MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS MEDIANEIRA

KARINE FRANCIELE DA SILVA ALVES

DETERMINAÇÃO DE ÍONS METÁLICOS EM SEDIMENTOS DE REGIÕES COM CULTIVO DE PEIXES EM TANQUES-REDE NO LAGO DE ITAIPU, BRASIL

TRABALHO DE DISSERTAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

PPGTAMB

MEDIANEIRA
2018

KARINE FRANCIELE DA SILVA ALVES

DETERMINAÇÃO DE ÍONS METÁLICOS EM SEDIMENTOS DE REGIÕES COM CULTIVO DE PEIXES EM TANQUES-REDE NO LAGO DE ITAIPU, BRASIL

Dissertação de Mestrado apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais, do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais – PPGTAMB – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira.

Discente: Karine Franciele da Silva Alves

Orientador: Prof. Dr. Adelmo Lowe Pletsch

Co-orientador: Prof. Dr. Heleno Brandão

Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mucelin

MEDIANEIRA
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

A474d

Alves, Karine Franciele da Silva
Determinação de íons metálicos em sedimentos de regiões com cultivo de peixes em tanques-rede no lago de Itaipu, Brasil./ Karine Franciele da Silva Alves– 2018.
106 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Adelmo Lowe Pletsch
Coorientador: Heleno Brandão
Coorientador: Carlos Alberto Mucelin
Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. Medianeira, 2018.
Inclui bibliografias.

1. Aquicultura. 2. Físico-química. 3. Metais 4. Tecnologias Ambientais - Dissertações. I. Pletsch, Adelmo Lowe, orient. II. Brandão, Heleno, coorient. III. Mucelin, Carlos Alberto, coorient. IV Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais. V. Título.

CDD: 600

Biblioteca Câmpus Medianeira
Marci Lucia Nicodem Fischborn 9/1219

Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
Campus Medianeira
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais

TERMO DE APROVAÇÃO

DETERMINAÇÃO DE ÍONS METÁLICOS EM SEDIMENTOS DE REGIÕES COM CULTIVO DE PEIXES EM TANQUES-REDE NO LAGO DE ITAIPU, BRASIL

Por

Karine Franciele da Silva Alves

Essa dissertação foi apresentada às 14:00 horas, do dia 28 de junho de 2018, como um dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais, Linha de Pesquisa: Tecnologias de Prevenção e Controle de Impactos Ambientais, no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Medianeira. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

_____

Prof. Dr. Adelmo Lowe Pletsch (Orientador – PPGTAMB)

_____

Prof. Dr. Ivonei Ottobelli (Examinador – UTFPR_MD)

_____

Prof. Dr. Fernando Periotto (Examinador – UFSCAR)

A folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa.

Dedico este trabalho integralmente ao meu marido Volnei Alves, aos meus pais Osvaldo Soares da Silva e Cladi da Silva e a minha irmã Caroline Letícia da Silva que não mediram esforços para me darem apoio e me aguentarem nos momentos difíceis pelos quais passei.

AGADECIMENTOS

À Deus pela vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Medianeira, pela oportunidade de participação do programa e desenvolvimento desse trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Adelmo Lowe Pletsch, pela dedicação e paciência em orientar durante todo o desenvolvimento do trabalho.

Ao meu Co-orientador Prof. Dr. Carlos Alberto Mucelin, pela expressiva ajuda neste trabalho, pelos conhecimentos a mim repassados, pela autonomia dada no desenvolvimento do trabalho, e pelo engrandecimento como ser humano desde a graduação até a pós-graduação.

Ao meu Co-orientador Prof. Dr. Heleno Brandão, pelas contribuições para o desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Ismael Laurindo Costa Júnior, por todo o apoio pela quase coorientação a mim dedicados, sempre contribuindo com sugestões e esclarecimento de dúvidas.

A Prof.ª. M. Sc. Juliane Maria Bergamin Bocardi, pelos ensinamentos transmitidos e a todo o tempo dedicado no decorrer das análises, e por sua amizade maternal.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais, pelos ensinamentos transmitidos através das disciplinas ministradas no decorrer do curso.

A minha colega de laboratório Nathieli Thomas, que me ajudou nos momentos de angústia e sofrimento para a realização das leituras dos equipamentos do laboratório.

Aos técnicos de laboratório, agradeço pela disponibilidade, pela colaboração e paciência.

Ao Prof. Dr. Ivonei Ottobelli que se fez presente nesta caminhada desde o projeto inicial.

A Prof. Dr. Fernando Periotto pela presença na defesa da dissertação.

A todos meus colegas do PPGTAMB “sobreviventes”, Cezar, Cleidimar, Daniel, Fernando, Leandro e Poliana que me deram a oportunidade de conhecê-los e descobrir pessoas tão diferentes entre si, com os quais dividimos as angústias e as realizações deste caminho, pela amizade e confiança.

Ao CNPQ pelo auxílio com bolsa para o mestrado.

Aos meus familiares pelo carinho, apoio e incentivo.

"Segura teu filho no colo
Sorria e abraça os teus pais enquanto estão aqui
Que a vida é trem-bala parceiro
E a gente é só passageiro prestes a partir."
(Ana Vilela)

"O que as suas mãos tiverem que fazer, que o façam com toda a sua força, pois na sepultura, para onde você vai, não há atividade nem planejamento, não há conhecimento nem sabedoria."
(Eclesiastes 9:10)

RESUMO

ALVES, Karine Franciele da Silva; **Determinação de íons metálicos em sedimentos de regiões com cultivo de peixes em tanques-rede no lago de Itaipu, Brasil**. 2018. 106f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2018.

Este trabalho foi realizado no reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional, localizada na região oeste do Paraná, entre 2016 e 2018 nos municípios de Entre Rios do Oeste e Foz do Iguaçu, ambientes nos quais havia criação de peixes em tanques-rede. O estudo teve como objetivo a investigação de elementos-traço em sedimento, nos quais foram realizadas as análises físico-química: pH, matéria orgânica, carbono orgânico total, fósforo total e análise textural. Os íons metálicos nas amostras de sedimento apresentaram concentrações mínimas e máximas em: Al (22238,09 a 83966,33 mg Kg^{-1}), Cd (0,12 a 2,27 mg Kg^{-1}), Cr (2,22 a 132,55 mg Kg^{-1}), Cu (22,52 a 286,71 mg Kg^{-1}), Fe (8044,15 a 21260,90 mg Kg^{-1}), Mg (168,36 a 2149,57 mg Kg^{-1}), Mn (195,15 a 2451,42 mg Kg^{-1}), Pb (9,62 a 92,11 mg Kg^{-1}), Zn (47,35 a 133,66 mg Kg^{-1}). Apenas Cr e Cu tiveram os valores mais elevados do que prevê a legislação do CONAMA 454/2012, a qual emprega os mesmos valores guia utilizados pela NOAA para qualidade dos sedimentos.

Palavras-chave: metais; sedimento; lago.

ABSTRACT

ALVES, Karine Franciele da Silva; **Determination of trace elements in sediment and naturally-occurring fishes and reared in pond-net systems of Lake Itaipu, Brazil**. 2018. 106s. Dissertation (Post-Graduate Program in Environmental Technologies), Federal Technological University of Paraná. Medianeira, 2018.

This work was carried out in the reservoir of the Itaipu Binacional Hydroelectric Power Plant, located in the western region of Paraná, between 2016 and 2018 in the municipalities of Entre Rios do Oeste and Foz do Iguaçu, where there were fish farms in net tanks. The objective of the study was to investigate trace elements in sediment, in which the physical-chemical analyzes were performed: pH, organic matter, total organic carbon, total phosphorus and textural analysis. The metal ions in the sediment samples presented minimum and maximum concentrations in: Al (22238.09 to 83966.33 mg Kg^{-1}), Cd (0.12 to 2.27 mg Kg^{-1}), Cr (2.22 to 132.55 mg Kg^{-1}), Cu (22.52 to 286.71 mg Kg^{-1}), Fe (8044.15 to 21260.90 mg Kg^{-1}), Mg (168.36 to 2149.57 mg Kg^{-1}), Mn (195.15 to 2451.42 mg Kg^{-1}), Pb (9.62 to 92.11 mg Kg^{-1}), Zn (47.35 to 133.66 mg Kg^{-1}). Only Cr and Cu had the higher values than the CONAMA legislation 454/2012, which uses the same guide values used by NOAA for sediment quality.

Keywords: metals; sediment; lake.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção da piscicultura por região. 27
Figura 2 - Ilustração de tanque-rede em sua vista lateral. 28
Figura 3 - Tanque-rede em sua vista superior. 29
Figura 4 - Exemplar de Pacu mantido em tanque-rede. 30
Figura 5 - Exemplar de Tambacu mantido em tanque-rede. 31
Figura 6 - Mapa geográfico dos municípios nos quais as coletas foram realizadas. . 34
Figura 7 - Municípios de amostragem. 34
Figura 8 - Estação de coleta em Entre Rios do Oeste. 35
Figura 9 - Estação de coleta em Foz do Iguaçu. 36
Figura 10 - Draga de Petersen. 38
Figura 11 - Amostras expostas para secagem. 40
Figura 12 - Desagregação das amostras. 41
Figura 13 - Frascos de armazenamento das amostras. 41
Figura 14 - Amostras em repouso para leitura de pH. 42
Figura 15 - Cadinhos na estufa e na mufla. 43
Figura 16 - Amostras prontas para filtração. 44
Figura 17 - Sedimento em repouso para decantação e posterior análise textural. ... 46
Figura 18 - Fluxograma do procedimento de digestão ácida para estudo dos metais pseudo-totais. 47
Figura 19 - Valores de pH no sedimento nas duas estações de coleta, nos dois municípios. 54
Figura 20 - Valores médios de matéria orgânica nos transectos dos respectivos municípios. 56
Figura 21 - Valores de carbono orgânico total nas duas estações de coleta, nos dois municípios investigados. 58
Figura 22 - Valores de fósforo total nas duas estações de coleta, nos dois municípios investigados. 60
Figura 23 - Teor de alumínio nas amostras de sedimento. 66
Figura 24 - Teor de cádmio nas amostras de sedimento. 69
Figura 25 - Teor de cromo nas amostras de sedimento. 71
Figura 26 - Teor de cobre nas amostras de sedimento. 73
Figura 27 - Teor de ferro nas amostras de sedimento. 75
Figura 28 - Teor de magnésio nas amostras de sedimento. 77
Figura 29 - Teor de manganês nas amostras de sedimento. 79
Figura 30 - Teor de chumbo nas amostras de sedimento. 81
Figura 31 - Teor de zinco nas amostras de sedimento. 83
Figura 32 - Pesos da primeira e segunda componentes principais para análise de amostras de sedimento de Entre Rios do Oeste e Foz do Iguaçu. 85
Figura 33 - Escores da primeira e segunda componentes principais para análise de amostras de sedimento de Entre Rios do Oeste e Foz do Iguaçu. 86
Figura 34 - Pesos da primeira e segunda componentes principais para análise de amostras de sedimento de Entre Rios do Oeste. 87
Figura 35 - Escores da primeira e segunda componentes principais para análise de amostras de sedimento de Entre Rios do Oeste. 88
Figura 36 - Pesos da primeira e segunda componentes principais para análise de amostras de sedimento de Foz do Iguaçu. 89
Figura 37 - Escores da primeira e segunda componentes principais para análise de amostras de sedimento de Foz do Iguaçu. 90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Condições experimentais de medida dos íons metálicos por FAAS. 48
Tabela 2 - Valores-guia de qualidade de sedimento canadense (VGQS) de metais-traço em sedimentos de água doce (em mg Kg^{-1}, base seca), utilizados pelo CONAMA. 49
Tabela 3 - Coordenadas geográficas dos pontos de coleta de sedimentos. 50
Tabela 4 - Concentração e desvio padrão dos parâmetros físico-químicos no sedimento dos pontos amostrados. 52
Tabela 5 - Limites de detecção e quantificação para os íons metálicos. 62
Tabela 6 - Concentrações de metais pseudo-totais nas amostras de sedimento no município de Entre Rios do Oeste (mg Kg^{-1}). 63
Tabela 7 - Concentrações de metais pseudo-totais nas amostras de sedimento do município de Foz do Iguaçu (mg Kg^{-1}).....64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al	Alumínio
As	Arsênio
C	Carbono
Cd	Cádmio
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CMS	Carne Mecanicamente Separada
Co	Cobalto
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CO_T	Carbono Orgânico Total
Cu	Cobre
Cr	Cromo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	*Environmental Protection Agengy*
FAAS	*Flame Atomic Absorption Spectrometer*
FAO	*Food and Agriculture Organization*
Fe	Ferro
H	Hidrogênio
Hg	Mercúrio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IUPAC	*Internacional Union of Pure and Applied Chemistry*
Km	Quilômetros
LD	Limite de Detecção
LQ	Limite de Quantificação

m	Metros
mA	Miliàmpere
mg Kg^{-1}	Miligramas por Quilo
mg L^{-1}	Miligramas por Litro
Mg	Magnésio
mL	Mililitros
mm	Milímetros
Mn	Manganês
MO	Matéria Orgânica
$m.s^{-1}$	Metros por Segundo
MS	Ministério da Saúde
N	Nitrogênio
Na	Sódio
nm	Nanômetro
NOAA	*National Oceanic and Atmospheric Administration*
O	Oxigênio
OD	Oxigênio Dissolvido
P	Fósforo
PEL	*Probable Effect Level*
Pb	Chumbo
pH	Potencial Hidrogeniônico
ppm	Partes Por Milhão
psi	Pressão
P_T	Fósforo Total
PVC	Policloreto de Vinila
rpm	Rotações Por Minuto
S	Enxofre

