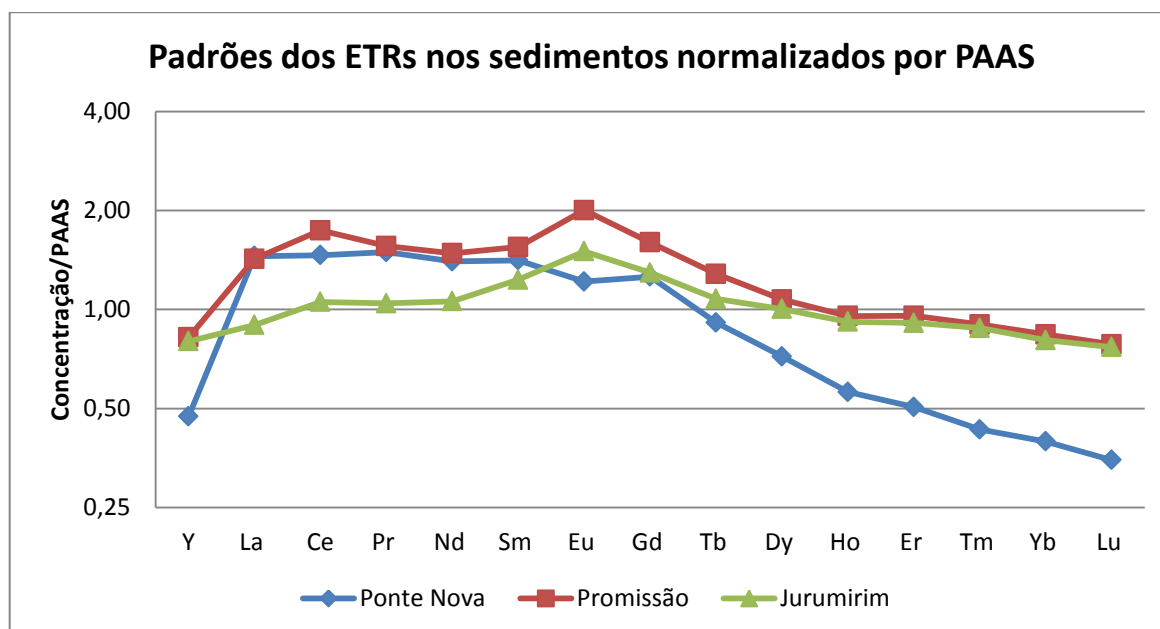


Figura 5.34 – Padrões de ETRs normalizados por PAAS nos sedimentos dos reservatórios.

Em relação às concentrações totais, Promissão apresentou os maiores resultados para o somatório dos ETRs ( $310 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e o maior desvio padrão dos pontos 16,5% (com menor somatório de  $252 \text{ mg kg}^{-1}$  no ponto 3 e maior de  $385 \text{ mg kg}^{-1}$  no P1 de Jan/2014), o que indicou a variabilidade dos resultados entre os perfis, com o padrão médio ETRM>ETRL>ETRP. Ponte Nova apresentou o padrão ETRL>ETRM>>ETRP, e resultados muito similares em todos os perfis, com desvio padrão de apenas 6% entre os resultados. Jurumirim apresentou as menores concentrações totais de ETRs e desvios padrões também de apenas 6% em virtude dos valores muito próximos dos ETRs entre os perfis e padrão com ETRM>ETRL>ETRP.

Tabela 5.13 – Somatório e razões dos ETRs em sedimentos dos reservatórios.

Reservatórios	$\Sigma$ ETRs ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	$\sigma$ ETRs ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	La/Yb	Sm/La	Sm/Yb	Eu/Eu*	Ce/Ce*
Jurumirim	190,2	11,5	1,11	1,39	1,54	1,18	1,11
Promissão	310,1	50,9	1,75	1,10	1,86	1,27	1,21
Ponte Nova	269,3	16,3	3,82	0,97	3,73	0,91	1,02

Jurumirim e Promissão estão situados em região com influência direta de rochas da Formação Serra Geral e rochas sedimentares que foram responsáveis pelas anomalias positivas de európio tanto nos sedimentos quanto nas águas destes reservatórios. As anomalias positivas de Ce estiveram mais associadas aos efeitos de sorção provocados por óxidos de Mn nos sedimentos. Ademais, Jurumirim tem influência de rochas mais antigas da bacia do Paraná (sedimentares subvulcânicas do Paleozoico) e rochas cristalinas, enquanto que Promissão se encontra com boa parte do seu reservatório em formações do Grupo Bauru (vide Capítulo 1).

Enquanto os padrões dos ETRP são praticamente iguais nestas represas, os ETRL e ETRM em Promissão apresentaram concentrações bem maiores, mesmo não tendo influência direta de rochas do cristalino, mais ricas em ETRL, como ocorre em Jurumirim. Este padrão mais enriquecido em ETRL e ETRM é provavelmente advindo da aplicação de fertilizantes utilizados pela agroindústria regional. Já em Ponte Nova e em Jurumirim, a distribuição dos ETRs seguiu o padrão das rochas locais.

A Figura 5.35 exibe os percentuais dos ETRs nas fases extraíveis dos sedimentos de Jurumirim, Promissão e Ponte Nova, e a Figura 5.36 apresenta os percentuais de La, Yb e Sm nestes três reservatórios. Em Promissão, foram registrados os maiores percentuais de ETRs na fração associada a carbonatos e trocáveis dentre os reservatórios, mas ainda assim com percentuais médios ao redor dos 10%. Para este reservatório, as fases residual e associadas à oxi-hidróxidos de Fe/Mn foram as principais, e os ETRL apresentaram maiores percentuais na fase residual, exceto o Ce, com maiores percentuais associados e oxi-hidróxidos de Fe/Mn, assim como os ETRM e ETRP.

Em Ponte Nova, as frações associadas a oxi-hidróxidos de Fe/Mn e residual foram as principais, sendo que todos os ETRs apresentaram maiores percentuais na fase residual, exceto o Ce, com 46% da sua concentração associada aos oxi-hidróxidos e 39% na residual. É possível observar o fracionamento  $ETRL > ETRM > ETRP$  nos percentuais da fase residual. Neste reservatório, foram observados os menores percentuais na fase associada a carbonatos e trocáveis (inferiores a 6%) e os maiores associados a sulfetos e matéria orgânica, com percentuais crescentes no sentido  $ETRL > ETRM > ETRP$ , como pode ser observado na Figura 5.36. Este reservatório, dentre os estudados, foi o que apresentou maiores concentrações de carbono orgânico nos sedimentos, chegou a 20%.

Jurumirim apresentou a fase associada aos oxi-hidróxidos de Fe/Mn como a principal para todos os ETRs. Foi perceptível a tendência  $ETRM > ETRL > ETRP$ , e o cério distinto em relação aos demais ETRL, com percentuais mais altos nesta fase (60%).

Jurumirim foi o reservatório com as maiores concentrações médias de Fe (82,2 g kg<sup>-1</sup> frente a 48,3 g kg<sup>-1</sup> em Promissão e 24,5 g kg<sup>-1</sup> em Ponte Nova) e Mn (1,41 g kg<sup>-1</sup> em Jurumirim; 0,62 g kg<sup>-1</sup> em Promissão e 0,25 g kg<sup>-1</sup> em Ponte Nova) totais nos sedimentos. Isso indica que os percentuais mais elevados de ETRs na fase dos oxi-hidróxidos de Fe/Mn podem guardar relação com as maiores concentrações de Fe e Mn totais nos sedimentos. Em Ponte Nova, com baixas concentrações de Fe e Mn, a proporção média de ETRs na fase oxi-hidróxidos de Fe/Mn foi baixa (27%), comparada à Jurumirim (52%). Em Promissão, ocorreu valores intermediários (42%) tanto de ETRs na fase associada a oxi-hidróxidos de Fe/Mn como a concentração total de Fe e Mn.

Apenas os ETRP apresentaram dinâmicas similares entre as represas, como pode ser observados nas Figuras 5.36 e 5.35, isto indicou que as concentrações de Fe e Mn aparentemente não influenciaram em suas partições nos sedimentos, ao contrário dos ETRL e ETRM, que demonstraram maior partição (com  $ETRM > ETRL$ , e o Ce como exceção) com os

oxi-hidróxidos de Fe/Mn na medida em que existiam maiores concentrações destes dois elementos.

Estas diferenciações guardam relação com a formação geológica das represas. Ponte Nova, de rochas cristalinas em sua totalidade, apresentou ETRs associados com fases residuais – silicáticas. Jurumirim, de rochas predominantemente sedimentares em seu entorno, apresentou, além de menores concentrações de ETRs totais, percentuais mais baixos na fase residual e maior na fase associada aos oxi-hidróxidos de Fe/Mn. Promissão, de rochas vulcânicas e sedimentares, apresentou percentuais intermediários de ETRs entre as fases residual e associadas aos oxi-hidróxidos de Fe/Mn.

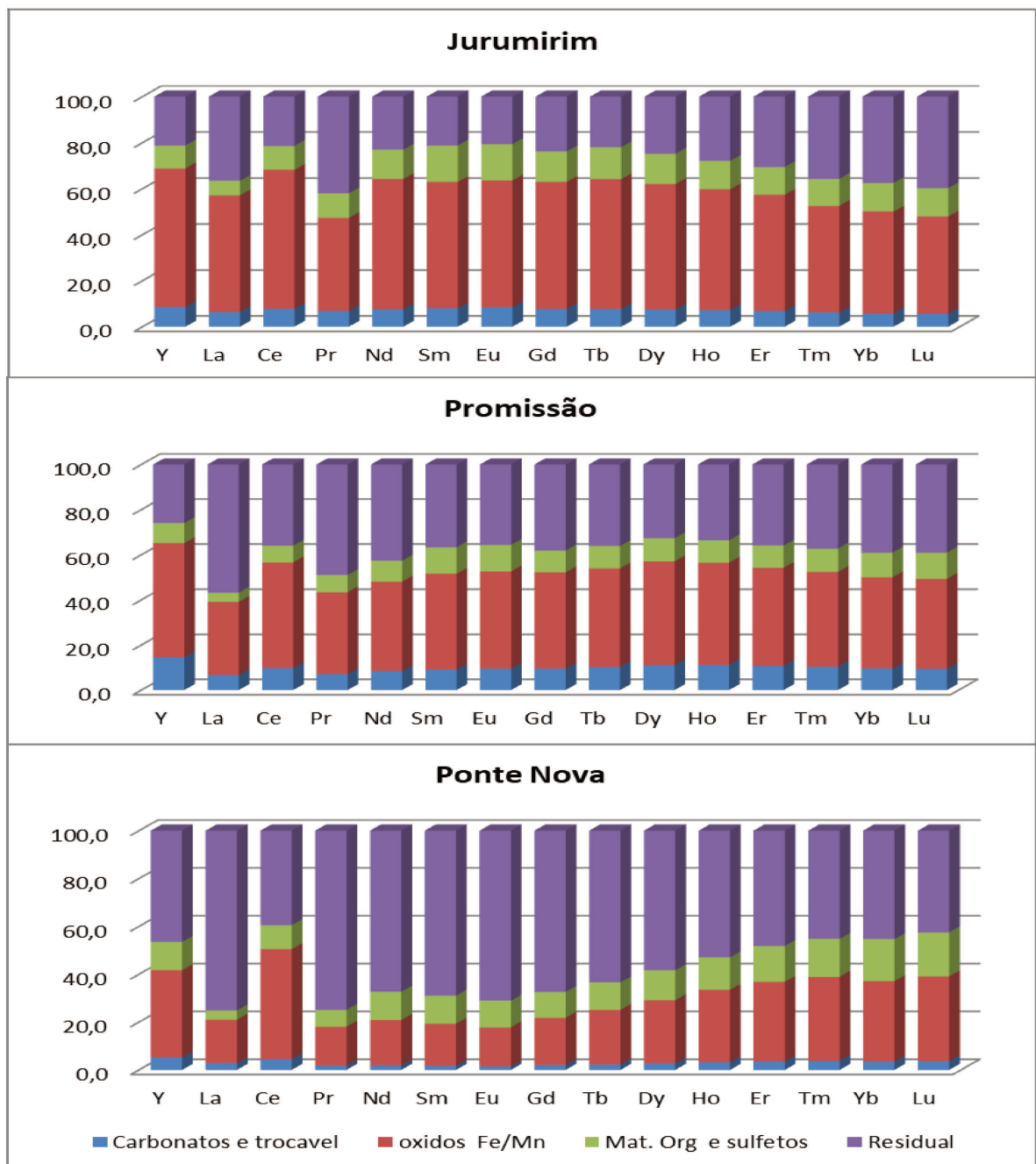


Figura 5.35 – Distribuição dos ETRs em fases sedimentares nos reservatórios estudados.

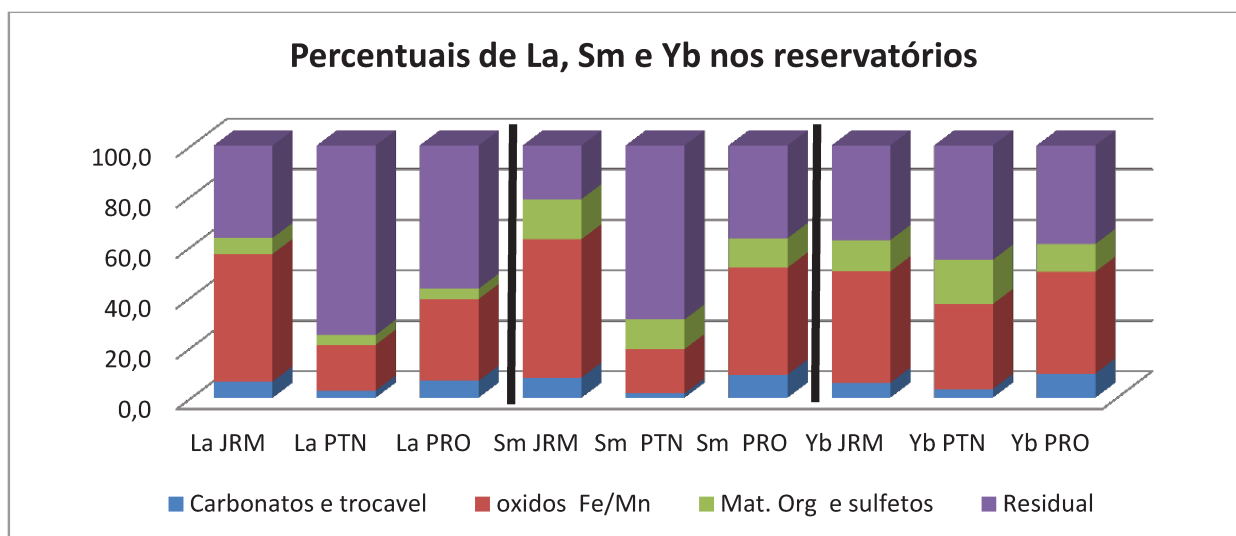


Figura 5.36 – Percentuais de La, Sm e Yb em fases sedimentares nos reservatórios estudados.

JRM – Jurumirim, PTN – Ponte Nova, PRO – Promissão.

Em relação às águas circulantes e intersticiais, a Figura 5.37 apresenta os padrões normalizados por PAAS das águas intersticiais e circulantes dos três reservatórios (média de todos os resultados). As concentrações em águas intersticiais para Jurumirim e Ponte Nova estão multiplicadas por 100. Já a Tabela 5.14 mostra as razões entre os ETRs.

Tabela 5.14 – Razões entre os ETRs e anomalias nos reservatórios.

Reservatório / matriz		La/Yb	Sm/La	Sm/Yb	Eu/Eu*	Eu/Eu*2	Ce/Ce*	Gd*	Gd*2	Gdn/Gdn*
Ponte Nova	circulante	1,48	1,12	1,63	0,94	0,92	2,08	0,96	1,10	0,81
	intersticial	5,65	0,36	1,95	0,92	0,95	2,17	1,08	1,21	1,30
Jurumirim	circulante	1,07	1,71	1,82	1,23	1,29	0,96	1,19	1,09	0,93
	intersticial	0,76	1,60	1,13	1,37	1,52	1,17	1,16	1,01	0,84
Promissão	circulante	0,37	1,53	0,58	1,80	2,48	1,28	--	5,22	7,51
	intersticial	1,40	1,09	1,49	1,33	1,41	1,51	1,13	1,18	1,08

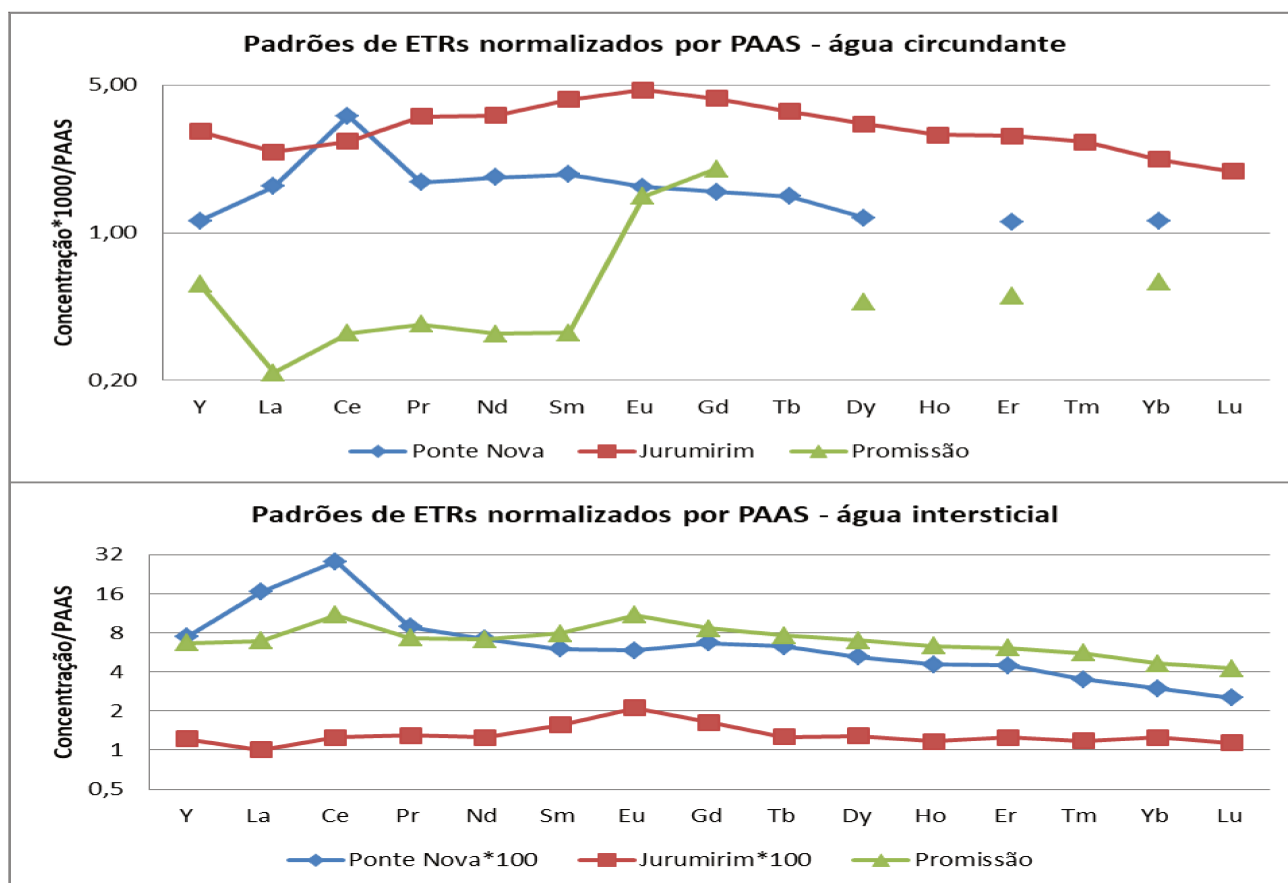


Figura 5.37 – Padrões normalizados de ETRs nos reservatórios em águas circulante e intersticial (amostras filtradas).

Jurumirim, apesar de ter sido o reservatório com as menores concentrações de ETRs nos sedimentos, apresentou as maiores concentrações nas águas circulantes, com padrão  $ETRM > ETRL > ETRP$ . Nas águas intersticiais, foi o reservatório com as menores concentrações do ETRs e padrão  $ETRM > ETRP > ETRL$ . As condições menos redutoras das águas de fundo (vide resultados  $E_H$  entre 90 a 270 mV no anexo F) podem ter sido o diferencial para uma menor solubilidade dos ETRs neste reservatório nas águas intersticiais. Tanto nas águas circulantes quanto nas intersticiais, a anomalia positiva de Eu foi presente. Em Jurumirim não foi observada anomalia de Gd.

Ponte Nova apresentou padrão com  $ETRM > ETRL > ETRP$  nas águas circulantes, com anomalia positiva de Ce e negativa de Eu e sem anomalias de Gd. Estas mesmas condições em relação às anomalias foram evidenciadas nas águas intersticiais, com padrão  $ETRL > ETRM > ETRP$ . Em Ponte Nova, as condições mais redutoras verificadas na estratificação térmica provocaram maior solubilização dos ETRL frente aos ETRM nas águas intersticiais, e tal episódio não provocou alterações significativas nos ETRP.

Promissão apresentou padrão com  $ETRP > ETRM > ETRL$  nas águas circulantes e anomalias positivas de Eu e Gd. Nas águas intersticiais, a anomalia de Gd não foi verificada, apenas a de Eu que é oriunda, assim como em Jurumirim, de rochas locais. Nas águas intersticiais existiu uma anomalia positiva de Ce em função das condições mais redutoras da água de fundo de Promissão ( $E_H$  por volta de 100 mV – vide anexo 6). Já a anomalia de Gd nas águas circulantes, não verificada nem nas águas intersticiais (ou seja, não foi associada a processos redox), nem nos sedimentos e rochas locais, pode ser considerada de contribuição antrópica.

As equações para cálculo de anomalias de Gd apresentaram respostas similares nas situações com e sem a anomalia em questão. E devem ser consideradas anomalias antrópicas apenas quando a razão for superior a 1,4 (Merchel *et al.* 2015; Rabiet *et al.* 2009).

#### 5.4 Conclusões

Os ETRs em sedimentos nos três reservatórios estudados mostraram estar associados com as rochas fontes incluindo as anomalias existentes nas bacias hidrográficas. A formação dos reservatórios não alterou de forma significativa a deposição dos ETRs ao longo do tempo, exceto no reservatório de Promissão. Neste local, coexiste a possibilidade de uma fonte antrópica por parte dos fertilizantes usados na agricultura regional, que podem elucidar melhor as concentrações um pouco mais elevadas dos ETRL em seus sedimentos.

A partição dos ETRs nas fases sedimentares foi distinta entre os reservatórios e tem relação com as concentrações Fe e Mn e com as rochas fonte. Em Jurumirim, os ETRs foram mais associados aos oxi-hidróxidos de Fe/Mn, e foi mais significativa a partição de acordo com a sequência  $ETRM > ETRL > ETRP$ . Promissão apresentou a fase residual como mais significativa para La e Pr, e a fase de oxi-hidróxidos de Fe/Mn para os demais ETRs, sendo  $ETRM > ETRP$ . Em Ponte Nova, a fase residual foi a dominante e seguiu a graduação  $ETRL > ETRM > ETRP$ . O cério, em todas as represas, apresentou comportamento distinto e sempre foi o elemento mais associado aos oxi-hidróxidos de Fe/Mn.

A principal rota de transporte dos ETRs em águas nos reservatórios se deu por meio do material particulado/coloidal (sedimentos em suspensão). As águas circulantes e intersticiais apresentaram padrões similares aos encontrados nos sedimentos e rochas fontes, exceção à anomalia antrópica de gadolínio existente em Promissão. Esta anomalia ocorreu apenas nas águas circulantes e é oriunda dos principais centros metropolitanos do estado de

São Paulo (Campinas e São Paulo), conforme estudos já realizados, e como o Gd antrópico apresenta caráter conservativo (muito solúvel, pouco reativo), esta anomalia foi constatada mesmo a mais de 300 km das fontes.

## 5.5 Referências

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS 2017. SAR – Sistema de acompanhamento de reservatórios. Disponível em <http://sar.ana.gov.br/Home>. acessado em 20 jan 2017.
- Bau M & Dulski P. 1996. Anthropogenic origin of positive gadolinium anomalies in river waters. *Earth Plan. Sci. Lett.*, **143**:245-255
- Bau M., Knappe A., Dulski P. 2006. Anthropogenic gadolinium as a micropollutant in river waters in Pennsylvania and in Lake Erie, northeastern United States. *Chem. Erde*, **66**:143–15.
- Bevilacqua J. E., Silva I. S., Lichtig J., Masini, J. C. 2009. Extração seletiva de metais pesados em sedimentos de fundo do rio Tietê, São Paulo. *Quím. Nova*, **32 (1)**:26-33.
- Bolonini T.M., Godoy A.M., Saar L.C.A. 2013. Geologia e litogeoquímica das rochas graníticas do Maciço Capão Bonito- contexto geológico da sequência vulcano-sedimentar Açungui. *Geociências UNESP* **32(3)**:452-470
- Campos F. F. 2014 Anomalias antrópicas de gadolínio e distribuição dos elementos terras raras nas águas do rio Atibaia e ribeirão Anhumas (SP). Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade Estadual de Campinas. 110p.
- Campos F.F. & Enzweiler J. 2016. Anthropogenic gadolinium anomalies and rare earth elements in the water of Atibaia River and Anhumas Creek, Southeast Brazil. *Environ. Monit. Assess.*, **188**:281
- Cánovas C. R., Olias M., Vasquez-Suné E., Ayora C., Nieto J. M. 2012. Influence of releases from a fresh water reservoir on the hydrochemistry of the Tinto River (Spain). *Sci. Tot. Environ.*, **416**:418-428.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo 2009. *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado De São Paulo 2008*. CETESB. São Paulo.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo 2011. *Qualidade das Águas Superficiais do Estado De São Paulo 2010*. CETESB. São Paulo.
- Chapman P. M., Wang F., Germano J. D., Batley G. 2002. Pore water testing and analysis: the good, the bad and the ugly. *Mar. Poll. Bull.*, **44**:359-366.
- Debert S., Viers J, Dupré B. 2002. New Insights about rare earth elements REE mobility in river waters. *Bull. Soc. Geol. France*, **173(2)**:147-160.
- Dravanche M., Pourret O., Gruau G., Dia A., Jin D., Gaertner D. 2008. Competitive binding of REE to humic acid and manganese oxide: Impact of reaction kinetics on development of cerium anomaly and REE adsorption. *Chem. Geol.*, **247**:154–170

- Dias Neto C.M. 2001. Evolução Tectono-termal do Complexo Costeiro (faixa de dobramentos Ribeira) em São Paulo. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 189p.
- Duvert C., Cendon D. I., Raiber M., Seidel J., Cox M. E. 2015. Seasonal and spatial variations in rare earth elements to identify inter-aquifer linkages and recharge process in an Australian catchment. *Chem. Geol.*, **396**: 83-97.
- Donahoe R. J. & Liu C. 1998. Pore water geochemistry near the sediment-water interface of a zoned, freshwater wetland in the southeastern United States. *Environ. Geol.*, **33 (2/3)**:143-153.
- Dulski P. 1994. Interference of oxide, hydroxide and chloride analyte species in the determination of REE in geological samples by Inductively Coupled Plasma –Mass Spectrometry. *Fresenius J. Anal. Chem.*, **350**:194-203
- EPA US. 2001. *Methods for collection, storage and manipulation of sediments for chemical and toxicological analyses: technical manual*. EPA 823-B-01-002. Washington, DC. 421 pp.
- Esteves F. A. 1988. *Fundamentos de Limnologia*. Interciência/FINEP. Rio de Janeiro.
- Gaillardet J., Dupré B., Viers J. 2003. Trace elements in River Waters. In Turekian, K.K. & Holland H. D. (eds) *Treatise of Geochemistry*. Elsevier, p.225-271.
- Gambino M., Bros J.P., Vassiliev V., Sommer F., Bornoze G., Parodi N. Cacciamani G., Ferro R. 1995. Thermochemistry of the rare earth alloys with the 14th group elements. *Pure & Appl. Chem.*, **67(11)**:1831-1838
- Giné M.F. 1999 *Espectrometria de Massas com fonte de plasma (ICP-MS)*. CENA/USP Piracicaba, 118p.
- Gleyzes C., Tellier S., Astruc M. 2003. Fractionation studies of trace elements in contaminated soils and sediments: a review of sequential extraction Procedures. *Trends Anal. Chem.*, **21(8)**: 451-467
- Goldstein S.J. & Jacobsen S.B. 1988. Rare earth elements in river waters. *Earth Plan. Sci. Lett.*, **89**:35-47.
- Horbe A.M.C., Queiroz M.M.A., Moura C.A.V., Toro M.A.G. 2013 Geoquímica das águas do médio e baixo rio Madeira e seus principais tributários - Amazonas – Brasil. *Acta Amazon.*, **43(4)**:489-504
- Hughes S.S., Schmitt R.A., Wang Y.L., Wasserburg G.J. 1986. Trace element and Sr-Nd isotopic constraints on the composition on the composition of lithospheric primary sources of Serra Geral continental flood basalts, southern Brazil. *Geochem. J.*, **20**:173-189.
- Iriondo M.H., Paggi J.C., Parma M.J. (Eds.) 2007. *The Middle Paraná River; Limnology of a Subtropical Wetland*. Springer-Verlag. Berlin. 381p.
- Jain C.K. 2004 Metal fractionation study on bed sediments of River Yamuna, India *Water Res.*, **38**:569–578
- Korfali S.I. & Jurdi M.S. 2011. Speciation of metals in bed sediment and water of Qaraaoun reservoir, Lebanon. *Environ.Monit.Assess.*, **178**:563-579.
- Klaver G., Verheul M., Bakker I., Petelet-Giraud E., Négrel P. 2014. Anthropogenic Rare Earth Element in rivers: Gadolinium and lanthanum. Partitioning between the dissolved and particulate phases in the Rhine River and spatial propagation through the Rhine-Meuse Delta (the Netherlands). *Appl. Geochem.*, **47**:186-197

- Kulaksız S. & Bau M. 2007. Contrasting behavior of anthropogenic gadolinium and natural rare earth elements in estuaries and the gadolinium input into the North Sea. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **260**:361–371.
- Kulaksız S. & Bau M. 2011 Rare earth elements in the Rhine River, Germany: first case of anthropogenic lanthanum as a dissolved microcontaminant in the hydrosphere. *Environ. Int.*, **37**:973–979
- Kulaksız S. & Bau M. 2013. Anthropogenic dissolved and colloid/nanoparticle-bound samarium, lanthanum and gadolinium in the Rhine River and the impending destruction of the natural rare earth element distribution in rivers *Earth Plan. Sci.Lett.*, **362**:43–50
- Laveuf S. & Cornu, C. 2009. A review on the potentiality of Rare Earth Elements to trace pedogenetic processes. *Geoderma*, **154**:1–12
- Lecomte K. L., Bicalho C.C., Silva-Filho E.V. 2016. Geochemical characterization in karst basin tributaries of the San Franciscan depression: The Corrente River, western Bahia, NE-Brazil *J. South American Earth Sci.*, **69**:119-130
- Leleyler L., Probst J.L., Rouault R., Samuel J., Depetris P., Haida, S.; Mortatti, J. 1999. Distribution des terres rares dans les sédiments fluviaux : fractionnement entre les phases labiles et résiduelles. *Earth Plan. Sci.*, **329**:45-52
- Leybourne M.I. & Johannesson K.H. 2008 Rare earth elements (REE) and yttrium in stream waters, stream sediments, and Fe–Mn oxyhydroxides: Fractionation, speciation, and controls over REE + Y patterns in the surface environment. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **72**: 5962–5983.
- Liu J.J., Lai Z.J., Liu Y. 2013. Study on Speciation and Fractionation of Rare Earth Elements in Surface Sediments in Gansu, Ningxia and Mongolia Sections of Yellow River. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, **33(3)**:798-803.
- Longerich H.P., Fryerd B.J., Strong D.F., Kantipuly C.J. 1987. Effects of operating conditions on the determination of the rare Earth elements by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) *Spectrochimica Acta* **42B(1/2)**:75-92.
- McLennan S.M., 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks. Influence of provenance and sedimentary processes. In: Lipin, B.R., McKay, G.A. (Eds.), *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements. Rev. Mineral. vol. 21*:p.169–200.
- Martins V.A., Dias J.A., Laut L.M. 2013. Especiation of rare earth elements in surface sediments of Lagoon of Aveiro (N Portugal) *J Coastal Res. Spec. edition*, **65**:64-69.
- Merschel G., Bau M., Baldewein L., Dantas E.L., Walde D., Buhn B. 2015. Tracing and tracking wastewater-derived substances in freshwater lakes and reservoirs: Anthropogenic gadolinium and geogenic REEs in Lake Paranoá, Brasilia. *C. R. Geoscience*, **347**:284–293
- Moller P., Knappe A., Dulski P. 2014. Seasonal variations of rare earths and yttrium distribution in the lowland Havel River, Germany, by agricultural fertilization and effluents of sewage treatment plants *App. Geochem.*, **41**:62–72
- Montaser A. (ed) 1998. *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*. Willey-VCH inc, New York, 964p.

- Moraes G.M. 2016 Características hidrogeoquímicas das bacias de drenagem dos rios Capivari e Jundiá, SP: aspectos das influências antrópicas. Tese de doutorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. 218 pp.
- Munk L. & Faure G. 2004. Effects of pH fluctuations on potentially toxic metals in the water and sediment of the Dillon Reservoir, Summit county, Colorado. *Appl. Geochem.*, **19**: 1065-1074.
- Noack C.W., Dzombak D.A., Karamalidis A.K. 2014. Rare earth element distributions and trends in natural waters with a focus on groundwater. *Environ Sci. Technol.*, **48**: 4317-4326.
- Och L.M., Muller B., Wichser A., Ulrich A., Sturm M. 2014 Rare earth elements in the sediments of lake Baikal. *Chem. Geol.*, **376**:61-75
- Oliveira S.M.B., Silva P.S.C., Mazzilli B.P., Fávaro D.I.T. 2007. Rare earth elements as tracers of sediment contamination by phosphogypsum in the Santos estuary, southern Brazil. *Appl. Geochem.*, **22**: 837-850.
- Pattan J.N., Pearce N.J.G., Mislankar P.G. 2005. Constraints in using Cerium-anomaly of bulk sediments as an indicator of paleo bottom water redox environment: A case study from Central Indian Ocean Basin. *Chem. Geol.*, **221**:260-278
- Pereira J.C., Silva A.K.G., Nalini Jr H.A., Silva E.P., Lena J.C. 2007. Distribuição, fracionamento e mobilidade de elementos traço em sedimentos superficiais. *Quím. Nova*, **30(5)**:1249-1255.
- Rabiet M., Brissaud F., Seidel J.L., Pistre S., Elbaz-Poulichet F. 2009. Positive gadolinium anomalies in wastewater treatment plant effluents and aquatic environment in the Hérault watershed (South France). *Chemosphere*, **75**:1057–1064.
- Ramos S. J., Dinali G. S., Carvalho T. S., Chaves L. C., Siqueira J. O., Guilherme L. R. G. 2016. Rare earth elements in raw materials and products of the phosphate fertilizer industry in South America: Content, signature, and crystalline phases. *J. Geochem. Expl.*, **168**: 177–186
- Rauret G., Lopes-Sánchez J.F., Luck D., Muntau H., Quavauviller P. 2001. The certification of the extractable contents (mass fractions) of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in freshwater sediment following a sequential extraction procedure BCR 701. *European Commission*. [https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/rm/BCR-701\\_report.pdf](https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/rm/BCR-701_report.pdf) Acessado em 08 nov 2013.
- Raut N.M., Huang, L.S., Aggarwal, S.K., Lin, K.C. 2005. Mathematical Correction for Polyatomic Isobaric Spectral Interferences in Determination of Lanthanides by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *J. Chinese Chem. Soc.*, **(52)**:589-597
- Renner L.C., Hartmann L.A., Wildner W., Massone H.J., Theye T. 2011. A micro analytical approach to partition coefficients in plagioclase and clinopyroxene of basaltic sills in Serra Geral Formation, Paraná Basin, Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, **41(2)**:263-289
- Rozemeijer J., Siderius C., Verheul M., Pomarius H., 2012. Tracing the spatial propagation of river inlet water into an agricultural polder area using anthropogenic gadolinium Hydrol. *Earth Syst. Sci.*, **16**:405–2415.

- Santos A.B. 2015 Elementos terras raras e traçadores isotópicos em estuários subtropicais: uma abordagem geoquímica da transferência de metais à biota. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 162 p.
- Serra O.A. 2011. Terras Raras - Brasil x China. *J. Braz. Chem. Soc.*, **22(5)**:809-810
- Singh P.K., Mohan D., Singh V. K., Malik A. 2005. Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments - a tributary of the Ganges, India. *J. Hydrology*, **312**:14–27
- Sholkovitz E. R.1993. The geochemistry of rare earth elements in the Amazon River estuary. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **57**:2181-2190
- Song Y. H. & Choi M.S. 2009. REE geochemistry of fine-grained sediments from major rivers around the Yellow Sea. *Chem. Geol.*, **266**:328–342
- Squisato E., Nardy A.J.R., Machado F.B., Marques L.S., Rocha Jr, E.R.V., Oliveira M.A.F. 2009. Litogeoquímica e aspectos petrogenéticos dos basaltos da Província Magmática do Paraná na porção centro-norte do estado de São Paulo. *Geociências*, **28(1)**: 27-41.
- Su N., Yasg S., Guo Y., Yue W., Wang X., Huang X. 2017. Revisit of rare earth element fractionation during chemical weathering and river sediment transport. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **18**:935-955
- Sultan K. & Shazili N.A. 2009. Rare Earth elements in tropical surface water, soil and sediments of the Terengganu River Basin, Malaysia. *J.Rare Earth*, **27(6)**:1072-1078.
- Sutherland R.A. 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environ. Geol.*, **39(6)**: 611-627.
- Tang J. & Johannesson K.H. 2009. *Geochemistry of the rare earth elements in natural terrestrial waters*. VDM Verlag Dr. Muller, Saarbrucken, Germany, 107pp
- Valitutto R.S., Sella S.M., Silva-Filho E.V., Pereira R.G., Miekeley N. 2006. Accumulation of metals in macrophytes from water reservoirs of a power supply plant, Rio de Janeiro State, Brazil. *Water Air Soil Pollut.*, **178**:89–102
- Veen E.H.V., Bosch S., Vollebregt M.T.C. L. 1995. Spectral interpretation and interference correction in inductively coupled plasma mass spectrometry. *Spectrochim Acta*, **49B(12-14)**: 1347-1361.
- Veríssimo C.U.V., Magini C., Parente C.V., Nogueira Neto, J.A., Almeida A.F. 2009. Petrografia e litoquímica das formações ferríferas bandadas da região de Quixeramobim - Boa Viagem, Ceará, Brasil. *Geociências – UNESP*, **28(1)**: 43-52
- Viers J., Dupré B., Gaillardet J. 2009. Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: New insights from a new database. *Sci. Tot. Environ.*, **407**:853-868
- Wiechula D., Loska K., Korus I. 2005. Lead partitioning in the bottom sediment of Rybnik reservoir (Southern Poland) *Water Air Soil Poll.*, **164**: 315-327.
- Williams M., Kumar A., Ort C., Lawrence M.G., Hambly A., Khan S.J., Kookana R. 2013. The use of multiple tracers for tracking wastewater discharges in freshwater systems *Environ. Monit. Assess.*, **185**:9321–9332.

- Woller P., Dulski P., Bau M., Knappe A., Pekdeger A., Jarmersted C.S. 2000 Anthropogenic gadolinium as a conservative tracer in hydrology. *J. Geochem. Expl.*, **69–70**:409–414
- Xu Y., Song J., Duan L., Yuan H., Zhang P. 2012. Fraction characteristics of rare earth elements in the surface sediment of Bohai Bay, North China. *Environ. Monit. Assess.*, **184**:7275-7292
- Zhang Y., Gao X., Chen-Tung A.C. 2014. Rare earth elements in intertidal sediments of Bohai Bay, China: Concentration, fractionation and the influence of sediment texture. *Ecotoxicol. Environ Saf.*, **105**:72-79.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O barramento de um rio para a formação de uma represa altera de forma significativa a dinâmica de sedimentação local.

Ao propiciar um novo processo sedimentar mais estável e em maior intensidade (devido à redução da velocidade do rio), os sedimentos passam a fornecer registros paleolimnológicos mais estáveis e a contar uma história da sedimentação local mais rica e detalhada. A taxa de sedimentação dos reservatórios foi datada pelo método clássico do  $^{210}\text{Pb}$  e foi evidenciado, por meio da datação, que a textura (alterações nos percentuais de areia, silte e argila na fase de transição sedimentar rio/represa), o carbono orgânico total (picos de carbono na transição ou imediatamente após a formação do lago), a geoquímica (notadamente os elementos maiores – Fe, Na e K com alterações de concentrações bruscas – acompanhado por alguns menores na fase de transição sedimentar) e a mineralogia (aumento da diversidade mineral após a formação da represa e diminuição do quartzo) do sedimento podem dar a mesma resposta que a datação clássica para a estimativa da taxa de sedimentação média de um reservatório. Entretanto, as peculiaridades que a datação revelou como períodos de maior vazão ou de secas pelo qual o reservatório passou, só são possíveis com a taxa de sedimentação obtida no método clássico, onde se podem observar estas tênues alterações que ocorrem em períodos temporais mais curtos relacionadas com a vazão e o volume de ocupação do lago.

Porém, para a avaliação de um processo mais global, a textura, o carbono orgânico e a geoquímica, que são análises bem mais triviais e disponíveis facilmente tanto na comunidade acadêmica quanto em laboratórios comerciais, podem responder de forma segura sobre a taxa de sedimentação média e servir de parâmetro para a caracterização das concentrações dos elementos em tempos pretéritos para comparação com a sedimentação atual. Obviamente, somente com a coleta de perfis sedimentares esta resposta pode ser obtida.

Nos reservatórios estudados, a geoquímica e a mineralogia mantiveram-se constantes após a formação da represa, exceto em Promissão, onde há possíveis concentrações antrópicas para alguns elementos, provavelmente devido ao grande uso de fertilizantes/defensivos agrícolas na região e/ou presença de esgotos não tratados. Ainda sobre Promissão, a partição dos elementos pela extração sequencial nos perfis sedimentares também evidenciou esta possibilidade antrópica, pois as frações superficiais do perfil sedimentar para

os elementos apresentaram maiores percentuais associados com as fases mais lábeis do sedimento, enquanto as frações do perfil mais profundas apresentaram os elementos mais associados com a fase residual dos sedimentos. Isto corroborou o indicado pelo fator de enriquecimento em relação às amostras de concentrações total.

Nas demais represas, a extração sequencial no perfil sedimentar não apresentou alterações significativas de concentrações entre as fases, o que indica que estas foram constantes após a formação das represas, o que também espelha nas concentrações totais sem variações observadas nos perfis sedimentares.

A hidroquímica indicou que o transporte dos elementos para as represas ocorreu preferencialmente por meio do material particulado carregado para os reservatórios devido aos processos de intemperismo e erosivos dos solos da bacia hidrográfica dos reservatórios. Para alguns elementos ocorreu um equilíbrio entre as concentrações na coluna de água (água circulante) e nas águas intersticiais (As, Sb, Mo, V), salvo em Promissão, onde existe a possibilidade de contribuição antrópica. Condições de estratificação térmica verificadas em Ponte Nova também contribuíram para um aumento das concentrações de vários elementos, tanto na coluna de água quanto nas águas intersticiais. A ampla maioria dos elementos determinados apresentou a tendência de sedimentação nos reservatórios e fixação nos sedimentos.

Os ETRs apresentaram distribuições nos sedimentos e águas bem associadas às rochas fontes, com exceção de Promissão onde novamente a questão antrópica ficou evidente em relação aos ETRs leves nos sedimentos. A partição entre as fases sedimentares indicou que os ETRs estão preferencialmente na fase residual e na fase associada à oxi-hidróxidos de Fe/Mn, e que os ETRs leves tiveram mais preferência pelos óxidos, e os ETRs pesados foram mais presentes na fase residual, além de guardar relações tanto com as concentrações de Fe e Mn total nos sedimentos como a litologia local. Em Promissão também ficou caracterizada uma anomalia positiva de Gd de caráter antrópico nas águas circulantes, e indicou que este poluente emergente não apresenta tendência de sedimentação, e se comporta como um traçador conservativo de processos antrópicos em águas naturais, visto as origens de sua contaminação estarem a mais de 300 km de distância do reservatório.

## 7 REFERÊNCIAS

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS 2017. SAR – Sistema de acompanhamento de reservatórios. Disponível em <http://sar.ana.gov.br/Home>. acessado em 20 jan 2017.
- Bau M & Dulski P. 1996. Anthropogenic origin of positive gadolinium anomalies in river waters. *Earth Plan. Sci. Lett.*, **143**:245-255
- Bau M., Knappe A., Dulski P. 2006. Anthropogenic gadolinium as a micropollutant in river waters in Pennsylvania and in Lake Erie, northeastern United States. *Chem. Erde*, **66**:143–15.
- Bevilacqua J. E., Silva I. S., Lichtig J., Masini, J. C. 2009. Extração seletiva de metais pesados em sedimentos de fundo do rio Tietê, São Paulo. *Quím. Nova*, **32 (1)**:26-33.
- Bolonini T.M., Godoy A.M., Saar L.C.A. 2013. Geologia e litogeoquímica das rochas graníticas do Maciço Capão Bonito- contexto geológico da sequência vulcano-sedimentar Açungui. *Geociências UNESP* **32(3)**:452-470
- Campos F. F. 2014 Anomalias antrópicas de gadolínio e distribuição dos elementos terras raras nas águas do rio Atibaia e ribeirão Anhumas (SP). Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade Estadual de Campinas. 110p.
- Campos F.F. & Enzweiler J. 2016. Anthropogenic gadolinium anomalies and rare earth elements in the water of Atibaia River and Anhumas Creek, Southeast Brazil. *Environ. Monit. Assess.*, **188**:281
- Cánovas C. R., Olias M., Vasquez-Suné E., Ayora C., Nieto J. M. 2012. Influence of releases from a fresh water reservoir on the hydrochemistry of the Tinto River (Spain). *Sci. Tot. Environ.*, **416**:418-428.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo 2009. *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado De São Paulo 2008*. CETESB. São Paulo.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo 2011. *Qualidade das Águas Superficiais do Estado De São Paulo 2010*. CETESB. São Paulo.
- Chapman P. M., Wang F., Germano J. D., Batley G. 2002. Pore water testing and analysis: the good, the bad and the ugly. *Mar. Poll. Bull.*, **44**:359-366.
- Debert S., Viers J, Dupré B. 2002. New Insights about rare earth elements REE mobility in river waters. *Bull. Soc. Geol. France*, **173(2)**:147-160.
- Dravanche M., Pourret O., Gruau G., Dia A., Jin D., Gaertner D. 2008. Competitive binding of REE to humic acid and manganese oxide: Impact of reaction kinetics on development of cerium anomaly and REE adsorption. *Chem. Geol.*, **247**:154–170
- Dias Neto C.M. 2001. Evolução Tectono-termal do Complexo Costeiro (faixa de dobramentos Ribeira) em São Paulo. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 189p.
- Duvert C., Cendon D. I., Raiber M., Seidel J., Cox M. E. 2015. Seasonal and spatial variations in rare earth elements to identify inter-aquifer linkages and recharge process in an Australian catchment. *Chem. Geol.*, **396**: 83-97.

- Donahoe R. J. & Liu C. 1998. Pore water geochemistry near the sediment-water interface of a zoned, freshwater wetland in the southeastern United States. *Environ. Geol.*, **33** (2/3):143-153.
- Dulski P. 1994. Interference of oxide, hydroxide and chloride analyte species in the determination of REE in geological samples by Inductively Coupled Plasma –Mass Spectrometry. *Fresenius J. Anal. Chem.*, **350**:194-203
- EPA US. 2001. *Methods for collection, storage and manipulation of sediments for chemical and toxicological analyses: technical manual*. EPA 823-B-01-002. Washington, DC. 421 pp.
- Esteves F. A. 1988. *Fundamentos de Limnologia*. Interciência/FINEP. Rio de Janeiro.
- Gaillardet J., Dupré B., Viers J. 2003. Trace elements in River Waters. In Turekian, K.K. & Holland H. D. (eds) *Treatise of Geochemistry*. Elsevier, p.225-271.
- Gambino M., Bros J.P., Vassiliev V., Sommer F., Bornoze G., Parodi N. Cacciamani G., Ferro R. 1995. Thermochemistry of the rare earth alloys with the 14th group elements. *Pure & Appl. Chem.*, **67**(11):1831-1838
- Giné M.F. 1999 *Espectrometria de Massas com fonte de plasma (ICP-MS)*. CENA/USP Piracicaba, 118p.
- Gleyzes C., Tellier S., Astruc M. 2003. Fractionation studies of trace elements in contaminated soils and sediments: a review of sequential extraction Procedures. *Trends Anal. Chem.*, **21**(8): 451-467
- Goldstein S.J. & Jacobsen S.B. 1988. Rare earth elements in river waters. *Earth Plan. Sci. Lett.*, **89**:35-47.
- Horbe A.M.C., Queiroz M.M.A., Moura C.A.V., Toro M.A.G. 2013 Geoquímica das águas do médio e baixo rio Madeira e seus principais tributários - Amazonas – Brasil. *Acta Amazon.*, **43**(4):489-504
- Hughes S.S., Schmitt R.A., Wang Y.L., Wasserburg G.J. 1986. Trace element and Sr-Nd isotopic constraints on the composition on the composition of lithospheric primary sources of Serra Geral continental flood basalts, southern Brazil. *Geochem. J.*, **20**:173-189.
- Iriondo M.H., Paggi J.C., Parma M.J. (Eds.) 2007. *The Middle Paraná River; Limnology of a Subtropical Wetland*. Springer-Verlag. Berlin. 381p.
- Jain C.K. 2004 Metal fractionation study on bed sediments of River Yamuna, India *Water Res.*, **38**:569–578
- Korfali S.I. & Jurdi M.S. 2011. Speciation of metals in bed sediment and water of Qaraaoun reservoir, Lebanon. *Environ.Monit.Assess.*, **178**:563-579.
- Klaver G., Verheul M., Bakker I., Petelet-Giraud E., Négrel P. 2014. Anthropogenic Rare Earth Element in rivers: Gadolinium and lanthanum. Partitioning between the dissolved and particulate phases in the Rhine River and spatial propagation through the Rhine-Meuse Delta (the Netherlands). *Appl. Geochem.*, **47**:186-197
- Kulaksız S. & Bau M. 2007. Contrasting behavior of anthropogenic gadolinium and natural rare earth elements in estuaries and the gadolinium input into the North Sea. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **260**:361–371.
- Kulaksız S. & Bau M. 2011 Rare earth elements in the Rhine River, Germany: first case of anthropogenic lanthanum as a dissolved microcontaminant in the hydrosphere. *Environ. Int.*, **37**:973–979

- Kulaksiz S. & Bau M. 2013. Anthropogenic dissolved and colloid/nanoparticle-bound samarium, lanthanum and gadolinium in the Rhine River and the impending destruction of the natural rare earth element distribution in rivers *Earth Plan. Sci.Lett.*, **362**:43–50
- Laveuf S. & Cornu, C. 2009. A review on the potentiality of Rare Earth Elements to trace pedogenetic processes. *Geoderma*, **154**:1–12
- Lecomte K. L., Bicalho C.C., Silva-Filho E.V. 2016. Geochemical characterization in karst basin tributaries of the San Franciscan depression: The Corrente River, western Bahia, NE-Brazil *J. South American Earth Sci.*, **69**:119-130
- Leleyler L., Probst J.L., Rouault R., Samuel J., Depetris P., Haida, S.; Mortatti, J. 1999. Distribution des terres rares dans les sédiments fluviaux : fractionnement entre les phases labiles et résiduelles. *Earth Plan. Sci.*, **329**:45-52
- Leybourne M.I. & Johannesson K.H. 2008 Rare earth elements (REE) and yttrium in stream waters, stream sediments, and Fe–Mn oxyhydroxides: Fractionation, speciation, and controls over REE + Y patterns in the surface environment. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **72**: 5962–5983.
- Liu J.J., Lai Z.J., Liu Y. 2013. Study on Speciation and Fractionation of Rare Earth Elements in Surface Sediments in Gansu, Ningxia and Mongolia Sections of Yellow River. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, **33(3)**:798-803.
- Longerich H.P., Fryerd B.J., Strong D.F., Kantipuly C.J. 1987. Effects of operating conditions on the determination of the rare Earth elements by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) *Spectrochimica Acta* **42B(1/2)**:75-92.
- McLennan S.M., 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks. Influence of provenance and sedimentary processes. In: Lipin, B.R., McKay, G.A. (Eds.), *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements. Rev. Mineral. vol. 21*:p.169–200.
- Martins V.A., Dias J.A., Laut L.M. 2013. Especiation of rare earth elements in surface sediments of Lagoon of Aveiro (N Portugal) *J Coastal Res. Spec. edition*, **65**:64-69.
- Merschel G., Bau M., Baldewein L., Dantas E.L., Walde D., Buhn B. 2015. Tracing and tracking wastewater-derived substances in freshwater lakes and reservoirs: Anthropogenic gadolinium and geogenic REEs in Lake Paranoá , Brasília. *C. R. Geoscience*, **347**:284–293
- Moller P., Knappe A., Dulski P. 2014. Seasonal variations of rare earths and yttrium distribution in the lowland Havel River, Germany, by agricultural fertilization and effluents of sewage treatment plants *App. Geochem.*, **41**:62–72
- Montaser A. (ed) 1998. *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*. Willey-VCH inc, New York, 964p.
- Moraes G.M. 2016 Características hidrogeoquímicas das bacias de drenagem dos rios Capivari e Jundiá, SP: aspectos das influências antrópicas. Tese de doutorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. 218 pp.

- Munk L. & Faure G. 2004. Effects of pH fluctuations on potentially toxic metals in the water and sediment of the Dillon Reservoir, Summit county, Colorado. *Appl. Geochem.*, **19**: 1065-1074.
- Noack C.W., Dzombak D.A., Karamalidis A.K. 2014. Rare earth element distributions and trends in natural waters with a focus on groundwater. *Environ Sci. Technol.*, **48**: 4317-4326.
- Och L.M., Muller B., Wichser A., Ulrich A., Sturm M. 2014 Rare earth elements in the sediments of lake Baikal. *Chem. Geol.*, **376**:61-75
- Oliveira S.M.B., Silva P.S.C., Mazzilli B.P., Fávoro D.I.T. 2007. Rare earth elements as tracers of sediment contamination by phosphogypsum in the Santos estuary, southern Brazil. *Appl. Geochem.*, **22**: 837-850.
- Pattan J.N., Pearce N.J.G., Mislankar P.G. 2005. Constraints in using Cerium-anomaly of bulk sediments as an indicator of paleo bottom water redox environment: A case study from Central Indian Ocean Basin. *Chem. Geol.*, **221**:260-278
- Pereira J.C., Silva A.K.G., Nalini Jr H.A., Silva E.P., Lena J.C. 2007. Distribuição, fracionamento e mobilidade de elementos traço em sedimentos superficiais. *Quím. Nova*, **30(5)**:1249-1255.
- Rabiet M., Brissaud F., Seidel J.L., Pistre S., Elbaz-Poulichet F. 2009. Positive gadolinium anomalies in wastewater treatment plant effluents and aquatic environment in the Hérault watershed (South France). *Chemosphere*, **75**:1057–1064.
- Ramos S. J., Dinali G. S., Carvalho T. S., Chaves L. C., Siqueira J. O., Guilherme L. R. G. 2016. Rare earth elements in raw materials and products of the phosphate fertilizer industry in South America: Content, signature, and crystalline phases. *J. Geochem. Expl.*, **168**: 177–186
- Rauret G., Lopes-Sánchez J.F., Luck D., Muntau H., Quavauviller P. 2001. The certification of the extractable contents (mass fractions) of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in freshwater sediment following a sequential extraction procedure BCR 701. *European Commission*. [https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/rm/BCR-701\\_report.pdf](https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/rm/BCR-701_report.pdf) Acessado em 08 nov 2013.
- Raut N.M., Huang, L.S., Aggarwal, S.K., Lin, K.C. 2005. Mathematical Correction for Polyatomic Isobaric Spectral Interferences in Determination of Lanthanides by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *J. Chinese Chem. Soc.*, **(52)**:589-597
- Renner L.C., Hartmann L.A., Wildner W., Massone H.J., Theye T. 2011. A micro analytical approach to partition coefficients in plagioclase and clinopyroxene of basaltic sills in Serra Geral Formation, Paraná Basin, Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, **41(2)**:263-289
- Rozemeijer J., Siderius C., Verheul M., Pomarius H., 2012. Tracing the spatial propagation of river inlet water into an agricultural polder area using anthropogenic gadolinium. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **16**:405–2415.
- Santos A.B. 2015 Elementos terras raras e traçadores isotópicos em estuários subtropicais: uma abordagem geoquímica da transferência de metais à biota. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 162 p.
- Serra O.A. 2011. Terras Raras - Brasil x China. *J. Braz. Chem. Soc.*, **22(5)**:809-810

- Singh P.K., Mohan D., Singh V. K., Malik A. 2005. Studies on distribution and fractionation of heavy metals in Gomti river sediments - a tributary of the Ganges, India. *J. Hydrology*, **312**:14–27
- Sholkovitz E. R. 1993. The geochemistry of rare earth elements in the Amazon River estuary. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **57**:2181-2190
- Song Y. H. & Choi M.S. 2009. REE geochemistry of fine-grained sediments from major rivers around the Yellow Sea. *Chem. Geol.*, **266**:328–342
- Squisato E., Nardy A.J.R., Machado F.B., Marques L.S., Rocha Jr, E.R.V., Oliveira M.A.F. 2009. Litogeoquímica e aspectos petrogenéticos dos basaltos da Província Magmática do Paraná na porção centro-norte do estado de São Paulo. *Geociências*, **28(1)**: 27-41.
- Su N., Yasg S., Guo Y., Yue W., Wang X., Huang X. 2017. Revisit of rare earth element fractionation during chemical weathering and river sediment transport. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **18**:935-955
- Sultan K. & Shazili N.A. 2009. Rare Earth elements in tropical surface water, soil and sediments of the Terengganu River Basin, Malaysia. *J. Rare Earth*, **27(6)**:1072-1078.
- Sutherland R.A. 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environ. Geol.*, **39(6)**: 611-627.
- Tang J. & Johannesson K.H. 2009. *Geochemistry of the rare earth elements in natural terrestrial waters*. VDM Verlag Dr. Muller, Saarbrucken, Germany, 107pp
- Valitutto R.S., Sella S.M., Silva-Filho E.V., Pereira R.G., Miekeley N. 2006. Accumulation of metals in macrophytes from water reservoirs of a power supply plant, Rio de Janeiro State, Brazil. *Water Air Soil Pollut.*, **178**:89–102
- Veen E.H.V., Bosch S., Vollebregt M.T.C. L. 1995. Spectral interpretation and interference correction in inductively coupled plasma mass spectrometry. *Spectrochim Acta*, **49B(12-14)**: 1347-1361.
- Veríssimo C.U.V., Magini C., Parente C.V., Nogueira Neto, J.A., Almeida A.F. 2009. Petrografia e litoquímica das formações ferríferas bandadas da região de Quixeramobim - Boa Viagem, Ceará, Brasil. *Geociências – UNESP*, **28(1)**: 43-52
- Viers J., Dupré B., Gaillardet J. 2009. Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: New insights from a new database. *Sci. Tot. Environ.*, **407**:853-868
- Wiechula D., Loska K., Korus I. 2005. Lead partitioning in the bottom sediment of Rybnik reservoir (Southern Poland) *Water Air Soil Poll.*, **164**: 315-327.
- Williams M., Kumar A., Ort C., Lawrence M.G., Hambly A., Khan S.J., Kookana R. 2013. The use of multiple tracers for tracking wastewater discharges in freshwater systems *Environ. Monit. Assess.*, **185**:9321–9332.
- Woller P., Dulski P., Bau M., Knappe A., Pekdeger A., Jarmersted C.S. 2000 Anthropogenic gadolinium as a conservative tracer in hydrology. *J. Geochem. Expl.*, **69–70**:409–414
- Xu Y., Song J., Duan L., Yuan H., Zhang P. 2012. Fraction characteristics of rare earth elements in the surface sediment of Bohai Bay, North China. *Environ. Monit. Assess.*, **184**:7275-7292

Zhang Y., Gao X., Chen-Tung A.C. 2014. Rare earth elements in intertidal sediments of Bohai Bay, China: Concentration, fractionation and the influence of sediment texture. *Ecotoxicol. Environ Saf.*, **105**:72-79.

## ANEXOS

### ANEXO A – LIMITES DE QUANTIFICAÇÃO, CONTROLE DE QUALIDADE ANALÍTICA, RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS MATERIAIS DE REFERÊNCIA CERTIFICADOS (MRC) DETERMINADOS.

Os dados do controle analítico que foram executados em conjunto com todas as amostras analisadas de água circulante (coluna de água), água intersticial, extração sequencial e determinação da concentração total dos elementos nas amostras de sedimento estão apresentados. São estes os brancos de análise, as soluções de verificação internas (controles internos) e os materiais de referência certificados, para as matrizes aquosas e sólidas.

#### 1 – Limites de quantificação estabelecidos para ICP-MS e ICP-OES, brancos e soluções de verificação internas.

O limite de quantificação é considerado três vezes o limite de detecção. As Tabelas 1 e 2 apresentam os limites de quantificação (LQ) e as análises de alguns brancos obtidos por ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry*) e ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry*) respectivamente, quando da determinação destes elementos em águas circulantes e intersticiais.

As Tabelas 3 a 5 apresentam os resultados obtidos para as soluções de verificação interna (SV), para os elementos determinados por ICP-MS (Tabelas 3 e 4 para SV- C1 e SV-C2, respectivamente) e ICP-OES (SV-C1, Tabela 5), produzidas pelo próprio laboratório, com soluções padrões dos elementos diferentes das soluções utilizadas para a curva de calibração.

Tabela 1 – Limites de quantificação (LQ) (em mg L<sup>-1</sup>) calculados e análises de brancos por ICP-OES (n=3).

Elemento	LQ	Branco		
Al	0,07	0,034	0,0569	0,0258
Ba	0,002	0,0008	0,0005	0,0006
Ca	0,30	0,12	0,17	0,08
Fe	0,04	0,016	0,005	0,011
K	0,10	0,022	0,000	0,017
Mg	0,05	0,018	0,013	0,019
Mn	0,005	0,0009	0,0002	0,0011
Na	0,05	0,011	0,016	0,008
P	0,01	0,009	0,009	0,007

Tabela 2 – Limites de quantificação calculados e análises de brancos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) por ICP-MS (n=5).

	<b>LQ (<math>\mu\text{g L}^{-1}</math>)</b>	<b>Resultados de análises dos brancos - coluna de água e água intersticial - ICP- MS</b>				
<b>Li</b>	<b>0,05</b>	-0,027	-0,031	0,006	0,015	0,005
<b>Al</b>	<b>1,50</b>	0,53	0,45	1,29	-0,64	-0,54
<b>Sc</b>	<b>0,20</b>	0,11	-0,01	0,02	0,04	0,11
<b>Ti</b>	<b>0,05</b>	0,030	0,014	-0,038	-0,033	0,003
<b>V</b>	<b>0,05</b>	-0,019	0,025	0,043	0,034	0,014
<b>Mn</b>	<b>0,05</b>	-0,084	-0,083	0,019	-0,019	-0,011
<b>Co</b>	<b>0,005</b>	0,0043	0,0092	-0,0001	0,0012	0,012
<b>Ni</b>	<b>0,05</b>	0,009	0,033	0,016	0,008	-0,001
<b>Cu</b>	<b>0,10</b>	-0,06	0,01	0,01	-0,01	0,06
<b>Zn</b>	<b>0,30</b>	-0,13	0,01	0,30	0,00	0,07
<b>Sr</b>	<b>0,20</b>	-0,0161	0,0092	0,0534	0,0373	0,0673
<b>Y</b>	<b>0,001</b>	0,0008	0,0008	-0,0001	0,0003	0,0031
<b>Mo</b>	<b>0,01</b>	0,004	-0,001	0,000	0,004	0,002
<b>Cd</b>	<b>0,002</b>	0,0014	0,0001	0,0004	0,0003	0,0002
<b>Sb</b>	<b>0,01</b>	0,004	0,009	0,002	0,002	0,002
<b>Cs</b>	<b>0,01</b>	0,009	0,000	0,001	0,002	0,001
<b>La</b>	<b>0,003</b>	0,0007	0,0002	0,0003	0,0023	0,0006
<b>Ce</b>	<b>0,003</b>	0,0003	0,0015	-0,0005	0,0005	0,0009
<b>Pr</b>	<b>0,001</b>	0,0009	0,0008	-0,0034	0,0012	0,0003
<b>Nd</b>	<b>0,003</b>	0,0014	-0,0007	-0,0002	0,0003	0,0008
<b>Sm</b>	<b>0,002</b>	0,0009	0,0000	0,0004	-0,0028	0,0006
<b>Eu</b>	<b>0,001</b>	0,0004	-0,0012	-0,0003	0,0002	0,0016
<b>Gd</b>	<b>0,001</b>	0,0002	0,0005	0,0006	0,0019	0,0009
<b>Tb</b>	<b>0,001</b>	-0,0002	0,0002	0,0005	0,0001	0,0008
<b>Dy</b>	<b>0,001</b>	0,0009	-0,0001	0,0003	0,0008	0,0005
<b>Ho</b>	<b>0,001</b>	-0,0001	0,0004	0,0017	0,0003	0,0001
<b>Er</b>	<b>0,001</b>	-0,0002	0,0004	0,0007	0,0010	0,0007
<b>Tm</b>	<b>0,001</b>	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002	0,0004
<b>Yb</b>	<b>0,001</b>	0,0009	-0,0005	0,0002	0,0011	0,0006
<b>Lu</b>	<b>0,0005</b>	0,0003	-0,0002	0,0003	0,0001	0,0001
<b>Hf</b>	<b>0,004</b>	0,0030	-0,0013	0,0024	-0,0060	0,0019
<b>Hg</b>	<b>0,05</b>	0,024	0,009	0,031	0,013	-0,014
<b>Pb</b>	<b>0,01</b>	-0,018	0,009	0,005	0,003	0,003
<b>Th</b>	<b>0,001</b>	-0,0020	0,0054	0,0011	-0,0031	-0,0068
<b>U</b>	<b>0,001</b>	-0,0004	0,0001	0,0009	0,0003	0,0005
<b>Cr</b>	<b>0,03</b>	0,009	0,006	0,005	-0,005	0,028
<b>Fe</b>	<b>2,00</b>	1,04	0,01	0,25	0,11	0,21
<b>As</b>	<b>0,06</b>	0,045	0,009	0,012	0,025	0,032

Tabela 3 – Resultados (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) de análises de "SV - Controle 1" - coluna de água e água intersticial - ICP-MS (n = 6 a 8).

Elemento	Valor teórico	Intervalo de Confiança (p=0,05)	Resultados de análises de "SV - Controle 1" - coluna de água e água intersticial - ICP-MS							
Li	0,800	0,721 - 0,879	0,749	0,791	0,716	0,741	0,793	0,779	0,800	0,824
Al	8,00	6,80 - 9,20	7,72	7,98	9,05	9,09	6,91	8,37		
Sc	8,02	7,22 - 8,82	8,10	8,19	7,87	8,72	8,31	8,18	8,25	8,31
Ti	0,802	0,752 - 0,852	0,826	0,891	0,793	0,838	0,715	0,722	0,759	0,834
V	8,01	7,49 - 8,53	8,21	7,88	8,51	8,06	8,16	8,02	8,11	8,11
Mn	0,801	0,718 - 0,884	0,803	0,869	0,811	0,803	0,852	0,741		
Co	0,801	0,744 - 0,858	0,790	0,839	0,798	0,817	0,812	0,823	0,815	0,803
Ni	8,00	7,21 - 8,79	8,07	8,48	8,03	8,56	8,77	8,02	8,28	8,05
Cu	0,799	0,719 - 0,887	0,788	0,865	0,896	0,770	0,729	0,774	0,775	0,798
Zn	8,01	7,05 - 8,97	8,45	8,86	7,69	7,90	7,94	7,77	7,30	8,84
Sr	0,801	0,700 - 0,902	0,815	0,881	0,849	0,840	0,816	0,828	0,827	0,809
Y	0,800	0,736 - 0,864	0,800	0,841	0,793	0,802	0,814	0,863	0,816	0,814
Mo	0,801	0,721 - 0,881	0,765	0,772	0,746	0,764	0,736	0,796	0,823	0,811
Cd	0,800	0,721 - 0,879	0,771	0,768	0,741	0,735	0,736	0,749	0,745	0,761
Sb	0,800	0,721 - 0,879	0,796	0,794	0,759	0,738	0,746	0,823	0,834	0,837
Cs	0,798	0,742 - 0,854	0,761	0,791	0,769	0,769	0,765	0,834	0,812	0,799
La	0,800	0,736 - 0,864	0,763	0,783	0,767	0,753	0,751	0,802	0,796	0,775
Ce	0,800	0,736 - 0,864	0,823	0,843	0,818	0,808	0,798	0,855	0,860	0,827
Pr	0,800	0,736 - 0,864	0,820	0,806	0,825	0,851	0,790	0,797	0,804	0,797
Nd	0,800	0,736 - 0,864	0,794	0,841	0,787	0,769	0,756	0,813	0,809	0,812
Sm	0,800	0,736 - 0,864	0,796	0,843	0,804	0,778	0,774	0,812	0,804	0,803
Eu	0,800	0,736 - 0,864	0,791	0,843	0,794	0,768	0,770	0,817	0,798	0,801
Gd	0,800	0,736 - 0,864	0,788	0,819	0,792	0,773	0,760	0,821	0,792	0,784
Tb	0,800	0,736 - 0,864	0,794	0,841	0,791	0,770	0,763	0,797	0,790	0,803
Dy	0,800	0,736 - 0,864	0,792	0,842	0,806	0,776	0,765	0,824	0,789	0,798
Ho	0,800	0,736 - 0,864	0,802	0,846	0,803	0,767	0,767	0,822	0,807	0,812
Er	0,800	0,736 - 0,864	0,799	0,840	0,802	0,776	0,767	0,817	0,811	0,813
Tm	0,800	0,736 - 0,864	0,807	0,804	0,823	0,846	0,758	0,796	0,799	0,801
Yb	0,800	0,736 - 0,864	0,798	0,825	0,798	0,754	0,756	0,806	0,792	0,812
Lu	0,800	0,736 - 0,864	0,792	0,831	0,797	0,762	0,758	0,799	0,795	0,799
Hf	0,800	0,720 - 0,880	0,794	0,752	0,801	0,714	0,732	0,741	0,740	0,731
Hg	0,800	0,651 - 0,949	0,732	0,786	0,733	0,803	0,906	0,688		
Pb	0,800	0,720 - 0,880	0,812	0,796	0,766	0,749	0,724	0,786	0,820	0,787
Th	0,800	0,736 - 0,864	0,788	0,757	0,771	0,797	0,788	0,759	0,804	0,795
U	0,800	0,736 - 0,864	0,787	0,717	0,750	0,751	0,764	0,831	0,792	0,817
Cr	8,00	6,81 - 9,19	8,70	9,00	8,58	9,10	8,56	8,99	8,23	8,41
Fe	40,00	34,45 - 45,63	41,64	44,42	40,37	43,96	35,22	44,78		
As	8,01	7,05 - 8,96	8,04	7,52	8,02	8,87	8,26	8,46	8,22	8,20

Tabela 4 – Resultados (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) de análises de "SV - Controle 2" - coluna de água e água intersticial - ICP-MS (n =6 a 8).

Elemento	Valor teórico	Intervalo de Confiança (p=0,05)	Resultados de análises de "SV - Controle 2" - coluna de água e água intersticial - ICP-MS							
Li	1,600	1,513 - 1,687	1,519	1,592	1,529	1,567	1,597	1,538	1,644	1,645
Al	16,00	14,09 - 17,91	15,27	17,84	15,45	15,1	17,42	14,28		
Sc	16,03	14,84 - 17,23	16,10	15,34	15,95	16,87	16,8	17,04	16,49	16,72
Ti	1,603	1,522 - 1,684	1,576	1,673	1,529	1,608	1,423	1,650		
V	16,02	14,76 - 17,27	15,92	17,05	15,78	15,04	17,09	16,19	16,75	16,27
Mn	1,602	1,442 - 1,662	1,612	1,638	1,510	1,473	1,473	1,484		
Co	1,602	1,483 - 1,721	1,583	1,652	1,568	1,707	1,571	1,680	1,584	1,702
Ni	16,00	15,13 - 16,87	15,91	16,82	15,93	15,36	16,96	15,61	16,20	16,73
Cu	1,598	1,464 - 1,732	1,562	1,661	1,694	1,699	1,477	1,551	1,493	1,528
Zn	16,02	14,40 - 17,63	17,20	17,58	14,91	15,02	15,50	16,67	16,31	15,72
Sr	1,602	1,483 - 1,721	1,579	1,703	1,649	1,705	1,580	1,626	1,712	1,623
Y	1,600	1,504 - 1,696	1,581	1,656	1,589	1,610	1,627	1,594	1,635	1,684
Mo	1,602	1,483 - 1,721	1,489	1,514	1,498	1,512	1,584	1,624	1,673	1,636
Cd	1,600	1,513 - 1,687	1,585	1,513	1,532	1,514	1,670	1,531	1,575	1,546
Sb	1,600	1,513 - 1,687	1,572	1,516	1,515	1,572	1,533	1,568	1,541	1,542
Cs	1,600	1,480 - 1,720	1,539	1,538	1,534	1,495	1,686	1,701	1,710	1,702
La	1,600	1,504 - 1,696	1,506	1,554	1,550	1,551	1,565	1,541	1,633	1,638
Ce	1,600	1,504 - 1,696	1,504	1,533	1,548	1,524	1,515	1,518	1,564	1,570
Pr	1,600	1,504 - 1,696	1,612	1,647	1,661	1,620	1,624	1,587	1,683	1,682
Nd	1,600	1,504 - 1,696	1,648	1,656	1,678	1,660	1,680	1,675	1,620	1,630
Sm	1,600	1,504 - 1,696	1,560	1,677	1,591	1,551	1,548	1,535	1,636	1,638
Eu	1,600	1,504 - 1,696	1,557	1,661	1,571	1,571	1,537	1,563	1,618	1,641
Gd	1,600	1,504 - 1,696	1,548	1,660	1,591	1,560	1,539	1,541	1,614	1,633
Tb	1,600	1,504 - 1,696	1,536	1,636	1,592	1,576	1,536	1,522	1,607	1,647
Dy	1,600	1,504 - 1,696	1,547	1,659	1,573	1,561	1,536	1,513	1,609	1,630
Ho	1,600	1,504 - 1,696	1,554	1,647	1,600	1,555	1,549	1,544	1,623	1,626
Er	1,600	1,504 - 1,696	1,577	1,652	1,606	1,552	1,568	1,554	1,646	1,663
Tm	1,600	1,504 - 1,696	1,565	1,657	1,620	1,560	1,560	1,548	1,650	1,654
Yb	1,600	1,504 - 1,696	1,643	1,677	1,717	1,679	1,733	1,690	1,626	1,650
Lu	1,600	1,504 - 1,696	1,544	1,645	1,583	1,502	1,527	1,521	1,624	1,639
Hf	1,600	1,504 - 1,696	1,556	1,639	1,606	1,542	1,540	1,526	1,634	1,627
Hg	1,600	1,393 - 1,807	1,548	1,573	1,564	1,440	1,471	1,529	1,530	1,548
Pb	1,600	1,440 - 1,760	1,477	1,422	1,497	1,721	1,489	1,749	1,555	1,694
Th	1,600	1,504 - 1,696	1,580	1,558	1,534	1,509	1,666	1,628	1,602	1,660
U	1,600	1,504 - 1,696	1,540	1,585	1,448	1,472	1,675	1,578	1,586	1,653
Cr	16,00	14,53 - 17,47	16,5	16,9	17,3	15,1	16,5	15,0	17,3	17,0
Fe	80,00	67,91 - 92,25	80,19	84,95	85,10	89,65	88,50	73,08		
As	16,02	14,42- 17,64	16,22	14,45	16,31	15,94	14,22	17,20	16,84	16,97

Os resultados destas soluções são confrontados com os valores dos intervalos de confiança calculados e estimados para as mesmas, com 95% de confiança.

Tabela 5 – Resultados (em mg L<sup>-1</sup>) obtidos para a solução de verificação para ICP-OES “SV - C1” (n = 5).

Elemento	Valor teórico	Intervalo de Confiança (p=0,05)	SV – C1				
<b>Al</b>	<b>10,02</b>	9,54 - 10,50	10,21	10,28	10,09	9,95	10,28
<b>Ba</b>	<b>0,505</b>	0,459 - 0,547	0,531	0,535	0,534	0,524	0,522
<b>Ca</b>	<b>10,03</b>	9,47 - 10,59	10,47	10,31	10,28	10,23	10,47
<b>Fe</b>	<b>10,00</b>	9,27 - 10,73	10,61	10,51	10,52	10,47	10,45
<b>K</b>	<b>10,02</b>	9,54 - 10,50	10,10	10,08	10,12	9,927	9,911
<b>Mg</b>	<b>10,04</b>	9,41 - 10,66	10,58	10,12	10,42	10,39	10,18
<b>Mn</b>	<b>0,507</b>	0,449 - 0,566	0,562	0,560	0,553	0,552	0,556
<b>Na</b>	<b>9,99</b>	9,49 - 10,50	10,20	10,13	10,19	10,08	9,98
<b>P</b>	<b>0,500</b>	0,453 - 0,547	0,542	0,535	0,540	0,542	0,545

Todas as soluções de verificação ficaram dentro do intervalo de confiança estabelecidos para cada elemento, indicando que a precisão e a exatidão dos métodos estavam dentro dos parâmetros definidos e esperados pelo laboratório.

## 2 – Materiais de Referência Certificados em matrizes aquosas

Foram analisados os seguintes materiais de referência (MRC) certificados (ou com valores estabelecidos) em matrizes aquosas. Estes estão apresentados na Tabela 6.

Estes foram determinados para os elementos por ICP-MS ou ICP-OES de acordo com as concentrações disponíveis.

As incertezas para todos os MRCs foram calculadas de acordo com Franklin *et al.* (2012), e levou em consideração as diluições eventualmente realizadas para a determinação das amostras, o desvio padrão fornecido durante a determinação instrumental (replicata de três análises), a incerteza da curva analítica e a incerteza do método analítico (com base no desvio padrão do histórico das soluções de verificação determinadas ao longo dos anos); e retratam a incerteza total combinada com fator de abrangência igual a 2 e 95% de confiança.

Tabela 6 – Nomes, origem e fornecedores dos MRCs (para matrizes aquosas) utilizados neste estudo.

Nome	Matriz/Origem	Fornecedor	País de origem
SRM 1640a	Trace elements in natural water	NIST ( <i>National Institute of Standard and Technology</i> )	Estados Unidos da América
TM-28.4	Low level fortified sample for trace elements – Lake Ontario	Nacional Research Council Canada	Canadá
TM-23.4	Low level fortified sample for trace elements – Lake Ontario	Nacional Research Council Canada	Canadá
TMDA-54.5	High level fortified sample for trace elements – Lake Ontario	Nacional Research Council Canada	Canadá
SLRS-5	Ottawa River Water	Nacional Research Council Canada	Canadá

#### Determinações realizadas por ICP-MS

As Tabelas 7 a 9 apresentam os resultados obtidos para as determinações dos materiais de referência SRM 1640, TM-28.4 e TM-23.4, respectivamente, determinados por ICP-MS.

Para avaliar os resultados obtidos nos materiais de referência, foi determinado o Z-Score ( $Z_i$ ). Este teste estatístico tem como finalidade comparar os resultados da amostra com o valor verdadeiro (certificado) e seus desvios. O Z-Score é o quanto um dado se afasta da média em termos de desvio padrão. Estatisticamente, é aceito que o Z-Score possa variar entre  $-3,0 < Z_i < +3,0$ . Desta forma, tem-se que 99% da distribuição normal esteja inserida entre  $-3,0$  e  $+3,0$ ; e 95% da distribuição esteja entre  $-2,0$  e  $+2,0$ . O Laboratório de Química Inorgânica da CETESB adota como condição ideal o resultado entre  $\pm 2,0$ .

Tabela 7 – Resultados (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) obtidos e suas respectivas incertezas para o SRM-1640a por ICP-MS.

Elemento	Valor certificado	Incerteza	Determinações SRM 1640a					
			A	B	C	D	E	F
<b>Li</b>	<b>0,41</b>	<b>0,01</b>	0,39 ± 0,07	0,38 ± 0,06	0,35 ± 0,06	0,34 ± 0,06	0,36 ± 0,06	0,50 ± 0,07
<b>Al</b>	<b>53,0</b>	<b>1,8</b>	52,8 ± 5,6	58,1 ± 6,1	48,0 ± 5,1	60,2 ± 6,4		
<b>V</b>	<b>15,1</b>	<b>0,3</b>	14,8 ± 1,2	15,6 ± 1,2	16,0 ± 1,3	14,3 ± 1,1	14,8 ± 1,1	14,5 ± 1,1
<b>Mn</b>	<b>40,4</b>	<b>0,4</b>	42,4 ± 4,1	45,9 ± 4,5	44,4 ± 4,3	39,9 ± 4,0	44,8 ± 4,4	36,2 ± 3,8
<b>Co</b>	<b>20,2</b>	<b>0,2</b>	19,8 ± 1,2	20,3 ± 1,2	21,0 ± 1,2	19,2 ± 1,1	21,6 ± 1,3	22,4 ± 1,3
<b>Ni</b>	<b>25,3</b>	<b>0,2</b>	25,9 ± 2,4	26,7 ± 2,5	27,4 ± 2,6	25,3 ± 2,4	24,4 ± 2,3	24,5 ± 2,3
<b>Cu</b>	<b>85,8</b>	<b>0,5</b>	86,1 ± 7,1	88,4 ± 7,3	87,3 ± 7,3	83,8 ± 7,0	86,1 ± 7,9	76,7 ± 6,5
<b>Zn</b>	<b>55,6</b>	<b>0,4</b>	55,2 ± 4,6	59,6 ± 5,0	56,1 ± 4,7	57,1 ± 4,8	62,0 ± 5,2	50,1 ± 4,3
<b>Sr</b>	<b>126</b>	<b>2</b>	132 ± 9	120 ± 8	133 ± 9	129 ± 9	134 ± 9	125 ± 9
<b>Mo</b>	<b>45,6</b>	<b>0,6</b>	45,3 ± 3,7	43,8 ± 3,6	43,1 ± 3,5	44,1 ± 3,6	43,4 ± 3,6	45,9 ± 3,7
<b>Cd</b>	<b>3,99</b>	<b>0,07</b>	3,82 ± 0,40	3,81 ± 0,40	3,87 ± 0,40	3,89 ± 0,40	3,84 ± 0,39	3,87 ± 0,40
<b>Sb</b>	<b>5,11</b>	<b>0,05</b>	4,85 ± 0,50	4,71 ± 0,51	5,08 ± 0,54	4,84 ± 0,54	4,98 ± 0,54	4,81 ± 0,52
<b>Pb</b>	<b>12,1</b>	<b>0,1</b>	12,0 ± 1,0	12,0 ± 1,1	11,6 ± 1,0	12,1 ± 1,1	11,6 ± 1,1	11,9 ± 1,1
<b>U</b>	<b>25,3</b>	<b>0,3</b>	26,1 ± 2,1	24,7 ± 2,0	25,0 ± 2,0	26,3 ± 2,1	23,2 ± 1,9	24,1 ± 1,9
<b>Cr</b>	<b>40,5</b>	<b>0,3</b>	43,2 ± 3,6	43,3 ± 4,1	41,6 ± 3,7	44,0 ± 3,9	38,3 ± 3,4	42,3 ± 4,0
<b>Fe</b>	<b>36,8</b>	<b>1,8</b>	39,6 ± 3,6	35,1 ± 3,5	40,8 ± 3,7	43,9 ± 3,9	35,3 ± 3,2	37,0 ± 3,4
<b>As</b>	<b>8,08</b>	<b>0,07</b>	9,06 ± 0,73	9,02 ± 0,72	8,88 ± 0,73	7,50 ± 0,64	8,40 ± 0,68	8,25 ± 0,60

Tabela 8 – Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e suas respectivas incertezas para o TM-28.4 por ICP-MS. Resultados em  $\mu\text{g L}^{-1}$ .

Elemento	Valor certificado	Incerteza	Determinações TM-28.4					
			A	B	C	D	E	F
<b>Li</b>	<b>3,46</b>	<b>0,55</b>	3,12 ± 0,24	3,50 ± 0,26	3,09 ± 0,23	3,10 ± 0,24	3,27 ± 0,24	3,08 ± 0,23
<b>Al</b>	<b>54,3</b>	<b>6,1</b>	49,7 ± 5,2	59,3 ± 6,2	53,9 ± 5,7	56,4 ± 5,9	45,2 ± 4,8	55,2 ± 5,8
<b>Ti</b>	<b>8,13</b>	<b>0,69</b>	7,28 ± 0,36	7,96 ± 0,38	8,48 ± 0,42	7,31 ± 0,35	8,24 ± 0,39	8,44 ± 0,40
<b>V</b>	<b>3,18</b>	<b>0,32</b>	3,07 ± 0,25	3,13 ± 0,25	3,25 ± 0,26	2,97 ± 0,24	2,92 ± 0,23	3,39 ± 0,27
<b>Mn</b>	<b>6,96</b>	<b>0,45</b>	6,64 ± 0,65	7,27 ± 0,71	7,70 ± 0,75	6,74 ± 0,66	7,22 ± 0,70	7,33 ± 0,71
<b>Co</b>	<b>3,54</b>	<b>0,37</b>	3,27 ± 0,19	3,43 ± 0,20	3,81 ± 0,22	3,30 ± 0,19	3,65 ± 0,21	3,61 ± 0,21
<b>Ni</b>	<b>9,87</b>	<b>0,94</b>	9,76 ± 0,91	10,28 ± 0,96	9,96 ± 0,93	10,31 ± 0,96	9,51 ± 0,89	8,87 ± 0,83
<b>Cu</b>	<b>6,52</b>	<b>0,73</b>	6,15 ± 0,53	6,52 ± 0,56	6,91 ± 0,59	6,65 ± 0,58	7,21 ± 0,62	6,00 ± 0,52
<b>Zn</b>	<b>29,5</b>	<b>3,71</b>	30,3 ± 2,7	24,5 ± 2,2	34,1 ± 2,9	33,6 ± 2,9	32,3 ± 2,9	31,3 ± 2,8
<b>Sr</b>	<b>72,6</b>	<b>4,75</b>	72,0 ± 5,0	78,6 ± 5,4	77,8 ± 5,4	72,8 ± 5,0	74,9 ± 5,2	69,0 ± 4,8
<b>Mo</b>	<b>3,78</b>	<b>0,68</b>	3,59 ± 0,29	3,62 ± 0,29	3,60 ± 0,30	3,74 ± 0,31	3,68 ± 0,30	3,67 ± 0,30
<b>Cd</b>	<b>1,91</b>	<b>0,15</b>	1,76 ± 0,19	1,88 ± 0,21	1,83 ± 0,20	1,87 ± 0,20	2,00 ± 0,22	1,96 ± 0,21
<b>Sb</b>	<b>3,42</b>	<b>0,29</b>	3,53 ± 0,39	3,54 ± 0,39	3,42 ± 0,38	3,67 ± 0,40	3,61 ± 0,39	3,66 ± 0,40
<b>Pb</b>	<b>4,35</b>	<b>0,37</b>	4,23 ± 0,35	3,91 ± 0,32	4,19 ± 0,34	4,47 ± 0,37	4,30 ± 0,34	4,10 ± 0,33
<b>U</b>	<b>5,89</b>	<b>0,42</b>	5,78 ± 0,47	6,23 ± 0,52	5,77 ± 0,47	6,24 ± 0,52	6,01 ± 0,49	6,06 ± 0,50
<b>Cr</b>	<b>4,9</b>	<b>0,38</b>	5,05 ± 0,45	5,18 ± 0,52	5,06 ± 0,53	5,17 ± 0,50	4,76 ± 0,43	4,47 ± 0,40
<b>Fe</b>	<b>17,8</b>	<b>3,11</b>	21,8 ± 2,0	19,9 ± 1,8	20,2 ± 2,0	21,2 ± 2,0	14,0 ± 1,3	16,6 ± 1,5
<b>As</b>	<b>6,27</b>	<b>0,56</b>	6,39 ± 0,48	7,03 ± 0,53	6,47 ± 0,55	7,13 ± 0,55	5,58 ± 0,44	6,03 ± 0,43

Tabela 9 – Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e suas respectivas incertezas para o TM-23.4 por ICP-MS.