Se	Selênio
SEL	*Severe Effect Level*
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbidez
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
TEL	*Threshold Effect Level*
Zn	Zinco
WHO	*World Health Organization*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
2 OBJETIVOS 17
2.1 OBJETIVO GERAL 17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 17
3 REFERENCIAL TEÓRICO 18
3.1 SEDIMENTOS 18
3.1.1 Potencial Hidrogeniônico 20
3.1.2 Matéria Orgânica 21
3.1.3 Análise Textural 22
3.2 METAIS 23
3.3 AQUICULTURA 27
4 MATERIAIS E MÉTODOS 33
4.1 LOCAL DE ESTUDO 33
4.1.1 Entre Rios do Oeste 35
4.1.2 Foz do Iguaçu 36
4.1.3 Caracterização dos solos das regiões de amostragem 36
4.2 AMOSTRAGEM DE SEDIMENTO 38
4.2.1 Descrição do coletor tipo Petersen 38
4.2.2 Preparo das amostras de sedimento 39
4.3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO PARA ANÁLISE DOS SEDIMENTOS 40
4.3.1 Potencial hidrogeniônico do sedimento 42
4.3.2 Matéria orgânica 42
4.3.3 Carbono orgânico total 43
4.3.4 Fósforo total 43
4.3.5 Análise textural 45
4.4 DETERMINAÇÕES DOS ÍONS METÁLICOS POR FAAS 46
4.4.1 Extração ácida para determinação dos íons metálicos pseudo-totais 46
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 49
5.1 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE EM SEDIMENTOS 49
5.2 CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO 49
5.3 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO 53
5.4 MATÉRIA ORGÂNICA 55
5.5 CARBONO ORGÂNICO TOTAL 57
5.6 FÓSFORO TOTAL 59
5.7 ANÁLISE TEXTURAL 61

5.8 QUANTIFICAÇÃO DE METAIS NAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO 61
5.8.1 Íons metálicos 61
5.8.1.1 Limite de detecção e quantificação 61
5.8.2 Alumínio 65
5.8.3 Cádmio 67
5.8.4 Cromo 70
5.8.5 Cobre 72
5.8.6 Ferro 74
5.8.7 Magnésio 76
5.8.8 Manganês 78
5.8.9 Chumbo 80
5.8.10 Zinco 82
5.9 APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS 84
5.9.1 ACP para íons metálicos do sedimento de Entre Rios do Oeste e de Foz do Iguaçu 84
5.9.2 ACP com todos os parâmetros 87
5.9.2.1 Município de Entre Rios do Oeste 87
5.9.2.2 Município de Foz do Iguaçu 88
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 91
REFERÊNCIAS 93
APÊNDICES 103
APÊNDICE 1 – TABELA DE CORRELAÇÃO PARA ÍONS METÁLICOS DO SEDIMENTO DE ENTRE RIOS DO OESTE E DE FOZ DO IGUAÇU 104
APÊNDICE 2 – TABELA DE CORRELAÇÃO PARA ÍONS METÁLICOS DO SEDIMENTO DE ENTRE RIOS DO OESTE 105
APÊNDICE 3 – TABELA DE CORRELAÇÃO PARA ÍONS METÁLICOS DO SEDIMENTO DE FOZ DO IGUAÇU 106

1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta elevado potencial para aquicultura, pesca extrativista marinha e, principalmente, piscicultura em tanques-rede em águas continentais, em razão da sua grande extensão de costa litorânea.

Empreendimentos como a piscicultura em tanques-rede pode carrear sérios impactos no ecossistema aquático, através do escape de espécies não nativa, eutrofização e alteração da paisagem. Entre as preocupações decorrentes de tais atividades, pode-se considerar o tratamento de resíduos, a concorrência entre espécies cultivadas e espécies nativas e, especialmente a contaminação por metais pesados dos ambientes aquáticos e, consequentemente, dos organismos que neles habitam.

Os corpos d'água recebem constantemente um elevado aporte de sedimentos e poluentes, tanto por despejo direto quanto por escoamento de águas pluviais. A falta ou o precário sistema de tratamento de esgoto doméstico e industrial que se observa no Brasil contribui, muitas vezes, para o carreamento de metais pesados. Outros fatores observáveis são a alta taxa de impermeabilização de solos, o aumento brusco de superfícies impermeáveis como telhados e calçadas que causam o aumento do escoamento superficial e reduz a taxa de infiltração no solo.

Aliado a esses fatores estão determinadas tragédias ambientais como foi o caso do rompimento da barragem de Fundão na cidade de Mariana, que em novembro de 2015 devastou mais de 15 municípios do Brasil. Nesse evento foi observada e registrada uma enxurrada com mais de 45 milhões de m^3 de rejeito de minério de ferro, oriundo de mineração. São acontecimentos que merecem destaque uma vez que os danos ambientais causados nessa região deixarão danos incalculáveis com consequências danosas e severas ao ecossistema aquático atingido (MILANEZ e LOSEKANN, 2016).

A caracterização das condições físico-químicas de um corpo aquático é importante, pois pode revelar parâmetros com os quais é possível ponderar se esse ambiente tem condições de tornar os metais lábeis ou disponíveis ao meio, além de indicar determinados níveis de contaminação de metais em tal ecossistema. É relevante ressaltar a importância dos estudos acerca das condições físico-químicas

do sistema água-sedimento, uma vez que a intoxicação humana por metais pesados é de difícil diagnóstico.

No extremo Oeste do Paraná está situado um dos maiores lagos artificiais do mundo possui uma área de 1.350 Km^2, com 29 milhões de metros cúbicos e 200 quilômetros de extensão em linha reta, onde Brasil e Paraguai tem um acordo para o aproveitamento hidrelétrico do Rio Paraná pelos dois países (MASCARENHAS e CASTANHA, 2009)

Dentre as atividades realizadas no lago de Itaipu, o qual banha os municípios da região oeste do Paraná, desde Foz do Iguaçu até Guaíra, cita-se a recreação, pesca, turismo, competições esportivas no âmbito da pesca e náutica, atividades de aventura, ecoturismo, transporte de grãos através da balsa, dentre estes destaca-se a criação de peixes (PLETSCH, 2002).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar a concentração de íons metálicos no sedimento da região de tanques-rede, localizadas nos municípios de Entre Rios e Foz do Iguaçu, PR, na área de influência do no lago de Itaipu, Brasil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a concentração de íons metálicos nos sedimentos na área de influência de tanques-rede em duas pisciculturas, uma localizada no município de Entre Rios e a outra em Foz do Iguaçu;
- Determinar os parâmetros físico-químicos do sedimento (pH, matéria orgânica, carbono orgânico, fosfato e análise textural);

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção foi estruturada em subseções com a finalidade de apresentar algumas características físico-químicas no contexto dos ambientes aquáticos estudados.

3.1 SEDIMENTOS

Sedimentos são camadas de partículas minerais e orgânicas, que geralmente possuem granulometria fina, encontrados no fundo de corpos de águas naturais. Por serem o depósito de substâncias químicas são considerados como de elevada importância ambiental (BAIRD; CANN, 2011). Estes sedimentos são importantes fontes e sumidouro de matéria orgânica e inorgânica em represas artificiais de águas continentais, (MANAHAN, 2013).

Uma das características mais importantes dos sedimentos é a capacidade de trocar cátions com o meio aquático circundante, a capacidade de troca de cátions mede a capacidade do sedimento de sorver cátions, variando com o pH e a concentração de sais (MANAHAN, 2013).

Os sedimentos depositados no fundo dos corpos d’água contêm materiais precipitados em grande número de processos químicos e biológicos nesses ambientes aquáticos, que a proporção entre as partículas de origem terrestre (fontes alóctones) e as de origem interna (fontes autóctones) variam de acordo com as particularidades de cada corpo d’água (POLETO, 2006).

Nos sedimentos dos açudes, lagos e nas represas artificiais, ocorre a deposição de material orgânico, tais como, plâncton, fezes de peixes, folhas, restos de plantas aquáticas e eventuais sobras de alimento (POLETO, 2006). Este material depositado é rapidamente reciclado nos locais mais rasos, onde há grande disponibilidade de oxigênio, pH adequado e temperaturas elevadas para acelerar o processo de degradação da matéria orgânica.

Os nutrientes liberados neste processo como o gás carbônico (CO_2), o nitrogênio na forma amoniacal (NH_4^+) ou de nitrato (NO_3^-) e o fósforo na forma de ortofosfatos (HPO_4^{-2} e $H_2PO_4^-$) são rapidamente assimilados pelo fitoplâncton.

Em virtude da menor disponibilidade de oxigênio, nos locais mais profundos, onde há maior acidez e baixa temperatura da água, tal material é decomposto de forma muito lenta, resultando em aumento na concentração de gás carbônico nas águas mais profundas e provocando acúmulo de material orgânico nos sedimentos.

Na ausência de oxigênio, o processo de decomposição da matéria orgânica passa a ser anaeróbico ("fermentação"), resultando na produção e acúmulo de substâncias tóxicas como a amônia (NH_3), o nitrito (NO_2^-), o gás sulfídrico (H_2S) e o metano (CH_4). Assim, além de ter o oxigênio zerado e alta concentração de gás carbônico, a água das zonas mais profundas concentra uma significativa quantidade de substâncias tóxicas aos peixes.

No Brasil, a qualidade dos sedimentos dragados é monitorada pela resolução do CONAMA nº 454, de 01 de novembro de 2012, a partir da concentração de determinados elementos e substâncias contaminantes. O valor normatizado por essa resolução tem como base os níveis do Conselho Canadense do Meio Ambiente.

Franzen (2009) argumenta que as condições dos sedimentos aquáticos são consideradas como um importante compartimento para o metabolismo do ecossistema aquático, porque armazenam uma quantidade expressiva de nutrientes e energia. Os seres vivos aquáticos, para realização de funções vitais, necessitam de pequenas quantidades de alguns metais como, por exemplo, cobalto, cobre, ferro, manganês, vanádio e zinco, mas, níveis excessivos de tais elementos podem ser extremamente tóxicos. Alguns metais são essenciais para o crescimento de todos os tipos de organismos, desde as bactérias até o ser humano.

A particularidade de cada sedimento está diretamente relacionada com a produtividade de matéria e trocas de energia do ambiente aquático. O sedimento pode ser considerado a base dos processos morfológicos e ecossistêmicos do ambiente aquático, já que tal compartimento ambiental pode também, liberar espécies contaminantes (LIMA *et al*., 2001).

Os contaminantes são inseridos nos corpos d'água das mais variadas formas e fontes, desde despejo de efluentes domésticos e industriais, queima de combustíveis e até a agricultura. Uma parte dos contaminantes fixam-se nos sedimentos, como exemplo, os elementos metálicos, tais como, mercúrio, cádmio e

zinco, e outros acabam degradando-se com o tempo, mas como essas taxas de degradação são baixas os compostos tendem a permanecer nos sedimentos por longos períodos aumentando o impacto destes no ambiente (U.S.EPA., 1991).

Apesar da importância para avaliação da contaminação de corpos d'água, as análises de água e sedimento ainda não podem fornecer dados confiáveis sobre a disponibilidade dos elementos em organismos, devido a biodisponibilidade dos organismos, bem como a absorção de cada elemento-traço e particularidade de cada ambiente aquático bem como a morfologia e relevo local.

Algumas variáveis de maior relevância encontradas na caracterização de sedimentos são pH, matéria orgânica e determinados tipos de metais.

3.1.1 Potencial Hidrogeniônico

Uma das caracterizações química das águas pode ser estabelecida pelo potencial hidrogeniônico (pH). Índices de pH entre 6 e 9 são considerados adequados à vida aquática. Muitos peixes e outros animais aquáticos podem sobreviver com índices de pH menores que 5, mas com tais índices de pH os metais se solubilizam facilmente, o que aumenta a possibilidade de toxidez (PORTO *et al.*, 1991).

O pH ou potencial hidrogeniônico diz respeito à concentração de íons hidrogênio (H+), sobre a qual é determinada se a água está em condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade. O pH varia de 0 a 14 segundo Villa (2011). É definido como logaritmo negativo da concentração do íon hidrogênio na base dez, conforme Equação 1:

$$pH = -log_{10}[H^+] \quad (1)$$

A escala varia de 0 a 14 determinando graus de acidez à alcalinidade, respectivamente. Na água quimicamente pura os íons H+ estão em equilíbrio com os íons OH- e, seu pH é neutro, ou seja, igual a 7. Os valores abaixo de 7 indicam aumento de acidez, valores acima de 7 indicam aumento de condições básicas (VON SPERLING, 1996).

Em águas superficiais, o pH é alterado pelas concentrações de íons H+ originados da dissociação do ácido carbônico, que geram baixos valores de pH (ESTEVES, 2011). Esse ácido carbônico, nos corpos d'água, é resultante, segundo BRANCO, 1986 da introdução de gás carbônico pelas águas de chuva, ar atmosférico, matéria orgânica do solo e, principalmente, matéria orgânica que é consumida e oxidada nas águas.

DZOMBAK e MOREL (1990) ponderam que os íons metálicos tendem a permanecer em solução aquosa em pH ácido e tendem a ser adsorvidos pelo sedimento em águas alcalinas.

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também o efeito indireto é muito importante podendo, determinadas condições de pH contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados e exercerem efeitos sobre as solubilidades de nutrientes (MACEDO, 2002).

Os metais cobre (Cu) e zinco (Zn), expostos a condições oxidantes e em meio ácido, são solúveis e possuem boa mobilidade nos sistemas aquáticos, já em meio alcalino suas concentrações na coluna d’água tendem a diminuir, devido à adsorção pelos óxidos e hidróxidos de manganês (principalmente o Cu) e baixa solubilidade dos seus carbonatos, óxidos e hidróxidos formados (BELO *et al.*, 2010).

3.1.2 Matéria Orgânica

Os sedimentos são importantes fontes de matéria orgânica e inorgânica em ambientes aquáticos. Como estão geralmente em ambiente anóxico, ficam expostos a condições redutoras, sofrem assim, processo de lixiviação constante e apresentam teor de matéria orgânica maior do que nos solos (MANAHAN, 2013). Os compostos orgânicos normalmente são constituídos de carbono, hidrogênio, oxigênio e, em alguns casos, nitrogênio.

Lima (2007) se refere a matéria orgânica como qualquer composto orgânico que apresenta grande estrutura e peso molecular, contendo os elementos C, H, O, N, P e S.

A matéria orgânica presente no sedimento indica os processos geoquímicos que estão associados ao ambiente geológico considerado, pois normalmente é oriunda da lixiviação de solos pelas chuvas e, por consequência de águas de rolamento superficial que fluem para os cursos d'agua, carregando a mesma que aparece sob as formas dissolvida e particulada (DIAS e LIMA, 2004). Franzen (2009) destaca que, a presença de matéria orgânica confere propriedades importantes ao ambiente aquático, destacando-se a resistência às modificações de pH e efeitos sobre propriedades físicas e biológicas, incluindo poder sobre a agregação das partículas e estimulação da atividade microbiana.

A concentração de metais pesados (nutrientes e/ou tóxicos) está relacionada ao teor de matéria orgânica, quanto maior a concentração de matéria orgânica possivelmente maior será a contaminação de metais pesados, por ser elevada adsorção desses elementos pela matéria orgânica (CRUZ *et al.*, 2013). O carbono orgânico, é utilizado como fonte de energia pelas bactérias e algas cianofíceas, além de complexar os metais (CETESB, 2009).

3.1.3 Análise Textural

Um dos principais adsorventes dos diversos tipos de metais que possam estar presentes no meio aquático são os sedimentos de menor granulometria, argilosos e ricos em matéria orgânica. Ao estarem agregados em sedimentos coesivos, os metais serão retirados da coluna de água e estarão mais propensos a afetar habitats bênticos e sofrer reações microbiológicas ou químicas nas águas intersticiais do depósito de sedimentos (POLETO; LAURENTI, 2008).

Sedimentos com granulometria fina e com maior quantidade de matéria orgânica possuem maior concentração de metais, estas caracterizam propriedades geoquímicas relacionadas ao processo de mobilização desses poluentes em sedimentos, por proporcionarem maior tendência de adsorção desses metais em sedimentos (CRUZ *et al.,* 2013).

Pelo fato que os metais retidos por partículas menores geralmente são mais acessíveis (MANAHAN, 2013).

Quando os sedimentos apresentam valores de matéria orgânica acima de 10% são considerados orgânicos, e abaixo de 10% são considerados sedimentos inorgânicos ou minerais (LI *et al*., 2001; ESTEVES, 2011).

Outro fator relacionado a produção e qualidade dos sedimentos, é o relevo. Solos situados em áreas de maior declive produzem mais sedimentos do que os de áreas planas, em especial em áreas agricultáveis, onde o manejo na maioria das vezes não é o mais adequado. Já com relação à qualidade dos sedimentos produzidos, áreas sujeitas a mais intempéries apresentam solos com partículas menores, com maior capacidade de adsorção e maior potencial de contaminação ambiental (MELLO, 2006).

Daí a importância em conhecer o tipo de solo de origem do sedimento, bem como o uso a que é destinado a sua área de influência, onde é possível a identificação dos prováveis contaminantes presentes, como forma de facilitar o controle das formas de manejo e a preservação da manutenção da qualidade da água e do ambiente (MELLO, 2006).

3.2 METAIS

A ocorrência de metais tóxicos em ambientes aquáticos, principalmente, por íons metálicos pseudo-totais como, alumínio (Al), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), magnésio (Mg), manganês (Mn) e zinco (Zn) causam preocupação quanto à sua influência sobre ecossistemas. Esses poluentes encontram-se disseminados amplamente no ambiente aquático e podem ser provenientes tanto de processos naturais como de atividades de origem antrópica (IUPAC, 1988).

O termo metal pesado, embora não seja de fácil definição, é reconhecido e utilizado mundialmente. Esse termo é adotado para um grupo de metais e metaloides que estão associados com poluição e toxidez, incluindo neste termo alguns elementos que, em baixa concentração, são essenciais aos organismos vivos. Metal tóxico é um termo alternativo a metal pesado, mas é aplicado somente a elementos não essenciais, tais como Pb, Cd, Hg, As (KABATA-PENDIAS, 2001) e não é aplicado

para elementos essenciais biologicamente, tais como Co, Cu, Mn, Se e Zn (ALLOWAY, 1990).

Os metais pesados podem ser classificados como essenciais e não essenciais ou potencialmente tóxicos (ULUOZLU *et al.*, 2007). Os metais pesados essenciais são aqueles requeridos pelo metabolismo em níveis traço, tais como, Ca, Na, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn (ICRP, 1974). Enquanto outros como, Pb e Cd não são necessários aos organismos em nenhuma quantidade (OGA *et al.*, 2008).

Os sedimentos de metal lábil estão relacionados a organismos bentônicos (ROUSSIEZ *et al.*, 2011), enquanto que a fração de pseudo-total está relacionada com o total de extraíveis com ácido (isto é, solúvel em água, permutável, ligado a carbonatos de metais), redutível (ligado a ferro (Fe) e manganês (Mn) óxidos) e oxidada (ligado a sulfuretos e matéria orgânica).

O alumínio constitui cerca de 8% da crosta terrestre, usado como material na construção, na indústria automotiva, em aeronaves, na produção de ligas metálicas, na indústria elétrica, em utensílios domésticos e em embalagens para alimentos (LUTGENS & TARBUCK, 1989).

A concentração de alumínio em águas naturais pode variar significativamente dependendo de vários fatores mineralógicos e físico-químicos, principalmente o pH.

Os elementos traço tendem a se adsorver na superfície das argilas, suas concentrações naturalmente aumentam em sedimentos com maior proporção de material fino. O alumínio pode servir como uma medida da quantidade de argila de uma amostra de sedimento, como um componente central (SCHROPP *et al.*, 1990).

O cádmio por sua vez ocorre amplamente na crosta terrestre. Em baixas concentrações serve como nutriente para plantas. Largamente utilizado na fabricação de pilhas e baterias de Níquel-Cd e indústrias de plástico (EPA, 2003). É bioacumulativo e muito persistente no ambiente. Quando absorvido em sedimentos é relativamente estável, enquanto as formas solúveis podem migrar na água (MACEDO, 2002).

Altas concentrações de cádmio no organismo resultam em danos aos rins e pode agravar os quadros de hipertensão e doenças do coração. Algumas pesquisas apontam seu potencial carcinogênico (MACEDO, 2002).

O chumbo era um velho conhecido na Roma Antiga, principalmente em recipientes de água e utensílios domésticos. Era tradição adicionar chumbo no vinho

como flavorizante, que explica a fonte dos problemas neurológicos da maioria dos imperadores romanos (MACEDO, 2002).

O chumbo quando ingerido vai direto para o sangue, em quantidade excessiva atinge os tecidos, órgãos e cérebro podendo causar cegueira e paralisia. Como Pb II e Ca II possuem tamanhos similares quando o chumbo atinge os ossos toma lugar do cálcio (BAIRD, 1995).

Em sedimentos oxidados, o Pb não residual está associado a óxidos de ferro e manganês que cobrem as partículas de argila. Pode ser metilado por micro-organismos nos sedimentos e o composto volátil resultante, o tetrametil de chumbo Pb $(CH_3)_4$ é oxidado na coluna d'água ou se perde para a atmosfera.

O cobre foi um dos primeiros metais a ser usado pelo homem, pois ocorre na natureza em uma grande variedade de minerais. Apresenta várias aplicações, como em equipamentos elétricos, utensílios domésticos, ligas metálicas, algicidas, fungicidas, pinturas para cascos de navios e conservantes de madeiras (CLARK, 2001). Ocorre na forma de Cu^{2+} e como corpo de minério segregado associado a outro sulfeto. Nas águas a concentração do cobre é baixa devido à adsorção de minerais de argila, óxidos de Fe e resíduos orgânicos. Nos sedimentos a concentração é de cerca de 35 ppm (OLIVEIRA, 2007).

Nos sedimentos o cobre é influenciado de acordo com a quantidade de matéria orgânica presente, quando o sedimento possui baixas concentrações de matéria orgânica, a maior parte do cobre se encontra na fração residual associada à rede silicática das argilas. Em sedimentos desprovidos de oxigênio, o cobre pode reagir com diferentes espécies orgânicas e inorgânicas, formando complexos solúveis e insolúveis.

Amplamente distribuído na superfície terrestre, o cromo é mais abundante do que cobre, cádmio e níquel, ocorrendo em três estados de oxidação 0, +3 e +6, dos quais +3 o mais estável e +6 predominantemente solúvel no ambiente aquático. Usados na indústria de curtume de couro e em fotografias principalmente, e também o principal elemento para se fazer o aço inoxidável, o mais barato que resiste à corrosão (KALWA, 2011).

Tanto Cr^{6+} e Cr^{3+} e seus complexos orgânicos podem ser adsorvidos nos materiais em suspensão nas águas naturais, podem ser precipitados no fundo de lagos e oceanos. O Cr^{6+} é acumulado pelas espécies aquáticas por difusão passiva e fatores ecológicos do ambiente (OLIVEIRA, 2007).

As formas trivalente e hexavalente acumulam-se em espécies aquáticas, especialmente em peixes que se alimentam no fundo, moluscos bivalves, ostras, mexilhões e moluscos (MACEDO, 2002). Nutriente essencial para potencializar a ação da insulina, influenciando o metabolismo de carboidratos, proteínas e lipídios (OMS, 1998).

O ferro é o quarto elemento mais abundante na crosta terrestre (LUTGENS & TARBUCK, 1989). Sua forma elementar raramente é encontrada na natureza, já que os íons Fe^{+2} e Fe^{+3} se combinam facilmente com compostos contendo oxigênio e enxofre para formar óxidos, hidróxidos, carbonatos e sulfetos. (KESLER, 1994).

W.H.O. (1996) argumenta que o ferro é um elemento-traço essencial aos organismos vivos e nos seres humanos é o componente central da hemoglobina. O excesso de ferro facilita a formação de placas nas artérias, levando ao aumento de doenças cardíacas e sua carência contribui para a anemia e reduz a resistência a infecções (GURZAU *et al.*, 2003).

O manganês é um elemento essencial para muitos organismos vivos, principalmente o ser humano, assim a ingestão inadequada pode causar efeitos adversos à saúde.