Elemento	Valor certificado	Incerteza	TM-23.4			
			A	B	C	D
Li	2,02	0,3	1,78 ± 0,15	1,82 ± 0,15	1,80 ± 0,16	1,93 ± 0,16
Al	94,3	9,3	103 ± 11	86,3 ± 9,1	82,8 ± 8,9	98,3 ± 10,4
Ti	3,15	0,52	2,78 ± 0,18	3,18 ± 0,19	3,19 ± 0,20	3,10 ± 0,19
V	1,92	0,22	1,60 ± 0,13	1,86 ± 0,14	1,81 ± 0,14	2,19 ± 0,17
Mn	8,78	0,63	8,57 ± 0,83	9,41 ± 0,92	8,44 ± 0,82	7,95 ± 0,78
Co	7,08	0,55	6,82 ± 0,41	7,47 ± 0,45	7,52 ± 0,44	6,91 ± 0,42
Ni	4,96	0,62	5,46 ± 0,51	5,17 ± 0,48	5,31 ± 0,49	4,89 ± 0,45
Cu	8,52	0,83	8,67 ± 0,74	9,43 ± 0,80	9,55 ± 0,81	8,42 ± 0,72
Sr	111	7	117 ± 8	119 ± 8	119 ± 8	112 ± 8
Mo	4,19	0,44	4,09 ± 0,33	3,94 ± 0,32	3,92 ± 0,33	4,33 ± 0,36
Cd	2,91	0,28	2,88 ± 0,31	2,77 ± 0,30	2,71 ± 0,30	3,19 ± 0,34
Sb	3,26	0,32	3,06 ± 0,33	2,91 ± 0,32	2,83 ± 0,31	3,40 ± 0,34
Pb	2,98	0,27	2,61 ± 0,24	3,40 ± 0,29	2,94 ± 0,24	2,84 ± 0,22
U	5,00	0,39	5,39 ± 0,43	4,94 ± 0,39	4,94 ± 0,39	5,10 ± 0,41
Cr	6,77	0,63	6,53 ± 0,58	7,38 ± 0,70	7,35 ± 0,66	6,50 ± 0,59
Fe	14,7	2,37	17,5 ± 1,6	12,2 ± 1,1	15,9 ± 1,4	14,1 ± 1,3
As	8,12	0,63	9,28 ± 0,67	9,16 ± 0,67	8,47 ± 0,62	7,97 ± 0,59

As Figuras 1 a 3 apresentam os resultados calculados de Z-Score para os MRCs SRM 1640, TM-28.4 e TM-23.4 respectivamente.

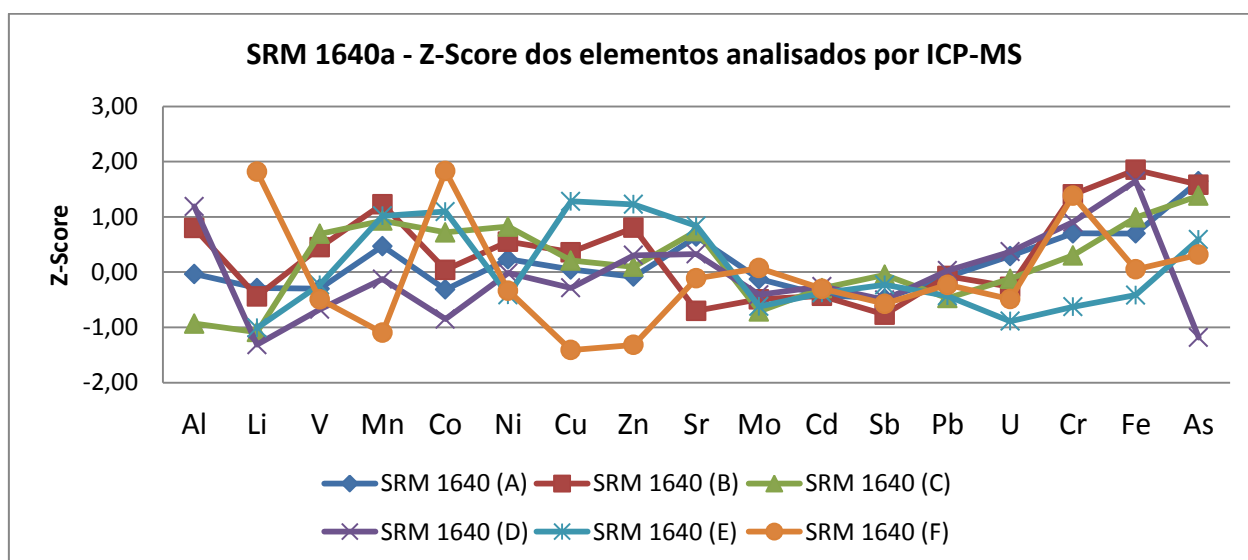


Figura 1 – Z-score dos elementos determinados no SRM 1640 por ICP-MS.

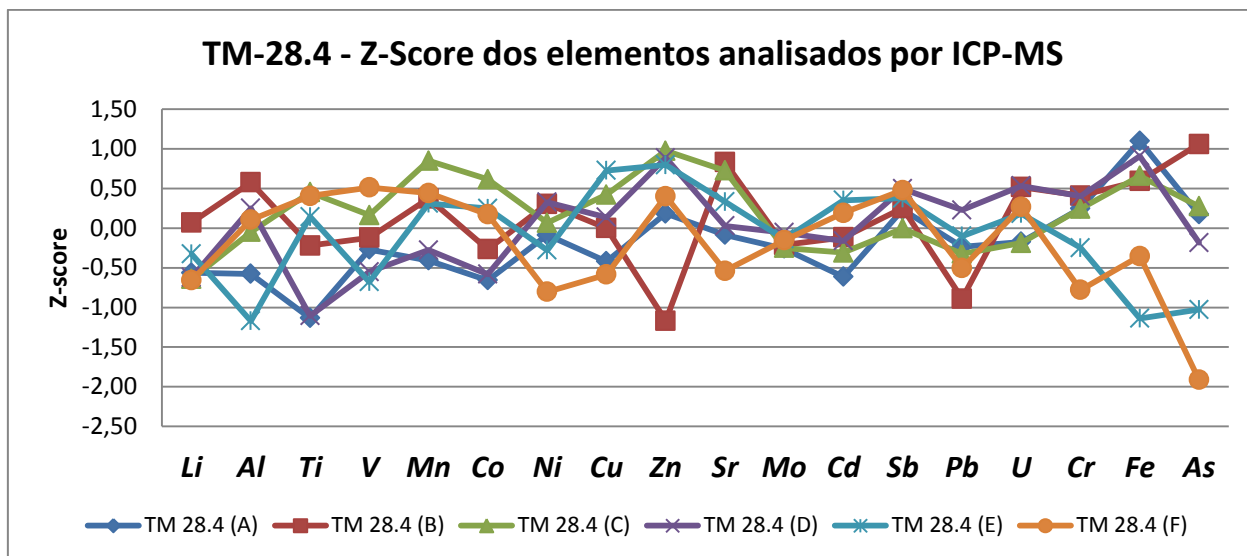


Figura 2 – Z-score dos elementos determinados no TM-28.4 por ICP-MS.

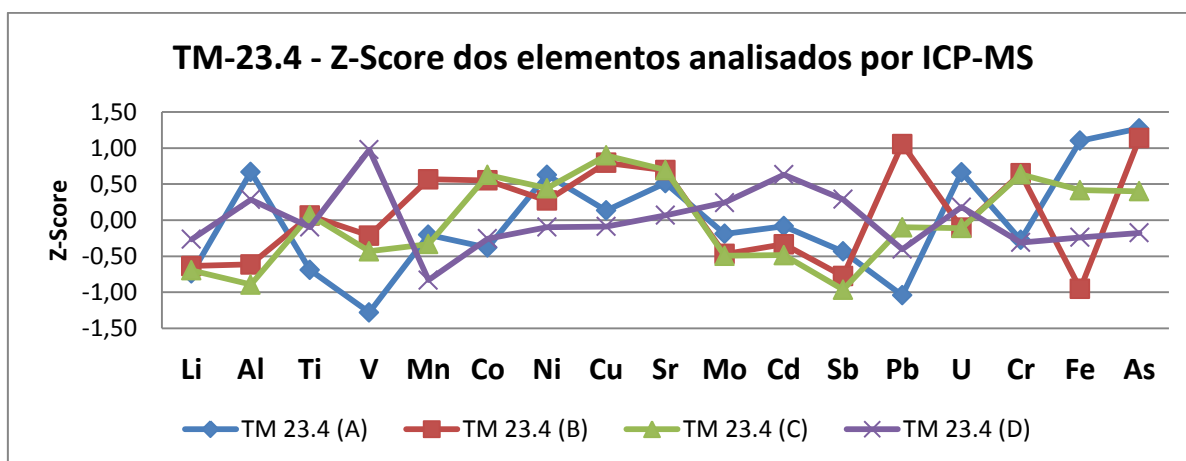


Figura 3 – Z-score dos elementos determinados no TM-23.4 por ICP-MS.

Para o SRM 1640, o Z-Score variou entre -1,5 e +2,0 para todos os elementos, indicando boa exatidão dos resultados frente aos valores certificados para os elementos. O mesmo pode se concluir em relação ao TM-28.4 e o TM-23.4 também apresentaram  $Z_i$  entre o intervalo de -2,0 e +2,0 para todos os elementos em todas as determinações.

O MRC SLRS-5 foi determinado para o Y e os lantanídeos. Apesar de não possuir em sua certificação original estes elementos, Yeghicheyan *et al.* (2013) estabeleceram valores de referência para estes elementos no SLRS-5. A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos para os ETRs neste MRC e os valores recomendados por Yeghicheyan *et al.* (2013).

Tabela 10 – Resultados, valores estabelecidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e suas respectivas incertezas para ETRs no SLRS-5 (n=5).

Elemento	Valor estabelecido	Incerteza	SLRS- 5				
			A	B	C	D	E
Y	<b>0,112</b>	<b>0,009</b>	0,118 ± 0,013	0,119 ± 0,016	0,122 ± 0,017	0,117 ± 0,015	0,108 ± 0,014
La	<b>0,2072</b>	<b>0,0128</b>	0,210 ± 0,027	0,231 ± 0,029	0,239 ± 0,030	0,223 ± 0,030	0,215 ± 0,028
Ce	<b>0,2523</b>	<b>0,0597</b>	0,256 ± 0,032	0,276 ± 0,036	0,303 ± 0,037	0,278 ± 0,033	0,274 ± 0,036
Pr	<b>0,0491</b>	<b>0,0072</b>	0,056 ± 0,009	0,051 ± 0,008	0,056 ± 0,009	0,054 ± 0,009	0,048 ± 0,007
Nd	<b>0,1921</b>	<b>0,0464</b>	0,196 ± 0,020	0,207 ± 0,021	0,220 ± 0,022	0,211 ± 0,025	0,196 ± 0,024
Sm	<b>0,0337</b>	<b>0,0044</b>	0,032 ± 0,006	0,034 ± 0,008	0,039 ± 0,008	0,036 ± 0,007	0,035 ± 0,007
Eu	<b>0,0061</b>	<b>0,0011</b>	0,0069 ± 0,0022	0,0068 ± 0,0017	0,0063 ± 0,0021	0,0063 ± 0,0020	0,0059 ± 0,0016
Gd	<b>0,0267</b>	<b>0,0044</b>	0,0290 ± 0,0043	0,0311 ± 0,0073	0,0281 ± 0,0058	0,0305 ± 0,0060	0,0290 ± 0,0056
Tb	<b>0,0034</b>	<b>0,0006</b>	0,0030 ± 0,0010	0,0037 ± 0,0012	0,0036 ± 0,0014	0,0034 ± 0,0011	0,0033 ± 0,0011
Dy	<b>0,0191</b>	<b>0,0020</b>	0,0204 ± 0,0060	0,0207 ± 0,0048	0,0220 ± 0,0050	0,0211 ± 0,0046	0,0197 ± 0,0055
Ho	<b>0,0037</b>	<b>0,0004</b>	0,0035 ± 0,0010	0,0041 ± 0,0013	0,0039 ± 0,0014	0,0045 ± 0,0012	0,0035 ± 0,0013
Er	<b>0,0109</b>	<b>0,0012</b>	0,0111 ± 0,0025	0,0115 ± 0,0023	0,0134 ± 0,0022	0,0119 ± 0,0023	0,0120 ± 0,0030
Tm	<b>0,0015</b>	<b>0,0005</b>	0,0018 ± 0,0008	0,0017 ± 0,0008	0,0016 ± 0,0007	0,0014 ± 0,0007	0,0012 ± 0,0007
Yb	<b>0,0101</b>	<b>0,0016</b>	0,0103 ± 0,0022	0,0111 ± 0,0026	0,0119 ± 0,0025	0,0113 ± 0,0021	0,0102 ± 0,0028
Lu	<b>0,0017</b>	<b>0,0004</b>	0,0014 ± 0,0008	0,0020 ± 0,0009	0,0016 ± 0,0007	0,0018 ± 0,0008	0,0013 ± 0,0007

A Figura 4 apresenta o resultado do Z-Score para o SLRS-5 em relação aos ETRs e a Figura 5 apresenta a normalização dos resultados obtidos e dos valores estabelecidos para o SLRS-5 por PAAS (McLennan, 1989).

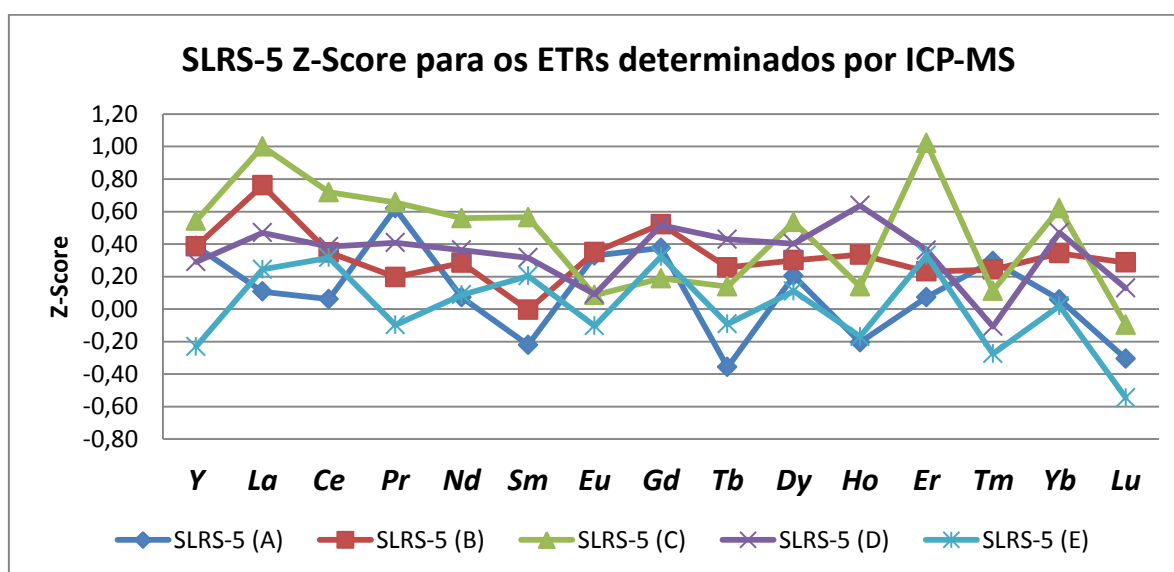


Figura 4 - Z-score dos elementos determinados no SLRS-5 por ICP-MS.

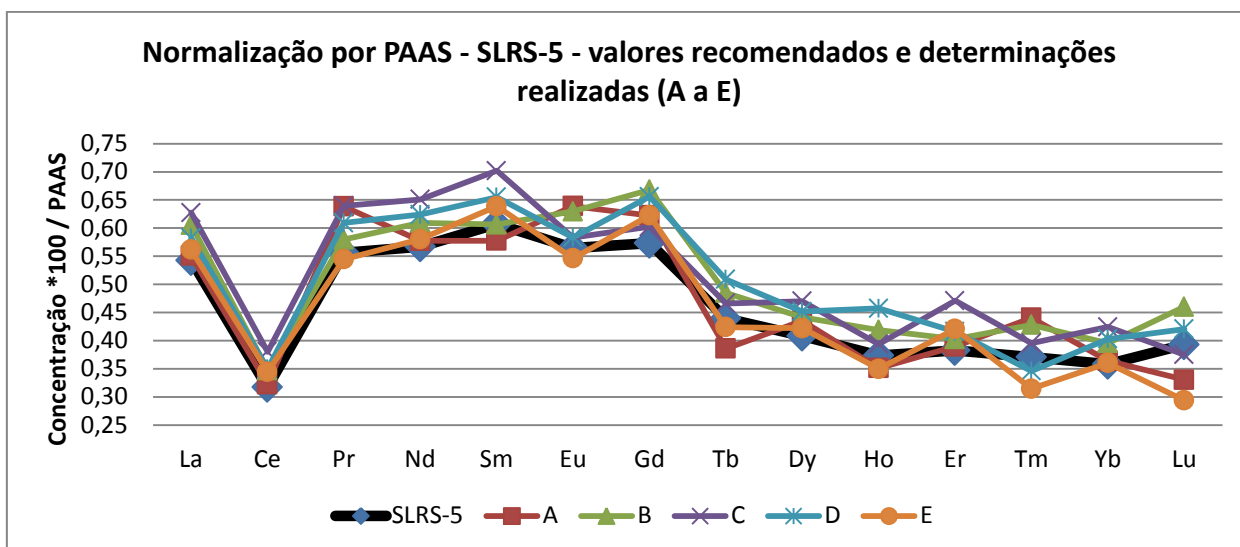


Figura 5 – Normalização por PAAS dos elementos determinados no SLRS-5 e dos valores recomendados por ICP-MS.

Para os ETRs, o valor obtido para  $Z_i$  oscilou entre  $-0,60$  e  $+1,1$  para os elementos e em todas as determinações, indicando boa exatidão para com os valores estabelecidos.

A normalização apresentou resultados bem coerentes entre os valores obtidos e os recomendados para os ETRs, merecendo destaque a maior flutuação observada para os elementos Tm e Lu, muito em função dos valores recomendados estarem muito próximos ao limite de quantificação do método.

#### Determinações realizadas por ICP-OES.

As Tabelas 11 e 12 apresentam os resultados obtidos para as determinações dos MRCs SRM 1640a e TMDA-53.5 respectivamente.

Tabela 11 - Resultados obtidos (em  $\text{mg L}^{-1}$ ) e suas respectivas incertezas para o SRM 1640a por ICP-OES.

Elemento	Valor certificado	Incerteza	SRM 1640a		
			A	B	C
Ba	0,152	0,001	$0,15 \pm 0,02$	$0,15 \pm 0,02$	$0,15 \pm 0,02$
Ca	5,62	0,02	$5,74 \pm 0,65$	$5,63 \pm 0,64$	$5,55 \pm 0,63$
Fe	0,037	0,002	$0,04 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,01$
K	0,58	0,01	$0,60 \pm 0,09$	$0,58 \pm 0,08$	$0,50 \pm 0,07$
Mg	1,06	0,01	$1,07 \pm 0,12$	$1,08 \pm 0,12$	$1,11 \pm 0,12$
Mn	0,0404	0,0004	$0,041 \pm 0,010$	$0,041 \pm 0,009$	$0,041 \pm 0,010$
Na	3,14	0,03	$3,13 \pm 0,40$	$3,10 \pm 0,39$	$3,22 \pm 0,41$

Tabela 12 - Resultados obtidos (em  $\text{mg L}^{-1}$ ) e suas respectivas incertezas para o TMDA 54.5 por ICP-OES.

Elemento	Valor certificado	Incerteza	TMDA-54.5				
			A	B	C	D	E
<b>Al</b>	<b>0,399</b>	<b>0,034</b>	$0,46 \pm 0,06$	$0,38 \pm 0,05$	$0,40 \pm 0,05$	$0,38 \pm 0,05$	$0,39 \pm 0,05$
<b>Ba</b>	<b>0,333</b>	<b>0,022</b>	$0,34 \pm 0,03$	$0,32 \pm 0,03$	$0,33 \pm 0,03$	$0,34 \pm 0,03$	$0,33 \pm 0,03$
<b>Fe</b>	<b>0,382</b>	<b>0,033</b>	$0,40 \pm 0,04$	$0,38 \pm 0,04$	$0,40 \pm 0,04$	$0,39 \pm 0,04$	$0,38 \pm 0,04$
<b>Mn</b>	<b>0,284</b>	<b>0,022</b>	$0,30 \pm 0,03$	$0,28 \pm 0,03$	$0,29 \pm 0,03$	$0,28 \pm 0,03$	$0,28 \pm 0,03$

As Figuras 6 e 7 apresentam o Z-score para os MRCs SRM 1640a e o TMDA-53.5, respectivamente.

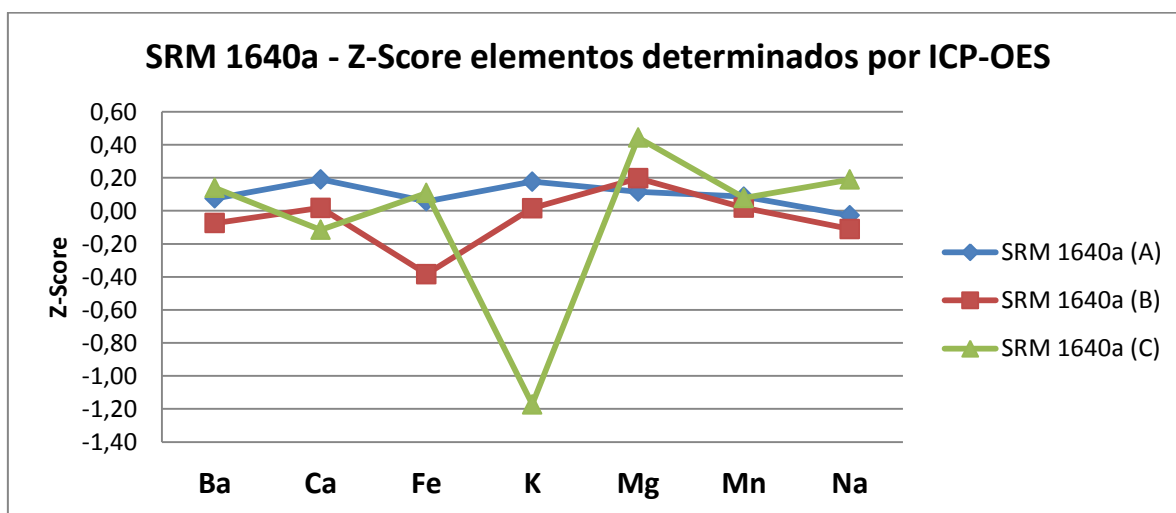


Figura 6 - Z-score dos elementos determinados no SRM 1640a por ICP-OES.

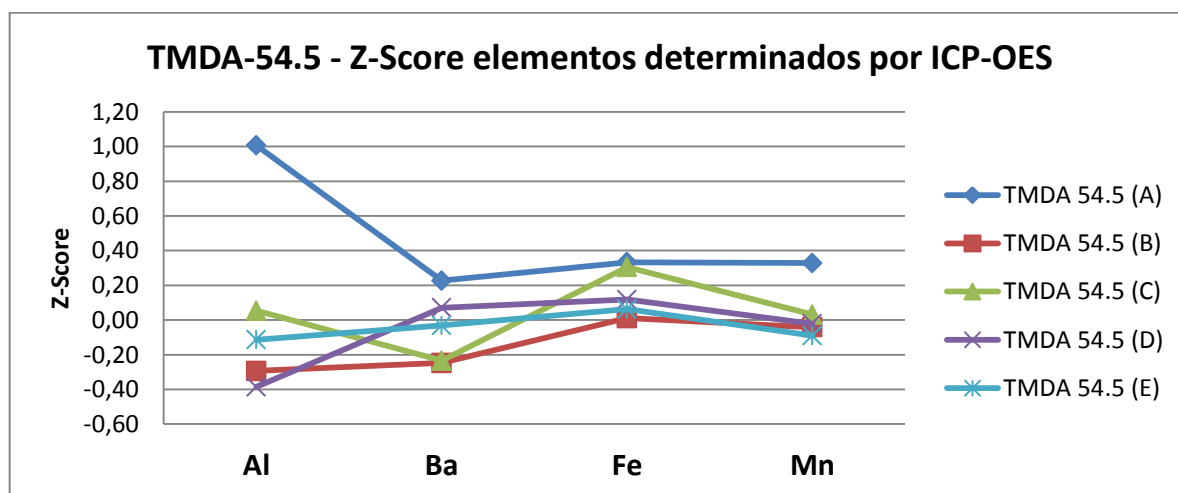


Figura 7 - Z-score dos elementos determinados no TMDA-53.5 por ICP-OES.

Em ambos os MRCs, o Z-score oscilou entre +1,0 e -1,2; indicando um bom grau de exatidão frente aos valores certificados para os MRCs e consequentemente para as determinações realizadas.

### 3 – Materiais de Referência Certificados em matrizes sólidas

#### 3.1 – Elementos em suas concentrações totais

Foram analisados os seguintes materiais de referência (MRC) certificados (ou com valores estabelecidos/informativos) em matrizes sólidas para a análise total dos elementos. Estes estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Nomes, origem e fornecedores dos MRCs (para matrizes aquosas) utilizados neste estudo.

Nome	Matriz/Origem	Fornecedor	País de origem
SRM 2709a	San Joaquin Soil – Baseline trace elements concentration	NIST ( <i>National Institute of Standard and Technology</i> )	Estados Unidos da América
SRM 1944	New York/New Jersey Waterway Sediment	NIST ( <i>National Institute of Standard and Technology</i> )	Estados Unidos da América
RM 8704	Buffalo River Sediment	NIST ( <i>National Institute of Standard and Technology</i> )	Estados Unidos da América
IAEA SL-1	Trace and minor elements in lake reservoir	IAEA ( <i>International Atomic Energy Agency</i> )	Áustria
GSD-2	Stream sediment	IGGE ( <i>Institute of Geophysical and Geochemical Exploration</i> )	China

Estes foram determinados por ICP-MS ou ICP-OES para os elementos de acordo com as concentrações disponíveis, sendo as incertezas calculadas e fornecidas em condições similares aos MRCs aquosos.

Foram considerados todos os elementos disponíveis nos certificados dos respectivos fornecedores, incluindo os valores certificados, os valores de referência e os valores informativos, mesmo sem incertezas calculadas e com as concentrações apresentadas.

Para o material GSD-2, foi considerado os valores publicados por Xie *et al.* (1985) para os elementos com as devidas incertezas e foram considerados também os resultados obtidos por Liang & Gregoire (2000) e Taicheng *et al.* (2002) para os ETRs.

As Tabelas 14 a 18 apresentam os resultados obtidos para os MRCs RM 8704; SRM 2709a; IAEA SL-1; GSD-2; e SRM 1944 respectivamente.

Tabela 14 - Resultados e valores certificados, de referência e informativos (em mg kg<sup>-1</sup>) e suas respectivas incertezas para o RM 8704.

Elemento	Valor	Incerteza	RM 8704 - resultados e valores em mg kg <sup>-1</sup>		
			A	B	C
Al	<b>61000</b>	<b>1800</b>	58340 ± 6138	59020 ± 6224	54360 ± 5722
Sb	<b>3,07</b>	<b>0,32</b>	2,88 ± 0,21	2,52 ± 0,24	2,56 ± 0,23
As*	<b>17</b>		16,6 ± 1,1	14,4 ± 0,9	14,8 ± 0,9
Ba	<b>413</b>	<b>13</b>	394 ± 31	396 ± 31	365 ± 29
Cd	<b>2,94</b>	<b>0,29</b>	3,00 ± 0,32	2,59 ± 0,28	2,54 ± 0,26
Ca	<b>26410</b>	<b>830</b>	25840 ± 2900	25360 ± 2848	23560 ± 2645
Ce	<b>66,5</b>	<b>2,0</b>	61,4 ± 5,1	62,3 ± 5,2	71,2 ± 5,9
Cs	<b>5,83</b>	<b>0,12</b>	5,76 ± 0,49	5,30 ± 0,45	5,46 ± 0,47
Cr	<b>121,9</b>	<b>3,8</b>	121 ± 10	120 ± 10	115 ± 10
Co	<b>13,57</b>	<b>0,43</b>	12,7 ± 0,7	14,1 ± 0,8	12,4 ± 0,7
Eu	<b>1,31</b>	<b>0,04</b>	1,25 ± 0,10	1,21 ± 0,10	1,15 ± 0,09
Hf	<b>8,4</b>	<b>1,5</b>	4,86 ± 0,49	5,83 ± 0,59	4,64 ± 0,47
Fe	<b>39700</b>	<b>1000</b>	39260 ± 3540	39110 ± 3526	36080 ± 3255
Pb	<b>150</b>	<b>17</b>	148 ± 13	156 ± 14	162 ± 14
Mg	<b>12000</b>	<b>180</b>	11670 ± 1190	11500 ± 1170	10760 ± 1096
Mn	<b>544</b>	<b>21</b>	546 ± 52	544 ± 53	492 ± 48
Ni	<b>42,9</b>	<b>3,7</b>	39,9 ± 3,1	39,7 ± 3,4	41,8 ± 3,7
K	<b>20010</b>	<b>410</b>	20200 ± 2791	19810 ± 2737	18340 ± 2532
Sc	<b>11,26</b>	<b>0,19</b>	10,7 ± 1,0	11,8 ± 1,1	12,0 ± 1,3
Na	<b>5530</b>	<b>150</b>	5670 ± 713	5835 ± 734	5314 ± 668
Th	<b>9,07</b>	<b>0,16</b>	9,23 ± 0,91	9,39 ± 0,90	8,73 ± 0,90
Ti	<b>4570</b>	<b>20</b>	4509 ± 178	4510 ± 175	4195 ± 164
U	<b>3,09</b>	<b>0,13</b>	3,17 ± 0,31	3,03 ± 0,28	3,00 ± 0,26
V	<b>94,6</b>	<b>4</b>	96,3 ± 7,2	93,4 ± 7,0	94,4 ± 7,1
Zn	<b>408</b>	<b>15</b>	404 ± 34	395 ± 33	363 ± 30

\* - valor informativo

Tabela 15 - Resultados e valores certificados, de referência e informativos (em mg kg<sup>-1</sup>) e suas respectivas incertezas para o SRM 2709a.

Elemento	Valor	Incerteza	SRM 2709a - resultados e valores em mg kg <sup>-1</sup>			
			A	B	C	D
Al	<b>73700</b>	<b>1600</b>	69290 ± 7282	67310 ± 7707	69040 ± 7283	69010 ± 7275
Sb	<b>1,55</b>	<b>0,06</b>	1,42 ± 0,16	1,45 ± 0,16	1,48 ± 0,17	1,29 ± 0,14
As	<b>10,5</b>	<b>0,3</b>	9,75 ± 0,63	8,80 ± 0,57	9,29 ± 0,62	9,80 ± 0,59
Ba	<b>979</b>	<b>28</b>	916 ± 73	913 ± 73	922 ± 77	908 ± 74
Cd	<b>0,371</b>	<b>0,002</b>	0,38 ± 0,04	0,38 ± 0,04	0,37 ± 0,04	0,36 ± 0,04
Ca	<b>19100</b>	<b>900</b>	18190 ± 2042	17510 ± 1964	17980 ± 1988	18080 ± 2057
Ce	<b>42</b>	<b>1</b>	43,4 ± 3,7	41,8 ± 3,5	42,6 ± 3,9	39,0 ± 3,4
Cs	<b>5</b>	<b>0,1</b>	4,76 ± 0,41	4,93 ± 0,42	5,05 ± 0,48	4,83 ± 0,42
Cr	<b>130</b>	<b>9</b>	125 ± 11	124 ± 11	139 ± 13	133 ± 12
Co	<b>12,8</b>	<b>0,2</b>	11,3 ± 0,9	11,6 ± 0,7	12,2 ± 0,7	13,6 ± 0,8
Cu	<b>33,9</b>	<b>0,5</b>	29,5 ± 3,0	30,6 ± 2,5	32,4 ± 2,7	37,9 ± 3,2
Dy*	<u><b>3</b></u>		2,88 ± 0,30	2,64 ± 0,24	3,04 ± 0,28	2,57 ± 0,24
Eu	<b>0,83</b>	<b>0,02</b>	0,72 ± 0,06	0,74 ± 0,07	0,81 ± 0,08	0,80 ± 0,07
Gd	<b>3</b>	<b>0,1</b>	2,89 ± 0,26	2,94 ± 0,27	3,07 ± 0,28	2,71 ± 0,25
Hf*	<u><b>4</b></u>		2,02 ± 0,21	1,96 ± 0,21	2,43 ± 0,23	2,05 ± 0,21
Fe	<b>33600</b>	<b>700</b>	31300 ± 1903	30850 ± 2025	31590 ± 1911	31720 ± 1854
La	<b>21,7</b>	<b>0,4</b>	21,4 ± 2,1	22,3 ± 2,3	22,5 ± 2,5	20,5 ± 1,9
Pb	<b>17,3</b>	<b>0,1</b>	18,4 ± 1,7	16,7 ± 1,5	17,2 ± 1,6	18,0 ± 1,5
Lu*	<u><b>0,3</b></u>		0,24 ± 0,02	0,25 ± 0,02	0,26 ± 0,02	0,22 ± 0,02
Mg	<b>14600</b>	<b>200</b>	13650 ± 1190	12950 ± 1211	13440 ± 1268	13390 ± 1189
Mn	<b>529</b>	<b>18</b>	488 ± 44	487 ± 50	487 ± 47	483 ± 48
Hg	<b>0,9</b>	<b>0,2</b>	0,81 ± 0,09	0,76 ± 0,09		
Nd*	<u><b>17</b></u>		18,4 ± 1,8	17,9 ± 1,7	18,3 ± 1,6	17,2 ± 1,8
Ni	<b>85</b>	<b>2</b>	77,3 ± 6,5	88,2 ± 7,6	73,6 ± 7,0	78,1 ± 6,4
P	<b>688</b>	<b>13</b>	674 ± 52	660 ± 64	665 ± 56	680 ± 53
K	<b>21100</b>	<b>600</b>	20250 ± 1796	19810 ± 1842	20160 ± 1813	19980 ± 1587
Sm	<u><b>4</b></u>		3,55 ± 0,30	3,51 ± 0,29	3,78 ± 0,31	3,72 ± 0,29
Sc	<b>11,1</b>	<b>0,1</b>	11,1 ± 1,0	11,9 ± 1,1	12,1 ± 1,1	10,2 ± 1,1
Na	<b>12200</b>	<b>300</b>	11440 ± 1210	11480 ± 1148	11760 ± 1224	11710 ± 1190
Sr	<b>239</b>	<b>6</b>	231 ± 17	230 ± 18	238 ± 18	228 ± 16
Tb*	<u><b>0,5</b></u>		0,44 ± 0,04	0,45 ± 0,04	0,48 ± 0,04	0,41 ± 0,04
Th	<b>10,9</b>	<b>0,2</b>	10,9 ± 0,9	11,2 ± 1,0	11,5 ± 0,9	10,4 ± 0,9
Ti	<b>3360</b>	<b>70</b>	3111 ± 140	3123 ± 197	3170 ± 226	3184 ± 173
U	<b>3,15</b>	<b>0,05</b>	3,25 ± 0,27	3,34 ± 0,25	3,45 ± 0,26	3,20 ± 0,26
V	<b>110</b>	<b>11</b>	105 ± 8	104 ± 8	103 ± 8	109 ± 9
Yb*	<u><b>2</b></u>		1,59 ± 0,13	1,62 ± 0,14	1,71 ± 0,17	1,45 ± 0,12
Zn	<b>103</b>	<b>4</b>	101 ± 9	101 ± 9	96,7 ± 9,4	95,5 ± 8,2

\* - valores informativos

Tabela 16 - Resultados e valores certificados, de referência e informativos (em mg kg<sup>-1</sup>) e suas respectivas incertezas para o IAEA SI-1.

Elemento	Valor	Intervalo de confiança (95%)	SL-1 Resultados e valores em mg kg-1				
			A	B	C	D	E
Sb	<b>1,31</b>	<b>1.19 - 1.43</b>	1,16 ± 0,12	1,19 ± 0,13	1,16 ± 0,13	1,17 ± 0,12	1,17 ± 0,13
As	<b>27,6</b>	<b>24.7 - 30.5</b>	26,4 ± 1,7	25,6 ± 1,7	26,3 ± 1,7	28,0 ± 1,8	28,5 ± 1,7
Ba	<b>639</b>	<b>586 - 692</b>	571 ± 44	574 ± 46	586 ± 46	619 ± 51	656 ± 52
Cd	<b>0,26</b>	<b>0.21 - 0.31</b>	0,31 ± 0,03	0,32 ± 0,03	0,33 ± 0,04	0,30 ± 0,03	0,29 ± 0,03
Ce	<b>117</b>	<b>100 - 134</b>	98,1 ± 7,7	104 ± 9	108 ± 9	118 ± 10	112 ± 10
Cs	<b>7</b>	<b>6.1 - 7.9</b>	6,04 ± 0,51	6,37 ± 0,52	6,71 ± 0,59	6,59 ± 0,57	6,82 ± 0,57
Cr	<b>104</b>	<b>95 - 113</b>	108 ± 9	108 ± 10	116 ± 10	108 ± 9	115 ± 10
Co	<b>19,8</b>	<b>18.3 - 21.3</b>	17,4 ± 1,0	18,1 ± 1,0	20,5 ± 1,7	20,0 ± 1,2	19,6 ± 1,1
Cu	<b>30</b>	<b>24 - 36</b>	31,2 ± 2,5	32,1 ± 2,6	31,5 ± 2,3	34,9 ± 2,7	34,2 ± 2,4
Dy	<b>7,5</b>	<b>5.3 - 9.7</b>	6,79 ± 0,52	6,38 ± 0,58	6,83 ± 0,53	6,95 ± 0,55	6,32 ± 0,58
Eu	<b>1,6</b>	<b>1.1 - 2.1</b>	1,35 ± 0,12	1,42 ± 0,12	1,61 ± 0,14	1,95 ± 0,17	1,82 ± 0,16
Hf	<b>4,2</b>	<b>3.6 - 4.8</b>	3,67 ± 0,29	4,02 ± 0,31	3,83 ± 0,29	4,72 ± 0,39	4,55 ± 0,40
Fe	<b>67400</b>	<b>65700 - 69100</b>	64300 ± 4926	63670 ± 4740	62960 ± 4668	65000 ± 4977	67960 ± 5114
La	<b>52,6</b>	<b>49.5 - 55.7</b>	57,6 ± 4,4	50,8 ± 4,8	57,9 ± 4,5	45,5 ± 4,2	49,2 ± 4,5
Pb	<b>37,7</b>	<b>30.3 - 45.1</b>	38,7 ± 3,6	39,7 ± 3,6	38,6 ± 3,4	40,8 ± 3,8	37,0 ± 3,3
Lu	<b>0,54</b>	<b>0.41 - 0.67</b>	0,49 ± 0,05	0,43 ± 0,04	0,44 ± 0,04	0,51 ± 0,05	0,49 ± 0,05
Mn	<b>3460</b>	<b>3300 - 3620</b>	3364 ± 309	3358 ± 286	3297 ± 281	3387 ± 295	3505 ± 300
Nd*	<b>43,8</b>		44,1 ± 3,0	40,6 ± 3,6	47,0 ± 4,0	43,0 ± 3,2	37,2 ± 3,3
Ni	<b>44,9</b>	<b>36.9 - 53.9</b>	45,1 ± 4,2	46,8 ± 4,3	45,2 ± 4,2	50,7 ± 4,4	51,7 ± 4,4
K	<b>14500</b>	<b>12400 - 16600</b>	12020 ± 1361	12010 ± 1359	12860 ± 1478	12510 ± 1498	13650 ± 1485
Sm	<b>9,25</b>	<b>8.74 - 9.76</b>	8,23 ± 0,74	8,31 ± 0,74	8,92 ± 0,80	8,42 ± 0,77	8,75 ± 0,78
Sc	<b>17,3</b>	<b>16.2 - 18.4</b>	16,8 ± 1,7	15,2 ± 1,5	15,6 ± 1,5	18,4 ± 1,6	17,5 ± 1,5
Na	<b>1700</b>	<b>1600 - 1800</b>	1517 ± 196	1521 ± 191	1515 ± 191	1578 ± 204	1646 ± 184
Sr	<b>80</b>	<b>37 - 123</b>	68,8 ± 5,9	67,5 ± 5,7	68,1 ± 4,7	80,5 ± 5,7	83,1 ± 5,7
Tb	<b>1,4</b>	<b>0.94 - 1.86</b>	0,97 ± 0,09	0,95 ± 0,08	1,07 ± 0,09	1,25 ± 0,10	1,17 ± 0,10
Th	<b>14</b>	<b>13 - 15</b>	12,9 ± 1,4	13,4 ± 1,5	15,9 ± 1,5	15,4 ± 1,7	12,8 ± 1,4
Ti	<b>5170</b>	<b>4740 - 5600</b>	4706 ± 268	4748 ± 284	4847 ± 288	4967 ± 316	4764 ± 284
U	<b>4,02</b>	<b>3.69 - 4.35</b>	3,89 ± 0,35	4,02 ± 0,34	3,88 ± 0,32	4,31 ± 0,33	4,31 ± 0,32
V	<b>170</b>	<b>155 - 185</b>	179 ± 14	175 ± 13	183 ± 14	173 ± 13	167 ± 12
Yb	<b>3,42</b>	<b>2.77 - 4.07</b>	2,75 ± 0,24	2,78 ± 0,21	2,87 ± 0,23	3,43 ± 0,25	3,26 ± 0,23
Zn	<b>223</b>	<b>213 - 233</b>	227 ± 19	212 ± 17	217 ± 18	209 ± 17	208 ± 17

\* - valor informativo obtido de Govindaraju, 1994.

Tabela 17 - Resultados e valores certificados, de referência e informativos (em mg kg<sup>-1</sup>) e suas respectivas incertezas para o GSD-2.

Elemento	Valor	s	GSD-2 Resultados e valores em mg kg <sup>-1</sup>	
			A	B
Al	<b>56590</b>	<b>2800</b>	77800 ± 8177	78200 ± 8219
Sb	<b>0,46</b>	<b>0,17</b>	0,65 ± 0,06	0,62 ± 0,06
As	<b>6,2</b>	<b>0,9</b>	9,10 ± 0,59	8,64 ± 0,56
Ba	<b>185</b>	<b>37</b>	169 ± 13	168 ± 13
Ce	<b>192</b>	<b>5</b>	196 ± 16	181 ± 15
Cs	<b>16,6</b>	<b>1,8</b>	15,9 ± 1,3	17,3 ± 1,4
Cr	<b>12,2</b>	<b>3,4</b>	11,1 ± 1,0	12,8 ± 1,1
Co	<b>2,6</b>	<b>1</b>	2,82 ± 0,16	1,93 ± 0,11
Cu	<b>4,9</b>	<b>0,7</b>	4,34 ± 0,36	4,51 ± 0,38
Dy	<b>11</b>	<b>2</b>	9,36 ± 0,80	10,0 ± 0,9
Eu	<b>0,49</b>	<b>0,09</b>	0,38 ± 0,03	0,40 ± 0,03
Gd	<b>9,5</b>	<b>1,4</b>	7,97 ± 0,72	9,27 ± 0,83
Hf	<b>20</b>	<b>2</b>	18,9 ± 1,9	17,5 ± 1,7
Fe	<b>13230</b>	<b>1000</b>	13510 ± 1215	12950 ± 1157
La	<b>90</b>	<b>10</b>	87,1 ± 8,2	89,2 ± 8,2
Pb	<b>32</b>	<b>8</b>	33,4 ± 3,0	36,9 ± 3,1
Lu	<b>1,6</b>	<b>0,32</b>	1,48 ± 0,12	1,42 ± 0,13
Mg	<b>1260</b>	<b>100</b>	1152 ± 117	989 ± 93
Mn	<b>240</b>	<b>30</b>	241 ± 23	257 ± 24
Nd	<b>62</b>	<b>8</b>	58,7 ± 5,2	55,6 ± 4,9
Ni	<b>5,5</b>	<b>2,1</b>	4,70 ± 0,44	4,97 ± 0,46
P	<b>200</b>	<b>42</b>	171 ± 16	186 ± 17
K	<b>43000</b>	<b>600</b>	43810 ± 6053	41650 ± 5521
Sm	<b>10,8</b>	<b>1</b>	9,46 ± 0,81	11,8 ± 1,0
Sc	<b>4,4</b>	<b>0,7</b>	3,69 ± 0,32	3,81 ± 0,34
Na	<b>22550</b>	<b>2300</b>	21700 ± 2730	21640 ± 2726
Sr	<b>28</b>	<b>11</b>	23,6 ± 1,6	27,2 ± 1,8
Tb	<b>1,8</b>	<b>0,3</b>	1,60 ± 0,13	1,42 ± 0,11
Th	<b>70</b>	<b>5</b>	65,3 ± 5,9	76,4 ± 7,0
Ti	<b>1380</b>	<b>120</b>	1402 ± 56	1377 ± 55
U	<b>17</b>	<b>3</b>	18,1 ± 1,7	20,7 ± 2,0
V	<b>16,5</b>	<b>2,8</b>	15,3 ± 1,1	15,0 ± 1,1
Yb	<b>11</b>	<b>1,5</b>	9,77 ± 0,78	9,61 ± 0,69
Zn	<b>44</b>	<b>7</b>	44,1 ± 3,7	42,0 ± 3,5
Li	<b>101</b>	<b>6</b>	105 ± 6	86,5 ± 5,4
Mo	<b>2</b>	<b>0,4</b>	2,43 ± 0,20	2,39 ± 0,19
Ho	<b>2,9</b>	<b>0,7</b>	2,19 ± 0,16	2,42 ± 0,19
Er	<b>8</b>	<b>2,1</b>	7,36 ± 0,59	7,25 ± 0,61
Pr	<b>18,6</b>	<b>2,4</b>	16,9 ± 1,1	20,4 ± 1,8
Y	<b>67</b>	<b>13</b>	62,9 ± 4,0	59,4 ± 4,1
Tm	<b>1,55</b>	<b>0,17</b>	1,29 ± 0,15	1,38 ± 0,16

Tabela 18 - Resultados e valores certificados, de referência e informativos (em mg kg<sup>-1</sup>) e suas respectivas incertezas para o SRM 1944.

Elemento	Valor	Incerteza	SRM 1944 - resultados e valores em mg kg <sup>-1</sup>	
			A	B
Al	<b>53300</b>	<b>4900</b>	49290 ± 5183	49510 ± 5204
Sb	<b>4,6</b>	<b>0,9</b>	4,16 ± 0,40	3,87 ± 0,36
As	<b>18,9</b>	<b>2,8</b>	17,0 ± 1,1	18,6 ± 1,2
Cd	<b>8,8</b>	<b>1,4</b>	7,4 ± 0,7	7,7 ± 0,8
Ca	<b>10000</b>	<b>1000</b>	10560 ± 1185	10490 ± 1178
Ce*	<b>65</b>		95,8 ± 8,0	86,0 ± 7,2
Cs	<b>3</b>	<b>0,3</b>	2,61 ± 0,22	2,77 ± 0,24
Cr	<b>266</b>	<b>24</b>	242 ± 21	241 ± 21
Co	<b>14</b>	<b>2</b>	13,1 ± 0,8	12,3 ± 0,7
Cu	<b>380</b>	<b>40</b>	338 ± 28	357 ± 29
Eu*	<b>1,3</b>		1,32 ± 0,11	1,30 ± 0,10
Fe	<b>35300</b>	<b>1600</b>	34820 ± 3133	35770 ± 3226
La*	<b>39</b>		40,7 ± 3,5	41,6 ± 3,4
Pb	<b>330</b>	<b>48</b>	293 ± 26	313 ± 28
Mg*	<b>10000</b>		10280 ± 1048	10220 ± 1042
Mn	<b>505</b>	<b>25</b>	497 ± 48	548 ± 52
Ni	<b>76,1</b>	<b>5,6</b>	72,7 ± 6,6	78,3 ± 7,2
K	<b>16000</b>	<b>2000</b>	16270 ± 2247	15780 ± 2184
Sc	<b>10,2</b>	<b>0,2</b>	9,90 ± 1,01	11,1 ± 1,1
Na	<b>19000</b>	<b>1000</b>	17440 ± 2196	17680 ± 2227
Th*	<b>13</b>		14,4 ± 1,2	14,3 ± 1,1
Ti	<b>4300</b>	<b>300</b>	4655 ± 183	4663 ± 181
U*	<b>3,1</b>		3,38 ± 0,30	3,20 ± 0,31
V	<b>100</b>	<b>9</b>	89,3 ± 6,7	112 ± 8
Zn	<b>656</b>	<b>75</b>	664 ± 55	596 ± 50

\* - valores informativos.

As Figuras 8 a 12 apresentam os resultados obtidos para o cálculo do Z-score para os MRCs.

O Z-score nos MRCs oscilou entre -2,0 e +2,0 para a ampla maioria dos elementos, indicando boa exatidão do método e que o procedimento de digestão com HF e HNO<sub>3</sub> em forno de micro-ondas para a digestão total das amostras foi bem sucedido.

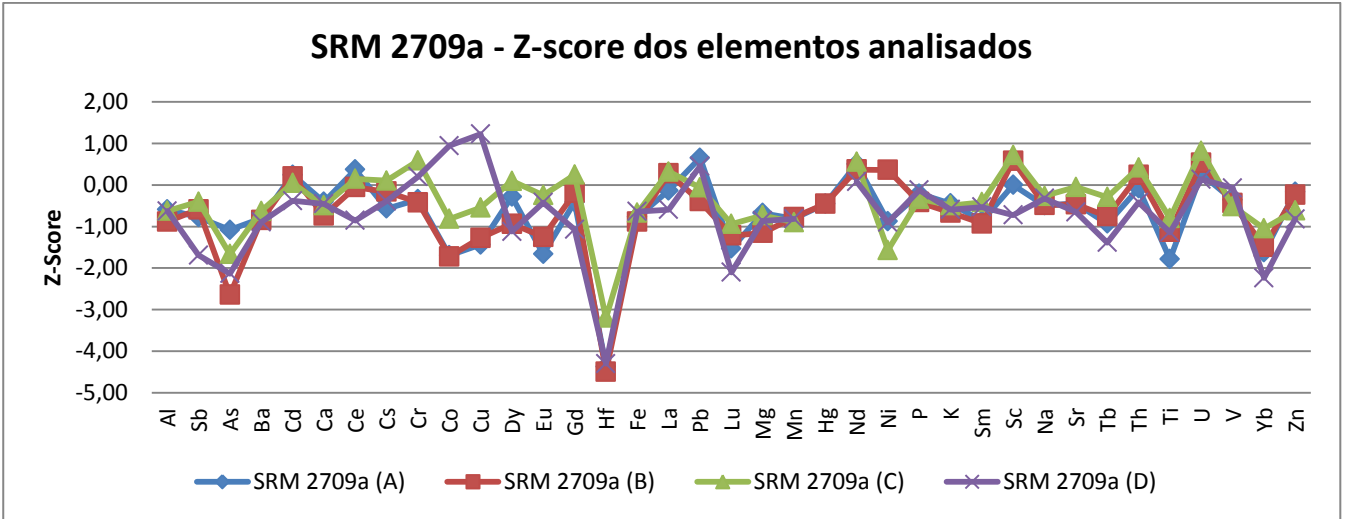


Figura 8 – Z-Score para os elementos determinados no SRM 2709a.

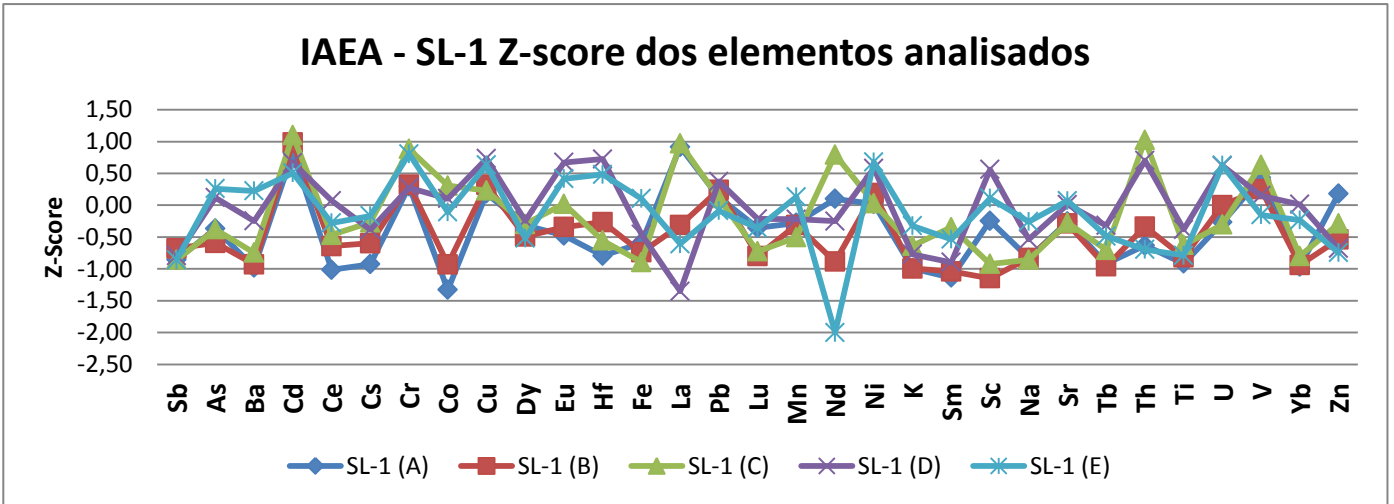


Figura 9 Z-Score para os elementos determinados no IAEA SL-1.

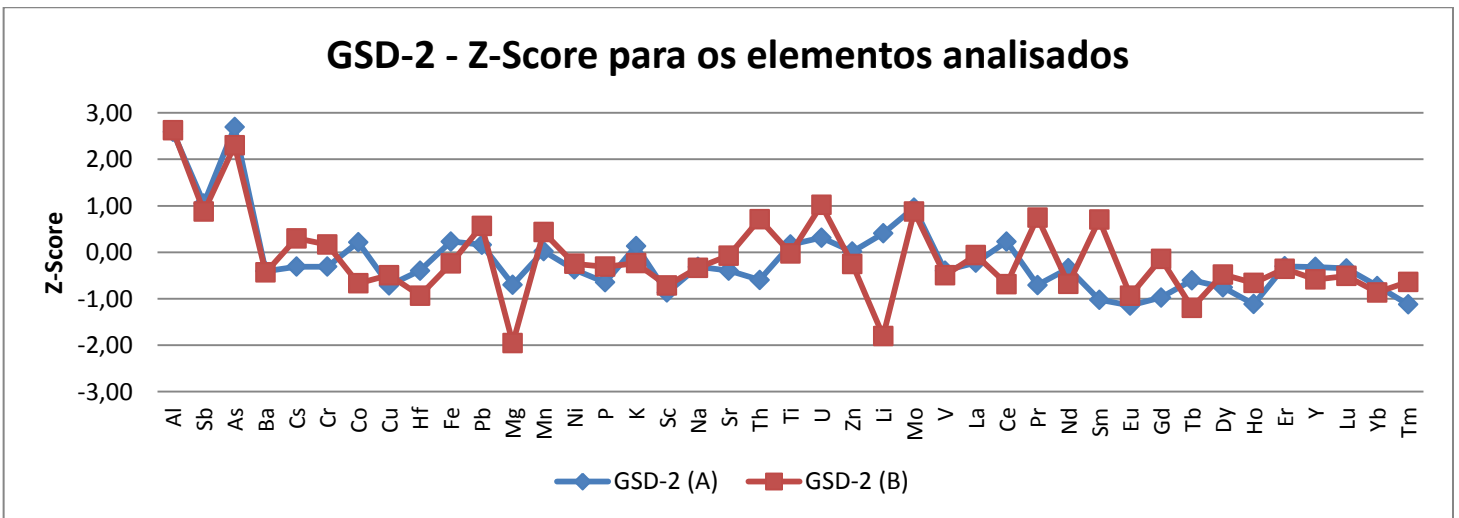


Figura 10 Z-Score para os elementos determinados no GSD-2.

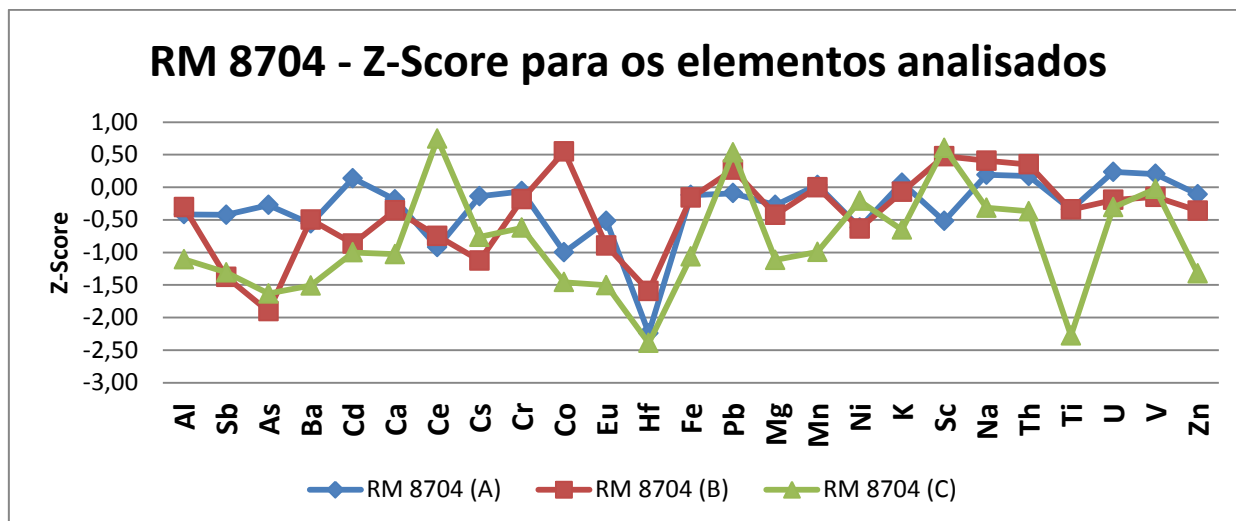


Figura 11 - Z-Score para os elementos determinados no SRM 8704.

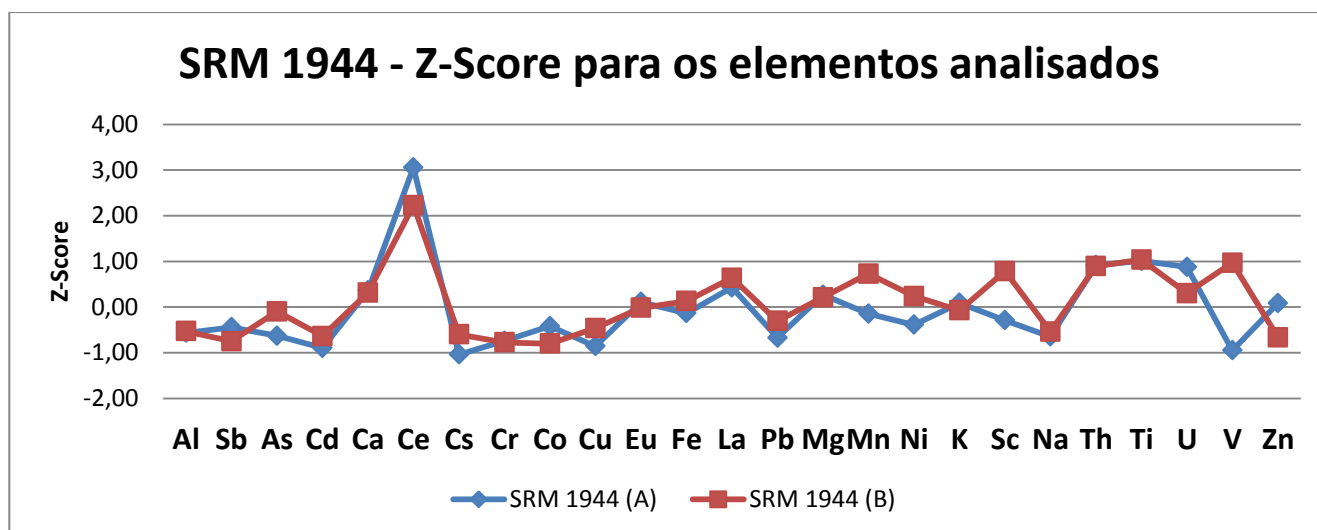


Figura 12 – Z-Score para os elementos determinados no SRM 1944.

No geral, os elementos que mais apresentaram valores fora do intervalo de -2,0 e +2,0 foram Hf, As e Ce. No caso do arsênio, para um MRC o valor ficou abaixo do valor certificado (SRM 2709) e houve outro acima (GSD-2), com os demais três MRCs, com valores definidos para As, apresentando bons resultados. Em função disto, não é possível estabelecer para este elemento que suas determinações tenham sido prejudicadas.

O Ce apresentou valores superior a +2,0 em todas as determinações do SRM 1944, mas neste MRC seu valor é apenas informativo, e todos os demais MRCs com este elemento certificado apresentaram  $Z_i$  satisfatório. O Háfio apresentou em dois MRCs

resultados abaixo de  $Z_i < -2,0$ . No SRM 2709 (de valor informativo) e no RM 8704 (de valor certificado), apresentando  $Z_i$  entre -4,5 a -3,2 no SRM 2709 e entre -2,4 a -1,6 no RM 8704. Tais resultados poderiam indicar que o processo de extração ou a curva analítica estariam com problemas, entretanto outros dois MRC certificados para o Hf (GSD-2 e SL-1) apresentaram  $Z_i$  entre -1,0 a +0,7 para todas as sete determinações efetuadas nestes MRCs, tal fato indicou que tanto o processo de digestão quanto a curva analítica não apresentam problemas para a determinação de Hf.

### 3.2 – Extração sequencial

As Tabelas 19 a 21 apresentam os resultados obtidos para as fases extraíveis e certificadas para os elementos Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn no MRC BCR-701 (*extractable contents in lake sediment*), produzido pelo IRMM - *Institute for Reference Materials and Measurements*, na Bélgica. E a Figura 13 apresenta a média do Z-score obtido para cada fase extraível, por elemento.

Tabela 19 - Resultados obtidos para o MRC BCR 701 (em  $\text{mg kg}^{-1}$ ) e suas respectivas incertezas - extração com ácido acético a frio (etapa 1) (n=8).

Elemento	Valor certificado	Incerteza	Resultados obtidos para o MRC BCR 701 (em $\text{mg kg}^{-1}$ ) - extração com ácido acético a frio (etapa 1)							
			A	B	C	D	E	F	G	H
Cd	7,3	0,4	7,27 ± 0,65	7,39 ± 0,65	7,13 ± 0,61	6,69 ± 0,59	6,88 ± 0,58	6,77 ± 0,59	7,01 ± 0,63	7,07 ± 0,63
Cr	2,26	0,16	2,92 ± 0,31	2,91 ± 0,31	2,90 ± 0,32	2,89 ± 0,31	2,92 ± 0,33	3,16 ± 0,34	3,44 ± 0,35	3,47 ± 0,35
Cu	49,3	1,7	47,2 ± 4,4	46,2 ± 4,4	48,6 ± 4,4	52,4 ± 4,7	53,1 ± 4,7	56,3 ± 4,9	55,3 ± 4,9	56,8 ± 5,0
Ni	15,4	0,9	16,3 ± 1,3	14,3 ± 1,2	14,7 ± 1,2	16,3 ± 1,3	15,2 ± 1,2	14,7 ± 1,2	15,7 ± 1,3	18,5 ± 1,5
Pb	3,18	0,21	3,76 ± 0,36	3,71 ± 0,34	3,71 ± 0,33	3,38 ± 0,30	3,46 ± 0,31	3,45 ± 0,31	3,03 ± 0,28	3,61 ± 0,34
Zn	205	6	214 ± 17	217 ± 18	211 ± 15	216 ± 15	203 ± 15	205 ± 15	207 ± 15	210 ± 15

Tabela 20 – Resultados obtidos para o MRC BCR 701 (em  $\text{mg kg}^{-1}$ ) e suas respectivas incertezas - extração com cloridrato de hidroxilamina (etapa 2) (n=8).

Elemento	Valor certificado	Incerteza	Resultados obtidos para o MRC BCR 701 (em $\text{mg kg}^{-1}$ ) - extração com cloridrato de hidroxilamina (etapa 2).							
			A	B	C	D	E	F	G	H
Cd	3,77	0,28	2,74 ± 0,24	3,34 ± 0,29	3,07 ± 0,28	3,29 ± 0,28	3,15 ± 0,27	2,99 ± 0,26	2,64 ± 0,25	2,84 ± 0,25
Cr	45,7	2	47,3 ± 4,1	48,4 ± 4,1	48,9 ± 4,1	43,1 ± 3,9	45,9 ± 4,0	46,1 ± 4,0	50,7 ± 4,2	47,7 ± 4,1
Cu	124	3	103 ± 8	100 ± 8	99 ± 8	123 ± 9	133 ± 10	125 ± 10	130 ± 10	111 ± 9
Ni	26,6	1,3	24,6 ± 2,2	25,3 ± 2,2	25,8 ± 2,3	27,7 ± 2,3	28,8 ± 2,5	25,6 ± 2,3	29,7 ± 2,5	31,3 ± 2,7
Pb	126	3	115 ± 9	127 ± 10	124 ± 10	118 ± 10	123 ± 10	120 ± 10	149 ± 12	112 ± 10
Zn	114	5	107 ± 8	109 ± 9	110 ± 9	120 ± 10	104 ± 8	108 ± 8	109 ± 8	121 ± 10

Tabela 21 – Resultados obtidos para o MRC BCR 701 (em  $\text{mg kg}^{-1}$ ) e suas respectivas incertezas - extração com peróxido de hidrogênio (etapa 3) (n=8).

Elemento	Valor certificado	Incerteza	Resultados obtidos para o MRC BCR 701 (em $\text{mg kg}^{-1}$ ) - extração com peróxido de hidrogênio (etapa 3).							
			A	B	C	D	E	F	G	H
Cd	0,27	0,06	$0,21 \pm 0,02$	$0,22 \pm 0,02$	$0,21 \pm 0,02$	$0,22 \pm 0,02$	$0,20 \pm 0,02$	$0,21 \pm 0,02$	$0,23 \pm 0,02$	$0,23 \pm 0,03$
Cr	143	7	$156 \pm 12$	$152 \pm 11$	$154 \pm 11$	$150 \pm 11$	$147 \pm 11$	$124 \pm 10$	$151 \pm 11$	$157 \pm 11$
Cu	55	4	$64,4 \pm 5,7$	$62,6 \pm 5,8$	$68,8 \pm 5,8$	$64,7 \pm 5,6$	$67,2 \pm 5,7$	$62,7 \pm 5,5$	$71,0 \pm 6,0$	$67,6 \pm 5,7$
Ni	15,3	0,9	$16,3 \pm 1,3$	$14,0 \pm 1,2$	$13,7 \pm 1,2$	$15,8 \pm 1,3$	$15,2 \pm 1,3$	$16,5 \pm 1,3$	$14,5 \pm 1,2$	$15,2 \pm 1,2$
Pb	9,3	2,0	$9,7 \pm 0,9$	$10,1 \pm 0,9$	$9,9 \pm 0,9$	$9,7 \pm 0,9$	$9,6 \pm 0,9$	$8,3 \pm 0,8$	$9,5 \pm 0,9$	$11,8 \pm 1,0$
Zn	46	4	$44,4 \pm 3,9$	$39,4 \pm 4,0$	$40,2 \pm 3,8$	$45,0 \pm 4,0$	$43,3 \pm 3,8$	$46,1 \pm 4,1$	$42,0 \pm 3,8$	$45,3 \pm 3,9$

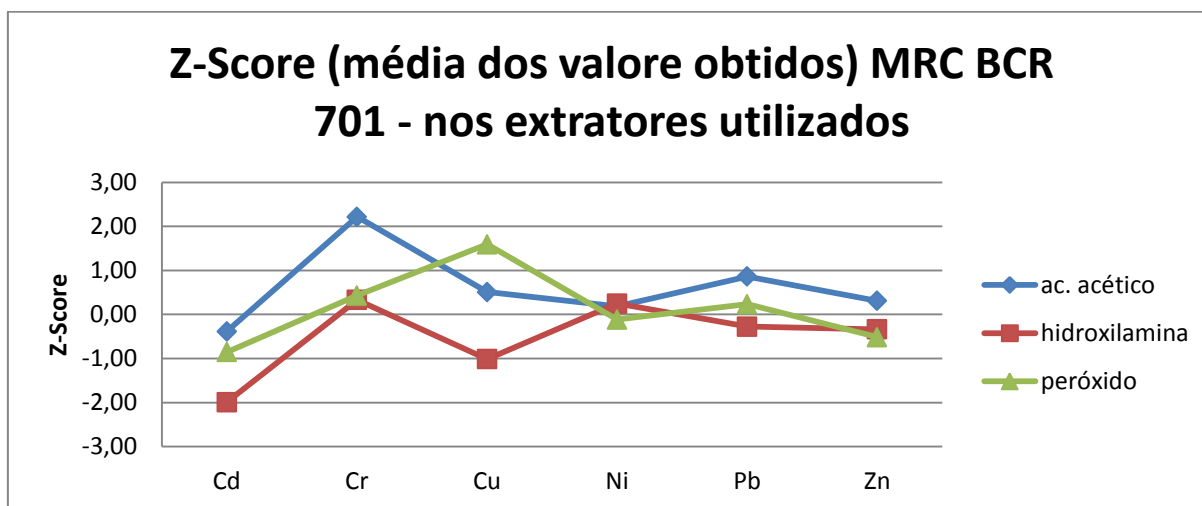


Figura 13 - Z-Score (média dos valores obtidos) MRC BCR 701 - fases extraíveis.

Em média, a variação do Z-score para todos os elementos nas três etapas extraíveis variou entre -2,00 e +2,20.

Crômio, elemento com média de +2,20 na etapa com ácido acético (fase associada a carbonatos e trocáveis), oscilou o Zi para esta fase entre +1,79 a +3,07, indicando que poderia estar ocorrendo uma maior liberação de Cr nesta fase do que o esperado. Entretanto, nas amostras determinadas neste estudo, os resultados de Cr na fase associada a extração pelo ácido acético não passou de 1,5% do total em todos os pontos e amostras analisadas.

O cádmio oscilou o resultado de Zi na fase associada a óxi-hidróxidos de Fe e Mn (extraída com cloridrato de hidroxilamina) entre -1,00 e -3,05, com a maior parte dos resultados dentro da faixa até -2,00 de Z-score. Apesar deste fato ser indicativo de uma possível ineficiência na extração de Cd nesta fase, a oscilação da recuperação parece ter sido

o fator mais preponderante no caso, não impactando em uma deficiência de recuperação nas amostras dos reservatórios estudados. Nestas, o percentual de Cd oscilou entre 7 a 8%. No MRC, o percentual de Cd nesta fase é de 33%. E a concentração total de Cd certificada nesta fase é de  $3,77 \text{ mg kg}^{-1}$ , enquanto que nas amostras não passou de  $0,10 \text{ mg kg}^{-1}$ .

## REFERÊNCIAS

- Byers H.L., McHenry L.J., Grundl T.J. 2016. Forty-Nine Major and Trace Element Concentrations Measured in Soil Reference Materials NIST SRM 2586, 2587, 2709a, 2710a and 2711a Using ICP-MS and Wavelength Dispersive- XRF. *Geostandards and Geoanalytical Research.*, **40(3)**:433-445
- Frankin R.L., Bevilacqua J. E., Fávaro D.I.T. 2012. Organic and total mercury determination in sediments by cold vapor atomic absorption spectrometry: methodology validation and uncertainty measurements. *Quim. Nova*, **35(1)**: 45-50
- Govindaraju K. 1994. Compilation of working values and sample description of 383 geostandards. *Geostandards Newsletter*, **18 (Special Issue)** 1-158
- Liang Q. & Gregoire, D.C.2000. Determination of Trace Elements in Twenty Six Chinese Geochemistry Reference Materials by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *Geostandards Newsletter*, **24(1)**:51-63
- Taicheng D., Hangting C., Xianjin Z. 2002. Determination of rare and rare earth elements in soils and sediments by ICP-MS using  $\text{Ti(OH)}_4\text{-Fe(OH)}_3$  co-precipitation preconcentration. *J. Anal. At. Spectrom.*, **17**:410-413
- Xie X., Yan P., Li L., Shen H. 1985. Geochemical reference samples, drainage sediment GSD 1 - 8 from China. *Geostandards Newsletter*, **9(1)**:83-159
- Yeghicheyan D., Bossy C., Coz M.B.L., Douchet C., Granier G., Heimburger A., Lacan C. 2013. A Compilation of Silicon, Rare Earth Element and Twenty-One other Trace Element Concentrations in the Natural River Water Reference Material SLRS-5 (NRC-CNRC). *Geostandards and Geoanalytical Research*, **37(4)** p.449-467



Tabela 2 – Resultados de argila, silte, areia e COT (em %) para os perfis coletados no reservatório de Promissão.

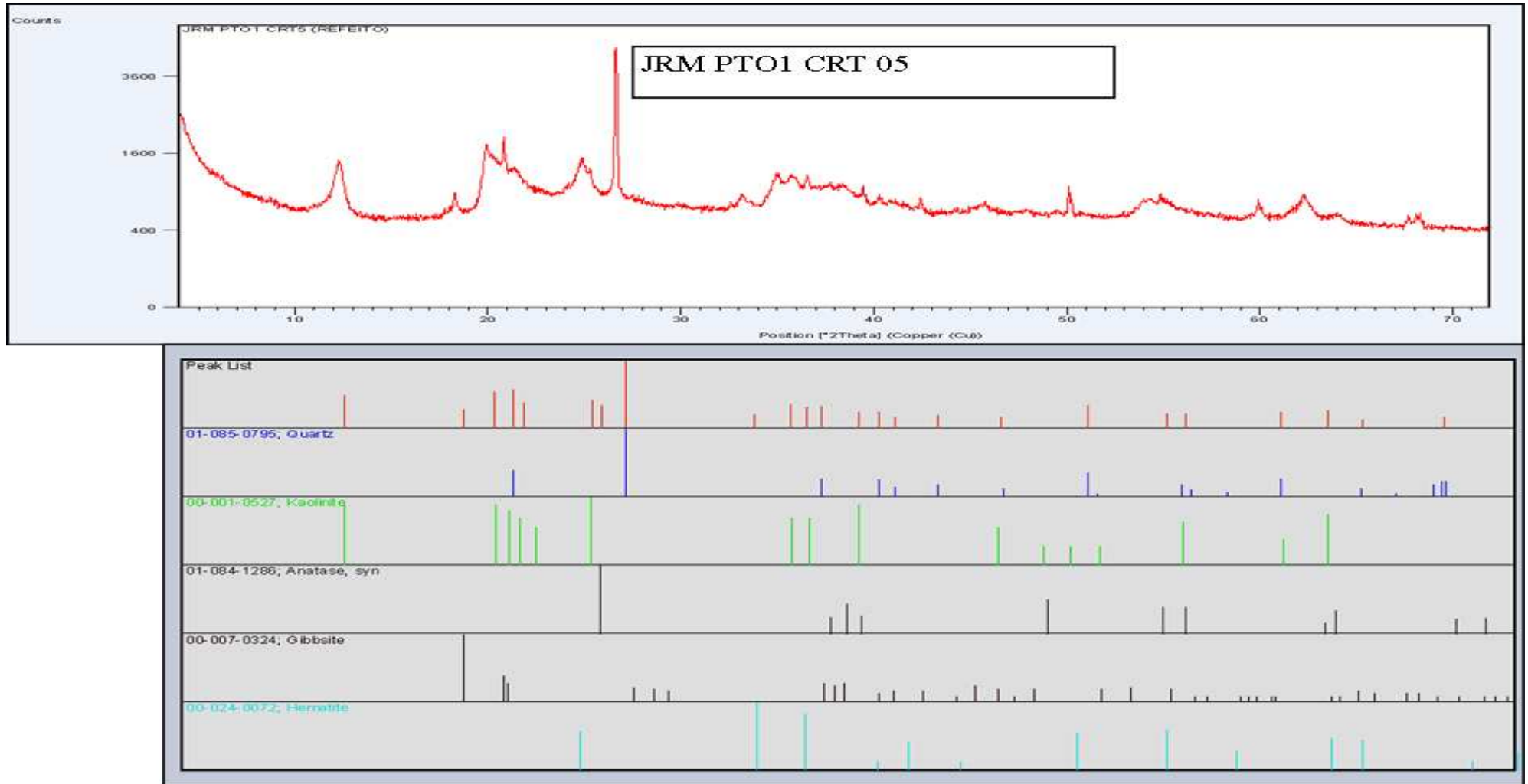
Profundidade (cm)	Ponto 1 Janeiro 2013				Ponto 1 julho 2013				Ponto 1 janeiro 2014				Ponto 2 Janeiro 2014				Ponto 3 Janeiro 2014			
	Argila	Silte	Areia	COT	Argila	Silte	Areia	COT	Argila	Silte	Areia	COT	Argila	Silte	Areia	COT	Argila	Silte	Areia	COT
2,5	15,8	56,8	27,4	8,21	14,1	64,3	21,5	7,01	26,5	72,4	1,2	7,55	23,9	64,7	11,5	5,84	17,3	79,4	3,4	7,54
5,0	22,5	69,4	8,1	7,65	12,2	61,0	26,8	8,01	28,4	69,4	2,2	8,58	27,7	65,7	6,7	5,47	20,2	76,1	3,7	7,79
7,5	28,5	64,4	7,1	7,06	15,8	63,7	20,5	7,23	32,9	66,1	1,1	4,84	38,9	60,3	0,8	4,12	21,7	77,3	1,0	5,47
10,0	26,4	65,4	8,2	4,12	14,4	62,9	22,7	2,59	32,5	66,7	0,9	4,71	38,5	61,0	0,5	4,02	32,9	65,6	1,5	4,34
12,5	23,3	67,2	9,5	3,55	14,8	44,3	40,9	2,40	30,4	68,4	1,2	4,87	37,7	61,1	1,2	3,55	35,7	64,2	0,1	3,95
15,0	24,6	65,7	9,7	3,77	13,7	40,2	46,1	1,94	27,7	69,6	2,6	5,36	28,6	68,1	3,3	3,44	38,4	61,6	0,0	4,12
17,5	19,4	67,0	13,6	7,64	12,6	33,4	54,1	1,85	26,2	71,4	2,4	6,24	23,8	67,6	8,6	3,48	34,4	65,6	0,1	3,87
20,0	11,8	61,8	26,3	4,18	11,6	32,6	55,9	1,55	20,2	69,6	10,1	5,87	26,4	64,5	9,1	3,58	39,7	60,3	0,0	4,15
22,5	12,3	60,1	27,6	5,68	11,1	43,1	45,9	2,86	23,8	61,5	14,7	3,15	28,0	66,1	5,9	3,34	27,3	71,2	1,5	4,53
25,0	16,6	60,4	23,1	6,25	18,5	48,8	32,7	10,15	26,8	69,5	3,8	3,92	29,0	67,4	3,6	3,24	30,1	68,0	1,9	4,86
27,5	15,6	56,1	28,3	8,42	21,1	44,6	34,4	2,64	29,8	67,8	2,5	4,71	29,5	67,4	3,1	3,25	30,1	66,7	3,2	5,77
30,0	13,1	56,4	30,5	6,48	20,9	45,6	33,6	1,73									16,1	41,8	42,1	6,28
32,5	13,5	50,3	36,1	5,79	28,5	46,8	24,8	1,96									18,5	36,8	44,7	6,75
35,0					29,0	47,0	24,0	1,55									17,2	35,9	46,9	6,02
37,5																	29,9	60,5	9,6	5,64
40,0																	28,1	70,6	1,3	5,18
42,5																	26,6	57,7	15,7	5,57
45,0																	27,6	61,6	10,8	5,36
47,5																	31,5	67,2	1,2	5,73
50,0																	37,0	63,0	0,0	5,44

Tabela 3 – Resultados de argila, silte, areia e COT (em %) para os perfis coletados no reservatório de Ponte Nova.