O zinco, pode ser encontrado na natureza como sulfeto ou esfarelita (ZnFeS) associado a sulfetos de outros metais, como, Pb e Cu, mas ocorre em quase todas rochas ígneas. No ambiente aquático ele se liga ao material suspenso antes de se acumular no sedimento, e nestes a concentração média é de 95 ppm. A adsorção de zinco pelos sedimentos varia de acordo com a granulometria destes, considerando que quanto menor o tamanho da partícula maior a concentração de zinco na mesma, e com o aumento do pH (OLIVEIRA, 2007). É um metal essencial, portanto tanto a ausência quanto o excesso podem trazer efeitos nocivos ao homem. Mais de 200 metaloenzimas utilizam o zinco como cofator, portanto a deficiência pode gerar desde falhas no crescimento até retardo na cicatrização de feridas.

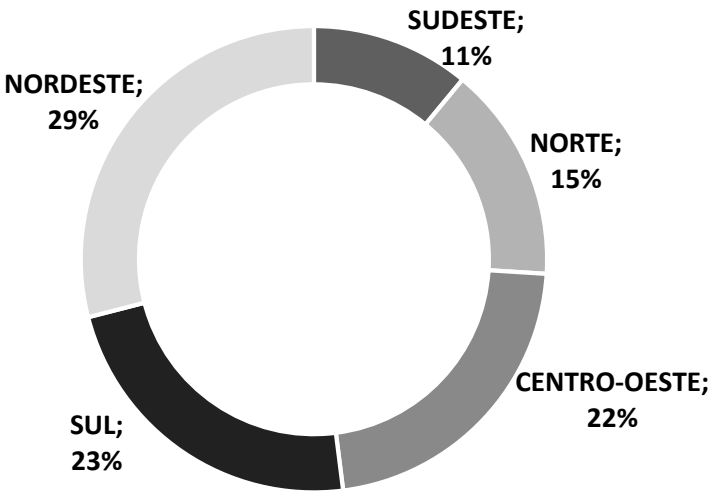
A determinação desses metais em água e sedimentos é de relevante importância e a acumulação de tais elementos nos sedimentos influencia no comportamento de todo o ecossistema aquático (POLETO, 2006).

3.3 AQUICULTURA

Em relação à aquicultura continental, a produção brasileira em 2014 foi de 167,2 milhões de toneladas, dos quais 73,8 milhões foram provenientes da aquicultura, onde pela primeira vez para a alimentação, o pescado cultivado foi maior do que o pescado capturado (FAO, 2016).

Nas regiões Sul, Nordeste, Norte, Sudeste e Centro-Oeste foram registradas as maiores produções, respectivamente. A tilápia *Coptodon rendalli*, o tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818), o híbrido tambacu (cruzamento da fêmea de *Colossoma macropomum* com macho de *Piaractus mesopotamicus*), a carpa-comum C*yprinus carpio* e o pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) foram as principais espécies produzidas no país - Figura 1 (BRASIL, 2013).

Figura 1 - Produção da piscicultura por região**.**



Fonte: Adaptado de IBGE/SIDRA – Produção da piscicultura mundial - 2013/Sistema IBGE de recuperação automática

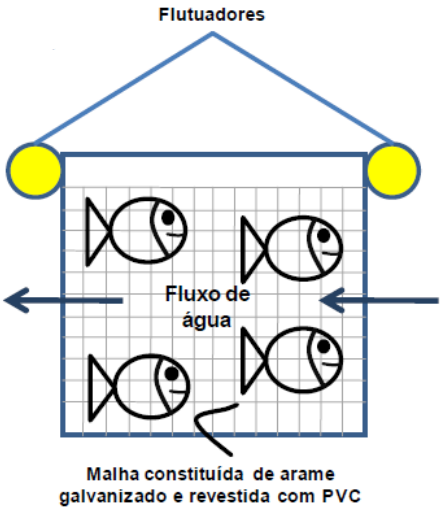
A criação de peixes em tanques-rede se apresenta como um processo crescente no Brasil, e mostra-se como uma técnica viável por conciliar o uso sustentável do meio ambiente com alta produtividade oriunda da utilização de altas taxas de estocagem (CHAGAS *et. al*., 2003).

Menezes (2003) destaca que, uma das modalidades de cultivo de peixes de alta densidade e estocagem é o sistema de tanques-rede, este tipo de cultivo busca alta produtividade.

Escorvo (2004) expõe que nos anos 2000 a piscicultura era praticada quase que inteiramente em viveiros escavados, os tanques-rede despontaram como grande aposta para o crescimento da criação de peixes. As principais razões para isso são os baixos investimentos, quando comparados às práticas tradicionais de produção, facilidades de implantação e a disponibilidade de locais para sua instalação (OLIVEIRA, 2010).

A maioria das estruturas são retangulares, flutuam na água e confinam peixes em seu interior, ilustrado na Figura 2. Este equipamento é fixado por flutuadores que sustentam submersos na água as redes de nylon, plásticos perfurados, arames galvanizados revestidos com PVC ou ainda telas rígidas, permitindo a passagem livre da água (BOSCOLO *et al.*, 2010).

Figura 2 - Ilustração de tanque-rede em sua vista lateral.



Fonte: Manual técnico: criação de pacu em tanque-rede para produção de carne mecanicamente separada (CMS), BOSCOLO (2010).

O sistema supracitado destaca-se por possibilitar o uso de ambientes previamente alagados (lagos, açudes e reservatórios artificiais), a facilidade no manejo, o reduzido custo inicial de instalação e principalmente o melhor controle de produção (BOSCOLO *et al.*, 2010).

Em todo o Lago de Itaipu existem cerca de 63 pontos de pesca licenciados, que juntos atendem aproximadamente 850 pescadores, atrelados a disponibilização de mais de 500 tanques-rede às colônias de pescadores para o cultivo de juvenis de pacu (ITAIPU, 2017).

A Figura 3 é uma fotografia da parte superior de um tanque-rede utilizado nas pisciculturas em estudo no reservatório da hidrelétrica de Itaipu. Trata-se de um tanque construído em forma de cubo e com dimensões de 1,75m, portanto, esses criadouros têm um volume total de 5,36 m^3.

Figura 3 - Tanque-rede em sua vista superior.

Fonte: O autor (2017).

O sistema de produção de peixes em tanques-rede implantada em lugar apropriado é uma técnica que proporciona maior produtividade devido à constante renovação de água no interior dos tanques, proporcionando adequada oxigenação e permitindo a eliminação contínua de resíduos orgânicos e metabólicos (ONO e KUBITZA, 2003). No entanto, os impactos no meio aquático já foram confirmados por vários trabalhos científicos (RAMOS, 2011; NASCIMENTO e OLIVEIRA, 2013) e, por este motivo, devem ser obrigatoriamente monitorados e controlados.

Em um sistema de produção o aquicultor deve projetar seu empreendimento de forma que a qualidade da água seja mantida sem alterações significantes no corpo hídrico. Alguns impactos negativos são destacados em um sistema de produção

aquícola, tais como, a geração de sedimentos ricos em matéria orgânica, a hipernitrificação e eutrofização, a poluição por resíduos de excretas, modificação da temperatura da água e a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido (MACEDO, 2004).

Na exploração aquícola de águas doces, somente será permitida a utilização de espécies autóctones da bacia em que esteja localizado o empreendimento ou de espécies exóticas que já estejam comprovadamente estabelecidas em tal ambiente aquático (MACEDO, 2004). E nos reservatórios hidrelétricos, a exploração aquícola deve resguardar a plena operação do respectivo reservatório e a sua preservação ambiental, conforme Portaria nº 258, de 17/09/2013, a qual estabelece os procedimentos para licenciamento ambiental em projetos de aquicultura em sistemas de produção em tanques-rede que utilizem os espaços físicos de corpos de águas continentais no Estado do Paraná.

O pacu, principal espécie criada no município de Foz do Iguaçu - Figura 4 é um dos peixes de maior valor comercial, na pesca e na piscicultura brasileira (FERREIRA e SILVA, 2012). Surge como produto de grande potencial para as pisciculturas devido ao fácil manuseio da espécie, a taxa de crescimento satisfatório e a grande aceitação pelo consumidor (JOMORI *et al.*, 2003; URBINATI & GONÇALVEZ, 2005). É uma das espécies mais estudadas no Brasil, adaptados a águas tropicais, encontrados principalmente na bacia do Prata e cultivados principalmente nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (OSTRENSKY *et al.* 2008).

As condições ideais para seu desenvolvimento são água de pH ligeiramente ácido e temperatura em torno de 26°C (DAIRIKI, 2006).

Figura 4 - Exemplar de Pacu mantido em tanque-rede.

Fonte: O autor (2017).

Tem o formato do corpo arredondado e lateralmente comprido. Sua coloração tende para castanho escuro com o ventre amarelo-dourado, possuidor de dentes truncados e tricúspides (SOETHE, 2011; SILVA, 2007).

O pacu é usado para obtenção do híbrido tambacu, espécie chave na criação no município de Entre Rios do Oeste - Figura 5, obtido através da fertilização de ovas de tambaqui (*Colossoma macropomum*) por sêmen de pacu. O tambacu combina características desejáveis como a resistência ao frio e a rusticidade do pacu, e maior taxa de crescimento do tambaqui, (MARTINS *et al.*, 2002).

Figura 5 - Exemplar de Tambacu mantido em tanque-rede.

Fonte: O autor (2017).

O tambacu é um peixe de importância econômica na aquicultura brasileira. É amplamente apreciado como peixe esportivo e para a piscicultura, devido ao rápido crescimento e ganho de peso. Além disso, o tambacu apresenta maior resistência ao estresse e doenças parasitárias se comparado com as espécies puras pacu e tambaqui (MARTINS *et al.*, 2002; TAVARES-DIAS *et al.*, 2007).

Um dos motivos pela escolha da espécie de pacu e tambacu para este estudo foi a excelente qualidade da carne e o valor comercial atraente (FERNANDES *et al.*, 2000).

Ignácio (2014) argumenta que os peixes são os animais mais utilizados como bioindicadores em ensaio ecotoxicológicos, pois são ótimos organismos-teste para o monitoramento de ambientes aquáticos, devido às diferentes respostas às contaminações.

Tomazelli (2003) afirma que os peixes podem ser considerados organismos integradores, pois, em virtude do hábito migratório de grande parte das espécies, podem acumular poluentes distribuídos pelas regiões onde habitam.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCAL DE ESTUDO

A Usina Hidrelétrica de Itaipu, uma das maiores represas do planeta, tanto em volume como em capacidade de geração de energia, que aliás é o objetivo principal da mesma, aliada a isso está a relação intensa com o meio ambiente de seu entorno e o desenvolvimento regional do turismo.

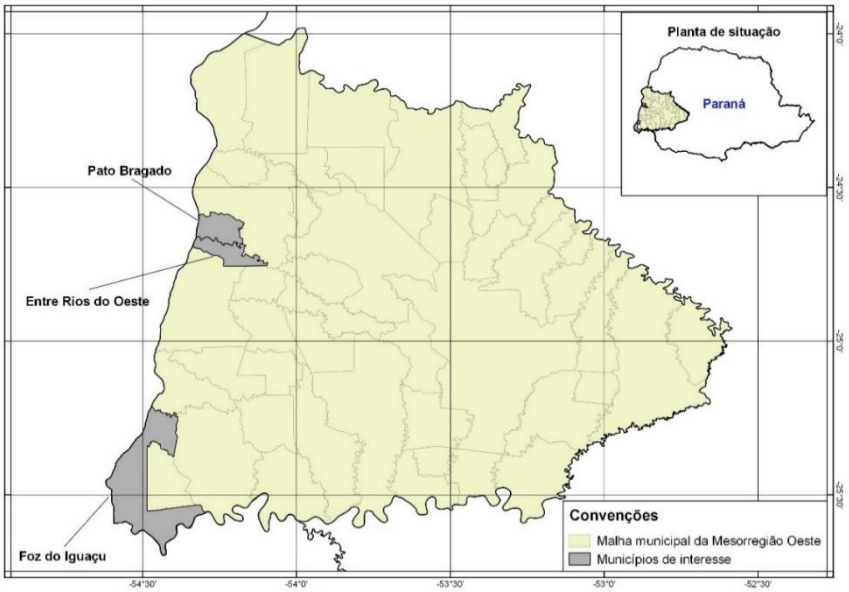
O Rio Paraná é o responsável pela geração de energia da Hidrelétrica Binacional de Itaipu, assim denominada por abranger os territórios brasileiro e paraguaio. A barragem está a 23,5 km da foz do Rio Iguaçu que, onde estabelece o limite de fronteiras entre Brasil e Argentina (PLETSCH, 2002).

O volume médio do lago artificial de Itaipu é de aproximadamente 29 milhões de metros cúbicos, 200 quilômetros de extensão em linha reta com profundidade média de 21,5 m, tempo de residência da água de 40 dias e a velocidade média superficial de 0,6 $m.s^{-1}$. Considerando-se as baías enseadas e reentrâncias, a extensão chega a 1.400 quilômetros (MIRANDA, 2008).

Para a pesquisa, foram realizadas amostragens com coletas de porções de sedimento. As referidas coletas aconteceram em Novembro de 2016 e Maio de 2017 em dois locais distintos do Lago de Itaipu, municípios lindeiros.

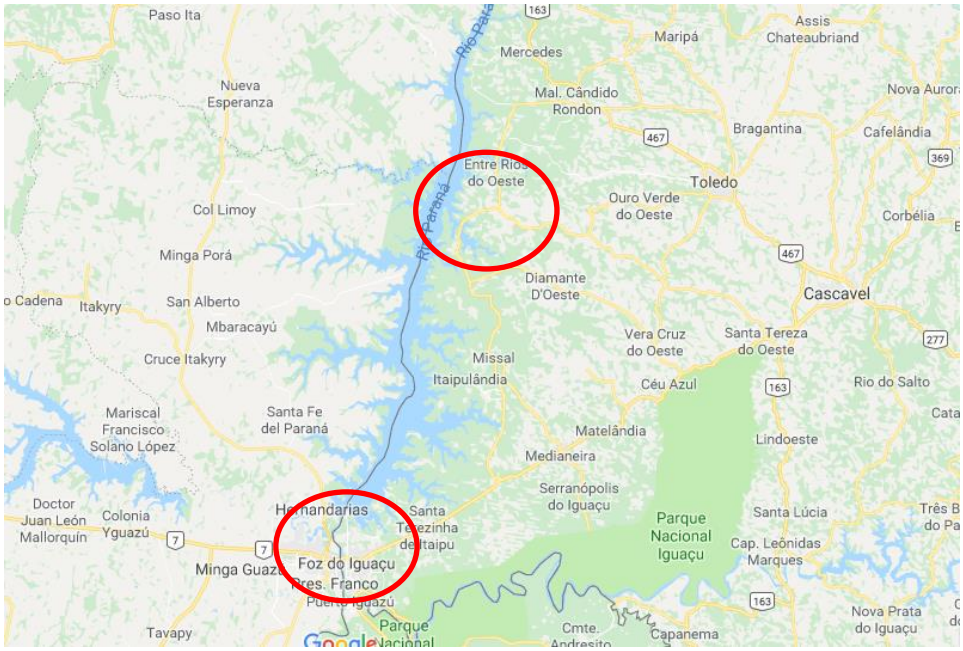
As amostras foram coletadas nas pisciculturas localizadas nos municípios de Entre Rios do Oeste e Foz do Iguaçu, na região Oeste do Estado do Paraná, pertencentes à Bacia do Paraná 3 - figuras. 6 e 7. Os critérios para escolha dos municípios estão descritos nos subitens 4.1.1 e 4.1.2.

Figura 6 - Mapa geográfico dos municípios nos quais as coletas foram realizadas.



Fonte: Adaptado de Google Satélites (2017).

Figura 7 - Municípios de amostragem.



Fonte: Adaptado de Google Satélites (2017).

O preparo das amostras para análise em laboratório foi realizado após a chegada da coleta de campo à UTFPR, com as devidas informações de cada ponto.

Em ambos os municípios, foram realizadas nove (9) amostragens, uma para cada ponto considerado (Fig. 8 e 9), totalizando 36 amostras nas duas campanhas de amostragem. Os pontos de amostragem foram identificados de acordo com sua

localização em 1, 2 e 3, constituindo um transecto (A), a montante dos tanques-rede; pontos 4, 5 e 6, transecto (B), localizado nos tanques-rede; e os pontos 7, 8 e 9 transecto (C), localizado à jusante dos tanques-rede. A distância aproximada entre os transectos é de 400 m, e entre os pontos no transecto de 50 m.

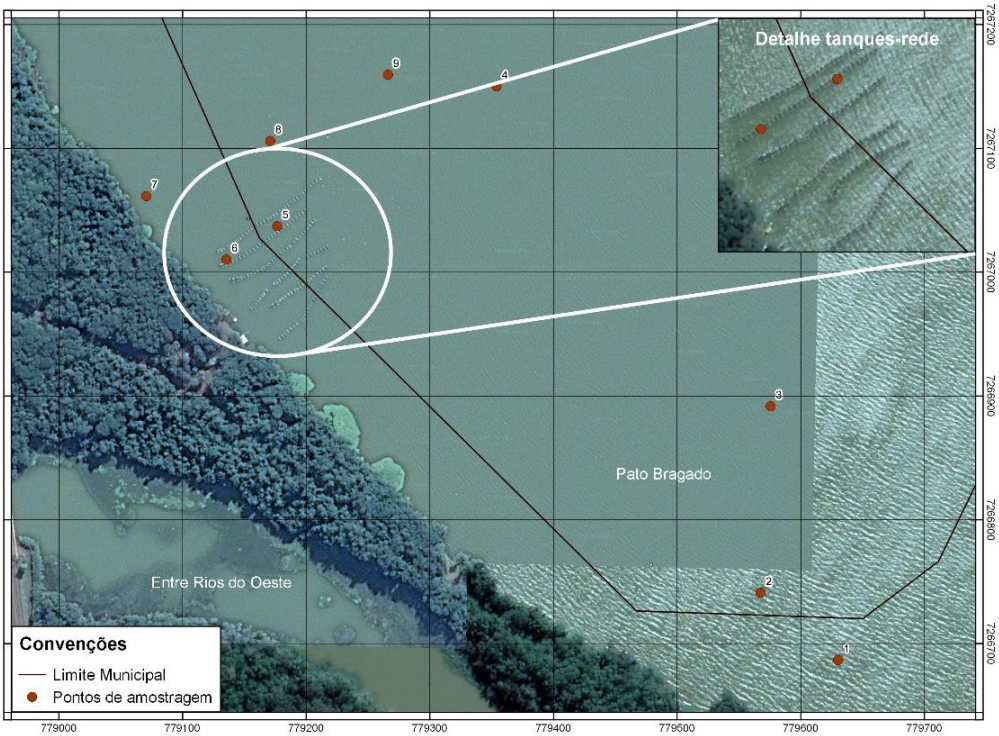
4.1.1 Entre Rios do Oeste

A cidade de Entre Rios do Oeste situa-se no extremo oeste do Estado do Paraná, na margem oriental da represa de Itaipu, com área total de 122,071 Km^2, deste total apenas 3% são de área urbana – Figura 8.

Foi reconhecida como município no ano de 1990, denominada por ter sua localização entre os rios São Francisco Verdadeiro e Falso, e por possuir várias sangas e arroios (ANDERLE, 2017).

A principal atividade agrícola do município é a criação de suínos e de aves. O clima característico de Entre Rios do Oeste é o subtropical úmido, sem estação seca, com verões quentes e invernos frios e secos, com ocasionais ocorrências de geadas.

Figura 8 - Estação de coleta em Entre Rios do Oeste**.**



Fonte: Adaptado de Google Satélites (2017).

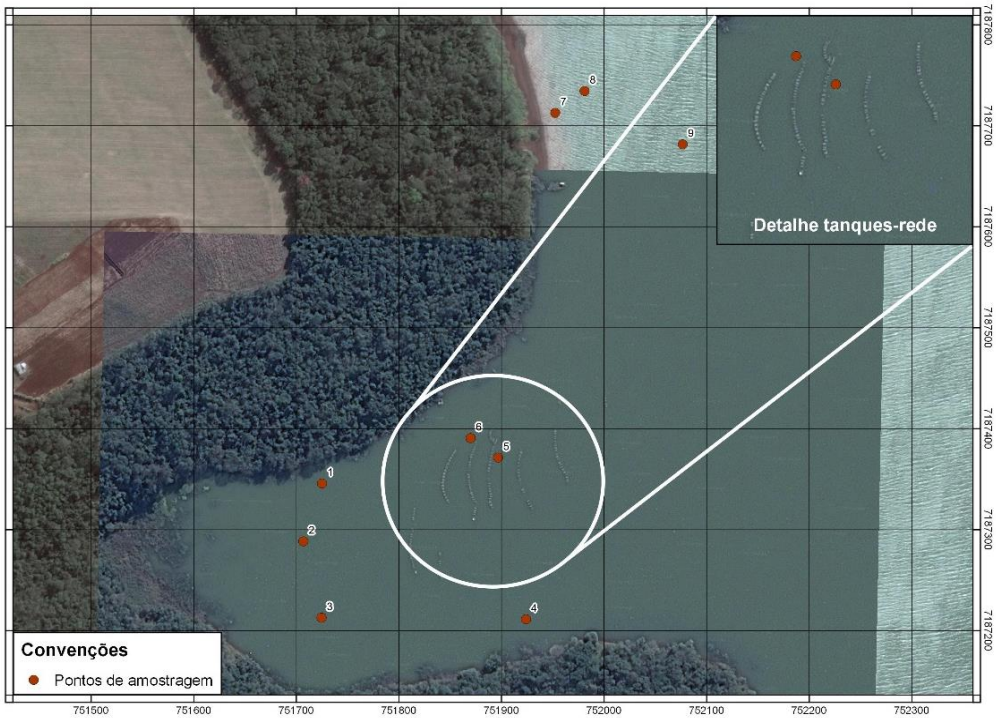
4.1.2 Foz do Iguaçu

Foz do Iguaçu se localiza no extremo oeste do Paraná, onde faz fronteira com os países do Paraguai e Argentina, com área total de 617,71Km^2 – Figura 9.

Passou a denominar-se Foz do Iguaçu em 1918. A principal razão para o crescimento populacional do município foi a construção da hidrelétrica de Itaipu (Brasil - Paraguai).

A principal atividade econômica do município nos dias atuais é o turismo, possuindo pequena contribuição rural. Os principais rios do município são: Paraná, Iguaçu, Tamanduá, São João, Almada, M'Boicy e Monjolo. O solo apresenta encostas levemente onduladas, com solos de textura argilosa, de origem eruptiva, profundos e ricos em matéria orgânica (FOZ DO IGUAÇU, 2011). O clima de Foz de Iguaçu é subtropical úmido mesotérmico, com verões extremamente quentes e invernos frios e secos.

Figura 9 - Estação de coleta em Foz do Iguaçu.



Fonte: Adaptado de Google Satélites (2017).

4.1.3 Caracterização dos solos das regiões de amostragem

Nos municípios de interesse foram investigados os solos de origem, acerca dos elementos metálicos, tanto Entre Rios do Oeste com em Foz do Iguaçu os solos predominantes são Latossolo e Nitossolo Vermelho

EMBRAPA, 2013 diz que, Latossolos são solos muito intemperizados, desenvolvem-se em marcantes e prolongadas condições de ambientes tropicais quentes e úmidos. A estrutura é composta de agregados subangulares, fracamente desenvolvidos, que se desfazem em outros muito menores, tais agregados são muito compactos e estáveis, e estão arranjados de modo tal que deixam entre eles um grande espaço poroso, o que proporciona alta permeabilidade.

Por terem sido submetidos por muito tempo a intensa lixiviação, são muito ácidos, com fração silte quase inexistente, onde na fração areia predomina o quartzo e, na argila, caulinita revestida com óxidos de ferro e/ou alumínio (EMBRAPA, 2013).

Para Nitossolos EBRAPA, 2013 cita que, possuem textura argilosa, ou muito argilosa, cujos agregados apresentam em sua superfície brilho reluzente que pode ser causado pela presença de argila vinda dos horizontes superficiais do solo em suspensão na água.