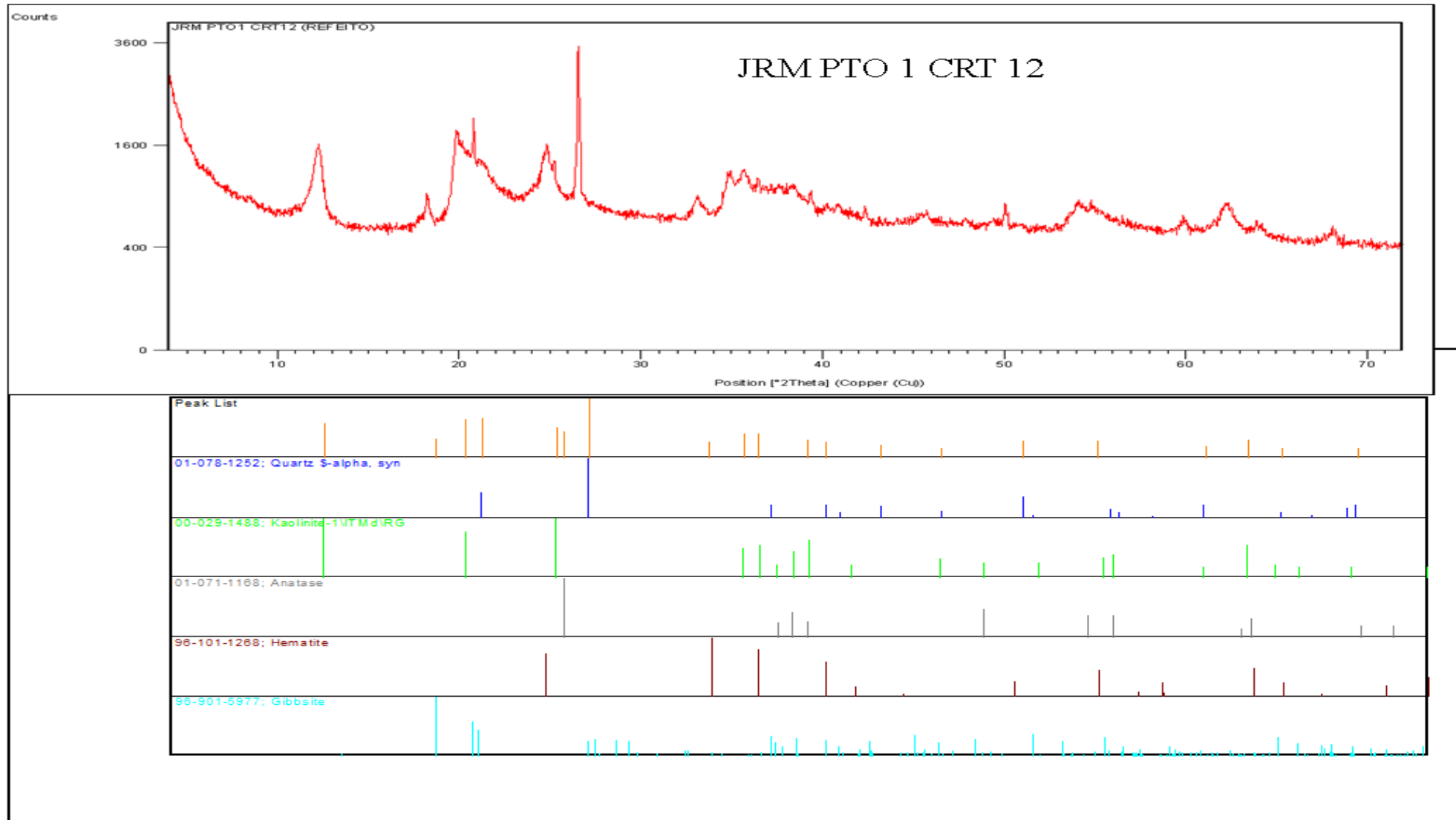
Profundidade (cm)	Ponto 1 Agosto 2013				Ponto 1 Fevereiro 2014				Ponto 1 Agosto 2014				Ponto 2 Fevereiro 2014			
	Argila	Silte	Areia	TOC	Argila	Silte	Areia	TOC	Argila	Silte	Areia	TOC	Argila	Silte	Areia	TOC
2,5	14,0	75,0	11,1	8,74	14,3	66,8	18,9	7,25	8,8	62,9	28,3	8,74	21,9	74,9	3,2	6,90
5,0	14,5	76,2	9,3	8,36	11,7	58,7	29,6	7,59	8,2	65,2	26,6	8,41	21,8	76,4	1,8	6,55
7,5	12,5	77,3	10,3	8,24	9,6	58,4	32,0	8,30	12,8	73,8	13,4	8,24	18,3	78,4	3,4	6,14
10,0	15,9	74,9	9,2	7,56	11,1	58,0	30,8	7,81	12,2	74,5	13,3	8,37	17,9	77,7	4,5	6,24
12,5	15,2	74,0	10,8	8,05	8,4	51,9	39,7	7,98	12,6	74,6	12,8	8,05	22,0	74,7	3,3	5,70
15,0	17,0	71,5	11,5	7,96	10,3	50,7	39,0	8,59	13,8	75,2	11,0	8,29	17,2	77,5	5,3	5,98
17,5	18,0	71,2	10,8	8,37	9,1	59,0	31,9	10,20	13,1	68,4	18,5	8,37	17,2	76,1	6,7	6,25
20,0	16,6	72,7	10,7	8,44	8,6	58,3	33,1	10,40	9,8	51,1	39,1	8,46	18,4	75,1	6,5	6,13
22,5	15,4	74,0	10,6	8,77	9,7	61,2	29,1	9,87	9,9	50,9	39,1	8,77	18,2	75,1	6,7	6,65
25,0	16,8	70,1	13,1	9,13	10,4	64,6	25,0	10,10	9,6	51,8	38,6	9,14	20,2	76,2	3,6	6,27
27,5	15,0	72,7	12,3	9,87	6,5	61,2	32,3	16,90	10,2	51,9	37,9	9,87	19,0	77,3	3,7	6,39
30,0	15,8	69,7	14,5	10,76	6,6	64,6	28,8	14,80	8,3	47,2	44,6	10,76	18,5	78,1	3,4	6,41
32,5	5,7	69,2	25,1	16,79	7,3	59,8	33,0	13,20	6,6	38,0	55,4	15,87	14,2	75,6	10,2	6,63
35,0	6,2	66,3	27,5	18,30	7,1	63,8	29,1	12,90	5,5	38,0	56,6	18,30	13,6	75,1	11,3	7,58
37,5	5,2	69,5	25,2	19,63	7,0	63,3	29,6	13,90	5,4	37,6	57,0	19,94	11,7	73,2	15,2	7,08
40,0	6,3	69,4	24,4	21,50	7,0	64,5	28,5	13,50	5,9	38,2	55,9	21,50	14,0	73,8	12,1	7,94
42,5					6,9	62,9	30,2	14,20					9,8	67,0	23,2	7,36
45,0					6,5	61,6	32,0	13,70					9,3	54,5	36,2	7,84
47,5					5,4	58,8	35,8	13,90					8,3	61,4	30,4	6,37
50,0					6,0	63,1	30,9	13,70					7,8	62,5	29,7	8,59
52,5													9,2	67,0	23,7	9,26
55,0													8,3	64,0	27,7	8,48
57,5													8,0	64,4	27,6	8,17
60,0													8,7	61,4	29,9	8,59
62,5													7,3	46,6	46,1	8,44

## ANEXO C – DIFRATOGRAMAS

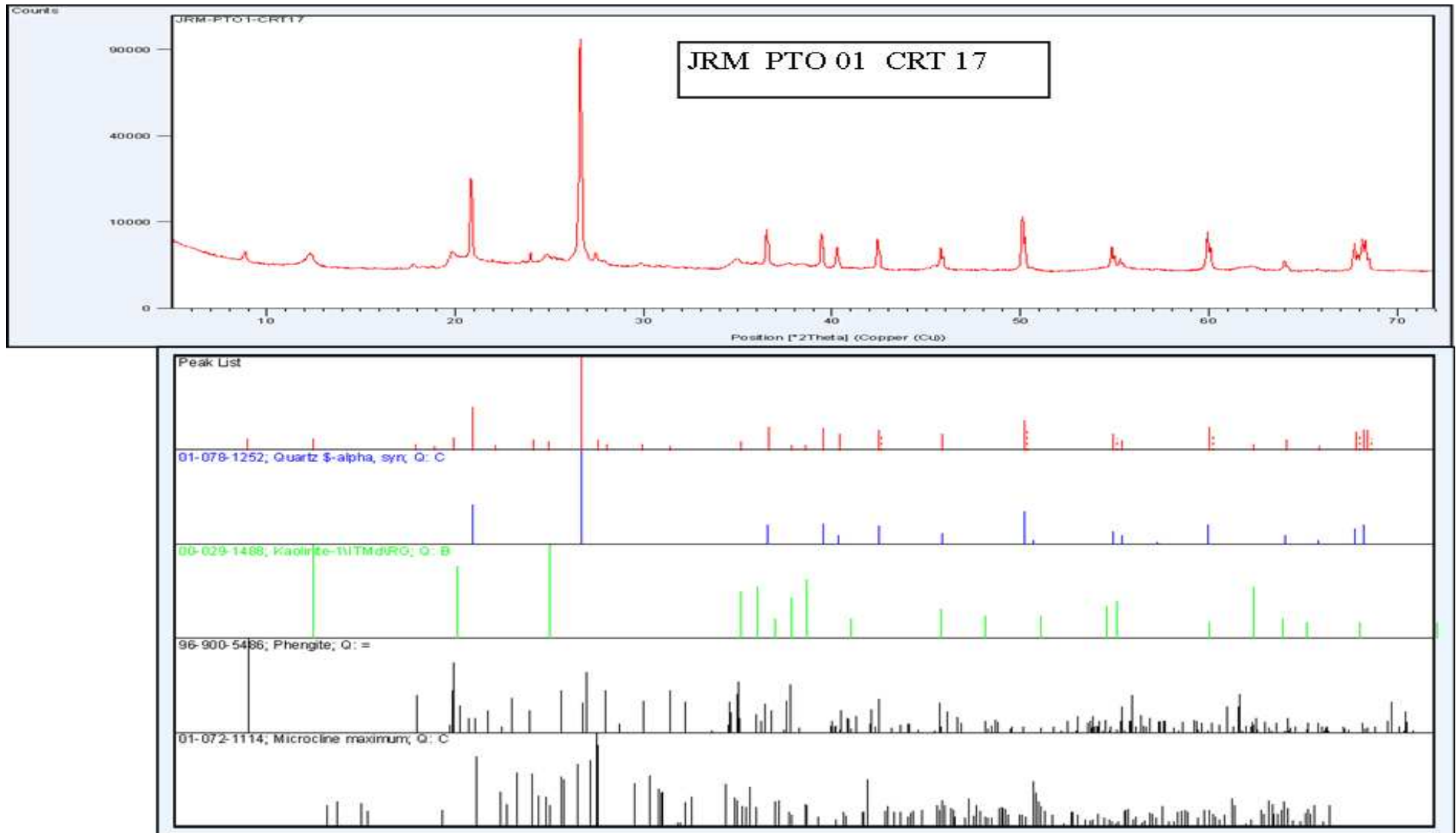
Difratograma 1 - Jurumirim Ponto 1 corte 05 – 12,5cm



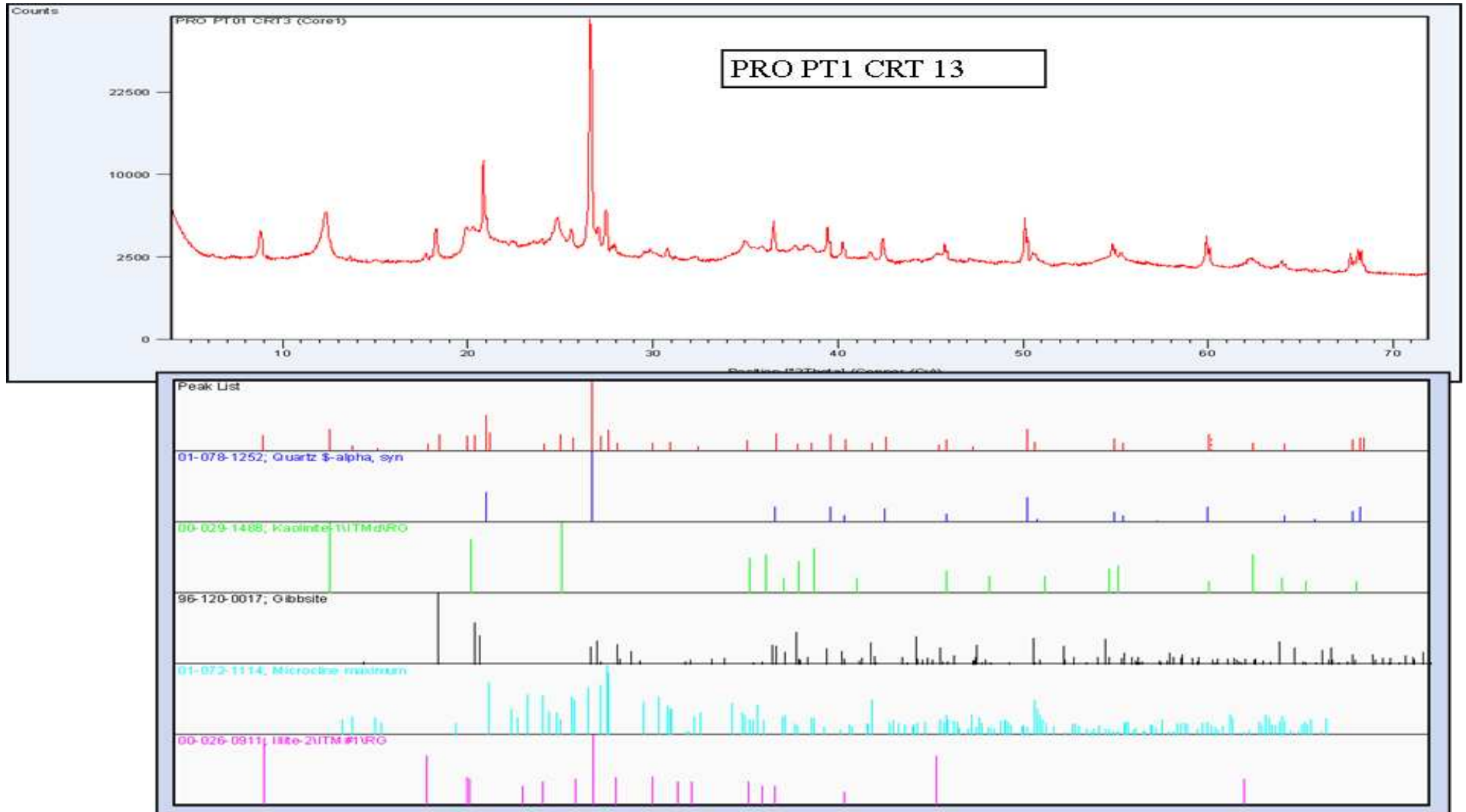
Difratograma 2 - Jurumirim – ponto 1 – corte 12 – 30,0 cm



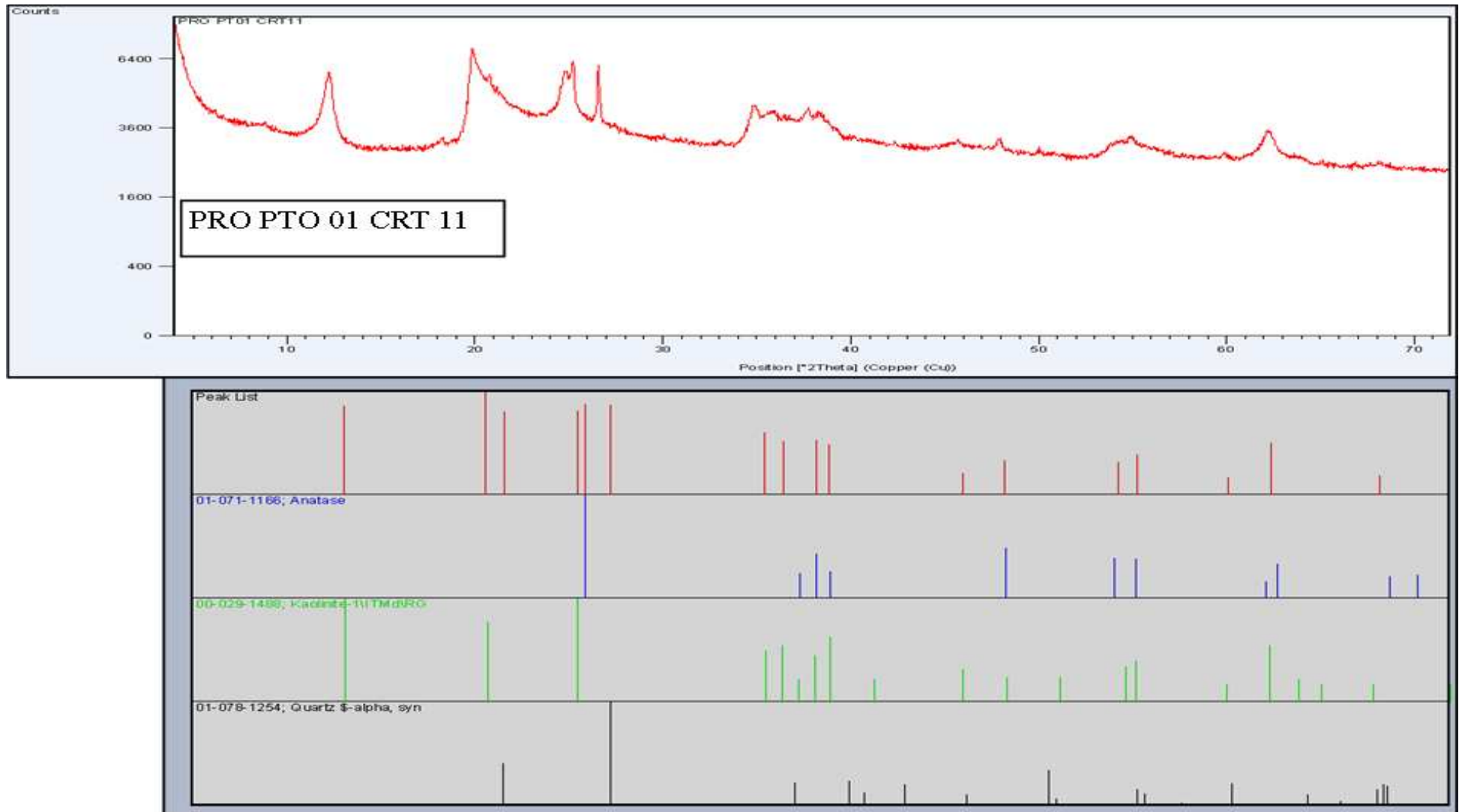
Difratograma 3 - Jurumirim ponto 1 corte 17 – 42,5 cm



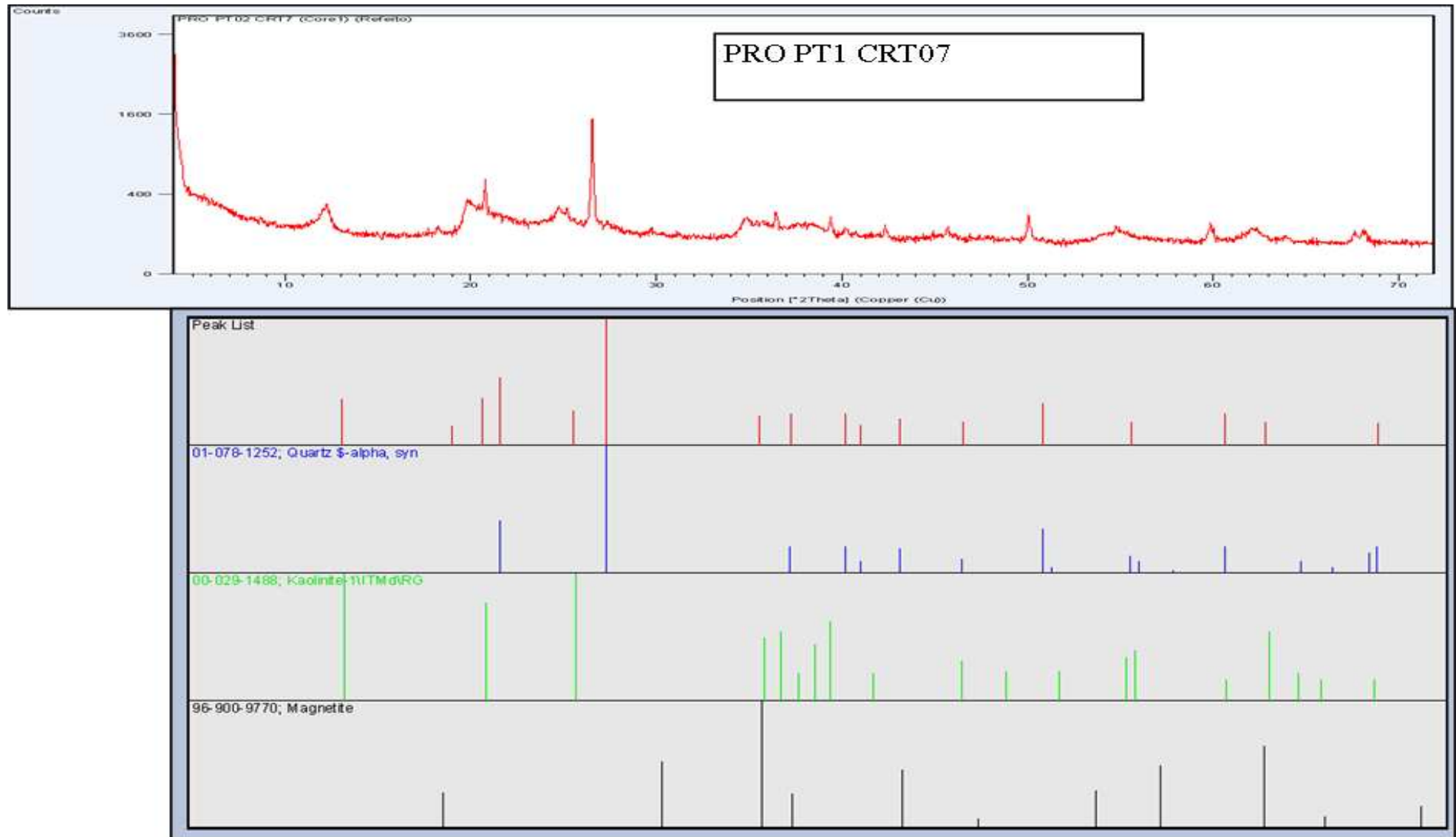
Difratograma 4 - Promissão Ponto 1 corte 13 – 32,5 cm



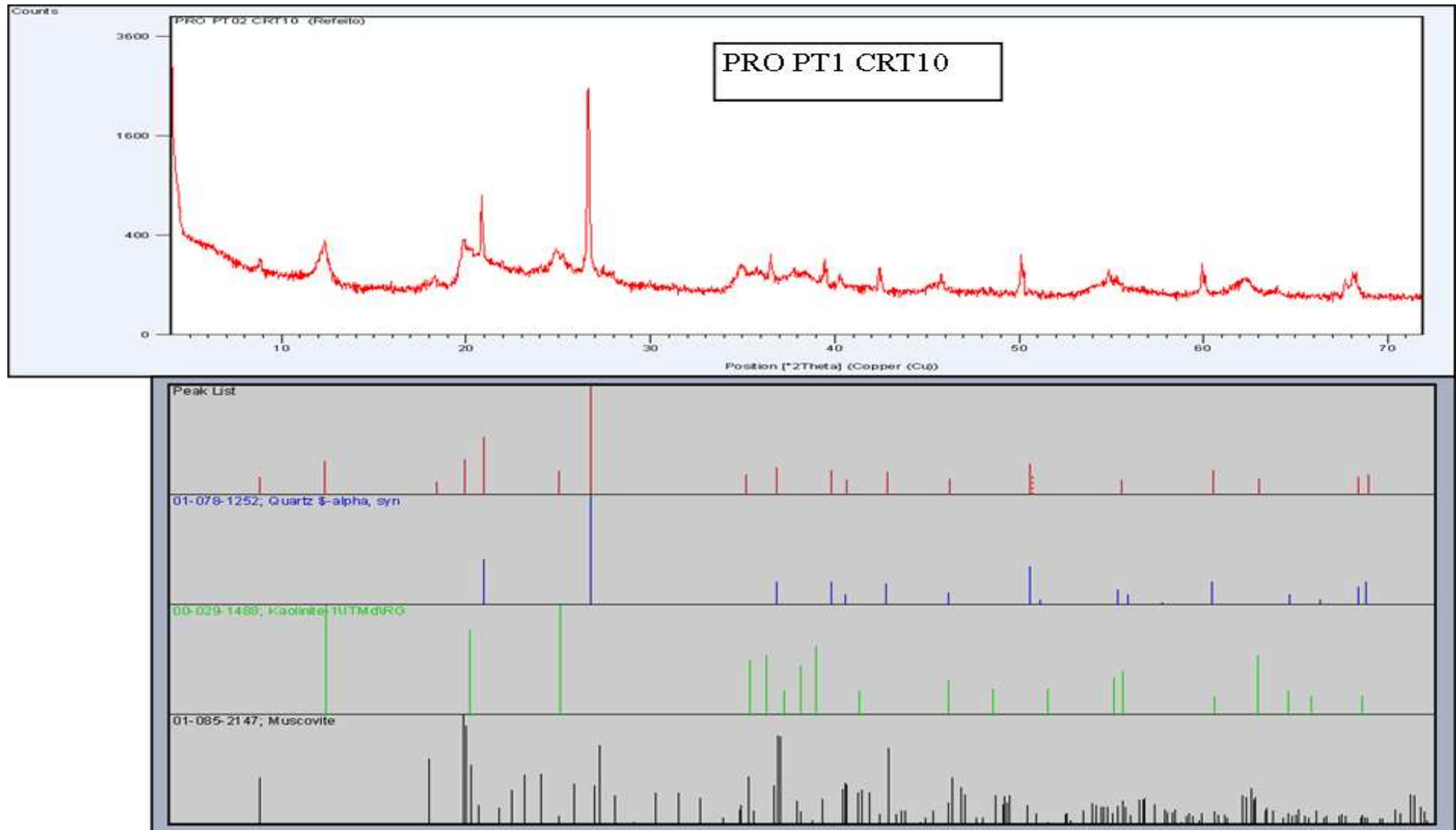
Difratograma 5 - Promissão ponto 1 corte 11 – 27,5 cm



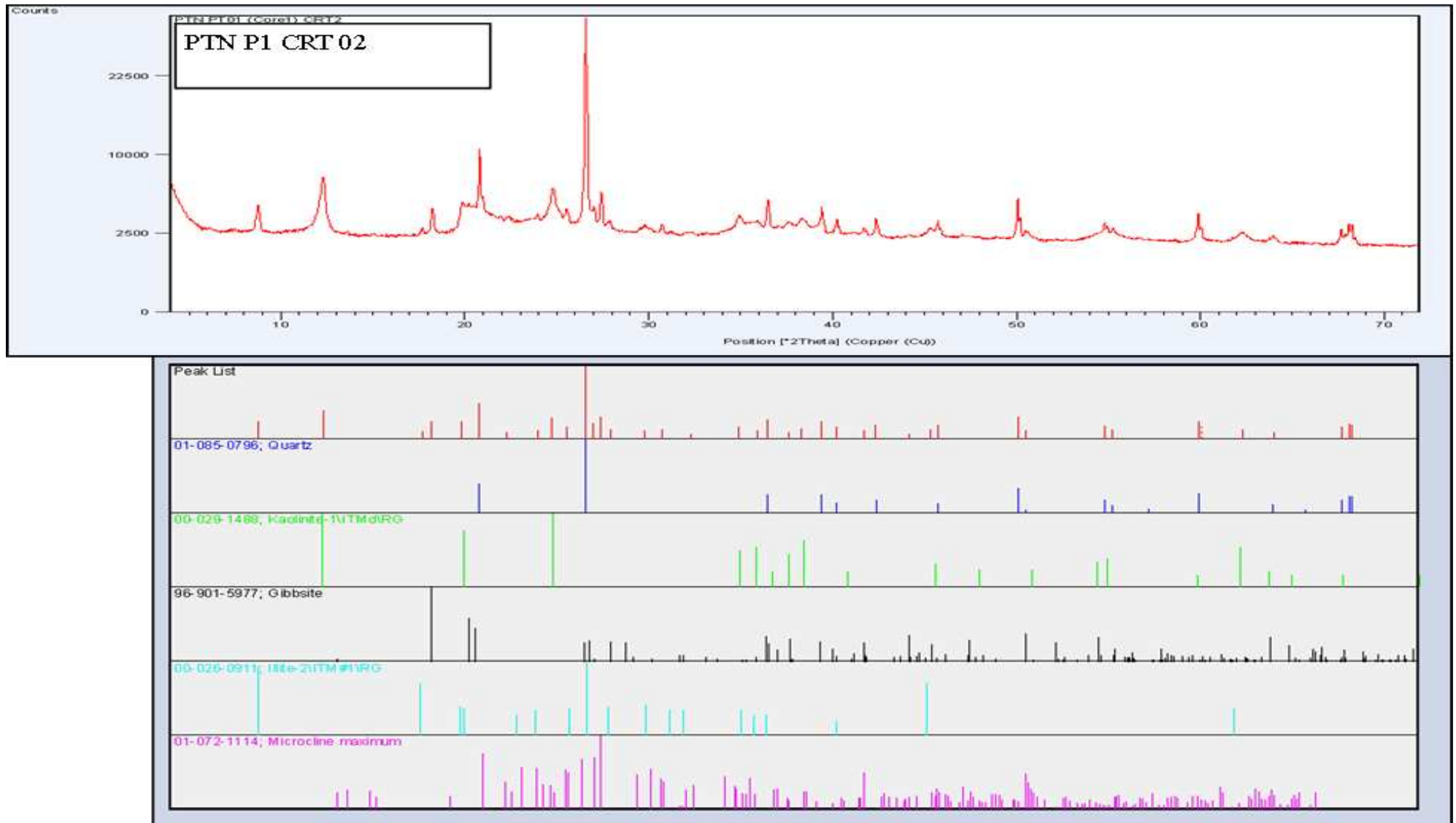
Difratograma 6 - Promissão Ponto 1 corte 7 – 15 cm



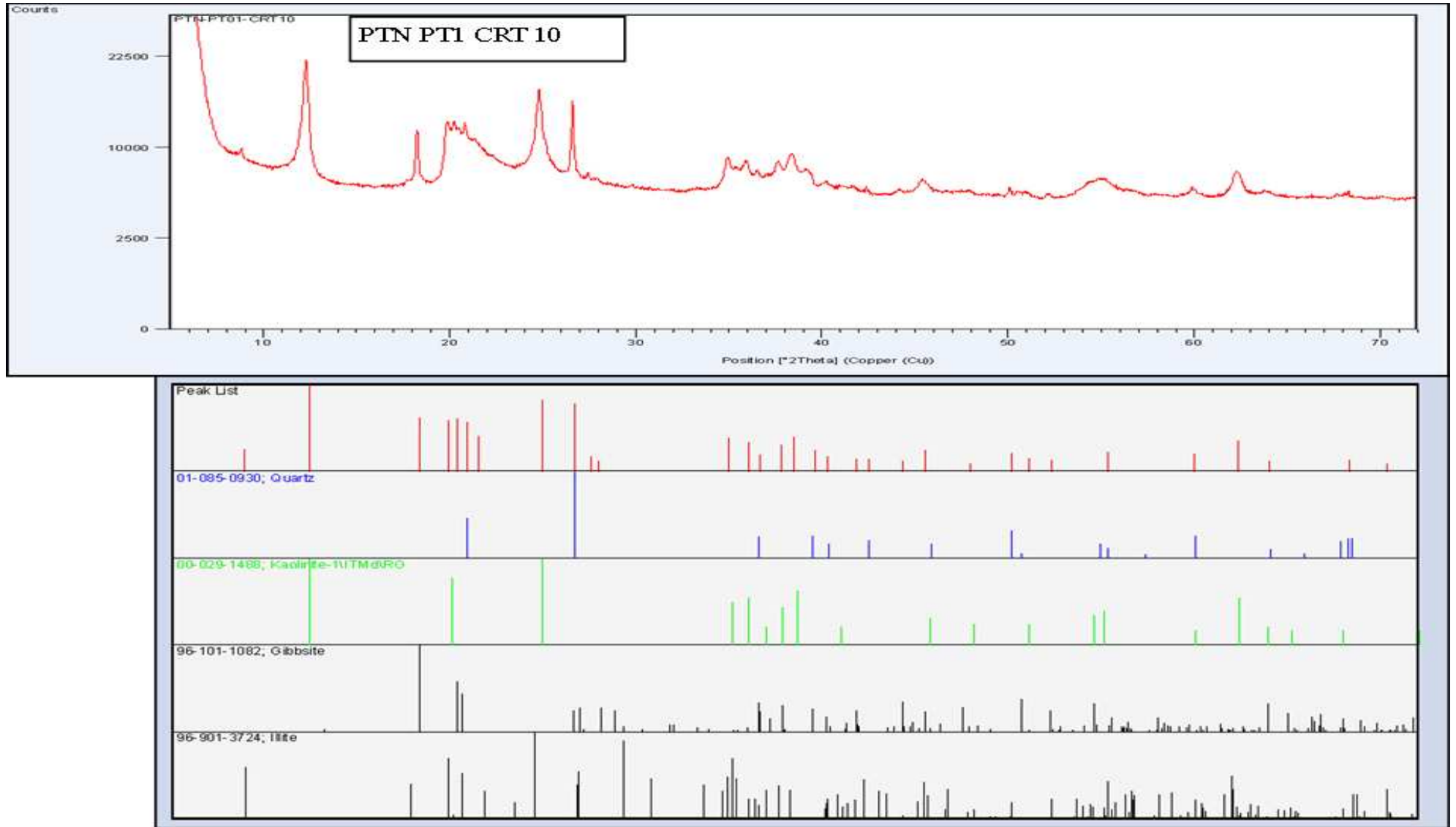
Difratograma 7 - Promissão P1 corte 10 – 25 cm



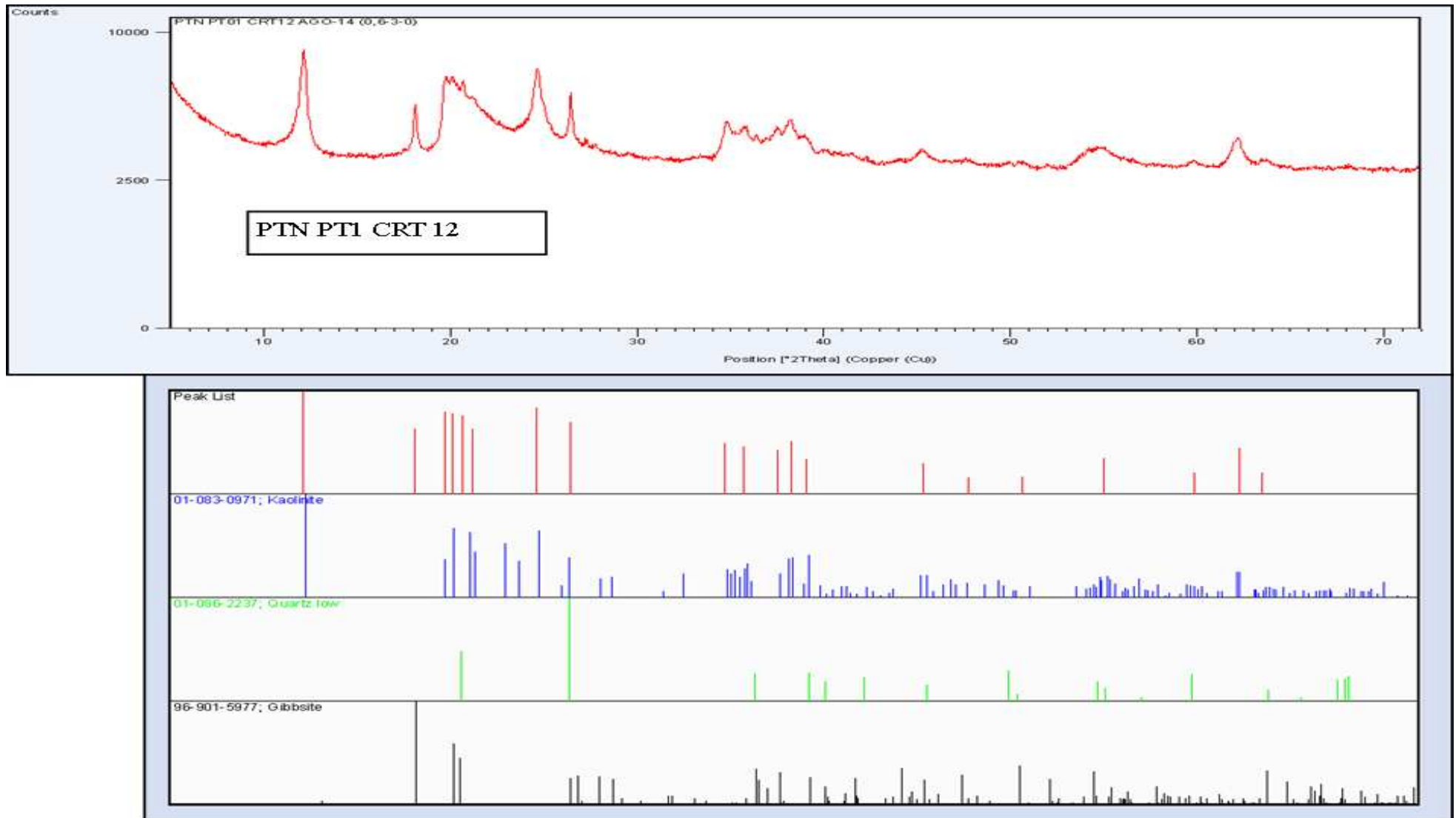
Difratograma 8 - Ponte Nova Ponto 1 corte 2 – 5,0 cm



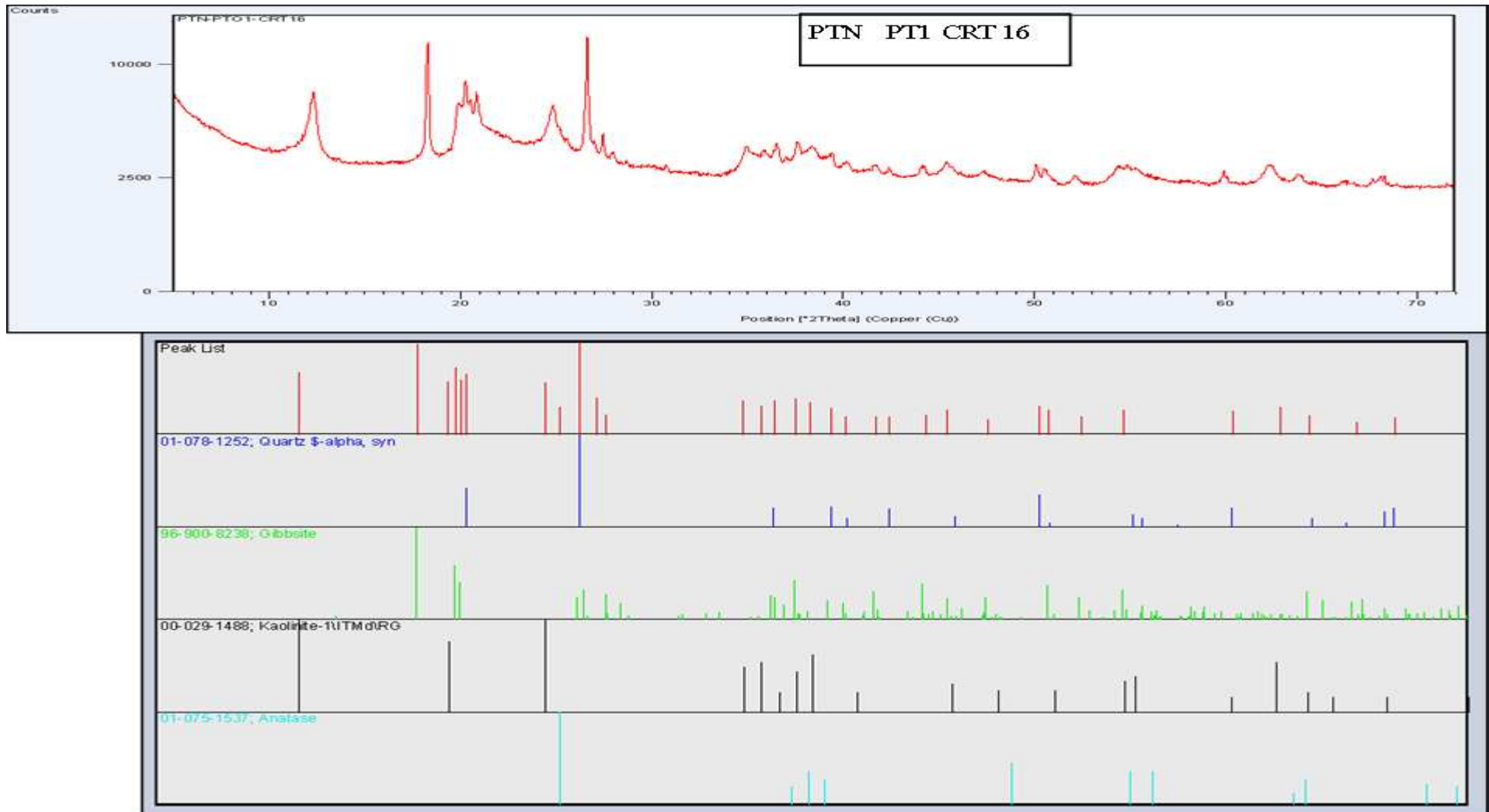
Difratograma 9 - Ponte Nova Ponto 1 corte 10 – 27,5 cm



Difratograma 10 - Ponte Nova Ponto 1 corte 12 – 30 cm



Difratograma 11 - Ponte Nova Ponto 1 corte 16 – 40 cm



## ANEXO D – RESULTADOS DA CONCENTRAÇÃO TOTAL DE ELEMENTOS NOS PERFIS COLETADOS NOS RESERVATÓRIOS

Tabela 1 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) para a concentração total dos elementos (digestão com HF e HNO<sub>3</sub>) nas amostras coletadas em perfil no reservatório de Jurumirim. Ponto 1 – Janeiro de 2013.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
2,5 cm	97760	79130	2342	6004	1623	6305	3195	684	724	332	10,6	65,9	146	25,9
5,0 cm	112300	90280	2682	6628	1734	6298	3388	703	849	354	11,5	76,4	167	28,5
7,5 cm	113500	94360	2818	6484	1809	6002	3259	677	861	343	11,7	76,1	159	29,7
10,0 cm	110100	92040	2831	6151	1429	6286	3264	536	775	336	10,3	72,8	148	25,2
12,5 cm	95940	67490	2102	5097	1230	7488	3388	718	552	375	10,7	63,0	124	22,7
15,0 cm	86030	54080	1406	5714	995	10260	3593	1058	460	414	11,0	64,8	109	20,9
17,5 cm	120600	94310	2275	6623	1374	7247	3575	717	849	340	12,6	79,7	168	30,0
20,0 cm	76650	59560	1560	5086	910	7792	2602	833	494	304	8,69	52,0	105	19,1
22,5 cm	100500	85780	1852	6610	1063	8020	3378	732	733	353	10,8	57,9	132	20,9
25,0 cm	64950	50400	1140	4937	922	7061	2243	818	440	280	7,19	47,4	92,4	17,1
27,5 cm	55300	39190	861	4503	774	10050	2770	1146	302	366	16,0	46,2	66,1	15,3
30,0 cm	121400	95690	1966	7462	1571	6820	3584	664	1039	368	11,7	71,8	168	26,4
32,5 cm	81990	78380	1662	6064	1424	6378	2516	833	759	290	11,5	55,0	135	21,3
35,0 cm	83210	78850	1657	6196	1492	6846	2812	887	742	321	7,44	43,9	131	13,2
37,5 cm	84630	90920	1923	6055	2354	6598	2898	1334	836	318	14,0	54,7	133	21,6
40,0 cm	67270	108000	2178	4922	1433	5118	2223	663	1219	247	17,3	52,3	127	21,7
42,5 cm	34620	55870	1255	3869	760	5671	1416	757	522	232	9,46	23,4	55,0	10,3
45,0 cm	68870	40440	1787	5591	753	13090	3561	1327	375	415	21,2	71,3	95,5	22,6
47,5 cm	84380	43050	2131	5639	1007	13100	4369	1451	355	476	17,8	70,5	95,7	21,2

Tabela 1 – continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U
2,5 cm	40,0	1,44	0,13	0,64	5,51	23,6	37,9	67,8	26,7	15,0	4,47	16,9	12,9	3,07
5,0 cm	46,6	1,55	0,15	0,74	6,13	25,9	38,3	73,5	30,8	16,8	4,93	17,6	14,2	3,47
7,5 cm	48,4	1,71	0,15	0,76	6,15	25,3	35,7	73,9	31,0	15,7	4,90	18,2	13,8	3,31
10,0 cm	40,3	1,47	0,12	0,66	5,42	22,0	34,3	67,6	26,8	14,8	4,35	17,0	11,9	2,88
12,5 cm	32,7	1,19	0,12	0,59	6,29	22,1	39,9	61,0	26,5	14,5	4,14	12,3	13,8	3,05
15,0 cm	27,3	0,97	0,10	0,55	5,65	22,1	38,5	63,0	27,2	12,7	4,43	8,91	11,3	3,15
17,5 cm	46,1	1,69	0,16	0,81	6,80	27,2	36,7	75,2	32,9	16,5	5,12	19,5	14,5	3,47
20,0 cm	27,9	0,99	0,10	0,56	4,39	17,7	31,9	50,9	21,2	11,0	3,93	8,55	8,71	2,27
22,5 cm	34,3	1,33	0,12	0,79	4,97	20,7	33,1	58,6	23,8	13,3	4,45	11,9	9,86	2,60
25,0 cm	25,3	0,85	0,09	0,49	3,91	17,3	27,6	46,7	19,4	8,89	3,87	7,38	7,66	2,25
27,5 cm	18,3	0,90	0,09	0,40	4,24	16,6	32,7	51,0	19,7	7,82	3,76	2,11	7,12	2,48
30,0 cm	43,5	1,43	0,13	0,76	6,04	26,4	37,2	69,9	28,2	17,0	4,94	16,7	13,5	3,04
32,5 cm	35,2	1,14	0,13	0,60	4,54	20,6	29,9	57,0	22,8	12,1	4,59	10,8	9,04	2,39
35,0 cm	21,0	0,68	0,08	0,42	3,21	13,4	34,7	36,4	14,8	13,0	3,21	9,83	6,07	1,64
37,5 cm	35,8	1,17	0,12	0,63	4,94	21,8	33,5	59,7	23,5	12,6	4,74	9,60	10,3	2,74
40,0 cm	35,9	1,74	0,13	0,61	4,26	19,5	26,1	58,1	20,7	9,99	3,96	13,8	8,32	2,51
42,5 cm	15,2	0,83	0,07	0,30	2,11	9,9	23,2	30,9	10,7	4,73	2,67	3,28	4,04	1,39
45,0 cm	24,8	0,81	0,08	0,51	7,14	22,6	32,6	79,6	31,7	10,1	4,46	2,75	10,4	3,41
47,5 cm	22,3	0,66	0,07	0,46	5,87	22,4	37,9	70,5	28,0	12,7	4,15	4,54	7,68	3,12

Tabela 2 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) para a concentração total dos elementos (digestão com HF e HNO<sub>3</sub>) nas amostras coletadas em perfil no reservatório de Jurumirim. Ponto 1 – Julho de 2013.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
2,5 cm	92090	86690	1596	6290	1051	4513	2403	244	990	261	10,2	56,4	174	25,3
5,0 cm	82640	97090	1668	7143	778	4890	2461	246	1098	266	11,6	64,4	202	29,2
7,5 cm	87680	96680	1554	6916	775	5068	2603	226	1063	262	11,3	64,0	201	29,1
10,0 cm	70050	100500	1398	7074	617	4657	2395	232	1056	215	13,0	61,6	203	30,9
12,5 cm	108900	95570	1228	7014	792	5366	2410	235	1049	268	11,8	66,7	201	29,9
15,0 cm	103000	96950	1133	7447	670	5141	2184	226	1085	250	12,4	68,2	208	32,3
17,5 cm	106200	96190	1202	6595	781	4797	2326	215	1068	238	12,8	62,5	196	32,0
20,0 cm	94530	92450	1348	6837	617	4960	1951	219	1104	227	12,5	66,5	194	32,3
22,5 cm	106600	98420	2588	6771	861	5133	2622	212	1175	243	13,2	61,8	191	33,1
25,0 cm	101800	95510	1299	6987	860	4938	2709	196	1232	238	13,0	63,1	201	30,9
27,5 cm	86840	88150	973	7060	575	4322	2073	199	1288	208	14,1	57,8	199	31,6
30,0 cm	98430	88810	887	7542	616	4594	2305	198	1374	235	13,5	59,9	210	30,0
32,5 cm	83730	98780	1397	6764	1030	3897	2324	183	1367	231	25,2	53,3	200	28,4
35,0 cm	68730	59790	1464	4742	1212	5518	3042	258	1430	253	38,7	49,3	148	29,2
37,5 cm	75260	29140	611	6149	1207	10630	3360	977	666	399	8,06	51,3	95	16,8
40,0 cm	66330	21620	332	6387	809	11410	3069	1197	492	384	9,13	50,6	82	15,5
42,5 cm	57430	22240	390	6383	728	10810	2779	1148	496	371	7,10	49,9	84	15,2
45,0 cm	62170	20760	334	6485	761	11310	2962	1191	467	369	7,91	46,7	80	15,0
47,5 cm	57530	20960	315	6327	731	10780	2771	1143	488	344	11,6	47,5	80	29,7

Tabela 2 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U
2,5 cm	45,0	1,86	0,19	0,70	5,48	25,8	29,2	68,4	24,0	9,04	4,43	16,9	12,8	3,23
5,0 cm	51,4	1,94	0,21	0,81	6,29	29,5	23,7	78,7	29,8	10,5	4,85	17,5	13,4	3,42
7,5 cm	51,0	1,95	0,20	0,81	6,52	29,6	25,2	77,4	29,9	11,0	4,85	17,5	14,0	3,41
10,0 cm	55,9	2,17	0,21	0,85	6,12	28,6	25,4	75,6	31,3	14,1	5,11	17,3	13,9	2,76
12,5 cm	51,4	2,03	0,21	0,84	6,14	31,3	29,3	81,7	34,1	11,6	4,78	17,2	10,9	3,75
15,0 cm	56,2	2,24	0,24	0,93	6,49	34,0	27,9	82,6	37,0	10,4	5,43	18,4	12,3	3,92
17,5 cm	55,8	2,21	0,23	0,89	6,45	32,3	31,3	78,2	35,1	12,2	5,16	17,6	13,6	3,83
20,0 cm	54,9	2,31	0,22	0,96	6,58	33,9	27,1	81,3	37,3	9,49	5,30	19,2	12,1	3,85
22,5 cm	57,1	2,39	0,25	0,96	7,56	35,0	34,6	80,2	36,2	13,3	5,54	17,8	15,1	3,99
25,0 cm	55,6	2,16	0,23	0,90	7,10	32,4	30,0	79,6	32,9	12,5	5,26	17,5	15,3	3,50
27,5 cm	58,7	2,29	0,24	0,93	6,45	32,4	26,1	77,1	29,7	10,2	5,46	15,5	13,1	3,31
30,0 cm	57,0	2,15	0,25	0,89	6,45	33,2	25,9	79,3	30,9	10,7	5,36	15,1	12,5	3,36
32,5 cm	54,0	2,79	0,28	0,81	5,75	28,8	28,1	79,7	27,0	11,8	4,87	13,1	12,2	3,21
35,0 cm	44,3	3,00	0,55	0,76	6,61	24,8	29,5	106,2	27,1	10,4	3,83	13,8	10,7	2,86
37,5 cm	27,2	1,05	0,50	0,59	6,16	23,3	43,4	86,2	25,4	12,1	5,95	7,53	13,1	3,55
40,0 cm	22,8	0,71	0,25	0,55	5,65	22,8	45,0	58,6	25,1	11,6	6,64	4,99	13,9	3,66
42,5 cm	23,8	0,76	0,35	0,55	5,58	22,6	36,3	64,3	24,6	10,2	7,00	5,40	12,1	3,37
45,0 cm	23,0	0,67	0,30	0,52	5,60	22,4	42,9	59,8	24,8	10,9	7,72	4,41	12,7	3,54
47,5 cm	30,7	1,57	0,38	0,93	5,90	34,7	30,9	55,8	33,7	11,9	5,80	3,55	12,5	3,64

Tabela 3 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) para a concentração total dos elementos (digestão com HF e HNO<sub>3</sub>) nas amostras coletadas em perfil no reservatório de Jurumirim. Ponto 1 – Janeiro de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
2,5 cm	78430	86190	2728	7361	1691	6105	2807	425	1109	306	14,1	57,7	180	31,9
5,0 cm	87030	76170	2201	6437	2760	5118	2553	370	1041	299	11,6	54,6	162	25,4
7,5 cm	83820	75100	2147	6226	1601	4856	2431	314	960	279	9,50	50,4	159	22,1
10,0 cm	66300	55110	1487	5116	1157	5284	2135	397	689	245	8,47	46,1	117	19,5
12,5 cm	67230	52500	1433	4580	1125	5004	2015	368	661	246	7,42	45,4	108	13,2
15,0 cm	86570	78010	1806	5768	1059	3818	2238	185	938	236	10,5	48,3	157	26,0
17,5 cm	79520	95560	1989	7250	767	4602	2749	253	1162	242	12,6	64,2	200	31,6
20,0 cm	111800	94290	2019	6920	1128	4990	2878	233	1091	294	12,2	62,3	194	30,7
22,5 cm	84570	96610	2107	6419	712	4680	2455	211	1060	246	12,4	59,6	187	30,5
25,0 cm	91700	96490	1969	6839	702	4946	2622	228	1053	256	14,1	63,0	196	32,8
27,5 cm	84080	91220	1528	7309	573	5332	2945	222	1046	235	12,2	63,2	199	30,3
30,0 cm	93060	93110	1815	6659	677	4977	2736	203	1081	240	15,1	65,0	191	35,5
32,5 cm	89230	92680	1607	7226	475	5711	3260	213	1159	235	13,9	70,9	200	35,2
35,0 cm	92300	94960	1556	7576	520	4966	2790	203	1235	245	15,9	63,0	207	35,6
37,5 cm	116100	103100	1508	8239	820	4133	2576	183	1375	258	16,2	59,6	231	32,4
40,0 cm	110100	98980	1488	7626	1095	4199	2849	185	1293	283	15,6	58,1	211	29,0
42,5 cm	79550	102500	1338	6847	772	4058	2319	172	1324	243	21,4	50,8	196	35,2
45,0 cm	85020	116600	2343	6031	1113	3696	2342	169	1416	234	46,2	45,7	179	39,4
47,5 cm	85290	127500	2589	5339	1173	3558	2516	162	1721	215	32,5	51,2	166	29,6
50,0 cm	75630	116600	2904	4432	1425	3643	2482	162	2378	226	40,0	38,5	154	26,3
52,5 cm	82790	47540	1059	5771	966	9091	3859	562	1451	343	37,6	53,5	141	27,8
55,0 cm	72060	30590	573	7013	775	11470	3284	1061	691	382	15,2	59,0	109	23,2

Tabela 3 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U
2,5 cm	45,9	2,08	0,24	0,74	6,09	31,0	37,7	75,6	32,4	14,8	6,44	19,7	17,1	3,45
5,0 cm	30,8	1,49	0,18	0,63	5,27	26,4	40,4	66,4	27,7	13,8	5,24	15,6	13,1	3,24
7,5 cm	35,6	1,31	0,15	0,56	4,56	22,1	30,0	67,2	24,0	10,1	4,43	13,1	12,0	2,66
10,0 cm	26,6	1,20	0,15	0,50	4,19	20,2	30,9	49,9	22,5	10,9	4,78	10,5	10,8	2,50
12,5 cm	24,8	0,79	0,14	0,36	2,79	14,8	28,7	48,3	15,8	8,7	4,68	9,28	8,4	1,96
15,0 cm	32,8	1,54	0,16	0,64	5,24	25,0	30,3	61,6	27,7	12,1	4,71	14,0	12,7	3,11
17,5 cm	40,5	1,93	0,19	0,80	6,41	29,1	27,5	76,2	33,9	14,6	5,79	17,7	15,9	2,98
20,0 cm	42,3	1,90	0,18	0,80	6,61	30,8	37,2	76,0	34,4	16,5	5,62	16,7	15,4	3,88
22,5 cm	44,5	1,92	0,18	0,77	6,29	29,4	25,6	77,7	32,7	10,8	5,40	16,3	14,0	3,32
25,0 cm	44,6	2,18	0,20	0,82	6,78	32,0	27,1	77,9	36,1	12,0	5,78	17,0	15,0	3,66
27,5 cm	44,7	2,01	0,19	0,83	6,84	29,9	27,1	76,6	35,4	13,1	5,71	17,0	15,6	3,06
30,0 cm	44,1	2,25	0,21	0,87	7,55	34,4	33,0	77,5	35,9	12,0	6,26	17,3	15,8	4,18
32,5 cm	46,2	2,30	0,22	0,95	8,13	34,5	26,8	80,7	41,8	13,2	6,28	17,9	18,4	3,55
35,0 cm	47,8	2,22	0,23	0,96	7,78	37,1	29,2	79,2	38,2	13,2	6,96	15,1	16,6	3,76
37,5 cm	48,9	2,20	0,24	0,88	6,50	35,4	34,7	78,4	35,5	16,5	6,61	15,7	14,0	3,74
40,0 cm	46,8	1,84	0,22	0,80	6,11	30,8	35,4	75,0	31,4	21,7	5,74	13,9	15,7	3,38
42,5 cm	39,9	2,41	0,24	0,92	7,32	36,4	33,5	74,5	37,3	13,5	6,77	11,8	14,8	3,87
45,0 cm	40,1	3,19	0,29	0,91	7,42	35,9	44,7	74,1	40,2	21,8	6,70	14,7	16,7	4,38
47,5 cm	36,5	2,04	0,20	0,67	5,40	23,9	31,1	73,8	27,0	17,2	4,51	17,7	12,9	3,09
50,0 cm	32,3	2,05	0,24	0,66	5,15	21,7	32,0	80,9	23,8	13,7	3,83	17,2	11,6	2,79
52,5 cm	36,8	2,10	0,31	0,76	8,93	30,5	45,7	94,3	39,1	14,1	6,13	9,91	16,3	4,01
55,0 cm	19,3	1,07	0,31	0,75	7,72	31,1	46,2	74,3	37,9	13,7	8,81	5,20	17,6	4,61

Tabela 4 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) para a concentração total dos elementos (digestão com HF e HNO<sub>3</sub>) nas amostras coletadas em perfil no reservatório de Jurumirim. Ponto 2 – Janeiro de 2013.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
2,5 cm	88184	101215	1126	10690	355	3996	2714	188	1133	206	15,4	60,5	264	31,1
5,0 cm	83230	100400	1187	10358	389	4186	2833	196	1083	204	15,6	63,4	260	31,7
7,5 cm	98040	107400	1121	11602	339	4007	2732	190	1244	219	16,0	60,7	282	32,2
10,0 cm	105900	104100	1243	10488	645	4212	2629	201	1109	238	15,8	65,9	263	33,1
12,5 cm	76210	100600	1140	10515	456	4264	2939	193	1097	192	15,5	63,8	260	31,7
15,0 cm	76965	106200	1184	11312	393	4021	2822	189	1156	186	15,9	61,9	272	31,9
17,5 cm	77720	111800	1227	12109	329	3778	2704	185	1216	181	16,2	60,0	285	32,0
20,0 cm	126200	114200	1245	11471	659	3895	2696	180	1242	237	16,4	60,9	286	32,5
22,5 cm	94090	106900	1048	12579	297	3145	2006	203	1289	190	18,0	54,9	288	30,1
25,0 cm	110500	106000	1151	11352	583	3870	2469	182	1195	235	15,9	59,4	271	31,2
27,5 cm	65840	68870	681	7569	669	6783	1228	1213	870	291	14,0	28,5	169	17,0
30,0 cm	126200	121100	1351	14656	873	2663	2135	213	1405	243	19,5	52,4	320	30,1
32,5 cm	117000	119000	1223	13689	829	2679	2090	213	1411	227	20,0	50,6	307	29,2
35,0 cm	78800	77290	775	8617	623	3174	1494	313	986	219	14,1	40,0	196	21,1
37,5 cm	65510	71690	936	7276	638	2364	1264	208	1384	169	14,2	32,5	166	18,2
40,0 cm	81810	66490	933	8420	773	4871	1649	414	1825	294	26,1	43,4	175	22,5

Tabela 4 – continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U
2,5 cm	69,2	2,11	0,26	0,79	5,78	29,3	19,0	82,6	30,4	12,9	6,84	14,7	13,0	3,10
5,0 cm	67,6	2,07	0,26	0,81	6,02	29,3	19,2	81,8	31,9	14,2	6,69	14,7	14,7	3,11
7,5 cm	74,5	2,25	0,27	0,81	5,84	30,8	19,8	87,8	30,4	12,2	7,36	15,6	11,8	3,26
10,0 cm	68,7	2,07	0,27	0,81	6,05	30,8	28,3	84,3	32,0	10,9	6,80	16,1	11,6	3,51
12,5 cm	68,1	2,04	0,28	0,81	6,05	28,5	23,5	87,4	31,6	16,2	6,74	14,8	15,7	2,92
15,0 cm	70,9	1,99	0,28	0,80	5,75	28,4	21,4	86,3	30,4	15,7	7,10	15,2	14,7	2,85
17,5 cm	73,7	1,95	0,28	0,79	5,44	28,3	19,3	85,1	29,2	15,3	7,45	15,7	13,7	2,78
20,0 cm	87,5	2,33	0,28	0,78	5,71	29,9	35,2	86,9	30,8	18,1	7,08	15,7	12,2	3,41
22,5 cm	74,5	2,05	0,29	0,74	4,49	28,7	17,0	83,6	26,7	9,9	7,71	13,6	8,2	2,89
25,0 cm	73,0	2,20	0,28	0,77	5,62	29,5	31,1	83,9	28,2	10,0	7,05	15,3	10,6	3,25
27,5 cm	44,9	1,25	0,17	0,41	2,66	18,5	47,2	49,2	15,9	15,5	4,85	7,98	8,53	2,06
30,0 cm	80,5	1,96	0,33	0,73	4,21	31,4	40,3	86,0	25,4	29,5	8,76	15,0	15,4	3,19
32,5 cm	77,6	1,84	0,29	0,69	4,17	29,8	38,1	83,2	25,0	27,9	8,26	13,2	14,8	3,09
35,0 cm	51,7	1,35	0,22	0,47	3,00	20,4	34,1	58,5	17,9	18,6	5,75	8,81	10,0	2,22
37,5 cm	45,0	1,48	0,20	0,43	2,59	17,8	26,3	56,3	15,8	15,4	5,18	8,95	8,75	2,34
40,0 cm	49,6	1,70	0,22	0,51	3,79	22,4	39,6	70,7	19,2	14,4	5,87	10,1	11,4	2,55

Tabela 5 - Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) para a concentração total dos elementos (digestão com HF e HNO<sub>3</sub>) nas amostras coletadas em perfil no reservatório de Jurumirim. Ponto 3 – Julho de 2013.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
2,5 cm	89470	87320	1985	6497	1200	6020	3194	257	1171	319	12,2	63,1	179	30,2
5,0 cm	82980	84230	1517	6433	800	6365	3204	262	1128	305	13,0	63,0	176	32,7
7,5 cm	79090	86760	1508	6649	712	5890	2757	252	1149	285	12,0	64,1	182	30,4
10,0 cm	83700	87020	1585	6683	726	5887	3005	247	1157	289	12,6	64,8	185	31,7
12,5 cm	71760	77360	1589	6476	621	5188	2629	242	1050	240	12,1	60,2	181	30,2
15,0 cm	91780	90750	1404	6620	665	5802	3042	246	1119	274	12,7	63,1	185	31,2
17,5 cm	83120	86800	1306	6367	919	5868	3038	214	1127	261	12,3	63,3	171	30,6
20,0 cm	88700	89360	1211	6810	399	6569	3297	262	1125	267	12,4	65,0	191	30,8
22,5 cm	92560	91170	1268	6701	517	6313	2893	257	1127	275	12,0	65,1	188	30,0
25,0 cm	87520	91620	1329	6769	488	6425	3280	250	1123	262	12,4	65,0	183	30,0
27,5 cm	88460	81200	960	6844	513	6706	3263	261	1127	264	12,9	65,2	187	31,2
30,0 cm	84520	81500	886	6717	422	6791	2982	266	1185	259	11,7	68,6	186	30,4
32,5 cm	95160	80630	837	6797	452	6934	3403	263	1215	272	11,7	66,4	187	30,6
35,0 cm	92210	83250	794	7200	396	6327	3346	242	1310	248	12,5	65,4	200	32,5
37,5 cm	86260	77110	730	7111	390	6420	3208	260	1294	262	11,4	64,9	192	29,7
40,0 cm	88020	79190	788	6813	323	5560	2962	221	1295	227	11,8	62,7	193	30,0
42,5 cm	77360	70320	648	6928	376	5820	3074	236	1258	225	11,7	62,2	184	29,1
45,0 cm	83520	68580	681	6960	495	5841	3047	237	1258	229	14,8	61,4	188	32,2
47,5 cm	111700	62190	750	6577	596	7018	3984	253	1256	279	15,4	63,9	179	31,8
50,0 cm	81420	39820	700	7566	601	10250	3836	786	1078	323	18,1	65,2	160	30,9
52,5 cm	80960	22280	336	6357	609	12670	4301	1025	567	397	8,6	58,8	91,6	19,8

Tabela 5 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U
2,5 cm	54,8	2,07	0,22	0,78	7,17	31,4	36,8	80,8	30,2	11,7	4,85	18,6	14,4	3,62
5,0 cm	56,4	1,99	0,23	0,85	8,04	35,0	36,2	83,2	37,6	15,8	5,19	17,1	16,3	3,70
7,5 cm	51,8	1,90	0,21	1,58	7,03	31,2	29,3	80,8	33,0	11,5	4,94	18,0	14,1	3,41
10,0 cm	55,0	1,98	0,23	0,83	7,52	33,4	33,6	79,8	33,3	12,3	5,27	17,1	15,8	3,77
12,5 cm	52,3	1,99	0,21	0,79	6,25	28,5	26,5	75,3	28,7	10,0	5,03	18,1	12,2	3,26
15,0 cm	53,4	2,10	0,21	0,81	7,33	31,5	34,6	78,0	34,5	17,7	5,07	18,0	16,5	3,44
17,5 cm	73,5	2,09	0,21	0,83	7,08	31,5	29,0	83,2	32,3	13,3	4,94	17,9	15,0	3,43
20,0 cm	57,1	2,20	0,21	0,85	7,45	32,7	25,2	82,5	34,8	13,5	4,82	18,0	16,1	3,35
22,5 cm	51,0	2,05	0,20	0,87	7,30	33,3	29,8	82,6	35,2	12,1	4,86	18,0	15,1	3,69
25,0 cm	51,3	2,14	0,21	0,87	7,68	32,3	30,4	81,6	34,9	14,5	4,97	17,1	16,1	3,40
27,5 cm	53,0	2,22	0,21	0,90	7,71	32,3	33,7	80,7	34,4	14,4	5,18	17,1	15,6	3,50
30,0 cm	51,8	2,26	0,21	0,96	7,86	33,6	33,8	81,7	36,2	15,4	5,15	16,9	15,1	3,08
32,5 cm	53,1	2,21	0,23	0,93	8,19	32,8	36,9	81,3	36,1	17,5	5,19	15,8	16,1	3,25
35,0 cm	60,2	2,45	0,24	0,94	7,94	33,8	33,8	81,7	34,1	16,9	5,54	16,2	17,0	3,08
37,5 cm	53,5	2,01	0,22	0,95	8,08	33,8	32,3	80,0	33,6	14,4	5,31	13,2	16,4	3,29
40,0 cm	54,0	2,43	0,24	0,89	7,55	32,8	22,1	79,6	34,5	11,4	5,11	13,8	15,7	3,29
42,5 cm	53,3	2,10	0,23	0,89	7,67	32,9	30,4	76,3	34,5	14,6	5,32	11,5	15,2	2,95
45,0 cm	56,4	2,36	0,24	0,94	8,30	35,8	35,6	79,1	35,9	15,1	5,90	12,0	15,6	3,65
47,5 cm	54,9	2,76	0,24	0,96	9,35	37,3	42,1	84,1	38,1	16,0	5,40	12,3	18,2	4,22
50,0 cm	48,0	2,26	0,30	0,90	9,04	31,6	36,9	92,8	35,8	13,0	6,74	12,5	14,6	3,94
52,5 cm	27,6	0,95	0,23	0,61	9,28	29,1	48,7	66,7	34,1	13,9	6,34	6,4	15,2	4,30

Tabela 6 - Resultados obtidos para a concentração total dos elementos (em mg kg<sup>-1</sup>) (digestão com HF e HNO<sub>3</sub>) nas amostras coletadas em perfil no reservatório de Promissão. Ponto 1 – Janeiro de 2013.

Profundidade	Al	Fe	Ti	K	Mg	Ca	Na	P	Mn	Ba	Cr	V	Sr	Zn	Ni
2,5 cm	101000	76320	8047	6248	3283	2031	2777	2042	736	465	97,0	170	59,0	73,0	66,3
5,0 cm	105600	76980	8934	5966	3265	2060	2334	1502	690	429	111	165	70,0	68,8	78,2
7,5 cm	106200	67820	9596	5919	3107	1555	2027	1046	498	422	143	154	70,8	68,4	69,8
10 cm	79770	58710	10090	6106	2264	921	1598	937	430	328	146	157	55,3	71,4	60,5
12,5 cm	103500	62850	10540	7333	3004	1413	2189	974	522	448	162	155	78,0	70,8	60,8
15 cm	91840	50240	11240	9526	2876	1787	1776	676	577	498	161	129	87,0	60,3	49,8
17,5 cm	44710	35370	9982	8231	1675	1705	2035	554	1210	482	150	88,8	78,3	36,0	29,7
20 cm	89830	40320	11540	8178	2697	2018	1555	541	509	499	171	117	83,8	58,7	45,5
22,5 cm	78000	38540	13250	6907	3002	2014	1252	1014	552	296	177	130	42,1	66,7	56,7
25 cm	72870	35690	11110	8560	2465	3186	1905	378	630	518	166	102	92,5	50,6	40,5
27,5 cm	85780	45870	12790	7171	2779	2151	1507	1424	1155	603	199	123	103	57,8	51,0
30 cm	75780	47100	13060	8519	2501	1912	1538	1188	1513	589	192	116	94,8	51,2	45,3
32,5 cm	67200	41510	12080	8443	2238	1886	1505	890	1411	534	179	104	90,1	43,4	39,2
Profundidade	Cu	Pb	Li	Sc	Co	Hf	As	Th	Cs	U	Mo	Cd	Sb	Hg	
2,5 cm	64,0	24,0	26,0	15,4	13,1	4,99	13,4	16,9	4,70	2,60	4,13	0,13	1,71	0,154	
5,0 cm	63,3	24,1	23,1	17,3	13,7	5,49	14,3	17,9	4,56	2,68	5,13	0,15	1,97	0,102	
7,5 cm	59,7	24,9	22,9	18,4	12,7	5,78	12,8	16,6	4,42	2,65	4,10	0,15	1,57	0,083	
10 cm	60,0	27,4	22,2	19,5	12,9	6,30	10,7	11,8	3,96	2,60	1,71	0,18	1,07	0,113	
12,5 cm	59,5	27,5	24,5	17,3	12,9	6,29	11,2	17,2	4,77	2,93	1,86	0,18	1,13	0,098	
15 cm	45,2	24,1	20,5	17,7	11,0	5,80	8,80	12,4	3,93	2,57	1,16	0,14	0,76	0,059	
17,5 cm	17,0	16,7	11,8	10,5	10,6	4,57	5,82	5,70	1,88	1,94	0,39	0,10	0,21	0,097	
20 cm	40,2	24,1	18,6	16,3	11,0	6,00	7,27	15,3	3,43	2,51	1,05	0,15	0,55	0,071	
22,5 cm	40,7	24,8	16,7	12,5	18,3	6,68	6,80	5,92	2,63	1,95	0,98	0,17	0,51	0,103	
25 cm	32,1	21,0	16,0	15,6	11,5	5,47	6,27	12,9	2,89	2,23	1,04	0,13	0,48	0,082	
27,5 cm	29,4	24,5	19,1	19,0	21,0	6,83	7,64	15,2	3,22	2,98	0,63	0,15	0,34	0,111	
30 cm	25,9	22,7	17,5	15,7	16,7	6,17	7,51	12,5	2,83	2,73	0,54	0,12	0,30	0,099	
32,5 cm	21,8	20,8	15,9	13,8	12,6	5,80	6,58	11,4	2,55	2,47	0,43	0,11	0,26	0,052	

Tabela 7 - Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) para a concentração total dos elementos (digestão com HF e HNO<sub>3</sub>) nas amostras coletadas em perfil no reservatório de Promissão. Ponto 1 – Julho de 2013.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni	
2,5 cm	71120	57170	879	7596	1351	6039	2726	468	2504	365	14,6	101	168	61,9	
5,0 cm	78620	60620	526	7556	1302	5315	2503	418	2019	360	11,5	111	161	58,5	
7,5 cm	87030	60330	729	7333	1809	5491	2873	466	2118	362	14,6	102	175	71,4	
10 cm	53840	47520	420	8463	658	5974	2165	507	1221	288	11,3	129	150	59,4	
12,5 cm	47890	25980	358	8808	1211	7001	1393	664	656	288	8,40	163	89,6	32,6	
15 cm	49220	22930	357	8926	1350	8315	1539	824	544	351	7,75	144	76,9	26,2	
17,5 cm	35130	17380	238	7641	1043	7923	1239	769	484	290	6,69	118	67,1	22,7	
20 cm	42920	16200	257	7057	1257	8461	1290	797	419	339	7,07	116	62,9	21,0	
22,5 cm	50570	21730	324	7719	1834	7755	1491	801	566	372	12,7	142	83,6	26,9	
25cm	75550	30810	369	10309	2249	6512	2051	600	918	408	12,9	186	114	40,0	
27,5 cm	63690	23280	249	12675	1084	8534	2160	792	872	383	12,1	231	106	41,0	
30 cm	71770	26080	279	13544	1343	8878	2249	793	906	474	11,1	246	121	45,8	
32,5 cm	70030	25290	250	12995	1141	9531	2375	812	963	477	9,5	236	106	38,2	
35 cm	42320	19020	228	13178	742	7884	1693	814	863	276	9,18	224	112	38,9	
Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Sc	Li	Hf	As	Th	U	Hg
2,5 cm	68,6	2,31	0,25	1,40	5,13	25,8	48,4	77,5	11,9	26,2	5,00	18,6	17,4	2,58	0,228
5,0 cm	61,7	6,27	0,22	2,00	4,36	23,8	55,3	60,0	10,4	21,1	4,54	21,4	16,3	2,67	0,193
7,5 cm	70,4	5,73	0,26	2,02	5,08	26,1	66,0	69,4	17,3	26,1	4,91	22,6	19,7	3,09	0,194
10 cm	62,6	4,22	0,25	1,77	4,14	24,8	42,3	60,2	11,1	21,3	5,20	18,0	19,7	2,45	0,164
12,5 cm	36,7	0,66	0,21	0,52	2,86	21,9	56,4	49,1	7,46	14,8	4,97	8,49	12,5	2,19	0,110
15 cm	30,6	0,52	0,20	0,37	2,51	18,3	64,4	45,5	8,61	12,9	4,85	7,42	14,7	2,09	0,101
17,5 cm	26,5	0,53	0,18	0,31	2,15	15,7	54,7	38,5	7,31	10,7	4,25	6,35	12,4	1,79	0,095
20 cm	22,8	0,41	0,15	0,26	2,04	15,9	67,3	36,2	8,45	10,6	3,46	5,98	13,1	1,63	0,076
22,5 cm	28,0	0,64	0,18	0,35	2,37	19,5	73,1	44,1	8,11	12,2	4,26	9,14	14,5	1,97	0,092
25cm	37,8	0,64	0,25	0,34	3,57	24,4	76,8	63,6	12,6	18,3	5,63	11,0	18,1	2,54	0,127
27,5 cm	35,0	0,42	0,27	0,30	3,43	23,6	68,8	57,6	12,8	18,5	6,54	10,2	20,4	2,48	0,159
30 cm	37,8	0,49	0,30	0,33	3,88	27,7	83,4	66,9	14,4	21,0	7,39	8,85	21,4	3,03	0,132
32,5 cm	31,6	0,35	0,25	0,28	3,25	23,0	67,8	56,3	13,0	17,4	5,84	7,73	19,5	2,39	0,109
35 cm	33,8	0,36	0,29	0,30	2,87	19,2	44,3	54,0	8,01	15,0	7,14	6,88	15,2	1,96	0,108

Tabela 8 - Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) para a concentração total dos elementos (digestão com HF e HNO<sub>3</sub>) nas amostras coletadas em perfil no reservatório de Promissão. Ponto 1 – Janeiro de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
2,5 cm	94280	68250	356	8091	954	5420	2776	430	2153	366	11,1	125	176	60,6
5,0 cm	84220	62030	371	9356	926	4895	2511	339	1630	325	13,0	156	175	69,6
7,5 cm	86880	54070	429	9316	1153	5112	2681	337	1397	322	14,0	158	173	59,7
10 cm	80870	59750	426	9810	1061	4882	2384	345	1741	304	14,1	159	180	64,9
12,5 cm	101400	62200	3238	4605	2906	12550	6170	1543	1144	607	16,6	115	165	45,6
15 cm	88820	66850	1307	9577	2491	7860	3239	882	1764	429	16,1	115	170	62,6
17,5 cm	86640	62510	1331	9238	2485	7970	3197	923	1856	416	15,8	103	170	58,8
20 cm	70820	53650	385	6548	1353	3714	2310	269	2250	250	18,0	114	177	46,7
22,5 cm	91640	42490	379	14115	1384	6233	3195	344	1787	464	19,2	288	204	73,1
25cm	79610	38950	422	11816	1518	4743	3210	246	2197	444	19,1	276	190	73,7
27,5 cm	76150	39090	361	12014	1401	4726	3089	243	2084	406	18,2	281	192	73,6
Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U
2,5 cm	78,3	5,53	0,18	2,18	5,40	30,2	51,6	68,9	32,4	14,5	6,47	9,20	18,7	3,31
5,0 cm	77,0	3,34	0,21	1,53	5,05	30,5	48,9	71,6	27,5	10,8	7,08	8,92	18,5	3,04
7,5 cm	82,0	1,73	0,26	0,94	6,15	35,3	46,9	97,4	32,7	11,8	8,13	8,13	22,8	3,35
10 cm	80,7	1,51	0,26	1,04	5,72	33,6	51,6	96,6	34,5	14,0	8,17	7,54	21,3	2,71
12,5 cm	35,1	1,75	0,30	1,15	6,51	41,5	71,7	199	63,5	16,2	4,55	25,9	15,2	4,36
15 cm	70,2	2,62	0,22	1,21	4,40	26,4	64,6	75,8	26,5	17,5	7,05	9,24	17,0	3,04
17,5 cm	80,1	3,03	0,23	1,23	5,11	30,4	61,2	95,5	31,7	16,9	6,94	7,64	19,1	3,38
20 cm	68,2	1,86	0,19	0,98	4,43	23,9	43,5	67,1	24,0	12,1	5,62	11,2	15,8	2,12
22,5 cm	60,8	0,75	0,29	0,42	6,89	38,3	77,5	108	41,2	20,8	11,1	3,98	33,5	3,99
25cm	53,7	0,57	0,24	0,39	5,98	30,1	65,4	92,2	34,0	18,1	8,82	6,30	25,7	2,88
27,5 cm	49,6	0,54	0,24	0,36	5,48	27,8	62,3	84,7	29,9	15,9	8,36	5,24	23,3	2,49

Tabela 9 - Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) para a concentração total dos elementos (digestão com HF e HNO<sub>3</sub>) nas amostras coletadas em perfil no reservatório de Promissão. Ponto 2 – Janeiro de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni	
2,5 cm	102100	77760	844	7203	1253	5908	3251	466	3499	355	12,8	104	200	75,7	
5,0 cm	93950	69810	549	7612	784	6287	3071	468	2449	312	11,8	105	173	63,1	
7,5 cm	87060	63070	611	8010	838	6349	3060	482	1622	307	13,5	106	170	56,6	
10 cm	73820	45150	518	8374	836	6507	3139	535	1280	270	13,2	97,0	174	49,8	
12,5 cm	87540	53560	499	8383	759	6754	2990	548	1273	312	14,5	108	176	48,0	
15 cm	81900	45760	456	8432	858	7015	2872	630	1179	324	14,8	104	171	44,9	
17,5 cm	85800	39810	440	8747	981	7742	3290	718	1249	384	15,9	89,9	174	39,7	
20 cm	106600	36180	413	9713	1306	8578	3883	798	1631	473	13,9	87,5	180	35,9	
22,5 cm	87590	33510	390	9993	1053	8133	3244	802	2060	474	13,0	85,1	184	34,6	
25cm	99060	31020	355	9345	1139	9399	3991	859	1518	477	10,6	85,2	176	33,3	
27,5 cm	103100	27370	305	8490	1087	10420	4160	948	1096	466	10,3	84,7	150	30,4	
Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
2,5 cm	73,9	4,27	0,15	1,94	3,98	23,5	43,1	81,0	23,3	13,3	4,49	10,2	12,5	2,46	0,15
5,0 cm	66,7	3,66	0,20	1,88	5,36	32,2	43,2	69,2	30,7	13,2	6,46	9,50	17,3	3,21	0,081
7,5 cm	59,7	1,63	0,22	1,02	5,40	31,5	39,0	75,8	29,6	12,0	6,34	8,29	16,6	2,85	0,054
10 cm	57,2	1,78	0,24	0,92	5,52	28,1	37,1	73,7	28,8	12,2	6,91	7,40	16,2	2,67	0,057
12,5 cm	60,7	2,16	0,24	0,78	5,56	31,2	38,3	81,4	29,4	12,7	6,53	8,46	16,7	2,79	0,047
15 cm	60,8	2,02	0,29	0,85	6,40	36,2	39,1	80,0	36,3	13,0	8,03	6,68	18,5	3,40	0,059
17,5 cm	64,6	1,46	0,30	0,74	6,15	33,4	41,0	94,4	34,7	14,7	6,65	6,23	16,8	3,47	0,045
20 cm	65,0	1,50	0,35	0,76	7,24	37,6	50,3	99,8	38,8	20,3	7,42	5,49	19,3	4,24	0,060
22,5 cm	70,0	1,23	0,34	0,65	5,86	31,9	43,1	105	31,0	14,6	6,47	4,21	14,4	3,50	0,055
25cm	56,2	1,66	0,35	0,74	8,30	38,8	48,8	97,6	44,0	17,5	7,08	4,48	19,5	4,60	0,068
27,5 cm	47,9	1,22	0,24	0,57	7,32	31,6	51,0	88,0	41,3	18,3	5,47	3,74	16,0	3,76	0,065

Tabela 10 - Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) para a concentração total dos elementos (digestão com HF e HNO<sub>3</sub>) nas amostras coletadas em perfil no reservatório de Promissão. Ponto 3 – Jan/2014

Profundidade	Al	Fe	Ti	K	Mg	P	Ca	Na	Mn	Ba	Cr	V	Zn	Ni
2,5 cm	84710	73160	6952	5735	2955	3091	1287	468	937	344	106	188	79,3	70,9
5,0 cm	89880	64990	6522	6003	3154	2135	1645	517	725	328	98	163	65,5	79,6
7,5 cm	92940	71190	7672	6833	3412	2485	1371	527	889	327	113	176	75,7	84,1
10 cm	95210	69240	8219	6505	3000	1943	957	507	709	309	116	174	79,8	60,6
12,5 cm	122500	69870	8437	7035	3679	1856	1155	508	716	356	116	176	80,6	63,7
15 cm	95950	64800	8266	6491	2968	1767	890	478	697	329	114	170	78,0	58,3
17,5 cm	89680	59130	8256	6469	2876	1584	852	504	646	311	116	169	78,7	55,7
20 cm	114200	53540	8157	7159	3484	1393	1109	564	555	368	112	166	79,1	48,5
22,5 cm	81720	45470	8551	7596	2975	1348	909	733	498	388	98,1	169	87,7	40,8
25cm	97610	42740	9030	8140	3230	1460	1242	795	508	442	96,2	177	91,5	41,5
27,5 cm	84970	44870	8772	7842	3020	1700	1091	742	544	415	92,7	177	87,6	44,2
30 cm	78790	44870	7767	6682	2687	1870	808	619	448	320	91,2	169	76,0	50,6
32,5 cm	88010	69480	8327	6692	2874	1864	880	498	665	327	115	185	81,2	64,0
35 cm	86710	61870	8614	6889	2742	1462	713	555	583	329	111	183	83,7	49,1
37,5 cm	91300	54250	8351	7062	2777	1296	889	606	514	349	106	173	82,8	44,2
40 cm	91020	48280	8481	6469	1790	1251	1082	717	506	350	98,6	174	90,1	42,4
42,5 cm	99400	44940	8719	7833	3243	1479	1218	744	475	415	94,5	178	94,0	38,8
45 cm	91060	36480	9744	8174	2958	1917	1179	804	403	496	87,7	181	101	34,9
47,5 cm	99390	30380	8885	9033	3392	1243	1230	878	346	469	86,3	172	88,7	31,9
50 cm	96470	25390	8035	11180	3761	771	1135	1101	288	460	80,3	144	74,2	27,8
Profundidade	Cu	Sr	Pb	Li	Sc	Co	Th	As	Hf	Cs	U	Mo	Sb	Cd
2,5 cm	74,3	42,0	27,9	25,8	13,8	13,8	14,4	11,3	4,80	4,81	2,67	4,70	2,16	0,20
5,0 cm	71,0	52,2	25,6	21,7	16,3	13,5	15,0	12,1	4,44	4,32	2,64	9,01	2,57	0,21
7,5 cm	77,1	51,2	28,5	24,0	16,2	15,6	16,4	11,3	5,23	4,83	2,88	3,55	2,18	0,24
10 cm	66,8	42,8	30,8	26,0	12,9	15,1	14,1	7,91	5,64	5,30	2,91	1,60	1,09	0,24
12,5 cm	70,2	57,3	33,9	30,9	22,9	16,8	19,7	8,15	6,15	6,14	3,29	1,70	1,07	0,25
15 cm	64,8	43,5	31,3	26,9	12,0	15,8	14,6	6,68	5,65	5,51	2,84	1,67	1,00	0,24
17,5 cm	66,5	40,1	30,3	24,4	10,5	15,8	13,6	7,57	5,79	5,30	2,79	2,22	0,92	0,25
20 cm	125,4	53,5	31,2	27,8	20,2	15,0	17,1	9,38	5,65	5,66	3,14	2,19	0,84	0,26
22,5 cm	67,6	40,8	29,8	26,5	13,8	16,8	13,9	6,88	5,57	5,36	2,88	1,42	0,72	0,28
25cm	70,5	51,3	31,4	29,0	16,2	17,0	14,6	6,91	5,65	5,77	3,45	1,49	0,84	0,30
27,5 cm	67,7	43,8	30,1	28,1	13,7	13,7	13,2	6,59	5,24	5,58	3,24	1,86	1,04	0,29
30 cm	95,3	38,7	28,2	26,4	13,3	12,0	12,9	7,26	5,01	5,05	2,90	3,85	1,44	0,22
32,5 cm	69,3	41,6	31,7	26,5	12,2	15,6	14,8	8,55	5,69	5,27	2,83	2,04	1,23	0,25
35 cm	66,4	34,8	32,2	27,7	11,8	14,3	14,0	6,54	5,62	5,36	2,82	1,59	0,89	0,26
37,5 cm	65,7	40,8	29,9	25,5	12,1	14,5	14,2	6,74	5,52	5,21	2,85	1,39	0,70	0,25
40 cm	69,7	43,6	30,4	27,7	13,0	16,9	6,35	6,04	5,62	4,02	3,16	1,41	0,71	0,30
42,5 cm	70,6	49,0	29,7	26,9	16,5	16,6	14,0	6,84	5,41	5,39	3,16	1,31	0,70	0,31
45 cm	201,6	47,2	31,0	27,4	15,0	14,1	12,7	5,89	5,48	5,53	3,34	1,22	0,64	0,35
47,5 cm	64,3	53,5	32,4	32,9	19,1	11,7	14,6	5,62	5,30	6,27	3,87	1,24	0,62	0,30
50 cm	48,7	56,7	32,1	36,9	17,8	10,1	15,6	5,01	4,90	7,28	4,08	0,97	0,57	0,26

Tabela 11 - Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) para a concentração total dos elementos (digestão com HF e HNO<sub>3</sub>) nas amostras coletadas em perfil no reservatório de Ponte Nova. Ponto 1 – Agosto de 2013.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
2,5 cm	92840	39280	172	4871	470	3636	1337	250	844	105	7,16	42,0	80,8	15,7
5,0 cm	108500	41830	150	5007	179	3589	1103	249	868	115	7,14	44,0	80,0	15,6
7,5 cm	108900	40200	158	5002	248	3689	1079	249	864	115	6,81	44,1	76,7	15,0
10,0 cm	72260	31020	127	4912	199	3528	1149	237	789	75,7	6,05	38,7	73,8	13,6
12,5 cm	90900	36660	148	4961	173	3775	1157	256	925	94,9	6,24	42,5	74,6	14,3
15,0 cm	101900	36060	151	5039	238	3794	1083	258	989	104	6,12	43,5	76,6	14,5
17,5 cm	104200	35700	158	5165	418	4099	1245	295	1038	113	6,60	43,7	80,3	15,0
20,0 cm	115700	35780	160	5193	293	4156	1248	270	1084	122	6,48	42,8	77,7	15,0
22,5 cm	107400	33210	153	5123	357	3842	1072	250	1134	105	6,28	41,9	73,9	14,3
25,0 cm	80570	30840	143	5119	372	3830	1429	244	1221	83,8	6,38	41,5	75,0	14,6
27,5 cm	143700	33950	156	5012	741	3747	1643	222	1330	142	6,85	43,2	80,9	15,8
30,0 cm	125900	30940	147	4728	716	3189	1161	197	1428	126	6,50	41,1	79,6	15,5
32,5 cm	92900	23780	264	3220	1755	3303	1948	249	1897	168	3,47	23,6	53,8	9,48
35,0 cm	62970	15470	168	4561	1700	6200	1478	559	2686	89,7	3,46	22,1	46,7	9,16
37,5 cm	98350	15830	197	4170	1824	5856	1655	500	3062	154	3,38	20,9	44,8	9,21
40,0 cm	106500	14200	170	3882	1017	5351	1683	464	3167	166	3,50	21,6	46,0	9,08

Tabela 11 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
2,5 cm	12,5	1,49	0,18	0,38	3,53	50,1	17,3	56,6	25,5	6,18	2,52	4,46	13,9	5,40	0,022
5,0 cm	11,7	1,52	0,16	0,38	2,83	54,8	11,0	58,1	25,8	6,58	2,23	4,77	13,3	5,46	0,054
7,5 cm	10,4	1,48	0,16	0,35	2,99	60,9	13,5	58,1	25,4	6,81	2,38	4,70	12,7	5,34	0,079
10,0 cm	11,4	1,42	0,17	0,34	3,02	50,5	9,0	51,0	21,4	4,33	2,47	3,99	15,8	4,37	0,025
12,5 cm	12,2	1,47	0,18	0,34	3,06	57,7	14,7	60,0	24,9	5,85	2,29	4,04	15,1	5,35	0,090
15,0 cm	11,4	1,54	0,20	0,37	3,25	55,9	12,2	61,5	25,6	6,02	2,68	3,05	16,0	5,51	0,048
17,5 cm	13,4	1,64	0,23	0,37	3,64	58,3	12,9	67,6	27,4	6,42	2,76	4,52	16,7	5,85	0,11
20,0 cm	13,7	1,61	0,24	0,36	3,57	61,0	14,3	66,2	26,9	6,44	2,59	4,94	15,3	5,71	0,094
22,5 cm	12,3	1,57	0,22	0,36	3,28	61,5	13,9	67,7	24,6	6,12	2,41	3,20	15,1	5,24	0,014
25,0 cm	13,1	1,56	0,22	0,37	3,39	57,4	7,56	66,8	24,4	5,44	2,44	4,90	14,8	4,84	0,10
27,5 cm	14,8	1,70	0,23	0,41	3,69	68,4	28,6	69,4	25,2	6,58	2,39	4,57	23,1	5,63	0,066
30,0 cm	14,6	1,78	0,23	0,40	3,25	65,9	16,0	67,0	23,3	6,41	2,30	4,40	18,9	5,32	0,071
32,5 cm	10,2	2,21	0,35	0,38	3,57	55,3	33,3	61,7	17,9	5,72	1,59	3,75	21,3	6,03	0,080
35,0 cm	6,24	2,20	0,24	0,16	5,67	48,6	21,7	53,4	28,2	4,96	3,82	3,07	15,1	6,72	0,11
37,5 cm	6,49	2,19	0,19	0,17	5,22	62,7	29,1	53,7	26,7	5,75	2,57	3,04	14,8	10,4	0,12
40,0 cm	4,60	2,32	0,16	0,17	5,32	62,3	34,1	47,6	26,7	6,03	2,76	3,06	19,6	12,5	0,10

Tabela 12 - Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) para a concentração total dos elementos (digestão com HF e HNO<sub>3</sub>) nas amostras coletadas em perfil no reservatório de Ponte Nova. Ponto 1 – Fevereiro de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
2,5 cm	89520	30720	145	4375	596	12140	1176	918	576	184	7,68	41,3	71,4	15,2
5,0 cm	105000	27120	194	4158	714	14160	1563	1133	603	277	7,71	37,4	62,9	13,7
7,5 cm	103600	23180	210	4166	915	16630	1629	1416	647	319	7,10	37,8	61,9	12,7
10,0 cm	108700	22420	191	4022	867	16570	1650	1333	625	320	7,00	36,1	60,6	12,9
12,5 cm	80060	14930	179	2974	1006	18570	1300	1898	499	332	4,59	24,8	41,4	8,72
15,0 cm	84870	15720	204	3376	1098	18800	1405	1871	534	329	5,37	27,6	47,7	9,77
17,5 cm	91510	14100	238	3847	1111	15990	1618	1405	757	305	5,56	31,2	52,2	10,6
20,0 cm	82670	15540	357	3684	1744	15730	1529	1646	778	334	4,96	26,8	48,7	9,22
22,5 cm	83280	16030	348	4309	1216	13570	1666	1364	957	277	6,98	34,6	60,4	13,2
25,0 cm	79370	16450	375	4609	1106	13040	1630	1267	1076	256	7,45	39,1	68,4	13,2
27,5 cm	71310	13790	352	4107	1080	14850	1412	1534	959	251	6,78	32,0	55,0	11,0
30,0 cm	71100	12040	340	3571	1013	20180	1086	2316	742	312	5,72	27,3	43,0	8,89
32,5 cm	66850	13880	360	4097	920	19040	948	2136	826	256	8,35	31,7	47,9	10,7
35,0 cm	74610	19500	541	4891	1206	11510	1693	1040	1335	247	17,5	45,4	75,6	17,1
37,5 cm	102300	20410	635	4868	1169	11770	1929	953	1313	317	19,6	44,6	71,9	17,9
40,0 cm	81330	20670	766	4858	1023	12040	1828	1081	1431	298	22,9	45,3	75,3	16,5
42,5 cm	103900	21460	738	4975	1223	11760	1938	980	1423	324	20,9	46,6	76,6	16,9
45,0 cm	99070	19990	748	4473	1572	13770	1674	1327	1320	371	21,3	41,4	66,8	16,1
47,5 cm	90870	19130	756	4319	1636	16430	1670	1694	1186	394	20,5	37,4	62,7	13,1
50,0 cm	86040	19340	736	4263	1431	15050	1683	1473	1139	343	20,9	38,8	59,1	14,3

Tabela 12 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
2,5 cm	9,31	0,78	0,16	0,24	3,92	50,0	14,0	51,3	25,5	6,74	4,68	4,69	19,1	4,22	0,099
5,0 cm	7,96	0,80	0,17	0,20	4,71	49,5	30,0	61,7	29,0	8,09	4,80	4,29	17,7	5,90	0,056
7,5 cm	9,58	0,79	0,20	0,17	5,01	48,1	39,4	73,6	29,5	8,98	5,87	4,25	17,3	5,27	0,063
10,0 cm	6,89	0,77	0,18	0,17	4,93	49,1	41,1	61,0	29,0	10,2	5,26	4,20	19,1	5,31	0,060
12,5 cm	3,17	0,60	0,14	0,11	3,84	37,0	43,8	46,6	21,4	6,82	4,03	3,39	17,5	4,57	0,051
15,0 cm	2,79	0,65	0,16	0,12	4,20	39,7	45,3	46,1	23,6	7,67	4,76	3,63	16,1	4,25	0,029
17,5 cm	6,53	1,03	0,23	0,11	5,03	43,9	44,5	64,2	29,6	7,27	5,24	3,72	22,5	6,64	0,089
20,0 cm	7,25	0,97	0,21	0,099	4,33	38,6	52,4	66,3	24,4	6,13	4,85	3,86	21,6	5,44	0,080
22,5 cm	5,85	1,30	0,29	0,12	5,94	49,9	33,2	80,5	35,5	5,18	7,23	3,75	22,7	6,19	0,13
25,0 cm	6,65	1,25	0,26	0,11	5,77	48,4	29,2	85,2	35,3	4,86	6,43	3,91	21,9	5,30	0,071
27,5 cm	5,61	1,11	0,23	0,088	4,95	40,1	33,9	66,3	29,6	4,65	5,71	3,63	21,2	4,69	0,076
30,0 cm	3,52	0,82	0,23	0,071	4,43	36,8	26,9	52,8	25,2	3,23	7,56	3,08	13,8	4,72	0,036
32,5 cm	2,95	0,82	0,23	0,062	4,83	38,5	23,8	59,9	29,0	3,40	7,40	2,71	13,8	4,01	0,093
35,0 cm	4,75	1,28	0,25	0,10	6,46	48,6	33,2	79,5	38,9	4,72	5,19	3,89	23,4	4,37	0,099
37,5 cm	5,98	1,26	0,25	0,11	6,87	56,9	37,3	89,6	42,7	5,18	5,57	4,19	23,8	6,72	0,062
40,0 cm	5,39	1,17	0,25	0,100	6,17	51,6	28,2	87,9	38,5	4,82	4,93	3,87	22,0	5,42	0,075
42,5 cm	4,54	1,20	0,25	0,107	6,41	53,7	35,4	91,5	40,6	5,07	4,69	3,64	20,0	6,24	0,055
45,0 cm	5,51	1,03	0,30	0,097	5,52	48,3	52,1	85,9	32,9	6,40	6,29	3,78	19,2	5,86	0,041
47,5 cm	4,57	0,93	0,27	0,077	5,26	44,6	50,4	76,2	31,1	6,02	7,90	3,61	24,0	5,99	0,041
50,0 cm	5,62	0,96	0,28	0,078	5,63	45,5	35,8	76,6	34,2	5,32	8,30	3,72	21,8	5,86	0,046

Tabela 13 - Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) para a concentração total dos elementos (digestão com HF e HNO<sub>3</sub>) nas amostras coletadas em perfil no reservatório de Ponte Nova. Ponto 1 – Fevereiro de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
2,5 cm	124800	34420	132	4654	363	4793	395	237	738	197	7,59	44,1	83,7	16,3
5,0 cm	109200	31020	131	4767	388	4832	412	250	831	209	8,09	45,0	84,4	15,9
7,5 cm	133900	31080	119	4832	391	5099	421	269	862	212	6,81	45,8	86,2	15,6
10,0 cm	96930	27030	118	4786	361	5753	381	267	881	181	6,68	42,2	81,6	15,7
12,5 cm	151300	26400	115	4483	369	5829	395	277	903	186	6,17	38,3	76,8	15,1
15,0 cm	148500	26250	115	4260	360	10230	378	1056	1099	179	5,41	37,3	66,9	13,3
17,5 cm	90570	18930	247	4059	1473	20430	1721	2220	1368	395	4,77	36,7	54,9	11,5
20,0 cm	123600	20670	281	5784	1557	15710	1850	1414	2242	373	9,50	45,5	87,5	13,4
22,5 cm	87050	18630	214	5715	1531	17200	2052	1583	1371	277	7,38	43,1	73,9	13,2
25,0 cm	120900	21000	293	5906	1719	16320	2239	1416	2307	373	10,1	45,8	88,9	13,9
27,5 cm	116700	19750	272	5824	1549	14060	2375	1092	2048	329	10,4	46,2	94,0	14,4
30,0 cm	73100	16850	211	6112	1464	13690	1825	1154	1420	265	9,29	43,0	84,9	12,4
32,5 cm	64970	14300	238	6092	1510	19000	1847	1778	1117	362	9,00	40,5	82,3	11,8
35,0 cm	54540	11240	234	5246	804	26810	1237	3092	744	388	7,04	35,2	63,2	10,5
37,5 cm	75230	11170	230	3821	1213	31880	1362	3839	495	515	5,77	25,4	43,9	6,25
40,0 cm	70700	11530	266	3426	1605	29370	1386	3646	473	538	6,68	22,0	43,7	5,07

Tabela 13 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
2,5 cm	14,8	1,08	0,13	0,26	2,50	75,8	9,0	49,2	20,0	5,90	2,72	4,89	11,4	4,90	0,072
5,0 cm	11,9	1,29	0,17	0,29	3,04	85,7	5,9	52,2	23,6	5,95	3,24	4,65	11,1	5,77	0,095
7,5 cm	12,4	1,08	0,16	0,24	2,66	75,0	15,6	52,1	20,4	4,27	3,31	4,49	15,6	5,22	0,041
10,0 cm	8,93	1,01	0,15	0,23	2,62	75,3	10,6	51,1	19,9	7,65	3,05	4,23	14,7	4,71	0,086
12,5 cm	9,19	0,85	0,18	0,18	2,30	80,2	12,8	51,4	19,3	8,28	4,46	5,23	13,9	4,86	0,065
15,0 cm	6,69	1,09	0,24	0,16	3,47	60,8	29,3	58,4	19,6	9,25	5,60	4,89	16,4	5,06	0,055
17,5 cm	3,16	1,31	0,26	0,12	4,59	40,7	53,4	65,0	20,9	7,09	6,80	4,53	17,5	5,32	0,059
20,0 cm	7,82	1,30	0,30	0,13	6,99	59,2	46,8	75,4	34,8	7,76	5,82	4,36	19,8	7,22	0,081
22,5 cm	5,18	1,22	0,28	0,13	6,97	43,7	38,2	69,8	34,1	6,85	6,86	4,00	22,5	4,71	0,12
25,0 cm	8,88	1,37	0,31	0,14	7,72	63,0	39,6	78,2	37,3	5,99	6,01	3,59	23,2	7,58	0,091
27,5 cm	9,66	1,32	0,29	0,13	7,71	67,0	32,7	79,9	37,6	5,61	4,99	3,91	24,4	7,37	0,099
30,0 cm	9,24	1,15	0,28	0,12	7,12	56,9	33,6	70,5	36,8	3,43	5,19	2,39	22,6	4,54	0,104
32,5 cm	6,98	1,09	0,34	0,11	7,23	51,0	45,4	74,9	34,6	3,87	7,39	3,30	23,8	6,46	0,096
35,0 cm	3,25	0,88	0,38	0,077	6,01	45,8	42,2	61,5	28,1	1,91	10,8	2,96	16,7	4,70	0,102
37,5 cm	2,15	0,67	0,35	0,077	4,63	39,9	59,7	45,3	21,3	3,85	11,2	1,22	16,3	5,68	0,055
40,0 cm	2,23	0,66	0,28	0,058	4,10	37,5	79,4	40,7	18,5	3,88	7,66	2,33	16,8	5,09	0,050

Tabela 14 - Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) para a concentração total dos elementos (digestão com HF e HNO<sub>3</sub>) nas amostras coletadas em perfil no reservatório de Ponte Nova. Ponto 1 – Fevereiro de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
2,5 cm	78790	39770	172	5943	353	6541	1559	335	805	163	10,5	59,9	93,4	21,6
5,0 cm	89360	40510	182	5973	356	6683	1550	336	825	173	10,7	57,8	91,1	21,8
7,5 cm	80320	37130	170	6161	412	7063	1557	351	844	188	10,6	59,2	94,2	21,6
10,0 cm	80590	38550	143	6007	266	6877	1619	347	846	155	10,5	59,1	93,3	21,4
12,5 cm	70100	36130	168	6016	353	6761	1665	334	872	176	10,7	60,8	94,2	21,9
15,0 cm	109700	31450	147	4713	373	5887	1247	287	676	175	7,86	47,3	71,6	16,3
17,5 cm	81420	32950	161	5604	268	7894	1696	437	823	172	9,17	56,2	85,4	19,5
20,0 cm	69160	27700	153	5698	294	8238	1682	449	835	160	8,88	57,2	83,5	19,5
22,5 cm	77770	32010	164	5726	323	7959	1826	415	903	164	9,33	58,0	87,0	20,8
25,0 cm	106100	33940	224	5658	308	7673	1756	393	927	184	9,91	64,7	83,1	20,8
27,5 cm	86610	32050	183	5747	287	8066	1733	384	957	167	9,42	57,5	83,4	20,6
30,0 cm	74420	31960	176	5828	329	7652	1715	378	1007	156	8,97	63,3	83,8	20,9
32,5 cm	70850	30540	184	5794	275	7645	1640	370	1039	143	9,13	63,4	82,7	21,0
35,0 cm	87030	30290	198	5588	307	7508	1653	392	1093	174	8,71	58,6	80,7	19,7
37,5 cm	97430	28470	226	5835	634	8866	1834	516	1114	234	9,50	58,7	82,7	20,2
40,0 cm	70100	25090	218	5893	508	8299	1637	476	1197	195	10,1	52,9	88,1	19,8
42,5 cm	87910	21100	270	5935	570	17540	3076	1188	872	356	12,2	63,2	68,2	20,9
45,0 cm	70300	12580	226	4524	841	25930	2320	1999	509	479	5,03	41,7	40,0	11,4
47,5 cm	83790	16110	284	5360	782	22160	2715	1623	719	447	6,78	52,0	51,7	15,6
50,0 cm	90510	19370	307	5842	825	17580	3119	1157	913	393	7,86	62,9	64,9	19,1
52,5 cm	90030	18940	328	5801	703	17820	3176	1154	883	392	8,05	66,8	62,3	19,3
55,0 cm	91020	18200	330	5573	778	19510	3143	1316	837	430	8,35	58,4	59,0	18,8
57,5 cm	76530	17810	307	5576	570	19820	2641	1385	798	380	8,31	61,7	56,9	18,5
60,0 cm	84690	14310	269	4878	878	21700	2812	1603	604	462	6,42	54,2	46,5	14,8
62,0 cm	66550	9230	184	3342	1079	25080	2041	1936	373	513	3,61	36,2	25,0	8,75

Tabela 14 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
2,5 cm	7,85	1,14	0,15	0,40	6,48	43,3	25,5	69,5	35,4	6,47	3,13	5,35	24,4	4,62	0,13
5,0 cm	10,10	1,54	0,20	0,50	8,68	43,6	26,3	74,6	48,5	5,56	4,14	5,31	27,7	6,83	0,12
7,5 cm	11,7	1,31	0,17	0,44	6,92	43,3	29,5	71,5	39,1	6,20	3,06	5,15	24,6	4,78	0,12
10,0 cm	10,5	1,35	0,17	0,46	7,39	40,2	21,8	69,4	40,0	6,35	3,35	5,67	25,3	4,63	0,10
12,5 cm	8,13	1,65	0,21	0,54	9,64	41,4	28,0	71,8	52,5	6,06	4,24	4,81	35,4	6,23	0,14
15,0 cm	5,45	0,94	0,13	0,32	5,64	36,6	26,9	58,9	30,4	7,86	2,67	3,93	16,7	4,42	0,059
17,5 cm	8,58	1,09	0,17	0,39	6,70	41,0	20,4	70,1	34,2	5,22	3,15	3,24	20,9	4,28	0,072
20,0 cm	9,39	1,08	0,18	0,39	6,84	34,5	24,1	68,0	33,8	5,36	3,56	4,10	21,5	3,78	0,052
22,5 cm	10,4	1,13	0,17	0,42	7,24	35,7	25,5	73,2	35,7	6,67	3,07	4,06	22,3	4,05	0,076
25,0 cm	9,24	1,11	0,17	0,44	7,18	46,6	15,7	78,1	35,8	7,66	2,39	5,16	18,8	4,65	0,072
27,5 cm	9,77	1,08	0,18	0,46	7,68	43,2	15,9	75,4	37,3	4,69	3,08	4,62	18,1	4,37	0,079
30,0 cm	8,23	1,10	0,16	0,43	7,44	44,5	21,9	74,8	35,7	6,23	2,82	4,28	20,6	3,92	0,071
32,5 cm	10,6	1,20	0,18	0,47	7,92	44,6	16,2	72,6	38,1	4,75	3,00	4,68	20,0	4,38	0,087
35,0 cm	8,31	1,14	0,17	0,45	6,61	38,9	14,5	74,1	32,5	4,29	2,71	4,86	17,7	4,30	0,063
37,5 cm	7,64	1,18	0,20	0,46	7,30	55,3	35,7	80,2	37,4	7,28	3,71	5,24	24,0	5,18	0,083
40,0 cm	11,9	1,19	0,21	0,47	6,87	49,6	29,1	76,5	32,8	4,87	4,06	4,54	21,1	3,80	0,11
42,5 cm	4,96	0,78	0,30	0,13	8,06	47,5	50,3	94,2	41,4	7,05	7,79	3,55	26,5	4,96	0,073
45,0 cm	2,01	0,48	0,29	0,069	5,40	37,7	57,1	51,7	26,6	4,13	9,49	2,69	22,3	4,64	0,042
47,5 cm	3,38	0,66	0,33	0,079	6,54	43,6	57,1	71,9	33,3	4,99	10,2	3,93	24,5	5,14	0,047
50,0 cm	6,79	0,79	0,24	0,089	7,90	49,0	59,4	91,6	41,7	7,33	6,17	4,23	24,8	4,64	0,076
52,5 cm	6,39	0,75	0,22	0,077	7,19	49,3	50,6	85,2	37,8	6,47	5,53	2,93	22,2	4,53	0,063
55,0 cm	6,71	0,75	0,27	0,076	7,68	50,5	52,3	80,6	39,8	6,98	7,41	3,66	29,1	5,53	0,069
57,5 cm	5,12	0,81	0,28	0,083	8,06	47,9	44,3	83,9	42,0	4,84	7,89	2,88	23,5	4,92	0,049
60,0 cm	2,42	0,61	0,26	0,066	7,16	42,4	58,4	64,1	36,8	5,36	7,66	2,82	22,5	5,51	0,073
62,0 cm	1,59	0,36	0,19	0,044	4,68	35,9	79,4	42,6	22,1	4,26	6,20	2,15	18,5	3,92	0,035

## ANEXO E – RESULTADOS OBTIDOS NAS FRAÇÕES LIGANTES ATRAVÉS DA EXTRAÇÃO SEQUENCIAL NOS PERFIS SEDIMENTARES COLETADOS.

Tabela 1 – Resultados (em mg kg<sup>-1</sup>) obtidos na extração sequencial dos sedimentos de Jurumirim associados aos carbonatos e trocáveis.

Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	
Ponto 1 - Janeiro 2013	2,5 cm	0,20	0,48	0,044	0,44	935	350	0,73	1,63	2,42	4,59
	5,0 cm	0,20	0,55	0,045	0,52	817	429	0,58	1,67	2,90	4,39
	7,5 cm	0,22	0,56	0,048	0,47	977	384	0,69	1,82	2,94	4,78
	10,0 cm	0,20	0,53	0,050	0,56	1152	307	0,91	1,99	2,96	5,14
	12,5 cm	0,20	0,58	0,041	0,67	1010	403	0,97	1,63	3,04	5,75
	15,0 cm	0,18	0,59	0,043	0,67	879	431	0,85	1,66	3,10	6,17
	17,5 cm	0,18	0,60	0,045	0,59	853	461	1,01	1,69	3,30	5,74
	20,0 cm	0,18	0,60	0,040	0,62	851	493	1,13	1,40	3,00	5,91
	22,5 cm	0,19	0,66	0,039	0,74	841	583	1,36	1,74	3,34	7,03
Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	
Ponto 1 - Julho 2013	2,5 cm	0,17	0,20	0,008	0,28	512	207	0,34	2,08	2,02	3,98
	5,0 cm	0,19	0,27	0,007	0,43	555	300	0,66	2,16	2,37	4,71
	7,5 cm	0,20	0,31	0,006	0,52	509	371	0,68	2,24	2,45	4,68
	10,0 cm	0,19	0,34	0,006	0,50	708	430	1,27	2,56	2,69	5,03
	12,5 cm	0,20	0,37	0,005	0,62	515	413	1,13	2,25	2,67	6,06
	15,0 cm	0,26	0,41	0,005	0,62	586	385	1,29	2,08	2,64	6,61
	17,5 cm	0,17	0,34	0,003	0,50	562	320	1,25	2,55	2,60	6,14
	20,0 cm	0,24	0,42	0,003	0,71	695	441	1,17	2,10	2,58	6,82
	22,5 cm	0,16	0,40	0,003	0,68	923	484	1,05	2,13	2,55	6,86
Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	
Ponto 1 - Janeiro 2014	2,5 cm	0,25	0,26	0,008	0,07	960	22,7	0,86	2,00	1,53	4,23
	5,0 cm	0,19	0,35	0,007	0,10	693	59,0	0,43	1,41	0,92	3,16
	7,5 cm	0,21	0,46	0,009	0,16	1152	105	1,07	1,51	1,26	4,85
	10,0 cm	0,19	0,33	0,010	0,19	805	135	1,07	1,27	1,49	3,28
	12,5 cm	0,11	0,26	0,011	0,15	575	145	0,78	1,46	1,69	3,26
	15,0 cm	0,17	0,32	0,008	0,14	684	101	0,33	1,77	1,56	3,37
	17,5 cm	0,29	0,52	0,007	0,35	763	207	0,63	1,88	1,93	4,24
	20,0 cm	0,26	0,49	0,007	0,32	917	167	0,98	1,64	1,81	4,09
	22,5 cm	0,23	0,85	0,006	0,54	687	416	0,70	2,19	2,51	4,98

Tabela 1 – Continuação.

Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U	
Ponto 1 - Janeiro 2013	2,5 cm	0,18	10,6	0,001	0,032	<0,001	0,010	126	0,10	0,017	0,15
	5,0 cm	0,22	10,6	0,001	0,035	0,001	0,014	131	0,09	0,021	0,18
	7,5 cm	0,21	11,0	0,001	0,033	<0,001	0,016	143	0,10	0,022	0,18
	10,0 cm	0,18	10,6	0,001	0,034	<0,001	0,017	140	0,12	0,019	0,17
	12,5 cm	0,22	10,0	0,001	0,037	<0,001	0,017	141	0,14	0,025	0,19
	15,0 cm	0,24	9,50	0,001	0,040	<0,001	0,016	140	0,17	0,026	0,18
	17,5 cm	0,26	9,11	0,001	0,035	<0,001	0,015	132	0,19	0,026	0,18
	20,0 cm	0,26	8,94	0,001	0,037	<0,001	0,015	130	0,15	0,028	0,17
	22,5 cm	0,32	8,50	0,001	0,035	<0,001	0,013	135	0,24	0,034	0,19
Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U	
Ponto 1 - Julho 2013	2,5 cm	0,062	6,58	0,001	0,044	0,001	0,015	94,7	0,12	0,011	0,14
	5,0 cm	0,088	7,39	0,001	0,050	0,001	0,016	109	0,16	0,018	0,17
	7,5 cm	0,099	7,37	0,001	0,051	0,001	0,017	109	0,19	0,021	0,18
	10,0 cm	0,11	6,98	0,001	0,052	0,001	0,014	101	0,23	0,022	0,19
	12,5 cm	0,13	6,47	0,001	0,057	0,001	0,014	99,9	0,30	0,025	0,19
	15,0 cm	0,13	6,41	0,001	0,061	0,001	0,013	98,8	0,33	0,024	0,19
	17,5 cm	0,11	6,12	0,001	0,060	0,001	0,013	88,5	0,25	0,019	0,16
	20,0 cm	0,14	6,17	0,001	0,063	0,001	0,012	93,1	0,30	0,026	0,18
	22,5 cm	0,13	5,99	0,002	0,065	0,001	0,012	87,6	0,23	0,025	0,16
Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U	
Ponto 1 - Janeiro 2014	2,5 cm	0,029	10,7	0,002	0,053	0,002	0,007	102	0,02	0,002	0,047
	5,0 cm	0,028	9,48	0,001	0,042	0,002	0,010	84,9	0,02	0,003	0,068
	7,5 cm	0,039	9,04	0,002	0,047	0,002	0,011	102	0,06	0,006	0,098
	10,0 cm	0,053	6,45	0,001	0,041	0,001	0,009	76,7	0,05	0,009	0,11
	12,5 cm	0,037	4,35	0,001	0,036	0,001	0,009	58,7	0,10	0,008	0,099
	15,0 cm	0,032	6,02	0,001	0,038	0,001	0,015	81,5	0,07	0,006	0,102
	17,5 cm	0,062	7,31	0,001	0,048	0,002	0,015	101	0,08	0,015	0,16
	20,0 cm	0,061	6,72	0,002	0,047	0,001	0,016	98,5	0,11	0,014	0,15
	22,5 cm	0,098	6,98	0,001	0,055	0,001	0,016	109	0,14	0,023	0,18

Tabela 1 – Continuação.

	Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Ponto 2 - Janeiro 2013	2,5 cm	0,22	0,61	0,046	0,44	669	414	1,72	2,48	4,62	5,69
	5,0 cm	0,22	0,70	0,087	0,45	832	501	2,83	2,61	5,27	5,96
	7,5 cm	0,17	0,68	0,052	0,45	699	373	1,65	1,86	4,51	4,75
	10,0 cm	0,18	0,76	0,055	0,54	865	501	2,59	2,39	5,00	5,61
	12,5 cm	0,21	0,77	0,047	0,48	557	571	1,60	2,26	4,90	6,41
	15,0 cm	0,18	0,76	0,039	0,59	683	501	2,09	2,13	4,94	6,96
	17,5 cm	0,15	0,80	0,045	0,37	556	507	1,53	1,79	4,83	5,82
	20,0 cm	0,18	0,75	0,044	0,53	643	591	2,34	2,31	5,09	7,16
	22,5 cm	0,15	0,79	0,059	0,32	562	566	3,51	2,11	5,18	6,52
	Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U
Ponto 2 - Janeiro 2013	2,5 cm	0,27	7,46	0,001	0,038	0,001	0,014	62,1	0,21	0,019	0,18
	5,0 cm	0,32	6,99	0,001	0,040	0,001	0,016	24,3	0,24	0,025	0,19
	7,5 cm	0,24	7,54	0,001	0,036	0,001	0,013	108	0,23	0,019	0,16
	10,0 cm	0,33	6,46	0,001	0,037	0,001	0,015	29,2	0,25	0,024	0,19
	12,5 cm	0,33	7,02	0,001	0,042	0,001	0,015	116	0,34	0,028	0,20
	15,0 cm	0,30	6,57	0,001	0,048	0,001	0,014	110	0,34	0,025	0,17
	17,5 cm	0,30	5,92	0,001	0,042	0,001	0,014	93,3	0,30	0,023	0,15
	20,0 cm	0,33	5,77	0,001	0,044	0,001	0,014	100	0,28	0,026	0,16
	22,5 cm	0,34	6,09	0,001	0,041	0,001	0,014	96,5	0,28	0,021	0,14
	Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Ponto 3 - Julho 2013	2,5 cm	0,28	0,43	0,006	0,37	565	296	0,53	2,19	2,01	4,71
	5,0 cm	0,24	0,40	0,006	0,36	944	323	1,41	2,37	2,31	7,55
	7,5 cm	0,25	0,39	0,005	0,58	907	377	1,40	2,66	2,21	5,70
	10,0 cm	0,23	0,42	0,006	0,56	750	418	0,94	2,21	2,41	5,01
	12,5 cm	0,21	0,40	0,006	0,39	914	420	1,17	2,37	2,25	4,72
	15,0 cm	0,22	0,44	0,006	0,64	925	459	1,74	2,53	2,49	5,03
	17,5 cm	0,20	0,44	0,005	0,72	924	480	2,15	3,06	2,58	5,93
	20,0 cm	0,20	0,45	0,005	0,80	872	433	2,39	2,74	2,68	6,24
	22,5 cm	0,19	0,44	0,005	0,59	915	521	2,11	2,20	2,56	6,33
	Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U
Ponto 3 - Julho 2013	2,5 cm	0,079	9,80	0,001	0,048	0,001	0,006	113	0,13	0,014	0,15
	5,0 cm	0,100	7,96	0,002	0,058	0,001	0,005	122	0,32	0,017	0,17
	7,5 cm	0,11	7,26	0,002	0,048	0,001	0,009	111	0,29	0,020	0,18
	10,0 cm	0,11	7,13	0,001	0,050	0,001	0,008	111	0,25	0,021	0,19
	12,5 cm	0,11	6,70	0,002	0,049	0,001	0,010	103	0,24	0,021	0,18
	15,0 cm	0,13	6,27	0,002	0,051	0,001	0,008	105	0,35	0,024	0,20
	17,5 cm	0,14	5,91	0,002	0,057	0,001	0,012	103	0,36	0,025	0,19
	20,0 cm	0,14	5,43	0,002	0,061	0,001	0,012	97,8	0,45	0,024	0,19
	22,5 cm	0,15	5,36	0,002	0,055	0,001	0,011	93,6	0,45	0,026	0,19

Tabela 2 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) na extração sequencial dos sedimentos de Jurumirim associados aos óxi-hidróxidos de Fe e Mn.

	Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Ponto 1 - Janeiro 2013	2,5 cm	0,17	0,82	33,7	3,13	1040	27643	2,88	0,85	4,50	10,7
	5,0 cm	0,17	0,93	36,6	3,80	1265	30710	3,46	1,02	4,63	11,5
	7,5 cm	0,18	1,03	38,5	4,21	1005	34264	3,60	1,14	5,07	12,7
	10,0 cm	0,16	0,98	35,2	4,02	941	32723	3,60	1,14	4,42	11,9
	12,5 cm	0,17	1,08	36,4	4,68	1041	34577	3,80	1,12	4,37	12,6
	15,0 cm	0,15	1,07	36,4	4,54	1103	33259	3,31	1,08	4,03	12,1
	17,5 cm	0,15	1,10	32,7	4,32	1117	33563	3,47	1,09	3,83	11,6
	20,0 cm	0,16	1,21	32,9	4,88	960	37036	3,46	1,09	3,60	12,8
	22,5 cm	0,16	0,63	34,3	4,88	1071	35527	1,61	0,88	2,70	11,8
Ponto 1 - Julho 2013	2,5 cm	0,16	1,10	42,7	4,94	866	32165	3,21	1,41	3,14	7,10
	5,0 cm	0,15	1,13	46,3	4,94	857	32770	2,93	1,53	3,11	7,17
	7,5 cm	0,16	1,22	48,5	4,43	886	34805	3,11	1,45	2,92	7,14
	10,0 cm	0,14	1,31	49,9	4,94	654	38085	3,41	1,65	3,45	6,76
	12,5 cm	0,19	1,29	48,9	5,16	522	35620	2,91	1,46	2,21	6,90
	15,0 cm	0,19	1,29	49,9	5,28	390	35880	2,49	1,50	1,82	6,64
	17,5 cm	0,14	1,25	46,1	4,53	473	36030	2,95	1,17	2,23	6,15
	20,0 cm	0,16	1,26	48,7	4,90	558	37465	2,68	1,22	1,70	6,02
	22,5 cm	0,11	1,09	45,2	4,39	1466	39830	2,78	1,08	1,58	5,53
Ponto 1 - Janeiro 2014	2,5 cm	0,23	0,67	24,9	3,07	1239	21395	3,02	2,12	7,51	8,98
	5,0 cm	0,21	0,92	32,1	3,24	1304	24715	3,41	1,64	2,66	8,62
	7,5 cm	0,23	1,19	39,3	4,33	864	29660	2,63	1,98	2,81	6,69
	10,0 cm	0,17	0,88	31,4	3,93	620	22590	1,68	1,44	2,86	5,96
	12,5 cm	0,11	0,70	22,9	3,06	430	16685	1,95	1,00	2,06	4,87
	15,0 cm	0,18	1,17	40,4	4,40	952	30005	3,13	1,62	3,55	6,79
	17,5 cm	0,24	1,20	45,4	4,39	1140	33085	3,31	1,49	2,57	7,00
	20,0 cm	0,25	1,26	46,7	4,94	846	33675	2,74	1,61	2,95	7,93
	22,5 cm	0,23	1,52	50,7	6,42	1212	42320	3,61	2,03	2,98	8,29

Tabela 2 – Continuação.

Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U	
Ponto 1 - Janeiro 2013	2,5 cm	5,57	3,01	0,001	0,017	0,009	0,22	84,7	8,16	0,044	0,31
	5,0 cm	5,73	3,07	0,003	0,011	0,009	0,23	94,9	10,02	0,050	0,31
	7,5 cm	5,82	3,12	0,004	0,021	0,009	0,24	105	9,53	0,060	0,33
	10,0 cm	5,82	2,87	0,003	0,020	0,008	0,23	95,7	8,70	0,057	0,34
	12,5 cm	5,87	2,74	0,004	0,018	0,009	0,22	96,8	9,12	0,071	0,32
	15,0 cm	5,66	2,20	0,003	0,011	0,010	0,20	83,6	10,15	0,073	0,32
	17,5 cm	5,79	2,08	0,003	0,014	0,011	0,20	79,7	8,76	0,082	0,32
	20,0 cm	5,84	2,22	0,004	0,016	0,013	0,20	89,2	9,64	0,093	0,31
	22,5 cm	5,65	1,67	0,004	0,015	0,010	0,21	69,0	10,03	0,129	0,21
Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U	
Ponto 1 - Julho 2013	2,5 cm	2,55	0,82	0,004	0,017	0,008	0,12	49,7	9,57	0,056	0,34
	5,0 cm	2,52	0,94	0,004	0,019	0,007	0,13	56,9	10,3	0,066	0,41
	7,5 cm	2,73	0,77	0,005	0,019	0,009	0,12	52,8	10,7	0,065	0,40
	10,0 cm	2,71	0,70	0,005	0,018	0,009	0,11	43,7	10,7	0,071	0,39
	12,5 cm	3,06	0,58	0,005	0,018	0,010	0,11	42,0	11,5	0,074	0,32
	15,0 cm	3,28	0,59	0,005	0,017	0,012	0,10	42,4	11,9	0,081	0,30
	17,5 cm	2,97	0,50	0,004	0,018	0,012	0,10	38,5	10,6	0,075	0,28
	20,0 cm	3,31	0,52	0,005	0,017	0,014	0,09	40,5	11,7	0,090	0,28
	22,5 cm	2,75	0,59	0,007	0,020	0,014	0,09	41,1	10,3	0,063	0,24
Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U	
Ponto 1 - Janeiro 2014	2,5 cm	6,44	3,57	0,001	0,038	0,006	0,10	103	8,23	0,028	0,35
	5,0 cm	7,21	2,87	0,002	0,030	0,009	0,09	88,4	8,60	0,047	0,35
	7,5 cm	5,00	1,71	0,002	0,019	0,009	0,13	62,7	9,58	0,074	0,51
	10,0 cm	6,57	1,09	0,003	0,014	0,006	0,09	45,7	8,35	0,065	0,41
	12,5 cm	5,62	0,50	0,001	0,010	0,006	0,08	25,0	5,58	0,050	0,33
	15,0 cm	8,65	1,44	0,003	0,019	0,009	0,10	61,0	8,98	0,070	0,45
	17,5 cm	9,55	1,23	0,003	0,021	0,009	0,12	69,1	10,4	0,070	0,39
	20,0 cm	9,90	1,24	0,004	0,019	0,010	0,11	66,3	10,9	0,079	0,42
	22,5 cm	13,0	0,71	0,006	0,019	0,009	0,08	53,9	11,6	0,100	0,52

Tabela 2 – Continuação.

Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	
Ponto 2 - Janeiro 2013	2,5 cm	0,12	0,72	42,8	3,56	536	35496	3,23	1,59	5,20	11,7
	5,0 cm	0,12	0,76	46,5	4,00	390	37093	2,93	1,72	6,02	12,0
	7,5 cm	0,10	0,72	43,6	3,53	480	33362	3,08	1,40	6,53	10,8
	10,0 cm	0,10	0,82	43,2	3,76	301	35124	3,05	1,44	5,67	10,6
	12,5 cm	0,12	0,83	45,2	4,72	527	38226	3,48	1,22	3,93	9,56
	15,0 cm	0,11	0,87	44,9	4,94	444	35494	3,37	1,42	4,84	11,2
	17,5 cm	0,09	0,88	41,2	4,18	456	34695	3,37	1,29	5,08	10,4
	20,0 cm	0,10	0,84	41,8	4,79	360	36302	2,98	1,31	3,80	9,34
	22,5 cm	0,09	0,85	48,5	4,36	236	34989	3,26	1,48	4,66	11,8
Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U	
Ponto 2 - Janeiro 2013	2,5 cm	5,75	1,65	0,002	0,011	0,006	0,18	116	12,9	0,055	0,29
	5,0 cm	5,67	1,96	0,007	0,011	0,006	0,18	144	14,0	0,058	0,28
	7,5 cm	4,94	1,42	0,001	0,011	0,004	0,17	59,0	11,7	0,047	0,31
	10,0 cm	5,36	1,65	0,007	0,010	0,005	0,17	120	11,5	0,053	0,30
	12,5 cm	5,34	1,31	0,001	0,012	0,007	0,17	57,5	14,3	0,065	0,25
	15,0 cm	5,36	1,07	0,001	0,012	0,009	0,17	44,4	14,1	0,073	0,28
	17,5 cm	5,47	1,09	0,001	0,012	0,008	0,17	39,5	11,6	0,069	0,28
	20,0 cm	5,44	0,89	0,004	0,011	0,007	0,16	40,2	15,2	0,080	0,26
	22,5 cm	5,37	1,15	0,002	0,014	0,007	0,16	45,7	16,1	0,064	0,27
Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	
Ponto 3 - Julho 2013	2,5 cm	0,22	1,00	41,8	4,57	1139	31455	3,54	1,61	2,98	8,39
	5,0 cm	0,19	1,14	47,1	5,49	513	34375	2,61	1,61	2,85	9,34
	7,5 cm	0,20	1,01	44,8	4,73	513	32605	2,59	1,45	2,67	7,23
	10,0 cm	0,19	1,08	47,4	5,02	750	33635	3,21	1,35	2,51	7,39
	12,5 cm	0,20	1,17	47,0	5,52	705	36385	3,23	1,60	2,65	7,36
	15,0 cm	0,18	1,18	48,4	5,34	427	36350	2,70	1,51	2,64	6,75
	17,5 cm	0,16	1,25	46,4	5,09	356	37405	2,63	1,42	1,86	6,86
	20,0 cm	0,16	1,18	48,5	5,58	252	34380	2,22	1,31	2,38	6,70
	22,5 cm	0,14	1,19	46,6	5,28	252	34520	1,95	1,21	2,06	6,13
Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U	
Ponto 3 - Julho 2013	2,5 cm	2,72	1,50	0,006	0,020	0,008	0,11	67,2	11,4	0,055	0,33
	5,0 cm	3,30	1,15	0,004	0,014	0,009	0,19	61,6	12,4	0,082	0,42
	7,5 cm	2,99	0,88	0,003	0,015	0,009	0,11	56,2	11,1	0,067	0,31
	10,0 cm	2,93	0,80	0,004	0,017	0,009	0,11	55,9	11,8	0,072	0,30
	12,5 cm	3,02	0,74	0,004	0,017	0,008	0,11	53,5	11,7	0,077	0,30
	15,0 cm	3,17	0,59	0,005	0,015	0,007	0,11	47,3	12,3	0,078	0,32
	17,5 cm	3,19	0,51	0,009	0,017	0,009	0,10	44,3	11,3	0,082	0,27
	20,0 cm	3,44	0,46	0,008	0,017	0,008	0,10	40,4	12,1	0,082	0,29
	22,5 cm	3,09	0,46	0,004	0,016	0,010	0,10	40,5	11,9	0,086	0,28

Tabela 3 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) na extração sequencial dos sedimentos de Jurumirim associados aos sulfetos e matéria orgânica.

	Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Ponto 1 - Janeiro 2013	2,5 cm	2,29	3,12	1,70	5,60	68,4	1798	0,62	0,95	5,98	7,06
	5,0 cm	2,10	3,31	3,64	6,27	90,1	1704	0,73	1,07	7,66	6,84
	7,5 cm	1,82	3,31	1,61	5,85	72,4	2355	0,62	0,99	6,36	6,79
	10,0 cm	2,22	2,90	1,37	4,48	97,7	1485	0,69	1,06	7,52	6,48
	12,5 cm	2,44	3,31	1,33	5,82	85,0	1926	0,72	1,09	6,94	7,20
	15,0 cm	1,77	3,10	1,49	4,90	71,4	2018	0,56	0,85	5,71	6,02
	17,5 cm	2,12	2,85	1,39	4,16	69,9	1659	0,59	1,02	6,49	6,38
	20,0 cm	2,24	2,98	1,30	4,49	79,9	1580	0,61	0,97	7,00	6,37
	22,5 cm	1,39	3,31	1,51	5,10	50,8	2404	0,53	0,84	6,76	5,33
Ponto 1 - Julho 2013	2,5 cm	1,76	4,72	1,70	4,96	39,0	2025	0,59	1,40	6,15	1,34
	5,0 cm	1,93	5,37	1,64	5,51	45,8	2647	0,73	1,66	8,05	1,63
	7,5 cm	1,79	5,59	1,76	5,47	47,0	2639	0,68	1,57	7,49	2,33
	10,0 cm	1,92	5,87	1,83	5,43	45,2	2923	0,72	1,47	8,02	1,24
	12,5 cm	2,05	5,20	2,11	5,90	31,6	2057	0,60	1,36	7,44	1,23
	15,0 cm	1,91	5,69	1,83	5,97	28,4	2327	0,64	1,56	9,10	1,67
	17,5 cm	1,84	5,71	1,75	5,68	29,9	2937	0,62	1,42	9,46	1,42
	20,0 cm	1,76	5,29	1,90	6,16	32,2	2315	0,55	1,61	8,55	1,13
	22,5 cm	1,56	5,66	2,03	5,63	82,3	3216	0,54	1,41	8,87	1,96
Ponto 1 - Janeiro 2014	2,5 cm	1,89	5,52	1,85	5,49	91,9	2110	0,65	1,35	6,73	3,03
	5,0 cm	1,95	4,82	1,84	5,44	53,5	1877	0,68	1,34	6,34	3,37
	7,5 cm	2,02	4,50	1,69	4,79	41,3	1598	0,61	1,32	5,47	2,43
	10,0 cm	1,68	3,37	1,13	4,00	29,8	1349	0,52	1,19	7,37	1,70
	12,5 cm	1,05	2,51	0,99	3,24	19,0	1278	0,37	0,76	3,86	1,43
	15,0 cm	1,65	4,82	1,45	4,72	39,6	2047	0,54	1,57	6,25	3,34
	17,5 cm	2,25	6,07	1,28	5,98	57,2	2679	0,69	1,94	8,72	3,50
	20,0 cm	2,00	5,92	1,29	5,82	49,4	2482	0,64	1,75	8,43	3,06
	22,5 cm	1,83	5,22	1,58	4,72	55,7	2761	0,51	1,41	7,30	2,62

Tabela 3 – Continuação.

Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U	
Ponto 1 - Janeiro 2013	2,5 cm	0,79	0,27	<0,001	0,003	0,013	0,25	11,2	1,36	0,83	0,52
	5,0 cm	0,82	0,31	<0,001	0,003	<0,001	0,27	12,7	1,18	0,69	0,54
	7,5 cm	0,90	0,24	<0,001	0,003	0,001	0,28	13,5	1,28	0,64	0,73
	10,0 cm	0,60	0,24	<0,001	0,003	<0,001	0,25	12,6	1,41	0,76	0,50
	12,5 cm	0,80	0,32	<0,001	0,003	<0,001	0,30	13,9	1,51	0,77	0,66
	15,0 cm	0,74	0,23	<0,001	0,003	<0,001	0,26	13,1	1,25	0,83	0,64
	17,5 cm	0,70	0,29	<0,001	0,003	<0,001	0,25	12,9	2,08	0,71	0,47
	20,0 cm	0,70	0,30	<0,001	0,003	<0,001	0,29	13,1	2,05	0,62	0,53
	22,5 cm	0,94	0,20	<0,001	0,002	0,001	0,30	12,1	1,18	0,83	0,72
Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U	
Ponto 1 - Julho 2013	2,5 cm	1,04	0,21	0,001	0,0026	0,001	0,20	8,21	1,35	1,67	0,78
	5,0 cm	1,34	0,24	0,001	0,0033	<0,001	0,26	9,92	1,77	2,00	0,94
	7,5 cm	1,33	0,24	0,001	0,0025	<0,001	0,25	9,85	2,02	2,23	0,91
	10,0 cm	1,38	0,22	0,001	0,0032	<0,001	0,25	9,48	1,90	2,09	0,88
	12,5 cm	1,10	0,25	0,001	0,0025	<0,001	0,27	10,8	2,01	1,78	0,92
	15,0 cm	1,23	0,25	0,001	0,0030	<0,001	0,29	10,6	2,33	1,86	1,02
	17,5 cm	1,52	0,21	0,001	0,0030	0,001	0,27	9,23	2,51	2,01	1,00
	20,0 cm	1,25	0,22	0,001	0,0025	0,001	0,28	10,8	2,44	1,79	0,95
	22,5 cm	1,65	0,22	0,001	0,0033	0,001	0,26	9,48	2,99	2,01	0,99
Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U	
Ponto 1 - Janeiro 2014	2,5 cm	0,98	0,35	0,001	0,005	0,001	0,17	9,39	2,39	1,59	0,83
	5,0 cm	0,88	0,30	0,001	0,005	0,001	0,19	9,31	1,87	1,40	0,81
	7,5 cm	0,83	0,28	0,001	0,004	0,001	0,21	8,54	1,38	1,66	0,54
	10,0 cm	0,72	0,23	0,001	0,003	0,001	0,17	6,07	0,97	1,37	0,43
	12,5 cm	0,60	0,17	0,001	0,003	0,001	0,11	4,78	0,80	1,05	0,30
	15,0 cm	1,10	0,24	0,001	0,021	0,001	0,19	7,38	1,49	1,50	0,70
	17,5 cm	1,24	0,26	0,001	0,004	0,001	0,27	9,79	1,87	1,84	0,97
	20,0 cm	1,16	0,26	0,001	0,004	0,001	0,26	9,64	1,92	1,99	0,93
	22,5 cm	1,05	0,23	0,001	0,005	0,001	0,23	9,61	1,72	1,88	0,67

Tabela 3 – Continuação.

	Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Ponto 2 - Janeiro 2013	2,5 cm	2,27	3,20	1,70	4,21	32,5	1257	0,84	1,97	8,62	6,24
	5,0 cm	2,09	3,69	1,53	5,04	32,8	1587	0,99	1,94	10,1	6,57
	7,5 cm	1,99	3,40	1,20	4,16	38,0	1331	0,82	1,75	8,08	5,76
	10,0 cm	1,86	3,64	1,37	4,46	32,6	1622	1,04	1,68	8,68	5,90
	12,5 cm	1,84	3,18	1,39	4,44	30,5	1313	0,75	1,72	9,20	5,84
	15,0 cm	1,74	3,22	1,59	4,51	32,8	1170	0,85	1,79	8,45	5,61
	17,5 cm	1,71	3,32	1,41	3,98	29,5	1140	0,81	1,65	8,70	5,61
	20,0 cm	1,89	3,20	2,18	4,92	27,7	1728	0,82	1,95	11,2	6,06
	22,5 cm	1,70	2,70	4,18	5,41	20,4	3048	1,19	1,80	10,2	7,05
	Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U
Ponto 2 - Janeiro 2013	2,5 cm	0,70	0,25	0,001	0,002	0,001	0,21	10,5	2,14	0,48	0,59
	5,0 cm	0,69	0,31	0,001	0,003	0,001	0,22	15,2	2,57	0,42	0,56
	7,5 cm	0,56	0,21	0,001	0,003	0,001	0,24	8,59	1,83	0,36	0,47
	10,0 cm	0,64	0,23	0,001	0,002	0,001	0,21	11,6	2,40	0,44	0,51
	12,5 cm	0,51	0,20	0,001	0,002	0,001	0,25	9,98	2,50	0,38	0,53
	15,0 cm	0,49	0,19	0,001	0,002	0,001	0,23	9,55	1,88	0,28	0,48
	17,5 cm	0,47	0,20	0,001	0,002	0,001	0,24	8,84	2,18	0,30	0,45
	20,0 cm	0,67	0,26	0,001	0,002	0,001	0,27	9,46	2,98	0,36	0,59
	22,5 cm	1,02	0,30	0,001	0,002	0,001	0,21	9,87	3,19	0,19	0,48
	Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Ponto 3 - Julho 2013	2,5 cm	2,56	5,29	1,39	6,86	57,3	2237	0,72	1,47	7,12	2,22
	5,0 cm	2,12	4,99	1,89	6,82	38,4	2104	0,67	1,41	7,24	2,58
	7,5 cm	2,50	5,42	2,12	6,73	43,6	2532	0,79	1,66	7,85	2,41
	10,0 cm	2,09	5,67	2,12	6,91	47,7	2569	0,76	1,64	7,96	2,07
	12,5 cm	2,14	5,43	2,16	6,75	48,4	2494	0,76	1,48	8,25	2,17
	15,0 cm	2,14	5,28	2,19	6,63	41,0	2537	0,80	1,46	8,17	1,94
	17,5 cm	2,14	4,90	2,11	6,49	36,5	2151	0,77	1,48	8,25	2,32
	20,0 cm	2,33	5,19	2,32	6,98	31,4	2235	0,81	1,61	8,55	2,20
	22,5 cm	1,89	5,36	1,79	6,15	35,5	2588	0,77	1,55	7,78	1,94
	Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U
Ponto 3 - Julho 2013	2,5 cm	1,13	0,34	0,002	0,004	0,001	0,28	12,3	2,03	1,42	0,88
	5,0 cm	1,16	0,30	0,001	0,003	0,001	0,26	12,6	1,60	1,58	0,84
	7,5 cm	1,31	0,29	0,001	0,003	0,001	0,29	12,3	1,89	1,67	0,95
	10,0 cm	1,32	0,27	0,001	0,004	0,001	0,27	11,7	2,04	1,82	0,97
	12,5 cm	1,31	0,25	0,001	0,002	0,001	0,29	10,5	1,94	1,82	0,92
	15,0 cm	1,36	0,24	0,001	0,002	0,001	0,29	10,8	1,96	1,79	0,91
	17,5 cm	1,20	0,25	0,001	0,003	0,001	0,28	11,0	2,12	1,71	0,84
	20,0 cm	1,22	0,27	0,001	0,003	0,001	0,30	11,7	2,14	1,62	0,92
	22,5 cm	1,35	0,25	0,001	0,004	0,001	0,28	11,3	2,25	1,97	0,92

Tabela 4 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) através da extração sequencial dos sedimentos de Jurumirim na fase residual.

	Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Ponto 1 - Janeiro 2013	2,5 cm	24,1	10,6	110	56,8	298	49339	6,37	22,5	27,1	45,5
	5,0 cm	28,3	12,0	126	65,8	510	57437	6,71	24,8	31,4	50,8
	7,5 cm	28,7	10,8	119	65,5	763	57358	6,76	25,8	34,0	49,7
	10,0 cm	24,3	10,4	112	63,8	640	57525	5,07	21,0	25,4	44,0
	12,5 cm	23,7	9,51	85,9	51,8	<2,00	30584	5,24	18,9	18,3	35,4
	15,0 cm	25,1	7,93	70,6	54,7	<2,00	18372	6,25	17,3	14,4	38,7
	17,5 cm	30,5	11,9	133	70,7	236	58627	7,56	26,2	32,5	51,5
	20,0 cm	18,6	6,21	70,5	42,0	169	20452	3,50	15,6	14,3	25,9
	22,5 cm	22,1	8,72	96,0	47,2	<2,00	47267	7,25	17,4	21,4	34,4
Ponto 1 - Julho 2013	2,5 cm	21,9	3,03	130	46,2	179	52294	6,07	20,5	33,6	56,0
	5,0 cm	27,5	3,74	154	53,5	210	61373	7,25	23,8	37,9	65,2
	7,5 cm	27,8	3,86	151	53,6	112	58865	6,86	23,8	38,2	63,3
	10,0 cm	29,1	6,56	151	50,7	<2,00	59063	7,61	25,2	41,8	62,6
	12,5 cm	31,6	4,75	150	55,0	159	57481	7,11	24,9	39,1	67,5
	15,0 cm	34,6	3,05	157	56,3	129	58358	7,99	27,1	42,6	67,7
	17,5 cm	32,9	4,91	148	51,7	138	56903	8,01	26,9	41,5	64,5
	20,0 cm	35,1	2,53	143	54,8	63	52229	8,05	27,4	42,1	67,4
	22,5 cm	34,3	6,16	144	51,1	117	54891	8,85	28,5	44,1	65,8
Ponto 1 - Janeiro 2014	2,5 cm	30,1	8,36	153	49,1	437	62662	9,57	26,4	30,2	59,3
	5,0 cm	25,3	7,71	129	45,8	151	49519	7,10	21,0	20,8	51,2
	7,5 cm	21,5	3,92	118	41,1	89,1	43738	5,20	17,3	26,0	53,3
	10,0 cm	20,4	6,32	84,1	37,9	32,1	31036	5,19	15,6	14,9	39,0
	12,5 cm	14,5	5,19	84,4	38,9	410	34392	4,31	10,0	17,2	38,7
	15,0 cm	25,7	5,81	115	39,1	131	45857	6,50	21,0	21,4	48,1
	17,5 cm	31,1	6,82	153	53,5	29,2	59589	7,92	26,3	27,3	61,4
	20,0 cm	31,9	8,83	146	51,2	207	57967	7,84	25,7	29,1	60,9
	22,5 cm	30,4	3,16	134	47,9	152	51113	7,52	24,8	31,8	61,8

Tabela 4 – Continuação.

Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U	
Ponto 1 - Janeiro 2013	2,5 cm	10,3	24,1	1,44	0,079	0,61	5,04	111	14,0	12,0	2,08
	5,0 cm	10,8	24,3	1,54	0,10	0,73	5,62	115	14,6	13,5	2,44
	7,5 cm	11,3	21,3	1,70	0,096	0,75	5,62	81,7	14,4	13,1	2,06
	10,0 cm	10,4	20,6	1,47	0,063	0,65	4,92	87,7	11,8	11,1	1,87
	12,5 cm	5,45	26,8	1,19	0,058	0,58	5,75	123	11,4	12,9	1,87
	15,0 cm	2,28	26,5	0,97	0,046	0,54	5,17	178	10,5	10,4	2,01
	17,5 cm	12,7	25,2	1,69	0,11	0,80	6,34	114	16,1	13,7	2,50
	20,0 cm	1,75	20,4	0,99	0,041	0,55	3,88	72,1	5,84	7,97	1,25
	22,5 cm	5,02	22,8	1,33	0,063	0,78	4,46	136	9,23	8,86	1,48
Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U	
Ponto 1 - Julho 2013	2,5 cm	13,2	21,6	1,85	0,13	0,69	5,15	109	14,7	11,0	1,96
	5,0 cm	13,5	15,1	1,93	0,14	0,80	5,88	90,8	17,2	11,3	1,89
	7,5 cm	13,3	16,8	1,94	0,13	0,79	6,13	89,9	16,7	11,6	1,91
	10,0 cm	13,0	17,5	2,16	0,14	0,84	5,74	61,7	15,8	11,7	1,31
	12,5 cm	12,9	22,0	2,02	0,14	0,82	5,74	116	17,5	9,03	2,31
	15,0 cm	13,8	20,7	2,23	0,15	0,92	6,09	97,6	19,4	10,3	2,41
	17,5 cm	13,0	24,5	2,20	0,15	0,87	6,07	102	18,9	11,5	2,38
	20,0 cm	14,5	20,2	2,30	0,14	0,94	6,20	82,2	19,5	10,1	2,44
	22,5 cm	13,2	27,7	2,38	0,16	0,95	7,20	105	21,5	13,0	2,60
Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U	
Ponto 1 - Janeiro 2014	2,5 cm	12,2	23,1	2,07	0,14	0,73	5,81	92,3	20,4	15,5	2,23
	5,0 cm	7,42	27,8	1,49	0,10	0,62	4,97	116,5	15,9	11,6	2,01
	7,5 cm	7,25	18,9	1,30	0,082	0,55	4,21	105,9	11,1	10,2	1,52
	10,0 cm	3,19	23,1	1,19	0,094	0,49	3,92	116,5	10,8	9,31	1,55
	12,5 cm	3,02	23,7	0,78	0,087	0,36	2,59	157,1	8,32	7,31	1,23
	15,0 cm	4,19	22,6	1,53	0,079	0,63	4,94	85,9	14,4	11,1	1,85
	17,5 cm	6,80	18,7	1,92	0,12	0,78	6,01	61,7	16,7	14,0	1,47
	20,0 cm	5,60	28,9	1,89	0,11	0,78	6,22	119,8	17,9	13,4	2,38
	22,5 cm	2,18	17,7	1,91	0,099	0,76	5,96	73,6	16,0	12,0	1,95

Tabela 4 – Continuação.

Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	
Ponto 2 - Janeiro 2013	2,5 cm	27,8	8,37	219	52,3	<2,00	64048	9,61	25,1	50,8	58,9
	5,0 cm	29,5	9,06	212	53,9	<2,00	61219	8,87	25,4	46,2	57,3
	7,5 cm	28,2	7,40	237	52,6	<2,00	72334	10,4	27,2	55,4	66,5
	10,0 cm	29,8	5,72	218	57,1	44,1	66853	9,12	27,6	49,3	62,2
	12,5 cm	29,4	11,4	213	54,1	24,9	60491	9,71	26,5	50,0	65,6
	15,0 cm	28,4	10,9	226	51,9	23,8	69034	9,55	26,5	52,7	62,5
	17,5 cm	27,3	10,3	242	51,5	186	75458	10,5	27,3	55,1	63,3
	20,0 cm	28,6	13,3	242	50,7	215	75579	10,3	26,9	67,4	64,3
	22,5 cm	24,7	5,58	236	44,8	230	68296	10,05	24,7	54,4	58,3
Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U	
Ponto 2 - Janeiro 2013	2,5 cm	8,02	9,6	2,10	0,21	0,78	5,38	17,6	14,0	12,4	2,06
	5,0 cm	7,97	9,9	2,06	0,21	0,80	5,61	19,8	12,4	14,2	2,08
	7,5 cm	9,86	10,7	2,25	0,22	0,80	5,41	43,3	17,1	11,4	2,32
	10,0 cm	9,79	20,0	2,06	0,22	0,81	5,65	77,4	16,6	11,1	2,51
	12,5 cm	8,65	15,0	2,04	0,22	0,80	5,62	9,00	11,3	15,2	1,95
	15,0 cm	9,09	13,6	1,99	0,22	0,79	5,33	22,8	12,1	14,3	1,92
	17,5 cm	9,40	12,1	1,94	0,23	0,78	5,02	38,8	14,2	13,3	1,89
	20,0 cm	9,21	28,3	2,32	0,22	0,77	5,27	87,3	11,5	11,7	2,40
	22,5 cm	6,89	9,5	2,05	0,24	0,73	4,10	38,4	9,15	7,90	2,00
Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	
Ponto 3 - Julho 2013	2,5 cm	27,1	4,99	136	51,3	223	53333	7,39	24,9	42,6	65,5
	5,0 cm	35,1	9,29	127	50,3	21,7	47428	8,28	27,4	44,0	63,7
	7,5 cm	30,0	4,70	135	52,0	44,6	51246	7,18	24,6	39,0	65,5
	10,0 cm	30,8	5,18	135	52,3	37,5	50399	7,64	26,5	42,1	65,3
	12,5 cm	26,1	2,95	132	47,5	<2,00	38062	6,90	24,8	39,2	61,0
	15,0 cm	31,9	10,8	134	50,4	11,0	51404	7,49	25,7	40,1	64,3
	17,5 cm	29,8	6,72	122	51,0	<2,00	46764	6,74	24,6	60,8	68,1
	20,0 cm	32,1	6,64	140	51,7	55,8	52313	7,00	25,2	43,5	67,4
	22,5 cm	32,9	5,12	140	53,0	65,6	53542	7,13	25,0	38,6	68,2
Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U	
Ponto 3 - Julho 2013	2,5 cm	14,7	25,1	2,06	0,15	0,77	6,77	126	17,9	12,9	2,26
	5,0 cm	12,5	26,8	1,98	0,15	0,84	7,59	108	20,6	14,6	2,26
	7,5 cm	13,6	20,9	1,89	0,14	1,57	6,63	106	17,9	12,3	1,98
	10,0 cm	12,8	25,4	1,98	0,16	0,82	7,12	111	19,4	13,8	2,31
	12,5 cm	13,7	18,8	1,98	0,14	0,78	5,83	72,3	14,6	10,3	1,85
	15,0 cm	13,3	27,5	2,09	0,14	0,80	6,92	111	16,9	14,6	2,01
	17,5 cm	13,3	22,3	2,07	0,13	0,82	6,69	103	17,7	13,2	2,13
	20,0 cm	13,2	19,0	2,19	0,13	0,84	7,04	118	17,9	14,4	1,94
	22,5 cm	13,4	23,7	2,05	0,13	0,86	6,91	130	18,7	13,1	2,30

Tabela 5 – Resultados (em mg kg<sup>-1</sup>) obtidos na extração sequencial dos sedimentos de Promissão associados aos carbonatos e trocáveis.

Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	
Ponto 1 Janeiro 2013	2,5 cm	0,33	0,22	0,16	0,68	550	894	3,86	21,5	7,28	11,5
	5,0 cm	0,31	1,09	0,46	3,20	318	3845	4,33	22,9	10,6	11,8
	7,5 cm	0,39	1,65	1,37	4,85	168	10258	7,25	35,3	19,0	17,8
	10,0 cm	0,26	0,70	0,19	1,52	398	1382	4,81	23,3	8,46	10,6
	12,5 cm	0,13	0,37	0,090	0,68	331	425	2,01	7,04	3,47	5,00
	15,0 cm	0,11	0,41	0,11	0,82	304	449	2,28	5,66	3,60	6,06
	17,5 cm	0,053	0,27	0,18	0,72	700	888	4,01	2,60	0,69	4,52
	20,0 cm	0,080	0,40	0,097	0,66	283	358	2,00	4,41	2,71	4,99
	22,5 cm	0,089	0,40	0,11	0,70	312	402	2,74	5,14	2,17	5,48
Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	
Ponto 1 Julho 2013	2,5 cm	0,38	0,32	0,11	0,98	541	645	3,41	20,2	9,28	10,9
	5,0 cm	0,48	0,90	0,22	2,94	395	1907	4,54	22,3	13,2	12,2
	7,5 cm	0,48	0,76	0,20	2,59	587	1449	6,14	29,8	12,8	16,6
	10,0 cm	0,31	0,71	0,15	2,31	280	1155	3,87	19,0	10,1	10,5
	12,5 cm	0,09	0,21	0,04	0,57	172	157	1,84	5,58	2,23	4,83
	15,0 cm	0,10	0,28	0,05	0,86	161	254	1,96	3,81	1,54	4,52
	17,5 cm	0,08	0,27	0,06	0,80	123	286	2,04	2,85	1,31	4,02
	20,0 cm	0,05	0,19	0,12	0,68	126	253	2,54	2,74	0,94	5,07
	22,5 cm	0,06	0,12	0,37	0,54	165	397	5,65	3,22	0,56	7,75
Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	
Ponto 1 Janeiro 2014	2,5 cm	0,54	0,27	0,075	1,43	240	613	3,08	14,4	7,19	11,4
	5,0 cm	0,39	0,53	0,109	2,07	238	791	3,82	14,2	8,66	13,3
	7,5 cm	0,24	0,33	0,055	1,09	283	360	2,31	5,74	3,14	8,57
	10,0 cm	0,21	0,33	0,058	1,12	263	367	2,40	4,71	3,08	9,30
	12,5 cm	0,14	0,27	0,043	0,90	254	207	2,63	5,06	3,02	9,71
	15,0 cm	0,15	0,27	0,056	1,04	277	402	2,92	5,40	3,07	11,9
	17,5 cm	0,17	0,36	0,114	1,39	226	469	3,75	4,79	4,42	11,9
	20,0 cm	0,19	0,33	0,124	0,96	309	448	2,48	5,75	3,89	12,1

Tabela 5 – Continuação.

Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U
	2,5 cm	0,46	10,2	0,005	0,037	0,003	0,036	4,18	0,17	0,04
5,0 cm	1,37	8,66	0,011	0,037	0,004	0,021	2,42	0,17	0,40	0,54
7,5 cm	2,94	13,1	0,044	0,042	0,013	0,052	2,15	0,051	0,95	0,80
10,0 cm	0,64	9,65	0,009	0,036	0,002	0,014	2,88	0,18	0,13	0,38
12,5 cm	0,21	8,37	0,004	0,025	<0,001	0,009	10,2	0,13	0,02	0,11
15,0 cm	0,25	10,3	0,003	0,030	<0,001	0,009	17,8	0,15	0,02	0,11
17,5 cm	0,38	17,2	0,002	0,011	<0,001	0,005	139	0,032	0,02	0,047
20,0 cm	0,22	9,94	0,001	0,026	<0,001	0,008	20,2	0,10	0,02	0,092
22,5 cm	0,25	11,6	0,001	0,027	<0,001	0,008	21,8	0,094	0,02	0,085
Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U
2,5 cm	0,21	9,02	0,004	0,056	0,009	0,038	19,5	0,22	0,029	0,17
5,0 cm	0,49	5,44	0,012	0,035	0,005	0,040	1,39	0,15	0,33	0,44
7,5 cm	0,46	5,19	0,010	0,056	0,005	0,038	1,47	0,23	0,22	0,42
10,0 cm	0,33	2,34	0,004	0,054	0,003	0,011	1,38	0,23	0,17	0,34
12,5 cm	0,054	5,88	<0,001	0,027	<0,001	0,005	12,5	0,10	0,008	0,071
15,0 cm	0,065	6,80	<0,001	0,024	<0,001	0,004	26,5	0,10	0,011	0,073
17,5 cm	0,077	5,60	<0,001	0,020	<0,001	0,003	20,9	0,09	0,011	0,068
20,0 cm	0,11	6,17	<0,001	0,019	<0,001	0,004	13,0	0,06	0,009	0,059
22,5 cm	0,24	9,33	<0,001	0,021	0,002	0,004	9,80	0,07	0,006	0,033
Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U
2,5 cm	0,30	6,79	0,003	0,027	0,004	0,029	1,98	0,14	0,089	0,22
5,0 cm	0,39	6,07	0,002	0,037	0,002	0,013	1,20	0,18	0,14	0,36
7,5 cm	0,12	9,34	0,001	0,037	0,001	0,008	7,54	0,13	0,020	0,11
10,0 cm	0,13	10,34	0,001	0,040	0,001	0,008	8,77	0,14	0,020	0,097
12,5 cm	0,11	10,35	<0,001	0,039	<0,001	0,009	7,26	0,14	0,016	0,090
15,0 cm	0,13	11,55	0,001	0,039	<0,001	0,011	6,83	0,15	0,022	0,089
17,5 cm	0,27	9,82	0,001	0,040	<0,001	0,010	4,03	0,19	0,032	0,13
20,0 cm	0,16	12,07	0,002	0,041	<0,001	0,013	4,15	0,16	0,022	0,100

Tabela 5 – Continuação.

Ponto 2 Janeiro 2014	Profundidade	<b>Li</b>	<b>Sc</b>	<b>V</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
	2,5 cm	0,32	0,36	0,081	1,55	526	622	3,17	15,7	6,34	11,2
	5,0 cm	0,32	0,32	0,081	1,16	459	633	3,23	15,9	6,13	11,8
	7,5 cm	0,18	0,27	0,042	0,76	389	286	2,59	7,56	2,87	8,03
	10,0 cm	0,15	0,32	0,035	0,99	375	380	2,76	5,25	3,00	9,57
	12,5 cm	0,14	0,33	0,041	1,22	349	395	3,35	4,52	2,93	11,7
	15,0 cm	0,14	0,29	0,083	1,04	319	363	3,75	3,68	2,11	12,4
	17,5 cm	0,16	0,21	0,23	0,71	294	277	4,16	3,25	0,92	16,6
	20,0 cm	0,24	0,17	0,042	0,67	261	156	2,05	1,94	0,42	11,8
Ponto 2 Janeiro 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	0,30	4,86	0,003	0,037	0,002	0,014	2,34	0,20	0,067	0,24
	5,0 cm	0,31	5,34	0,003	0,038	0,002	0,015	2,27	0,21	0,062	0,24
	7,5 cm	0,093	6,40	0,001	0,042	0,001	0,008	11,02	0,18	0,017	0,11
	10,0 cm	0,12	7,49	0,001	0,051	0,001	0,010	19,3	0,26	0,024	0,12
	12,5 cm	0,15	7,13	0,001	0,053	<0,001	0,010	14,6	0,27	0,025	0,12
	15,0 cm	0,18	7,12	0,001	0,059	<0,001	0,010	9,01	0,22	0,025	0,099
	17,5 cm	0,16	7,67	0,002	0,078	0,001	0,011	14,4	0,13	0,016	0,057
	20,0 cm	0,11	8,54	0,002	0,063	0,002	0,012	16,8	0,078	0,013	0,036
Ponto 3 Janeiro 2014	Profundidade	<b>Li</b>	<b>Sc</b>	<b>V</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
	2,5 cm	0,33	0,21	0,13	0,70	602	587	2,98	19,2	6,57	14,6
	5,0 cm	0,34	0,74	1,25	2,28	606	3377	5,42	34,2	13,7	19,0
	7,5 cm	0,21	0,22	0,14	0,74	632	801	3,95	25,1	6,19	9,25
	10,0 cm	0,24	0,32	0,058	0,71	493	415	2,94	9,91	3,71	7,86
	12,5 cm	0,21	0,32	0,050	0,69	440	377	2,85	8,46	3,27	7,01
	15,0 cm	0,20	0,32	0,063	0,71	469	410	3,07	8,47	3,66	7,29
	17,5 cm	0,19	0,35	0,076	0,66	416	382	3,00	6,70	3,28	7,36
	20,0 cm	0,19	0,36	0,13	0,77	372	433	3,03	4,36	3,01	9,84
Ponto 3 Janeiro 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	0,21	7,87	0,006	0,040	0,006	0,009	4,62	0,095	0,020	0,13
	5,0 cm	0,61	6,60	0,025	0,054	0,011	0,016	1,96	0,012	0,129	0,35
	7,5 cm	0,22	7,30	0,004	0,057	0,005	0,008	6,44	0,081	0,018	0,12
	10,0 cm	0,13	6,77	0,002	0,045	0,002	0,006	10,0	0,15	0,018	0,12
	12,5 cm	0,11	7,35	0,002	0,046	0,002	0,006	32,7	0,14	0,016	0,11
	15,0 cm	0,11	7,72	0,002	0,048	0,002	0,006	28,5	0,15	0,017	0,11
	17,5 cm	0,13	7,84	0,002	0,047	0,002	0,005	33,2	0,15	0,017	0,11
	20,0 cm	0,19	7,94	0,002	0,057	0,002	0,007	15,5	0,16	0,019	0,10
22,5 cm	0,20	7,88	0,002	0,073	0,001	0,008	11,7	0,11	0,017	0,064	

Tabela 6 – Resultados (em mg kg<sup>-1</sup>) obtidos na extração sequencial dos sedimentos de Promissão associados aos óxi-hidróxidos de Fe e Mn.

Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
	2,5 cm	0,21	0,62	57,9	6,45	158	31775	1,75	4,43	9,42
5,0 cm	0,16	0,61	63,1	7,42	13,8	32471	0,55	1,93	6,25	6,08
7,5 cm	0,15	0,32	68,3	11,4	19,5	29254	0,46	2,02	6,80	4,87
10,0 cm	0,13	0,54	50,6	7,19	35,9	26570	0,82	2,91	7,04	6,44
12,5 cm	0,088	0,47	38,0	6,96	77,3	18081	1,48	3,63	5,26	8,40
15,0 cm	0,085	0,51	34,6	7,02	63,6	17526	1,38	2,72	5,35	8,56
17,5 cm	0,044	0,66	32,0	6,91	514	21516	2,24	1,76	0,59	5,74
20,0 cm	0,067	0,45	34,5	6,45	64,3	14453	1,22	2,13	4,48	7,05
22,5 cm	0,070	0,53	35,2	7,03	68,7	16306	1,55	2,65	3,82	7,54
Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
2,5 cm	0,28	0,71	65,3	11,6	270	27690	3,06	5,77	9,02	6,87
5,0 cm	0,14	0,33	66,2	7,09	23,9	24505	0,43	1,44	4,18	1,65
7,5 cm	0,18	0,38	64,8	7,30	42,9	23700	0,68	1,89	4,63	2,57
10,0 cm	0,14	0,43	71,5	9,16	32,4	24710	0,57	1,64	4,88	2,17
12,5 cm	0,051	0,31	26,2	5,67	32,3	9462	0,69	1,45	3,19	4,15
15,0 cm	0,060	0,36	26,0	6,35	31,4	9290	0,76	1,39	2,16	4,02
17,5 cm	0,053	0,29	22,5	5,42	14,8	7623	0,54	1,12	1,49	2,79
20,0 cm	0,046	0,27	23,8	5,27	13,1	6603	0,61	1,22	1,20	2,96
22,5 cm	0,039	0,29	28,5	4,32	18,4	8191	1,12	1,60	0,20	3,33
Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
2,5 cm	0,23	0,45	70,6	7,63	28,2	26985	0,59	1,37	6,32	2,29
5,0 cm	0,19	0,52	70,2	9,76	12,7	23735	0,50	1,16	6,40	2,11
7,5 cm	0,18	0,73	65,3	8,86	57,3	20880	1,76	2,85	5,39	6,97
10,0 cm	0,16	0,69	62,5	8,69	44,3	18455	1,62	2,28	5,05	7,03
12,5 cm	0,13	0,67	61,7	8,69	44,3	18240	1,61	2,14	5,31	7,58
15,0 cm	0,12	0,74	72,7	8,11	33,3	21260	1,69	2,14	4,94	5,99
17,5 cm	0,11	0,67	78,4	8,59	26,0	19440	1,29	1,48	4,22	4,68
20,0 cm	0,07	0,66	60,0	5,82	20,9	18430	1,41	1,56	4,43	5,04

Tabela 6 – continuação.

	Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U
Ponto 1 Janeiro 2013	2,5 cm	7,01	6,35	0,12	0,008	0,039	0,27	94,9	8,33	0,051	0,19
	5,0 cm	7,13	4,42	0,18	0,004	0,034	0,17	56,3	6,45	0,078	0,23
	7,5 cm	7,19	6,14	0,34	0,004	0,077	0,19	73,3	5,80	0,075	0,18
	10,0 cm	6,20	4,45	0,094	0,006	0,032	0,15	72,2	6,19	0,060	0,30
	12,5 cm	4,15	4,79	0,013	0,009	0,012	0,13	122	7,00	0,042	0,29
	15,0 cm	4,56	4,40	0,014	0,010	0,010	0,13	125	7,80	0,047	0,30
	17,5 cm	4,51	5,36	0,003	0,005	0,002	0,063	95,7	2,51	0,12	0,29
	20,0 cm	3,64	4,18	0,013	0,009	0,007	0,12	105	6,64	0,041	0,29
	22,5 cm	4,58	5,34	0,021	0,011	0,011	0,12	126	7,41	0,046	0,32
Ponto 1 Julho 2013	Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U
	2,5 cm	10,0	4,97	0,090	0,015	0,056	0,26	153	8,79	0,11	0,31
	5,0 cm	8,69	3,46	0,20	0,005	0,048	0,12	51,1	1,98	0,073	0,18
	7,5 cm	8,58	4,71	0,20	0,007	0,048	0,12	56,8	1,73	0,061	0,18
	10,0 cm	8,66	5,04	0,15	0,010	0,051	0,10	51,6	2,40	0,078	0,25
	12,5 cm	3,76	1,61	0,007	0,008	0,013	0,067	63,4	3,94	0,026	0,24
	15,0 cm	3,63	1,48	0,005	0,008	0,009	0,061	59,5	3,93	0,029	0,22
	17,5 cm	3,26	1,30	0,009	0,006	0,007	0,054	51,1	2,94	0,024	0,18
	20,0 cm	3,08	1,75	0,009	0,007	0,007	0,052	59,1	3,07	0,026	0,20
22,5 cm	4,01	4,10	0,010	0,009	0,007	0,045	85,3	2,99	0,028	0,16	
Ponto 1 Janeiro 2014	Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U
	2,5 cm	10,6	3,96	0,120	0,006	0,041	0,13	74,3	6,76	0,057	0,21
	5,0 cm	9,38	3,50	0,066	0,007	0,027	0,099	54,5	6,72	0,050	0,30
	7,5 cm	7,95	5,40	0,018	0,018	0,016	0,091	155	7,87	0,043	0,26
	10,0 cm	6,97	5,01	0,024	0,020	0,015	0,090	156	7,81	0,043	0,26
	12,5 cm	6,76	5,15	0,022	0,023	0,013	0,091	147	7,59	0,039	0,26
	15,0 cm	7,39	5,17	0,024	0,019	0,015	0,092	140	7,88	0,052	0,25
	17,5 cm	7,53	4,54	0,026	0,016	0,017	0,091	105	7,44	0,051	0,29
	20,0 cm	6,60	4,25	0,022	0,014	0,016	0,074	112	6,69	0,043	0,29

Tabela 6 – continuação.

Ponto 2 Janeiro 2014	Profundidade	<b>Li</b>	<b>Sc</b>	<b>V</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
	2,5 cm	0,02	0,05	71,8	7,54	43,1	24580	0,80	2,24	6,32	7,63
	5,0 cm	0,16	0,51	69,7	7,14	43,1	23765	0,77	2,23	6,53	7,29
	7,5 cm	0,14	0,77	66,8	7,16	87,2	21910	1,77	3,47	5,52	12,1
	10,0 cm	0,13	0,79	70,7	7,59	76,0	21265	1,82	2,47	5,39	12,3
	12,5 cm	0,12	0,79	76,9	7,88	61,6	20755	1,77	1,82	4,65	12,8
	15,0 cm	0,11	0,65	78,2	6,46	50,4	17220	1,76	1,64	3,14	5,59
	17,5 cm	0,13	0,45	71,8	3,98	33,6	12635	1,68	1,95	1,27	12,2
	20,0 cm	0,16	0,33	62,1	2,63	24,3	8628	1,15	1,69	1,39	10,9
Ponto 2 Janeiro 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	9,80	2,64	0,082	0,008	0,023	0,088	60,0	7,85	0,040	0,27
	5,0 cm	9,39	2,62	0,079	0,008	0,024	0,087	58,6	7,48	0,040	0,28
	7,5 cm	8,04	2,49	0,027	0,021	0,015	0,085	118	9,15	0,043	0,30
	10,0 cm	7,92	2,21	0,032	0,023	0,014	0,084	122	10,3	0,048	0,30
	12,5 cm	7,86	2,30	0,052	0,025	0,016	0,083	129	11,4	0,052	0,30
	15,0 cm	6,74	2,72	0,037	0,032	0,014	0,089	141	10,1	0,053	0,27
	17,5 cm	4,63	3,22	0,023	0,066	0,014	0,107	163	9,54	0,039	0,19
	20,0 cm	3,12	3,48	0,016	0,082	0,012	0,121	160	7,12	0,032	0,14
Ponto 3 Janeiro 2014	Profundidade	<b>Li</b>	<b>Sc</b>	<b>V</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
	2,5 cm	0,24	0,57	65,3	7,59	93,6	24170	1,39	5,50	8,23	7,27
	5,0 cm	0,21	0,44	71,9	8,10	36,0	24325	0,69	3,16	6,02	3,15
	7,5 cm	0,20	0,83	74,5	10,9	121	30740	2,58	9,91	9,10	8,63
	10,0 cm	0,22	0,87	64,7	9,42	106	26960	2,27	5,58	5,91	9,30
	12,5 cm	0,23	1,02	64,8	10,7	117	26970	2,75	5,98	6,58	10,4
	15,0 cm	0,24	1,00	69,0	11,9	128	27970	2,96	6,70	6,52	10,7
	17,5 cm	0,21	0,96	68,1	11,3	109	24680	2,76	5,45	6,41	10,2
	20,0 cm	0,21	0,87	68,9	11,2	81,9	21420	2,41	3,91	5,07	10,2
	22,5 cm	0,20	0,71	68,6	7,39	61,0	17970	2,71	3,58	2,69	10,5
Ponto 3 Janeiro 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	7,57	4,85	0,12	0,015	0,040	0,099	99,2	7,25	0,042	0,23
	5,0 cm	8,11	4,19	0,50	0,008	0,080	0,092	64,4	4,65	0,062	0,21
	7,5 cm	8,90	4,15	0,17	0,023	0,046	0,078	115	6,77	0,058	0,27
	10,0 cm	7,41	3,19	0,032	0,023	0,012	0,074	128	8,85	0,057	0,26
	12,5 cm	7,78	2,31	0,034	0,029	0,013	0,078	103	8,88	0,066	0,32
	15,0 cm	7,65	2,61	0,039	0,032	0,011	0,066	116	10,0	0,067	0,31
	17,5 cm	7,21	2,50	0,067	0,031	0,013	0,069	111	9,70	0,070	0,33
	20,0 cm	6,89	2,89	0,068	0,036	0,012	0,064	132	9,89	0,066	0,30
	22,5 cm	6,29	4,01	0,033	0,062	0,013	0,084	174	8,54	0,060	0,19

Tabela 7 – Resultados (em mg kg<sup>-1</sup>) obtidos na extração sequencial dos sedimentos de Promissão associados a sulfetos e matéria orgânica.

Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
	2,5 cm	0,79	1,29	19,7	18,5	23,4	2364	1,02	9,21	11,3
5,0 cm	0,95	2,19	17,5	19,8	8,13	2839	0,70	8,85	8,06	5,57
7,5 cm	2,66	3,59	7,82	27,8	13,9	5186	1,21	16,4	17,9	6,60
10,0 cm	0,65	2,49	16,1	16,9	10,2	2109	0,62	6,71	6,85	5,83
12,5 cm	1,06	1,69	12,1	26,4	9,82	1228	0,58	4,09	6,35	4,93
15,0 cm	0,89	1,79	14,3	28,1	9,82	1037	0,61	3,68	7,04	4,69
17,5 cm	0,84	1,81	15,6	36,6	23,4	1950	0,72	1,71	3,29	4,02
20,0 cm	0,84	1,71	10,9	26,4	8,26	772	0,48	2,74	5,35	4,23
22,5 cm	1,04	1,76	13,3	32,2	9,33	1134	0,58	2,87	6,91	5,29
Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
2,5 cm	2,00	4,80	9,88	14,9	16,89	1998	1,40	7,93	9,80	2,43
5,0 cm	0,73	2,85	11,0	15,5	10,80	3033	0,99	8,29	8,77	2,26
7,5 cm	0,84	3,01	11,3	15,7	13,01	3159	1,10	8,28	10,5	2,57
10,0 cm	0,91	3,75	8,05	18,7	8,07	2858	0,72	6,96	11,3	1,77
12,5 cm	0,70	3,46	5,76	18,6	5,39	981	0,43	1,89	4,10	2,00
15,0 cm	0,52	3,43	5,67	19,6	5,49	771	0,39	1,39	3,39	1,74
17,5 cm	0,56	3,08	5,67	20,6	4,08	514	0,39	1,14	3,47	1,45
20,0 cm	0,39	3,32	6,53	21,7	3,51	629	0,38	0,91	2,38	1,43
22,5 cm	0,43	3,80	10,9	23,6	4,33	1195	0,69	1,14	3,05	1,64
Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
2,5 cm	1,61	1,87	7,41	13,9	8,32	2772	1,30	8,78	10,5	2,52
5,0 cm	1,79	2,88	7,51	15,7	5,06	2518	1,00	6,55	11,4	2,41
7,5 cm	1,77	3,03	6,39	17,4	6,81	1915	1,37	6,10	11,3	3,79
10,0 cm	1,44	3,29	6,78	18,0	6,23	1542	1,37	5,04	11,0	3,31
12,5 cm	1,64	3,26	6,18	17,0	5,51	1447	1,29	4,08	11,2	3,46
15,0 cm	1,79	2,90	10,3	17,7	5,97	1567	1,64	4,50	11,2	3,86
17,5 cm	1,35	3,42	10,1	17,3	5,43	2411	1,38	4,33	11,9	3,69
20,0 cm	1,12	2,50	12,7	10,1	4,98	1821	1,36	3,22	10,3	2,77

Tabela 7 – continuação.

Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U
	2,5 cm	1,28	2,39	1,09	0,011	0,014	0,22	86,4	0,86	0,067
5,0 cm	1,31	2,17	2,07	0,004	0,011	0,15	93,6	1,50	0,090	0,51
7,5 cm	1,47	1,23	0,48	0,005	0,030	0,17	7,95	0,31	0,21	0,63
10,0 cm	0,87	1,75	1,18	0,003	0,008	0,12	62,5	1,51	0,19	0,45
12,5 cm	0,69	0,49	0,42	0,002	0,004	0,12	12,1	1,22	0,052	0,49
15,0 cm	0,61	0,52	0,47	0,002	0,003	0,12	14,2	0,81	0,016	0,55
17,5 cm	0,97	0,52	0,21	0,002	0,003	0,06	9,76	0,97	0,082	0,45
20,0 cm	0,52	0,44	0,15	0,002	0,003	0,10	9,38	0,74	0,039	0,42
22,5 cm	0,70	0,67	0,14	0,003	0,003	0,12	14,5	1,29	0,055	0,54
Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U
2,5 cm	0,58	0,69	1,31	0,010	<0,001	0,25	16,2	1,33	1,05	0,75
5,0 cm	0,93	2,20	1,28	0,006	0,008	0,22	55,6	0,15	0,30	0,50
7,5 cm	0,92	2,35	1,02	0,005	0,005	0,24	40,0	0,10	0,28	0,58
10,0 cm	0,31	1,67	0,45	0,005	0,007	0,17	21,0	0,14	0,50	0,56
12,5 cm	0,61	0,42	0,29	0,003	<0,001	0,075	5,56	0,35	1,23	0,40
15,0 cm	0,49	0,45	0,25	0,003	<0,001	0,072	5,87	0,32	1,44	0,39
17,5 cm	0,35	0,54	0,20	0,003	<0,001	0,069	5,14	0,28	1,47	0,34
20,0 cm	0,45	0,59	0,22	0,003	<0,001	0,069	5,96	0,35	1,37	0,38
22,5 cm	0,89	0,69	0,19	0,010	<0,001	0,093	7,28	0,60	2,37	0,47
Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U
2,5 cm	0,43	3,25	1,12	0,005	0,027	0,26	74,9	0,78	0,39	0,77
5,0 cm	0,28	2,78	0,34	0,006	0,015	0,20	47,4	0,50	0,65	0,81
7,5 cm	0,33	0,83	0,10	0,005	0,004	0,21	10,0	0,42	0,83	0,96
10,0 cm	0,23	0,83	0,12	0,005	0,003	0,21	9,12	0,39	1,04	0,97
12,5 cm	0,30	0,81	0,11	0,005	0,002	0,20	8,62	0,38	0,99	0,96
15,0 cm	0,28	1,28	0,20	0,005	0,003	0,24	16,1	0,44	0,92	0,96
17,5 cm	0,35	1,84	0,22	0,006	0,006	0,22	40,9	0,59	1,07	0,94
20,0 cm	0,75	0,75	0,29	0,007	0,016	0,14	7,79	0,57	0,77	0,57

Tabela 7 – continuação.

Ponto 2 Janeiro 2014	Profundidade	<b>Li</b>	<b>Sc</b>	<b>V</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
	2,5 cm	1,84	2,00	7,12	11,7	12,5	3470	1,27	8,28	11,5	2,84
	5,0 cm	1,78	1,98	6,17	12,0	13,2	3588	1,29	8,28	11,9	2,97
	7,5 cm	1,69	2,70	4,41	11,1	11,8	2200	1,34	5,58	9,86	3,34
	10,0 cm	1,95	3,13	6,04	13,6	12,2	2109	1,56	5,36	11,4	3,99
	12,5 cm	1,23	3,38	6,39	13,6	8,61	1910	1,33	4,29	10,1	3,81
	15,0 cm	1,42	3,26	7,63	15,7	8,44	1724	1,58	4,03	10,9	3,58
	17,5 cm	1,38	3,61	14,2	19,3	8,00	1611	1,98	4,03	11,2	4,88
	20,0 cm	1,20	3,17	17,5	18,0	7,75	1409	1,87	3,96	7,87	5,57
Ponto 2 Janeiro 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	0,024	2,07	0,55	0,003	0,014	0,20	57,4	0,38	0,37	0,76
	5,0 cm	0,16	1,99	0,53	0,003	0,014	0,20	54,0	0,32	0,38	0,75
	7,5 cm	0,13	0,57	0,082	0,003	0,003	0,19	10,4	0,71	0,72	0,74
	10,0 cm	0,24	0,68	0,11	0,005	0,003	0,22	11,3	0,83	0,80	0,86
	12,5 cm	0,41	0,60	0,22	0,005	0,003	0,20	11,9	1,06	1,11	0,81
	15,0 cm	0,36	0,83	0,20	0,006	0,003	0,21	14,9	1,11	1,03	0,85
	17,5 cm	0,53	1,05	0,28	0,013	0,007	0,26	17,3	2,39	1,06	1,04
	20,0 cm	0,41	1,42	0,27	0,018	0,006	0,29	20,6	3,39	0,85	0,94
Ponto 3 Janeiro 2014	Profundidade	<b>Li</b>	<b>Sc</b>	<b>V</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
	2,5 cm	1,20	2,34	13,5	16,9	22,3	3843	1,24	9,59	15,0	3,08
	5,0 cm	1,91	4,95	9,32	15,4	15,0	5039	1,26	11,0	20,5	2,67
	7,5 cm	1,91	4,97	8,98	16,2	25,7	4446	1,46	12,8	23,8	3,75
	10,0 cm	1,65	4,79	5,91	15,4	25,0	3029	1,34	6,51	13,9	4,15
	12,5 cm	1,58	4,91	5,43	15,3	22,4	2597	1,31	5,92	12,8	3,50
	15,0 cm	1,52	4,84	5,45	15,6	23,1	2473	1,32	5,88	12,6	3,27
	17,5 cm	1,51	4,89	5,95	16,8	20,4	2300	1,33	5,37	14,6	3,37
	20,0 cm	1,50	5,06	8,82	18,8	17,3	2050	1,25	4,45	14,9	4,45
Ponto 3 Janeiro 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	0,31	1,69	0,41	0,005	<0,001	0,22	67,5	0,96	0,24	0,71
	5,0 cm	0,69	1,29	0,75	0,004	0,012	0,22	32,5	0,35	0,64	0,68
	7,5 cm	0,66	0,52	0,33	0,005	0,002	0,21	12,8	0,34	0,74	0,98
	10,0 cm	0,26	0,48	0,043	0,004	<0,001	0,22	12,9	0,71	0,90	0,77
	12,5 cm	0,25	0,42	0,048	0,003	<0,001	0,23	10,6	0,91	0,96	0,74
	15,0 cm	0,25	0,44	0,060	0,004	<0,001	0,23	11,2	0,96	0,96	0,74
	17,5 cm	0,48	2,03	0,11	0,005	<0,001	0,23	11,7	1,01	0,97	0,77
	20,0 cm	0,45	1,90	0,13	0,008	<0,001	0,23	14,4	0,97	1,05	0,82
22,5 cm	0,51	1,79	0,16	0,017	<0,001	0,24	20,1	2,06	1,12	0,96	

Tabela 8 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) através da extração sequencial dos sedimentos de Promissão na fase residual.

Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
	2,5 cm	24,7	13,3	92,2	71,3	5,01	41287	6,45	31,2	36,0
5,0 cm	21,7	13,4	83,9	80,9	350	37825	8,13	44,5	38,4	45,4
7,5 cm	19,7	12,9	76,0	99,3	297	23123	3,82	16,0	15,9	39,1
10,0 cm	21,2	15,8	90,0	121	<1,00	28648	6,64	27,6	37,6	48,5
12,5 cm	23,2	14,7	105	128	104	43116	8,79	46,1	44,4	52,4
15,0 cm	19,5	15,0	80,2	125	200	31227	6,76	37,7	29,2	41,0
17,5 cm	10,8	7,79	41,0	106	<1,00	11015	3,68	23,6	12,4	21,7
20,0 cm	17,6	13,7	71,1	138	153	24737	7,32	36,2	27,6	42,4
22,5 cm	15,5	5,77	81,8	137	162	20697	13,41	46,0	27,8	48,4
Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
2,5 cm	23,6	6,02	93,0	73,6	50,6	26837	6,69	27,9	40,5	57,2
5,0 cm	19,8	6,36	83,2	85,9	96,8	31176	5,55	26,5	35,5	43,8
7,5 cm	24,6	13,2	99,0	76,5	86,7	32023	6,70	31,4	42,5	47,7
10,0 cm	20,0	6,26	70,7	98,8	99,2	18797	6,16	31,8	36,4	45,7
12,5 cm	14,0	3,47	57,6	138	148	15381	5,45	23,7	27,2	38,1
15,0 cm	12,2	4,54	45,2	117	159	12616	4,64	19,6	23,5	35,2
17,5 cm	10,0	3,67	38,9	90,8	96,1	8958	3,72	17,6	20,2	30,2
20,0 cm	10,1	4,66	32,4	88,2	115	8716	3,53	16,1	18,3	26,7
22,5 cm	11,6	3,90	43,8	114	136	11948	5,23	21,0	24,1	31,4
Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
2,5 cm	30,0	11,9	98,4	101,9	78,9	37881	6,11	36,0	54,2	52,6
5,0 cm	25,1	6,9	97,4	128,3	115	34986	7,63	47,7	50,6	53,7
7,5 cm	30,5	7,7	102	130,5	81,6	30916	8,52	45,0	62,1	78,1
10,0 cm	32,6	9,7	110	131,6	112	39386	8,69	52,9	61,6	77,0
12,5 cm	61,6	12,0	97,0	88,8	2934	42306	11,05	34,3	15,6	178,3
15,0 cm	24,5	13,6	86,6	87,8	991	43621	9,86	50,5	50,9	54,1
17,5 cm	30,1	12,4	81,5	75,3	1074	40191	9,36	48,2	59,6	75,2
20,0 cm	22,6	8,6	104	97,2	49,9	32951	12,75	36,1	49,5	47,2

Tabela 8 – Continuação.

	Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U
		<b>Ponto 1 Janeiro 2013</b>									
	2,5 cm	4,62	40,1	2,91	0,08	1,65	4,18	279	14,6	16,7	1,71
	5,0 cm	4,53	54,7	2,87	0,11	1,92	4,22	277	16,0	17,3	1,40
	7,5 cm	1,23	50,3	3,23	0,10	1,45	4,01	339	18,7	15,4	1,04
	10,0 cm	3,01	39,5	0,44	0,13	1,03	3,67	191	19,5	11,5	1,47
	12,5 cm	6,16	64,4	1,42	0,14	1,11	4,51	304	19,2	17,1	2,04
	15,0 cm	3,38	71,8	0,67	0,09	0,75	3,68	341	15,3	12,3	1,61
	17,5 cm	<0,05	55,3	0,17	0,08	0,21	1,75	237	13,2	5,48	1,15
	20,0 cm	2,89	69,2	0,88	0,11	0,54	3,20	364	16,6	15,2	1,71
	22,5 cm	1,28	24,4	0,82	0,13	0,50	2,39	133	16,0	5,80	1,00
<b>Ponto 1 Julho 2013</b>											
	Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U
	2,5 cm	7,80	33,7	0,90	0,17	1,33	4,57	177	15,5	16,2	1,35
	5,0 cm	11,3	44,1	4,78	0,18	1,93	3,99	252	21,5	15,6	1,56
	7,5 cm	12,6	53,7	4,51	0,19	1,96	4,69	264	24,1	19,1	1,91
	10,0 cm	8,71	33,3	3,62	0,19	1,71	3,86	214	22,1	19,0	1,30
	12,5 cm	4,07	48,5	0,37	0,18	0,50	2,71	206	17,5	11,3	1,49
	15,0 cm	3,23	55,7	0,26	0,17	0,36	2,37	259	14,0	13,2	1,41
	17,5 cm	2,66	47,3	0,32	0,15	0,30	2,02	213	12,4	10,9	1,20
	20,0 cm	2,34	58,8	0,18	0,12	0,26	1,91	261	12,4	11,7	0,99
	22,5 cm	4,00	59,0	0,44	0,14	0,34	2,23	270	15,8	12,1	1,31
<b>Ponto 1 Janeiro 2014</b>											
	Profundidade	As	Sr	Mo	Cd	Sb	Cs	Ba	Pb	Th	U
	2,5 cm	<0,05	37,6	4,28	0,15	2,11	4,98	215	22,6	18,2	2,11
	5,0 cm	<0,05	36,5	2,93	0,17	1,49	4,74	222	23,1	17,6	1,57
	7,5 cm	<0,05	31,3	1,61	0,20	0,92	5,85	150	26,9	21,9	2,03
	10,0 cm	0,22	35,4	1,36	0,19	1,02	5,42	130	25,3	20,2	1,38
	12,5 cm	18,7	55,4	1,62	0,24	1,13	6,21	443	33,3	14,2	3,05
	15,0 cm	1,44	46,6	2,40	0,16	1,19	4,06	266	18,0	16,0	1,74
	17,5 cm	<0,05	45,0	2,78	0,17	1,21	4,79	266	22,2	18,0	2,02
	20,0 cm	3,66	26,4	1,54	0,13	0,95	4,20	126	16,5	15,0	1,16

Tabela 8 – continuação.

Ponto 2 Janeiro 2014	Profundidade	<b>Li</b>	<b>Sc</b>	<b>V</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
	2,5 cm	21,1	10,9	121	83,2	263	49089	7,56	49,5	49,7	59,4
	5,0 cm	28,4	10,4	96,7	84,2	33,8	41824	6,48	36,7	42,1	47,1
	7,5 cm	27,5	8,27	99,2	87,2	123	38674	7,76	40,0	41,4	52,2
	10,0 cm	26,5	7,96	96,8	74,8	54,0	21396	7,11	36,8	37,3	47,9
	12,5 cm	28,0	8,18	92,8	85,2	80,4	30500	8,00	37,4	43,0	53,1
	15,0 cm	34,7	8,77	85,5	80,6	77,9	26453	7,66	35,6	44,6	58,4
	17,5 cm	33,0	10,4	87,5	65,9	105	25287	8,07	30,5	51,2	60,7
	20,0 cm	37,2	16,6	100	66,2	120	25987	8,86	28,3	55,3	71,6
Ponto 2 Janeiro 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	0,06	33,5	3,63	0,10	1,90	3,68	235	15,1	12,1	1,18
	5,0 cm	<0,05	33,3	3,05	0,15	1,84	5,06	197	24,2	16,8	1,94
	7,5 cm	0,32	29,5	1,52	0,15	1,00	5,12	167	21,4	15,8	1,70
	10,0 cm	<0,05	26,7	1,64	0,16	0,90	5,20	118	16,8	15,3	1,40
	12,5 cm	0,44	28,3	1,88	0,15	0,76	5,27	157	18,5	15,5	1,56
	15,0 cm	<0,05	28,4	1,77	0,19	0,83	6,09	160	24,7	17,4	2,18
	17,5 cm	0,91	29,1	1,15	0,14	0,72	5,77	190	21,3	15,7	2,18
	20,0 cm	1,85	36,9	1,21	0,18	0,74	6,82	276	27,0	18,4	3,12
Ponto 3 Janeiro 2014	Profundidade	<b>Li</b>	<b>Sc</b>	<b>V</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Co</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>
	2,5 cm	24,0	10,7	109	80,9	219	44560	8,20	36,6	44,5	54,3
	5,0 cm	19,2	10,2	80,3	71,8	68,1	32249	6,17	31,2	30,8	40,6
	7,5 cm	21,7	10,1	92,3	85,1	111	35203	7,59	36,3	37,9	54,1
	10,0 cm	23,9	6,94	104	90,4	84,4	38837	8,51	38,5	43,3	58,5
	12,5 cm	28,9	16,6	105	89,6	137	39926	9,90	43,3	47,6	59,7
	15,0 cm	24,9	5,81	95,3	85,3	76,8	33947	8,43	37,3	42,0	56,8
	17,5 cm	22,5	4,31	94,8	87,6	101	31768	8,71	38,2	42,3	57,7
	20,0 cm	25,9	13,9	88,0	81,1	83,4	29637	8,33	35,8	102	54,6
22,5 cm	24,7	7,24	84,5	67,4	104	24859	8,32	29,8	47,2	58,6	
Ponto 3 Janeiro 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	3,20	27,6	4,16	0,14	2,11	4,49	173	19,6	14,1	1,60
	5,0 cm	2,69	40,1	7,74	0,14	2,46	4,00	229	20,6	14,2	1,40
	7,5 cm	1,55	39,3	3,04	0,16	2,13	4,53	193	21,3	15,6	1,51
	10,0 cm	0,12	32,3	1,53	0,17	1,07	5,00	158	21,1	13,1	1,76
	12,5 cm	<0,05	47,3	1,61	0,17	1,06	5,83	210	24,0	18,7	2,12
	15,0 cm	<0,05	32,7	1,57	0,16	0,99	5,21	174	20,2	13,6	1,67
	17,5 cm	<0,05	27,7	2,05	0,17	0,91	5,00	155	19,4	12,5	1,58
	20,0 cm	1,85	40,8	1,98	0,15	0,82	5,36	206	20,2	15,9	1,92
22,5 cm	<0,05	27,1	1,22	0,13	0,71	5,03	182	19,0	12,7	1,67	

Tabela 9 – Resultados (em mg kg<sup>-1</sup>) obtidos na extração sequencial dos sedimentos de Ponte Nova associados aos carbonatos e trocáveis.

	Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Ponto 1 - Agosto 2013	2,5 cm	0,33	0,14	0,020	0,59	107	391	0,69	0,32	0,093	1,57
	5,0 cm	0,31	0,15	0,024	0,63	85,2	397	0,74	0,33	0,11	1,73
	7,5 cm	0,24	0,15	0,027	0,64	91,2	387	0,69	0,30	0,089	1,53
	10,0 cm	0,22	0,14	0,034	0,63	91,7	500	0,71	0,30	0,12	1,68
	12,5 cm	0,17	0,13	0,031	0,61	89,0	356	0,58	0,35	0,086	1,56
	15,0 cm	0,18	0,12	0,036	0,59	91,4	339	0,59	0,26	0,085	1,93
	17,5 cm	0,21	0,13	0,042	0,61	91,9	400	0,74	0,30	0,115	2,78
	20,0 cm	0,26	0,13	0,051	0,59	92,8	427	0,89	0,32	0,15	4,19
	22,5 cm	0,34	0,12	0,082	0,55	95,1	460	1,26	0,45	0,26	9,99
Ponto 1 - Fevereiro 2014	2,5 cm	0,41	0,070	0,033	0,46	67,7	218	1,58	0,45	0,25	6,47
	5,0 cm	0,32	0,039	0,025	0,31	81,8	67,0	1,60	0,45	0,25	9,78
	7,5 cm	0,26	0,042	0,095	0,33	91,9	232	1,56	0,55	0,25	10,4
	10,0 cm	0,27	0,048	0,078	0,37	82,7	171	1,37	0,48	0,31	8,87
	12,5 cm	0,20	0,031	0,085	0,27	89,1	118	1,05	0,42	0,22	8,05
	15,0 cm	0,21	0,031	0,16	0,27	86,0	167	1,07	0,38	0,22	6,60
	17,5 cm	0,22	0,021	0,28	0,15	140	153	0,98	0,42	0,27	14,7
	20,0 cm	0,21	0,024	0,26	0,11	252	143	0,98	0,43	0,35	19,9
	Ponto 1 - Agosto 2014	2,5 cm	0,28	0,10	0,070	0,40	52,1	322	1,07	0,22	0,22
5,0 cm		0,28	0,094	0,096	0,73	50,4	339	0,95	0,19	0,23	4,13
7,5 cm		0,27	0,091	0,13	0,62	51,6	342	0,95	0,20	0,25	5,16
10,0 cm		0,24	0,093	0,19	0,65	50,7	314	0,91	0,22	0,33	6,04
12,5 cm		0,19	0,093	0,26	0,60	46,3	301	0,77	0,20	0,30	5,62
15,0 cm		0,19	0,093	0,26	0,60	45,0	300	0,78	0,20	0,30	5,73
17,5 cm		0,15	0,026	0,54	0,24	107	482	0,48	0,38	0,38	15,0
20,0 cm		0,10	0,016	0,61	0,42	98,7	494	0,36	0,23	0,55	5,78
22,5 cm		0,24	0,034	0,56	0,27	95,0	230	0,95	0,34	0,20	6,67
Ponto 2 - Fevereiro 2014	2,5 cm	0,33	0,085	0,016	0,43	89,3	193	1,93	0,56	0,24	9,38
	5,0 cm	0,32	0,088	0,021	0,45	90,1	226	2,08	0,56	0,24	9,92
	7,5 cm	0,30	0,085	0,028	0,43	86,5	267	2,14	0,51	0,24	9,80
	10,0 cm	0,28	0,089	0,018	0,44	81,1	162	2,29	0,60	0,27	10,7
	12,5 cm	0,30	0,11	0,039	0,49	84,6	301	2,02	0,55	0,28	9,23
	15,0 cm	0,22	0,068	0,018	0,28	66,5	67,2	1,70	0,48	0,21	8,68
	17,5 cm	0,27	0,084	0,027	0,36	81,1	144	1,89	0,59	0,23	11,3
	20,0 cm	0,31	0,094	0,081	0,40	90,9	316	1,83	0,57	0,25	10,5
	22,5 cm	0,30	0,103	0,081	0,42	92,4	321	1,77	0,59	0,26	10,6

Tabela 9 – Continuação.

Ponto 1 - Agosto 2013	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	0,062	7,37	<0,001	0,067	0,002	0,079	20,7	1,26	0,051	0,061
	5,0 cm	0,062	5,00	<0,001	0,066	0,002	0,097	15,5	1,53	0,057	0,069
	7,5 cm	0,062	5,07	<0,001	0,068	0,002	0,13	12,3	1,53	0,058	0,073
	10,0 cm	0,070	5,34	<0,001	0,074	0,002	0,12	13,8	1,64	0,055	0,073
	12,5 cm	0,060	5,31	<0,001	0,077	0,002	0,11	11,4	1,52	0,053	0,074
	15,0 cm	0,055	5,47	<0,001	0,083	0,002	0,10	11,9	1,50	0,047	0,066
	17,5 cm	0,060	5,48	<0,001	0,093	0,002	0,11	12,5	1,74	0,046	0,067
	20,0 cm	0,064	5,57	<0,001	0,10	0,002	0,11	12,5	2,03	0,044	0,067
22,5 cm	0,067	5,84	<0,001	0,11	0,002	0,12	11,4	2,45	0,038	0,060	
Ponto 1 - Fevereiro 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	0,066	4,56	<0,001	0,04	0,001	0,10	9,36	0,90	0,047	0,056
	5,0 cm	0,037	4,66	<0,001	0,05	0,001	0,086	8,37	0,64	0,031	0,046
	7,5 cm	0,061	5,23	<0,001	0,06	0,001	0,078	8,71	0,73	0,027	0,042
	10,0 cm	0,054	4,89	<0,001	0,06	0,001	0,074	8,96	0,89	0,031	0,050
	12,5 cm	0,037	5,28	<0,001	0,05	0,001	0,063	9,27	0,58	0,022	0,038
	15,0 cm	0,046	5,49	<0,001	0,05	0,002	0,058	8,19	0,61	0,021	0,036
	17,5 cm	0,046	7,53	<0,001	0,09	0,001	0,050	20,7	0,54	0,016	0,027
	20,0 cm	0,049	11,1	0,001	0,08	0,001	0,051	13,3	0,20	0,018	0,025
Ponto 1 - Agosto 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	0,16	2,65	<0,001	0,036	<0,001	0,085	8,47	2,43	0,051	0,094
	5,0 cm	0,17	2,59	<0,001	0,045	<0,001	0,074	9,21	2,40	0,044	0,086
	7,5 cm	0,17	2,70	0,001	0,048	0,001	0,070	10,9	2,45	0,040	0,080
	10,0 cm	0,16	2,58	<0,001	0,042	<0,001	0,064	10,3	2,82	0,036	0,083
	12,5 cm	0,14	2,46	<0,001	0,033	<0,001	0,053	9,96	2,72	0,036	0,083
	15,0 cm	0,14	2,40	<0,001	0,032	0,001	0,053	10,1	2,74	0,035	0,083
	17,5 cm	0,17	6,18	0,001	0,052	0,002	0,041	42,3	0,59	0,013	0,021
	20,0 cm	0,11	5,69	<0,001	0,038	0,002	0,037	53,6	0,75	0,009	0,027
22,5 cm	0,14	5,63	0,001	0,076	0,001	0,067	54,6	1,01	0,018	0,044	
Ponto 2 - Fevereiro 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	0,099	5,13	<0,001	0,057	<0,001	0,14	12,8	1,40	0,035	0,082
	5,0 cm	0,098	4,84	<0,001	0,061	<0,001	0,14	9,74	1,40	0,037	0,086
	7,5 cm	0,100	4,30	<0,001	0,061	<0,001	0,14	7,77	1,37	0,038	0,090
	10,0 cm	0,093	3,89	<0,001	0,059	<0,001	0,13	7,24	1,37	0,035	0,096
	12,5 cm	0,12	3,79	<0,001	0,061	<0,001	0,12	6,97	1,76	0,044	0,11
	15,0 cm	0,070	2,93	<0,001	0,048	<0,001	0,094	8,68	1,24	0,020	0,078
	17,5 cm	0,083	3,54	<0,001	0,065	<0,001	0,099	8,22	1,21	0,027	0,086
	20,0 cm	0,091	3,93	<0,001	0,077	0,001	0,096	8,44	1,44	0,030	0,081
22,5 cm	0,089	4,02	<0,001	0,076	0,001	0,094	8,58	1,43	0,032	0,081	

Tabela 10 – Resultados (em mg kg<sup>-1</sup>) obtidos na extração sequencial dos sedimentos de Ponte Nova associados aos óxi-hidróxidos de Fe e Mn.

	Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Ponto 1 - Agosto 2013	2,5 cm	1,41	0,24	11,7	2,75	13,2	8680	2,09	0,91	0,34	22,1
	5,0 cm	1,22	0,25	11,7	2,53	7,27	7655	2,12	0,98	0,62	21,2
	7,5 cm	1,30	0,28	13,4	3,07	8,23	8161	2,24	1,19	0,44	22,1
	10,0 cm	1,11	0,26	12,8	2,39	7,47	7401	2,03	0,93	0,39	21,0
	12,5 cm	1,02	0,27	13,0	2,45	7,27	7429	1,90	1,01	0,35	22,7
	15,0 cm	0,95	0,25	12,8	2,19	7,20	7039	1,72	0,80	0,35	24,0
	17,5 cm	0,90	0,22	14,4	2,69	7,43	7228	1,64	0,97	0,37	24,3
	20,0 cm	0,79	0,22	15,3	2,60	6,84	6953	1,54	0,95	0,42	23,7
	22,5 cm	0,47	0,18	15,6	1,99	6,16	6427	1,22	0,62	0,41	19,6
Ponto 1 - Fevereiro 2014	2,5 cm	0,31	0,14	10,9	0,98	9,40	5040	1,40	0,36	0,26	7,86
	5,0 cm	0,24	0,13	10,7	0,80	16,2	5128	1,08	0,30	0,14	8,35
	7,5 cm	0,19	0,12	11,4	0,71	11,1	4755	0,63	0,27	0,11	5,67
	10,0 cm	0,21	0,12	12,6	0,83	14,0	4681	0,80	0,26	0,11	6,51
	12,5 cm	0,15	0,091	9,89	0,57	15,3	3656	0,49	0,21	0,041	4,64
	15,0 cm	0,13	0,079	9,44	0,53	12,7	3092	0,50	0,17	0,054	4,01
	17,5 cm	0,14	0,053	9,51	0,37	16,8	3446	0,33	0,23	0,097	5,87
	20,0 cm	0,12	0,064	9,73	0,27	33,9	5711	0,39	0,38	0,032	9,11
	22,5 cm	0,12	0,064	9,73	0,27	33,9	5711	0,39	0,38	0,032	9,11
Ponto 1 - Agosto 2014	2,5 cm	0,44	0,21	14,6	1,71	4,87	5247	1,22	0,44	0,78	9,34
	5,0 cm	0,41	0,20	16,2	1,71	4,45	5125	0,97	0,40	0,59	9,68
	7,5 cm	0,36	0,19	17,1	1,72	4,87	4906	0,89	0,36	0,54	9,69
	10,0 cm	0,22	0,19	17,2	1,66	4,54	4308	0,80	0,27	0,55	6,66
	12,5 cm	0,17	0,19	16,3	1,55	4,21	3862	0,74	0,23	0,45	5,96
	15,0 cm	0,18	0,11	13,3	1,16	8,55	4753	0,59	0,25	0,21	6,81
	17,5 cm	0,19	0,093	10,2	0,50	12,7	5808	0,22	0,26	0,023	7,56
	20,0 cm	0,23	0,094	14,2	0,50	7,15	5234	0,21	0,18	0,066	5,01
	22,5 cm	0,22	0,084	11,4	0,50	6,58	3417	0,26	0,16	0,18	3,83
Ponto 2 - Fevereiro 2014	2,5 cm	0,30	0,24	17,9	2,14	6,92	8468	1,16	0,28	0,56	6,65
	5,0 cm	0,29	0,26	19,3	2,31	6,88	8493	1,12	0,30	0,59	6,82
	7,5 cm	0,21	0,23	17,2	1,98	5,25	7726	0,88	0,24	0,69	5,44
	10,0 cm	0,21	0,24	18,6	2,08	4,53	8114	0,87	0,26	0,66	6,05
	12,5 cm	0,21	0,26	20,1	2,11	4,79	7579	0,77	0,23	0,67	4,61
	15,0 cm	0,15	0,19	16,4	1,58	3,80	6132	0,64	0,23	0,57	4,92
	17,5 cm	0,19	0,23	18,6	1,60	4,39	6939	0,70	0,25	0,54	6,34
	20,0 cm	0,18	0,22	19,0	1,47	5,17	6554	0,58	0,22	0,52	4,75
	22,5 cm	0,21	0,23	20,5	1,58	5,57	6812	0,63	0,24	0,46	5,18

Tabela 10 – continuação.

Ponto 1 - Agosto 2013	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	3,21	1,41	0,007	0,032	0,014	0,21	20,4	18,6	0,23	0,20
	5,0 cm	2,99	1,51	0,006	0,031	0,014	0,22	23,9	18,8	0,25	0,24
	7,5 cm	3,20	1,59	0,010	0,033	0,016	0,24	25,5	20,3	0,25	0,22
	10,0 cm	2,97	1,47	0,006	0,036	0,014	0,22	23,2	20,3	0,24	0,22
	12,5 cm	3,03	1,54	0,010	0,041	0,016	0,24	22,6	19,5	0,23	0,19
	15,0 cm	2,88	1,46	0,007	0,046	0,014	0,25	22,0	20,3	0,20	0,18
	17,5 cm	2,92	1,43	0,010	0,045	0,015	0,26	22,0	21,5	0,18	0,18
	20,0 cm	2,86	1,40	0,009	0,047	0,015	0,26	21,4	21,9	0,15	0,18
22,5 cm	2,74	1,29	0,011	0,047	0,015	0,25	22,2	23,4	0,13	0,18	
Ponto 1 - Fevereiro 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	3,22	1,07	0,004	0,019	0,008	0,17	32,1	18,1	0,088	0,21
	5,0 cm	3,33	1,40	0,003	0,028	0,007	0,22	41,6	19,1	0,067	0,22
	7,5 cm	3,22	1,42	0,003	0,027	0,007	0,25	43,2	18,3	0,057	0,22
	10,0 cm	3,32	1,19	0,005	0,026	0,008	0,23	35,1	19,9	0,055	0,21
	12,5 cm	2,85	1,14	0,004	0,022	0,007	0,19	29,1	14,5	0,042	0,17
	15,0 cm	2,54	1,12	0,004	0,018	0,007	0,16	28,3	12,6	0,037	0,16
	17,5 cm	2,81	1,43	0,007	0,046	0,005	0,23	36,7	14,5	0,027	0,11
	20,0 cm	4,13	5,19	0,007	0,061	0,003	0,20	78,2	11,8	0,042	0,13
Ponto 1 - Agosto 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	3,53	0,95	0,009	0,017	0,009	0,18	26,3	20,6	0,12	0,23
	5,0 cm	3,40	0,71	0,009	0,023	0,009	0,18	19,4	19,5	0,100	0,20
	7,5 cm	3,29	0,64	0,010	0,025	0,009	0,18	17,8	21,1	0,091	0,18
	10,0 cm	2,89	0,57	0,010	0,022	0,008	0,15	17,2	20,3	0,088	0,19
	12,5 cm	2,71	0,57	0,011	0,018	0,007	0,12	16,4	19,3	0,090	0,18
	15,0 cm	3,15	0,90	0,010	0,247	0,006	0,21	23,4	13,9	0,050	0,013
	17,5 cm	3,91	1,24	0,010	0,036	0,004	0,26	34,0	12,2	0,033	0,072
	20,0 cm	4,14	0,77	0,009	0,032	0,006	0,33	21,4	13,7	0,036	0,11
22,5 cm	2,64	0,67	0,005	0,036	0,004	0,35	19,9	14,2	0,032	0,093	
Ponto 2 - Fevereiro 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	5,28	0,74	0,003	0,021	0,010	0,36	21,3	20,9	0,13	0,25
	5,0 cm	5,59	0,85	0,004	0,022	0,011	0,38	28,2	20,6	0,14	0,27
	7,5 cm	5,01	0,89	0,004	0,020	0,011	0,35	28,7	18,8	0,14	0,30
	10,0 cm	5,20	0,80	0,004	0,022	0,011	0,34	28,1	18,7	0,13	0,30
	12,5 cm	4,89	0,80	0,004	0,018	0,011	0,35	31,9	20,8	0,14	0,32
	15,0 cm	4,17	0,53	0,004	0,020	0,009	0,27	20,2	16,3	0,091	0,26
	17,5 cm	4,64	0,77	0,005	0,027	0,011	0,33	28,8	19,1	0,101	0,27
	20,0 cm	4,38	0,91	0,005	0,026	0,013	0,36	33,7	19,5	0,097	0,28
22,5 cm	4,44	0,86	0,006	0,028	0,014	0,37	31,2	19,5	0,097	0,25	

Tabela 11 – Resultados (em mg kg<sup>-1</sup>) obtidos na extração sequencial dos sedimentos de Ponte Nova associados aos sulfetos e matéria orgânica.

	Profundidade	Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Ponto 1 - Agosto 2013	2,5 cm	0,85	1,70	9,95	9,92	11	2865	0,78	1,45	5,07	0,84
	5,0 cm	0,77	1,57	9,19	9,81	7,63	2383	0,69	1,29	4,06	0,95
	7,5 cm	0,91	1,60	9,97	10,6	8,21	2051	0,76	1,33	4,38	0,82
	10,0 cm	1,02	1,57	10,8	10,9	9,04	2162	0,81	1,38	4,81	0,90
	12,5 cm	1,05	1,48	9,29	10,7	8,03	1855	0,70	1,21	4,58	0,76
	15,0 cm	1,01	1,38	11,1	11,4	8,04	1868	0,69	1,16	4,42	0,78
	17,5 cm	1,05	1,35	10,3	11,6	7,76	1642	0,69	1,20	4,25	0,74
	20,0 cm	1,10	1,37	10,3	12,0	8,32	1650	0,70	1,21	4,52	1,36
	22,5 cm	1,05	1,33	10,4	12,9	7,76	1538	0,73	1,19	4,84	1,40
Ponto 1 - Fevereiro 2014	2,5 cm	1,60	1,89	6,57	5,91	7,26	1608	0,75	0,78	2,16	2,33
	5,0 cm	2,43	1,67	6,80	6,75	9,54	1959	0,98	0,70	2,19	3,79
	7,5 cm	2,67	1,59	8,39	7,62	11,9	2212	1,04	0,79	2,48	4,57
	10,0 cm	2,60	1,56	7,38	7,80	10,3	1551	0,97	0,68	1,97	4,27
	12,5 cm	2,44	1,23	5,65	6,50	9,58	1431	0,73	0,52	1,61	3,90
	15,0 cm	2,58	1,12	5,06	5,78	9,30	1271	0,71	0,50	2,11	3,81
	17,5 cm	2,64	1,16	7,04	6,48	9,20	1171	0,69	0,54	2,23	3,88
	20,0 cm	4,03	1,34	10,3	6,92	14,8	2372	0,94	0,78	2,95	5,75
	Ponto 1 - Agosto 2014	2,5 cm	0,96	2,16	6,51	7,00	3,98	1046	0,64	1,09	3,11
5,0 cm		1,05	1,72	6,11	7,61	3,59	793	0,50	0,99	2,90	1,71
7,5 cm		1,19	1,55	6,30	8,06	3,65	622	0,50	0,96	2,65	1,83
10,0 cm		0,98	1,43	5,78	7,56	3,43	530	0,49	0,85	2,09	2,15
12,5 cm		0,92	1,40	5,51	7,36	3,18	518	0,49	0,75	1,96	2,14
15,0 cm		2,03	0,79	3,39	3,58	8,66	1425	0,45	0,75	2,59	5,12
17,5 cm		2,61	0,91	5,15	4,66	11,3	1759	0,45	0,75	2,59	6,42
20,0 cm		2,54	1,49	7,39	8,12	14,0	1924	0,47	0,72	2,41	5,08
22,5 cm		2,90	1,12	6,00	7,35	9,50	1281	0,57	0,63	1,55	4,43
Ponto 2 - Fevereiro 2014	2,5 cm	2,21	2,75	7,56	9,8	6,72	1466	1,14	1,02	2,94	4,30
	5,0 cm	1,94	2,51	7,88	10,4	6,45	1356	1,14	1,00	2,58	4,62
	7,5 cm	1,88	2,57	6,66	10,5	6,38	1500	1,13	0,96	2,61	5,13
	10,0 cm	2,08	2,48	7,58	10,7	6,54	1503	1,11	0,88	2,66	4,70
	12,5 cm	2,02	2,51	7,09	10,3	6,44	1384	1,05	0,87	2,52	4,71
	15,0 cm	1,88	1,81	5,09	8,83	5,38	945	0,84	0,67	1,96	3,80
	17,5 cm	2,17	1,93	6,84	10,1	6,40	1297	0,93	0,79	2,63	4,66
	20,0 cm	2,18	2,01	6,65	11,7	7,46	1573	0,91	0,87	2,76	5,19
	22,5 cm	2,42	1,81	8,04	11,8	7,29	1327	0,95	0,87	2,74	5,38

Tabela 11 – Continuação.

Ponto 1 - Agosto 2013	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	0,76	0,53	0,38	0,013	<0,001	0,20	7,30	6,16	1,65	1,42
	5,0 cm	0,67	0,48	0,43	0,011	<0,001	0,19	6,66	5,50	1,57	1,28
	7,5 cm	0,64	0,52	0,51	0,012	<0,001	0,22	7,38	5,62	1,43	1,43
	10,0 cm	0,66	0,60	0,50	0,014	<0,001	0,23	7,70	6,09	1,46	1,41
	12,5 cm	0,60	0,55	0,55	0,014	<0,001	0,22	8,06	6,04	1,42	1,39
	15,0 cm	0,63	0,55	0,51	0,014	<0,001	0,21	8,22	6,16	1,28	1,37
	17,5 cm	0,58	0,52	0,60	0,014	<0,001	0,22	7,98	5,76	1,10	1,36
	20,0 cm	0,58	0,51	0,64	0,014	<0,001	0,26	8,46	5,75	1,14	1,34
22,5 cm	0,61	0,47	0,70	0,013	<0,001	0,28	7,88	6,04	0,97	1,31	
Ponto 1 - Fevereiro 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	0,21	0,42	0,027	0,006	0,004	0,21	5,75	3,84	2,49	0,89
	5,0 cm	0,20	0,58	0,069	0,006	0,006	0,32	7,81	3,48	2,33	1,04
	7,5 cm	0,15	0,63	0,13	0,007	0,006	0,36	9,81	3,48	2,40	1,11
	10,0 cm	0,18	0,65	0,13	0,006	0,005	0,35	8,64	3,32	2,10	1,04
	12,5 cm	0,19	0,56	0,14	0,006	0,005	0,35	7,70	2,36	2,15	0,90
	15,0 cm	0,14	0,52	0,24	0,005	0,003	0,39	7,41	2,49	1,75	0,80
	17,5 cm	0,24	0,58	0,48	0,007	0,004	0,33	7,65	2,91	2,50	1,10
	20,0 cm	0,27	0,90	0,50	0,007	0,004	0,62	9,79	4,29	0,64	1,39
Ponto 1 - Agosto 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	0,73	0,35	0,47	0,005	0,002	0,18	4,62	3,57	1,65	1,03
	5,0 cm	0,65	0,37	0,47	0,005	0,002	0,19	4,94	3,25	1,02	0,96
	7,5 cm	0,53	0,32	0,47	0,005	0,001	0,20	4,84	3,10	0,94	0,88
	10,0 cm	0,48	0,30	0,46	0,004	0,001	0,17	4,65	2,93	0,71	0,80
	12,5 cm	0,47	0,26	0,42	0,004	<0,001	0,16	4,59	2,66	0,57	0,71
	15,0 cm	1,08	0,33	0,32	0,003	0,003	0,42	5,98	2,17	1,34	0,58
	17,5 cm	1,08	0,42	0,47	0,004	0,003	0,42	7,97	2,17	1,38	0,73
	20,0 cm	1,06	0,43	0,41	0,005	<0,001	0,44	13,0	2,12	0,90	0,81
22,5 cm	1,02	0,53	0,41	0,005	<0,001	0,40	12,4	3,08	0,82	1,17	
Ponto 2 - Fevereiro 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	0,99	0,44	0,39	0,006	0,004	0,22	6,02	3,49	2,81	1,34
	5,0 cm	0,95	0,47	0,45	0,005	0,004	0,23	6,36	3,55	2,25	1,34
	7,5 cm	1,03	0,48	0,36	0,006	0,004	0,25	6,67	3,47	2,49	1,26
	10,0 cm	1,05	0,50	0,05	0,005	0,004	0,25	7,47	3,40	2,79	1,26
	12,5 cm	0,98	0,49	0,21	0,005	0,003	0,38	7,22	3,63	2,71	1,28
	15,0 cm	0,74	0,45	0,40	0,005	0,002	0,26	6,48	2,49	2,07	0,97
	17,5 cm	1,06	0,54	0,10	0,005	0,004	0,29	7,83	3,17	2,30	1,11
	20,0 cm	1,36	0,58	0,04	0,006	0,006	0,35	8,00	3,54	2,48	1,18
22,5 cm	1,28	0,62	0,15	0,006	0,006	0,29	8,24	3,28	2,10	1,18	

Tabela 12 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) através da extração sequencial dos sedimentos de Ponte Nova na fase residual.

Profundidade		Li	Sc	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Ponto 1 - Agosto 2013	2,5 cm	22,9	4,10	59,1	28,7	40,8	27345	3,60	13,0	6,97	32,2
	5,0 cm	23,5	4,62	59,1	31,0	50,2	31395	3,6	13,0	6,9	34,3
	7,5 cm	23,0	4,79	53,3	29,8	50,8	29601	3,11	12,1	5,44	33,6
	10,0 cm	19,0	2,36	50,1	24,8	18,8	20957	2,49	11,0	6,05	27,4
	12,5 cm	22,6	3,98	52,3	28,7	43,8	27020	3,06	11,7	7,16	35,0
	15,0 cm	23,4	4,27	52,7	29,3	44,1	26815	3,12	12,2	6,59	34,8
	17,5 cm	25,2	4,72	55,5	28,8	50,9	26431	3,54	12,5	8,62	39,8
	20,0 cm	24,7	4,72	52,1	27,6	52,3	26750	3,34	12,5	8,64	36,9
	22,5 cm	22,7	4,48	47,9	26,5	44,2	24786	3,07	12,0	6,84	36,7
Ponto 1 - Fevereiro 2014	2,5 cm	23,2	2,64	53,9	33,9	60,3	23855	3,95	13,6	6,63	34,6
	5,0 cm	26,0	6,25	45,4	29,5	86,5	19966	4,04	12,3	5,38	39,8
	7,5 cm	26,4	7,22	42,0	29,2	95,5	15981	3,86	11,1	6,73	53,0
	10,0 cm	25,9	8,46	40,5	27,1	84,0	16017	3,85	11,5	4,51	41,3
	12,5 cm	18,6	5,47	25,8	17,5	65,4	9725	2,32	7,59	1,30	30,0
	15,0 cm	20,7	6,44	33,1	21,0	96,3	11191	3,10	8,72	0,41	31,7
	17,5 cm	26,6	6,04	35,4	24,2	71,4	9331	3,57	9,43	3,94	39,7
	20,0 cm	20,0	4,70	28,4	19,5	56,4	7315	2,66	7,62	3,93	31,6
	Ponto 1 - Agosto 2014	2,5 cm	18,3	3,43	62,5	35,0	71,1	27805	4,66	14,6	10,7
5,0 cm		21,8	3,93	62,0	34,9	72,6	24763	5,67	14,4	8,16	36,7
7,5 cm		18,6	2,43	62,6	35,4	58,9	25210	4,46	14,1	8,95	35,5
10,0 cm		18,5	5,94	58,4	32,3	59,3	21879	4,47	14,3	5,97	36,3
12,5 cm		18,0	6,60	54,7	28,8	61,3	21719	4,17	13,9	6,49	37,7
15,0 cm		17,2	8,26	50,0	31,9	52,8	19772	3,59	12,1	3,58	40,7
17,5 cm		18,0	6,06	39,0	31,3	116	10882	3,62	10,1	0,16	36,0
20,0 cm		31,9	6,16	65,3	36,5	162	13018	8,47	12,3	4,79	59,5
22,5 cm		30,7	5,61	55,9	35,0	103	13702	5,60	12,1	3,25	54,9
Ponto 2 - Fevereiro 2014	2,5 cm	32,5	3,39	67,9	47,5	69,0	29643	6,32	19,7	4,10	49,1
	5,0 cm	45,9	1,71	64,0	44,6	79,0	30436	6,35	20,0	6,69	53,3
	7,5 cm	36,7	3,31	70,3	46,3	71,6	27637	6,48	19,9	8,12	51,1
	10,0 cm	37,4	3,53	67,1	45,9	50,4	28771	6,18	19,6	6,89	47,9
	12,5 cm	50,0	4,18	66,9	47,8	71,9	26867	6,85	20,2	4,66	53,2
	15,0 cm	28,1	5,28	50,0	36,6	71,5	24306	4,68	14,9	2,70	41,5
	17,5 cm	31,5	2,97	60,0	44,1	69,6	24571	5,65	17,8	5,18	47,8
	20,0 cm	31,1	3,03	57,7	43,6	49,7	19257	5,55	17,8	5,86	47,6
	22,5 cm	32,8	4,53	58,3	44,3	58,8	23551	5,99	19,1	6,89	52,1

Tabela 12 – Continuação.

Ponto 1 - Agosto 2013	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	0,42	8,00	1,11	0,072	0,37	3,04	56,4	24,1	11,9	3,72
	5,0 cm	1,05	4,03	1,08	0,053	0,36	2,32	68,4	29,0	11,4	3,87
	7,5 cm	0,80	6,27	0,96	0,049	0,34	2,40	69,7	33,4	11,0	3,62
	10,0 cm	0,29	1,60	0,91	0,045	0,32	2,46	31,0	22,5	14,1	2,67
	12,5 cm	0,35	7,31	0,91	0,048	0,32	2,49	52,9	30,6	13,4	3,69
	15,0 cm	0,29	4,74	1,02	0,061	0,35	2,68	61,4	28,0	14,4	3,90
	17,5 cm	0,96	5,48	1,04	0,080	0,35	3,06	70,5	29,3	15,3	4,25
	20,0 cm	1,43	6,86	0,96	0,073	0,34	2,94	79,3	31,4	14,0	4,12
22,5 cm	0,11	6,33	0,86	0,043	0,34	2,63	63,7	29,6	14,0	3,70	
Ponto 1 - Fevereiro 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	2,19	7,96	0,75	0,093	0,22	3,43	137	27,2	16,5	3,06
	5,0 cm	1,72	23,4	0,72	0,088	0,19	4,08	219	26,2	15,2	4,60
	7,5 cm	1,85	32,1	0,66	0,099	0,15	4,32	258	25,5	14,8	3,89
	10,0 cm	1,65	34,4	0,64	0,094	0,15	4,28	267	25,0	16,9	4,01
	12,5 cm	1,31	36,9	0,46	0,062	0,098	3,23	286	19,6	15,3	3,45
	15,0 cm	1,40	38,1	0,41	0,096	0,11	3,59	285	24,1	14,3	3,25
	17,5 cm	1,43	35,0	0,54	0,089	0,10	4,43	240	26,0	19,9	5,40
	20,0 cm	0,41	35,2	0,47	0,069	0,09	3,45	232	22,3	20,9	3,89
Ponto 1 - Agosto 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	0,47	5,07	0,60	0,073	0,25	2,05	158	49,2	9,60	3,55
	5,0 cm	0,43	2,19	0,81	0,093	0,28	2,60	175	60,6	9,95	4,52
	7,5 cm	0,50	11,9	0,60	0,085	0,23	2,21	178	48,3	14,6	4,08
	10,0 cm	0,70	7,10	0,54	0,079	0,22	2,23	149	49,2	13,9	3,64
	12,5 cm	1,90	9,54	0,43	0,13	0,18	1,97	155	55,5	13,2	3,89
	15,0 cm	0,53	25,7	0,76	0,18	0,15	2,79	139	42,0	15,0	4,38
	17,5 cm	0,37	45,5	0,83	0,16	0,11	3,86	311	25,8	16,0	4,49
	20,0 cm	0,054	39,9	0,88	0,23	0,13	6,17	285	42,7	18,8	6,27
22,5 cm	0,20	31,4	0,81	0,17	0,12	6,16	189	25,4	21,6	3,40	
Ponto 2 - Fevereiro 2014	Profundidade	<b>As</b>	<b>Sr</b>	<b>Mo</b>	<b>Cd</b>	<b>Sb</b>	<b>Cs</b>	<b>Ba</b>	<b>Pb</b>	<b>Th</b>	<b>U</b>
	2,5 cm	0,98	19,2	0,74	0,066	0,38	5,76	123	17,5	21,4	2,94
	5,0 cm	0,68	20,2	1,09	0,12	0,48	7,93	129	18,0	25,3	5,13
	7,5 cm	1,01	23,9	0,95	0,083	0,43	6,19	145	19,7	21,9	3,12
	10,0 cm	1,33	16,6	1,29	0,083	0,44	6,67	112	16,7	22,4	2,98
	12,5 cm	0,83	23,0	1,44	0,13	0,52	8,78	130	15,2	32,5	4,51
	15,0 cm	<0,05	22,9	0,54	0,059	0,31	5,02	139	16,5	14,5	3,12
	17,5 cm	<0,05	15,6	0,98	0,075	0,37	5,98	127	17,5	18,5	2,81
	20,0 cm	<0,05	18,7	1,03	0,069	0,37	6,04	110	10,0	18,9	2,24
22,5 cm	<0,05	20,0	0,97	0,064	0,40	6,48	116	11,4	20,1	2,54	

## ANEXO F – RESULTADOS OBTIDOS EM CAMPO, ÂNIONS E NUTRIENTES; E RESULTADOS DOS ELEMENTOS NAS FRAÇÕES TOTAL E DISSOLVIDA DAS AMOSTRAS DA COLUNA DE ÁGUA E ÁGUA INTERSTICIAL.

Tabela 1 - Resultados obtidos em campo, ânions e nutrientes determinados nas amostras da coluna de água (água circulante) do reservatório de Jurumirim.

Parâmetro	Ponto 01 (Janeiro 2013)					Ponto 01 (Julho 2013)					Ponto 01 (Janeiro 2014)					Ponto 01 (Julho 2014)				
	superf.	8	15	22	30	superf.	8	15	23	30,8	superf.	8	16	24	31	superf.	7	14	21	27
Profundidade (m)																				
Transparência (m)	3,00	--	--	--	--	2,20	--	--	--	--	3,00	--	--	--	--	3,60	--	--	--	--
OD (mg L <sup>-1</sup> )	7,22	7,15	7,11	3,75	2,74	8,31	8,25	8,19	8,12	6,51	7,41	7,34	5,40	3,82	<0,21	8,67	8,61	8,56	8,50	0,68
Condutividade (µS cm <sup>-1</sup> )	52	53	53	54	55	53	53	53	53	53	53	53	53	54	213	53	53	53	53	136
E <sub>H</sub> (mV)	346	343	344	333	230	323	316	309	290	270	309	318	332	298	110	300	304	307	310	90
pH	7,64	7,61	7,58	6,14	6,54	7,44	7,44	7,42	7,34	6,88	7,96	7,95	7,27	6,93	7,20	7,70	7,66	7,68	7,68	7,48
Temperatura (°C)	24,4	24,4	24,4	23	22,9	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	27,3	27,2	23,9	22,7	22,0	18,6	18,6	18,6	18,6	18,8
COD (mg L <sup>-1</sup> )	2,18	2,3	1,87	1,64	2,68	2,26	2,35	2,41	2,47	4,30	1,92	2,42	1,50	2,72	4,15	1,39	1,30	1,43	2,25	6,12
COT (mg L <sup>-1</sup> )	2,20	1,93	1,92	1,86	4,01	2,38	2,47	2,42	2,34	4,65	2,90	2,70	2,15	2,76	20,10	1,71	1,65	1,79	2,78	6,85
Bicarbonato (mg L <sup>-1</sup> )	21,7	22,7	22,4	22,7	18,7	25,6	25,2	25,9	25,8	21,4	23,0	20,0	24,0	20,1	24,9	28,9	29,3	28,2	22,5	23,1
Cloreto (mg L <sup>-1</sup> )	2,02	1,95	1,94	1,94	1,98	1,83	1,81	1,82	1,86	1,81	2,12	2,15	2,14	2,11	2,10	2,03	3,46	2,19	2,26	2,21
Fluoreto (mg L <sup>-1</sup> )	<0,01	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	NA	NA	NA	NA	NA	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Sulfato (mg L <sup>-1</sup> )	1,01	<1,00	<1,00	<1,00	1,04	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	1,16	<1,00	<1,00	<1,00	1,08	1,05	<1,00	1,06	<1,00	1,08	1,41
Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22	0,23	0,29	0,27	0,26	0,22	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Nitrito (mg L <sup>-1</sup> )	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
N. Amoniacal – N-NH <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,11	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,10	0,15	0,17	<0,10	0,11	0,49	0,14	<0,10	<0,10	<0,10
NKT (mg L <sup>-1</sup> )	0,59	<0,50	<0,50	<0,50	1,21	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	1,30	0,65	0,56	<0,50	0,50	2,86	0,90	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50

Tabela 1 – Continuação.

Parâmetro	Ponto 02 (Janeiro 2013)					Ponto 03 (Julho 2013)		
	superfície	8	17	25	33,5	superfície	11	23,8
Profundidade (m)	3,50	--	--	--	--	1,10	--	--
Transparência (m)	3,50	--	--	--	--	1,10	--	--
OD (mg L <sup>-1</sup> )	7,20	7,09	7,01	2,54	<0,21	8,11	8,06	7,32
Condutividade (µS cm <sup>-1</sup> )	53	52	52	55	60	81	83	85
E <sub>H</sub> (mV)	340	337	336	346	213	310	316	210
pH	7,64	7,60	7,57	6,49	6,75	7,68	7,31	6,72
Temperatura (°C)	25,0	24,7	24,7	22,3	21,7	19,7	19,1	19,1
COD (mg L <sup>-1</sup> )	1,97	1,81	1,64	1,67	2,89	3,18	3,14	3,71
COT (mg L <sup>-1</sup> )	2,00	1,87	1,72	1,72	4,50	3,45	3,25	3,96
Bicarbonato (mg L <sup>-1</sup> )	23,2	22,7	24,0	24,9	24,8	25,2	26,4	22,5
Cloreto (mg L <sup>-1</sup> )	1,88	1,87	1,88	1,86	1,74	1,83	1,80	1,80
Fluoreto (mg L <sup>-1</sup> )	<0,10	<1,00	<0,10	<0,10	<0,10	NA	NA	NA
Sulfato (mg L <sup>-1</sup> )	<1,00	<1,00	1,03	1,01	1,06	<1,00	<1,00	<1,00
Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	<0,20	<0,20	0,22	0,21	<0,20	0,23	0,23	1,73
Nitrito (mg L <sup>-1</sup> )	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,10	<0,10	<0,10
N. Amoniacal – N-NH <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
NKT (mg L <sup>-1</sup> )	<0,50	<0,007	0,52	<0,50	1,23	0,53	<0,50	<0,50

NA - Não analisado

Tabela 2 - Resultados obtidos em campo, ânions e nutrientes determinados nas amostras da coluna de água (água circulante) do reservatório de Promissão.

Parâmetro	Ponto 01 - Janeiro 2013					Ponto 01 - Julho 2013					Ponto 01 - Janeiro 2014					Ponto 01 - Julho 2014					Ponto 2		
	Super.	7	14	21	27,6	Super.	6	13	19	26	Super.	5	11	16	22	Super.	5	11	16	21	Super.	11	22
Profundidade (m)	3,0	--	--	--	--	3,2	--	--	--	--	3,2	--	--	--	--	5,0	--	--	--	--	3,0	--	--
Transparência (m)	3,0	--	--	--	--	3,2	--	--	--	--	3,2	--	--	--	--	5,0	--	--	--	--	3,0	--	--
OD (mg L <sup>-1</sup> )	6,24	6,08	5,97	5,91	1,74	7,16	7,09	7,02	6,90	0,31	8,12	8,09	6,92	1,26	<0,21	8,09	8,01	7,87	7,81	0,28	8,73	3,90	<0,21
Condutividade (µS cm <sup>-1</sup> )	163	163	162	162	162	158	158	158	158	257	168	168	166	163	279	193	193	193	193	214	175	177	507
E <sub>H</sub> (mV)	337	331	319	312	108	340	348	339	342	158	353	353	363	219	133	310	312	316	319	188	391	260	11
pH	7,62	7,57	7,53	7,48	7,48	7,48	7,42	7,47	7,47	6,91	8,81	8,84	8,35	7,48	6,87	7,99	7,93	7,9	7,9	7,34	9,04	7,47	7,05
Temperatura (°C)						23,4	22,4	22,4	22,4	22,5	29,1	29,1	28,9	26,7	26,8	22,5	20,6	20,6	20,6	20,8	30,0	28,4	26,9
COD (mg L <sup>-1</sup> )	2,87	2,67	2,57	2,77	3,76	3,48	3,64	3,53	3,4	3,5	2,56	2,38	2,08	2,10	1,91	2,72	2,62	2,76	2,83	2,54	3,02	2,75	3,74
COT (mg L <sup>-1</sup> )	2,98	2,83	2,75	2,97	4,11	3,51	3,4	3,51	3,8	3,4	3,82	4,02	4,27	3,69	2,96	3,27	3,14	3,09	3,3	3,04	4,59	4,13	52,8
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> ) (mg L <sup>-1</sup> )	43,8	39,5	39,4	38,8	33,5	50,3	47,3	46,7	45,2	47,8	38,0	32,4	33,7	38,2	49,0	55,1	57,7	58,5	57,4	57,7	30,6	40,0	48,8
Cloreto (mg L <sup>-1</sup> )	14,7	14,6	14,6	14,6	14,6	12,4	12,5	12,4	12,4	12,3	15,4	15,5	15,4	14,9	15	18,3	18,2	18,2	18,2	18,3	16,3	16,7	16,2
Fluoreto (mg L <sup>-1</sup> )	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	NA	NA	NA	NA	NA	0,22	0,23	0,22	0,24	0,27	0,18	0,19	0,19	0,18	0,19	0,23	0,23	0,22
Sulfato (mg L <sup>-1</sup> )	13,3	13,5	13,5	13,5	13,2	11,4	11,4	11,4	11,4	11,5	13,1	13,1	13,1	12,9	13,2	13,2	13,9	13,4	13,3	13,2	13,4	13,7	13,8
Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	1,06	1,06	1,06	1,06	1,05	0,99	1,00	0,98	0,98	0,97	1,26	1,25	1,25	1,23	0,83	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	1,33	1,50	1,07
Nitrito (mg L <sup>-1</sup> )	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
N. Amoniacal N-NH <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	<0,10	<0,10	<0,10	0,11	<0,10	0,20	0,13	<0,10	<0,10	0,12	0,68	0,27	0,19	0,16	0,19	0,14	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,16	0,14	2,56
NKT (mg L <sup>-1</sup> )	0,83	0,69	0,68	0,7	0,9	0,57	0,57	0,52	0,52	0,67	1,28	<0,50	0,63	0,58	0,88	0,63	0,55	0,55	0,55	0,69	0,7	0,67	51,6

Tabela 3 - Resultados obtidos em campo, ânions e nutrientes determinados nas amostras da coluna de água (água circulante) do reservatório de Ponte Nova.

Parâmetro	Ponto 1 - Agosto de 2013					Ponto 1 - Fevereiro de 2014					Ponto 1 - Agosto de 2014					Ponto 2 - Fevereiro de 2014		
	superf.	4,0	8,0	12,0	16,0	superf.	4,0	8,0	12,0	16,0	superf.	3,0	6,0	10,0	14,0	superf.	5,0	10,0
Profundidade (m)																		
Transparência (m)	2,6					2,0					2,7					1,9		
OD (mg L <sup>-1</sup> )	9,10	9,24	8,26	7,29	0,54	7,02	6,78	3,52	0,43	0,23	8,19	8,12	7,22	5,00	3,65	6,97	6,66	0,39
Condutividade (µS cm <sup>-1</sup> )	23	23	24	24	75	25	25	24	47	72	25	25	25	25	39	25	25	84
E <sub>H</sub> (mV)	405	389	377	391	286	382	375	391	232	150	364	384	393	404	278	365	354	229
pH	7,36	7,45	6,81	6,63	6,44	8,17	7,25	6,83	6,40	6,38	6,79	6,56	6,32	6,03	6,39	7,08	7,08	6,53
Temperatura (°C)	20,7	18,5	17,8	18,0	17,5	29,5	28,9	26,7	21,9	21,9	20,4	18,7	18,1	17,9	18,0	30,5	28,9	25,5
COD (mg L <sup>-1</sup> )	3,07	3,54	3,11	2,81	8,34	5,69	4,84	4,64	4,73	6,04	3,25	2,37	2,40	3,11	2,59	4,91	4,93	5,6
COT (mg L <sup>-1</sup> )	3,46	3,83	3,54	4,09	9,76	6,72	6,69	6,35	7,31	8,41	4,85	4,66	4,23	4,03	8,8	6,82	7,46	9,58
Bicarbonato (mg L <sup>-1</sup> )	9,51	7,98	10,98	4,22	7,73	8,39	8,08	8,34	15,2	30,5	3,56	4,17	5,59	6,81	6,10	1,17	9,25	29,6
Cloreto (mg L <sup>-1</sup> )	2,67	4,06	3,55	2,87	2,83	2,61	2,56	2,57	2,57	2,46	2,52	2,54	2,52	2,51	2,47	2,51	2,58	2,57
Fluoreto (mg L <sup>-1</sup> )	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Sulfato (mg L <sup>-1</sup> )	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	2,24	1,23	1,29	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Nitrito (mg L <sup>-1</sup> )	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
N. Amoniacal - N-NH <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	0,42	0,22	0,14	0,16	0,22	<0,10	<0,10	<0,10	0,27	0,78	0,15	0,15	0,16	0,18	0,21	0,16	0,12	0,47
NKT (mg L <sup>-1</sup> )	0,64	0,71	0,66	0,73	3,42	1,61	1,37	0,86	1,42	2,19	0,57	0,58	0,59	0,58	1,12	1,15	1,05	1,75

Tabela 4 - Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) da coluna de água (água circulante) do reservatório de Jurumirim – Ponto 1 – Janeiro 2013.

PROFUNDIDADE	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
superf.(total)	126	226	<5,0	1,69	4450	1676	2222	2904	NA	29,5	0,013	0,10	0,19	0,52
superf. (dissolv.)	55,8	68,1	<5,0	1,68	4380	1563	2076	2709	NA	26,6	<0,005	0,05	0,12	0,50
15,0 (total)	228	252	<5,0	1,73	4580	1610	2130	2813	NA	27,1	0,008	0,07	0,18	0,35
15,0 (dissolv.)	59,2	61,4	<5,0	1,73	3637	1450	1830	2363	NA	22,9	<0,005	0,04	0,10	0,30
22,0 (total)	342	268	70,0	1,89	4595	1609	2168	3222	NA	37,1	0,013	0,27	0,15	0,46
22,0 (dissolv.)	68,2	77,1	<5,0	1,88	3918	1470	1947	2888	NA	34,4	<0,005	0,17	0,05	0,43
29,0 (total)	13476	13291	1135	8,88	5192	2130	2501	3108	NA	92,3	0,75	1,35	5,86	1,42
29,0 (dissolv.)	35,8	38,3	<5,0	1,45	4876	1682	2166	3209	NA	26,7	<0,005	0,21	0,25	0,18
PROFUNDIDADE	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U
superf.(total)	2,75	0,07	0,048	0,02	NA	0,71	22,9	8,73	0,28	0,84	0,020	0,62	0,019	0,019
superf. (dissolv.)	1,30	0,07	0,028	0,02	NA	0,21	22,6	6,83	0,26	0,82	0,015	0,46	0,014	0,011
15,0 (total)	6,49	0,07	0,030	0,02	NA	0,94	23,6	2,66	0,20	0,89	0,012	0,65	0,013	0,017
15,0 (dissolv.)	0,79	0,07	0,019	0,02	NA	0,34	22,6	1,29	0,18	0,83	0,008	0,44	0,013	0,011
22,0 (total)	7,45	0,05	0,034	0,03	NA	1,07	22,9	7,76	0,21	0,71	0,010	0,73	0,014	0,020
22,0 (dissolv.)	1,63	0,05	0,006	0,02	NA	0,38	22,7	3,68	0,19	0,72	0,007	0,49	0,014	0,012
29,0 (total)	6,24	0,04	0,034	0,02	NA	3,28	26,7	9,67	0,36	1,26	0,024	0,85	0,179	0,178
29,0 (dissolv.)	1,58	0,03	0,003	0,01	NA	0,02	23,4	0,92	0,16	0,82	0,006	0,44	0,010	0,006

Obs. Os frascos referentes à amostra da profundidade de 8,0 metros foram danificados no transporte.

Tabela 5 - Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) da coluna de água (água circulante) do reservatório de Jurumirim – Ponto 1 – Julho de 2013.

PROFUNDIDADE	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni	
superf.(total)	342	274	5,88	4,40	4960	1560	1970	2570	<20,0	33,4	0,09	0,50	0,89	0,46	
superf. (dissolv.)	142	189	1,48	1,79	4350	1450	1870	2280	< 7,0	22,1	0,03	0,14	0,34	0,26	
8,0 (total)	310	264	5,43	3,79	5070	1590	1950	2550	<20,0	35,8	0,08	0,46	0,78	0,53	
8,0 (dissolv.)	4,85	206	1,48	1,72	4350	1460	1900	2240	< 7,0	22,3	0,03	0,17	0,35	0,24	
15,0 (total)	336	174	6,57	4,35	4900	1640	2000	2520	<20,0	28,7	0,09	0,48	0,84	0,47	
15,0 (dissolv.)	159	167	1,56	1,70	4310	1420	1890	2210	< 7,0	22,2	0,02	0,12	0,31	0,23	
23,0 (total)	412	192	10,1	5,10	4820	1590	1960	2770	110	38,0	0,13	0,57	1,02	0,61	
23,0 (dissolv.)	154	188	3,11	4,13	4330	1440	1900	2180	< 7,0	22,0	0,03	0,14	0,42	0,24	
30,0 (total)	5073	5442	488	35,4	6870	2280	2470	2910	360	149	3,53	7,69	22,1	5,97	
30,0 (dissolv.)	68,8	142	145	1,09	3900	1400	1790	2170	10,0	28,3	0,15	0,06	0,36	0,23	
PROFUNDIDADE	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
superf.(total)	0,96	0,06	0,013	0,02	0,07	0,13	30,1	3,80	0,41	1,72	0,012	1,01	0,064	0,022	<0,05
superf. (dissolv.)	0,65	0,06	0,015	0,02	0,02	0,04	29,5	5,94	0,16	1,41	0,005	0,64	0,023	0,013	<0,05
8,0 (total)	1,52	0,06	0,004	0,02	0,07	0,13	30,1	4,36	0,37	1,63	0,010	0,98	0,058	0,021	<0,05
8,0 (dissolv.)	0,67	0,06	0,004	0,02	0,02	0,02	29,6	2,63	0,16	1,41	<0,004	0,66	0,023	0,014	<0,05
15,0 (total)	0,94	0,06	0,005	0,02	0,07	0,13	29,6	2,61	0,41	1,63	0,013	0,97	0,064	0,022	<0,05
15,0 (dissolv.)	0,62	0,06	0,005	0,02	0,02	0,01	29,2	3,31	0,15	1,37	0,004	0,58	0,021	0,013	<0,05
23,0 (total)	1,41	0,07	0,251	0,02	0,08	3,26	31,9	6,09	0,47	1,72	0,015	1,09	0,074	0,026	<0,05
23,0 (dissolv.)	0,66	0,06	0,014	0,02	0,02	0,03	29,4	5,99	0,14	1,36	<0,004	0,62	0,021	0,014	<0,05
30,0 (total)	15,7	0,05	0,065	0,04	0,60	6,70	37,8	36,8	5,01	6,68	0,062	11,7	1,97	0,61	<0,05
30,0 (dissolv.)	0,50	0,06	0,002	0,02	0,02	0,01	26,8	2,11	0,11	1,25	<0,004	0,81	0,017	0,015	<0,05

Tabela 6 - Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) da coluna de água (água circulante) do reservatório de Jurumirim – Ponto 1 – Janeiro de 2014.

PROFUNDIDADE	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni	
superf.(total)	152	266	2,02	1,20	4550	1530	1880	2520	10,0	26,1	0,025	0,32	0,32	0,23	
superf. (dissolv.)	71,1	128	0,47	0,86	3850	1150	1810	1890	< 7,0	22,6	0,014	0,32	0,19	0,19	
8,0 (total)	143	257	2,00	1,15	4440	1500	1970	2590	10,0	27,5	0,023	0,28	0,32	0,23	
8,0 (dissolv.)	55,8	131	0,48	0,82	3880	1140	1790	1900	< 7,0	22,9	0,012	0,18	0,19	0,20	
16,0 (total)	130	269	2,00	1,27	4310	1570	1930	2570	10,0	27,8	0,025	0,30	0,29	0,23	
16,0 (dissolv.)	59,5	125	0,71	0,83	3940	1210	1810	1920	< 7,0	24,1	0,013	0,24	0,12	0,22	
24,0 (total)	351	423	8,72	1,54	4666	1710	2140	2760	20,0	32,2	0,040	0,37	0,38	0,33	
24,0 (dissolv.)	60,0	140	3,95	0,89	4130	1200	1880	1930	< 7,0	25,7	0,015	0,23	0,13	0,20	
31,0 (total)	3009	12920	1216	38,4	6380	4580	4240	2800	710	250	8,01	11,1	49,4	8,10	
31,0 (dissolv.)	34,8	140	252	0,82	3870	1160	1820	1910	9,0	31,6	0,16	0,21	0,08	0,23	
PROFUNDIDADE	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
superf.(total)	1,17	0,06	0,007	0,02	0,02	0,08	28,3	0,47	0,25	1,21	0,008	0,66	0,005	0,022	<0,05
superf. (dissolv.)	0,59	0,06	0,006	0,02	0,02	<0,01	28,5	0,02	0,22	1,16	0,005	0,52	0,004	0,015	<0,05
8,0 (total)	0,67	0,06	<0,002	0,02	0,02	0,07	28,2	2,76	0,23	1,16	0,005	0,64	0,004	0,018	<0,05
8,0 (dissolv.)	0,59	0,06	<0,002	0,02	0,02	<0,01	28,0	2,48	0,19	1,15	<0,004	0,53	0,002	0,013	<0,05
16,0 (total)	1,30	0,05	<0,002	0,02	0,03	0,08	28,7	2,35	0,24	1,22	0,006	0,68	0,007	0,018	<0,05
16,0 (dissolv.)	0,67	0,05	<0,002	0,02	0,02	0,02	28,5	2,56	0,18	1,15	<0,004	0,51	0,003	0,013	<0,05
24,0 (total)	0,88	0,06	0,038	0,02	0,03	0,15	29,5	4,03	0,23	1,24	0,007	0,72	0,012	0,020	<0,05
24,0 (dissolv.)	0,71	0,06	0,005	0,02	0,02	<0,01	29,3	2,96	0,18	1,22	<0,004	0,48	0,004	0,011	<0,05
31,0 (total)	20,9	0,05	0,099	0,04	0,82	14,3	52,0	29,3	4,41	7,81	0,10	20,0	1,91	1,65	<0,05
31,0 (dissolv.)	0,70	0,06	0,002	0,02	0,02	<0,01	28,2	0,11	0,19	1,17	0,004	0,49	0,009	0,009	<0,05

Tabela 7 - Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) da coluna de água (água circulante) do reservatório de Jurumirim – Ponto 1 – Julho de 2014.

PROFUNDIDADE	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni	
superf. (total)	43,3	106	4,05	0,92	4770	1700	1990	3150	< 10,0	27,6	0,015	0,11	0,19	0,28	
superf. (dissolv.)	11,0	29,6	0,43	0,76	4240	1430	1920	2660	< 7,0	22,6	0,009	0,05	0,09	0,17	
7,0 (total)	40,3	104	3,98	0,88	4700	1710	2120	3290	< 10,0	26,7	0,017	0,08	0,20	0,28	
7,0 (dissolv.)	9,62	29,5	0,42	0,75	4210	1400	1920	2740	< 7,0	21,8	0,010	0,05	0,13	0,25	
14,0 (total)	42,2	106	3,68	0,92	4710	1610	1980	3050	< 10,0	26,5	0,016	0,09	0,17	0,20	
14,0 (dissolv.)	10,0	27,4	0,26	0,70	4340	1450	1960	2770	< 7,0	23,1	0,010	0,05	0,10	0,21	
21,0 (total)	43,9	114	4,19	0,90	4800	1620	2060	3030	< 10,0	27,4	0,019	0,08	0,18	0,19	
21,0 (dissolv.)	9,8	27,5	0,27	0,67	4210	1380	1860	2550	< 7,0	21,9	0,007	0,04	0,09	0,17	
27,0 (total)	475	2615	224	8,54	5190	2900	2860	2920	320	114	1,19	1,97	8,16	1,17	
27,0 (dissolv.)	11,6	69,7	106	0,70	3950	1410	1820	2480	< 7,0	23,0	0,036	0,04	0,14	0,18	
PROFUNDIDADE	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
superf. (total)	0,75	0,06	0,006	0,02	0,02	0,08	30,5	1,76	0,16	1,33	0,035	0,58	0,007	0,011	<0,05
superf. (dissolv.)	2,82	0,06	0,002	0,02	0,01	0,02	30,4	1,44	0,13	1,27	0,011	0,50	<0,001	0,008	<0,05
7,0 (total)	0,56	0,06	<0,002	0,02	0,02	0,02	31,5	8,27	0,14	1,27	0,005	0,60	<0,001	0,010	<0,05
7,0 (dissolv.)	0,49	0,06	<0,002	0,02	0,01	0,02	31,6	8,17	0,15	1,21	0,005	0,48	<0,001	0,008	<0,05
14,0 (total)	0,64	0,06	0,003	0,02	0,02	0,08	31,2	4,87	0,14	1,21	<0,004	0,54	<0,001	0,011	<0,05
14,0 (dissolv.)	0,57	0,06	0,003	0,02	0,01	<0,01	31,0	5,72	0,13	1,19	<0,004	0,46	<0,001	0,008	<0,05
21,0 (total)	0,49	0,06	<0,002	0,02	0,02	<0,01	31,2	5,54	0,14	1,19	<0,004	0,59	<0,001	0,010	<0,05
21,0 (dissolv.)	0,44	0,06	<0,002	0,02	0,01	0,02	30,8	2,97	0,12	1,19	<0,004	0,48	<0,001	0,008	<0,05
27,0 (total)	3,67	0,06	0,17	0,02	0,13	2,51	34,7	8,31	0,63	2,10	0,02	7,20	0,28	0,24	<0,05
27,0 (dissolv.)	0,54	0,07	<0,002	0,04	0,01	0,02	30,2	1,71	0,12	1,12	<0,004	0,52	0,003	0,009	<0,05

Tabela 8 - Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) da coluna de água (água circulante) do reservatório de Jurumirim – Ponto 2 – Janeiro de 2013.

PROFUNDIDADE	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni	
superf.(total)	154	155	<5,0	2,15	4742	1656	2167	2920	NA	24,0	0,022	0,23	0,18	0,68	
superf. (dissolv.)	54,9	39,1	<5,0	1,75	4601	1623	2095	2855	NA	22,8	0,014	0,09	<0,05	0,39	
8,0 (total)	304	220	<5,0	1,84	4655	1626	2133	2807	NA	28,1	0,023	0,14	0,19	0,41	
8,0 (dissolv.)	53,5	41,8	<5,0	1,72	4503	1577	2044	2741	NA	26,2	<0,005	0,09	<0,05	0,26	
17,0 (total)	183	186	<5,0	2,00	4663	1602	2061	3153	NA	25,7	0,016	0,16	0,16	0,33	
17,0 (dissolv.)	62,0	55,0	<5,0	1,93	4532	1578	2009	3072	NA	24,2	<0,005	0,11	<0,05	0,29	
25,0 (total)	246	193	<5,0	2,05	4882	1633	2163	2956	NA	25,1	0,013	0,14	0,13	0,42	
25,0 (dissolv.)	57,3	46,0	<5,0	1,85	4793	1614	2176	2902	NA	23,8	<0,005	0,10	<0,05	0,34	
33,0 (total)	8646	15229	1280	11,0	5704	1903	2614	3031	NA	96,2	1,44	1,47	10,40	1,52	
33,0 (dissolv.)	24,0	78,8	<5,0	0,75	4782	1627	2211	2977	NA	19,1	<0,005	0,10	<0,05	0,43	
PROFUNDIDADE	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
superf.(total)	2,06	0,08	0,013	0,02	NA	0,84	23,5	1,86	0,19	0,86	0,007	0,28	0,012	0,020	<0,05
superf. (dissolv.)	0,93	0,07	<0,002	0,02	NA	0,29	22,5	0,88	0,16	0,86	0,005	0,20	0,010	0,012	<0,05
8,0 (total)	3,99	0,06	0,006	0,02	NA	0,48	23,0	2,93	0,28	0,82	0,006	0,10	0,007	0,018	<0,05
8,0 (dissolv.)	0,78	0,06	<0,002	0,01	NA	0,15	22,6	1,19	0,25	0,81	0,005	<0,06	0,007	0,011	<0,05
17,0 (total)	6,73	0,07	0,075	0,03	NA	0,80	22,8	2,54	0,20	0,95	0,013	0,07	0,010	0,016	<0,05
17,0 (dissolv.)	1,28	0,06	0,043	0,03	NA	0,32	22,6	1,59	0,18	0,94	0,008	0,07	0,008	0,011	<0,05
25,0 (total)	6,88	0,06	0,016	0,02	NA	3,06	24,0	3,62	0,20	0,89	0,006	0,19	0,008	0,015	<0,05
25,0 (dissolv.)	1,76	0,06	0,011	0,02	NA	1,12	23,3	3,01	0,17	0,86	0,005	0,14	0,006	0,010	<0,05
33,0 (total)	9,53	0,05	0,017	0,02	NA	2,63	27,7	5,27	0,30	1,68	0,036	0,69	0,21	0,23	<0,05
33,0 (dissolv.)	1,96	0,04	<0,002	0,02	NA	1,14	22,4	0,93	0,06	0,85	0,004	<0,06	0,004	0,005	<0,05

Tabela 9 - Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) da coluna de água (água circulante) do reservatório de Jurumirim – Ponto 3 – Julho de 2013.

PROFUNDIDADE	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni	
superfície	566	338	6,23	6,77	4880	1670	1810	2290	30,0	30,9	0,15	0,87	1,48	0,72	
superfície	89,8	118	2,31	1,94	4260	1500	1750	1980	10,0	22,3	0,043	0,25	0,56	0,33	
12,0 (total)	1662	498	7,34	7,34	4780	1701	1831	2338	20,0	34,8	0,16	0,89	1,63	0,59	
12,0 (dissolv.)	203	125	2,81	2,81	4257	1554	1742	1985	10,0	22,5	0,048	0,26	0,57	0,33	
24,0 (total)	1487	1207	72,0	17,4	4950	1920	2000	2280	80,0	55,3	0,55	2,13	4,45	1,77	
24,0 (dissolv.)	61,9	123	11,4	1,71	4250	1530	1730	1970	9,0	22,2	0,040	0,22	0,53	0,31	
PROFUNDIDADE	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
superfície	1,35	0,06	0,003	0,04	0,12	0,34	28,9	6,65	0,80	1,61	0,020	1,50	0,16	0,049	<0,05
superfície	0,82	0,06	<0,002	0,02	0,02	0,10	28,7	3,00	0,31	1,21	0,005	0,98	0,066	0,030	<0,05
12,0 (total)	1,58	0,06	0,003	0,02	0,10	0,31	29,5	4,82	0,83	1,68	0,022	1,35	0,16	0,051	<0,05
12,0 (dissolv.)	0,83	0,05	<0,002	0,02	0,02	0,10	28,9	3,74	0,29	1,28	0,004	0,95	0,070	0,031	<0,05
24,0 (total)	4,24	0,05	0,011	0,03	0,27	1,27	30,2	29,42	1,62	2,54	0,045	3,82	0,48	0,12	<0,05
24,0 (dissolv.)	0,81	0,06	<0,002	0,02	0,02	0,10	28,2	2,29	0,27	1,16	0,004	1,00	0,062	0,030	<0,05

Tabela 10 - Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) de água intersticial do reservatório de Jurumirim – Ponto 1 – Janeiro de 2013.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
sup - 2,5 cm tot.	820	1027	1471	15,4	9988	1197	785	1596	<30,0	189	1,15	1,82	1,02	4,33
sup - 2,5 cm diss.	290	260	1430	6,04	9709	1159	449	1596	<30,0	187	1,11	1,43	<0,10	4,02
2,5 - 5,0 cm tot.	2100	2605	467	42,9	7553	1090	407	1554	<30,0	114	0,45	2,30	4,31	2,37
2,5 - 5,0 cm diss.	720	1236	415	17,3	7295	1084	339	1527	<30,0	107	0,35	1,55	1,32	2,24
5,0 - 7,5 cm tot.	2350	2321	572	60,4	5416	1480	781	2031	<30,0	149	0,43	2,72	4,13	3,68
5,0 - 7,5 cm diss.	150	460	513	12,4	5329	1368	710	1920	<30,0	141	0,23	1,67	0,39	2,69
7,5 - 10,0 cm tot.	2050	2214	750	47,2	6888	1307	533	1894	<30,0	118	0,38	2,92	4,16	3,03
7,5 - 10,0 cm diss.	730	803	707	18,3	6825	1220	428	1855	<30,0	112	0,29	2,05	1,04	2,83
10,0 - 12,5 cm tot.	1680	1842	389	40,5	3939	1515	657	1930	<30,0	123	0,41	1,87	3,43	2,84
10,0 - 12,5 cm diss.	390	530	383	12,9	3836	1510	598	1936	<30,0	121	0,29	0,91	0,48	2,06
12,5 - 15,0 cm tot.	2540	1891	1499	59,4	2783	787	311	986	<30,0	146	2,21	2,24	2,64	2,55
12,5 - 15,0 cm diss.	400	192	1389	6,53	2441	787	209	985	<30,0	130	2,03	0,87	<0,10	2,01
15,0 - 17,5 cm tot.	1330	1074	1012	31,0	2552	1000	279	1597	<30,0	92,8	0,57	1,55	1,68	2,40
15,0 - 17,5 cm diss.	290	198	473	6,97	2578	516	242	738	<30,0	42,3	0,47	1,16	<0,10	2,05
17,5 - 20,0 cm tot.	1298	1474	1248	25,7	2064	1002	249	1466	<30,0	86,6	1,06	1,42	1,43	5,62
17,5 - 20,0 cm diss.	380	339	1243	6,28	1931	1009	169	1468	<30,0	87,0	1,02	0,90	<0,10	1,97

Tabela 10 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U
sup - 2,5 cm tot.	2,01	0,02	0,025	0,02	0,18	0,13	17,3	10,0	0,86	6,07	0,03	0,13	0,31	0,044
sup - 2,5 cm diss.	1,35	0,02	0,024	<0,02	0,14	<0,03	16,9	9,25	0,71	5,70	<0,01	0,07	0,12	0,020
2,5 - 5,0 cm tot.	2,52	0,05	<0,005	0,09	0,17	0,39	11,2	6,01	1,16	6,83	0,06	0,43	0,54	0,10
2,5 - 5,0 cm diss.	1,66	0,05	<0,005	0,07	0,11	0,08	10,8	6,00	0,81	6,20	0,03	0,22	0,23	0,045
5,0 - 7,5 cm tot.	3,08	0,05	<0,005	0,06	0,21	0,48	15,7	9,73	1,33	6,91	0,07	0,41	0,52	0,12
5,0 - 7,5 cm diss.	1,65	0,05	<0,005	0,04	0,12	<0,03	15,1	8,52	0,87	6,32	0,02	0,06	0,16	0,034
7,5 - 10,0 cm tot.	3,51	0,04	<0,005	0,08	0,21	0,47	12,1	8,43	1,10	6,85	0,06	0,42	0,54	0,092
7,5 - 10,0 cm diss.	1,81	0,04	<0,005	0,06	0,13	0,06	12,1	8,38	0,84	6,37	0,03	0,08	0,28	0,049
10,0 - 12,5 cm tot.	2,03	0,04	<0,005	0,06	0,14	0,33	14,9	7,08	1,29	6,65	0,06	0,29	0,49	0,078
10,0 - 12,5 cm diss.	1,22	0,03	<0,005	0,04	0,08	<0,03	14,1	4,40	0,95	5,87	<0,01	0,07	0,17	0,032
12,5 - 15,0 cm tot.	2,52	0,02	<0,005	0,03	0,22	0,46	9,38	12,0	1,11	4,56	0,07	0,13	0,49	0,087
12,5 - 15,0 cm diss.	1,19	0,02	<0,005	<0,02	0,09	<0,03	9,11	10,4	0,45	3,47	0,02	0,06	0,16	0,021
15,0 - 17,5 cm tot.	1,63	0,02	<0,005	0,04	0,16	0,21	8,86	7,88	0,75	4,37	0,04	0,13	0,29	0,051
15,0 - 17,5 cm diss.	1,20	0,02	<0,005	0,03	0,12	<0,03	8,21	7,92	0,48	3,96	<0,01	<0,06	0,11	0,018
17,5 - 20,0 cm tot.	1,92	0,02	<0,005	0,04	0,15	0,27	7,45	7,91	0,62	3,84	0,04	0,09	0,26	0,043
17,5 - 20,0 cm diss.	1,19	0,02	<0,005	0,04	0,10	<0,03	7,38	7,81	0,41	3,52	0,02	<0,06	0,13	0,020

Tabela 11 - Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) de água intersticial do reservatório de Jurumirim – Ponto 1 – Julho de 2013.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
sup - 2,5 cm tot.	733	5201	164	48,2	3258	2140	830	2203	<30,0	147	0,43	1,66	5,30	2,89
sup - 2,5 cm diss.	133	98,4	134	9,07	2909	1830	846	2298	<30,0	124	0,20	0,59	0,40	2,52
2,5 - 5,0 cm tot.	9725	16740	288	51,2	1856	1822	739	1678	<30,0	124	0,94	2,94	13,3	2,50
2,5 - 5,0 cm diss.	77,3	72,8	198	6,08	1496	1322	437	1722	<30,0	67,1	0,29	0,29	0,45	1,67
5,0 - 7,5 cm tot.	9575	13920	331	44,5	2102	1828	822	1972	<30,0	134	0,60	2,43	11,0	2,69
5,0 - 7,5 cm diss.	56,4	56,3	258	5,70	1760	1615	518	2028	<30,0	85,8	0,15	0,30	0,35	1,84
7,5 - 10,0 cm tot.	1139	304	2831	9,87	4769	2316	1346	2492	<30,0	246	2,12	0,32	0,51	8,20
7,5 - 10,0 cm diss.	79,9	75,5	2771	2,91	4658	1962	1317	2610	<30,0	238	2,14	0,30	0,11	8,04
10,0 - 12,5 cm tot.	1204	7369	630	79,5	2054	1479	578	1962	<30,0	127	1,15	1,87	7,24	3,17
10,0 - 12,5 cm diss.	51,9	49,1	569	5,10	1839	1531	516	1944	<30,0	96,7	0,78	0,31	0,23	2,56
12,5 - 15,0 cm tot.	2275	9314	596	44,2	1685	1487	500	1736	<30,0	111	1,58	2,18	8,99	3,18
12,5 - 15,0 cm diss.	45,5	43,8	518	5,27	1463	1260	399	1753	<30,0	77,4	1,04	0,23	0,21	1,87
15,0 - 17,5 cm tot.	1383	6466	883	65,7	2133	1563	586	2058	<30,0	116	1,45	1,55	6,06	3,36
15,0 - 17,5 cm diss.	60,0	58,2	819	10,2	1893	1577	515	2086	<30,0	93,9	1,11	0,27	0,16	2,68
17,5 - 20,0 cm tot.	2545	9876	754	179	1451	1486	436	1836	<30,0	101	0,73	2,36	10,2	2,53
17,5 - 20,0 cm diss.	54,8	50,8	661	9,85	1290	1371	342	1840	<30,0	61,8	0,37	0,26	0,19	1,65
20,0 - 22,5 cm tot.	236	3761	1370	40,0	2124	1469	505	1714	<30,0	94,3	0,56	0,95	3,99	2,28
20,0 - 22,5 cm diss.	63,1	140	1314	7,38	1980	1596	479	1839	<30,0	82,9	0,41	0,20	0,19	2,12

Tabela 11 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U
sup - 2,5 cm tot.	5,22	0,10	0,047	<0,02	0,44	0,75	19,3	11,1	1,87	11,6	<0,01	1,56	0,19	0,18
sup - 2,5 cm diss.	2,93	0,10	0,044	<0,02	0,35	<0,03	18,2	8,04	1,92	10,8	<0,01	0,29	0,023	0,012
2,5 - 5,0 cm tot.	10,2	0,07	0,038	0,04	0,45	1,49	12,3	9,12	1,36	11,9	<0,01	2,98	0,37	0,49
2,5 - 5,0 cm diss.	1,21	0,05	0,028	0,04	0,27	<0,03	9,49	4,89	1,28	9,55	<0,01	0,24	<0,002	0,017
5,0 - 7,5 cm tot.	6,85	0,06	0,038	0,02	0,43	1,55	14,2	8,75	1,33	12,3	<0,01	2,29	0,25	0,43
5,0 - 7,5 cm diss.	1,12	0,04	0,036	0,02	0,29	<0,03	11,9	5,19	1,13	10,1	<0,01	0,18	<0,002	0,013
7,5 - 10,0 cm tot.	1,68	0,03	0,13	0,03	0,34	0,48	32,8	16,0	1,43	10,1	<0,01	0,26	0,045	0,041
7,5 - 10,0 cm diss.	1,45	0,04	0,15	0,02	0,31	<0,03	32,3	15,2	1,48	9,75	<0,01	0,11	0,005	0,012
10,0 - 12,5 cm tot.	5,94	0,05	0,080	<0,02	0,39	1,22	15,0	10,0	1,14	10,7	<0,01	1,99	0,12	0,29
10,0 - 12,5 cm diss.	1,26	0,03	0,071	<0,02	0,29	<0,03	13,2	9,06	1,06	9,34	<0,01	0,19	<0,002	0,015
12,5 - 15,0 cm tot.	5,35	0,04	0,064	0,04	0,34	1,82	12,3	12,1	0,97	9,55	<0,01	2,30	0,18	0,37
12,5 - 15,0 cm diss.	1,11	<0,02	0,033	0,03	0,23	<0,03	10,3	8,08	0,92	7,68	<0,01	0,18	<0,002	0,015
15,0 - 17,5 cm tot.	3,97	0,04	0,058	<0,02	0,36	1,14	15,0	10,9	0,99	9,30	<0,01	1,64	0,072	0,24
15,0 - 17,5 cm diss.	1,07	0,02	0,052	<0,02	0,27	<0,03	13,8	8,38	0,97	8,40	<0,01	0,26	<0,002	0,012
17,5 - 20,0 cm tot.	5,59	0,03	0,054	<0,02	0,39	2,07	11,1	11,7	0,82	9,45	<0,01	2,54	0,18	0,41
17,5 - 20,0 cm diss.	1,01	<0,02	0,039	<0,02	0,26	<0,03	9,11	9,31	0,76	7,65	<0,01	0,21	<0,002	0,009
20,0 - 22,5 cm tot.	2,59	0,04	0,098	<0,02	0,31	0,88	14,6	14,6	0,63	7,05	<0,01	1,16	0,031	0,15
20,0 - 22,5 cm diss.	2,87	0,03	0,057	<0,02	0,26	<0,03	13,7	8,83	0,66	6,23	<0,01	0,21	<0,002	0,012

Tabela 12 - Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) de água intersticial do reservatório de Jurumirim – Ponto 1 – Janeiro de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
sup - 2,5 cm tot.	161	183	9229	5,55	28600	26050	7370	3914	< 30,0	580	0,78	0,44	0,23	7,37
sup - 2,5 cm diss.	18,4	11,2	9102	3,25	28280	25810	7302	3904	< 30,0	571	0,77	0,19	<0,10	7,14
2,5 - 5,0 cm tot.	312	496	1630	11,9	23120	2559	4369	2964	< 30,0	325	0,17	0,66	0,18	4,58
2,5 - 5,0 cm diss.	75,3	67,4	1589	5,43	22910	2547	4342	2965	< 30,0	318	0,19	0,60	<0,10	4,44
5,0 - 7,5 cm tot.	337	416	6284	13,6	13790	2419	3587	2600	< 30,0	322	0,68	0,45	0,06	5,83
5,0 - 7,5 cm diss.	56,8	52,8	6232	6,59	13770	2457	3586	2539	< 30,0	319	0,65	0,45	<0,10	5,65
7,5 - 10,0 cm tot.	417	529	8032	15,5	18870	7619	5019	3184	< 30,0	630	2,18	0,49	0,11	12,9
7,5 - 10,0 cm diss.	53,7	28,8	8011	7,26	18740	7609	5027	3129	< 30,0	622	2,09	0,33	<0,10	12,7
10,0 - 12,5 cm tot.	337	923	1890	19,7	7833	3270	2095	2648	< 30,0	273	1,26	0,53	0,76	8,03
10,0 - 12,5 cm diss.	273	336	1926	11,1	7912	3269	2120	2645	< 30,0	272	1,23	0,48	<0,10	7,83
12,5 - 15,0 cm tot.	480	2455	164	18,5	1848	1552	500	1641	< 30,0	81,3	0,23	0,95	2,67	2,35
12,5 - 15,0 cm diss.	462	456	149	20,8	1780	1446	478	1642	< 30,0	71,5	0,19	0,77	0,57	2,15
15,0 - 17,5 cm tot.	300	1242	119	22,5	1413	1389	381	1646	< 30,0	65,7	0,17	0,60	1,58	1,86
15,0 - 17,5 cm diss.	297	445	117	15,6	1381	1402	383	1640	< 30,0	63,1	0,14	0,48	0,59	1,67
17,5 - 20,0 cm tot.	501	2343	255	23,7	1538	1383	422	1661	< 30,0	83,3	0,21	0,95	2,59	2,14
17,5 - 20,0 cm diss.	421	545	232	19,4	1460	1361	397	1682	< 30,0	75,4	0,16	0,83	0,69	1,90