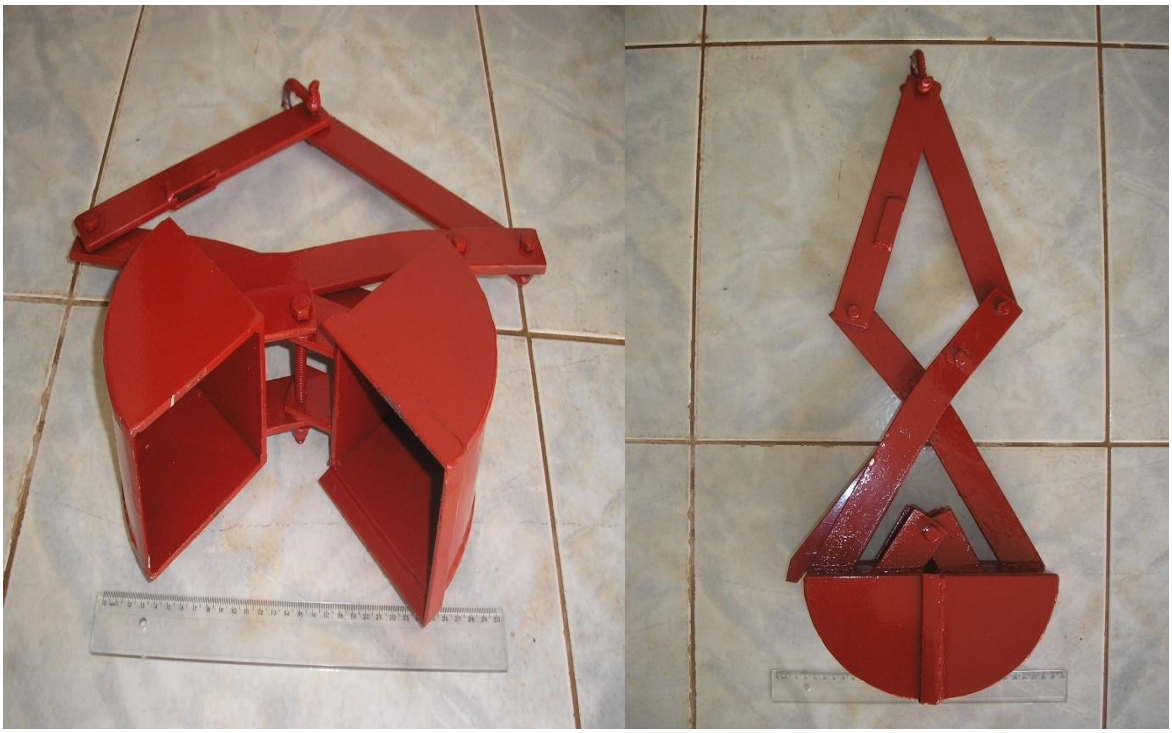
Apresentam domínio da cor vermelha em todo perfil, possui alta a média saturação por bases. São, em geral, moderadamente ácidos, com argila de atividade baixa ou com caráter alítico, com composição caulinítico - oxídica. Predominante em 15% do território paranaense, principalmente nas regiões norte, oeste e sudoeste, onde há a ocorrência de rochas basálticas e em relevos moderadamente declivosos (LIMA, 2012).

Coelho *et al.* (2009) em um levantamento granulométrico de solos de 7 municípios localizados na região Oeste do Paraná identificou teores de argila superiores a 35%, sendo classificados de acordo com a Instrução Normativa nº2 do MAPA como solos Tipo 3, ou seja, solos de textura argilosa ou solos pesados, possuem baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água, e apresentam maior força de coesão entre as partículas.

4.2 AMOSTRAGEM DE SEDIMENTO

As amostras de sedimento foram coletadas utilizando-se de draga de Petersen – Figura 10, a mesma é submergida, quando toca o fundo é acionada em função do peso, que ao ser puxada aciona o mecanismo de fechamento onde realiza a coleta do material a ser investigado (MIRANDA, 2008).

Figura 10 - Draga de Petersen.



Fonte: Mucelin (2007).

4.2.1 Descrição do coletor tipo Petersen

O coletor tipo Petersen – Figura 10, foi confeccionado com chapas de ferro com 05 mm de espessura, com eixos e pinos de aço inox, com dispositivo de desarme tipo alavanca de braço móvel. A draga é lançada com as caçambas abertas, pela alavanca. Ao chegar ao fundo, pelo alívio das tensões de tração, a alavanca desarma, permitindo que a draga, ao ser levantada, feche automaticamente, coletando

sedimento. No fechamento, a própria alavanca mantém as caçambas fechadas através de um pino de travagem.

A draga construída tem as seguintes especificações:

- ❒ Diâmetro externo da caçamba: 23,0 cm
- ❒ Diâmetro interno da caçamba: 22,0 cm
- ❒ Raio da caçamba externo: 11,5 cm
- ❒ Raio da caçamba interno: 11,0 cm
- ❒ Largura da caçamba interno: 9,0 cm
- ❒ Largura da caçamba externo: 10,0 cm
- ❒ Peso: 6,635 kg
- ❒ Volume útil da caçamba: 1710cm^3 ~ 0,00171m^3 ~ 1,71 litros
- ❒ Altura da draga (total) 64,5 cm.

Para análises inorgânicas, as amostras foram retiradas com colher de plástico, e armazenadas em embalagens de polietileno. Já para as análises orgânicas as amostras foram retiradas da draga com auxílio de colher de inox e acondicionadas em embalagens de alumínio.

Tais operações foram o mais breve possível, para reduzir ao máximo o contato com o ar atmosférico. A quantidade de sedimento por ponto de coleta foi realizada sem aferir o peso, uma quantidade adequada para a realização das análises. As amostras acondicionadas foram rotuladas, colocadas em embalagens plásticas adicionais para proteção dos rótulos e guardadas em caixa de isopor contendo gelo e posteriormente encaminhadas ao laboratório da UTFPR.

4.2.2 Preparo das amostras de sedimento

Todo material utilizado, para armazenamento de amostras e vidrarias de uso do laboratório foram limpas e descontaminadas com HCl a 10% v/v (durante 12 h), enxaguados com água da torneira em abundância e posteriormente com água destilada (LOPES *et al.*, 2015).

As determinações analíticas de pH, matéria orgânica e carbono orgânico total foram realizadas em triplicata e as análises de fósforo foram realizadas em duplicata.

O pH foi determinado pelo método potenciométrico (DONAGEMA *et al.*, 2011). A matéria orgânica e o carbono total pelo método gravimétrico (KIEHL, 1985). O fósforo total foi determinado pelo método colorimétrico, descrito por Pavan *et al.* (1992).

4.3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO PARA ANÁLISE DOS SEDIMENTOS

As determinações analíticas do sedimento foram realizadas com equipamentos e materiais dos Laboratórios de Biotecnologia e Saneamento Ambiental, Águas, Efluentes e Emissões, da UTFPR, Campus Medianeira – PR. As mesmas ficaram armazenadas em suas respectivas embalagens, sob refrigeração, até a preparação das mesmas para as análises.

Kiehl (1985) cita que o tratamento das amostras, consiste na secagem, remoção dos inertes e moagem. A secagem é realizada com a finalidade de cessar os processos fermentativos que ainda possam ocorrer. A amostra seca facilita a separação manual de materiais inertes, como fragmentos de metais e pedrinhas que não são decompostos.

Em laboratório, até a determinação analítica, as amostras de sedimento *in natura* foram armazenadas sob refrigeração a 4°C, de modo que a fração de sedimento necessária para análise foi submetida à secagem ao ar livre - Figura 11, por um período de aproximadamente 30 dias.

Figura 11 - Amostras expostas para secagem.

Fonte: O autor (2017).

Após o período de secagem das amostras, foi realizada a desagregação da amostra - Figura 12, para remoção dos inertes com o uso do almofariz e pistilo de porcelana, e posterior separação das partículas em malha de 2 mm.

Figura 12 - Desagregação das amostras.

Fonte: O autor (2017).

As amostras destinadas às análises inorgânicas são armazenadas em frascos de polietileno. Já as amostras destinadas às análises orgânicas em frascos de vidro – Figura 13.

Figura 13 - Frascos de armazenamento das amostras.

Fonte: O autor (2017).

4.3.1 Potencial hidrogeniônico do sedimento

A medição de pH dos sedimentos foi realizada eletronicamente por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão de sedimento em água. Em um béquer pesou-se 10 g de sedimento, foram adicionados 25 mL de líquido previamente preparado, composto de água destilada com $CaCl_2$ 0,01M - Figura 14. As amostras foram agitadas com bastão de vidro e deixadas em repouso por uma hora. Posteriormente as amostras foram agitadas novamente e os eletrodos foram mergulhados na suspensão para a realização da leitura (DONAGEMA *et al.*, 2011).

Figura 14 - Amostras em repouso para leitura de pH.

Fonte: O autor (2017).

4.3.2 Matéria orgânica

Para a determinação de matéria orgânica, utilizou-se a metodologia de Kiehl (1985), foram utilizados cadinhos previamente secos em estufa a 110°C durante três horas. Após esfriar, foram pesados vazios posteriormente, foi pesado cerca de 5g de amostra de sedimento já seco em cada cadinho e, colocados na estufa por três horas a temperatura média de 110°C. Após esse período com os cadinhos já frios, os mesmos foram novamente pesados e colocados na mufla com temperatura de 550°C por uma hora, resfriados e repesados – Figura 15.

Figura 15 - Cadinhos na estufa e na mufla.

Fonte: O autor (2017).

4.3.3 Carbono orgânico total

A porcentagem de carbono orgânico total da amostra foi calculada utilizando o fator 1,8 com referência de Kiehl (1985), a partir da matéria orgânica estimada a partir dos sólidos voláteis. Conforme a Equação 2:

$$Carbono\ total(\%) = \%.(SV)/1,8 \qquad (2)$$

4.3.4 Fósforo total

A determinação de fósforo no sedimento foi realizada conforme preconiza Pavan *et al.* (1992).

Os reagentes utilizados para a determinação de fósforo foram: solução de HCl 1M, em um balão volumétrico de 1000 mL foram transferidos 85,3 mL de HCl concentrado (36%) e o seu volume foi completado com água destilada. Solução de H_2SO_4 0,5M: em um balão volumétrico de 1000 mL foram transferidos 27,7 mL de H_2SO_4 concentrado (96%) e o volume foi completado com água destilada. Solução de Mehlich^{-1} (H_2SO_4 0,025M + HCl 0,05M): foram transferidos 25 mL da solução de H_2SO_4 0,5M e 50 mL de HCl 1M para frasco de 1000 mL e o volume foi completado com água destilada. Solução de Molibdato: foram pesados 20 g de molibdato de amônio P.A., transferidos para um Becker de 500 mL e dissolvidos em 200 mL de água destilada. Em outro Becker de 1000 mL, foram colocados 2 g de subcarbonato de bismuto, adicionados 500 mL de água destilada e 150 mL de H_2SO_4 P.A.

concentrado. Após esfriar, as duas soluções foram misturadas em um balão volumétrico de 1000 mL e o volume foi completado com água destilada (SOLUÇÃO A). Dessa solução A, foram transferidos 300 mL para um balão volumétrico de 1000 mL e o volume completado com água destilada (SOLUÇÃO B).

Padrões de P: exatamente 0,439 g de KH_2PO_4 foram colocados em um balão volumétrico de 1000 mL, adicionados 3 mL de H_2SO_4 P.A. concentrado e o volume foi completado com água destilada. Esta solução contém 100 ppm de fósforo. Dessa solução de 100 ppm de P, foram preparadas as seguintes concentrações: 0,0; 0,5; 2,5; 5,0; 8,0;10,0 e 12 ppm diluídas em solução de Mehlich^{-1}. Na sequência, foram pipetados 5 mL de cada concentração preparada anteriormente, colocadas em tubos de 30 mL e adicionados 10 mL da SOLUÇÃO B, uma pitada de ácido ascórbico, agitadas até a dissolução total, a cor azul resultante da reação, tem intensidade proporcional a concentração de fósforo. A construção da curva de calibração necessária, foi realizada após 30 minutos. Seguiu-se com a leitura das amostras no espectrofotômetro a 660 nm (nanômetros).

Extração das amostras: aproximadamente 1 g de sedimento previamente seco e peneirado foi colocado em copo descartável de 100 mL, adicionados 50 mL de solução Mehlich^{-1}, agitados durante 5 minutos e deixados para decantar por aproximadamente 8 horas – Figura 16.

Figura 16 - Amostras prontas para filtração.

Fonte: O autor (2017).

Para a determinação de fósforo, após a extração, a solução foi filtrada, e desse extrato foi pipetado 1 mL que foi adicionado em tubos de 30 mL, na sequência foram adicionadas 10 mL da SOLUÇÃO B, uma pitada de ácido ascórbico, e os tubos foram agitados até a dissolução total. Após 30 minutos, foi realizada a leitura no espectrofotômetro a 660 nm.

4.3.5 Análise textural

Para a determinação da textura das amostras de sedimento aplicou-se a metodologia do densímetro (EMBRAPA, 1997), com algumas adaptações necessárias.

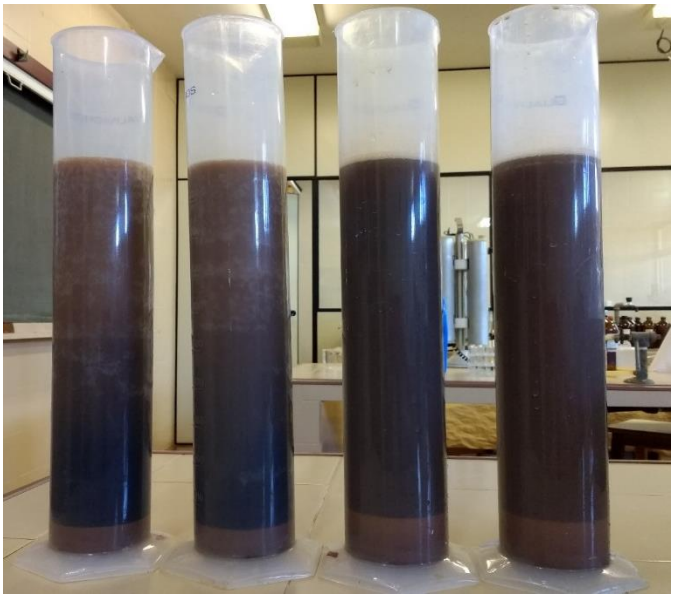
A amostra a ser analisada constitui-se de 50 g de amostra de sedimento (seco), acrescentado de 50 mL de NaOH 1 mol L^{-1} e 300 mL de água destilada, onde a solução foi submetida a agitação por 16 horas ininterruptas no *shaker* em 170 rpm. Após esse período a solução foi transferida por lavagem e peneiramento em malha de 0,053 mm colocada sobre um funil apoiado em uma proveta de 1000mL, que teve o seu volume completado com água destilada – Figura 17.