Tabela 12 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U
sup - 2,5 cm tot.	2,70	0,04	0,17	0,07	0,25	0,07	179	12,5	1,25	6,07	<0,01	0,64	0,079	0,013
sup - 2,5 cm diss.	2,10	0,04	0,16	0,07	0,25	<0,03	177	11,8	1,25	5,71	<0,01	0,55	<0,002	0,002
2,5 - 5,0 cm tot.	1,85	<0,02	0,087	0,04	0,06	0,06	106	12,4	0,94	9,54	<0,01	0,65	0,037	0,020
2,5 - 5,0 cm diss.	1,84	<0,02	0,084	0,03	0,04	<0,03	107	13,7	0,90	9,24	<0,01	0,52	<0,002	0,004
5,0 - 7,5 cm tot.	1,97	0,02	0,12	0,06	0,06	0,04	81,6	13,9	1,34	11,1	<0,01	0,51	0,051	0,019
5,0 - 7,5 cm diss.	1,71	0,02	0,12	0,06	0,04	<0,04	81,4	12,2	1,30	10,8	<0,01	0,31	<0,002	0,009
7,5 - 10,0 cm tot.	2,84	0,03	0,29	0,03	0,25	0,12	119	31,3	2,45	12,9	<0,01	0,55	0,058	0,026
7,5 - 10,0 cm diss.	2,26	0,02	0,30	0,02	0,22	0,04	119	30,4	2,42	12,6	<0,01	0,32	<0,002	0,010
10,0 - 12,5 cm tot.	2,64	<0,02	0,14	0,04	0,40	0,17	48,9	17,6	1,79	13,5	<0,01	0,80	0,128	0,048
10,0 - 12,5 cm diss.	2,35	<0,02	0,13	0,04	0,37	0,06	48,5	17,1	1,69	13,3	<0,01	0,46	0,091	0,023
12,5 - 15,0 cm tot.	2,10	<0,02	0,019	0,04	0,31	0,26	11,8	5,02	0,99	11,9	<0,01	1,23	0,133	0,083
12,5 - 15,0 cm diss.	1,42	<0,02	0,016	0,04	0,28	0,10	11,8	4,00	0,95	11,7	<0,01	0,53	0,077	0,034
15,0 - 17,5 cm tot.	1,72	0,02	0,014	0,06	0,31	0,18	9,59	3,53	0,94	12,1	<0,01	0,69	0,130	0,062
15,0 - 17,5 cm diss.	1,40	0,02	0,011	0,05	0,29	0,09	9,53	2,34	0,94	11,8	<0,01	0,41	0,114	0,034
17,5 - 20,0 cm tot.	2,16	0,02	0,024	0,04	0,30	0,33	10,2	4,83	0,84	12,2	<0,01	1,18	0,141	0,085
17,5 - 20,0 cm diss.	1,60	0,02	0,017	0,04	0,27	0,13	10,2	4,43	0,84	11,9	<0,01	0,52	0,105	0,044

Tabela 13- Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) de água intersticial do reservatório de Jurumirim – Ponto 1 – Julho de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
sup - 2,5 cm tot.	454	3148	1577	18,6	2358	1552	723	2673	30,4	74,9	1,34	1,10	4,07	1,86
sup - 2,5 cm diss.	393	1365	1385	15,0	2141	1575	661	2402	< 30,0	63,9	1,11	0,95	1,09	1,80
2,5 - 5,0 cm tot.	486	1919	4012	39,3	3261	2231	965	3418	< 30,0	115	1,92	0,98	2,41	3,73
2,5 - 5,0 cm diss.	429	1484	3772	37,7	3090	2101	915	3385	< 30,0	104	1,88	0,94	1,14	3,42
5,0 - 7,5 cm tot.	579	2433	3227	35,0	2753	2180	760	3516	33,3	128	1,82	1,19	3,12	2,45
5,0 - 7,5 cm diss.	456	873	3282	20,5	2742	2160	776	3593	< 30,0	120	1,63	1,02	1,05	2,30
7,5 - 10,0 cm tot.	541	2748	2907	34,9	2340	2186	658	3366	33,3	113	1,69	1,55	3,01	2,74
7,5 - 10,0 cm diss.	475	735	2766	21,3	2359	2208	646	3393	< 30,0	100	1,45	0,66	0,37	2,44
10,0 - 12,5 cm tot.	563	1091	5571	25,9	3499	2141	1019	3373	< 30,0	166	3,40	0,91	0,83	3,52
10,0 - 12,5 cm diss.	419	614	5198	21,3	3263	2064	945	3317	< 30,0	153	3,18	0,47	0,20	3,36
12,5 - 15,0 cm tot.	401	2127	3137	32,4	2064	1670	533	2805	36,4	94,0	1,60	0,83	2,09	2,14
12,5 - 15,0 cm diss.	286	815	3214	18,5	2082	1626	532	2807	30,4	91,5	1,57	0,61	0,42	1,98
15,0 - 17,5 cm tot.	316	2849	2996	20,6	2222	1535	558	2784	30,0	85,7	2,23	0,84	1,70	2,32
15,0 - 17,5 cm diss.	231	198	2988	7,98	2187	1338	550	2780	< 30,0	85,0	2,00	0,30	<0,10	2,10
17,5 - 20,0 cm tot.	305	2562	7713	20,0	3284	1464	881	3084	38,3	105	2,45	0,64	1,45	2,46
17,5 - 20,0 cm diss.	261	631	7170	13,4	3093	1413	826	3050	35,5	95,4	2,28	0,36	<0,10	2,15

Tabela 13 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U
sup - 2,5 cm tot.	3,50	0,28	0,033	0,10	0,10	0,86	16,6	6,14	0,30	11,8	<0,01	3,78	0,14	0,23
sup - 2,5 cm diss.	2,36	0,07	0,022	0,10	0,07	0,21	14,9	6,19	0,31	11,0	<0,01	1,96	0,11	0,061
2,5 - 5,0 cm tot.	3,46	0,08	0,029	0,14	0,24	0,47	22,5	10,5	0,62	15,4	<0,01	2,89	0,48	0,11
2,5 - 5,0 cm diss.	3,29	0,08	0,026	0,14	0,24	0,47	20,9	10,4	0,60	15,5	<0,01	1,92	0,24	0,086
5,0 - 7,5 cm tot.	3,30	0,08	0,027	0,18	0,26	0,60	18,6	9,11	0,51	16,4	<0,01	3,22	0,20	0,13
5,0 - 7,5 cm diss.	6,68	0,06	0,027	0,18	0,20	0,30	18,5	9,12	0,45	15,3	<0,01	1,96	0,10	0,067
7,5 - 10,0 cm tot.	4,64	0,08	0,031	0,20	0,28	0,64	16,7	9,66	0,59	15,5	<0,01	2,92	0,21	0,13
7,5 - 10,0 cm diss.	3,37	0,06	0,031	0,20	0,21	0,16	15,8	9,46	0,60	14,7	<0,01	1,29	0,13	0,036
10,0 - 12,5 cm tot.	3,82	0,13	0,039	0,19	0,23	0,32	24,5	18,7	0,49	12,8	<0,01	2,33	0,38	0,065
10,0 - 12,5 cm diss.	2,15	0,09	0,034	0,19	0,21	0,16	22,7	8,94	0,41	12,3	<0,01	1,92	0,25	0,038
12,5 - 15,0 cm tot.	4,54	0,14	0,031	0,21	0,23	0,66	13,4	9,63	0,47	12,6	<0,01	2,86	0,30	0,14
12,5 - 15,0 cm diss.	3,89	0,10	0,025	0,21	0,18	0,23	13,6	8,37	0,38	11,8	<0,01	1,82	0,17	0,061
15,0 - 17,5 cm tot.	11,00	0,22	0,011	0,17	0,19	0,75	13,5	12,5	0,29	8,71	<0,01	3,10	0,39	0,13
15,0 - 17,5 cm diss.	2,87	0,03	0,011	0,14	0,15	0,06	14,0	10,5	0,18	8,08	<0,01	0,41	0,11	0,038
17,5 - 20,0 cm tot.	6,21	0,16	0,025	0,24	0,20	0,38	20,8	7,88	0,17	6,87	<0,01	2,17	0,54	0,095
17,5 - 20,0 cm diss.	3,93	0,11	0,019	0,24	0,20	0,22	19,4	7,00	0,16	7,08	<0,01	0,94	0,26	0,061

Tabela 14- Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) de água intersticial do reservatório de Jurumirim – Ponto 2 – Janeiro de 2013.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
sup - 2,5 cm tot.	224	290	1752	9,86	5735	3238	2688	2949	<30,0	212	2,71	0,47	<0,10	5,88
sup - 2,5 cm diss.	23,6	50,0	1726	3,05	5505	2807	2335	2524	<30,0	204	2,71	0,45	<0,10	5,95
2,5 - 5,0 cm tot.	1192	1830	603	21,1	1975	1808	755	2184	<30,0	143	1,25	1,24	2,04	2,94
2,5 - 5,0 cm diss.	68,6	90,0	545	3,43	1684	1691	738	2070	<30,0	136	1,06	0,44	<0,10	2,42
5,0 - 7,5 cm tot.	796	790	874	15,8	3021	1832	1051	2179	<30,0	191	1,61	1,01	1,35	3,50
5,0 - 7,5 cm diss.	90,5	70,0	870	3,50	3042	1799	988	2168	<30,0	190	1,55	0,46	<0,10	3,38
7,5 - 10,0 cm tot.	3193	2390	688	62,2	1572	1455	651	1862	<30,0	157	1,31	2,44	6,12	3,60
7,5 - 10,0 cm diss.	780	71	674	20,0	1544	1415	600	1848	<30,0	152	1,06	1,16	1,39	2,70
10,0 - 12,5 cm tot.	1231	980	1039	24,9	2370	1645	862	1980	<30,0	196	1,17	1,33	2,20	3,02
10,0 - 12,5 cm diss.	361	290	1031	9,05	2331	1642	823	1980	<30,0	193	1,13	0,85	0,25	3,06
12,5 - 15,0 cm tot.	297	370	3483	10,2	5533	2168	1697	2475	<30,0	335	7,17	0,69	0,17	7,17
12,5 - 15,0 cm diss.	28,5	50,0	2798	2,23	4438	1720	1384	1988	<30,0	269	5,67	0,35	<0,10	5,48
15,0 - 17,5 cm tot.	269	360	3242	9,76	4439	4056	2750	2643	<30,0	285	5,67	0,66	0,18	5,30
15,0 - 17,5 cm diss.	40,6	50,0	3441	2,63	4453	2020	1324	2326	<30,0	272	5,72	0,59	<0,10	5,13
17,5 - 20,0 cm tot.	194	550	1558	18,3	1984	1535	675	1971	<30,0	168	11,3	2,05	0,28	14,3
17,5 - 20,0 cm diss.	140	60,0	1545	15,7	1882	1516	631	1953	<30,0	167	2,30	0,53	<0,10	3,10

Tabela 14 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U
sup - 2,5 cm tot.	1,52	0,14	0,042	<0,02	0,19	<0,03	40,3	13,9	1,38	5,38	0,01	<0,10	0,10	0,018
sup - 2,5 cm diss.	1,45	<0,02	0,034	<0,02	0,18	<0,03	41,0	13,5	1,36	5,35	<0,01	<0,10	0,031	0,007
2,5 - 5,0 cm tot.	2,49	0,08	<0,005	0,02	0,16	0,23	15,1	11,7	0,99	5,78	0,03	0,11	0,24	0,061
2,5 - 5,0 cm diss.	1,30	0,07	<0,005	<0,02	0,10	<0,03	14,8	7,68	0,76	5,26	<0,01	<0,10	0,034	0,014
5,0 - 7,5 cm tot.	1,87	0,12	0,016	0,04	0,18	0,10	19,2	7,21	0,89	5,99	0,03	<0,10	0,33	0,040
5,0 - 7,5 cm diss.	1,24	<0,02	0,020	0,03	0,15	<0,03	19,2	7,18	0,76	5,21	<0,01	<0,10	0,074	0,014
7,5 - 10,0 cm tot.	5,45	0,08	<0,005	0,08	0,25	0,49	13,6	9,28	1,32	7,18	0,10	0,48	0,72	0,115
7,5 - 10,0 cm diss.	1,82	0,05	<0,005	0,07	0,16	0,13	13,2	9,6	0,73	5,94	0,034	<0,10	0,27	0,043
10,0 - 12,5 cm tot.	2,12	0,13	0,015	0,06	0,21	0,18	17,3	7,86	0,80	6,14	0,04	0,13	0,40	0,052
10,0 - 12,5 cm diss.	1,39	0,02	0,012	0,05	0,15	<0,03	17,3	7,66	0,66	5,50	0,018	<0,10	0,18	0,026
12,5 - 15,0 cm tot.	2,12	0,05	0,065	<0,02	0,22	0,05	33,8	12,6	0,80	5,45	0,02	0,17	0,24	0,028
12,5 - 15,0 cm diss.	1,29	0,02	0,057	<0,02	0,16	<0,03	26,8	10,7	0,56	4,07	<0,01	<0,10	0,056	0,008
15,0 - 17,5 cm tot.	1,49	0,08	0,052	<0,02	0,22	0,09	26,9	21,5	0,65	4,76	0,02	0,21	0,24	0,021
15,0 - 17,5 cm diss.	1,28	0,02	0,051	<0,02	0,19	0,04	27,9	21,4	0,57	4,41	<0,01	0,13	0,085	0,009
17,5 - 20,0 cm tot.	5,03	1,92	0,18	0,09	0,73	0,27	71,1	47,8	2,27	18,3	0,04	0,58	0,45	0,129
17,5 - 20,0 cm diss.	1,37	0,01	0,029	0,02	0,18	0,09	14,3	8,35	0,51	4,03	0,020	0,11	0,20	0,019

Tabela 15- Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) de água intersticial do reservatório de Jurumirim – Ponto 3 – Julho de 2013.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
sup - 2,5 cm tot.	357	530	2870	48,2	21010	5629	6808	4641	<30,0	933	0,34	1,41	0,57	17,2
sup - 2,5 cm diss.	64,2	28,1	2845	4,94	20950	5329	6800	4617	<30,0	928	0,33	0,50	<0,10	16,2
2,5 - 5,0 cm tot.	254	339	9196	51,2	14660	2541	4477	3113	<30,0	803	2,69	0,84	0,33	17,8
2,5 - 5,0 cm diss.	84,7	40,7	9391	3,96	14970	2475	4471	3131	<30,0	808	2,61	0,74	0,25	18,0
5,0 - 7,5 cm tot.	1318	1527	4588	44,5	7906	3729	2281	4259	<30,0	419	3,12	0,92	1,93	10,7
5,0 - 7,5 cm diss.	108	67,3	4427	4,97	7128	3597	2168	4138	<30,0	404	2,92	0,51	0,14	8,12
7,5 - 10,0 cm tot.	1601	1078	6461	9,87	11390	3343	3386	3692	<30,0	696	4,06	0,37	1,08	14,5
7,5 - 10,0 cm diss.	64,3	26,4	6389	4,38	11280	3272	3348	3610	<30,0	686	3,89	0,18	<0,10	14,1
10,0 - 12,5 cm tot.	344	469	3277	79,5	4212	1887	1278	2455	<30,0	239	2,72	0,27	0,52	5,86
10,0 - 12,5 cm diss.	52,6	45,4	3258	4,02	4116	1785	1254	2442	<30,0	236	2,67	0,25	0,11	5,68
12,5 - 15,0 cm tot.	200	310	9562	144	10460	2666	3079	3260	<30,0	665	10,4	0,97	0,46	17,9
12,5 - 15,0 cm diss.	50,0	19,7	9525	4,54	10390	2680	3073	3234	<30,0	658	10,2	0,14	<0,10	17,7
15,0 - 17,5 cm tot.	1366	1684	2267	65,7	2219	2351	646	1845	<30,0	142	3,58	0,54	2,00	4,33
15,0 - 17,5 cm diss.	62,6	55,1	2231	4,15	2236	2274	641	1825	<30,0	134	3,38	0,21	0,19	4,13
17,5 - 20,0 cm tot.	1043	3962	2538	179	2388	2237	692	1925	<30,0	159	5,62	2,04	4,62	4,53
17,5 - 20,0 cm diss.	66,9	64,9	2481	4,90	2235	2200	634	1933	<30,0	143	5,24	0,43	0,28	4,10
20,0 - 22,5 cm tot.	1040	7563	1865	40,0	1754	2623	498	1679	<30,0	111	3,54	1,79	7,94	3,03
20,0 - 22,5 cm diss.	64,5	79,7	1656	4,50	1744	2566	437	1663	<30,0	83	2,94	0,51	0,37	2,71

Tabela 15 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U
sup - 2,5 cm tot.	2,17	0,04	0,26	0,05	0,15	0,03	155	39,3	5,63	13,7	<0,01	0,25	0,067	0,029
sup - 2,5 cm diss.	1,67	0,02	0,25	0,04	0,13	<0,03	153	36,7	5,56	13,5	<0,01	0,15	<0,002	0,010
2,5 - 5,0 cm tot.	2,26	0,04	0,38	0,08	0,07	0,35	106	54,5	3,95	10,3	<0,01	0,55	0,035	0,026
2,5 - 5,0 cm diss.	2,26	0,04	0,36	0,03	0,05	<0,03	106	53,0	5,74	10,7	<0,01	0,17	<0,002	0,009
5,0 - 7,5 cm tot.	4,23	0,09	0,31	0,20	0,35	3,90	52,0	47,8	3,71	14,3	<0,01	0,68	0,155	0,074
5,0 - 7,5 cm diss.	2,37	0,03	0,17	0,09	0,30	<0,03	50,4	35,0	3,69	14,2	<0,01	0,33	<0,002	0,012
7,5 - 10,0 cm tot.	2,22	0,03	0,31	0,07	0,22	0,64	80,1	47,1	4,11	12,6	<0,01	0,48	0,177	0,052
7,5 - 10,0 cm diss.	1,88	0,03	0,30	0,06	0,20	0,15	79,4	41,7	4,00	12,6	<0,01	0,20	<0,002	0,013
10,0 - 12,5 cm tot.	1,21	0,03	0,12	0,07	0,19	0,19	29,5	14,6	2,00	10,5	<0,01	0,35	0,037	0,032
10,0 - 12,5 cm diss.	1,08	0,02	0,12	0,05	0,18	<0,03	28,7	14,1	1,93	10,3	<0,01	0,22	<0,002	0,010
12,5 - 15,0 cm tot.	3,07	0,24	0,37	0,04	0,20	0,03	75,4	38,0	3,29	11,6	<0,01	0,19	0,034	0,037
12,5 - 15,0 cm diss.	2,40	0,02	0,34	0,03	0,20	<0,03	74,7	40,0	3,90	11,6	<0,01	0,19	<0,002	0,015
15,0 - 17,5 cm tot.	1,64	0,03	0,09	0,07	0,27	0,28	15,9	13,7	1,38	10,6	<0,01	0,68	0,077	0,073
15,0 - 17,5 cm diss.	1,07	0,02	0,08	0,05	0,24	<0,03	15,1	14,0	1,41	10,2	<0,01	0,27	<0,002	0,008
17,5 - 20,0 cm tot.	3,18	0,05	0,10	0,07	0,32	0,85	16,4	14,4	1,52	11,8	<0,01	1,28	0,26	0,169
17,5 - 20,0 cm diss.	1,36	0,02	0,10	0,05	0,26	<0,03	15,8	12,8	1,42	11,2	<0,01	0,22	<0,002	0,010
20,0 - 22,5 cm tot.	4,09	0,04	0,06	0,18	0,34	1,76	11,6	17,9	1,44	12,7	<0,01	1,98	0,86	0,274
20,0 - 22,5 cm diss.	2,55	0,03	0,06	0,10	0,22	0,19	10,4	14,9	1,40	11,3	<0,01	0,33	<0,002	0,020

Tabela 16 - Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) da coluna de água (água circulante) do reservatório de Ponte Nova – Ponto 1 – Agosto de 2013.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni	
superf. tot	34,0	52,8	8,74	0,59	1431	1281	467	2352	4,59	29,7	0,042	0,06	<0,05	<0,05	
superf. diss	4,47	12,5	1,01	0,38	752	1180	390	2250	4,51	<7,0	0,006	<0,05	<0,05	<0,05	
4 m tot	47,4	55,9	9,89	0,57	1483	1238	491	2645	4,48	58,2	0,018	0,05	<0,05	0,10	
4 m diss	6,83	18,8	0,19	0,45	1029	1130	435	2571	3,91	<7,0	0,012	<0,05	<0,05	<0,05	
8 m tot	41,4	59,7	10,02	0,60	1289	1191	456	2386	4,94	23,5	0,020	0,06	<0,05	<0,05	
8 m diss	5,80	18,1	0,16	0,44	1063	1093	404	2276	3,77	<7,0	0,007	<0,05	<0,05	<0,05	
12 m tot	47,5	62,4	10,9	0,71	1214	1196	442	2251	4,91	34,7	0,016	0,07	<0,05	<0,05	
12 m diss	9,99	16,4	0,44	0,64	1053	1097	417	2134	3,91	<7,0	0,016	0,05	<0,05	<0,05	
16 m tot	32089	20144	188	471	2176	1872	759	2730	102	431,2	8,69	34,3	57,31	15,73	
16 m diss	39,5	897	75,2	0,85	926	1069	319	2079	10,5	<7,0	0,045	0,11	0,50	0,08	
Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
superf. tot	<0,10	0,02	<0,002	0,01	0,12	<0,01	10,4	2,07	0,08	0,45	<0,004	0,21	0,012	0,011	<0,05
superf. diss	<0,10	0,02	<0,002	0,01	0,12	<0,01	10,3	1,65	0,06	0,42	<0,004	0,15	0,005	0,009	<0,05
4 m tot	<0,10	0,01	<0,002	0,01	0,12	<0,01	10,8	5,26	0,08	0,47	<0,004	0,20	0,014	0,011	<0,05
4 m diss	<0,10	0,01	<0,002	<0,01	0,12	<0,01	10,7	5,12	0,08	0,42	<0,004	0,18	0,006	0,009	<0,05
8 m tot	0,26	0,02	<0,002	0,01	0,13	0,05	10,8	4,15	0,07	0,48	<0,004	0,22	0,013	0,011	<0,05
8 m diss	0,13	0,02	<0,002	<0,01	0,12	<0,01	10,5	3,84	0,07	0,42	<0,004	0,17	0,006	0,009	<0,05
12 m tot	0,13	0,02	<0,002	0,01	0,12	0,05	10,7	3,31	0,08	0,48	<0,004	0,21	0,015	0,012	<0,05
12 m diss	0,13	0,02	<0,002	<0,01	0,12	<0,01	10,5	3,08	0,07	0,45	<0,004	0,17	0,008	0,010	<0,05
16 m tot	54,81	0,18	0,53	0,14	3,62	37,76	55,2	43,7	20,1	12,5	0,22	20,5	8,841	4,144	<0,05
16 m diss	0,13	0,08	0,002	0,03	0,12	0,05	9,9	8,62	0,11	0,52	<0,004	1,17	0,040	0,018	<0,05

Tabela 17 - Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) da coluna de água (água circulante) do reservatório de Ponte Nova – Ponto 1 – Fevereiro de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni	
superf. tot	59,7	93,1	6,83	1,11	1067	1180	420	2359	1,67	27,1	0,029	0,14	<0,05	<0,05	
superf. diss	14,3	26,0	1,03	0,47	1041	1163	371	1972	1,31	< 7,0	0,005	0,12	<0,05	<0,05	
4 m tot	37,5	79,3	5,37	0,54	1189	1176	437	2275	1,56	18,2	0,019	0,14	<0,05	<0,05	
4 m diss	22,2	25,1	0,26	0,38	920	1147	375	2170	1,22	< 7,0	< 0,005	0,11	<0,05	<0,05	
8 m tot	33,1	254	15	0,98	1033	1102	385	2197	6,64	25,9	0,020	0,11	<0,05	<0,05	
8 m diss	9,40	70,1	3,78	0,43	762	948	325	1659	6,22	< 7,0	< 0,005	0,11	<0,05	<0,05	
12 m tot	40,7	2655	128	0,56	1488	1174	440	2285	11,8	28,5	0,156	0,12	<0,05	<0,05	
12 m diss	27,3	2435	121	0,32	1264	975	394	1558	6,96	< 7,0	0,145	0,11	<0,05	<0,05	
16 m tot	555	4692	172	1,73	1501	1226	481	2250	18,4	38,2	0,200	0,23	0,18	0,18	
16 m diss	70,1	4108	161	1,48	1398	966	376	1483	14,3	< 7,0	0,190	0,22	0,07	0,07	
Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
superf. tot	<0,10	0,02	< 0,002	0,01	0,12	0,08	11,0	2,24	0,08	0,53	< 0,004	0,31	0,006	0,011	< 0,05
superf. diss	<0,10	0,01	< 0,002	0,01	0,12	0,02	10,9	1,44	0,07	0,53	< 0,004	0,22	0,003	0,007	< 0,05
4 m tot	<0,10	0,02	< 0,002	0,01	0,12	0,04	11,1	2,12	0,06	0,53	< 0,004	0,30	0,006	0,009	< 0,05
4 m diss	<0,10	0,01	< 0,002	0,01	0,12	< 0,01	11,1	1,52	0,06	0,52	< 0,004	0,23	0,005	0,007	< 0,05
8 m tot	<0,10	0,01	< 0,002	0,01	0,13	0,01	10,6	1,70	0,08	0,55	< 0,004	0,41	0,014	0,010	< 0,05
8 m diss	<0,10	<0,01	< 0,002	0,01	0,12	< 0,01	10,3	1,16	0,08	0,53	< 0,004	0,26	0,005	0,007	< 0,05
12 m tot	<0,10	0,02	< 0,002	< 0,01	0,15	0,04	14,7	1,79	0,10	0,59	< 0,004	2,47	0,016	0,010	< 0,05
12 m diss	<0,10	0,01	< 0,002	< 0,01	0,14	< 0,01	14,4	1,82	0,10	0,59	< 0,004	2,34	0,012	0,007	< 0,05
16 m tot	1,79	0,02	0,037	< 0,01	0,15	0,24	14,6	22,48	0,18	0,63	< 0,004	3,72	0,047	0,021	< 0,05
16 m diss	0,47	<0,01	< 0,002	< 0,01	0,15	0,24	14,3	2,47	0,14	0,63	< 0,004	3,62	0,032	0,013	< 0,05

Tabela 18 – Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) da coluna de água (água circulante) do reservatório de Ponte Nova – Ponto 1 – Agosto de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
superf. tot	42,5	111	11,1	0,76	1715	1335	420	2362	4,59	< 10,0	0,030	0,110	< 0,05	0,106
superf. diss	18,8	48,9	5,99	0,56	1328	1180	405	2343	4,37	< 7,0	0,017	0,101	< 0,05	< 0,05
3 m tot	46,6	125	12,0	0,69	1433	1265	445	2301	4,58	< 10,0	0,032	0,097	< 0,05	0,141
3 m diss	18,4	48,8	3,50	0,50	1327	1185	441	2280	4,34	< 7,0	0,013	0,082	< 0,05	0,073
6 m tot	50,1	150	14,7	0,76	1362	1208	412	2174	4,35	10,1	0,033	0,13	< 0,05	0,062
6 m diss	15,6	45,1	2,82	0,49	1360	1186	407	2063	4,11	< 7,0	0,016	0,064	< 0,05	0,061
10 m tot	66,1	221	23,6	0,93	1485	1227	453	2265	11,2	10,7	0,034	0,14	< 0,05	0,124
10 m diss	15,4	46,7	9,24	0,59	1230	1147	433	2381	6,50	< 7,0	0,014	0,057	< 0,05	< 0,05
13 m tot	10980	5822	67,4	19,4	1492	1381	512	2257	12,4	110	0,461	1,44	3,345	0,302
13 m diss	18,6	148	32,3	0,47	1223	1083	390	2188	2,01	< 7,0	0,018	0,059	< 0,05	< 0,05

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
superf. tot	0,17	0,028	< 0,002	0,016	0,12	0,07	10,7	1,57	< 0,05	0,70	< 0,004	0,28	0,002	0,020	< 0,05
superf. diss	0,12	0,014	< 0,002	0,012	0,12	0,02	10,6	1,03	< 0,05	0,67	< 0,004	0,24	0,001	0,012	< 0,05
3 m tot	0,51	0,020	< 0,002	0,011	0,12	0,07	10,8	2,03	< 0,05	0,70	< 0,004	0,34	0,002	0,013	< 0,05
3 m diss	0,49	0,016	< 0,002	< 0,01	0,12	0,02	10,8	1,89	< 0,05	0,67	< 0,004	0,21	0,001	0,011	< 0,05
6 m tot	0,24	0,021	< 0,002	0,011	0,12	0,09	10,7	1,64	< 0,05	0,67	< 0,004	0,35	0,002	0,014	< 0,05
6 m diss	0,23	0,021	< 0,002	< 0,01	0,12	0,02	10,6	1,48	< 0,05	0,66	< 0,004	0,21	0,001	0,011	< 0,05
10 m tot	0,24	0,023	< 0,002	0,012	0,12	0,11	10,4	1,53	< 0,05	0,67	< 0,004	0,43	0,004	0,016	< 0,05
10 m diss	0,17	0,019	< 0,002	< 0,01	0,12	0,02	10,3	1,23	< 0,05	0,64	< 0,004	0,21	0,001	0,010	< 0,05
13 m tot	2,44	0,016	0,009	0,021	0,24	3,48	12,1	7,53	0,36	0,69	< 0,004	2,27	0,22	0,20	< 0,05
13 m diss	0,21	0,015	< 0,002	0,015	0,12	< 0,01	9,90	5,34	< 0,05	0,44	< 0,004	0,36	0,005	0,010	< 0,05

Tabela 19 – Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) da coluna de água (água circulante) do reservatório de Ponte Nova – Ponto 2 – Fevereiro de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni	
superf. tot	30,4	132	7,03	0,71	1175	1220	417	2514	50,0	1,67	0,029	0,10	<0,05	<0,05	
superf. diss	7,93	46,5	1,59	0,40	866	914	388	1547	<7,0	1,31	0,006	0,08	<0,05	<0,05	
5 m tot	39,3	231	9,24	0,99	1168	1277	436	2554	20,7	1,56	0,031	0,14	<0,05	<0,05	
5 m diss	11,2	81,7	0,40	0,52	935	959	385	1561	<7,0	1,22	0,013	0,13	<0,05	<0,05	
10 m tot	1143	5338	138	6,89	1583	1291	529	2361	40,2	6,64	0,27	0,40	0,42	0,16	
10 m diss	20,8	4182	23,6	0,61	1313	1127	406	1478	<7,0	1,22	0,20	0,12	<0,05	<0,05	
Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
superf. tot	<0,10	0,02	<0,002	0,015	0,13	0,04	11,3	4,67	0,062	0,50	<0,004	0,31	0,002	0,011	<0,05
superf. diss	<0,10	0,02	<0,002	0,015	0,12	<0,01	11,3	3,95	0,060	0,49	<0,004	0,20	0,001	0,008	<0,05
5 m tot	<0,10	0,01	<0,002	0,014	0,13	0,05	11,7	2,20	0,082	0,51	<0,004	0,39	0,002	0,012	<0,05
5 m diss	<0,10	0,01	<0,002	0,013	0,12	<0,01	11,5	1,92	0,072	0,50	<0,004	0,27	0,003	0,008	<0,05
10 m tot	0,47	0,02	0,0055	0,020	0,21	0,47	15,6	7,47	0,215	0,68	<0,004	4,23	0,073	0,035	<0,05
10 m diss	<0,10	0,02	<0,002	0,020	0,17	<0,01	13,7	3,55	0,098	0,62	<0,004	3,74	0,019	0,009	<0,05

Tabela 20- Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) de água intersticial do reservatório de Ponte Nova  
– Ponto 1 – Agosto de 2013.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
2,5 cm tot	3574	141	12902	25,71	114100	7138	5505	4728	<30,0	242	1,14	1,43	1,13	3,90
2,5 cm diss	2632	117	12900	5,51	113800	5712	5502	4697	<30,0	242	0,77	1,00	0,35	3,48
5,0 cm tot	2865	83,2	8123	10,40	48050	3673	3212	3083	<30,0	110	0,32	0,52	<0,20	1,84
5,0 cm diss	2491	67,4	8045	2,76	48000	3614	3201	3013	<30,0	110	0,30	0,52	<0,20	1,80
7,5 cm tot	1529	126	7126	22,30	45050	5308	1844	4056	<30,0	81,7	0,23	0,65	0,48	1,15
7,5 cm diss	885	50,1	7082	1,57	44610	5300	1805	4022	<30,0	80,2	0,18	0,61	<0,20	1,14
10,0 cm tot	747	87,9	5267	11,70	34690	2817	1211	3091	<30,0	56,4	0,12	0,51	<0,20	1,78
10,0 cm diss	737	43,6	5260	1,52	34550	2823	1203	3065	<30,0	56,1	0,12	0,50	<0,20	1,43
12,5 cm tot	2159	84,8	8984	14,22	56280	3700	1955	3895	<30,0	62,9	0,19	0,76	0,40	1,97
12,5 cm diss	2040	57,0	8892	2,02	55870	3704	1934	3778	<30,0	62,8	0,15	0,75	<0,20	1,96
15,0 cm tot	1544	108	8022	6,44	50270	2948	1761	3422	<30,0	55,5	0,14	0,75	0,23	1,42
15,0 cm diss	1462	60,6	7939	1,84	49690	2587	1750	3408	<30,0	53,6	0,12	0,73	<0,20	1,41
17,5 cm tot	1725	99,8	9579	21,86	57400	2575	2711	3900	<30,0	62,4	0,21	0,77	0,35	2,02
17,5 cm diss	1262	57,6	9492	1,90	57170	2634	2696	3856	<30,0	62,2	0,20	0,72	<0,20	2,01
20,0 cm tot	1881	84,4	8986	4,95	54030	3059	3621	3647	<30,0	57,1	0,33	0,97	0,45	2,81
20,0 cm diss	1614	64,5	8965	2,06	54020	3036	3602	3631	<30,0	56,2	0,32	0,92	0,32	2,77
22,5 cm tot	1728	98,3	8490	15,04	48810	2988	4997	3246	<30,0	51,6	0,67	0,95	0,95	4,07
22,5 cm diss	1702	92,4	8474	2,16	48720	2936	4991	3240	<30,0	50,9	0,66	0,88	0,45	4,03

Tabela 20 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U
2,5 cm tot	1,52	4,65	1,64	0,18	1,64	5,56	954	7,88	1,60	6,72	<0,02	1,64	0,21	0,16
2,5 cm diss	1,48	0,74	1,48	<0,05	1,55	4,65	948	6,96	1,49	5,07	<0,02	1,40	0,11	0,061
5,0 cm tot	1,59	0,21	0,95	<0,05	3,41	3,54	422	13,4	0,85	2,79	<0,02	0,43	0,078	0,059
5,0 cm diss	1,14	0,16	0,90	<0,05	3,40	3,53	422	11,8	0,84	2,72	<0,02	0,39	<0,004	0,046
7,5 cm tot	1,31	0,20	0,75	<0,05	8,18	2,80	382	23,2	0,53	3,12	<0,02	0,45	<0,004	0,082
7,5 cm diss	1,26	0,16	0,75	<0,05	8,11	2,43	376	9,15	0,53	3,03	<0,02	0,42	<0,004	0,037
10,0 cm tot	0,60	0,11	0,51	<0,05	4,87	1,91	293	2,56	0,58	2,31	<0,02	0,32	<0,004	0,042
10,0 cm diss	0,58	0,10	0,51	<0,05	4,77	1,78	292	2,27	0,58	2,24	<0,02	0,24	<0,004	0,025
12,5 cm tot	0,78	0,11	1,18	<0,05	6,66	4,58	490	5,83	0,45	2,84	<0,02	0,43	<0,004	0,094
12,5 cm diss	0,64	0,12	1,18	<0,05	6,59	3,39	485	2,26	0,44	2,79	<0,02	0,42	<0,004	0,057
15,0 cm tot	0,68	0,16	1,02	<0,05	6,22	2,98	436	5,69	0,51	3,07	<0,02	0,43	<0,004	0,057
15,0 cm diss	0,63	0,15	1,02	<0,05	6,12	2,78	431	2,06	0,50	2,97	<0,02	0,40	<0,004	0,038
17,5 cm tot	0,61	0,14	1,44	<0,05	7,34	3,86	488	10,06	0,65	3,73	<0,02	0,72	<0,004	0,065
17,5 cm diss	0,57	0,13	1,41	<0,05	7,32	3,83	480	2,15	0,64	3,64	<0,02	0,54	<0,004	0,049
20,0 cm tot	0,80	0,14	1,43	<0,05	6,68	3,81	462	3,82	0,86	3,91	<0,02	0,57	<0,004	0,070
20,0 cm diss	0,72	0,13	1,40	<0,05	6,63	3,52	461	2,64	0,86	3,91	<0,02	0,55	<0,004	0,053
22,5 cm tot	1,37	0,070	1,58	<0,05	5,90	4,95	441	4,61	0,75	3,19	0,07	0,67	0,11	0,091
22,5 cm diss	1,37	0,071	1,58	<0,05	5,89	4,44	440	4,62	0,76	3,13	<0,02	0,53	0,044	0,059

Tabela 21- Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) de água intersticial do reservatório de Ponte Nova  
– Ponto 1 – Fevereiro de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
2,5 cm tot	1016	291	3869	6,39	32670	9338	3954	4330	< 30,0	65,8	1,36	1,67	<0,20	5,97
2,5 cm diss	852	86,7	3814	2,81	32310	9131	3904	4311	< 30,0	54,9	1,12	1,55	<0,20	5,73
5,0 cm tot	2217	208	7113	5,92	49680	6353	6325	4092	< 30,0	79,1	34,6	2,26	<0,20	11,1
5,0 cm diss	2189	135	6962	4,50	49150	6335	6285	4076	< 30,0	61,4	34,2	2,25	<0,20	10,3
7,5 cm tot	1698	164	6284	4,56	52140	5223	6546	4323	< 30,0	72,2	48,7	2,39	<0,20	11,5
7,5 cm diss	1635	118	6212	3,65	52110	5227	6543	4311	< 30,0	71,6	48,4	2,07	<0,20	11,1
10,0 cm tot	1434	194	6014	4,49	47010	5509	5548	3737	< 30,0	73,4	31,7	2,13	<0,20	10,4
10,0 cm diss	1360	164	5951	3,49	46540	5378	5521	3729	< 30,0	72,5	31,6	2,01	<0,20	10,4
12,5 cm tot	1172	182	4588	5,49	43430	3352	5508	3616	< 30,0	82,0	27,8	2,04	<0,20	7,74
12,5 cm diss	1153	116	4573	3,75	43250	3348	5510	3607	< 30,0	81,7	27,3	2,01	<0,20	7,64
15,0 cm tot	982	158	3409	5,80	39640	3420	5338	3681	< 30,0	80,5	18,2	1,96	<0,20	5,19
15,0 cm diss	729	112	3394	3,76	39470	3387	5299	3647	< 30,0	80,5	18,1	1,80	<0,20	5,07
17,5 cm tot	399	169	2552	5,09	18940	3078	3072	3423	< 30,0	135	8,64	1,65	0,81	2,75
17,5 cm diss	363	145	2557	4,14	18880	3044	3013	3406	< 30,0	135	8,61	1,61	0,80	2,71
20,0 cm tot	492	330	3111	7,28	16050	2525	2775	3121	55	239	5,83	1,83	1,29	2,35
20,0 cm diss	412	278	3108	4,06	16000	2519	2771	3116	< 30,0	237	5,78	1,80	1,08	2,25

Tabela 21 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
2,5 cm tot	12,8	0,06	0,47	<0,05	5,87	3,45	252	19,9	0,25	6,98	<0,02	0,80	0,028	0,049	<0,20
2,5 cm diss	1,65	<0,05	0,44	<0,05	5,81	2,13	249	19,6	0,16	6,85	<0,02	0,79	<0,005	0,024	<0,20
5,0 cm tot	2,36	<0,05	1,06	<0,05	5,26	2,20	369	86,3	3,86	7,96	<0,02	1,40	<0,005	0,047	<0,20
5,0 cm diss	2,24	<0,05	1,01	<0,05	5,25	2,06	362	85,1	3,77	7,76	<0,02	1,19	<0,005	0,040	<0,20
7,5 cm tot	1,65	<0,05	1,17	<0,05	4,67	2,83	389	156	6,05	5,82	<0,02	1,12	0,016	0,057	<0,20
7,5 cm diss	1,60	<0,05	1,11	<0,05	4,63	2,73	390	156	6,02	5,80	<0,02	1,06	<0,005	0,053	<0,20
10,0 cm tot	1,45	<0,05	1,07	0,059	4,03	3,15	373	78,3	4,33	4,94	<0,02	1,19	0,019	0,058	<0,20
10,0 cm diss	1,38	<0,05	1,04	<0,05	4,02	3,14	368	78,1	4,32	4,91	<0,02	1,14	<0,005	0,052	<0,20
12,5 cm tot	1,53	<0,05	0,84	0,056	3,70	2,11	348	97,7	4,84	5,32	<0,02	1,03	0,030	0,049	<0,20
12,5 cm diss	1,51	<0,05	0,82	<0,05	3,68	2,04	348	96,9	4,80	5,28	<0,02	0,90	0,025	0,040	<0,20
15,0 cm tot	1,43	<0,05	0,59	0,058	3,36	1,51	322	60,0	4,13	5,17	<0,02	0,89	0,037	0,046	<0,20
15,0 cm diss	1,41	<0,05	0,58	<0,05	3,35	1,45	321	60,0	4,02	5,05	<0,02	0,85	0,029	0,040	<0,20
17,5 cm tot	1,98	<0,05	0,46	0,090	2,47	0,84	174	127	4,37	5,94	<0,02	0,61	0,030	0,043	<0,20
17,5 cm diss	1,48	<0,05	0,46	0,086	2,41	0,82	174	126	4,25	5,91	<0,02	0,59	0,018	0,033	<0,20
20,0 cm tot	2,03	<0,05	0,33	0,059	2,13	0,52	155	143	5,10	5,84	<0,02	0,74	0,070	0,061	<0,20
20,0 cm diss	1,49	<0,05	0,31	0,055	2,10	0,52	154	142	5,01	5,71	<0,02	0,69	0,050	0,048	<0,20

Tabela 22- Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) de água intersticial do reservatório de Ponte Nova  
 – Ponto 1 – Agosto de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
2,5 cm tot	6246	866	5615	17,0	31900	3630	1310	3470	< 30,0	162	0,42	2,11	1,82	5,90
2,5 cm diss	4854	73,9	5613	2,15	31710	3601	1262	3458	< 30,0	159	0,21	0,88	<0,20	5,49
5,0 cm tot	4691	1568	5457	31,2	28510	3719	1142	3502	< 30,0	203	0,52	2,80	3,37	5,43
5,0 cm diss	2386	77,7	5393	2,69	28070	3574	1096	3465	< 30,0	198	0,20	0,99	<0,20	4,83
7,5 cm tot	3578	1374	5179	32,7	25610	3612	1276	4209	< 30,0	161	0,66	2,75	3,52	4,48
7,5 cm diss	1635	64,9	5073	2,90	24810	3512	1199	3448	< 30,0	154	0,23	1,04	<0,20	3,88
10,0 cm tot	3818	2255	3629	56,2	18410	3547	1557	3612	53,2	269	1,05	4,04	7,12	4,09
10,0 cm diss	930	367	3611	3,28	17860	3536	1479	3553	< 30,0	262	0,56	1,32	<0,20	3,52
12,5 cm tot	3665	2240	2789	64,0	14290	3108	1465	3362	88,8	333	1,25	4,38	8,05	3,81
12,5 cm diss	917	187	2786	4,58	14020	3084	1426	3276	< 30,0	333	0,73	1,29	<0,20	2,50
15,0 cm tot	3559	3003	1706	90,7	8039	2746	1184	3037	169,2	253	1,67	4,75	11,63	2,35
15,0 cm diss	278	134	1664	5,03	7802	2496	1063	2923	< 30,0	234	0,80	1,07	<0,20	1,72
17,5 cm tot	3207	1030	282	128	2633	1263	479	1467	235	72,4	1,09	4,54	13,97	2,45
17,5 cm diss	497	354	214	7,38	1586	1081	171	1361	< 30,0	36,4	0,63	1,25	<0,20	1,44
20,0 cm tot	1742	1470	58,9	43,8	1744	671	125	1134	263	16,4	0,35	2,29	4,33	5,53
20,0 cm diss	280	340	58,7	9,94	580	553	50,6	1127	< 30,0	13,2	0,21	0,83	<0,20	1,79

Tabela 22 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
2,5 cm tot	2,37	0,14	0,49	0,054	2,52	6,13	268	14,3	0,18	3,67	<0,02	1,20	0,072	0,26	<0,20
2,5 cm diss	0,56	0,049	0,47	0,034	2,48	4,43	267	6,11	<0,10	3,43	<0,02	0,85	<0,005	0,082	<0,20
5,0 cm tot	2,44	0,072	0,44	0,12	3,48	6,58	255	20,6	0,13	4,55	<0,02	1,84	0,068	0,24	<0,20
5,0 cm diss	0,48	0,031	0,44	0,049	3,38	3,41	251	9,68	<0,10	4,18	<0,02	1,16	<0,005	0,050	<0,20
7,5 cm tot	1,84	0,062	0,49	0,060	3,47	6,41	230	12,2	0,14	4,55	<0,02	1,37	0,083	0,21	<0,20
7,5 cm diss	0,53	0,039	0,44	0,048	3,30	3,17	226	6,73	<0,10	4,22	<0,02	0,64	<0,005	0,040	<0,20
10,0 cm tot	2,86	0,095	0,27	0,057	2,93	8,12	179	17,8	0,33	5,12	<0,02	1,89	0,19	0,31	<0,20
10,0 cm diss	2,00	0,074	0,23	0,052	2,74	3,44	176	16,2	<0,10	4,65	<0,02	0,61	0,007	0,034	<0,20
12,5 cm tot	3,32	0,101	0,14	0,11	2,47	7,99	149	31,5	0,21	5,53	<0,02	1,92	0,095	0,34	<0,20
12,5 cm diss	0,66	0,070	0,13	0,097	2,33	1,91	149	18,8	<0,10	5,10	<0,02	1,04	<0,005	0,028	<0,20
15,0 cm tot	3,62	0,13	0,13	0,11	1,99	9,47	85,3	36,7	0,69	5,87	<0,02	2,37	0,40	0,44	<0,20
15,0 cm diss	3,07	0,08	0,10	0,098	1,72	1,36	83,6	22,9	<0,10	4,52	<0,02	0,43	0,047	0,02	<0,20
17,5 cm tot	6,34	0,23	0,05	0,11	1,34	9,27	17,0	75,6	1,54	5,35	<0,02	3,68	0,38	0,54	<0,20
17,5 cm diss	4,21	0,16	0,03	0,086	0,73	0,79	12,5	46,1	0,15	4,43	<0,02	0,42	0,060	0,039	<0,20
20,0 cm tot	5,80	0,28	0,06	0,18	0,65	2,86	4,33	259	0,32	4,99	<0,02	0,94	0,25	0,18	<0,20
20,0 cm diss	3,04	0,15	0,03	0,097	0,55	0,77	3,14	21,2	<0,10	4,14	<0,02	0,20	0,14	0,069	<0,20

Tabela 23- Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) de água intersticial do reservatório de Ponte Nova  
– Ponto 2 – Fevereiro de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
2,5 cm tot	250	136	2659	6,41	13200	7670	1978	3057	< 30,0	82,8	18,3	1,04	<0,50	2,94
2,5 cm diss	150	55,3	2616	2,66	12850	7601	1943	3022	< 30,0	79,9	18,2	0,89	<0,50	2,79
5,0 cm tot	305	81,8	3633	4,48	17260	6886	2522	2943	< 30,0	57,5	28,5	1,01	<0,50	4,81
5,0 cm diss	253	26,4	3587	2,97	17140	6844	2517	2896	< 30,0	57,3	28,5	0,85	<0,50	4,60
7,5 cm tot	1190	110	5461	4,73	24330	7136	3330	3157	< 30,0	54,8	57,7	1,13	<0,50	8,47
7,5 cm diss	924	40,1	5401	3,27	23970	7024	3246	3101	< 30,0	54,3	57,5	1,08	<0,50	8,19
10,0 cm tot	1423	100,0	7641	4,87	32030	6124	4285	3648	< 30,0	54,0	100,1	1,38	<0,50	14,3
10,0 cm diss	1384	56,7	7616	3,69	31920	6126	4245	3630	< 30,0	52,8	99,9	1,35	<0,50	14,3
12,5 cm tot	813	73,5	5928	4,55	23540	4638	3165	3585	< 30,0	50,6	67,8	1,19	<0,50	10,9
12,5 cm diss	779	41,9	5849	3,51	23450	4619	3167	3512	< 30,0	50,5	67,3	1,17	<0,50	10,1
15,0 cm tot	1069	85,6	6872	4,85	25550	4475	3311	3478	< 30,0	55,1	78,2	1,25	<0,50	13,5
15,0 cm diss	1058	59,9	6823	3,81	25170	4439	3304	3459	< 30,0	54,4	77,3	1,21	<0,50	13,5
17,5 cm tot	1125	118	7127	4,39	26080	4333	3401	3402	< 30,0	49,5	75,9	1,57	<0,50	14,3
17,5 cm diss	1041	83,6	6986	3,61	25480	4259	3351	3388	< 30,0	48,4	75,5	1,43	<0,50	13,9
20,0 cm tot	1137	133	7078	5,57	25940	4500	3451	3704	< 30,0	53,9	71,4	1,85	<0,50	11,7
20,0 cm diss	1035	93,3	7002	4,00	25910	4392	3454	3625	< 30,0	53,1	71,0	1,74	<0,50	11,2
22,5 cm tot	411	115	4718	5,13	16110	3710	2266	3316	< 30,0	58,8	39,1	1,56	<0,50	7,49
22,5 cm diss	357	63,6	4657	3,82	16040	3622	2263	3303	< 30,0	58,5	38,7	1,47	<0,50	7,25
25,0 cm tot	1248	148	8819	5,32	29640	4852	4011	3861	< 30,0	48,2	89,6	1,95	<0,50	16,5
25,0 cm diss	1217	119	8766	4,00	29600	4761	4005	3857	< 30,0	48,0	88,2	1,83	<0,50	16,2
27,5 cm tot	512	143	4447	5,89	16070	3964	2411	3654	< 30,0	57,9	41,8	2,01	<0,50	7,56
27,5 cm diss	433	101	4449	4,29	15810	3910	2374	3568	< 30,0	57,5	41,4	1,97	<0,50	7,52
30,0 cm tot	405	135	4631	6,43	16210	4082	2471	3660	< 30,0	60,9	36,5	1,79	<0,50	7,66
30,0 cm diss	312	77,4	4549	4,00	16200	4079	2335	3635	< 30,0	60,6	36,4	1,70	<0,50	7,20

Tabela 23 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
2,5 cm tot	1,16	0,105	0,33	0,061	4,42	5,51	129	49,0	2,44	4,32	<0,02	0,56	0,078	0,093	<0,20
2,5 cm diss	0,58	0,068	0,33	0,059	4,40	1,00	126	43,3	2,42	4,23	<0,02	0,43	0,024	0,024	<0,20
5,0 cm tot	0,92	0,061	0,50	0,046	4,84	1,43	162	68,5	2,63	4,61	<0,02	0,49	0,026	0,036	<0,20
5,0 cm diss	0,58	0,052	0,49	0,048	4,82	1,27	161	66,8	2,57	4,61	<0,02	0,38	<0,005	0,024	<0,20
7,5 cm tot	0,87	0,047	0,86	0,044	5,52	2,47	221	134	3,25	5,28	<0,02	0,72	0,060	0,057	<0,20
7,5 cm diss	0,68	0,038	0,82	0,043	5,51	2,33	220	133	3,22	5,22	<0,02	0,70	0,009	0,046	<0,20
10,0 cm tot	1,26	0,050	1,44	0,042	6,01	3,81	284	234	4,06	6,17	<0,02	1,13	0,042	0,096	<0,20
10,0 cm diss	1,09	0,048	1,40	0,042	6,01	3,74	284	232	4,01	6,11	<0,02	0,95	0,013	0,085	<0,20
12,5 cm tot	0,99	<0,03	1,01	0,045	5,12	3,00	213	152	3,25	5,78	<0,02	0,82	0,035	0,066	<0,20
12,5 cm diss	0,96	<0,03	0,99	0,044	5,10	2,90	213	152	3,21	5,72	<0,02	0,81	0,009	0,060	<0,20
15,0 cm tot	0,92	<0,03	1,25	0,038	5,19	3,70	234	182	3,49	6,18	<0,02	0,94	0,010	0,072	<0,20
15,0 cm diss	0,92	<0,03	1,23	0,039	5,13	3,59	233	181	3,50	6,15	<0,02	0,87	<0,005	0,066	<0,20
17,5 cm tot	0,98	<0,03	1,34	0,045	5,05	3,59	236	205	3,62	5,99	<0,02	1,26	0,030	0,083	<0,20
17,5 cm diss	0,97	<0,03	1,34	0,045	5,00	3,48	231	202	3,60	5,93	<0,02	1,16	<0,005	0,073	<0,20
20,0 cm tot	1,04	<0,03	1,38	0,074	5,06	3,38	234	229	4,10	6,59	<0,02	1,09	0,052	0,071	<0,20
20,0 cm diss	0,98	<0,03	1,35	0,072	5,03	3,27	234	227	4,03	6,35	<0,02	0,92	0,019	0,058	<0,20
22,5 cm tot	1,53	<0,03	0,77	0,078	4,24	1,73	152	123	2,74	6,31	<0,02	0,63	0,018	0,038	<0,20
22,5 cm diss	0,83	<0,03	0,77	0,074	4,24	1,72	151	123	2,73	6,16	<0,02	0,62	<0,005	0,029	<0,20
25,0 cm tot	1,61	0,041	1,67	0,091	5,77	4,48	272	301	4,44	6,70	<0,02	0,86	0,039	0,087	<0,20
25,0 cm diss	1,50	<0,03	1,63	0,088	5,65	4,34	272	299	4,37	6,64	<0,02	0,86	0,012	0,073	<0,20
27,5 cm tot	1,28	<0,03	0,73	0,11	4,52	2,03	153	141	2,74	6,21	<0,02	0,49	0,076	0,043	<0,20
27,5 cm diss	1,22	<0,03	0,72	0,11	4,48	2,00	151	141	2,72	6,10	<0,02	0,43	0,033	0,039	<0,20
30,0 cm tot	1,11	<0,03	0,62	0,12	4,49	2,01	160	119	2,54	6,09	<0,02	0,54	0,050	0,039	<0,20
30,0 cm diss	1,05	<0,03	0,62	0,12	4,55	1,93	158	118	2,60	6,06	<0,02	0,47	0,015	0,033	<0,20

Tabela 24 – Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) da coluna de água (água circulante) do reservatório de Promissão – Ponto 1 – Janeiro de 2013.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni	
superf. tot.	152	54,8	14,2	2,55	8520	5344	3229	19105	30,0	56,9	0,056	1,65	1,98	2,57	
superf. diss.	2,60	8,5	<5,0	0,55	8460	5342	3229	19106	17,0	52,0	0,048	0,30	0,54	1,84	
6 m tot	138	70,7	16,0	1,45	8833	5661	3381	19756	24,0	56,9	0,044	1,13	1,27	2,43	
6 m diss	1,58	7,8	<5,0	0,39	8678	5525	3381	19659	18,0	53,0	0,043	0,17	0,53	1,87	
13 m tot	122	295	16,7	2,14	8547	5470	3287	19546	30,0	46,1	0,055	2,41	1,39	2,52	
13 m diss	1,24	9,1	<5,0	0,53	8098	4981	3175	17680	20,0	43,8	0,046	0,16	0,56	1,64	
19 m tot	67,1	80,0	17,1	2,07	8704	5508	3322	19708	23,0	57,7	0,066	1,68	1,48	2,90	
19 m diss	2,37	10,5	<5,0	0,52	8177	5171	3178	18224	16,0	57,3	0,054	0,18	0,60	1,85	
27 m tot	5398	4491	691	14,4	8785	5922	3632	19824	220,0	101,1	0,90	1,64	5,50	3,79	
27 m diss	1,67	29,7	<5,0	0,81	7679	5100	3088	18209	44,0	44,7	0,056	0,23	0,95	1,90	
Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
superf. tot.	26,9	0,83	0,13	0,17	0,07	1,07	60,9	27,4	0,56	1,06	0,025	0,45	0,017	0,023	<0,05
superf. diss.	1,79	0,76	0,038	0,17	0,06	0,10	57,4	7,59	0,49	1,06	<0,004	0,45	<0,001	0,012	<0,05
6 m tot	21,5	0,80	0,025	0,16	0,07	0,51	61,5	21,8	0,54	1,06	0,012	0,34	0,008	0,014	<0,05
6 m diss	1,23	0,79	0,022	0,14	0,06	0,20	58,9	2,06	0,50	1,06	<0,004	0,34	<0,001	0,009	<0,05
13 m tot	20,0	0,82	0,061	0,16	0,07	0,53	60,5	10,8	0,53	1,18	0,013	0,35	0,021	0,014	<0,05
13 m diss	1,02	0,74	0,011	0,13	0,07	0,06	57,8	2,14	0,51	1,17	<0,004	0,34	<0,001	0,009	<0,05
19 m tot	25,0	0,83	0,13	0,15	0,07	1,37	60,9	38,6	0,52	1,23	0,030	0,40	0,013	0,014	<0,05
19 m diss	1,16	0,81	<0,002	0,13	0,05	0,04	59,6	4,32	0,51	1,41	<0,004	0,28	<0,001	0,010	<0,05
27 m tot	12,4	0,73	0,036	0,16	0,11	1,76	62,3	15,0	0,51	1,97	0,022	0,66	0,107	0,10	<0,05
27 m diss	2,46	0,73	<0,002	0,14	0,03	0,04	57,7	2,84	0,39	1,57	<0,004	0,14	0,030	0,005	<0,05

Tabela 25 – Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) da coluna de água (água circulante) do reservatório de Promissão – Ponto 1 – Julho de 2013.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni	
superf. tot.	38,4	48,2	4,83	0,99	10363	5519	3394	16877	25,3	72,3	0,069	0,15	0,75	1,93	
superf. diss.	1,71	14,2	0,73	0,93	9131	4818	2871	14512	18,7	52,5	0,060	0,12	0,75	1,92	
6 m tot	56,6	60,4	5,94	1,22	10151	4757	2936	14673	14,0	58,4	0,071	0,19	0,86	1,88	
6 m diss	2,00	9,07	0,56	1,05	9072	4749	2865	14317	11,0	51,3	0,068	0,17	0,79	1,84	
13 m tot	51,6	56,1	6,64	1,12	10310	4756	2928	14629	12,0	62,8	0,092	0,18	0,81	1,92	
13 m diss	1,59	12,6	0,78	0,98	9154	4686	2927	14621	10,1	53,6	0,071	0,14	0,78	1,85	
19 m tot	49,7	47,0	6,26	1,20	9973	4709	2949	14578	16,7	58,3	0,070	0,17	0,86	1,90	
19 m diss	1,23	13,2	1,38	0,91	9069	4579	2875	14306	11,4	52,2	0,060	0,12	0,78	1,80	
26 m tot	683	864	199	19,8	9971	4811	3028	14839	48,3	70,9	1,11	3,01	6,50	6,48	
26 m diss	24,7	254	196	1,38	9149	4605	2862	14449	19,8	52,7	0,52	0,15	0,93	3,44	
Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
superf. tot.	0,71	0,83	0,024	0,14	0,08	<0,01	73,7	8,39	0,38	1,25	0,006	0,86	0,0029	0,011	<0,05
superf. diss.	0,70	0,74	0,015	0,14	0,07	<0,01	73,1	4,05	0,37	1,21	<0,004	0,84	<0,001	0,009	<0,05
6 m tot	0,78	0,83	0,23	0,14	0,08	<0,01	73,7	6,51	0,39	1,26	0,005	0,92	0,0036	0,010	<0,05
6 m diss	0,67	0,77	0,19	0,14	0,07	<0,01	73,1	6,24	0,38	1,25	<0,004	0,83	<0,001	0,008	<0,05
13 m tot	0,74	0,81	0,009	0,15	0,08	<0,01	74,1	7,45	0,38	1,24	0,005	0,89	0,0034	0,010	<0,05
13 m diss	0,66	0,77	0,006	0,14	0,07	<0,01	73,9	6,03	0,37	1,23	<0,004	0,81	<0,001	0,008	<0,05
19 m tot	0,76	0,76	0,008	0,14	0,08	<0,01	74,2	7,08	0,39	1,27	<0,004	0,91	0,0032	0,011	<0,05
19 m diss	0,63	0,75	0,005	0,14	0,07	<0,01	74,1	4,10	0,36	1,27	<0,004	0,84	<0,001	0,010	<0,05
26 m tot	3,94	1,06	0,021	0,28	0,26	0,90	78,8	8,76	1,29	3,14	0,037	4,39	0,3706	0,089	<0,05
26 m diss	0,95	0,85	0,015	0,27	0,10	0,07	78,1	8,46	0,34	1,73	<0,004	1,86	0,0068	0,017	<0,05

Tabela 26 – Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) da coluna de água (água circulante) do reservatório de Promissão – Ponto 1 – Janeiro de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni	
superf. tot.	43,1	27,2	2,79	0,82	8144	4922	3061	17197	16,8	54,7	0,073	0,39	1,06	1,74	
superf. diss.	27,1	9,31	0,23	0,75	7344	4786	2860	16680	12,1	46,2	0,069	0,38	1,05	1,69	
5 mts tot	41,6	52,1	3,95	1,23	8065	4998	3094	17202	18,5	53,7	0,078	0,47	1,09	1,83	
5 mts diss	17,2	8,20	0,79	0,71	7570	4899	2954	17125	11,9	47,7	0,069	0,28	1,06	1,77	
11 mts tot	33,0	29,9	3,24	0,98	8120	4954	3087	17401	18,0	56,2	0,072	0,34	1,08	1,74	
11 mts diss	21,1	5,93	0,18	0,69	7544	4866	2958	17029	10,8	47,8	0,064	0,27	1,04	1,64	
16 mts tot	43,5	43,5	15,4	0,97	7989	4770	3019	16299	15,4	54,8	0,070	0,33	0,89	1,75	
16 mts diss	18,8	9,92	0,91	0,76	7541	4763	2989	16053	10,5	48,0	0,062	0,21	0,83	1,73	
22 mts tot	156	419	374	2,34	8278	4812	3140	16192	578	70,9	0,25	0,60	1,10	2,35	
22 mts diss	24,2	16,7	296	0,97	7730	4789	2992	16173	86,7	54,5	0,16	0,26	0,41	2,10	
Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
superf. tot.	0,78	0,76	0,006	0,12	0,08	<0,01	72,6	0,42	0,50	1,19	0,004	0,87	0,001	0,014	<0,05
superf. diss.	0,64	0,75	0,003	0,12	0,08	<0,01	72,6	0,40	0,48	1,15	<0,004	0,79	<0,001	0,012	<0,05
5 mts tot	1,06	0,71	0,010	0,13	0,08	0,08	72,3	2,35	0,49	1,21	<0,004	0,80	0,002	0,014	<0,05
5 mts diss	0,99	0,70	0,009	0,12	0,08	<0,01	71,6	2,02	0,48	1,20	<0,004	0,72	<0,001	0,013	<0,05
11 mts tot	0,74	0,75	0,004	0,13	0,08	0,04	72,6	1,02	0,49	1,21	<0,004	0,81	0,001	0,013	<0,05
11 mts diss	0,51	0,73	0,002	0,13	0,08	<0,01	72,0	0,09	0,45	1,20	<0,004	0,81	<0,001	0,012	<0,05
16 mts tot	0,65	0,70	0,009	0,12	0,08	<0,01	73,4	0,49	0,47	1,28	<0,004	0,83	<0,001	0,011	<0,05
16 mts diss	0,58	0,70	0,003	0,11	0,08	<0,01	72,3	0,42	0,44	1,23	<0,004	0,76	<0,001	0,008	<0,05
22 mts tot	0,86	0,78	0,015	0,12	0,10	0,06	75,4	6,35	0,51	1,50	0,005	1,56	0,006	0,019	<0,05
22 mts diss	0,81	0,73	0,002	0,11	0,09	<0,01	75,3	0,68	0,48	1,45	<0,004	0,82	<0,001	0,008	<0,05

Tabela 27 – Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) da coluna de água (água circulante) do reservatório de Promissão – Ponto 1 – Julho de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni	
superf. tot.	54,2	32,3	5,00	0,83	10425	5813	3145	21304	<10	63,5	0,072	0,38	1,11	1,79	
superf. diss.	26,2	11,0	0,40	0,74	9584	5410	2935	20020	<7,0	57,0	0,064	0,22	1,09	1,70	
5 mts tot	38,2	46,9	6,15	0,99	10390	5786	3132	21324	<10	64,6	0,073	0,22	1,16	1,71	
5 mts diss	31,2	8,80	0,27	0,75	9565	5375	2931	20012	<7,0	57,0	0,063	0,20	1,11	1,68	
11 mts tot	39,1	55,9	6,31	0,92	10561	5851	3127	21305	<10	65,0	0,072	0,19	1,17	1,70	
11 mts diss	19,2	5,61	0,31	0,72	9636	5417	2970	20166	<7,0	57,4	0,064	0,14	1,08	1,68	
16 mts tot	41,7	52,9	6,39	1,27	10398	5738	3092	21150	<10	65,0	0,075	0,30	1,17	1,74	
16 mts diss	35,0	16,9	0,19	0,77	9622	5360	2941	20006	<7,0	57,0	0,064	0,23	1,08	1,71	
21 mts tot	6554	5141	304	22,9	10651	6259	3449	21001	322	99,1	1,145	2,99	7,02	4,19	
21 mts diss	17,1	16,9	17,3	0,77	10158	5378	2966	20225	<7,0	56,3	0,074	0,10	1,16	1,71	
Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
superf. tot.	0,42	1,03	0,0026	0,14	0,11	<0,01	85,9	0,76	0,48	1,13	<0,004	1,08	<0,001	0,026	<0,05
superf. diss.	0,41	1,02	0,0021	0,13	0,10	<0,01	85,8	0,76	0,47	1,11	<0,004	1,07	<0,001	0,025	<0,05
5 mts tot	0,46	1,01	0,0027	0,14	0,10	<0,01	85,8	4,23	0,47	1,17	<0,004	1,13	<0,001	0,025	<0,05
5 mts diss	0,37	1,01	0,0024	0,13	0,10	<0,01	85,8	2,89	0,47	1,17	<0,004	1,06	<0,001	0,025	<0,05
11 mts tot	0,42	1,02	<0,002	0,14	0,10	<0,01	85,9	0,91	0,48	1,19	<0,004	1,06	<0,001	0,026	<0,05
11 mts diss	0,42	1,00	<0,002	0,14	0,10	<0,01	85,4	0,91	0,47	1,14	<0,004	1,05	<0,001	0,024	<0,05
16 mts tot	0,45	1,03	<0,002	0,14	0,10	<0,01	86,0	1,59	0,49	1,23	<0,004	1,12	<0,001	0,026	<0,05
16 mts diss	0,44	1,01	<0,002	0,14	0,10	<0,01	86,0	1,51	0,48	1,22	<0,004	1,11	<0,001	0,025	<0,05
21 mts tot	3,82	1,44	0,0085	0,13	0,24	1,224	89,4	4,42	1,01	1,89	0,039	4,34	0,20	0,14	<0,05
21 mts diss	0,37	1,02	0,0027	0,11	0,10	<0,01	86,2	1,20	0,46	1,24	<0,004	1,13	0,002	0,026	<0,05

Tabela 28 – Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) da coluna de água (água circulante) do reservatório de Promissão – Ponto 2 – Janeiro de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni	
superf. tot.	34,2	24,5	4,69	1,42	8059	4957	3001	18180	14,8	55,1	0,084	0,51	1,21	1,90	
superf. diss.	24,0	7,42	0,58	0,82	7724	5082	2983	17588	10,2	46,6	0,075	0,32	1,18	1,84	
11 mts tot	29,9	33,0	7,04	1,07	8249	5071	3121	18329	14,2	55,9	0,090	0,42	1,21	1,96	
11 mts diss	24,3	4,89	0,39	0,84	7627	4895	2882	17974	10,4	45,3	0,080	0,27	1,13	1,90	
22 mts tot	92730	84410	4159	35,8	11533	10549	6616	18353	3330	612	5,43	12,7	40,1	25,4	
22 mts diss	22,8	592	1350	0,98	7333	4788	2713	17615	252	118	0,520	0,24	0,75	3,43	
Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
superf. tot.	1,44	0,86	0,004	0,13	0,09	0,01	75,1	1,28	0,55	1,30	<0,004	0,89	<0,001	0,012	<0,05
superf. diss.	0,66	0,83	0,002	0,13	0,09	<0,01	74,1	1,08	0,53	1,27	<0,004	0,88	<0,001	0,012	<0,05
11 mts tot	0,81	0,88	0,005	0,13	0,09	<0,01	74,9	3,43	0,54	1,33	<0,004	0,95	<0,001	0,011	<0,05
11 mts diss	0,64	0,85	0,003	0,13	0,09	<0,01	74,4	1,21	0,52	1,31	<0,004	0,95	<0,001	0,009	<0,05
22 mts tot	24,4	1,94	0,037	0,18	0,39	5,05	89,9	16,5	2,03	4,77	0,0625	15,5	0,61	0,61	<0,05
22 mts diss	0,37	1,29	0,004	0,10	0,08	0,07	71,0	14,3	0,48	1,50	<0,004	1,85	0,004	0,014	<0,05

Tabela 29- Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) de água intersticial do reservatório de Promissão – Ponto 1 – Janeiro de 2013.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
sup - 2,5 cm tot.	107340	208910	72821	32,2	203020	19348	29768	21387	NA	55,3	425	250	25,3	3279
sup - 2,5 cm diss.	106510	208460	72206	17,4	202850	19300	29752	21381	NA	48,1	422	249	23,2	3304
2,5 - 5,0 cm tot.	6096	2033	29678	12,9	127820	14173	22593	18932	NA	56,0	329	4,14	1,01	1526
2,5 - 5,0 cm diss.	5780	1308	29570	9,91	127800	13943	22603	18800	NA	51,9	323	3,84	0,41	1515
5,0 - 7,5 cm tot.	6980	1432	29644	4,99	128120	14410	22726	19355	NA	54,3	335	3,31	0,32	1500
5,0 - 7,5 cm diss.	6808	1066	29581	4,97	128190	14357	22626	19346	NA	52,6	284	3,29	0,20	1501
7,5 - 10,0 cm tot.	470	516	8105	21,2	40474	9083	8327	15374	NA	53,4	50,0	1,39	0,48	105
7,5 - 10,0 cm diss.	130	81,0	8104	3,20	40410	9011	8347	15302	NA	52,0	49,9	0,95	0,32	105
10,0 - 12,5 cm tot.	363	586	5618	20,7	29658	7971	6273	14277	NA	43,8	30,3	1,57	1,21	60,7
10,0 - 12,5 cm diss.	117	26,3	5615	3,13	29606	7975	6282	14221	NA	41,6	31,5	0,88	0,28	60,5
12,5 - 15,0 cm tot.	246	142	5971	11,7	31499	8317	6602	14458	NA	58,8	32,8	1,04	0,33	56,9
12,5 - 15,0 cm diss.	114	13,6	5861	3,09	30788	8109	6543	14240	NA	57,5	33,1	0,78	0,10	55,3
15,0 - 17,5 cm tot.	535	399	6433	21,8	34778	8418	7394	14017	NA	69,0	36,6	1,60	0,79	64,2
15,0 - 17,5 cm diss.	160	27,5	6358	2,94	34223	8300	7393	13920	NA	66,5	37,9	0,98	0,38	63,0
17,5 - 20,0 cm tot.	226	240	5229	14,1	29305	6893	6531	10760	NA	55,9	39,8	2,41	0,55	35,9
17,5 - 20,0 cm diss.	183	56,3	5229	3,12	29305	6893	6530	10760	NA	55,9	39,5	2,04	0,21	36,0

Tabela 29 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
sup - 2,5 cm tot.	1534	1,26	4,77	0,14	1,85	23,5	887	1985	20,2	67,1	0,61	13,0	31,5	31,5	<0,10
sup - 2,5 cm diss.	1533	1,26	4,75	0,10	1,85	23,4	886	1985	20,0	66,5	0,60	13,0	31,5	31,1	<0,10
2,5 - 5,0 cm tot.	46,3	0,32	1,83	0,06	0,88	0,76	721	626	4,3	8,62	0,04	1,80	0,18	0,42	<0,10
2,5 - 5,0 cm diss.	46,3	0,23	1,81	0,06	0,87	0,75	719	620	4,23	8,61	0,04	1,66	0,13	0,40	<0,10
5,0 - 7,5 cm tot.	42,2	0,38	1,79	0,05	0,85	0,62	723	628	4,41	8,95	0,03	1,40	0,07	0,33	<0,10
5,0 - 7,5 cm diss.	42,2	0,38	1,72	0,05	0,84	0,62	724	620	4,31	8,95	0,03	1,39	0,06	0,34	<0,10
7,5 - 10,0 cm tot.	5,06	0,07	0,30	0,04	0,48	0,21	270	83,0	1,36	6,41	0,02	0,21	0,13	0,06	<0,10
7,5 - 10,0 cm diss.	4,23	0,07	0,30	0,03	0,46	0,08	263	82,1	1,34	6,39	<0,01	<0,20	0,03	0,02	<0,10
10,0 - 12,5 cm tot.	3,96	0,07	0,20	0,04	0,40	0,23	197	58,6	0,91	6,20	0,02	<0,20	0,11	0,04	<0,10
10,0 - 12,5 cm diss.	2,92	0,07	0,20	0,03	0,38	<0,08	196	58,7	0,90	5,84	<0,01	<0,20	0,02	0,01	<0,10
12,5 - 15,0 cm tot.	3,90	0,05	0,24	0,05	0,36	0,14	209	61,8	0,82	5,90	0,01	0,20	0,07	0,03	<0,10
12,5 - 15,0 cm diss.	2,57	0,05	0,22	0,03	0,36	<0,08	205	61,8	0,77	5,90	<0,01	<0,20	0,02	0,01	<0,10
15,0 - 17,5 cm tot.	3,82	0,07	0,24	0,04	0,36	0,18	236	72,2	0,85	6,17	0,02	0,50	0,12	0,03	<0,10
15,0 - 17,5 cm diss.	2,95	0,07	0,23	0,03	0,34	<0,08	236	72,2	0,85	5,90	<0,01	0,44	0,03	0,02	<0,10
17,5 - 20,0 cm tot.	4,09	0,07	0,27	0,07	0,39	0,17	277	108	0,91	5,97	0,02	2,01	0,10	0,04	<0,10
17,5 - 20,0 cm diss.	3,56	0,07	0,26	0,06	0,39	<0,08	267	108	0,90	5,81	<0,01	1,85	0,02	0,02	<0,10

Tabela 30 - Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) de água intersticial do reservatório de Promissão – Ponto 1 – Julho de 2013.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
sup - 2,5 cm tot.	179100	268620	65210	19,4	166500	13650	29550	19860	1810	14,5	673	437	6,57	3219
sup - 2,5 cm diss.	168600	241330	60421	17,7	177500	11010	28320	19700	1320	14,0	602	415	4,55	3012
2,5 - 5,0 cm tot.	173100	258200	63510	19,6	186500	11560	29000	19430	1708	14,8	638	463	6,86	3192
2,5 - 5,0 cm diss.	166800	243300	61324	18,9	180700	10030	28040	18970	1412	14,5	621	450	4,35	3127
5,0 - 7,5 cm tot.	12540	25680	45870	10,1	142000	12350	27850	21540	124	17,3	403	45,2	4,26	699
5,0 - 7,5 cm diss.	10020	22460	44250	9,05	138750	11930	26940	20960	44,3	17,0	388	39,6	4,12	645
7,5 - 10,0 cm tot.	4574	3580	33250	8,26	128650	14570	25630	22930	92,6	21,6	270	20,3	2,48	456
7,5 - 10,0 cm diss.	4021	2980	32840	6,12	122430	13980	25010	22140	35,2	20,0	246	18,5	2,21	422
10,0 - 12,5 cm tot.	869	267	25072	4,46	114200	16680	21390	24350	33,5	30,1	160	2,48	1,24	345
10,0 - 12,5 cm diss.	868	47,1	25021	2,72	113400	16580	21580	24160	<30	30,0	160	2,30	0,93	344
12,5 - 15,0 cm tot.	12270	16580	10723	10,1	56490	14080	10840	22130	90,8	37,8	80,4	32,4	1,74	277
12,5 - 15,0 cm diss.	592	58,0	6192	9,93	42040	12400	8520	19810	<30	37,0	36,2	1,47	1,74	44,3
15,0 - 17,5 cm tot.	991	608	24246	5,27	134000	30430	26550	39560	54,3	53,4	223	4,55	3,02	142
15,0 - 17,5 cm diss.	905	429	23362	3,59	130700	28700	25620	38460	<30	51,7	180	4,16	1,80	128
17,5 - 20,0 cm tot.	393	234	26480	23,5	151100	24830	28730	29260	<30	46,7	262	3,69	2,83	145
17,5 - 20,0 cm diss.	73,8	56,5	25998	12,6	148700	24220	28270	28830	<30	34,5	259	3,62	1,34	138
20,0 - 22,5 cm tot.	790	591	23774	9,39	141200	21780	28870	29580	<30	69,5	421	6,26	6,14	120
20,0 - 22,5 cm diss.	393	184	23702	4,87	140500	21640	28800	29010	<30	67,1	419	5,41	3,23	121

Tabela 30 – continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
sup - 2,5 cm tot.	1574	1,08	5,94	0,16	4,96	0,27	1070	1940	57,4	147	1,44	63,4	105	67,4	0,12
sup - 2,5 cm diss.	1478	1,04	5,36	0,16	4,38	0,23	1052	1861	54,6	139	1,00	61,0	101	64,1	0,10
2,5 - 5,0 cm tot.	1741	1,18	5,88	0,16	4,64	0,25	1097	1940	55,4	137	1,04	62,2	102	64,9	0,15
2,5 - 5,0 cm diss.	1689	1,02	5,74	0,16	4,64	0,22	1066	1861	53,3	136	0,96	60,6	100	63,5	0,11
5,0 - 7,5 cm tot.	180	0,16	3,70	0,14	3,25	0,26	990	699	30,6	51,0	0,16	8,70	14,6	6,59	0,10
5,0 - 7,5 cm diss.	171	0,15	3,55	0,12	2,99	0,20	974	665	28,9	47,8	0,10	8,26	12,3	6,13	<0,10
7,5 - 10,0 cm tot.	16,6	0,11	2,01	0,10	2,42	0,31	889	421	13,0	25,7	0,10	3,70	1,26	1,02	<0,10
7,5 - 10,0 cm diss.	13,4	0,10	1,92	0,09	2,11	0,25	852	405	11,9	22,9	0,05	3,26	1,01	0,90	<0,10
10,0 - 12,5 cm tot.	8,41	0,09	1,76	0,07	1,30	0,38	826	319	5,74	14,1	0,02	1,24	0,17	0,17	<0,10
10,0 - 12,5 cm diss.	8,17	0,09	1,67	0,07	1,30	0,33	817	320	5,71	14,1	0,02	1,02	0,03	0,14	<0,10
12,5 - 15,0 cm tot.	130	0,09	0,72	0,06	1,18	1,04	389	201	7,10	23,5	0,07	6,16	5,45	4,03	<0,10
12,5 - 15,0 cm diss.	1,35	0,06	0,37	0,04	0,89	1,00	319	96	2,17	12,5	<0,01	0,47	0,03	0,03	<0,10
15,0 - 17,5 cm tot.	17,5	0,31	1,45	0,14	2,32	0,51	885	350	4,60	27,0	<0,01	2,13	0,19	0,32	<0,10
15,0 - 17,5 cm diss.	13,1	0,15	0,98	0,15	1,56	0,40	856	285	4,51	24,2	<0,01	1,48	0,02	0,07	<0,10
17,5 - 20,0 cm tot.	4,20	0,12	1,34	0,05	1,35	0,49	1013	436	4,23	15,9	<0,01	1,88	0,03	0,13	<0,10
17,5 - 20,0 cm diss.	4,11	0,10	1,32	0,04	1,32	0,30	988	428	4,18	15,9	<0,01	1,72	0,01	0,11	<0,10
20,0 - 22,5 cm tot.	3,39	0,04	1,18	0,10	1,56	0,35	988	467	5,84	21,7	<0,01	5,60	0,06	0,09	0,12
20,0 - 22,5 cm diss.	3,34	0,03	1,15	0,10	1,52	0,21	981	467	5,84	21,5	<0,01	5,11	<0,005	0,05	<0,10

Tabela 31 - Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) de água intersticial do reservatório de Promissão – Ponto 1 – Janeiro de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
sup - 2,5 cm tot.	88980	12630	35428	14,6	162600	20830	26500	23170	68,9	36,7	507	72,2	1,25	2470
sup - 2,5 cm diss.	88510	12000	35361	14,5	162100	20800	26500	23110	69,0	34,9	504	71,0	1,24	2454
2,5 - 5,0 cm tot.	262500	113400	58420	23,5	269800	4904	43700	24650	380	10,2	1024	437	8,22	4144
2,5 - 5,0 cm diss.	260300	113100	57788	21,7	265900	4800	42880	24370	340	9,73	1020	421	8,12	4117
5,0 - 7,5 cm tot.	592	356	14204	11,9	66070	11820	13010	19340	<20	28,0	92,7	1,96	0,54	158
5,0 - 7,5 cm diss.	227	70,3	14189	7,05	65530	11800	13100	19400	<20	25,8	91,9	1,47	0,37	159
7,5 - 10,0 cm tot.	305	161	10879	12,9	54370	10030	10780	18740	<20	27,8	65,5	1,46	0,57	80,9
7,5 - 10,0 cm diss.	185	29,0	10800	5,64	53660	10020	10820	18670	<20	27,4	65,1	1,31	0,18	80,7
10,0 - 12,5 cm tot.	454	379	12228	15,4	61210	10310	12140	18960	<20	27,0	83,1	1,81	1,20	98,5
10,0 - 12,5 cm diss.	286	37,2	12186	6,29	60280	10240	12170	19010	<20	25,3	83,2	1,55	<0,10	95,9
12,5 - 15,0 cm tot.	808	319	19835	15,5	98880	13210	19560	22320	<20	29,9	169	2,58	0,67	186
12,5 - 15,0 cm diss.	708	72,7	19737	8,15	98500	13100	19510	22200	<20	30,6	169	2,28	0,19	185
15,0 - 17,5 cm tot.	21450	677	45328	15,7	222500	17680	38830	22620	<20	32,3	692	12,6	0,52	699
15,0 - 17,5 cm diss.	20940	646	44546	10,6	218600	17280	38210	22230	<20	32,1	694	12,8	0,29	693
17,5 - 20,0 cm tot.	2936	1432	27472	24,8	130800	10420	25110	19040	52,9	45,1	680	5,04	5,91	200
17,5 - 20,0 cm diss.	2401	282	27150	9,82	130500	10400	25070	19100	54,2	35,9	680	3,95	0,48	199

Tabela 31 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
sup - 2,5 cm tot.	660	0,24	3,54	0,07	2,87	15,4	909	1471	33,1	39,9	0,42	57,5	3,35	8,80	<0,10
sup - 2,5 cm diss.	637	0,24	3,45	0,07	2,88	15,3	905	1464	32,6	40,0	0,41	56,5	3,34	8,79	<0,10
2,5 - 5,0 cm tot.	1731	0,53	8,07	0,14	1,78	6,09	1670	2718	24,2	169	1,50	196	54,4	46,8	<0,10
2,5 - 5,0 cm diss.	1738	0,55	8,03	0,14	1,77	6,07	1654	2706	24,1	166	1,44	195	54,5	47,0	<0,10
5,0 - 7,5 cm tot.	5,95	0,07	0,57	0,04	0,84	0,23	422	145	1,91	12,8	<0,05	1,68	0,16	0,073	<0,10
5,0 - 7,5 cm diss.	5,22	0,07	0,56	0,04	0,85	0,23	424	145	1,87	12,7	<0,05	1,50	<0,005	0,037	<0,10
7,5 - 10,0 cm tot	3,47	0,18	0,41	0,08	0,69	0,19	373	113	0,97	10,3	<0,05	1,36	0,021	0,098	<0,10
7,5 - 10,0 cm diss	3,35	0,16	0,40	0,06	0,68	0,12	373	103	0,95	10,1	<0,05	1,25	<0,005	0,022	<0,10
10,0 - 12,5 cm tot	4,59	0,07	0,50	0,04	0,70	0,30	426	145	1,18	10,9	<0,05	1,63	0,034	0,043	<0,10
10,0 - 12,5 cm diss	4,31	0,07	0,50	0,04	0,70	0,20	425	145	1,15	10,9	<0,05	1,42	<0,005	0,027	<0,10
12,5 - 15,0 cm tot	8,13	0,09	0,83	0,04	1,10	0,33	722	264	1,73	13,5	<0,05	3,68	<0,005	0,061	<0,10
12,5 - 15,0 cm diss	7,40	0,07	0,83	0,04	1,11	0,33	715	263	1,74	13,4	<0,05	3,22	<0,005	0,060	<0,10
15,0 - 17,5 cm tot	54,9	0,12	3,49	0,03	1,68	3,01	1641	1407	4,60	19,4	0,11	17,1	0,065	0,88	<0,10
15,0 - 17,5 cm diss	54,4	0,12	3,43	0,03	1,65	3,03	1611	1406	4,60	19,2	0,10	16,6	0,054	0,88	<0,10
17,5 - 20,0 cm tot	16,3	0,12	0,99	0,08	1,21	1,02	944	597	2,35	16,6	<0,05	8,41	0,11	0,16	<0,10
17,5 - 20,0 cm diss	14,2	0,08	0,96	0,07	1,20	0,76	948	595	2,33	16,6	<0,05	7,91	<0,005	0,12	<0,10

Tabela 32 - Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) de água intersticial do reservatório de Promissão – Ponto 1 – Julho de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
sup - 2,5 cm tot.	436	4773	57272	5,54	117600	13150	19340	30180	<30,0	144	177	1,82	1,31	459
sup - 2,5 cm diss.	378	4762	57252	5,51	117500	13030	19020	28770	<30,0	144	177	1,51	1,28	457
2,5 - 5,0 cm tot.	836	9084	88307	9,66	186100	16470	28060	32150	<30,0	140	341	1,93	1,34	968
2,5 - 5,0 cm diss.	830	9041	86493	9,66	182700	16410	27640	32030	<30,0	139	336	1,90	1,31	949
5,0 - 7,5 cm tot.	50,0	496	26859	8,82	90530	12290	14630	28770	<30,0	140	58,3	0,87	1,94	146
5,0 - 7,5 cm diss.	49,2	290	26595	8,81	90510	12210	14680	28710	<30,0	140	56,9	0,85	1,90	146
7,5 - 10,0 cm tot.	75,5	128	15108	11,0	63100	11480	10710	29800	<30,0	184	32,1	1,19	2,05	81,6
7,5 - 10,0 cm diss.	42,7	64,9	15170	10,3	63010	11420	10070	29000	<30,0	184	31,8	1,27	2,00	81,4
10,0 - 12,5 cm tot.	71,3	95,7	4579	5,81	21730	6934	3937	21970	<30,0	442	8,52	0,52	1,64	12,7
10,0 - 12,5 cm diss.	69,6	44,1	4298	5,68	21640	6933	3928	22870	<30,0	435	8,51	0,51	1,61	12,5
12,5 - 15,0 cm tot.	65,7	67,0	4549	7,40	21750	7068	3899	22910	<30,0	484	9,46	0,73	1,72	12,8
12,5 - 15,0 cm diss.	23,0	29,6	4550	6,63	21690	7014	3878	22900	<30,0	477	9,32	0,54	1,60	12,7
15,0 - 17,5 cm tot.	35,8	77,4	7719	7,01	36060	8875	6449	27260	<30,0	401	18,2	0,79	1,94	21,3
15,0 - 17,5 cm diss.	27,3	27,4	7588	7,00	35310	8762	6288	26060	<30,0	401	18,0	0,81	1,88	21,2
17,5 - 20,0 cm tot.	54,2	84,5	8603	7,60	39920	9188	7138	27930	<30,0	403	23,3	0,74	1,99	18,8
17,5 - 20,0 cm diss.	44,1	42,5	8450	7,59	38980	8948	6894	29370	<30,0	397	23,2	0,69	1,91	18,6

Tabela 32 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U	Hg
sup - 2,5 cm tot.	7,63	0,19	0,087	<0,02	0,73	1,58	568	164	2,10	10,5	<0,05	5,78	0,072	0,21	<0,10
sup - 2,5 cm diss.	7,36	0,18	0,091	<0,02	0,71	1,35	560	157	2,09	10,4	<0,05	4,84	0,071	0,18	<0,10
2,5 - 5,0 cm tot.	19,8	0,26	0,32	<0,02	1,07	1,58	893	373	2,89	18,0	<0,05	7,00	0,091	0,34	<0,10
2,5 - 5,0 cm diss.	19,2	0,25	0,32	<0,02	1,03	1,58	872	369	2,89	17,9	<0,05	6,65	0,090	0,34	<0,10
5,0 - 7,5 cm tot.	3,34	0,12	0,34	0,14	0,72	<0,05	456	62,3	1,03	15,7	<0,05	1,53	0,016	0,011	<0,10
5,0 - 7,5 cm diss.	3,39	0,12	0,34	0,14	0,72	<0,05	451	62,1	1,02	15,7	<0,05	1,52	<0,005	<0,005	<0,10
7,5 - 10,0 cm tot	2,74	0,08	0,29	0,15	0,65	<0,05	349	43,5	0,71	17,5	<0,05	1,58	<0,005	<0,005	<0,10
7,5 - 10,0 cm diss	2,57	0,07	0,28	0,15	0,65	<0,05	343	43,5	0,71	17,5	<0,05	1,58	<0,005	<0,005	<0,10
10,0 - 12,5 cm tot	2,38	0,02	0,046	0,02	0,36	<0,05	154	8,95	0,09	10,6	<0,05	0,78	<0,005	0,009	<0,10
10,0 - 12,5 cm diss	2,28	0,01	0,037	0,02	0,35	<0,05	153	8,91	0,09	10,6	<0,05	0,77	<0,005	0,008	<0,10
12,5 - 15,0 cm tot	2,17	0,12	0,040	0,11	0,36	<0,05	158	9,30	<0,05	11,9	<0,05	1,73	<0,005	0,014	<0,10
12,5 - 15,0 cm diss	1,62	0,06	0,037	0,10	0,35	<0,05	157	9,30	<0,05	11,6	<0,05	1,17	<0,005	<0,005	<0,10
15,0 - 17,5 cm tot	2,67	0,06	0,063	0,08	0,42	<0,05	247	11,8	0,13	12,2	<0,05	1,15	<0,005	<0,005	<0,10
15,0 - 17,5 cm diss	1,94	0,05	0,060	0,08	0,42	<0,05	244	11,8	0,13	12,2	<0,05	1,07	<0,005	<0,005	<0,10
17,5 - 20,0 cm tot	2,27	0,04	0,073	0,04	0,38	<0,05	275	20,8	0,07	12,7	<0,05	1,33	<0,005	0,008	<0,10
17,5 - 20,0 cm diss	2,01	0,04	0,063	0,04	0,37	<0,05	270	20,7	0,06	12,7	<0,05	1,16	<0,005	<0,005	<0,10

Tabela 33 - Resultados obtidos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para os elementos nas amostras (total e dissolvida) de água intersticial do reservatório de Promissão – Ponto 2 – Janeiro de 2014.

Profundidade	Al	Fe	Mn	Ti	Ca	K	Mg	Na	P	Ba	Co	Cr	V	Ni
sup - 2,5 cm tot.	12410	707	64101	9,90	139000	19350	22040	24300	32,9	43,3	382	4,53	1,10	2643
sup - 2,5 cm diss.	12200	663	64092	9,22	138200	19330	22030	24250	< 30,0	42,6	377	4,48	1,02	2517
2,5 - 5,0 cm tot.	93960	4930	76993	11,1	136700	15910	23870	20470	57,0	25,1	644	32,1	0,79	3300
2,5 - 5,0 cm diss.	93380	4780	76742	10,31	136500	15810	23810	20410	51,2	24,3	644	32,1	0,69	3286
5,0 - 7,5 cm tot.	361	163	11320	9,22	22160	7608	5263	17310	< 30,0	31,3	62,8	1,25	0,31	121
5,0 - 7,5 cm diss.	189	24,1	11308	5,42	22310	7600	5259	17300	< 30,0	31,1	62,1	0,94	0,23	119
7,5 - 10,0 cm tot.	422	296	4045	15,0	8729	4796	2157	12630	< 30,0	49,0	23,7	1,26	0,84	26,7
7,5 - 10,0 cm diss.	73	31,5	4045	5,04	8724	4779	2143	12280	< 30,0	49,0	23,3	0,86	0,33	26,7
10,0 - 12,5 cm tot.	372	178	7137	11	16180	6130	4099	14740	< 30,0	43,4	63,9	1,65	0,57	45,6
10,0 - 12,5 cm diss.	199	33,8	7051	5,08	16070	6039	4083	14710	< 30,0	43,3	60,3	1,37	0,22	44,6
12,5 - 15,0 cm tot.	675	213	8895	11,9	21890	6479	5676	14120	< 30,0	31,4	73,5	2,64	0,73	36,3
12,5 - 15,0 cm diss.	465	66,1	8842	5,09	21780	6398	5642	14000	< 30,0	30,7	72,8	2,50	0,19	35,8
15,0 - 17,5 cm tot.	252	309	12215	10,8	34120	8574	8813	16440	34,2	34,0	103	5,69	1,51	37,9
15,0 - 17,5 cm diss.	215	180	12199	6,28	33990	8532	8797	16400	<30,0	34,0	102	5,60	1,05	36,8
17,5 - 20,0 cm tot.	1131	346	5675	13,2	19890	6553	5539	14250	43,1	39,4	28,3	5,06	3,68	11,9
17,5 - 20,0 cm diss.	835	137	5653	5,17	19800	6516	5515	14200	33,9	38,4	28,0	4,72	2,47	11,6

Tabela 33 – Continuação.

Profundidade	Cu	Mo	Cd	Sb	Cs	Pb	Sr	Zn	Li	Sc	Hf	As	Th	U
sup - 2,5 cm tot.	140	0,25	2,81	0,08	3,19	1,71	708	1505	20,1	16,1	0,02	10,8	0,009	0,95
sup - 2,5 cm diss.	139	0,25	2,79	0,06	3,18	1,70	705	1497	19,9	16,0	0,02	10,6	<0,005	0,94
2,5 - 5,0 cm tot.	439	0,28	5,50	0,05	1,36	8,35	766	1593	13,8	25,9	0,35	25,1	1,210	5,37
2,5 - 5,0 cm diss.	439	0,28	5,41	0,05	1,35	8,35	762	1569	13,7	25,7	0,34	24,9	1,206	5,33
5,0 - 7,5 cm tot.	4,60	0,06	0,49	0,04	0,63	0,20	157	90,2	1,68	9,91	<0,01	0,65	0,032	<0,10
5,0 - 7,5 cm diss.	3,91	0,04	0,46	0,03	0,63	0,20	156	90,1	1,68	9,59	<0,01	0,64	<0,005	<0,10
7,5 - 10,0 cm tot.	2,51	0,04	0,19	0,04	0,44	0,13	68,3	41,1	0,98	8,84	<0,01	1,01	0,076	<0,10
7,5 - 10,0 cm diss.	2,28	0,03	0,19	0,04	0,44	<0,08	68,1	40,6	0,81	8,29	<0,01	0,94	0,010	<0,10
10,0 - 12,5 cm tot.	3,58	0,05	0,33	0,04	0,59	0,15	123	89,6	1,10	9,06	<0,01	2,03	0,033	<0,10
10,0 - 12,5 cm diss.	3,31	0,05	0,30	0,04	0,58	0,12	123	87,2	1,04	8,78	<0,01	1,87	<0,005	<0,10
12,5 - 15,0 cm tot.	3,85	0,05	0,41	0,05	0,65	0,19	161	126	1,16	8,97	<0,01	2,12	0,038	<0,10
12,5 - 15,0 cm diss.	3,77	0,05	0,39	0,05	0,64	0,18	159	118	1,13	8,78	<0,01	2,08	<0,005	<0,10
15,0 - 17,5 cm tot.	4,12	0,07	0,63	0,10	1,02	0,28	242	208	1,92	10,7	<0,01	3,37	0,008	<0,10
15,0 - 17,5 cm diss.	3,96	0,06	0,60	0,09	1,02	0,23	241	206	1,89	10,5	<0,01	3,34	<0,005	<0,10
17,5 - 20,0 cm tot.	2,63	0,08	0,23	0,14	0,79	0,15	147	62,1	1,32	8,79	<0,01	1,67	0,048	<0,10
17,5 - 20,0 cm diss.	2,37	0,05	0,23	0,14	0,77	<0,08	147	60,3	1,17	8,43	<0,01	1,22	0,007	<0,10

## ANEXO G – RESULTADOS OBTIDOS NOS RESERVATÓRIOS DE JURUMIRIM, PROMISSÃO E PONTE NOVA PARA OS ELEMENTOS TERRAS RARAS NAS MATRIZES ANALISADAS.

Tabela 1 – Resultados obtidos para os elementos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nas amostras da coluna de água (água circulante) do reservatório de Jurumirim.

Ponto 1 - Julho de 2014															
PROFUNDIDADE	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
superf. (total)	0,039	0,039	0,102	0,029	0,050	0,009	0,002	0,009	0,002	0,008	0,002	0,004	0,001	0,003	0,0005
superf. (dissolv.)	0,016	0,013	0,028	0,004	0,017	0,003	0,001	0,003	<0,001	0,002	<0,001	0,001	0,001	0,001	<0,0005
7,0 (total)	0,039	0,038	0,099	0,012	0,049	0,008	0,001	0,009	0,001	0,008	0,001	0,004	0,001	0,003	<0,0005
7,0 (dissolv.)	0,015	0,012	0,027	0,004	0,017	0,003	<0,001	0,003	<0,001	0,003	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,0005
14,0 (total)	0,039	0,040	0,102	0,013	0,052	0,009	0,002	0,008	0,001	0,008	0,001	0,004	0,001	0,003	<0,0005
14,0 (dissolv.)	0,015	0,012	0,026	0,003	0,016	0,003	0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,0005
21,0 (total)	0,042	0,041	0,113	0,013	0,056	0,011	0,001	0,009	0,001	0,008	0,001	0,004	0,001	0,003	<0,0005
21,0 (dissolv.)	0,016	0,012	0,025	0,004	0,018	0,002	<0,001	0,002	<0,001	0,003	<0,001	0,002	<0,001	0,001	<0,0005
27,0 (total)	2,74	3,47	11,2	1,07	4,42	0,88	0,19	0,70	0,11	0,57	0,11	0,29	0,037	0,23	0,032
27,0 (dissolv.)	0,019	0,018	0,041	0,006	0,023	0,005	0,001	0,004	0,001	0,003	<0,001	0,002	<0,001	0,001	<0,0005
Ponto 1 - Janeiro de 2014															
PROFUNDIDADE	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
superf.(total)	0,11	0,12	0,31	0,042	0,14	0,028	0,007	0,027	0,004	0,020	0,004	0,011	0,002	0,009	0,0011
superf. (dissolv.)	0,058	0,059	0,15	0,020	0,079	0,016	0,004	0,013	0,002	0,010	0,002	0,006	0,001	0,004	0,0006
8,0 (total)	0,11	0,11	0,29	0,037	0,14	0,030	0,007	0,027	0,004	0,020	0,004	0,011	0,001	0,009	0,0011
8,0 (dissolv.)	0,060	0,061	0,14	0,019	0,082	0,015	0,003	0,014	0,002	0,010	0,002	0,006	0,001	0,004	0,0005
16,0 (total)	0,11	0,11	0,26	0,038	0,14	0,029	0,006	0,024	0,004	0,021	0,004	0,010	0,001	0,009	0,0012
16,0 (dissolv.)	0,061	0,059	0,20	0,020	0,080	0,017	0,004	0,011	0,002	0,012	0,002	0,006	0,001	0,004	0,0005
24,0 (total)	0,15	0,15	0,35	0,052	0,20	0,039	0,008	0,033	0,005	0,027	0,006	0,015	0,002	0,012	0,0017
24,0 (dissolv.)	0,070	0,069	0,15	0,021	0,091	0,017	0,004	0,015	0,002	0,012	0,002	0,006	0,001	0,006	0,0006
31,0 (total)	17,3	23,1	24,1	7,56	28,6	5,67	1,31	4,89	0,70	3,60	0,68	1,87	0,27	1,48	0,21
31,0 (dissolv.)	0,045	0,056	0,093	0,018	0,053	0,011	0,002	0,009	0,001	0,008	0,001	0,004	0,001	0,003	<0,0005

Tabela 1 – Continuação.

<b>Ponto 1 - Julho de 2013</b>															
<b>PROFUNDIDADE</b>	<b>Y</b>	<b>La</b>	<b>Ce</b>	<b>Pr</b>	<b>Nd</b>	<b>Sm</b>	<b>Eu</b>	<b>Gd</b>	<b>Tb</b>	<b>Dy</b>	<b>Ho</b>	<b>Er</b>	<b>Tm</b>	<b>Yb</b>	<b>Lu</b>
superf.(total)	0,17	0,20	0,49	0,065	0,24	0,048	0,008	0,041	0,006	0,031	0,006	0,016	0,003	0,014	0,0017
superf. (dissolv.)	0,069	0,077	0,18	0,026	0,10	0,019	0,005	0,018	0,002	0,013	0,003	0,007	0,001	0,005	0,0006
8,0 (total)	0,17	0,20	0,48	0,064	0,23	0,046	0,008	0,040	0,006	0,033	0,006	0,017	0,002	0,013	0,0018
8,0 (dissolv.)	0,074	0,087	0,20	0,028	0,11	0,022	0,005	0,018	0,003	0,015	0,003	0,008	0,001	0,006	0,0008
15,0 (total)	0,17	0,21	0,50	0,069	0,25	0,050	0,010	0,043	0,007	0,033	0,006	0,017	0,002	0,014	0,0017
15,0 (dissolv.)	0,065	0,073	0,17	0,024	0,094	0,018	0,004	0,016	0,002	0,012	0,002	0,006	0,001	0,005	0,0005
23,0 (total)	0,22	0,27	0,66	0,087	0,32	0,065	0,011	0,055	0,008	0,044	0,008	0,022	0,003	0,018	0,0026
23,0 (dissolv.)	0,069	0,076	0,18	0,026	0,10	0,018	0,004	0,017	0,002	0,013	0,002	0,007	0,001	0,005	0,0006
30,0 (total)	6,50	8,94	29,9	2,81	10,9	2,15	0,49	1,72	0,26	1,36	0,25	0,67	0,09	0,54	0,08
30,0 (dissolv.)	0,057	0,059	0,15	0,023	0,081	0,015	0,004	0,013	0,002	0,010	0,002	0,005	0,001	0,004	<0,005
<b>Ponto 3 - Julho de 2013</b>															
<b>PROFUNDIDADE</b>	<b>Y</b>	<b>La</b>	<b>Ce</b>	<b>Pr</b>	<b>Nd</b>	<b>Sm</b>	<b>Eu</b>	<b>Gd</b>	<b>Tb</b>	<b>Dy</b>	<b>Ho</b>	<b>Er</b>	<b>Tm</b>	<b>Yb</b>	<b>Lu</b>
superfície	0,35	0,48	1,11	0,16	0,58	0,11	0,024	0,089	0,014	0,072	0,014	0,037	0,005	0,029	0,0044
superfície	0,18	0,23	0,50	0,075	0,29	0,058	0,013	0,048	0,007	0,035	0,007	0,019	0,003	0,015	0,0020
12,0 (total)	0,36	0,49	1,05	0,16	0,61	0,12	0,027	0,091	0,013	0,077	0,144	0,039	0,005	0,028	0,0039
12,0 (dissolv.)	0,19	0,21	0,53	0,077	0,30	0,062	0,011	0,051	0,008	0,035	0,007	0,019	0,003	0,014	0,0018
24 (total)	1,08	1,56	4,32	0,536	1,84	0,36	0,078	0,293	0,046	0,227	0,043	0,116	0,016	0,089	0,013
24 (dissolv.)	0,18	0,22	0,50	0,076	0,29	0,054	0,011	0,046	0,007	0,037	0,007	0,019	0,003	0,015	0,0022

Tabela 2 – Resultados obtidos para os elementos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nas amostras de água intersticial do reservatório de Jurumirim.

Ponto 1 - Julho de 2013															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
sup - 2,5 cm tot.	1,90	2,14	6,25	0,58	2,38	0,50	0,13	0,47	0,076	0,36	0,081	0,20	0,036	0,17	0,030
sup - 2,5 cm diss.	0,16	0,18	0,34	0,032	0,14	0,030	0,009	0,032	0,005	0,021	0,006	0,018	0,004	0,019	0,004
2,5 - 5,0 cm tot.	4,55	4,97	15,8	1,44	6,03	1,25	0,30	1,08	0,16	0,91	0,17	0,49	0,063	0,42	0,059
2,5 - 5,0 cm diss.	0,16	0,14	0,36	0,036	0,16	0,037	0,009	0,035	0,004	0,028	0,006	0,022	0,003	0,025	0,004
5,0 - 7,5 cm tot.	3,97	4,15	13,2	1,21	5,20	1,07	0,26	0,98	0,14	0,80	0,15	0,44	0,058	0,38	0,054
5,0 - 7,5 cm diss.	0,13	0,11	0,27	0,026	0,13	0,032	0,008	0,028	0,003	0,022	0,005	0,019	0,002	0,021	0,003
7,5 - 10,0 cm tot.	0,48	0,48	1,55	0,13	0,59	0,12	0,023	0,11	0,016	0,084	0,019	0,052	0,008	0,053	0,009
7,5 - 10,0 cm diss.	0,23	0,21	0,67	0,058	0,27	0,060	0,018	0,053	0,007	0,042	0,009	0,028	0,004	0,026	0,005
10,0 - 12,5 cm tot.	2,79	3,15	10,3	0,92	3,90	0,81	0,19	0,69	0,101	0,59	0,11	0,30	0,041	0,26	0,039
10,0 - 12,5 cm diss.	0,16	0,095	0,34	0,035	0,15	0,036	0,010	0,025	0,004	0,026	0,005	0,018	0,003	0,022	0,004
12,5 - 15,0 cm tot.	3,67	4,23	13,9	1,22	5,13	1,04	0,25	0,90	0,14	0,76	0,14	0,40	0,052	0,34	0,047
12,5 - 15,0 cm diss.	0,18	0,11	0,42	0,041	0,19	0,043	0,010	0,037	0,006	0,034	0,008	0,027	0,004	0,033	0,005
15,0 - 17,5 cm tot.	2,45	2,82	8,92	0,82	3,43	0,68	0,16	0,61	0,086	0,50	0,092	0,27	0,036	0,23	0,033
15,0 - 17,5 cm diss.	0,15	0,083	0,29	0,029	0,14	0,036	0,007	0,027	0,004	0,025	0,005	0,021	0,003	0,028	0,004
17,5 - 20,0 cm tot.	3,84	4,57	15,1	1,34	5,67	1,16	0,27	0,99	0,14	0,80	0,15	0,42	0,058	0,36	0,052
17,5 - 20,0 cm diss.	0,14	0,093	0,28	0,029	0,12	0,034	0,010	0,024	0,004	0,026	0,005	0,019	<0,002	0,024	0,003
20,0 - 22,5 cm tot.	1,56	1,68	5,80	0,51	2,22	0,43	0,10	0,36	0,053	0,32	0,06	0,17	0,021	0,14	0,021
20,0 - 22,5 cm diss.	0,13	0,12	0,39	0,033	0,16	0,041	0,010	0,029	0,002	0,027	0,005	0,020	<0,002	0,021	0,002

Ponto 1 - Janeiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
sup - 2,5 cm tot.	0,14	0,17	0,41	0,066	0,16	0,039	0,028	0,037	0,010	0,026	0,010	0,019	0,025	0,015	0,008
sup - 2,5 cm diss.	0,084	0,11	0,26	0,028	0,098	0,020	0,024	0,018	<0,002	0,010	0,002	0,007	0,002	0,005	0,001
2,5 - 5,0 cm tot.	0,26	0,28	0,71	0,073	0,30	0,063	0,045	0,060	0,006	0,046	0,007	0,025	0,003	0,019	0,002
2,5 - 5,0 cm diss.	0,12	0,11	0,26	0,037	0,12	0,023	0,018	0,024	0,001	0,016	0,003	0,007	<0,002	0,006	0,001
5,0 - 7,5 cm tot.	0,29	0,28	0,65	0,073	0,29	0,063	0,023	0,064	0,008	0,053	0,009	0,025	0,003	0,026	0,004
5,0 - 7,5 cm diss.	0,17	0,13	0,29	0,042	0,15	0,028	0,011	0,027	0,002	0,024	0,004	0,017	0,002	0,015	0,001

Tabela 2 – Continuação.

Ponto 1 - Janeiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
7,5 - 10,0 cm tot	0,44	0,41	0,92	0,11	0,40	0,089	0,029	0,11	0,009	0,068	0,011	0,039	0,004	0,035	0,005
7,5 - 10,0 cm diss	0,26	0,22	0,47	0,054	0,21	0,040	0,013	0,039	0,005	0,036	0,006	0,023	0,002	0,019	0,002
10,0 - 12,5 cm tot	0,55	0,53	1,38	0,16	0,60	0,12	0,035	0,12	0,016	0,10	0,019	0,054	0,006	0,056	0,008
10,0 - 12,5 cm diss	0,29	0,25	0,70	0,071	0,30	0,069	0,017	0,069	0,008	0,053	0,009	0,030	0,003	0,027	0,003
12,5 - 15,0 cm tot	0,97	0,96	2,77	0,35	1,16	0,26	0,061	0,21	0,031	0,18	0,034	0,10	0,016	0,089	0,011
12,5 - 15,0 cm diss	0,37	0,38	1,01	0,12	0,45	0,098	0,027	0,082	0,011	0,069	0,013	0,039	0,005	0,039	0,005
15,0 - 17,5 cm tot	0,62	0,72	2,04	0,25	0,89	0,19	0,041	0,16	0,022	0,12	0,022	0,066	0,011	0,062	0,008
15,0 - 17,5 cm diss	0,35	0,41	1,14	0,13	0,51	0,11	0,027	0,089	0,012	0,070	0,013	0,041	0,006	0,041	0,006
17,5 - 20,0 cm tot	0,93	0,95	2,64	0,34	1,17	0,25	0,058	0,22	0,030	0,17	0,034	0,095	0,015	0,088	0,012
17,5 - 20,0 cm diss	0,39	0,42	1,15	0,14	0,53	0,11	0,026	0,090	0,012	0,079	0,014	0,044	0,005	0,041	0,006
Ponto 1 - Julho de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
sup - 2,5 cm tot.	1,69	2,75	8,29	0,90	3,29	0,62	0,15	0,51	0,067	0,33	0,060	0,17	0,028	0,14	0,019
sup - 2,5 cm diss.	0,85	1,30	3,74	0,47	1,56	0,30	0,065	0,25	0,031	0,16	0,032	0,084	0,014	0,076	0,010
2,5 - 5,0 cm tot.	1,23	1,27	3,51	0,42	1,53	0,33	0,086	0,31	0,041	0,24	0,043	0,12	0,017	0,12	0,017
2,5 - 5,0 cm diss.	0,84	1,01	2,14	0,26	1,08	0,22	0,057	0,20	0,026	0,17	0,030	0,092	0,011	0,086	0,011
5,0 - 7,5 cm tot.	1,44	1,56	4,45	0,54	1,89	0,39	0,098	0,36	0,049	0,28	0,051	0,15	0,024	0,15	0,021
5,0 - 7,5 cm diss.	0,69	0,73	2,14	0,27	0,92	0,21	0,051	0,17	0,026	0,14	0,025	0,080	0,011	0,069	0,010
7,5 - 10,0 cm tot	1,45	1,37	3,94	0,49	1,72	0,39	0,093	0,32	0,049	0,28	0,053	0,16	0,024	0,14	0,021
7,5 - 10,0 cm diss	0,48	0,46	1,24	0,21	0,57	0,12	0,030	0,11	0,016	0,091	0,017	0,052	0,009	0,059	0,008
10,0 - 12,5 cm tot	0,76	0,93	2,54	0,29	1,16	0,21	0,055	0,18	0,024	0,14	0,025	0,079	0,011	0,075	0,012
10,0 - 12,5 cm diss	0,46	0,50	1,31	0,18	0,61	0,12	0,036	0,11	0,015	0,094	0,018	0,051	0,006	0,049	0,008
12,5 - 15,0 cm tot	1,49	2,00	5,57	0,70	2,41	0,47	0,11	0,38	0,055	0,29	0,056	0,16	0,028	0,15	0,022
12,5 - 15,0 cm diss	0,70	0,92	2,64	0,38	1,14	0,22	0,054	0,20	0,024	0,14	0,029	0,086	0,015	0,090	0,012

Tabela 2 – Continuação.

Ponto 1 - Julho de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
15,0 - 17,5 cm tot	2,03	5,42	14,9	1,67	6,23	1,06	0,22	0,77	0,087	0,43	0,076	0,21	0,030	0,16	0,023
15,0 - 17,5 cm diss	0,42	0,57	2,00	0,27	1,05	0,20	0,043	0,15	0,017	0,089	0,017	0,051	0,007	0,051	0,007
17,5 - 20,0 cm tot	1,24	2,29	5,90	0,74	2,58	0,47	0,11	0,35	0,047	0,25	0,045	0,14	0,020	0,11	0,016
17,5 - 20,0 cm diss	0,68	1,14	2,43	0,31	1,25	0,23	0,054	0,18	0,023	0,13	0,026	0,080	0,010	0,076	0,011
Ponto 3 - Julho de 2013.															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
sup - 2,5 cm tot.	0,63	0,78	1,74	0,16	0,60	0,10	0,044	0,13	0,017	0,10	0,020	0,047	0,007	0,044	0,006
sup - 2,5 cm diss.	0,43	0,43	0,90	0,08	0,31	0,061	0,015	0,070	0,007	0,059	0,010	0,037	0,003	0,027	0,003
2,5 - 5,0 cm tot.	0,69	1,22	1,69	0,15	0,57	0,11	0,038	0,11	0,015	0,094	0,018	0,052	0,006	0,049	0,005
2,5 - 5,0 cm diss.	0,43	0,77	1,72	0,076	0,30	0,052	0,017	0,05	0,008	0,056	0,011	0,032	0,003	0,028	0,003
5,0 - 7,5 cm tot.	0,80	1,13	2,89	0,26	1,08	0,20	0,050	0,19	0,025	0,16	0,031	0,080	0,011	0,076	0,010
5,0 - 7,5 cm diss	0,14	0,27	0,45	0,022	0,09	0,028	0,007	0,03	0,002	0,026	0,004	0,012	<0,002	0,016	0,002
7,5 - 10,0 cm tot	0,75	0,95	2,35	0,20	0,78	0,15	0,045	0,15	0,021	0,13	0,026	0,071	0,009	0,050	0,007
7,5 - 10,0 cm diss	0,32	0,37	0,77	0,060	0,24	0,046	0,010	0,06	0,007	0,049	0,010	0,021	0,003	0,024	0,003
10,0 - 12,5 cm tot	0,39	0,44	1,25	0,11	0,48	0,10	0,031	0,10	0,013	0,085	0,016	0,045	0,006	0,043	0,006
10,0 - 12,5 cm diss	0,16	0,15	0,42	0,037	0,16	0,038	0,010	0,04	0,004	0,030	0,005	0,019	0,002	0,021	0,003
12,5 - 15,0 cm tot	0,75	0,82	2,06	0,17	0,67	0,12	0,035	0,13	0,019	0,11	0,023	0,061	0,008	0,053	0,007
12,5 - 15,0 cm diss	0,53	0,59	1,35	0,11	0,41	0,074	0,023	0,07	0,013	0,072	0,015	0,043	0,005	0,033	0,005
15,0 - 17,5 cm tot	0,76	0,89	2,76	0,26	1,07	0,21	0,054	0,19	0,025	0,17	0,032	0,080	0,011	0,078	0,010
15,0 - 17,5 cm diss	0,09	0,08	0,27	0,025	0,10	0,022	0,007	0,02	0,003	0,023	0,004	0,008	<0,002	0,017	0,002
17,5 - 20,0 cm tot	1,58	1,78	5,78	0,51	2,17	0,43	0,11	0,40	0,055	0,34	0,065	0,18	0,024	0,15	0,021
17,5 - 20,0 cm diss	0,12	0,11	0,36	0,034	0,15	0,033	0,009	0,03	0,003	0,026	0,005	0,015	0,002	0,020	0,003
20,0 - 22,5 cm tot	2,48	2,90	9,43	0,87	3,63	0,75	0,18	0,64	0,092	0,51	0,10	0,28	0,034	0,24	0,035
20,0 - 22,5 cm diss	0,13	0,13	0,38	0,036	0,173	0,040	0,010	0,03	0,004	0,028	0,005	0,022	<0,002	0,026	0,004

Tabela 3 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) na extração sequencial dos sedimentos de Jurumirim associados carbonatos e trocável.

	Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ponto 1 - Julho 2013	2,5 cm	0,87	1,63	3,73	0,44	1,92	0,39	0,093	0,34	0,044	0,25	0,047	0,13	0,016	0,097	0,014
	5,0 cm	1,28	2,04	5,29	0,57	2,48	0,51	0,12	0,43	0,057	0,32	0,061	0,17	0,021	0,13	0,018
	7,5 cm	1,72	2,53	6,88	0,70	3,05	0,61	0,14	0,53	0,070	0,39	0,074	0,20	0,025	0,15	0,022
	10,0 cm	1,84	2,61	7,50	0,72	3,11	0,63	0,15	0,54	0,072	0,40	0,077	0,21	0,026	0,16	0,023
	12,5 cm	2,17	3,16	9,11	0,87	3,72	0,74	0,17	0,63	0,050	0,46	0,088	0,24	0,030	0,18	0,026
	15,0 cm	2,24	3,17	9,22	0,88	3,78	0,75	0,17	0,64	0,085	0,47	0,090	0,24	0,030	0,19	0,027
	17,5 cm	2,13	3,02	8,24	0,80	3,45	0,67	0,16	0,58	0,078	0,43	0,083	0,23	0,028	0,17	0,024
	20,0 cm	2,52	3,54	10,34	0,97	4,11	0,81	0,19	0,69	0,092	0,51	0,097	0,26	0,033	0,20	0,028
	22,5 cm	2,53	3,50	10,29	0,93	3,97	0,77	0,18	0,67	0,088	0,49	0,095	0,26	0,032	0,19	0,027
Ponto 1 - Janeiro 2014	2,5 cm	0,56	0,60	1,64	0,15	0,65	0,13	0,034	0,12	0,015	0,082	0,016	0,042	0,005	0,031	0,004
	5,0 cm	0,63	0,65	1,84	0,18	0,78	0,16	0,041	0,15	0,018	0,10	0,019	0,051	0,006	0,038	0,005
	7,5 cm	0,84	0,82	2,51	0,24	1,07	0,22	0,055	0,20	0,026	0,14	0,027	0,073	0,009	0,056	0,008
	10,0 cm	1,00	0,97	2,97	0,28	1,21	0,25	0,062	0,23	0,030	0,16	0,032	0,086	0,011	0,066	0,009
	12,5 cm	0,84	0,86	2,71	0,24	1,03	0,21	0,052	0,19	0,025	0,14	0,027	0,073	0,009	0,055	0,008
	15,0 cm	0,92	0,91	2,98	0,26	1,15	0,24	0,060	0,21	0,027	0,15	0,029	0,078	0,010	0,059	0,008
	17,5 cm	1,90	1,90	6,26	0,55	2,41	0,50	0,12	0,43	0,056	0,31	0,059	0,16	0,020	0,12	0,018
	20,0 cm	1,69	1,73	5,80	0,50	2,20	0,45	0,11	0,39	0,051	0,28	0,054	0,15	0,018	0,11	0,016
	22,5 cm	2,57	2,62	8,27	0,73	3,14	0,63	0,15	0,55	0,073	0,41	0,078	0,21	0,027	0,16	0,023

Tabela 3 – continuação.

	Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ponto 1 - Julho 2014	2,5 cm	1,14	1,14	3,79	0,34	1,50	0,31	0,083	0,28	0,039	0,21	0,040	0,11	0,01	0,083	0,012
	5,0 cm	1,12	1,13	3,93	0,34	1,50	0,32	0,082	0,28	0,039	0,21	0,040	0,11	0,01	0,085	0,012
	7,5 cm	1,23	1,23	4,36	0,37	1,65	0,35	0,091	0,31	0,042	0,23	0,045	0,12	0,02	0,094	0,014
	10,0 cm	1,28	1,30	4,65	0,39	1,73	0,36	0,095	0,32	0,044	0,24	0,047	0,13	0,02	0,098	0,014
	12,5 cm	1,37	1,34	4,90	0,40	1,80	0,38	0,097	0,33	0,046	0,26	0,049	0,13	0,02	0,10	0,015
	15,0 cm	1,42	1,37	4,98	0,42	1,84	0,39	0,10	0,34	0,049	0,27	0,051	0,14	0,02	0,11	0,016
	17,5 cm	1,50	1,29	4,62	0,40	1,80	0,39	0,10	0,35	0,051	0,29	0,055	0,15	0,02	0,12	0,017
	20,0 cm	1,68	1,27	4,41	0,39	1,77	0,39	0,10	0,37	0,054	0,31	0,059	0,16	0,02	0,13	0,018
	22,5 cm	1,91	1,75	4,74	0,53	2,37	0,50	0,13	0,45	0,064	0,36	0,068	0,19	0,02	0,14	0,021
Ponto 3- Julho 2013	2,5 cm	1,60	1,62	5,18	0,47	2,05	0,42	0,10	0,36	0,048	0,27	0,050	0,14	0,017	0,10	0,015
	5,0 cm	1,72	1,80	6,04	0,52	2,26	0,47	0,11	0,40	0,054	0,29	0,055	0,15	0,019	0,11	0,016
	7,5 cm	1,94	2,00	6,64	0,58	2,51	0,51	0,12	0,44	0,059	0,32	0,061	0,17	0,021	0,13	0,018
	10,0 cm	2,08	2,14	7,15	0,62	2,70	0,56	0,13	0,47	0,064	0,35	0,067	0,18	0,022	0,14	0,019
	12,5 cm	2,02	2,11	7,17	0,61	2,65	0,54	0,13	0,46	0,062	0,34	0,065	0,17	0,022	0,13	0,019
	15,0 cm	2,38	2,49	8,34	0,71	3,06	0,62	0,14	0,53	0,071	0,39	0,075	0,20	0,025	0,15	0,022
	17,5 cm	2,48	2,66	8,82	0,75	3,22	0,65	0,15	0,55	0,074	0,41	0,078	0,21	0,027	0,16	0,023
	20,0 cm	2,62	2,77	9,62	0,79	3,39	0,68	0,16	0,57	0,077	0,43	0,082	0,22	0,028	0,17	0,024
	22,5 cm	2,61	2,75	9,41	0,79	3,36	0,68	0,15	0,57	0,077	0,43	0,081	0,22	0,028	0,17	0,024

Tabela 4 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) na extração sequencial dos sedimentos de Jurumirim associados aos óxi-hidróxidos de Fe e Mn.

	Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ponto 1 - Julho 2013	2,5 cm	11,3	14,0	47,0	2,18	16,2	3,05	0,72	2,80	0,37	2,13	0,40	1,13	0,14	0,87	0,12
	5,0 cm	12,5	15,2	51,5	2,36	18,3	3,41	0,80	3,17	0,42	2,41	0,46	1,28	0,16	1,00	0,14
	7,5 cm	12,5	15,3	52,3	2,49	18,3	3,42	0,80	3,17	0,42	2,40	0,46	1,28	0,16	0,99	0,14
	10,0 cm	11,8	14,4	50,7	2,49	17,4	3,24	0,77	3,01	0,41	2,30	0,44	1,22	0,15	0,95	0,13
	12,5 cm	11,7	15,1	51,6	2,61	17,9	3,32	0,76	3,06	0,41	2,32	0,44	1,22	0,15	0,96	0,13
	15,0 cm	12,4	15,5	52,9	2,72	18,4	3,39	0,79	3,16	0,42	2,40	0,46	1,28	0,16	0,99	0,14
	17,5 cm	11,6	14,5	48,1	2,48	16,9	3,13	0,73	2,94	0,40	2,25	0,43	1,20	0,15	0,92	0,13
	20,0 cm	11,3	14,6	49,3	2,61	16,9	3,12	0,72	2,89	0,39	2,21	0,42	1,17	0,15	0,90	0,13
	22,5 cm	10,1	13,3	45,6	2,30	14,9	2,70	0,63	2,57	0,35	1,97	0,38	1,05	0,13	0,80	0,11
	Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ponto 1 - Janeiro 2014	2,5 cm	14,3	16,8	53,4	4,61	20,4	3,80	0,89	3,47	0,46	2,62	0,49	1,36	0,17	1,05	0,14
	5,0 cm	12,5	15,0	48,3	4,15	18,4	3,45	0,82	3,19	0,42	2,43	0,46	1,28	0,16	0,99	0,14
	7,5 cm	11,9	14,4	46,1	4,06	17,8	3,46	0,82	3,11	0,42	2,39	0,45	1,25	0,16	0,98	0,14
	10,0 cm	8,67	10,4	33,0	2,96	13,2	2,56	0,59	2,30	0,31	1,76	0,33	0,92	0,12	0,73	0,10
	12,5 cm	6,34	7,95	26,6	2,27	9,94	1,93	0,44	1,72	0,23	1,31	0,24	0,68	0,086	0,54	0,075
	15,0 cm	11,7	13,5	45,5	3,81	17,0	3,25	0,77	2,95	0,40	2,27	0,43	1,20	0,15	0,94	0,13
	17,5 cm	13,3	15,6	53,0	4,35	19,2	3,63	0,85	3,33	0,45	2,59	0,49	1,37	0,17	1,07	0,15
	20,0 cm	13,2	15,6	53,5	4,35	19,3	3,66	0,86	3,33	0,45	2,59	0,49	1,36	0,17	1,07	0,15
	22,5 cm	11,7	14,2	47,7	4,03	17,8	3,41	0,78	3,05	0,41	2,36	0,44	1,24	0,16	0,98	0,14

Tabela 4 – Continuação.

	Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ponto 1 - Julho 2014	2,5 cm	11,2	14,8	38,3	1,83	17,1	3,19	0,75	2,83	0,38	2,16	0,41	1,12	0,14	0,87	0,12
	5,0 cm	11,4	14,4	40,4	2,26	16,8	3,11	0,73	2,74	0,37	2,11	0,39	1,09	0,14	0,84	0,12
	7,5 cm	12,2	16,9	41,8	1,43	18,4	3,44	0,80	3,10	0,41	2,35	0,44	1,22	0,15	0,95	0,13
	10,0 cm	11,9	16,1	40,8	2,49	17,7	3,30	0,76	2,90	0,39	2,22	0,42	1,14	0,14	0,89	0,13
	12,5 cm	12,1	16,4	42,2	2,49	17,6	3,21	0,74	2,81	0,38	2,16	0,40	1,12	0,14	0,87	0,12
	15,0 cm	13,0	17,8	45,7	2,24	18,8	3,46	0,79	3,04	0,41	2,35	0,44	1,21	0,15	0,95	0,14
	17,5 cm	13,2	18,0	46,1	2,49	18,8	3,50	0,81	3,08	0,42	2,38	0,45	1,23	0,15	0,96	0,14
	20,0 cm	12,2	16,9	40,5	3,53	18,0	3,27	0,76	2,89	0,39	2,25	0,43	1,18	0,15	0,91	0,13
	22,5 cm	12,2	16,9	40,9	3,62	17,7	3,19	0,74	2,83	0,39	2,20	0,41	1,14	0,14	0,89	0,13
	Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ponto 3- Julho 2013	2,5 cm	13,0	17,1	52,1	4,68	19,3	3,61	0,83	3,24	0,44	2,52	0,48	1,32	0,17	1,01	0,14
	5,0 cm	11,5	17,2	53,7	4,17	17,1	3,24	0,72	2,72	0,37	2,06	0,39	1,06	0,13	0,81	0,11
	7,5 cm	12,2	16,3	47,9	4,38	18,0	3,35	0,76	3,02	0,41	2,34	0,45	1,22	0,16	0,94	0,13
	10,0 cm	12,7	16,9	48,0	4,61	19,1	3,54	0,81	3,19	0,43	2,47	0,47	1,29	0,16	1,00	0,14
	12,5 cm	12,2	16,2	47,6	4,37	18,1	3,36	0,76	2,98	0,41	2,34	0,44	1,21	0,16	0,94	0,13
	15,0 cm	12,3	15,6	47,5	4,43	18,3	3,39	0,77	2,99	0,41	2,34	0,44	1,21	0,15	0,94	0,13
	17,5 cm	12,1	16,0	46,4	4,35	17,8	3,29	0,74	2,94	0,40	2,30	0,43	1,19	0,15	0,92	0,13
	20,0 cm	12,1	15,9	47,5	4,39	17,9	3,33	0,74	2,96	0,40	2,30	0,43	1,19	0,15	0,92	0,13
	22,5 cm	11,9	15,8	44,4	4,34	17,8	3,28	0,73	2,95	0,40	2,27	0,43	1,17	0,15	0,92	0,13

Tabela 5 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) na extração sequencial dos sedimentos de Jurumirim associados aos sulfetos e matéria orgânica

	Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ponto 1 - Julho 2013	2,5 cm	1,29	1,65	5,59	0,70	3,27	0,80	0,18	0,61	0,082	0,47	0,086	0,25	0,033	0,23	0,034
	5,0 cm	1,62	2,02	7,02	0,85	3,93	0,96	0,22	0,72	0,099	0,56	0,10	0,29	0,039	0,27	0,039
	7,5 cm	1,76	2,12	7,36	0,89	4,14	1,00	0,23	0,76	0,11	0,59	0,11	0,31	0,042	0,29	0,043
	10,0 cm	1,53	1,91	6,66	0,80	3,69	0,91	0,21	0,68	0,093	0,53	0,098	0,28	0,038	0,25	0,038
	12,5 cm	1,56	2,08	7,35	0,88	4,08	0,90	0,21	0,73	0,10	0,51	0,10	0,29	0,039	0,26	0,038
	15,0 cm	1,85	2,38	8,80	1,02	4,73	1,15	0,26	0,84	0,11	0,64	0,11	0,32	0,044	0,29	0,043
	17,5 cm	1,77	2,26	8,15	1,01	4,71	1,16	0,27	0,85	0,12	0,65	0,12	0,33	0,045	0,31	0,045
	20,0 cm	1,73	2,31	8,43	1,02	4,70	1,15	0,26	0,84	0,12	0,64	0,12	0,33	0,043	0,30	0,043
	22,5 cm	2,17	2,66	10,60	1,09	5,06	1,25	0,28	0,90	0,13	0,69	0,12	0,35	0,047	0,32	0,047
	Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ponto 1 - Janeiro 2014	2,5 cm	2,08	2,38	11,5	0,96	4,37	1,03	0,24	0,76	0,10	0,56	0,10	0,29	0,039	0,26	0,039
	5,0 cm	1,92	2,06	9,77	0,84	3,90	0,94	0,21	0,69	0,094	0,52	0,094	0,27	0,036	0,25	0,037
	7,5 cm	1,31	1,40	6,72	0,52	2,38	0,57	0,13	0,43	0,060	0,34	0,062	0,18	0,024	0,16	0,024
	10,0 cm	1,00	1,08	5,06	0,40	1,81	0,43	0,097	0,33	0,045	0,25	0,047	0,13	0,018	0,12	0,018
	12,5 cm	0,65	0,69	3,23	0,25	1,16	0,28	0,063	0,21	0,029	0,16	0,030	0,087	0,011	0,079	0,012
	15,0 cm	1,47	1,40	6,28	0,56	2,62	0,64	0,15	0,48	0,068	0,38	0,070	0,20	0,027	0,19	0,028
	17,5 cm	2,11	2,04	9,04	0,85	3,96	0,96	0,22	0,71	0,098	0,55	0,10	0,29	0,039	0,26	0,039
	20,0 cm	1,89	1,94	8,49	0,78	3,59	0,87	0,20	0,65	0,090	0,50	0,091	0,26	0,034	0,23	0,035
	22,5 cm	2,11	1,53	6,84	0,60	2,79	0,69	0,16	0,51	0,071	0,40	0,074	0,21	0,028	0,20	0,029

Tabela 5 – Continuação.

	Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ponto 1 - Julho 2014	2,5 cm	2,07	1,34	6,19	0,80	3,63	0,86	0,20	0,66	0,092	0,52	0,096	0,27	0,04	0,25	0,037
	5,0 cm	1,94	1,12	4,95	0,72	3,32	0,79	0,19	0,61	0,085	0,48	0,090	0,25	0,03	0,23	0,034
	7,5 cm	2,41	1,33	6,01	0,88	4,07	0,97	0,23	0,76	0,11	0,60	0,11	0,32	0,04	0,29	0,043
	10,0 cm	2,27	1,29	5,74	0,83	3,82	0,91	0,21	0,70	0,10	0,56	0,10	0,30	0,04	0,27	0,039
	12,5 cm	2,31	1,36	6,20	0,85	3,90	0,93	0,22	0,72	0,10	0,57	0,11	0,30	0,04	0,27	0,040
	15,0 cm	2,47	1,57	7,12	0,96	4,39	1,04	0,24	0,80	0,11	0,62	0,11	0,32	0,04	0,29	0,042
	17,5 cm	2,71	1,72	7,66	1,01	4,60	1,08	0,25	0,84	0,12	0,65	0,12	0,34	0,05	0,31	0,044
	20,0 cm	2,65	1,78	7,74	1,03	4,69	1,09	0,26	0,84	0,12	0,65	0,12	0,33	0,04	0,30	0,043
	22,5 cm	2,36	1,57	6,98	0,92	4,22	1,00	0,23	0,77	0,11	0,59	0,11	0,31	0,04	0,27	0,039
	Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ponto 3- Julho 2013	2,5 cm	2,33	2,58	11,6	1,05	4,81	1,15	0,26	0,87	0,12	0,65	0,12	0,33	0,045	0,31	0,045
	5,0 cm	2,07	2,29	10,1	0,91	4,19	1,01	0,22	0,75	0,10	0,57	0,10	0,30	0,039	0,26	0,039
	7,5 cm	2,27	2,38	10,2	0,99	4,61	1,12	0,25	0,85	0,11	0,64	0,12	0,33	0,044	0,30	0,044
	10,0 cm	2,42	2,55	10,9	1,07	4,96	1,19	0,27	0,91	0,12	0,69	0,12	0,35	0,047	0,32	0,047
	12,5 cm	2,22	2,42	10,2	0,99	4,58	1,10	0,25	0,83	0,11	0,63	0,11	0,32	0,042	0,29	0,043
	15,0 cm	2,18	2,33	9,85	0,95	4,40	1,06	0,24	0,81	0,11	0,61	0,11	0,31	0,042	0,28	0,042
	17,5 cm	2,20	2,41	10,4	1,02	4,67	1,14	0,25	0,85	0,12	0,64	0,12	0,32	0,043	0,30	0,043
	20,0 cm	2,17	2,37	10,3	0,99	4,57	1,11	0,25	0,83	0,11	0,63	0,11	0,32	0,042	0,29	0,042
	22,5 cm	2,26	2,41	10,5	1,04	4,81	1,17	0,26	0,87	0,12	0,66	0,12	0,33	0,044	0,30	0,043

Tabela 6 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) de extração sequencial dos sedimentos de Jurumirim na fase residual.

	Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ponto 1 - Julho 2013	2,5 cm	4,89	8,53	16,9	3,75	6,79	1,18	0,27	1,73	0,16	1,12	0,25	0,75	0,12	0,80	0,13
	5,0 cm	2,15	5,82	8,24	3,00	2,71	0,46	0,11	1,17	0,082	0,70	0,17	0,53	0,094	0,61	0,10
	7,5 cm	3,03	6,79	8,03	3,20	3,67	0,66	0,14	1,17	0,093	0,81	0,19	0,60	0,11	0,70	0,11
	10,0 cm	3,39	7,23	8,86	3,19	4,78	0,80	0,20	0,85	0,10	0,83	0,19	0,62	0,11	0,72	0,12
	12,5 cm	1,41	4,45	3,54	2,37	0,97	0,09	0,001	0,61	0,004	0,045	0,010	0,08	0,028	0,19	0,04
	15,0 cm	1,98	4,93	2,05	2,51	1,56	0,10	0,01	0,17	0,004	0,15	0,044	0,17	0,040	0,28	0,05
	17,5 cm	3,88	7,69	10,7	3,60	6,25	0,99	0,23	1,11	0,12	0,92	0,20	0,61	0,11	0,70	0,11
	20,0 cm	2,57	5,23	4,37	2,40	2,12	0,14	0,02	0,31	0,002	0,18	0,057	0,21	0,048	0,32	0,053
	22,5 cm	4,41	7,88	8,41	3,46	7,15	1,42	0,35	1,50	0,19	1,35	0,28	0,87	0,14	0,90	0,14
	Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ponto 1 - Janeiro 2014	2,5 cm	7,25	15,3	23,5	4,74	9,74	2,70	0,59	2,08	0,33	1,97	0,42	1,25	0,19	1,26	0,19
	5,0 cm	6,28	12,4	23,7	3,00	7,15	1,55	0,37	1,16	0,20	1,31	0,28	0,89	0,14	0,98	0,15
	7,5 cm	3,06	12,7	18,1	2,57	6,38	1,07	0,19	0,65	0,12	0,74	0,16	0,54	0,088	0,60	0,096
	10,0 cm	7,17	15,8	24,0	3,44	9,93	1,77	0,39	1,41	0,22	1,33	0,29	0,89	0,13	0,94	0,15
	12,5 cm	6,17	12,1	19,9	2,64	8,46	1,55	0,28	1,25	0,19	1,16	0,24	0,75	0,12	0,85	0,13
	15,0 cm	5,14	10,9	19,4	2,75	6,04	1,41	0,34	1,09	0,19	1,20	0,27	0,81	0,13	0,87	0,13
	17,5 cm	5,45	17,2	24,2	3,89	10,4	1,94	0,45	1,48	0,23	1,45	0,31	0,96	0,15	0,97	0,15
	20,0 cm	5,85	13,4	20,3	3,44	7,40	1,67	0,39	1,25	0,21	1,31	0,29	0,90	0,14	1,01	0,15
	22,5 cm	2,53	12,6	18,3	2,79	6,59	1,32	0,31	0,96	0,17	1,05	0,23	0,72	0,11	0,74	0,12

Tabela 6 – Continuação.

	Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ponto 1 - Julho 2014	2,5 cm	5,60	13,0	20,2	4,61	7,14	1,18	0,27	1,14	0,16	1,01	0,24	0,79	0,12	0,85	0,13
	5,0 cm	6,69	17,7	25,3	5,09	10,9	1,95	0,40	1,85	0,24	1,40	0,31	0,99	0,15	1,04	0,16
	7,5 cm	2,38	10,4	20,5	4,74	4,39	0,64	0,14	0,50	0,066	0,35	0,10	0,36	0,060	0,44	0,070
	10,0 cm	6,43	16,3	28,5	4,39	7,56	1,17	0,26	1,15	0,15	0,99	0,23	0,75	0,12	0,85	0,12
	12,5 cm	4,51	14,7	26,5	4,38	7,77	1,31	0,28	1,22	0,15	0,89	0,21	0,65	0,10	0,70	0,10
	15,0 cm	7,09	15,8	26,4	5,55	10,1	1,81	0,42	1,70	0,21	1,36	0,30	0,95	0,14	0,96	0,14
	17,5 cm	2,88	11,8	18,6	4,24	5,84	0,93	0,22	0,86	0,11	0,62	0,16	0,54	0,085	0,60	0,086
	20,0 cm	4,79	12,1	28,9	3,19	7,19	1,34	0,30	1,17	0,16	1,08	0,25	0,84	0,13	0,92	0,14
	22,5 cm	6,33	13,0	31,9	3,25	7,98	1,54	0,35	1,44	0,21	1,34	0,31	0,98	0,15	1,05	0,16
	Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ponto 3- Julho 2013	2,5 cm	3,8	10,2	11,7	2,41	7,93	1,36	0,32	1,61	0,18	1,21	0,25	0,79	0,12	0,84	0,13
	5,0 cm	3,3	7,94	3,24	3,67	13,1	2,35	0,56	1,95	0,30	2,04	0,42	1,29	0,20	1,32	0,20
	7,5 cm	2,2	9,87	11,7	2,32	7,81	1,25	0,28	1,58	0,14	0,99	0,21	0,68	0,11	0,73	0,12
	10,0 cm	3,3	10,3	13,1	2,75	8,98	1,57	0,36	1,65	0,19	1,35	0,28	0,89	0,15	0,95	0,15
	12,5 cm	2,2	10,8	5,69	1,97	5,47	0,72	0,16	1,30	0,075	0,61	0,14	0,47	0,08	0,55	0,090
	15,0 cm	3,8	11,4	11,6	3,44	11,7	2,03	0,47	1,84	0,25	1,68	0,35	1,08	0,17	1,17	0,18
	17,5 cm	3,3	12,1	13,6	2,89	9,46	1,54	0,36	1,85	0,18	1,21	0,26	0,81	0,13	0,87	0,14
	20,0 cm	4,6	15,4	20,8	3,48	11,8	2,02	0,45	2,42	0,23	1,46	0,31	0,94	0,15	0,96	0,15
	22,5 cm	2,7	12,1	16,7	2,77	9,04	1,42	0,32	1,86	0,17	1,12	0,24	0,75	0,12	0,82	0,13

Tabela 7- Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) para a concentração total dos ETRs nos sedimentos de Jurumirim.

Ponto 1 - Julho de 2013															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	18,3	25,8	65,5	7,10	28,1	5,43	1,27	5,48	0,68	3,96	0,78	2,25	0,31	2,00	0,30
5,0 cm	17,6	25,1	66,6	6,82	27,4	5,34	1,25	5,49	0,68	3,98	0,79	2,27	0,32	2,01	0,30
7,5 cm	19,0	26,8	73,0	7,32	29,2	5,70	1,31	5,59	0,71	4,19	0,83	2,39	0,33	2,14	0,31
10,0 cm	18,5	26,1	64,5	7,23	28,9	5,58	1,32	5,09	0,69	4,06	0,80	2,33	0,33	2,09	0,31
12,5 cm	16,9	24,8	68,8	6,77	26,6	5,06	1,14	5,01	0,58	3,33	0,64	1,83	0,25	1,59	0,24
15,0 cm	18,4	26,0	65,6	7,17	28,4	5,39	1,23	4,82	0,64	3,66	0,71	2,02	0,28	1,76	0,26
17,5 cm	19,4	27,4	68,0	7,92	31,3	5,96	1,39	5,48	0,73	4,24	0,83	2,37	0,33	2,10	0,31
20,0 cm	18,1	25,7	65,9	7,03	27,8	5,22	1,19	4,73	0,62	3,54	0,69	1,97	0,27	1,72	0,25
22,5 cm	19,3	27,3	79,1	7,82	31,0	6,14	1,44	5,56	0,77	4,50	0,88	2,54	0,35	2,21	0,32
25,0 cm	19,8	29,8	81,0	8,28	32,8	6,28	1,48	5,91	0,77	4,55	0,89	2,56	0,35	2,25	0,33
27,5 cm	16,2	26,6	66,8	7,52	29,5	5,59	1,34	5,13	0,68	3,93	0,77	2,20	0,30	1,91	0,27
30,0 cm	17,2	27,4	73,9	7,13	28,1	5,42	1,29	5,54	0,66	3,81	0,74	2,10	0,28	1,77	0,26
32,5 cm	20,3	27,9	78,3	7,44	30,0	5,80	1,41	5,86	0,73	4,25	0,83	2,37	0,33	2,06	0,31
35,0 cm	20,8	33,8	74,8	8,31	32,3	5,94	1,33	5,78	0,71	4,10	0,80	2,26	0,31	1,97	0,29
37,5 cm	22,0	33,6	79,2	8,43	31,9	5,99	1,23	5,90	0,76	4,45	0,88	2,59	0,38	2,51	0,38
40,0 cm	22,0	37,5	82,3	8,95	33,6	6,17	1,21	6,03	0,75	4,39	0,86	2,53	0,37	2,46	0,37
42,5 cm	16,8	27,2	65,6	6,83	25,9	4,88	0,97	4,84	0,62	3,63	0,72	2,14	0,31	2,07	0,31
45,0 cm	19,9	31,3	71,2	7,69	29,1	5,38	1,07	5,19	0,69	4,09	0,81	2,44	0,36	2,43	0,37
47,5 cm	17,1	27,2	72,9	7,51	29,6	5,65	1,30	5,38	0,68	3,89	0,76	2,17	0,31	1,93	0,29

Ponto 1 - Janeiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	24,2	35,0	90,1	10,5	37,1	7,66	1,75	6,43	0,93	5,22	1,03	2,94	0,40	2,60	0,38
5,0 cm	21,4	30,2	83,6	8,21	34,2	6,10	1,44	5,18	0,76	4,35	0,85	2,49	0,35	2,26	0,33
7,5 cm	17,1	29,3	73,5	7,42	29,7	5,32	1,19	4,39	0,63	3,61	0,70	2,04	0,28	1,80	0,26
10,0 cm	17,8	28,2	65,1	7,10	28,1	5,00	1,14	4,26	0,61	3,50	0,70	2,02	0,28	1,85	0,27
12,5 cm	14,0	21,6	52,5	5,42	25,6	3,96	0,83	3,37	0,48	2,76	0,54	1,58	0,23	1,52	0,23
15,0 cm	19,2	26,7	74,1	7,42	29,8	5,53	1,31	4,74	0,70	4,00	0,79	2,29	0,32	2,05	0,30

Tabela 7 – Continuação.

Ponto 1 - Janeiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
17,5 cm	22,7	36,8	92,5	9,68	37,9	7,03	1,64	5,95	0,85	4,89	0,96	2,77	0,38	2,42	0,36
20,0 cm	22,6	32,6	88,1	9,11	35,5	6,65	1,56	5,62	0,82	4,67	0,93	2,66	0,37	2,42	0,35
22,5 cm	18,9	31,0	81,1	8,18	33,3	6,05	1,40	5,08	0,74	4,21	0,83	2,38	0,32	2,07	0,31
25,0 cm	20,2	31,9	83,3	9,13	35,0	6,58	1,52	5,52	0,79	4,48	0,87	2,49	0,34	2,15	0,31
27,5 cm	21,3	34,8	89,0	9,36	36,4	6,78	1,56	5,71	0,83	4,71	0,93	2,67	0,37	2,37	0,35
30,0 cm	23,4	29,3	78,1	9,72	29,7	6,90	1,60	5,93	0,85	4,79	0,94	2,71	0,36	2,35	0,34
32,5 cm	25,5	38,8	96,6	11,0	38,0	7,89	1,80	6,64	0,96	5,41	1,06	3,07	0,42	2,68	0,39
35,0 cm	22,5	29,5	76,9	10,2	32,1	7,39	1,74	6,25	0,90	4,98	0,97	2,79	0,37	2,39	0,35
37,5 cm	23,0	31,6	93,3	9,44	34,4	7,02	1,72	5,88	0,85	4,75	0,91	2,56	0,34	2,17	0,31
40,0 cm	27,4	38,3	99,7	10,1	38,7	7,38	1,79	6,27	0,92	5,22	1,04	2,99	0,41	2,68	0,39
42,5 cm	21,2	23,2	65,5	8,69	27,3	6,67	1,61	5,78	0,84	4,72	0,92	2,66	0,36	2,32	0,34
45,0 cm	29,2	27,3	70,8	11,1	29,9	8,24	2,01	7,29	1,05	5,85	1,15	3,35	0,46	2,96	0,43
47,5 cm	24,3	31,4	75,1	8,28	32,7	6,11	1,47	5,38	0,78	4,48	0,90	2,63	0,36	2,36	0,35
50,0 cm	21,9	30,2	70,5	7,86	31,6	5,84	1,39	5,18	0,73	4,20	0,84	2,42	0,34	2,15	0,31
52,5 cm	28,5	37,0	85,1	11,4	37,1	7,96	1,72	6,86	1,00	5,64	1,11	3,26	0,45	2,92	0,43
55,0 cm	25,1	33,4	80,5	11,2	36,6	7,86	1,61	6,63	0,96	5,40	1,06	3,10	0,44	2,93	0,43
Ponto 1 - Julho de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	20,0	30,3	68,5	7,60	29,3	5,54	1,30	4,91	0,69	3,91	0,78	2,30	0,32	2,05	0,30
5,0 cm	21,1	34,3	74,6	8,44	32,5	6,16	1,39	5,49	0,76	4,21	0,83	2,44	0,33	2,20	0,32
7,5 cm	18,2	29,8	72,6	7,46	28,5	5,40	1,26	4,67	0,65	3,53	0,70	2,02	0,27	1,77	0,26
10,0 cm	21,9	35,0	79,7	8,14	30,8	5,74	1,33	5,07	0,70	4,01	0,79	2,31	0,32	2,10	0,30
12,5 cm	20,3	33,9	79,8	8,16	31,1	5,83	1,34	5,08	0,70	3,88	0,77	2,20	0,30	1,95	0,28
15,0 cm	24,0	36,6	84,2	9,21	35,1	6,70	1,55	5,89	0,81	4,60	0,90	2,63	0,35	2,30	0,33
17,5 cm	20,3	32,9	77,0	8,17	31,1	5,90	1,38	5,13	0,71	3,94	0,78	2,26	0,31	1,98	0,28
20,0 cm	21,3	32,0	69,3	8,18	31,7	6,09	1,42	5,33	0,75	4,28	0,85	2,51	0,35	2,25	0,33
22,5 cm	22,8	33,2	74,0	8,36	32,3	6,24	1,45	5,54	0,79	4,49	0,90	2,62	0,36	2,35	0,34

Tabela 7 – Continuação.

Ponto 1 - Julho de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
25,0 cm	21,2	31,1	78,2	7,88	30,2	5,83	1,35	5,06	0,72	4,12	0,82	2,39	0,33	2,16	0,31
27,5 cm	19,8	29,9	72,4	7,45	28,9	5,53	1,30	4,86	0,68	3,89	0,77	2,27	0,31	2,02	0,29
30,0 cm	21,0	33,4	69,2	8,23	31,4	5,91	1,37	5,15	0,70	3,92	0,78	2,29	0,31	2,07	0,30
32,5 cm	25,3	39,0	79,9	9,42	35,9	6,67	1,57	5,90	0,82	4,63	0,91	2,70	0,38	2,48	0,36
35,0 cm	24,3	37,0	77,2	8,52	32,4	6,05	1,43	5,34	0,74	4,21	0,84	2,46	0,34	2,25	0,33
37,5 cm	25,4	41,2	84,3	9,50	35,9	6,62	1,55	5,83	0,79	4,37	0,87	2,55	0,35	2,25	0,32
40,0 cm	22,4	35,2	79,4	8,17	30,9	5,75	1,34	5,04	0,69	3,93	0,78	2,30	0,32	2,07	0,30
Ponto 2 - Janeiro de 2013															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	23,5	38,8	96,5	10,4	41,4	7,88	1,96	6,62	0,94	5,21	0,99	2,74	0,36	2,27	0,33
5,0 cm	25,2	39,0	98,5	10,52	42,0	8,04	1,98	6,84	0,98	5,54	1,07	3,00	0,41	2,56	0,37
7,5 cm	22,9	40,5	99,5	10,71	42,9	8,12	2,03	6,73	0,94	5,14	0,95	2,60	0,34	2,10	0,30
10,0 cm	22,5	36,1	97,9	9,51	37,9	7,28	1,78	6,06	0,86	4,82	0,91	2,51	0,33	2,03	0,29
12,5 cm	26,1	39,3	100,1	10,45	41,8	8,07	2,02	6,85	0,99	5,64	1,09	3,12	0,43	2,71	0,39
15,0 cm	24,9	38,9	99,7	10,52	42,3	8,18	2,06	6,89	0,99	5,61	1,07	3,03	0,41	2,57	0,37
17,5 cm	23,7	38,6	99,3	10,59	42,8	8,30	2,11	6,92	0,99	5,58	1,05	2,94	0,39	2,44	0,35
20,0 cm	25,7	42,3	104,1	11,22	44,7	8,38	2,08	6,91	0,95	5,11	0,96	2,64	0,35	2,18	0,32
22,5 cm	22,1	40,3	87,1	10,40	41,2	7,67	1,93	6,35	0,85	4,65	0,85	2,30	0,29	1,79	0,26
25,0 cm	21,7	36,2	97,4	9,56	38,2	7,27	1,82	6,06	0,85	4,65	0,87	2,39	0,31	1,90	0,27
27,5 cm	17,8	27,8	68,4	7,56	30,5	5,77	1,51	4,96	0,71	4,00	0,77	2,14	0,29	1,85	0,27
30,0 cm	31,2	50,2	129,1	13,05	52,1	9,86	2,58	8,27	1,18	6,67	1,27	3,56	0,48	3,10	0,45
32,5 cm	29,9	47,6	121,5	12,4	49,6	9,35	2,45	7,93	1,12	6,41	1,21	3,41	0,47	2,95	0,43
35,0 cm	21,0	32,7	82,1	8,6	34,4	6,58	1,68	5,53	0,79	4,46	0,86	2,40	0,32	2,09	0,30
37,5 cm	20,7	30,7	73,1	8,09	32,6	6,18	1,60	5,26	0,75	4,29	0,82	2,31	0,31	1,98	0,29
40,0 cm	19,8	36,3	92,1	9,2	36,5	6,64	1,68	5,62	0,78	4,47	0,85	2,40	0,33	2,05	0,30

Tabela 7 – Continuação.

Ponto 3 - Julho de 2013															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	20,7	31,4	80,6	8,65	34,1	6,54	1,50	6,08	0,81	4,65	0,90	2,58	0,35	2,26	0,33
5 cm	18,6	29,2	73,0	9,30	36,6	7,07	1,61	5,82	0,86	4,97	0,97	2,80	0,39	2,51	0,36
7,5 cm	18,6	30,5	76,4	8,30	32,9	6,24	1,42	5,89	0,75	4,29	0,84	2,39	0,33	2,09	0,31
10 cm	20,5	32,0	79,2	9,08	35,7	6,86	1,56	6,22	0,84	4,86	0,94	2,71	0,38	2,40	0,35
12,5 cm	18,6	31,5	70,6	7,97	30,8	5,72	1,29	5,56	0,68	3,91	0,76	2,17	0,30	1,92	0,28
15 cm	20,6	31,8	77,3	9,57	37,4	7,10	1,62	6,16	0,86	5,02	0,98	2,80	0,39	2,55	0,38
17,5 cm	20,1	33,2	79,3	9,05	35,2	6,62	1,50	6,19	0,79	4,55	0,89	2,53	0,35	2,25	0,33
20 cm	21,5	36,5	88,3	9,69	37,6	7,13	1,60	6,78	0,85	4,81	0,93	2,66	0,37	2,34	0,34
22,5 cm	19,5	33,0	81,0	8,98	35,0	6,55	1,47	6,26	0,79	4,48	0,87	2,48	0,34	2,21	0,32
25 cm	21,1	34,4	83,4	9,16	35,5	6,80	1,53	6,45	0,82	4,73	0,92	2,66	0,37	2,38	0,35
27,5 cm	20,8	33,6	80,6	9,26	36,2	6,82	1,55	6,38	0,83	4,85	0,95	2,73	0,38	2,46	0,36
30 cm	16,4	25,5	65,2	7,56	29,9	5,87	1,31	5,48	0,72	4,22	0,83	2,43	0,34	2,21	0,33
32,5 cm	18,3	28,2	70,7	8,30	32,8	6,36	1,45	5,84	0,80	4,68	0,92	2,66	0,37	2,42	0,36
35 cm	22,2	36,6	89,1	10,1	39,3	7,46	1,72	6,82	0,89	5,17	1,00	2,85	0,40	2,55	0,37
37,5 cm	20,0	32,4	80,5	8,89	34,8	6,66	1,53	6,36	0,81	4,65	0,91	2,62	0,37	2,34	0,34
40 cm	21,2	36,1	87,9	9,55	37,2	6,92	1,56	6,50	0,80	4,62	0,88	2,51	0,34	2,18	0,32
42,5 cm	19,0	31,3	76,0	8,78	34,3	6,54	1,50	6,08	0,79	4,53	0,88	2,54	0,36	2,27	0,34
45 cm	18,7	29,0	72,1	8,98	35,2	6,79	1,55	5,86	0,84	4,84	0,95	2,77	0,39	2,53	0,37
47,5 cm	25,7	43,7	99,9	11,9	45,1	8,35	1,86	7,45	0,99	5,70	1,11	3,16	0,44	2,78	0,40
50 cm	21,3	38,9	84,8	10,3	38,9	6,94	1,47	6,20	0,82	4,73	0,92	2,67	0,38	2,41	0,36
52,5 cm	19,8	36,2	67,6	8,78	31,8	5,67	1,15	5,01	0,72	4,32	0,87	2,59	0,38	2,48	0,38

Tabela 8 – Resultados obtidos para os elementos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nas amostras da coluna de água (água circulante) do reservatório de Promissão.

Ponto 1 - Julho 2013															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
superf. tot.	0,019	0,017	0,044	0,026	0,021	0,004	0,001	0,008	<0,001	0,003	<0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,0005
superf. diss.	0,010	0,004	0,006	0,005	0,005	0,001	<0,001	0,007	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,002	<0,0005
6 m tot	0,023	0,024	0,065	0,005	0,028	0,006	0,002	0,009	<0,001	0,004	<0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,0005
6 m diss	0,010	0,003	0,006	0,001	0,005	0,001	0,001	0,006	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,0005
13 m tot	0,021	0,021	0,062	0,003	0,027	0,006	0,001	0,008	<0,001	0,004	<0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,0005
13 m diss	0,010	0,004	0,007	0,001	0,005	0,001	0,001	0,006	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,0005
19 m tot	0,021	0,026	0,056	0,004	0,023	0,005	0,007	0,009	<0,001	0,004	<0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,0005
19 m diss	0,011	0,004	0,006	0,001	0,005	0,001	0,001	0,007	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,0005
26 m tot	0,87	1,45	4,46	0,44	1,50	0,28	0,079	0,23	0,035	0,18	0,034	0,094	0,011	0,080	0,012
26 m diss	0,040	0,027	0,089	0,007	0,036	0,007	0,007	0,012	0,001	0,006	0,001	0,003	<0,001	0,004	0,0006
Ponto 1 - Janeiro 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
superf. tot.	0,023	0,026	0,14	0,009	0,029	0,007	0,002	0,012	<0,001	0,005	<0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,0005
superf. diss.	0,010	0,008	0,039	0,003	0,008	0,002	0,001	0,009	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,0005
5 m tot	0,028	0,036	0,64	0,011	0,039	0,008	0,002	0,013	<0,001	0,005	<0,001	0,002	<0,001	0,003	<0,0005
5 m diss	0,009	0,005	0,055	0,003	0,006	0,001	0,001	0,009	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,0005
11 m tot	0,024	0,029	0,25	0,009	0,031	0,006	0,007	0,011	<0,001	0,004	<0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,0005
11 m diss	0,009	0,005	0,020	0,002	0,008	0,001	0,001	0,008	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,0005
16 m tot	0,033	0,036	0,12	0,013	0,041	0,009	0,002	0,013	<0,001	0,006	<0,001	0,003	<0,001	0,003	<0,0005
16 m diss	0,018	0,013	0,038	0,004	0,016	0,004	0,002	0,010	<0,001	0,003	<0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,0005
22 m tot	0,14	0,19	0,65	0,059	0,23	0,044	0,011	0,044	0,005	0,027	0,005	0,013	0,002	0,012	0,0015
22 m diss	0,022	0,010	0,033	0,004	0,015	0,004	0,002	0,010	<0,001	0,003	<0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,0005

Tabela 8 – Continuação.

Ponto 1 - Julho 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
superf. tot.	0,029	0,030	0,088	0,010	0,038	0,007	0,004	0,014	0,001	0,005	<0,001	0,003	<0,001	0,003	<0,0005
superf. diss.	0,013	0,006	0,012	0,002	0,007	0,002	0,002	0,011	<0,001	0,002	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,0005
5 m tot	0,030	0,033	0,097	0,011	0,037	0,008	0,003	0,016	<0,001	0,005	<0,001	0,003	<0,001	0,003	<0,0005
5 m diss	0,012	0,006	0,013	0,002	0,009	0,002	0,001	0,012	<0,001	0,002	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,0005
11 m tot	0,030	0,033	0,097	0,010	0,039	0,007	0,007	0,016	<0,001	0,005	<0,001	0,003	<0,001	0,003	<0,0005
11 m diss	0,012	0,005	0,011	0,002	0,008	0,001	0,001	0,010	<0,001	0,002	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,0005
16 m tot	0,030	0,031	0,096	0,010	0,037	0,007	0,004	0,016	<0,001	0,006	<0,001	0,003	<0,001	0,003	<0,0005
16 m diss	0,015	0,007	0,014	0,002	0,009	0,002	0,002	0,011	<0,001	0,002	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,0005
21 m tot	1,70	2,54	8,83	0,77	3,08	0,58	0,14	0,48	0,073	0,36	0,067	0,18	0,023	0,15	0,021
21 m diss	0,012	0,005	0,013	0,004	0,008	0,002	0,002	0,010	<0,001	0,002	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,0005
Ponto 2 - Janeiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
superf. tot.	0,016	0,016	0,058	0,006	0,019	0,003	0,005	0,011	0,001	0,002	0,001	0,002	<0,001	0,002	0,001
superf. diss.	0,008	0,005	0,015	0,003	0,007	0,001	<0,001	0,009	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,0005
11 m tot	0,022	0,023	0,084	0,008	0,028	0,005	0,003	0,013	0,001	0,004	0,001	0,002	<0,001	0,002	0,001
11 m diss	0,011	0,007	0,019	0,003	0,009	0,002	0,001	0,011	<0,001	0,002	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,0005
22 m tot	7,662	10,443	40,590	1,710	13,038	2,460	0,554	2,044	0,309	1,563	0,301	0,814	0,058	0,681	0,098
22 m diss	0,038	0,020	0,068	0,007	0,028	0,006	0,004	0,013	<0,001	0,005	0,001	0,003	<0,001	0,004	<0,0005

Tabela 9 – Resultados obtidos para os elementos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nas amostras de água intersticial do reservatório de Promissão.

Ponto 1 - Julho de 2013															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
sup - 2,5 cm tot.	1166	1654	7220	521	1841	369	92,1	310	44,0	246	45,5	127	16,8	98,5	14,5
sup - 2,5 cm diss.	1121	1520	6780	510	1759	355	89,6	291	41,8	233	43,2	120	15,9	94,3	13,6
2,5 - 5,0 cm tot.	11093	1542	7147	511	1790	353	91,0	299	42,6	234	44,2	122	16,0	96,3	13,4
2,5 - 5,0 cm diss.	1114	1504	6713	505	1750	341	88,2	289	41,2	228	42,6	118	15,4	93,4	13,1
5,0 - 7,5 cm tot.	225	268	1026	85,1	285	45,9	12,6	39,5	5,85	27,8	6,09	16,3	1,99	11,7	1,70
5,0 - 7,5 cm diss.	214	252	1012	82,6	277	44,1	11,9	39,4	5,75	26,1	6,00	15,7	1,94	11,2	1,65
7,5 - 10,0 cm tot.	55,4	68,2	275	22,4	70,2	16,7	4,48	14,2	2,11	10,1	2,34	6,49	0,94	5,43	0,79
7,5 - 10,0 cm diss.	52,7	65,0	270	21,1	67,6	15,9	4,40	13,2	2,08	9,8	2,31	6,42	0,91	5,38	0,78
10,0 - 12,5 cm tot.	23,7	35,9	95,4	6,56	23,7	3,86	1,08	4,22	0,60	3,45	0,70	1,86	0,23	1,28	0,18
10,0 - 12,5 cm diss.	23,2	34,5	91,5	6,31	22,4	3,74	1,07	4,13	0,59	3,35	0,67	1,82	0,22	1,24	0,17
12,5 - 15,0 cm tot.	68,8	102	385	30,2	119	22,9	5,79	19,6	2,73	15,1	2,84	7,86	1,03	6,26	0,88
12,5 - 15,0 cm diss.	1,43	2,40	6,14	0,44	1,63	0,28	0,070	0,29	0,038	0,21	0,044	0,12	0,015	0,100	0,014
15,0 - 17,5 cm tot.	10,6	17,2	50,3	3,80	13,5	2,51	0,64	2,39	0,33	1,73	0,34	0,97	0,12	0,74	0,10
15,0 - 17,5 cm diss.	7,63	13,9	33,1	2,67	8,18	1,34	0,41	1,62	0,22	1,28	0,25	0,68	0,086	0,51	0,073
17,5 - 20,0 cm tot.	16,5	26,7	67,2	4,68	16,7	2,61	0,73	2,86	0,41	2,30	0,46	1,25	0,15	0,86	0,12
17,5 - 20,0 cm diss.	15,4	25,3	63,6	4,42	15,5	2,46	0,70	2,71	0,38	2,16	0,43	1,18	0,15	0,84	0,11
20,0 - 22,5 cm tot.	5,61	7,78	18,1	1,26	4,56	0,77	0,22	0,85	0,13	0,76	0,16	0,45	0,060	0,32	0,050
20,0 - 22,5 cm diss.	5,23	6,45	14,4	1,00	3,41	0,55	0,17	0,70	0,11	0,64	0,13	0,41	0,049	0,26	0,041

Ponto 1 - Janeiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
sup - 2,5 cm tot.	661	1027	2766	190	746	132	36,1	133	19,4	108	20,7	57,0	7,62	40,8	5,56
sup - 2,5 cm diss.	641	1013	2691	182	813	132	36,2	134	19,3	108	20,9	56,9	7,14	40,8	5,53
2,5 - 5,0 cm tot.	2015	3239	9100	651	2676	448	124	424	60,9	336	63,5	177	22,9	133	18,5
2,5 - 5,0 cm diss.	1830	3216	8762	670	2996	445	125	421	60,0	335	63,3	177	23,9	133	18,6
5,0 - 7,5 cm tot.	7,11	11,2	29,0	2,20	7,33	1,02	0,28	1,08	0,16	0,89	0,18	0,49	0,081	0,34	0,049
5,0 - 7,5 cm diss.	6,63	10,2	24,8	1,44	6,06	0,86	0,24	1,00	0,14	0,79	0,16	0,44	0,049	0,29	0,042

Tabela 9 – continuação.

Ponto 1 - Janeiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
7,5 - 10,0 cm tot	3,40	4,96	11,5	0,69	2,76	0,41	0,12	0,47	0,068	0,39	0,079	0,21	0,025	0,14	0,022
7,5 - 10,0 cm diss	3,52	4,93	11,4	0,75	2,70	0,40	0,12	0,47	0,066	0,39	0,080	0,22	0,024	0,15	0,022
10,0 - 12,5 cm tot	5,16	7,57	17,9	1,07	4,47	0,65	0,17	0,74	0,10	0,61	0,12	0,34	0,042	0,23	0,033
10,0 - 12,5 cm diss	5,19	7,70	18,3	1,04	4,40	0,63	0,18	0,74	0,10	0,60	0,12	0,33	0,037	0,23	0,032
12,5 - 15,0 cm tot	13,9	19,9	47,7	2,64	11,7	1,63	0,45	1,98	0,28	1,59	0,32	0,89	0,11	0,60	0,081
12,5 - 15,0 cm diss	14,2	19,8	47,3	2,66	11,6	1,61	0,45	1,99	0,28	1,57	0,32	0,87	0,10	0,60	0,080
15,0 - 17,5 cm tot	283	326	764	44,5	193	29,5	8,40	33,8	5,06	29,5	5,89	16,0	1,98	10,9	1,52
15,0 - 17,5 cm diss	282	320	703	44,0	193	29,4	8,39	33,8	5,03	29,7	5,87	16,0	1,93	11,0	1,49
17,5 - 20,0 cm tot	21,6	22,8	55,2	3,57	14,3	2,26	0,67	2,63	0,42	2,50	0,53	1,45	0,20	0,98	0,14
17,5 - 20,0 cm diss	21,6	22,5	53,7	3,32	13,7	2,12	0,64	2,56	0,40	2,45	0,52	1,42	0,19	0,98	0,14
Ponto 1 - Julho de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
sup - 2,5 cm tot.	7,62	9,27	25,6	1,64	7,44	1,41	0,41	1,66	0,25	1,50	0,30	0,84	0,092	0,60	0,084
sup - 2,5 cm diss.	7,62	8,81	24,4	1,56	6,99	1,36	0,38	1,50	0,23	1,36	0,28	0,75	0,086	0,55	0,079
2,5 - 5,0 cm tot.	16,5	19,4	53,6	3,27	14,1	2,77	0,78	3,18	0,49	2,89	0,57	1,58	0,19	1,11	0,16
2,5 - 5,0 cm diss.	16,2	18,8	52,7	3,24	14,0	2,70	0,77	3,11	0,48	2,76	0,57	1,54	0,18	1,09	0,15
5,0 - 7,5 cm tot.	1,39	1,44	3,24	0,27	0,70	0,11	0,034	0,15	0,020	0,13	0,025	0,078	0,010	0,047	0,006
5,0 - 7,5 cm diss	1,07	1,37	3,20	0,23	0,70	0,11	0,033	0,15	0,021	0,12	0,025	0,079	0,009	0,045	0,006
7,5 - 10,0 cm tot	0,52	0,59	1,36	0,12	0,32	0,052	0,018	0,069	0,006	0,050	0,008	0,030	0,002	0,019	0,002
7,5 - 10,0 cm diss	0,40	0,58	1,27	0,12	0,29	0,051	0,019	0,057	0,006	0,047	0,008	0,029	0,002	0,019	0,002
10,0 - 12,5 cm tot	0,45	0,44	1,33	0,11	0,37	0,061	0,039	0,066	0,009	0,060	0,011	0,029	0,004	0,027	0,003
10,0 - 12,5 cm diss	0,36	0,43	1,32	0,103	0,36	0,061	0,039	0,066	0,009	0,060	0,011	0,028	0,004	0,025	0,002
12,5 - 15,0 cm tot	0,31	0,31	0,95	0,100	0,28	0,068	0,038	0,055	0,006	0,047	0,008	0,028	0,004	0,028	0,003
12,5 - 15,0 cm diss	0,13	0,16	0,44	0,065	0,12	0,023	0,024	0,022	0,001	0,019	0,003	0,013	<0,003	0,008	<0,002
15,0 - 17,5 cm tot	0,29	0,34	0,88	0,088	0,22	0,032	0,031	0,045	0,003	0,031	0,005	0,016	<0,003	0,013	<0,002
15,0 - 17,5 cm diss	0,21	0,31	0,78	0,079	0,19	0,027	0,033	0,038	0,003	0,031	0,005	0,015	<0,003	0,011	<0,002
17,5 - 20,0 cm tot	0,46	0,51	1,32	0,11	0,35	0,058	0,045	0,072	0,009	0,057	0,010	0,033	<0,003	0,020	0,002
17,5 - 20,0 cm diss	0,36	0,50	1,31	0,12	0,35	0,060	0,039	0,071	0,009	0,054	0,010	0,032	<0,003	0,020	0,002

Tabela 9 – Continuação.

Ponto 2 - Janeiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
sup - 2,5 cm tot.	126	152	424	28,8	117	21,4	6,20	25,0	3,84	22,6	4,54	12,4	1,45	8,04	1,09
sup - 2,5 cm diss.	126	151	421	29,1	116	21,4	6,19	24,9	3,82	22,6	4,53	12,4	1,49	8,07	1,07
2,5 - 5,0 cm tot.	547	642	1740	112	465	84,9	25,1	95,9	15,6	94,0	18,9	51,7	6,39	37,6	5,10
2,5 - 5,0 cm diss.	546	635	1737	117	464	85,1	25,0	94,8	15,6	93,9	18,8	51,6	6,67	38,0	5,08
5,0 - 7,5 cm tot.	2,28	4,29	8,75	0,85	2,18	0,40	0,11	0,47	0,069	0,42	0,084	0,23	0,047	0,17	0,023
5,0 - 7,5 cm diss	1,74	2,94	7,20	0,49	1,73	0,30	0,082	0,33	0,050	0,29	0,060	0,16	0,018	0,11	0,015
7,5 - 10,0 cm tot	0,43	0,63	1,71	0,14	0,47	0,10	0,023	0,090	0,014	0,08	0,017	0,048	0,005	0,042	0,006
7,5 - 10,0 cm diss	0,37	0,57	1,39	0,10	0,37	0,06	0,016	0,077	0,010	0,06	0,012	0,037	0,003	0,029	0,004
10,0 - 12,5 cm tot	0,96	1,42	3,65	0,27	0,92	0,17	0,046	0,19	0,028	0,17	0,033	0,097	0,010	0,074	0,010
10,0 - 12,5 cm diss	0,94	1,41	3,61	0,27	0,91	0,16	0,043	0,18	0,026	0,16	0,033	0,097	0,011	0,069	0,010
12,5 - 15,0 cm tot	1,51	2,16	5,39	0,36	1,37	0,25	0,065	0,27	0,040	0,26	0,054	0,15	0,016	0,12	0,015
12,5 - 15,0 cm diss	1,46	2,02	5,29	0,34	1,36	0,23	0,063	0,27	0,037	0,25	0,053	0,15	0,014	0,11	0,015
15,0 - 17,5 cm tot	2,82	3,59	8,30	0,33	2,28	0,42	0,12	0,49	0,075	0,47	0,099	0,28	0,017	0,20	0,030
15,0 - 17,5 cm diss	2,75	3,49	8,08	0,35	2,22	0,42	0,12	0,48	0,069	0,46	0,100	0,27	0,022	0,21	0,029
17,5 - 20,0 cm tot	1,31	1,53	4,07	0,56	1,43	0,28	0,073	0,26	0,041	0,25	0,049	0,15	0,032	0,13	0,018
17,5 - 20,0 cm diss	1,24	1,38	3,36	0,62	1,18	0,23	0,062	0,24	0,036	0,22	0,045	0,13	0,032	0,11	0,017

Tabela 10 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) na extração sequencial dos sedimentos de Promissão associados carbonatos e trocável.

Ponto 1 - Julho de 2013															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	2,94	2,79	9,65	0,79	3,74	0,73	0,19	0,70	0,10	0,55	0,11	0,29	0,040	0,23	0,032
5,0 cm	6,53	8,02	33,5	2,56	11,01	2,00	0,50	1,70	0,23	1,26	0,24	0,67	0,087	0,53	0,075
7,5 cm	8,63	9,14	37,9	2,92	15,83	2,26	0,58	1,99	0,28	1,55	0,30	0,82	0,11	0,65	0,090
10,0 cm	5,72	6,00	28,0	2,16	9,77	1,72	0,44	1,47	0,21	1,10	0,21	0,58	0,076	0,46	0,064
12,5 cm	1,06	1,29	4,70	0,37	1,59	0,29	0,076	0,26	0,035	0,18	0,035	0,097	0,013	0,077	0,011
15,0 cm	0,85	0,99	3,71	0,31	1,30	0,25	0,064	0,21	0,028	0,15	0,029	0,080	0,011	0,066	0,009
17,5 cm	0,88	1,05	3,84	0,32	1,31	0,24	0,064	0,21	0,028	0,15	0,029	0,080	0,011	0,065	0,009
20,0 cm	0,77	0,90	3,15	0,25	1,05	0,19	0,051	0,17	0,023	0,13	0,025	0,069	0,009	0,056	0,008
22,5 cm	0,43	0,41	1,28	0,10	0,40	0,072	0,018	0,07	0,010	0,059	0,012	0,035	0,005	0,028	0,004
Ponto 1 - Janeiro de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	5,85	8,74	30,3	2,42	9,80	1,74	0,45	1,59	0,23	1,20	0,23	0,63	0,08	0,49	0,068
5,0 cm	10,3	13,60	47,8	3,16	15,47	2,65	0,71	2,36	0,33	1,75	0,32	0,91	0,12	0,71	0,100
7,5 cm	2,34	2,92	10,7	0,82	3,48	0,64	0,17	0,58	0,081	0,43	0,081	0,22	0,029	0,18	0,026
10,0 cm	2,31	3,04	10,5	0,83	3,51	0,64	0,17	0,57	0,078	0,41	0,078	0,22	0,028	0,17	0,024
12,5 cm	2,27	3,06	9,92	0,81	3,41	0,61	0,16	0,56	0,077	0,40	0,077	0,21	0,027	0,16	0,024
15,0 cm	2,32	3,34	9,09	0,69	3,77	0,68	0,18	0,64	0,086	0,46	0,088	0,24	0,032	0,19	0,027
17,5 cm	4,16	6,34	18,5	1,45	5,81	1,01	0,27	0,96	0,14	0,73	0,14	0,39	0,050	0,30	0,042
20,0 cm	2,36	2,36	6,45	0,51	2,16	0,41	0,12	0,40	0,060	0,33	0,066	0,19	0,024	0,15	0,021
Ponto 1 - Julho de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	2,04	1,85	8,13	0,50	2,12	0,43	0,12	0,43	0,067	0,38	0,073	0,20	0,026	0,16	0,022
5,0 cm	2,44	2,39	10,8	0,62	2,63	0,52	0,14	0,53	0,080	0,44	0,085	0,23	0,030	0,18	0,025
7,5 cm	1,27	1,26	5,97	0,35	1,49	0,30	0,081	0,29	0,043	0,23	0,045	0,12	0,016	0,097	0,014
10,0 cm	1,14	1,15	5,44	0,33	1,43	0,28	0,077	0,27	0,039	0,21	0,040	0,11	0,014	0,088	0,013

Tabela 10 – Continuação.