Após a lavagem foi realizado agitamento manual com o auxílio de um êmbolo por aproximadamente 1 minuto para a sua homogeneização, após 40 segundos de agitação foi realizada a primeira leitura com o densímetro *bouyoucos* e aferição da temperatura. Depois de duas horas em repouso, foi realizada a segunda leitura da densidade.

O material que ficou sobre a peneira foi transferido para cápsula de porcelana de peso conhecido e levado a estufa por aproximadamente 6 horas ou até que a amostra estivesse completamente livre de água, posteriormente a mesma foi colocada em dessecador para esfriar e aferir o peso, sendo este a porcentagem de argila presente na amostra.

A prova em branco foi realizada seguindo a mesma metodologia supracitada, mas sem a presença da amostra

Figura 17 - Sedimento em repouso para decantação e posterior análise textural.



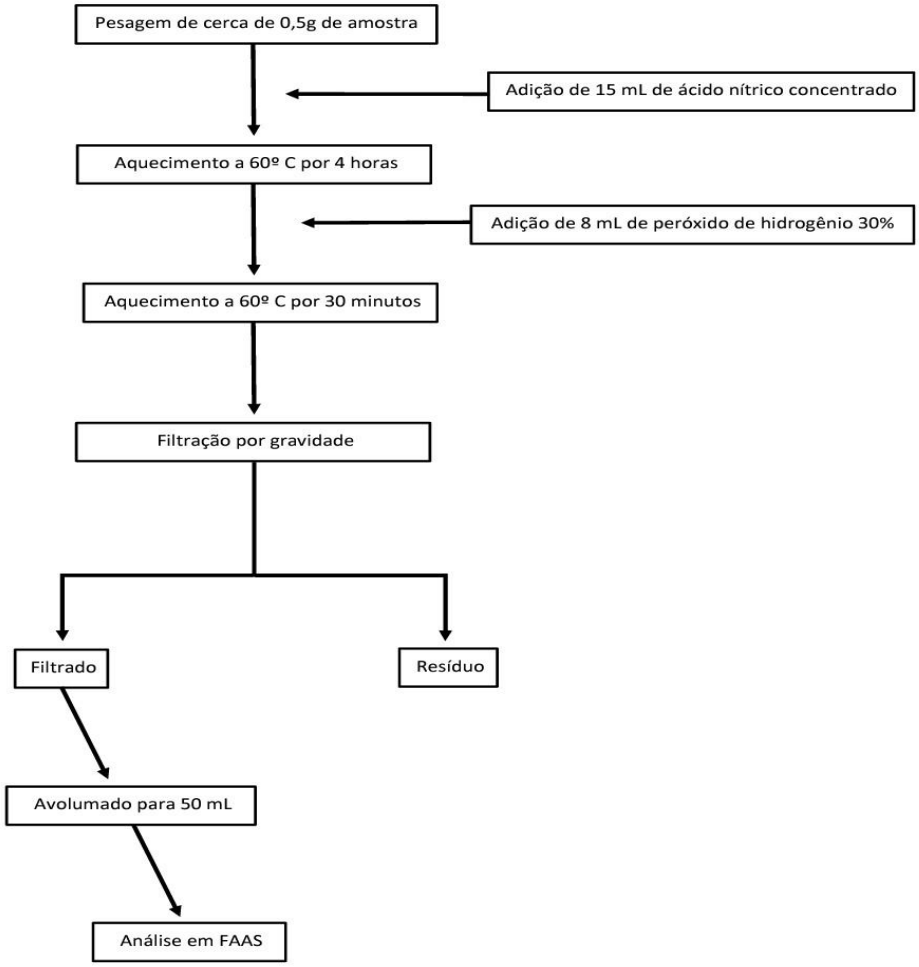
Fonte: O autor (2017).

4.4 DETERMINAÇÕES DOS ÍONS METÁLICOS POR FAAS

4.4.1 Extração ácida para determinação dos íons metálicos pseudo-totais

Para avaliação dos teores de metais pseudo-totais, de acordo com a metodologia (COTTA *et al.*, 2006) o qual é realizado com ácido nítrico concentrado e peróxido de hidrogênio – Figura 18. Tal digestão ácida traz para a solução a quantidade pseudo-total de metais das amostras de sedimentos.

Figura 18 - Fluxograma do procedimento de digestão ácida para estudo dos metais pseudo-totais.



Fonte: Adaptado de Donagema *et al*., 2011.

Os extratos foram analisados com o uso de Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Chama, *Flame Atomic Absorption* Spectrometer (FAAS), marca Varian, modelo SpectrAA-220. O FAAS foi calibrado com o uso de soluções padrão estoque de 1000 ppm com os íons metálicos alumínio(Al), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), magnésio (Mg), manganês (Mn), chumbo (Pb) e zinco (Zn) realizados separadamente.

As mesmas foram diluídas e avolumadas em balão volumétrico de 50 mL, utilizando água ultrapura nas concentrações convenientes, verificando a faixa ótima de trabalho do aparelho, para se obter uma relação linear entre a absorbância e a concentração do analito. As medidas de absorbância foram realizadas no modo

integração de área, através do método da curva de calibração com os padrões dos metais avaliados.

Os parâmetros experimentais do aparelho de Absorção Atômica, bem como os limites de detecção e quantificação empregados para cada íon metálico são apresentados na Tabela 1. Para quantificação dos íons metálicos nos sedimentos por FAAS, preparou-se amostras em “branco” sob as mesmas condições empregadas para as extrações sem a presença do analito.

Tabela 1 - Condições experimentais de medida dos íons metálicos por FAAS.

Metal	**λ (nm)**	**i lâmpada (mA)**	**Fenda (nm)**	**Chama**
Al	309,3	10	0,5	N_2O/C_2H_2
Cd	228,8	4	0,5	Ar/C_2H_2
Cr	357,9	7	0,2	N_2O/C_2H_2
Cu	324,7	4	0,5	Ar/C_2H_2
Fe	248,3	5	0,2	Ar/C_2H_2
Mg	285,2	8	0,5	Ar/C_2H_2
Mn	279,5	5	0,2	Ar/C_2H_2
Pb	217,0	5	1,0	Ar/C_2H_2
Zn	213,9	5	1,0	Ar/C_2H_2

Fonte: O autor (2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE EM SEDIMENTOS

Nos últimos 25 anos surgiram modelos estatísticos que relacionavam as concentrações de metais com as frequências de danos causados à comunidade aquática através de estudos em organismos-testes, a fim de gerar limites teóricos para os valores guias da qualidade de sedimentos (KALWA, 2011).

Fazem parte dessa linha de abordagem os “efeitos limiares” estabelecidos pelo Conselho Canadense do Ministério do Meio Ambiente onde emprega os valores de TEL (*Threshold Effect Level*) e PEL (*Probable Effect Level*) [CCME, 1999].

No Brasil, os critérios para qualidade dos sedimentos são monitorados pela resolução CONAMA nº. 454/2012 – Tabela 2, a qual emprega os mesmos valores guia utilizados pela NOAA, sendo nível 1 TEL e nível 2 PEL (CONAMA, 2012).

Tabela 2 - Valores-guia de qualidade de sedimento canadense (VGQS) de metais-traço em sedimentos de água doce (em mg Kg^{-1}, base seca), utilizados pelo CONAMA.

	Metais				
Indicador	**Cd**	**Cr**	**Cu**	**Pb**	**Zn**
TEL	0,6	37,3	35,7	30,24	123,0
PEL	3,5	90,0	197,0	112,8	315,0

Fonte: CCME, 1999
Notas: * Dados inexistentes para sedimentos de rios e lagos
TEL *(Thresholds Effect Level)* – Valor abaixo dos quais os efeitos adversos são raramente esperados.
PEL *(Probrable Effect Level)* – Nível de efeitos prováveis.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO SEDIMENTO

Nos tópicos seguintes estão descritas as principais características dos pontos de amostragem do sedimento e suas coordenadas geográficas - Tabela 3.

Tabela 3 - Coordenadas geográficas dos pontos de coleta de sedimentos.

PONTO	PROFUNDIDADE	COORDENADAS	DESCRIÇÃO
FOZ DO IGUAÇU			
1	3,50 metros	S: 2440952° W: 05449759°	Ponto inicial das coletas, localizado à mais ou menos 100 metros da margem esquerda do Lago.
2	4,40 metros	S: 2541004° W: 05449776°	Ponto central do transecto A, localizado entre os pontos 1 e 3, distante 50 metros de cada.
3	3,80 metros	S: 2541072° W: 05449757°	Localizado aproximadamente 50 metros à direita do ponto 2.
4	5,0 metros	S: 2541070° W: 05449559°	Localizado aproximadamente à 200 metros do ponto 3, onde inicia-se o Transecto B, dista à 50 metros à esquerda do ponto 5.
5	7,30 metros	S: 2540926° W: 05449589°	Ponto central dos tanques-rede, no Transecto B, entre os pontos 4 e 6.
6	4,0 metros	S: 2540909° W: 05449616°	Localizado 50 metros à esquerda do ponto 5 e à 100 metros da margem esquerda do Lago.
7	1,50 metros	S: 2540617° W: 05449540°	Ponto distante 100 metros da margem esquerda do Lago, inicial do Transecto C, dista a 200 metros do ponto 6.
8	3,40 metros	S: 2540597° W: 05449512°	Ponto central do Transecto C, entre os pontos 7 e 9, 50 metros cada.
9	10 metros	S: 2540643° W: 05449416°	Localizado à 50 metros a direita do ponto 8, último ponto de coleta.
ENTRE RIOS DO OESTE			
1	12 metros	S: 2468885° W: 05423653°	Ponto inicial das coletas, localizado à mais ou menos 100 metros da margem esquerda do Lago.
2	18 metros	S: 2468837° W: 05423716°	Ponto central do transecto A, localizado entre os pontos 1 e 3, distante 50 metros de cada.
3	12,5 metros	S: 2468701° W: 05423711°	Localizado aproximadamente 50 metros à direita do ponto 2.
4	7,30 metros	S: 2468472° W: 05423935°	Localizado aproximadamente à 200 metros do ponto 3, onde inicia-se o Transecto B, dista à 50 metros à esquerda do ponto 5.
5	20 metros	S: 2468577° W: 05424108°	Ponto central dos tanques-rede, no Transecto B, entre os pontos 4 e 6.
6	12 metros	S: 2468602° W: 05424148°	Localizado 50 metros à esquerda do ponto 5 e à 100 metros da margem esquerda do Lago.
7	18 metros	S: 2468557° W: 05424213°	Ponto distante 100 metros da margem esquerda do Lago, inicial do Transecto C, dista a 200 metros do ponto 6.
8	15 metros	S: 2468515° W: 05424115°	Ponto central do Transecto C, entre os pontos 7 e 9, 50 metros cada.
9	9,3 metros	S: 2468465° W: 05424022°	Localizado à 50 metros a direita do ponto 8, último ponto de coleta.

Nas amostras de sedimento, foram determinados os valores médios e o desvio padrão para pH, matéria orgânica (MO), carbono orgânico total (COT), fósforo total e argila, silte e areia da fração granulométrica – Tabela 4.

Tabela 4 - Concentração e desvio padrão dos parâmetros físico-químicos no sedimento dos pontos amostrados.