Ponto 1 - Julho de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
12,5 cm	1,25	1,24	5,91	0,36	1,57	0,32	0,092	0,30	0,043	0,23	0,044	0,12	0,016	0,098	0,014
15,0 cm	1,38	1,38	6,39	0,40	1,72	0,35	0,098	0,32	0,046	0,25	0,047	0,13	0,017	0,10	0,015
17,5 cm	1,43	1,45	6,83	0,41	1,78	0,36	0,097	0,34	0,049	0,26	0,050	0,14	0,018	0,11	0,016
20,0 cm	1,28	1,25	5,95	0,36	1,53	0,31	0,088	0,30	0,043	0,23	0,045	0,13	0,016	0,10	0,015
Ponto 2 - Janeiro de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	6,74	7,53	28,0	1,85	7,52	1,39	0,38	1,25	0,19	1,06	0,20	0,56	0,073	0,43	0,061
5,0 cm	6,95	7,75	28,9	1,81	7,31	1,35	0,36	1,21	0,18	1,02	0,19	0,53	0,069	0,42	0,058
7,5 cm	1,90	2,10	8,66	0,60	2,54	0,50	0,13	0,44	0,064	0,34	0,065	0,18	0,023	0,14	0,020
10,0 cm	2,01	2,30	9,30	0,65	2,82	0,55	0,14	0,49	0,070	0,38	0,072	0,20	0,025	0,16	0,022
12,5 cm	2,46	2,95	11,9	0,80	3,39	0,64	0,17	0,57	0,083	0,45	0,085	0,23	0,030	0,18	0,026
15,0 cm	2,34	2,83	10,8	0,74	3,06	0,58	0,15	0,53	0,077	0,42	0,081	0,22	0,029	0,17	0,024
17,5 cm	1,88	1,92	6,57	0,46	1,96	0,37	0,098	0,36	0,054	0,30	0,060	0,16	0,021	0,13	0,019
20,0 cm	1,62	1,34	4,10	0,31	1,35	0,27	0,072	0,28	0,042	0,24	0,050	0,14	0,018	0,11	0,016
Ponto 3 - Janeiro de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	3,46	3,08	10,3	0,74	3,22	0,63	0,17	0,61	0,09	0,51	0,10	0,28	0,036	0,21	0,030
5,0 cm	7,97	6,72	28,4	1,80	8,34	1,57	0,42	1,46	0,22	1,24	0,24	0,68	0,089	0,54	0,076
7,5 cm	2,60	2,49	9,04	0,58	2,45	0,47	0,12	0,44	0,065	0,37	0,073	0,20	0,026	0,15	0,022
10,0 cm	1,94	1,98	7,47	0,51	2,23	0,44	0,11	0,39	0,056	0,30	0,058	0,16	0,020	0,12	0,018
12,5 cm	1,48	1,47	5,61	0,39	1,72	0,35	0,089	0,30	0,042	0,23	0,044	0,12	0,016	0,096	0,014
15,0 cm	1,47	1,41	5,42	0,37	1,66	0,34	0,088	0,29	0,042	0,23	0,044	0,12	0,016	0,098	0,014
17,5 cm	1,40	1,40	5,31	0,37	1,61	0,32	0,084	0,28	0,040	0,22	0,042	0,12	0,015	0,092	0,013
20,0 cm	1,75	1,84	6,72	0,48	2,02	0,39	0,10	0,34	0,049	0,27	0,051	0,14	0,018	0,11	0,016
22,5 cm	1,96	2,07	6,66	0,48	2,01	0,39	0,098	0,35	0,051	0,28	0,055	0,15	0,020	0,12	0,017

Tabela 11 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) na extração sequencial dos sedimentos de Promissão associados aos óxi-hidróxidos de Fe e Mn.

Ponto 1 - Julho de 2013															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	11,2	15,0	57,0	4,27	22,3	4,01	0,98	3,51	0,46	2,43	0,45	1,26	0,16	1,01	0,14
5,0 cm	2,08	5,11	20,2	1,48	6,27	1,09	0,25	0,84	0,10	0,51	0,093	0,27	0,036	0,24	0,035
7,5 cm	3,23	7,49	28,6	2,08	8,70	1,52	0,35	1,21	0,15	0,77	0,14	0,41	0,054	0,35	0,050
10,0 cm	3,35	8,95	33,3	2,33	9,62	1,65	0,40	1,29	0,16	0,82	0,15	0,43	0,059	0,39	0,057
12,5 cm	6,61	11,9	46,6	3,47	14,0	2,41	0,62	2,02	0,27	1,43	0,26	0,74	0,097	0,61	0,086
15,0 cm	7,86	14,0	54,2	4,02	16,7	2,80	0,72	2,38	0,31	1,67	0,31	0,87	0,11	0,72	0,10
17,5 cm	6,28	11,1	43,0	3,28	13,7	2,31	0,59	1,92	0,25	1,36	0,25	0,71	0,093	0,59	0,083
20,0 cm	6,76	11,7	44,8	3,43	14,3	2,42	0,63	2,04	0,27	1,44	0,27	0,76	0,099	0,63	0,090
22,5 cm	7,45	11,4	41,8	3,14	13,1	2,17	0,58	1,97	0,26	1,47	0,28	0,80	0,11	0,66	0,095
Ponto 1 - Janeiro de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	5,03	9,55	39,1	3,05	13,8	2,34	0,56	1,83	0,23	1,23	0,23	0,64	0,085	0,55	0,079
5,0 cm	5,64	11,4	46,0	3,53	15,4	2,61	0,64	1,96	0,25	1,32	0,24	0,70	0,094	0,61	0,090
7,5 cm	15,1	24,3	91,1	6,92	21,8	4,94	1,28	4,17	0,59	3,11	0,58	1,62	0,21	1,30	0,19
10,0 cm	16,0	26,7	98,6	7,52	22,5	5,18	1,34	4,38	0,61	3,25	0,60	1,67	0,21	1,33	0,19
12,5 cm	14,9	24,8	91,0	7,00	19,6	4,89	1,26	4,10	0,57	3,01	0,56	1,56	0,20	1,24	0,18
15,0 cm	14,2	23,2	85,3	6,61	18,1	4,96	1,29	4,22	0,60	3,14	0,58	1,64	0,21	1,12	0,16
17,5 cm	12,9	21,4	80,6	6,23	16,8	4,37	1,12	3,67	0,52	2,71	0,50	1,41	0,18	1,15	0,16
20,0 cm	6,03	9,13	34,1	2,68	14,0	2,80	0,73	2,55	0,35	1,92	0,36	1,00	0,13	0,81	0,12
Ponto 1 - Julho de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	12,3	18,2	67,0	5,10	20,8	3,64	0,92	3,20	0,44	2,40	0,45	1,23	0,16	0,97	0,14
5,0 cm	11,8	17,1	60,0	4,84	20,1	3,47	0,87	3,00	0,41	2,21	0,41	1,14	0,15	0,90	0,13
7,5 cm	11,8	16,9	58,9	4,77	19,6	3,36	0,87	2,95	0,41	2,24	0,42	1,16	0,15	0,91	0,13
10,0 cm	11,6	16,6	61,9	4,73	19,8	3,46	0,89	2,99	0,42	2,30	0,43	1,19	0,15	0,94	0,13

Tabela 11 – continuação.

Ponto 1 - Julho de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
12,5 cm	12,6	18,3	67,9	5,17	20,5	3,63	0,92	3,11	0,44	2,42	0,45	1,24	0,16	0,98	0,14
15,0 cm	11,6	16,7	61,8	4,78	20,0	3,46	0,88	3,00	0,42	2,29	0,43	1,19	0,15	0,93	0,13
17,5 cm	11,9	16,9	62,4	4,93	19,6	3,61	0,91	3,13	0,44	2,40	0,45	1,23	0,16	0,97	0,14
20,0 cm	12,5	18,0	65,4	5,15	20,2	3,52	0,91	3,05	0,43	2,37	0,44	1,22	0,16	0,97	0,14
Ponto 2 - Janeiro de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	6,75	10,9	43,9	3,41	14,4	2,51	0,62	1,99	0,27	1,44	0,27	0,76	0,096	0,64	0,094
5,0 cm	6,53	10,6	42,7	3,32	14,1	2,47	0,61	1,97	0,26	1,42	0,26	0,75	0,094	0,63	0,092
7,5 cm	13,4	18,3	68,4	5,18	21,9	3,86	0,99	3,32	0,47	2,63	0,49	1,37	0,17	1,08	0,15
10,0 cm	14,2	19,8	73,0	5,53	22,8	4,08	1,05	3,53	0,51	2,81	0,52	1,45	0,18	1,14	0,16
12,5 cm	16,2	20,4	74,8	5,69	23,4	4,13	1,06	3,61	0,51	2,82	0,53	1,45	0,18	1,14	0,16
15,0 cm	13,8	20,8	74,6	5,74	23,2	4,13	1,05	3,61	0,52	2,81	0,52	1,44	0,17	1,13	0,16
17,5 cm	14,9	21,2	71,2	5,65	23,4	4,16	1,05	3,78	0,55	3,03	0,57	1,57	0,19	1,23	0,18
20,0 cm	12,2	17,7	55,4	4,57	19,4	3,45	0,89	3,28	0,49	2,81	0,54	1,48	0,17	1,16	0,17
Ponto 3 - Janeiro de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	10,2	13,6	49,0	3,89	16,3	2,93	0,73	2,52	0,35	1,93	0,37	1,03	0,14	0,84	0,12
5,0 cm	4,32	9,32	35,9	2,65	10,8	1,87	0,45	1,45	0,18	0,96	0,18	0,49	0,065	0,42	0,060
7,5 cm	11,0	16,3	63,1	4,43	18,2	3,18	0,81	2,79	0,38	2,09	0,40	1,11	0,15	0,89	0,12
10,0 cm	13,6	19,0	72,1	5,19	21,3	3,80	0,97	3,30	0,46	2,60	0,49	1,36	0,18	1,09	0,15
12,5 cm	14,4	19,8	75,9	5,40	22,4	4,02	1,02	3,46	0,49	2,71	0,51	1,41	0,18	1,13	0,16
15,0 cm	14,3	19,3	74,2	5,26	22,1	3,94	1,01	3,43	0,49	2,70	0,51	1,40	0,18	1,13	0,16
17,5 cm	14,1	19,5	74,7	5,31	21,8	3,93	1,00	3,41	0,48	2,67	0,51	1,40	0,18	1,11	0,16
20,0 cm	13,7	20,0	74,5	5,38	21,9	3,90	0,98	3,40	0,48	2,63	0,49	1,35	0,18	1,09	0,15
22,5 cm	14,2	21,1	72,6	5,43	22,2	3,93	0,98	3,42	0,49	2,69	0,50	1,39	0,18	1,11	0,15

Tabela 12 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) na extração sequencial dos sedimentos de Promissão associados aos sulfetos e matéria orgânica.

Ponto 1 - Julho de 2013															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	1,34	1,55	5,78	0,58	2,59	0,63	0,16	0,46	0,073	0,37	0,072	0,20	0,034	0,23	0,040
5,0 cm	0,68	0,61	3,32	0,27	1,28	0,32	0,078	0,22	0,031	0,17	0,032	0,10	0,015	0,12	0,020
7,5 cm	0,86	0,87	4,45	0,38	1,82	0,44	0,11	0,30	0,042	0,23	0,043	0,13	0,020	0,15	0,025
10,0 cm	0,67	0,49	3,37	0,29	1,47	0,36	0,088	0,24	0,033	0,18	0,033	0,10	0,015	0,12	0,019
12,5 cm	0,81	1,18	5,05	0,47	2,07	0,43	0,11	0,30	0,039	0,21	0,038	0,11	0,016	0,11	0,017
15,0 cm	0,84	1,41	5,66	0,55	2,42	0,49	0,12	0,33	0,042	0,22	0,040	0,12	0,016	0,11	0,016
17,5 cm	0,67	1,27	4,75	0,49	2,12	0,43	0,10	0,28	0,035	0,18	0,032	0,094	0,013	0,088	0,013
20,0 cm	0,74	1,41	4,76	0,55	2,43	0,49	0,12	0,32	0,039	0,20	0,035	0,10	0,014	0,100	0,015
22,5 cm	1,25	2,26	10,0	1,02	4,14	0,94	0,23	0,60	0,075	0,38	0,065	0,19	0,025	0,18	0,027

Ponto 1 - Janeiro de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	1,29	1,06	5,49	0,64	2,96	0,69	0,18	0,46	0,064	0,35	0,065	0,19	0,029	0,22	0,037
5,0 cm	1,07	0,93	5,00	0,58	2,71	0,62	0,16	0,40	0,053	0,28	0,052	0,15	0,023	0,17	0,027
7,5 cm	2,81	2,73	13,4	1,59	6,98	1,46	0,37	0,99	0,14	0,72	0,13	0,37	0,052	0,36	0,054
10,0 cm	2,85	2,73	13,7	1,67	7,39	1,55	0,38	1,03	0,14	0,74	0,13	0,38	0,053	0,36	0,053
12,5 cm	2,74	2,52	13,2	1,57	6,96	1,47	0,37	0,97	0,13	0,71	0,13	0,37	0,051	0,35	0,052
15,0 cm	2,90	2,79	12,5	1,65	7,26	1,51	0,38	1,02	0,14	0,73	0,13	0,38	0,052	0,36	0,054
17,5 cm	2,41	2,32	12,4	1,41	6,26	1,32	0,33	0,85	0,12	0,62	0,11	0,32	0,045	0,31	0,046
20,0 cm	1,69	1,50	7,46	0,81	3,55	0,76	0,19	0,52	0,074	0,40	0,074	0,21	0,029	0,20	0,030

Ponto 1 - Julho de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	2,39	2,48	11,7	1,07	4,74	1,07	0,27	0,80	0,11	0,62	0,12	0,34	0,048	0,34	0,052
5,0 cm	2,24	2,27	11,1	1,01	4,49	1,01	0,26	0,75	0,11	0,58	0,11	0,31	0,046	0,32	0,050
7,5 cm	1,95	2,10	10,3	0,93	4,13	0,92	0,23	0,67	0,094	0,51	0,094	0,27	0,039	0,27	0,041
10,0 cm	1,84	1,96	9,64	0,86	3,84	0,86	0,22	0,62	0,088	0,48	0,088	0,25	0,036	0,25	0,037

Tabela 12 – continuação.

Ponto 1 - Julho de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
12,5 cm	1,99	2,22	10,9	0,97	4,27	0,94	0,23	0,67	0,095	0,51	0,094	0,27	0,038	0,26	0,038
15,0 cm	1,98	2,18	10,9	0,96	4,27	0,95	0,24	0,68	0,095	0,52	0,095	0,27	0,038	0,26	0,038
17,5 cm	1,94	2,15	9,99	0,96	4,25	0,94	0,23	0,67	0,095	0,51	0,094	0,27	0,037	0,25	0,037
20,0 cm	1,84	2,08	9,74	0,90	3,98	0,88	0,22	0,63	0,089	0,48	0,087	0,25	0,034	0,23	0,034
Ponto 2 - Janeiro de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	1,44	1,19	5,65	0,62	2,79	0,64	0,16	0,43	0,062	0,35	0,065	0,19	0,028	0,21	0,034
5,0 cm	1,43	1,18	5,54	0,61	2,71	0,62	0,16	0,42	0,060	0,34	0,063	0,19	0,028	0,20	0,033
7,5 cm	2,32	1,88	8,81	0,95	4,17	0,92	0,23	0,64	0,096	0,53	0,099	0,28	0,040	0,27	0,041
10,0 cm	2,84	2,46	11,5	1,21	5,30	1,16	0,29	0,80	0,12	0,66	0,12	0,34	0,048	0,32	0,048
12,5 cm	2,57	2,32	10,8	1,15	4,99	1,10	0,27	0,75	0,11	0,61	0,11	0,31	0,044	0,29	0,044
15,0 cm	2,76	2,61	11,1	1,30	5,64	1,22	0,30	0,84	0,12	0,66	0,12	0,34	0,047	0,31	0,046
17,5 cm	3,79	3,53	14,3	1,82	7,93	1,74	0,42	1,18	0,17	0,93	0,17	0,47	0,064	0,42	0,061
20,0 cm	4,54	5,15	17,7	2,35	9,92	2,08	0,50	1,42	0,20	1,10	0,20	0,54	0,073	0,48	0,068
Ponto 3 - Janeiro de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	1,81	2,04	8,65	0,79	3,60	0,81	0,21	0,62	0,086	0,47	0,089	0,26	0,037	0,27	0,042
5,0 cm	0,90	1,00	5,47	0,45	2,07	0,46	0,12	0,33	0,044	0,24	0,044	0,13	0,019	0,14	0,023
7,5 cm	1,90	2,39	11,5	0,94	4,21	0,94	0,24	0,69	0,094	0,51	0,092	0,27	0,039	0,28	0,044
10,0 cm	2,11	2,47	11,4	0,98	4,39	0,97	0,24	0,74	0,101	0,55	0,102	0,30	0,041	0,28	0,042
12,5 cm	2,02	2,49	11,2	0,94	4,19	0,91	0,23	0,69	0,094	0,51	0,094	0,27	0,037	0,26	0,039
15,0 cm	2,07	2,59	11,7	0,97	4,34	0,94	0,24	0,70	0,097	0,53	0,097	0,28	0,038	0,26	0,039
17,5 cm	2,02	2,57	11,6	0,96	4,30	0,93	0,23	0,70	0,096	0,53	0,096	0,27	0,037	0,25	0,038
20,0 cm	1,95	2,52	11,4	0,96	4,33	0,95	0,23	0,71	0,095	0,51	0,094	0,27	0,036	0,24	0,037
22,5 cm	2,68	3,40	14,9	1,39	6,28	1,42	0,35	1,04	0,14	0,75	0,14	0,38	0,051	0,35	0,050

Tabela 13 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) através da extração sequencial dos sedimentos de Promissão na fase residual.

Ponto 1 - Julho de 2013															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	2,00	29,2	67,3	5,00	12,5	1,73	0,61	2,11	0,38	1,07	0,20	0,67	0,098	0,82	0,11
5,0 cm	4,22	30,8	58,2	5,29	17,6	2,51	0,80	3,29	0,45	1,31	0,24	0,79	0,099	0,75	0,10
7,5 cm	7,72	47,4	85,2	8,49	24,6	4,25	1,28	5,30	0,73	2,24	0,42	1,36	0,17	1,34	0,18
10,0 cm	5,51	42,8	79,5	8,96	29,2	4,17	1,11	5,48	0,67	1,76	0,31	1,08	0,11	0,84	0,11
12,5 cm	2,74	27,6	57,0	6,97	23,1	3,07	0,81	4,43	0,49	0,98	0,17	0,68	0,059	0,53	0,068
15,0 cm	4,10	33,5	69,3	7,93	26,5	3,77	1,02	5,00	0,59	1,36	0,23	0,89	0,090	0,72	0,096
17,5 cm	3,99	36,4	56,8	7,29	24,1	3,45	0,96	4,70	0,56	1,30	0,22	0,85	0,085	0,69	0,090
20,0 cm	3,52	38,3	63,1	7,28	23,7	3,22	0,93	4,56	0,52	1,10	0,19	0,76	0,068	0,57	0,074
22,5 cm	2,90	43,6	77,4	7,86	26,1	3,39	1,03	4,78	0,54	1,15	0,19	0,80	0,073	0,60	0,075
Ponto 1 - Janeiro de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	3,56	23,7	28,9	6,19	18,8	2,85	0,68	2,25	0,28	1,56	0,30	0,89	0,13	0,88	0,13
5,0 cm	5,70	23,7	44,0	6,54	20,6	2,47	0,61	1,91	0,22	1,19	0,22	0,62	0,085	0,55	0,075
7,5 cm	7,00	30,1	64,2	10,2	34,6	4,66	1,13	3,62	0,41	2,09	0,40	1,12	0,15	0,94	0,13
10,0 cm	2,20	12,8	19,9	6,65	25,2	2,92	0,71	2,27	0,25	1,33	0,26	0,79	0,11	0,72	0,10
12,5 cm	2,78	20,8	14,5	1,84	9,58	1,44	0,07	1,49	0,31	2,14	0,48	1,47	0,23	1,52	0,23
15,0 cm	6,08	31,0	51,9	4,55	20,9	1,38	0,22	1,01	0,13	0,95	0,22	0,65	0,10	0,94	0,14
17,5 cm	3,64	27,3	29,5	6,17	25,8	3,13	0,67	2,61	0,35	2,04	0,41	1,21	0,18	1,19	0,18
20,0 cm	8,53	27,7	70,8	7,84	24,9	3,50	0,87	2,60	0,34	1,87	0,37	1,09	0,15	1,00	0,15
Ponto 1 - Julho de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	9,12	39,3	85,3	10,1	28,4	4,63	1,14	3,52	0,37	1,80	0,34	1,00	0,13	0,83	0,11
5,0 cm	18,7	46,1	110,1	14,4	32,3	6,69	1,69	5,43	0,65	3,19	0,62	1,83	0,24	1,61	0,23
7,5 cm	11,0	27,5	66,3	6,97	16,5	3,67	0,81	3,03	0,38	1,95	0,40	1,21	0,17	1,21	0,18
10,0 cm	8,79	36,2	63,2	6,43	18,7	2,78	0,55	2,20	0,24	1,25	0,26	0,82	0,12	0,82	0,12

Tabela 13 – continuação.

Ponto 1 - Julho de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
12,5 cm	6,93	30,5	53,9	5,84	17,4	2,59	0,55	2,04	0,23	1,14	0,24	0,72	0,099	0,67	0,096
15,0 cm	7,57	34,9	68,5	5,63	17,6	2,38	0,47	1,78	0,21	1,09	0,22	0,69	0,096	0,68	0,097
17,5 cm	6,24	23,9	53,7	5,01	12,9	2,05	0,44	1,59	0,19	1,00	0,22	0,68	0,10	0,72	0,11
20,0 cm	8,80	31,0	62,3	6,33	18,8	2,39	0,47	1,88	0,23	1,28	0,28	0,87	0,13	0,95	0,14
Ponto 2 - Janeiro de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	2,99	18,9	16,4	3,28	9,77	1,50	0,36	1,33	0,18	1,05	0,22	0,63	0,099	0,61	0,089
5,0 cm	5,11	23,6	32,2	5,92	18,9	2,98	0,77	2,58	0,32	1,77	0,35	1,03	0,15	0,95	0,14
7,5 cm	3,74	21,5	27,9	5,10	15,7	2,39	0,60	2,01	0,25	1,36	0,28	0,85	0,13	0,82	0,11
10,0 cm	5,77	27,4	31,2	5,88	18,1	2,55	0,61	2,14	0,26	1,42	0,29	0,88	0,14	0,85	0,12
12,5 cm	0,44	17,7	7,52	4,54	13,9	2,14	0,50	1,76	0,20	1,16	0,24	0,74	0,12	0,75	0,11
15,0 cm	4,55	26,5	16,5	5,37	17,8	2,86	0,73	2,42	0,31	1,80	0,36	1,10	0,18	1,12	0,16
17,5 cm	3,86	24,1	25,9	4,92	15,6	2,61	0,64	2,10	0,27	1,58	0,32	0,96	0,16	0,97	0,14
20,0 cm	13,8	37,3	55,8	7,81	26,4	4,73	1,16	3,88	0,54	3,00	0,60	1,76	0,27	1,73	0,25
Ponto 3 - Janeiro de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	4,48	24,1	40,9	5,18	16,9	2,61	0,64	1,94	0,27	1,57	0,30	0,89	0,13	0,87	0,12
5,0 cm	7,30	35,0	56,8	6,68	21,2	3,10	0,76	2,39	0,32	1,77	0,34	0,97	0,14	0,94	0,14
7,5 cm	7,03	34,1	55,0	7,02	23,0	3,40	0,85	2,56	0,33	1,94	0,37	1,06	0,15	0,99	0,15
10,0 cm	2,26	26,8	30,7	4,49	13,1	1,65	0,35	1,17	0,14	0,78	0,15	0,45	0,070	0,43	0,071
12,5 cm	9,79	37,8	56,0	8,70	28,5	4,39	1,08	3,52	0,46	2,68	0,52	1,54	0,23	1,44	0,22
15,0 cm	1,97	23,8	15,7	4,56	13,9	1,97	0,47	1,54	0,19	1,07	0,21	0,57	0,087	0,52	0,079
17,5 cm	1,04	17,4	21,8	3,23	9,84	1,33	0,33	0,95	0,13	0,77	0,15	0,43	0,068	0,43	0,070
20,0 cm	7,54	29,3	44,0	6,28	20,7	3,09	0,74	2,38	0,33	1,94	0,38	1,13	0,17	1,12	0,17
22,5 cm	1,19	14,9	13,9	3,12	9,58	1,47	0,35	1,09	0,16	1,01	0,21	0,58	0,096	0,58	0,095

Tabela 14 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) para a concentração total dos elementos nos perfis do reservatório de Promissão.

Ponto 1 - Julho de 2013															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	17,4	48,5	140	10,6	41,1	7,10	1,94	6,78	1,01	4,42	0,83	2,35	0,34	2,28	0,32
5,0 cm	13,5	44,5	115	9,60	36,2	5,92	1,63	6,05	0,81	3,26	0,60	1,77	0,24	1,63	0,23
7,5 cm	20,4	64,9	156	13,9	51,0	8,47	2,33	8,81	1,20	4,80	0,90	2,64	0,35	2,48	0,35
10 cm	15,3	58,3	144	13,7	50,1	7,89	2,04	8,48	1,07	3,87	0,70	2,12	0,26	1,81	0,25
12,5 cm	11,2	41,9	113	11,3	40,7	6,20	1,61	7,00	0,83	2,81	0,50	1,56	0,18	1,33	0,18
15 cm	13,7	49,8	133	12,8	46,9	7,31	1,93	7,91	0,97	3,40	0,61	1,88	0,23	1,62	0,22
17,5 cm	11,8	49,9	108	11,4	41,2	6,43	1,72	7,11	0,87	2,98	0,53	1,66	0,20	1,43	0,20
20 cm	11,8	52,3	116	11,5	41,5	6,32	1,73	7,08	0,85	2,88	0,51	1,63	0,19	1,36	0,19
22,5 cm	12,0	57,7	131	12,1	43,7	6,57	1,86	7,42	0,89	3,06	0,55	1,75	0,21	1,47	0,20
25cm	18,6	72,9	177	16,2	59,5	9,36	2,61	10,1	1,28	4,60	0,83	2,50	0,30	2,11	0,29
27,5 cm	20,8	98,4	202	20,2	73,6	11,2	2,98	12,7	1,51	5,16	0,91	2,87	0,33	2,34	0,32
30 cm	20,3	89,6	220	19,4	72,4	11,2	3,16	12,1	1,50	5,28	0,94	2,87	0,34	2,40	0,32
32,5 cm	18,1	81,8	192	18,6	68,7	10,5	2,91	11,7	1,42	4,84	0,85	2,64	0,30	2,11	0,29
35 cm	15,1	73,8	131	16,0	57,1	8,51	2,24	9,70	1,13	3,73	0,65	2,10	0,24	1,67	0,23
Ponto 1 - Janeiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	15,7	43,0	104	12,3	45,3	7,62	1,88	6,14	0,81	4,35	0,82	2,36	0,33	2,14	0,31
5,0 cm	22,7	49,6	143	13,7	54,2	8,35	2,11	6,62	0,85	4,55	0,84	2,38	0,32	2,04	0,29
7,5 cm	27,3	60,0	179	19,5	66,8	11,7	2,95	9,35	1,21	6,35	1,18	3,34	0,44	2,78	0,40
10 cm	23,4	45,3	143	16,6	58,5	10,3	2,60	8,26	1,08	5,73	1,07	3,05	0,41	2,58	0,37
12,5 cm	22,7	51,2	129	11,2	39,5	8,40	1,86	7,12	1,10	6,27	1,24	3,61	0,51	3,27	0,48
15 cm	25,5	60,4	159	13,4	50,0	8,54	2,07	6,88	0,96	5,28	1,02	2,90	0,40	2,61	0,38
17,5 cm	23,1	57,4	141	15,2	54,7	9,84	2,40	8,09	1,12	6,11	1,17	3,33	0,46	2,95	0,43
20 cm	18,6	40,7	119	11,8	44,6	7,47	1,90	6,07	0,82	4,52	0,87	2,49	0,34	2,16	0,31
22,5 cm	37,4	91,1	241	28,7	103	19,2	4,93	15,1	1,91	9,89	1,80	5,07	0,67	4,25	0,61
25cm	39,5	105	289	29,5	114	17,3	4,47	13,2	1,67	8,75	1,62	4,54	0,60	3,79	0,54
27,5 cm	34,5	93,5	257	25,3	98,7	14,9	3,83	11,4	1,42	7,49	1,40	3,92	0,51	3,25	0,47

Tabela 14 – continuação.

Ponto 1 - Julho de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	25,9	61,8	172	16,8	56,0	9,77	2,44	7,95	1,00	5,20	0,98	2,78	0,36	2,30	0,32
5,0 cm	35,1	67,9	192	20,9	59,5	11,7	2,96	9,71	1,25	6,43	1,23	3,52	0,47	3,02	0,43
7,5 cm	26,0	47,8	141	13,0	41,7	8,25	1,99	6,95	0,92	4,93	0,95	2,76	0,38	2,49	0,36
10 cm	23,4	55,9	140	12,3	43,8	7,37	1,73	6,08	0,79	4,23	0,82	2,37	0,32	2,09	0,30
12,5 cm	22,8	52,2	139	12,3	43,8	7,46	1,80	6,12	0,81	4,30	0,82	2,36	0,31	2,01	0,29
15 cm	22,6	55,1	148	11,8	43,6	7,13	1,69	5,78	0,77	4,14	0,79	2,28	0,30	1,98	0,28
17,5 cm	21,5	44,4	133	11,3	38,5	6,95	1,69	5,73	0,77	4,17	0,81	2,32	0,32	2,06	0,30
20 cm	24,4	52,4	143	12,7	44,5	7,10	1,69	5,86	0,79	4,36	0,85	2,46	0,34	2,25	0,33
22,5 cm	25,8	54,6	147	15,5	43,7	8,99	2,11	7,63	1,01	5,38	1,03	2,98	0,40	2,63	0,38
25cm	23,9	56,8	152	11,9	45,1	7,19	1,72	5,83	0,78	4,28	0,83	2,40	0,33	2,17	0,31
27,5 cm	18,0	41,1	123	10,5	38,6	6,61	1,56	5,43	0,73	3,99	0,77	2,20	0,30	1,95	0,28
Ponto 2 - Janeiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	17,9	38,5	94,0	9,16	34,4	6,04	1,52	5,00	0,70	3,89	0,75	2,14	0,30	1,89	0,28
5,0 cm	20,0	43,1	109	11,6	43,1	7,42	1,90	6,18	0,83	4,54	0,87	2,50	0,34	2,20	0,33
7,5 cm	21,4	43,7	114	11,8	44,2	7,66	1,95	6,41	0,88	4,87	0,94	2,69	0,36	2,31	0,33
10 cm	24,8	51,9	125	13,3	49,0	8,34	2,09	6,96	0,96	5,26	1,00	2,87	0,39	2,47	0,35
12,5 cm	21,6	43,4	105	12,2	45,7	8,02	2,00	6,69	0,91	5,03	0,96	2,73	0,37	2,36	0,34
15 cm	23,4	52,7	113	13,2	49,7	8,79	2,23	7,39	1,03	5,70	1,08	3,10	0,43	2,73	0,39
17,5 cm	24,5	50,8	118	12,8	48,9	8,88	2,21	7,42	1,04	5,84	1,12	3,16	0,43	2,75	0,39
20 cm	32,2	61,5	133	15,0	57,1	10,5	2,63	8,86	1,28	7,16	1,38	3,92	0,54	3,48	0,50
22,5 cm	22,5	41,4	110	10,8	41,9	7,92	1,97	6,56	0,98	5,50	1,05	3,00	0,41	2,60	0,37
25cm	31,3	58,4	120	15,0	57,2	10,8	2,64	9,07	1,31	7,30	1,40	4,01	0,55	3,52	0,50
27,5 cm	23,2	47,6	108	11,6	43,6	7,96	1,89	6,54	0,94	5,35	1,04	2,95	0,41	2,66	0,38

Tabela 14 – continuação.

Ponto 3 - Janeiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	19,9	42,9	109	10,6	40,1	6,97	1,75	5,69	0,79	4,48	0,86	2,46	0,34	2,19	0,31
5,0 cm	20,5	52,0	127	11,6	42,5	7,00	1,75	5,64	0,76	4,21	0,80	2,27	0,32	2,04	0,30
7,5 cm	22,5	55,3	139	13,0	47,9	7,99	2,01	6,48	0,87	4,90	0,93	2,64	0,36	2,31	0,34
10 cm	19,9	50,2	122	11,2	41,1	6,87	1,68	5,60	0,76	4,24	0,80	2,26	0,31	1,92	0,28
12,5 cm	27,7	61,6	149	15,4	56,8	9,67	2,42	7,97	1,09	6,13	1,16	3,34	0,46	2,92	0,43
15 cm	19,8	47,1	107	11,2	42,0	7,19	1,81	5,97	0,82	4,52	0,86	2,37	0,32	2,01	0,29
17,5 cm	18,5	40,8	114	9,9	37,6	6,52	1,64	5,34	0,75	4,18	0,79	2,22	0,30	1,89	0,28
20 cm	25,0	53,6	137	13,1	49,0	8,33	2,06	6,83	0,95	5,35	1,02	2,89	0,41	2,56	0,38
22,5 cm	20,1	41,4	108	10,4	40,0	7,21	1,77	5,90	0,84	4,73	0,90	2,51	0,35	2,16	0,32
25cm	23,0	43,1	129	11,1	42,8	7,84	1,92	6,31	0,92	5,29	1,00	2,84	0,40	2,51	0,36
27,5 cm	19,7	37,5	94,4	9,48	36,6	6,74	1,65	5,61	0,81	4,63	0,88	2,50	0,34	2,18	0,32
30 cm	19,0	38,7	95,0	9,82	37,3	6,69	1,62	5,45	0,78	4,39	0,84	2,37	0,33	2,09	0,31
32,5 cm	18,8	41,9	101	10,4	39,5	6,90	1,72	5,70	0,79	4,45	0,84	2,35	0,32	2,03	0,30
35 cm	17,5	41,2	95,0	10,3	39,0	6,82	1,69	5,55	0,77	4,23	0,80	2,23	0,30	1,86	0,27
37,5 cm	18,7	41,0	99,0	10,2	39,0	6,88	1,72	5,64	0,79	4,41	0,83	2,32	0,32	1,97	0,28
40 cm	8,2	18,3	55,9	5,36	20,7	3,76	0,89	2,91	0,41	2,22	0,42	1,20	0,17	1,10	0,16
42,5 cm	22,6	43,8	111	11,1	42,8	7,75	1,91	6,29	0,90	5,08	0,97	2,72	0,38	2,40	0,35
45 cm	20,6	38,2	96,5	9,81	37,8	7,01	1,73	5,79	0,86	4,84	0,92	2,59	0,36	2,24	0,33
47,5 cm	23,6	42,8	103	11,4	44,0	8,13	1,92	6,68	0,97	5,52	1,05	2,97	0,41	2,64	0,39
50 cm	23,1	42,6	98,7	11,7	44,6	8,27	1,92	6,76	1,00	5,69	1,09	3,07	0,43	2,77	0,40

Tabela 15 – Resultados obtidos para os elementos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nas amostras da coluna de água (água circulante) do reservatório de Ponte Nova.

Ponto 1 - Agosto de 2013															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
superf. tot	0,022	0,045	0,25	0,011	0,044	0,007	0,001	0,004	<0,001	0,004	<0,001	0,002	<0,001	0,003	<0,0005
superf. diss	0,013	0,021	0,054	0,005	0,020	0,004	<0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,0005
4 m tot	0,023	0,048	0,30	0,011	0,046	0,007	0,001	0,005	<0,001	0,004	<0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,0005
4 m diss	0,011	0,017	0,045	0,004	0,018	0,004	<0,001	0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,0005
8 m tot	0,026	0,059	0,30	0,014	0,056	0,009	0,001	0,007	<0,001	0,005	<0,001	0,003	<0,001	0,003	<0,0005
8 m diss	0,015	0,024	0,065	0,006	0,027	0,005	0,001	0,002	<0,001	0,003	<0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,0005
12 m tot	0,029	0,066	0,29	0,013	0,054	0,010	0,002	0,006	0,001	0,005	<0,001	0,003	<0,001	0,003	<0,0005
12 m diss	0,020	0,032	0,11	0,008	0,031	0,005	0,001	0,002	<0,001	0,003	<0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,0005
16 m tot	6,62	17,0	32,7	4,60	17,1	3,07	0,52	2,60	0,34	1,64	0,30	0,79	0,11	0,68	0,20
16 m diss	0,10	0,16	0,78	0,04	0,16	0,029	0,005	0,022	0,003	0,017	0,003	0,010	0,002	0,012	<0,0005

Ponto 1 - Fevereiro de 2014															
P1fev14	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
superf. tot	0,031	0,077	0,47	0,019	0,078	0,013	0,002	0,009	0,001	0,006	0,001	0,003	<0,001	0,002	0,0005
superf. diss	0,014	0,031	0,15	0,008	0,034	0,006	0,001	0,004	0,001	0,002	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,0005
4 m tot	0,019	0,055	0,34	0,011	0,047	0,007	0,001	0,007	<0,001	0,003	0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,0005
4 m diss	0,010	0,022	0,12	0,005	0,024	0,004	0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,0005
8 m tot	0,029	0,056	0,33	0,014	0,056	0,010	0,001	0,008	0,001	0,005	0,001	0,003	<0,001	0,003	0,0005
8 m diss	0,020	0,035	0,17	0,009	0,040	0,007	<0,001	0,003	<0,001	0,003	<0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,0005
12 m tot	0,060	0,11	0,67	0,027	0,106	0,018	0,003	0,014	0,002	0,010	0,002	0,006	0,001	0,005	0,0009
12 m diss	0,054	0,084	0,55	0,021	0,085	0,016	0,002	0,011	0,002	0,009	0,002	0,005	<0,001	0,005	0,0008
16 m tot	0,11	0,24	1,45	0,056	0,225	0,039	0,007	0,029	0,004	0,021	0,004	0,011	0,002	0,010	0,0017
16 m diss	0,082	0,18	0,89	0,040	0,158	0,026	0,005	0,019	0,003	0,014	0,003	0,007	0,001	0,007	0,0012

Ponto 1 - Agosto de 2014															
P1 ago14	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
superf. tot	0,028	0,11	0,39	0,019	0,070	0,010	0,002	0,013	0,001	0,006	0,001	0,003	<0,001	0,003	0,0007
superf. diss	0,021	0,068	0,22	0,013	0,043	0,007	0,002	0,006	0,001	0,004	0,001	0,003	<0,001	0,002	0,0006
3 m tot	0,029	0,11	0,43	0,019	0,073	0,010	0,002	0,011	0,001	0,006	0,001	0,003	<0,001	0,003	0,0006
3 m diss	0,017	0,063	0,21	0,011	0,041	0,007	0,001	0,004	0,001	0,004	<0,001	0,002	<0,001	0,002	0,0005
6 m tot	0,033	0,12	0,48	0,019	0,075	0,011	0,002	0,011	0,002	0,008	0,001	0,004	<0,001	0,003	0,0006
6 m diss	0,019	0,049	0,21	0,010	0,038	0,007	0,001	0,005	0,001	0,004	0,001	0,002	<0,001	0,002	0,0005
10 m tot	0,040	0,11	0,57	0,024	0,090	0,015	0,003	0,010	0,002	0,008	0,002	0,004	<0,001	0,004	0,0008
10 m diss	0,021	0,048	0,23	0,011	0,041	0,006	0,001	0,005	0,001	0,004	0,001	0,002	<0,001	0,002	<0,0005
13 m tot	0,029	0,058	0,32	0,014	0,051	0,008	0,001	0,005	0,001	0,005	0,001	0,003	<0,001	0,003	0,0005
13 m diss	0,004	0,008	0,052	0,002	0,010	0,002	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,0005

Ponto 2 - Fevereiro de 2014															
P2	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
superf. tot	0,030	0,051	0,21	0,013	0,050	0,008	0,002	0,006	0,002	0,004	0,001	0,003	<0,001	0,003	0,0008
superf. diss	0,016	0,034	0,12	0,009	0,038	0,007	0,002	0,004	0,001	0,003	<0,001	0,002	<0,001	0,002	0,0008
5 m tot	0,045	0,12	0,52	0,032	0,12	0,019	0,003	0,015	0,002	0,010	0,002	0,005	<0,001	0,004	0,0006
5 m diss	0,022	0,053	0,18	0,013	0,059	0,010	0,002	0,006	0,001	0,005	<0,001	0,002	<0,001	0,002	0,0005
10 m tot	0,22	0,62	2,70	0,16	0,62	0,099	0,018	0,074	0,011	0,048	0,009	0,025	0,003	0,019	0,0027
10 m diss	0,078	0,17	0,81	0,045	0,18	0,029	0,005	0,022	0,003	0,014	0,003	0,007	0,001	0,007	0,0011

Tabela 16 – Resultados obtidos para os elementos (em  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) nas amostras de água intersticial do reservatório de Ponte Nova.

Ponto 1 - Agosto de 2013															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm tot	2,99	9,68	27,3	0,74	2,01	0,30	0,076	0,27	0,077	0,26	0,081	0,15	0,038	0,12	0,038
2,5 cm diss	2,00	7,84	25,1	0,66	1,78	0,24	0,034	0,24	0,040	0,20	0,042	0,12	0,016	0,079	0,013
5,0 cm tot	1,57	6,61	21,4	0,56	1,57	0,19	0,033	0,20	0,030	0,17	0,036	0,11	0,012	0,068	0,009
5,0 cm diss	1,55	6,45	21,1	0,56	1,56	0,19	0,031	0,19	0,028	0,17	0,032	0,095	0,011	0,066	0,009
7,5 cm tot	1,20	4,65	16,9	0,49	1,45	0,19	0,035	0,18	0,031	0,15	0,029	0,090	0,010	0,062	0,008
7,5 cm diss	1,04	4,22	14,1	0,38	0,99	0,13	0,019	0,12	0,019	0,11	0,023	0,069	0,006	0,044	0,005
10,0 cm tot	0,76	3,19	10,9	0,31	0,85	0,10	0,019	0,10	0,016	0,087	0,019	0,054	0,005	0,032	0,005
10,0 cm diss	0,75	2,98	10,3	0,27	0,77	0,10	0,013	0,09	0,015	0,083	0,015	0,051	0,005	0,032	0,004
12,5 cm tot	2,12	8,32	28,8	0,79	2,30	0,31	0,045	0,27	0,044	0,25	0,047	0,14	0,015	0,091	0,012
12,5 cm diss	1,89	7,92	26,4	0,70	1,97	0,24	0,038	0,24	0,037	0,21	0,043	0,12	0,013	0,073	0,011
15,0 cm tot	1,46	5,83	20,3	0,56	1,69	0,23	0,033	0,21	0,031	0,17	0,034	0,094	0,011	0,071	0,007
15,0 cm diss	1,37	5,61	19,0	0,52	1,46	0,18	0,028	0,17	0,029	0,16	0,032	0,082	0,008	0,059	0,007
17,5 cm tot	1,98	7,93	27,7	0,80	2,32	0,31	0,041	0,27	0,043	0,25	0,046	0,13	0,014	0,084	0,010
17,5 cm diss	1,93	7,70	26,7	0,76	2,19	0,27	0,042	0,26	0,041	0,22	0,043	0,13	0,013	0,081	0,009
20,0 cm tot	2,14	8,17	28,9	0,85	2,52	0,35	0,049	0,30	0,047	0,26	0,050	0,14	0,017	0,101	0,012
20,0 cm diss	2,05	8,01	27,9	0,81	2,38	0,31	0,048	0,28	0,047	0,24	0,048	0,13	0,014	0,090	0,012
22,5 cm tot	2,65	9,66	37,3	1,12	3,46	0,46	0,078	0,46	0,072	0,35	0,072	0,18	0,027	0,13	0,022
22,5 cm diss	2,51	9,31	35,8	1,07	3,24	0,41	0,066	0,40	0,061	0,32	0,063	0,17	0,019	0,11	0,016

Ponto 1 - Fevereiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm tot	1,45	5,02	19,1	0,57	1,64	0,24	0,040	0,20	0,030	0,16	0,030	0,093	0,012	0,063	0,007
2,5 cm diss	1,33	4,69	17,7	0,54	1,52	0,21	0,033	0,21	0,028	0,14	0,030	0,077	0,006	0,058	0,004
5,0 cm tot	2,61	8,11	25,6	0,93	2,74	0,39	0,069	0,40	0,052	0,30	0,051	0,15	0,016	0,101	0,011
5,0 cm diss	2,59	7,62	25,5	0,92	2,73	0,39	0,069	0,40	0,047	0,29	0,050	0,14	0,014	0,099	0,011
7,5 cm tot	2,70	7,74	24,9	1,05	3,10	0,44	0,077	0,45	0,063	0,32	0,059	0,17	0,020	0,12	0,015
7,5 cm diss	2,65	7,50	24,0	1,00	3,22	0,45	0,077	0,45	0,063	0,31	0,058	0,17	0,019	0,11	0,014
10,0 cm tot	2,51	7,70	25,9	1,01	2,97	0,44	0,077	0,40	0,060	0,30	0,058	0,15	0,021	0,11	0,014
10,0 cm diss	2,50	7,52	25,5	1,00	2,94	0,43	0,076	0,40	0,060	0,30	0,058	0,15	0,020	0,11	0,013
12,5 cm tot	1,71	4,80	16,3	0,68	2,02	0,31	0,063	0,30	0,042	0,22	0,042	0,11	0,015	0,083	0,010
12,5 cm diss	1,68	4,78	16,0	0,67	2,01	0,31	0,052	0,29	0,040	0,21	0,041	0,11	0,014	0,082	0,010
15,0 cm tot	1,30	3,16	11,2	0,50	1,60	0,26	0,044	0,24	0,034	0,18	0,033	0,092	0,011	0,070	0,010
15,0 cm diss	1,22	3,12	11,2	0,50	1,61	0,24	0,041	0,22	0,031	0,16	0,032	0,090	0,011	0,066	0,009
17,5 cm tot	0,71	1,30	4,86	0,30	1,03	0,17	0,030	0,14	0,018	0,101	0,020	0,061	0,010	0,054	0,007
17,5 cm diss	0,71	1,29	4,85	0,29	1,02	0,18	0,028	0,14	0,017	0,100	0,020	0,060	0,008	0,053	0,007
20,0 cm tot	0,94	1,34	5,31	0,38	1,41	0,24	0,049	0,21	0,026	0,14	0,029	0,092	0,011	0,079	0,011
20,0 cm diss	0,93	1,26	5,25	0,38	1,36	0,24	0,044	0,20	0,026	0,14	0,028	0,088	0,010	0,075	0,011

Tabela 16 – Continuação

Ponto 1 - Agosto de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm tot	3,48	11,7	50,8	1,46	4,04	0,56	0,11	0,56	0,082	0,42	0,081	0,22	0,026	0,15	0,019
2,5 cm diss	3,02	10,8	45,0	1,12	3,08	0,40	0,078	0,40	0,061	0,33	0,061	0,17	0,020	0,11	0,015
5,0 cm tot	2,71	8,55	39,8	1,29	3,89	0,59	0,11	0,52	0,076	0,37	0,070	0,20	0,025	0,14	0,018
5,0 cm diss	1,93	6,95	28,2	0,94	2,15	0,28	0,054	0,26	0,039	0,22	0,039	0,11	0,016	0,068	0,008
7,5 cm tot	2,32	6,91	34,0	1,08	3,34	0,51	0,098	0,47	0,066	0,33	0,061	0,17	0,021	0,11	0,016
7,5 cm diss	1,65	5,48	23,7	0,67	1,86	0,24	0,051	0,24	0,035	0,18	0,034	0,10	0,011	0,061	0,008
10,0 cm tot	1,90	5,34	29,0	1,15	3,41	0,57	0,11	0,47	0,069	0,32	0,060	0,17	0,023	0,13	0,016
10,0 cm diss	0,92	3,01	14,3	0,39	1,14	0,15	0,038	0,14	0,021	0,12	0,019	0,06	0,005	0,039	0,004
12,5 cm tot	1,48	3,54	21,0	0,86	2,98	0,53	0,10	0,42	0,055	0,28	0,052	0,15	0,018	0,12	0,016
12,5 cm diss	0,37	1,06	5,07	0,33	0,49	0,072	0,021	0,062	0,007	0,048	0,008	0,03	0,006	0,019	0,002
15,0 cm tot	1,83	3,83	21,5	1,09	3,62	0,64	0,12	0,51	0,074	0,38	0,066	0,19	0,024	0,16	0,021
15,0 cm diss	0,25	0,55	2,68	0,11	0,37	0,060	0,017	0,051	0,006	0,038	0,008	0,02	0,002	0,017	0,002
17,5 cm tot	3,03	6,90	25,5	1,92	6,49	1,28	0,17	0,87	0,13	0,64	0,107	0,30	0,037	0,25	0,030
17,5 cm diss	0,24	0,52	1,92	0,13	0,44	0,085	0,008	0,055	0,006	0,037	0,005	0,02	0,004	0,020	0,002
20,0 cm tot	0,80	1,83	5,94	0,54	1,63	0,31	0,041	0,22	0,03	0,15	0,030	0,08	0,010	0,06	0,007
20,0 cm diss	0,30	0,63	2,13	0,16	0,54	0,11	0,010	0,080	0,008	0,061	0,008	0,03	0,002	0,022	0,002
Ponto 2 - Fevereiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm tot	0,92	2,76	10,2	0,43	1,46	0,21	0,036	0,19	0,024	0,12	0,022	0,067	0,008	0,050	0,006
2,5 cm diss	0,80	2,37	9,20	0,35	1,21	0,17	0,031	0,14	0,020	0,10	0,018	0,058	0,006	0,042	0,005
5,0 cm tot	1,66	5,14	20,0	0,70	2,37	0,31	0,057	0,29	0,039	0,20	0,036	0,100	0,011	0,072	0,010
5,0 cm diss	1,57	4,92	18,1	0,64	2,19	0,29	0,048	0,27	0,036	0,17	0,034	0,096	0,010	0,062	0,008
7,5 cm tot	3,60	11,3	42,5	1,42	5,00	0,67	0,12	0,64	0,085	0,42	0,080	0,21	0,025	0,14	0,019
7,5 cm diss	3,52	11,0	38,7	1,39	4,72	0,62	0,11	0,53	0,081	0,41	0,079	0,21	0,023	0,13	0,017
10,0 cm tot	7,65	23,3	79,5	3,08	10,23	1,36	0,24	1,32	0,18	0,90	0,17	0,47	0,052	0,30	0,038
10,0 cm diss	7,51	22,8	76,2	2,98	9,85	1,31	0,23	1,32	0,18	0,87	0,16	0,45	0,051	0,28	0,038
12,5 cm tot	5,19	15,2	51,6	2,07	6,89	0,94	0,16	0,92	0,12	0,61	0,12	0,32	0,036	0,20	0,026
12,5 cm diss	5,09	15,0	50,1	1,96	6,73	0,88	0,16	0,91	0,12	0,59	0,11	0,31	0,033	0,19	0,025
15,0 cm tot	5,93	17,7	59,5	2,39	7,87	1,07	0,18	1,08	0,14	0,66	0,13	0,35	0,041	0,22	0,027
15,0 cm diss	5,72	17,2	59,3	2,32	7,61	1,02	0,18	0,77	0,14	0,66	0,13	0,34	0,040	0,21	0,026
17,5 cm tot	5,43	15,4	54,8	2,09	6,93	0,94	0,16	0,92	0,13	0,64	0,12	0,33	0,036	0,20	0,027
17,5 cm diss	5,37	15,2	53,9	2,08	6,77	0,90	0,16	0,87	0,12	0,62	0,12	0,32	0,036	0,20	0,025
20,0 cm tot	3,99	10,8	39,5	1,43	4,90	0,69	0,12	0,66	0,094	0,48	0,091	0,24	0,027	0,16	0,021
20,0 cm diss	3,90	10,5	38,1	1,38	4,78	0,67	0,12	0,63	0,091	0,46	0,089	0,24	0,027	0,15	0,020
22,5 cm tot	1,53	3,81	13,9	0,56	1,85	0,27	0,043	0,25	0,035	0,18	0,035	0,093	0,010	0,069	0,008
22,5 cm diss	1,45	3,78	12,8	0,52	1,76	0,24	0,042	0,22	0,031	0,18	0,031	0,093	0,009	0,065	0,006
25,0 cm tot	5,22	13,9	47,3	1,80	6,38	0,90	0,16	0,87	0,13	0,64	0,12	0,33	0,035	0,20	0,027
25,0 cm diss	5,10	13,5	46,8	1,77	6,16	0,88	0,15	0,82	0,12	0,62	0,12	0,32	0,035	0,19	0,026
27,5 cm tot	1,58	3,91	13,5	0,56	2,02	0,30	0,055	0,28	0,040	0,20	0,038	0,11	0,011	0,076	0,009
27,5 cm diss	1,52	3,84	13,3	0,54	1,92	0,28	0,052	0,26	0,036	0,20	0,037	0,10	0,011	0,071	0,009
30,0 cm tot	1,30	3,20	11,3	0,47	1,67	0,25	0,044	0,24	0,033	0,17	0,033	0,084	0,009	0,061	0,008
30,0 cm diss	1,26	3,08	10,8	0,44	1,55	0,23	0,040	0,16	0,029	0,16	0,029	0,083	0,009	0,057	0,007

Tabela 17 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) na extração sequencial dos sedimentos de Ponte Nova associados carbonatos e trocável.

Ponto 1 - Agosto de 2013															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	0,17	0,59	2,36	0,063	0,20	0,026	0,002	0,023	0,003	0,018	0,004	0,011	0,001	0,008	0,001
5,0 cm	0,18	0,64	2,61	0,060	0,22	0,028	0,002	0,026	0,003	0,019	0,004	0,012	0,001	0,009	0,001
7,5 cm	0,19	0,65	2,66	0,058	0,22	0,029	0,002	0,025	0,003	0,020	0,004	0,012	0,001	0,009	0,001
10,0 cm	0,20	0,68	2,79	0,063	0,23	0,032	0,003	0,027	0,004	0,022	0,004	0,013	0,001	0,009	0,001
12,5 cm	0,22	0,75	3,14	0,071	0,27	0,036	0,003	0,030	0,004	0,024	0,005	0,014	0,002	0,010	0,001
15,0 cm	0,24	0,80	3,32	0,076	0,29	0,038	0,003	0,032	0,004	0,026	0,005	0,015	0,002	0,011	0,002
17,5 cm	0,28	0,92	3,84	0,091	0,34	0,046	0,005	0,039	0,005	0,031	0,006	0,017	0,002	0,013	0,002
20,0 cm	0,36	1,15	4,96	0,12	0,46	0,064	0,007	0,054	0,007	0,041	0,008	0,023	0,003	0,017	0,002
22,5 cm	0,53	1,50	6,86	0,18	0,69	0,098	0,013	0,082	0,011	0,062	0,012	0,034	0,004	0,025	0,003
Ponto 1 - Fevereiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	0,34	0,92	3,22	0,11	0,43	0,061	0,009	0,053	0,009	0,044	0,009	0,025	0,003	0,018	0,003
5,0 cm	0,33	0,79	2,65	0,10	0,40	0,058	0,008	0,053	0,008	0,044	0,009	0,024	0,003	0,017	0,002
7,5 cm	0,40	0,86	3,46	0,12	0,50	0,075	0,011	0,066	0,010	0,054	0,011	0,029	0,004	0,021	0,003
10,0 cm	0,45	1,00	4,19	0,14	0,58	0,087	0,013	0,076	0,011	0,062	0,012	0,033	0,004	0,024	0,003
12,5 cm	0,34	0,68	1,46	0,10	0,38	0,057	0,007	0,057	0,008	0,043	0,009	0,024	0,003	0,017	0,002
15,0 cm	0,31	0,67	2,15	0,10	0,36	0,055	0,007	0,052	0,007	0,041	0,008	0,023	0,003	0,017	0,002
17,5 cm	0,31	0,58	1,50	0,09	0,36	0,056	0,007	0,054	0,007	0,042	0,008	0,024	0,003	0,017	0,002
20,0 cm	0,26	0,41	1,19	0,07	0,29	0,047	0,005	0,046	0,006	0,035	0,007	0,021	0,003	0,017	0,002
Ponto 1 - Agosto de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	0,47	1,37	9,78	0,14	0,63	0,090	0,014	0,067	0,011	0,061	0,012	0,034	0,004	0,025	0,004
5,0 cm	0,54	1,49	11,4	0,17	0,77	0,11	0,017	0,076	0,013	0,075	0,014	0,041	0,005	0,030	0,004
7,5 cm	0,57	1,45	12,2	0,18	0,81	0,12	0,018	0,079	0,014	0,080	0,015	0,044	0,005	0,032	0,004
10,0 cm	0,57	1,38	12,3	0,18	0,84	0,13	0,020	0,086	0,015	0,085	0,016	0,047	0,006	0,035	0,005
12,5 cm	0,48	1,16	9,74	0,16	0,74	0,11	0,018	0,080	0,014	0,075	0,014	0,041	0,005	0,032	0,004
15,0 cm	0,48	1,16	9,93	0,16	0,74	0,11	0,018	0,079	0,014	0,074	0,014	0,041	0,005	0,032	0,004
17,5 cm	0,38	0,78	2,75	0,12	0,47	0,067	0,011	0,063	0,009	0,048	0,010	0,028	0,003	0,020	0,003
20,0 cm	0,44	0,91	3,07	0,14	0,54	0,078	0,006	0,075	0,010	0,058	0,012	0,032	0,004	0,022	0,003
22,5 cm	0,56	1,24	3,27	0,20	0,77	0,11	0,019	0,110	0,015	0,076	0,016	0,042	0,006	0,029	0,005
Ponto 2 - Fevereiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	1,74	4,08	5,56	0,73	2,79	0,41	0,070	0,41	0,046	0,24	0,046	0,13	0,016	0,093	0,013
5,0 cm	1,75	4,04	6,66	0,73	2,78	0,41	0,070	0,41	0,048	0,24	0,048	0,13	0,016	0,095	0,013
7,5 cm	1,66	3,79	9,08	0,67	2,61	0,39	0,066	0,38	0,046	0,24	0,046	0,13	0,016	0,093	0,013
10,0 cm	1,83	4,18	5,95	0,75	2,84	0,42	0,072	0,43	0,050	0,26	0,050	0,14	0,017	0,100	0,014
12,5 cm	2,17	4,89	3,66	0,94	3,50	0,52	0,088	0,54	0,061	0,32	0,061	0,17	0,021	0,12	0,017
15,0 cm	1,40	3,25	8,63	0,56	2,16	0,32	0,054	0,30	0,038	0,20	0,039	0,11	0,013	0,075	0,010
17,5 cm	1,38	3,15	8,08	0,55	2,16	0,32	0,053	0,30	0,038	0,20	0,039	0,11	0,013	0,077	0,011
20,0 cm	1,36	2,95	7,13	0,53	2,08	0,31	0,053	0,31	0,038	0,20	0,039	0,11	0,013	0,079	0,011
22,5 cm	1,31	2,81	11,6	0,49	2,02	0,31	0,052	0,27	0,037	0,19	0,037	0,11	0,013	0,076	0,011

Tabela 18 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) na extração sequencial dos sedimentos de Ponte Nova associados aos óxi-hidróxidos de Fe e Mn.

Ponto 1 - Agosto de 2013															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	5,06	11,3	66,5	1,91	7,79	1,14	0,18	1,06	0,15	0,85	0,16	0,47	0,061	0,37	0,051
5,0 cm	4,91	11,0	65,5	1,83	7,55	1,09	0,17	1,03	0,14	0,83	0,16	0,46	0,059	0,36	0,050
7,5 cm	5,23	11,5	69,7	2,00	8,35	1,24	0,20	1,15	0,16	0,91	0,17	0,50	0,064	0,39	0,053
10,0 cm	4,68	10,6	61,1	1,73	6,97	1,00	0,16	0,96	0,14	0,78	0,15	0,43	0,055	0,33	0,046
12,5 cm	4,59	10,2	59,6	1,72	7,02	1,02	0,16	0,96	0,14	0,78	0,15	0,43	0,054	0,33	0,045
15,0 cm	4,33	9,70	54,0	1,55	6,28	0,90	0,14	0,87	0,12	0,71	0,14	0,40	0,050	0,30	0,041
17,5 cm	4,76	10,3	60,7	1,82	7,48	1,11	0,17	1,04	0,15	0,84	0,16	0,45	0,058	0,35	0,047
20,0 cm	4,92	11,0	62,1	1,92	8,06	1,22	0,19	1,12	0,16	0,89	0,17	0,48	0,061	0,37	0,050
22,5 cm	4,76	10,1	61,7	1,93	8,07	1,23	0,19	1,12	0,16	0,88	0,17	0,47	0,060	0,37	0,050
Ponto 1 - Fevereiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	3,41	7,41	48,7	1,56	7,04	1,12	0,19	0,91	0,13	0,72	0,13	0,36	0,046	0,29	0,041
5,0 cm	4,22	9,16	50,0	1,88	7,99	1,26	0,21	1,06	0,15	0,85	0,15	0,42	0,053	0,33	0,046
7,5 cm	4,50	9,95	49,9	2,13	8,99	1,42	0,24	1,22	0,17	0,93	0,17	0,46	0,057	0,35	0,048
10,0 cm	4,37	9,36	49,1	2,03	8,59	1,36	0,23	1,16	0,17	0,88	0,16	0,44	0,054	0,33	0,046
12,5 cm	3,50	7,82	38,9	1,63	6,99	1,09	0,17	0,94	0,13	0,73	0,13	0,37	0,046	0,28	0,039
15,0 cm	3,10	6,78	33,4	1,40	6,13	0,95	0,15	0,83	0,12	0,65	0,12	0,33	0,041	0,25	0,034
17,5 cm	4,39	9,76	38,0	1,98	8,04	1,21	0,19	1,08	0,15	0,85	0,16	0,44	0,054	0,32	0,043
20,0 cm	6,40	14,0	48,3	2,52	10,32	1,46	0,22	1,40	0,20	1,12	0,22	0,59	0,074	0,42	0,057
Ponto 1 - Agosto de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	3,15	6,39	49,3	1,48	6,45	1,02	0,18	0,83	0,12	0,64	0,12	0,34	0,043	0,27	0,039
5,0 cm	2,95	5,90	43,8	1,38	6,14	0,99	0,16	0,79	0,11	0,62	0,11	0,32	0,042	0,26	0,037
7,5 cm	2,91	5,86	43,7	1,39	6,02	0,98	0,16	0,77	0,11	0,61	0,11	0,31	0,041	0,26	0,036
10,0 cm	2,38	4,86	38,2	1,17	5,09	0,86	0,15	0,66	0,095	0,51	0,093	0,26	0,034	0,22	0,031
12,5 cm	1,93	4,19	33,3	1,00	4,37	0,74	0,13	0,56	0,079	0,43	0,076	0,22	0,028	0,18	0,026
15,0 cm	2,87	6,87	32,9	1,42	6,90	0,84	0,14	0,77	0,11	0,60	0,12	0,29	0,039	0,23	0,031
17,5 cm	4,04	9,20	33,2	1,82	7,55	1,09	0,16	0,98	0,13	0,74	0,14	0,39	0,048	0,28	0,037
20,0 cm	4,45	10,0	37,5	2,24	9,09	1,39	0,20	1,19	0,16	0,87	0,16	0,43	0,054	0,32	0,042
22,5 cm	4,01	8,89	33,9	1,92	7,73	1,15	0,17	1,00	0,14	0,75	0,14	0,38	0,047	0,27	0,036
Ponto 2 - Fevereiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	6,63	15,8	86,6	3,83	16,9	2,55	0,43	1,94	0,25	1,33	0,24	0,69	0,086	0,54	0,075
5,0 cm	6,80	16,0	88,4	3,86	16,9	2,62	0,44	2,02	0,26	1,38	0,25	0,71	0,089	0,55	0,077
7,5 cm	6,28	14,8	83,0	3,60	14,8	2,35	0,39	1,78	0,24	1,23	0,22	0,63	0,079	0,49	0,069
10,0 cm	5,99	14,1	79,2	3,46	14,6	2,29	0,38	1,73	0,23	1,20	0,22	0,61	0,077	0,48	0,067
12,5 cm	6,71	15,5	86,2	3,85	16,0	2,54	0,42	1,92	0,25	1,33	0,24	0,67	0,084	0,53	0,073
15,0 cm	4,75	11,3	63,0	2,80	11,9	1,86	0,31	1,42	0,19	0,97	0,18	0,49	0,061	0,38	0,053
17,5 cm	4,91	11,7	64,8	2,82	12,8	1,98	0,33	1,53	0,20	1,06	0,19	0,54	0,068	0,42	0,059
20,0 cm	5,47	12,9	70,4	3,10	13,4	2,07	0,34	1,61	0,21	1,12	0,20	0,57	0,071	0,44	0,061
22,5 cm	5,37	12,8	69,2	3,04	12,9	2,00	0,33	1,54	0,21	1,09	0,20	0,55	0,069	0,43	0,060

Tabela 19 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) na extração sequencial dos sedimentos de Ponte Nova associados aos sulfetos e matéria orgânica.

Ponto 1 - Agosto de 2013															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	1,41	2,27	16,4	0,97	9,08	0,91	0,15	0,65	0,077	0,40	0,073	0,20	0,027	0,18	0,025
5,0 cm	1,28	2,10	17,2	0,88	8,46	0,85	0,14	0,59	0,068	0,38	0,063	0,18	0,025	0,17	0,023
7,5 cm	1,31	2,07	15,4	0,90	8,43	0,86	0,13	0,59	0,067	0,39	0,069	0,19	0,026	0,17	0,024
10,0 cm	1,52	2,36	16,6	1,01	9,40	0,94	0,16	0,68	0,077	0,43	0,078	0,21	0,029	0,20	0,027
12,5 cm	1,42	2,21	17,6	0,92	8,75	0,78	0,14	0,61	0,073	0,40	0,074	0,20	0,028	0,18	0,025
15,0 cm	1,56	2,37	18,0	0,98	9,13	0,91	0,15	0,66	0,076	0,44	0,079	0,21	0,030	0,20	0,027
17,5 cm	1,30	1,97	12,9	0,84	7,86	0,81	0,14	0,56	0,070	0,38	0,068	0,19	0,025	0,18	0,024
20,0 cm	1,23	1,81	11,8	0,78	7,37	0,77	0,13	0,54	0,066	0,35	0,064	0,18	0,024	0,16	0,022
22,5 cm	1,11	1,61	10,2	0,70	6,51	0,69	0,12	0,48	0,058	0,33	0,058	0,16	0,022	0,15	0,021
Ponto 1 - Fevereiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	1,20	1,46	10,3	0,78	4,06	0,86	0,15	0,60	0,075	0,36	0,061	0,17	0,021	0,15	0,021
5,0 cm	1,53	1,89	9,44	1,02	5,22	1,09	0,19	0,77	0,096	0,46	0,078	0,21	0,025	0,19	0,026
7,5 cm	1,62	2,06	11,1	1,06	5,43	1,14	0,20	0,79	0,100	0,49	0,083	0,23	0,026	0,20	0,027
10,0 cm	1,58	1,96	10,4	1,01	5,14	1,08	0,19	0,75	0,095	0,46	0,079	0,21	0,025	0,18	0,025
12,5 cm	1,37	1,84	10,9	0,86	4,45	0,90	0,14	0,62	0,079	0,39	0,069	0,19	0,022	0,16	0,023
15,0 cm	1,25	1,81	11,2	0,73	3,86	0,79	0,13	0,53	0,071	0,36	0,063	0,19	0,020	0,16	0,022
17,5 cm	1,66	2,06	7,72	0,98	4,97	1,01	0,16	0,70	0,093	0,48	0,084	0,23	0,027	0,20	0,027
20,0 cm	2,72	4,03	22,9	1,80	9,18	1,72	0,25	1,16	0,15	0,79	0,14	0,39	0,045	0,33	0,045
Ponto 1 - Agosto de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	1,08	1,57	13,0	0,69	3,86	0,83	0,14	0,55	0,071	0,35	0,061	0,17	0,023	0,16	0,023
5,0 cm	1,00	1,40	7,68	0,62	3,24	0,70	0,12	0,47	0,062	0,31	0,054	0,15	0,021	0,15	0,020
7,5 cm	0,92	1,26	7,03	0,55	2,90	0,64	0,11	0,43	0,058	0,30	0,051	0,14	0,020	0,14	0,019
10,0 cm	0,69	0,86	3,65	0,36	1,92	0,44	0,079	0,30	0,041	0,21	0,038	0,11	0,015	0,10	0,014
12,5 cm	0,61	0,77	2,72	0,31	1,60	0,37	0,069	0,26	0,035	0,18	0,032	0,09	0,013	0,087	0,012
15,0 cm	1,12	1,91	8,02	0,68	3,29	0,63	0,091	0,45	0,059	0,31	0,055	0,15	0,020	0,13	0,018
17,5 cm	1,52	2,51	10,6	0,90	3,29	0,63	0,091	0,43	0,059	0,31	0,055	0,15	0,020	0,13	0,018
20,0 cm	1,58	2,30	4,76	0,88	3,48	0,72	0,10	0,50	0,067	0,35	0,063	0,18	0,023	0,15	0,021
22,5 cm	1,87	2,62	5,88	1,02	5,21	1,05	0,15	0,76	0,100	0,52	0,093	0,26	0,034	0,22	0,029
Ponto 2 - Fevereiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	1,74	2,72	13,3	1,05	5,54	1,13	0,20	0,75	0,096	0,49	0,089	0,26	0,030	0,24	0,034
5,0 cm	1,77	2,76	13,1	1,06	5,50	1,12	0,19	0,74	0,095	0,49	0,088	0,25	0,030	0,24	0,033
7,5 cm	1,85	2,86	14,5	1,07	5,25	1,07	0,18	0,71	0,091	0,47	0,084	0,24	0,030	0,22	0,031
10,0 cm	1,74	2,69	14,3	1,02	5,25	1,06	0,18	0,71	0,092	0,47	0,085	0,24	0,029	0,22	0,031
12,5 cm	1,80	2,89	15,0	1,07	5,47	1,10	0,19	0,74	0,094	0,49	0,087	0,25	0,030	0,23	0,032
15,0 cm	1,43	2,18	9,45	0,83	4,11	0,84	0,14	0,57	0,073	0,37	0,068	0,20	0,023	0,18	0,025
17,5 cm	1,63	2,56	11,7	0,99	4,99	1,02	0,17	0,68	0,087	0,44	0,078	0,23	0,027	0,20	0,028
20,0 cm	1,71	2,74	15,9	1,03	5,21	1,05	0,18	0,69	0,089	0,46	0,082	0,23	0,028	0,21	0,029
22,5 cm	1,62	2,56	12,1	0,98	4,89	1,00	0,17	0,68	0,087	0,44	0,079	0,23	0,027	0,20	0,028

Tabela 20 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) através da extração sequencial dos sedimentos de Ponte Nova na fase residual.

Ponto 1 - Agosto de 2013															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	2,91	41,3	28,9	9,35	26,1	4,64	0,98	3,21	0,34	1,42	0,19	0,42	0,053	0,41	0,026
5,0 cm	4,16	41,5	19,9	9,44	26,4	4,85	1,01	3,36	0,37	1,65	0,24	0,48	0,076	0,46	0,059
7,5 cm	3,55	36,4	24,9	9,73	27,5	4,74	1,01	3,15	0,33	1,37	0,18	0,36	0,061	0,31	0,033
10,0 cm	7,09	57,2	54,9	12,4	37,2	6,44	1,21	4,28	0,48	1,96	0,27	0,49	0,075	0,47	0,041
12,5 cm	7,78	57,7	56,2	12,8	38,6	6,95	1,46	4,85	0,60	2,79	0,42	0,90	0,15	0,85	0,11
15,0 cm	4,45	37,5	27,2	9,90	28,2	5,24	1,00	3,62	0,41	1,76	0,24	0,52	0,081	0,46	0,057
17,5 cm	7,92	56,6	57,0	13,2	40,2	7,00	1,36	4,84	0,56	2,49	0,41	0,87	0,12	0,79	0,094
20,0 cm	6,97	51,1	43,1	13,2	39,8	7,66	1,38	5,66	0,54	2,45	0,40	0,74	0,12	0,66	0,087
22,5 cm	2,18	35,4	19,7	6,57	18,4	3,39	0,55	2,13	0,21	0,66	0,11	0,06	0,037	0,14	0,021
Ponto 1 - Fevereiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	4,78	41,5	61,8	8,90	30,3	5,27	0,85	4,01	0,44	1,75	0,24	0,55	0,051	0,34	0,044
5,0 cm	4,41	28,9	38,4	6,69	21,9	3,77	0,70	2,90	0,34	1,50	0,23	0,57	0,065	0,43	0,062
7,5 cm	4,38	31,1	38,3	6,74	22,2	3,98	0,66	2,89	0,34	1,40	0,21	0,53	0,062	0,44	0,065
10,0 cm	5,80	33,4	42,1	7,11	23,4	4,05	0,75	3,12	0,37	1,68	0,27	0,70	0,093	0,65	0,099
12,5 cm	5,45	34,4	50,3	7,33	24,5	4,29	0,57	3,20	0,38	1,61	0,24	0,59	0,065	0,46	0,066
15,0 cm	5,58	29,8	39,2	6,52	21,9	3,69	0,66	2,76	0,33	1,51	0,24	0,64	0,084	0,57	0,084
17,5 cm	8,31	43,7	64,1	9,95	34,4	6,05	0,79	4,53	0,55	2,45	0,37	0,97	0,12	0,84	0,13
20,0 cm	5,58	36,2	47,1	7,54	23,5	4,00	0,57	2,88	0,34	1,57	0,25	0,67	0,091	0,65	0,098
Ponto 1 - Agosto de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	5,79	44,4	46,2	12,9	46,9	7,28	1,62	5,15	0,55	2,16	0,29	0,66	0,052	0,38	0,042
5,0 cm	7,42	45,6	65,0	13,1	48,0	8,79	1,84	6,48	0,66	2,52	0,33	0,77	0,053	0,36	0,040
7,5 cm	4,78	45,4	54,7	12,6	45,6	6,75	0,83	4,93	0,48	1,77	0,20	0,39	0,009	0,06	0,003
10,0 cm	8,36	60,4	108	14,9	57,6	9,81	2,35	6,77	0,76	3,15	0,43	1,02	0,090	0,60	0,073
12,5 cm	7,39	57,9	112	14,7	56,7	11,1	2,16	7,38	0,74	2,58	0,32	0,74	0,040	0,30	0,030
15,0 cm	7,77	43,6	53,9	11,5	41,8	6,36	1,20	4,57	0,44	2,43	0,34	0,83	0,073	0,53	0,053
17,5 cm	6,84	37,8	47,9	7,03	26,5	3,93	0,61	2,85	0,32	1,58	0,27	0,78	0,11	0,83	0,13
20,0 cm	7,74	46,3	76,7	11,3	38,1	5,57	0,85	3,96	0,44	1,92	0,30	0,76	0,080	0,54	0,074
22,5 cm	5,08	38,2	54,4	7,91	28,1	4,34	0,68	2,98	0,35	1,61	0,26	0,71	0,087	0,65	0,096
Ponto 2 - Fevereiro de 2014															
Profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	5,13	47,5	47,6	10,3	33,0	5,37	1,07	4,00	0,47	2,05	0,29	0,69	0,070	0,38	0,043
5,0 cm	9,25	49,7	48,3	15,3	49,0	7,96	1,57	6,10	0,69	3,03	0,46	1,10	0,11	0,63	0,070
7,5 cm	4,22	39,2	28,0	10,0	33,2	5,37	1,06	4,11	0,46	2,06	0,30	0,71	0,069	0,42	0,045
10,0 cm	5,95	42,4	41,3	11,5	37,3	6,11	1,19	4,71	0,54	2,39	0,36	0,85	0,079	0,49	0,054
12,5 cm	10,6	50,7	60,6	16,4	54,9	8,80	1,73	7,08	0,80	3,62	0,56	1,38	0,15	0,87	0,108
15,0 cm	4,06	36,9	31,5	7,82	25,0	4,05	0,82	3,17	0,35	1,51	0,21	0,49	0,042	0,25	0,027
17,5 cm	4,84	39,9	42,7	8,88	28,2	4,69	0,91	3,65	0,42	1,82	0,26	0,63	0,061	0,38	0,043
20,0 cm	3,75	36,5	26,0	7,95	25,6	4,16	0,78	3,27	0,36	1,57	0,23	0,57	0,055	0,34	0,039
22,5 cm	4,10	36,1	26,7	8,30	26,7	4,48	0,86	3,50	0,40	1,78	0,26	0,63	0,063	0,39	0,045

Tabela 21 – Resultados obtidos (em mg kg<sup>-1</sup>) para a concentração total dos elementos nos perfis do reservatório de Ponte Nova.

Ponto 1 - Agosto de 2013															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	9,55	55,4	114	12,3	43,2	6,71	1,31	4,94	0,57	2,69	0,43	1,10	0,14	0,97	0,10
5 cm	10,5	55,2	105	12,2	42,7	6,82	1,32	5,00	0,59	2,88	0,46	1,14	0,16	1,00	0,13
7,5 cm	10,3	50,6	113	12,7	44,5	6,87	1,34	4,93	0,56	2,69	0,43	1,05	0,15	0,88	0,11
10 cm	13,5	70,8	135	15,2	53,9	8,41	1,53	5,94	0,69	3,19	0,51	1,15	0,16	1,00	0,12
12,5 cm	14,0	70,9	137	15,5	54,7	8,79	1,77	6,46	0,82	3,99	0,64	1,55	0,23	1,37	0,18
15 cm	10,6	50,3	102	12,5	43,9	7,09	1,30	5,18	0,62	2,93	0,47	1,14	0,16	0,97	0,13
17,5 cm	14,3	69,7	134	15,9	55,8	8,97	1,68	6,48	0,78	3,74	0,65	1,53	0,21	1,32	0,17
20 cm	13,5	65,1	122	16,0	55,6	9,71	1,71	7,36	0,77	3,74	0,64	1,42	0,21	1,21	0,16
22,5 cm	8,58	48,6	98,5	9,38	33,7	5,40	0,87	3,81	0,43	1,94	0,34	0,73	0,12	0,68	0,10
25 cm	12,5	66,8	129	15,5	54,1	9,38	1,64	6,76	0,80	3,64	0,58	1,51	0,18	1,17	0,14
27,5 cm	10,5	36,0	109	7,74	27,8	5,01	0,91	3,80	0,51	2,70	0,47	1,18	0,19	1,11	0,15
30 cm	7,47	47,4	104	9,20	31,9	5,16	0,84	3,73	0,42	1,89	0,32	0,72	0,12	0,70	0,092
32,5 cm	22,2	62,1	128	13,3	53,3	9,09	1,40	7,00	0,97	5,20	0,94	2,40	0,33	2,02	0,28
35 cm	10,8	55,2	91,9	12,6	46,5	7,44	1,02	5,44	0,66	3,22	0,53	1,22	0,16	0,94	0,13
37,5 cm	14,1	57,3	106	12,8	48,3	8,08	1,14	6,16	0,82	4,09	0,68	1,58	0,20	1,17	0,15
40 cm	15,9	61,3	122	14,4	53,8	9,05	1,25	6,92	0,90	4,57	0,77	1,85	0,25	1,54	0,20
Ponto 1 - Fevereiro de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	9,73	51,3	124	12,0	41,8	7,31	1,20	5,58	0,66	2,88	0,44	1,11	0,12	0,80	0,11
5 cm	10,5	40,7	101	10,2	35,5	6,17	1,12	4,79	0,60	2,85	0,47	1,23	0,15	0,96	0,14
7,5 cm	10,9	44,0	103	10,6	37,1	6,62	1,11	4,97	0,62	2,88	0,47	1,25	0,15	1,00	0,14
10 cm	12,2	45,7	106	10,8	37,7	6,58	1,18	5,10	0,64	3,10	0,52	1,38	0,18	1,18	0,17
12,5 cm	10,7	44,8	102	10,4	36,4	6,33	0,90	4,81	0,60	2,77	0,45	1,18	0,14	0,93	0,13
15 cm	10,2	39,0	86	9,17	32,2	5,49	0,95	4,17	0,52	2,56	0,43	1,18	0,15	1,00	0,14
17,5 cm	14,7	56,1	111	13,6	47,7	8,32	1,14	6,36	0,80	3,82	0,62	1,66	0,21	1,38	0,20
20 cm	15,0	54,7	120	12,5	43,3	7,23	1,05	5,49	0,70	3,52	0,61	1,68	0,21	1,42	0,20
22,5 cm	15,5	52,5	107	13,8	47,7	7,92	1,27	6,11	0,77	3,85	0,67	1,83	0,23	1,48	0,21
25 cm	13,9	56,2	113	13,3	45,9	7,61	1,21	5,76	0,72	3,58	0,61	1,66	0,20	1,30	0,18
27,5 cm	11,7	49,1	97,4	11,4	39,5	6,57	0,97	4,90	0,62	3,03	0,52	1,40	0,17	1,14	0,16
30 cm	8,38	32,6	59,5	7,79	27,4	4,66	0,73	3,50	0,44	2,14	0,37	1,01	0,13	0,84	0,13
32,5 cm	8,46	33,9	68,8	8,42	29,5	4,90	0,78	3,66	0,46	2,23	0,38	1,06	0,13	0,88	0,13
35 cm	14,0	57,7	119	15,0	52,0	8,57	1,34	6,40	0,79	3,85	0,65	1,76	0,21	1,32	0,18
37,5 cm	16,7	65,0	138	16,0	57,9	9,50	1,48	7,22	0,89	4,25	0,72	1,92	0,22	1,39	0,19
40 cm	14,9	62,2	136	14,9	51,7	8,44	1,32	6,43	0,79	3,85	0,66	1,75	0,20	1,26	0,17
42,5 cm	15,5	64,8	137	15,6	53,6	8,78	1,38	6,69	0,81	3,91	0,65	1,71	0,20	1,22	0,16
45 cm	13,9	56,8	123	13,3	45,4	7,42	1,17	5,69	0,70	3,39	0,58	1,59	0,20	1,28	0,18
47,5 cm	14,8	60,8	132	14,1	48,7	8,02	1,14	6,07	0,75	3,60	0,62	1,66	0,20	1,30	0,19
50 cm	14,7	56,5	117	13,9	48,2	7,91	1,20	6,00	0,74	3,60	0,62	1,70	0,20	1,34	0,19

Tabela 21 – Continuação.

Ponto 1 - Agosto de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	10,5	53,7	118	15,8	57,8	9,22	1,85	6,59	0,75	3,22	0,48	1,20	0,12	0,84	0,11
5 cm	11,9	54,4	128	15,9	58,1	10,6	2,14	7,82	0,85	3,53	0,51	1,28	0,12	0,79	0,10
7,5 cm	9,18	54,0	118	15,3	55,3	8,48	1,12	6,21	0,67	2,75	0,37	0,89	0,075	0,48	0,063
10 cm	12,0	67,5	162	17,4	65,4	11,2	2,09	7,82	0,92	3,96	0,57	1,43	0,14	0,96	0,12
12,5 cm	10,4	64,0	158	17,0	63,4	12,3	2,37	8,28	0,87	3,26	0,44	1,09	0,085	0,61	0,072
15 cm	12,2	53,6	105	14,3	52,8	7,94	1,45	5,87	0,63	3,40	0,53	1,32	0,14	0,93	0,11
17,5 cm	12,8	50,3	94,4	10,3	37,8	5,72	0,87	4,33	0,52	2,67	0,48	1,35	0,18	1,26	0,19
20 cm	14,2	59,5	122	15,2	51,2	7,75	1,15	5,72	0,67	3,20	0,53	1,40	0,16	1,03	0,14
22,5 cm	11,5	51,0	97,4	11,5	41,8	6,65	1,02	4,85	0,60	2,96	0,51	1,40	0,17	1,17	0,17
25 cm	16,2	64,5	130	16,0	52,2	8,43	1,30	6,30	0,77	3,72	0,63	1,69	0,20	1,24	0,17
27,5 cm	17,1	67,3	155	16,4	54,6	8,81	1,34	6,49	0,81	3,95	0,67	1,81	0,21	1,34	0,18
30 cm	11,7	57,4	110	12,0	45,4	7,08	1,06	5,17	0,65	3,21	0,55	1,47	0,18	1,12	0,15
32,5 cm	12,6	59,6	118	13,0	48,1	7,42	1,13	5,47	0,67	3,26	0,55	1,48	0,18	1,16	0,16
35 cm	8,20	44,5	84,0	8,95	34,1	5,15	0,71	3,65	0,43	2,04	0,34	0,96	0,12	0,84	0,12
37,5 cm	10,6	42,0	83,4	8,20	31,5	5,01	0,74	3,72	0,46	2,32	0,41	1,18	0,16	1,15	0,18
40 cm	12,6	47,6	91,2	8,77	31,8	5,00	0,80	3,79	0,48	2,46	0,46	1,32	0,18	1,26	0,19
Ponto 2 - Fevereiro de 2014															
profundidade	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
2,5 cm	15,2	70,1	153	15,9	58,2	9,46	1,77	7,11	0,86	4,12	0,67	1,76	0,20	1,26	0,16
5 cm	19,6	72,5	157	19,0	74,2	12,1	2,27	9,32	1,10	5,14	0,85	2,19	0,24	1,51	0,19
7,5 cm	14,0	60,6	135	15,4	55,8	9,17	1,71	6,97	0,83	3,99	0,66	1,72	0,19	1,22	0,16
10 cm	15,5	63,3	141	16,7	60,0	9,89	1,83	7,59	0,91	4,32	0,71	1,84	0,20	1,30	0,17
12,5 cm	21,3	74,0	166	19,2	79,8	13,0	2,43	10,3	1,21	5,75	0,95	2,48	0,28	1,75	0,23
15 cm	11,6	53,6	113	12,0	43,1	7,07	1,33	5,46	0,65	3,06	0,49	1,28	0,14	0,88	0,12
17,5 cm	12,8	57,3	127	13,2	48,1	8,00	1,46	6,17	0,75	3,52	0,57	1,51	0,17	1,08	0,14
20 cm	12,3	55,1	119	12,6	46,3	7,59	1,36	5,88	0,70	3,35	0,56	1,47	0,17	1,07	0,14
22,5 cm	12,4	54,2	120	12,8	46,5	7,78	1,42	5,99	0,74	3,51	0,58	1,51	0,17	1,10	0,14
25 cm	12,0	54,9	122	12,5	45,0	7,42	1,40	5,72	0,69	3,28	0,53	1,39	0,15	0,95	0,12
27,5 cm	11,6	53,1	115	12,2	44,1	7,37	1,39	5,68	0,69	3,21	0,53	1,35	0,15	0,93	0,12
30 cm	11,7	51,7	114	11,8	43,1	7,15	1,38	5,55	0,69	3,25	0,53	1,40	0,16	1,01	0,13
32,5 cm	12,2	50,7	111	12,9	46,4	7,72	1,48	6,03	0,73	3,44	0,56	1,45	0,16	1,00	0,13
35 cm	11,2	54,1	116	12,3	44,5	7,25	1,33	5,53	0,66	3,10	0,50	1,31	0,14	0,89	0,12
37,5 cm	13,9	58,8	128	14,6	52,4	8,48	1,54	6,59	0,79	3,77	0,63	1,66	0,19	1,22	0,16
40 cm	12,1	50,3	111	12,7	46,3	7,74	1,39	5,93	0,73	3,45	0,57	1,51	0,18	1,12	0,15
42,5 cm	15,7	66,2	141	15,8	57,5	9,64	1,49	7,39	0,89	4,25	0,70	1,87	0,22	1,39	0,19
45 cm	12,1	51,8	106	12,2	44,8	7,61	1,04	5,80	0,70	3,21	0,52	1,36	0,16	1,04	0,15
47,5 cm	14,6	61,1	126	14,3	52,0	8,84	1,26	6,82	0,83	3,85	0,63	1,69	0,19	1,26	0,18
50 cm	15,9	63,8	132	16,0	57,8	9,70	1,49	7,46	0,90	4,29	0,71	1,88	0,22	1,40	0,19
52,5 cm	13,5	56,6	116	13,7	49,7	8,49	1,32	6,45	0,79	3,74	0,61	1,60	0,18	1,15	0,15
55 cm	15,8	69,9	140	16,6	59,8	9,99	1,44	7,67	0,92	4,25	0,69	1,81	0,20	1,29	0,17
57,5 cm	12,5	44,3	91,5	11,3	48,8	8,41	1,31	6,50	0,78	3,68	0,61	1,59	0,19	1,18	0,16
60 cm	13,5	50,4	97,4	13,8	49,2	8,29	1,32	6,41	0,76	3,55	0,58	1,53	0,18	1,15	0,15
62 cm	10,7	38,2	74,2	9,78	35,4	6,01	0,93	4,62	0,55	2,60	0,43	1,15	0,14	0,91	0,13