		PARÂMETROS						
	PONTOS DE COLETA	**pH**	**Matéria Orgânica (%)**	**Carbono Orgânico Total (%)**	**Fósforo Total (mg Kg^{-1})**	**Argila (%)**	**Silte (%)**	**Areia (%)**
				ENTRE RIOS DO OESTE				
COLETA 01 (11/2016)	**Ponto 1**	6,06 ± 0,1	10,85 ± 0,2	6,03 ± 0,1	17,09 ± 2	17,38 ± 0	38,06 ±1	44,57 ± 1
	Ponto 2	5,13 ± 0,08	12,24 ± 0,6	6,80 ± 0,3	19,94 ± 0,6	14,04 ± 0	29,77 ± 0,9	56,18 ± 0,9
	Ponto 3	5,33 ± 0,06	10,55 ± 0,6	5,86 ± 0,3	14,50 ± 0,6	13,33 ± 0	34,15 ±6	52,53 ± 6
	Ponto 4	6,39 ± 0,1	13,58 ± 0,04	7,54 ± 0,02	23,94 ± 2	13,33 ± 0	9,69 ± 1	76,98 ± 1
	Ponto 5	6,27 ± 0,02	14,41 ± 0,7	8,01 ± 0,4	26,63 ± 1	13,33 ± 0	18,23 ± 2	68,45 ± 2
	Ponto 6	6,36 ± 0,09	14,35 ± 0,7	7,97 ± 0,4	14,90 ± 0,1	19,99 ± 0	34,98 ± 6	45,03 ± 6
	Ponto 7	6,75 ± 0,1	16,12 ± 0,07	8,96 ± 0,04	29,14 ± 0,3	15,35 ± 0	10,81 ± 3	73,84 ± 3
	Ponto 8	6,15 ± 0,09	14,91 ± 1	8,28 ± 0,7	21,53 ± 0,08	21,43 ± 0	5,30 ± 2	73,26 ± 2
	Ponto 9	6,53 ± 0,03	14,36 ± 1	7,98 ± 0,8	19,24 ± 0,7	18,10 ± 0	18,74 ± 4	63,16 ± 4
COLETA 02 (05/2017)	**Ponto 1**	5,15 ± 0,1	13,24 ± 0,6	7,36 ± 0,3	2,17 ± 1	15,49 ± 0	64,62 ± 0,7	19,89 ± 0,7
	Ponto 2	5,38 ± 0,04	14,18 ± 1	7,88 ± 0,8	3,24 ± 1	22,15 ± 0	40,80 ± 4	37,05 ± 4
	Ponto 3	5,40 ± 0,01	13,17 ± 0,09	7,32 ± 0,05	6,43 ± 0,2	15,48 ± 0	33,71 ± 0,9	50,80 ± 0,9
	Ponto 4	5,35 ± 0,04	13,01 ± 0,6	7,23 ± 0,3	5,64 ± 3	15,48 ± 0	41,42 ± 2	43,09 ± 2
	Ponto 5	5,45 ± 0,05	13,31 ± 0,05	7,39 ± 0,03	2,27 ± 1	8,10 ± 0	19,73 ± 2	72,17 ± 2
	Ponto 6	5,81 ± 0,02	9,51 ± 0,3	5,28 ± 0,1	8,44 ± 2	8,10 ± 0	12,94 ± 0,4	78,96 ± 0,4
	Ponto 7	5,60 ± 0,05	14,22 ± 0,1	7,90 ± 0,09	3,63 ± 1	14,77 ± 0	10,43 ± 3	74,80 ± 3
	Ponto 8	5,74 ± 0,02	12,59 ± 0,1	6,99 ± 0,08	2,09 ± 1	14,76 ± 0	66,16 ± 1	19,07 ± 1
	Ponto 9	5,63 ± 0,02	13,14 ± 0,1	7,30 ± 0,07	6,92 ± 2	11,43 ± 0	29,20 ± 0,2	59,36 ± 0,2
				FOZ DO IGUAÇU				
COLETA 01 (11/2016)	**Ponto 1**	5,95 ± 0,1	13,44 ± 0,1	7,47 ±0,08	6,24 ± 0	15,48 ± 0	35,01 ± 6	49,50 ± 6,93
	Ponto 2	5,56 ± 0,1	9,52 ± 1	5,29 ± 1	3,83 ± 0,1	15,48 ± 0	39,49 ± 1	45,03 ± 1,45
	Ponto 3	5,41 ± 0,1	11,10 ± 1	6,17 ± 1	3,98 ± 0,3	22,15 ± 0	33,93 ± 1	43,92 ± 1,93
	Ponto 4	5,55 ± 0,09	10,35 ± 0,05	5,75 ±0,03	1,59 ± 0,1	21,43 ± 0	18,34 ± 0,3	60,23 ± 0,30
	Ponto 5	4,86 ± 0,09	8,86 ± 0,7	4,92 ± 0,4	49,54 ± 2	21,43 ± 0	66,20 ± 0,6	12,37 ± 0,60
	Ponto 6	7,26 ± 0,05	10,62 ± 0,7	5,90 ± 0,4	6,39 ± 0,5	21,43 ± 0	25,37 ± 1	53,20 ± 1,78
	Ponto 7	6,60 ± 0,03	12,45 ± 0,04	6,92 ± 0,02	11,87 ± 3	20,71 ± 0	30,87 ± 3	48,42 ± 3,66
	Ponto 8	5,65 ± 0,05	10,90 ± 0,3	6,05 ± 0,1	5,13 ± 0,3	20,71 ± 0	27,21 ± 1	52,08 ± 1,57
	Ponto 9	5,13 ± 0,02	13,17 ± 0,3	7,32 ± 0,2	11,06 ± 0,3	7,38 ± 0	31,94 ± 0,5	60,68 ± 0,56
COLETA 02 (05/2017)	**Ponto 1**	5,70±0,02	11,57±0,7	6,43±0,4	1,15±0,8	21,43 ± 0	31,68 ± 2	46,89 ± 2
	Ponto 2	6,53±0,04	12,33±1	6,85±0,9	0,69±1	24,76 ± 0	10,11 ± 2	65,13 ± 2
	Ponto 3	5,15±0,07	8,18±0,8	4,55±0,4	0,39±1	28,10 ± 0	40,79 ± 0,9	31,11 ± 0,9
	Ponto 4	4,84±0,02	12,39±0,8	6,88±0,5	0,29±0,2	22,87 ± 0	13,99 ± 10	63,14 ± 10
	Ponto 5	5,55±0,04	6,88±0,02	3,82±0,01	27,70±1	26,20 ± 0	33,61 ± 1	40,19 ± 1
	Ponto 6	5,96±0	10,94±0,8	6,08±0,4	3,16±1	16,20 ± 0	22,15 ± 2	61,65 ± 2
	Ponto 7	6,11±0,01	9,81±0,9	5,45±0,5	7,68±1	16,21 ± 0	22,38 ± 4	61,42 ± 4
	Ponto 8	6,12±0,04	10,56±0,8	5,87±0,4	0,08±0,8	18,10 ± 0	17,92 ± 2	63,99 ± 2
	Ponto 9	5,26±0,09	11,97±0,09	6,65±0,05	19,12±1	21,43 ± 0	19,05 ± 0,9	59,52 ± 0,9

5.3 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO

Os resultados determinados para o pH do sedimento coletado no município de Entre Rios do Oeste e Foz do Iguaçu caracterizaram um sedimento levemente ácido, sem grande variabilidade entre os pontos estudados, com exceção do ponto 6 do município de Foz do Iguaçu (Coleta 1), com 7,26 unidades de pH, único, com característica levemente alcalina.

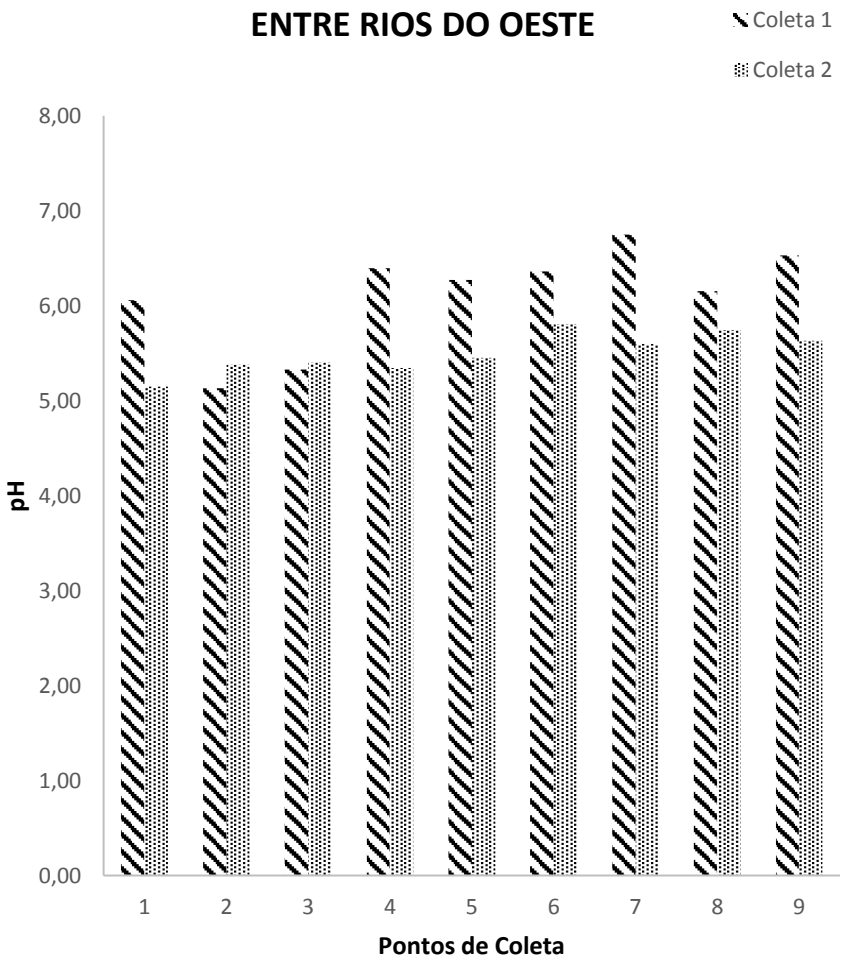
Observa-se que no município de Entre Rios do Oeste, na coleta 1, os valores são maiores que nas demais coletas – Figura 19 (a). Enquanto em Foz do Iguaçu, os valores possuem uma maior variabilidade entre as coletas – Figura 19 (b).

Em Entre Rios do Oeste os valores médios de pH encontrados foram mais elevados na coleta 1, estando o maior a montante dos tanques-rede. Enquanto em Foz do Iguaçu os valores mais elevados ocorreram no local de tanques-rede.

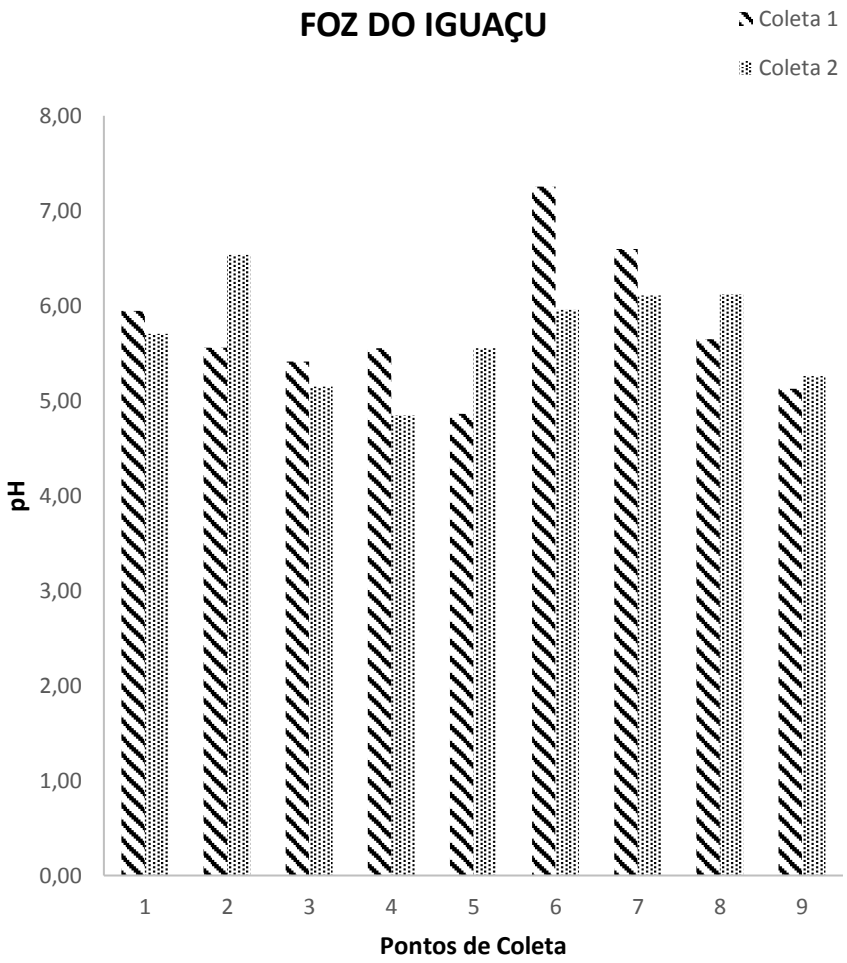
Os valores de pH encontrados no sedimento dos dois municípios variaram de 5,13 a 6,75 em Entre Rios do Oeste e de 4,86 a 7,26 em Foz do Iguaçu.

Valores de pH semelhantes foram encontrados por Ronconi *et al.* (2010) com variação de 6,5 a 7,0 no sedimento de fundo no Arroio Ouro Verde em Foz do Iguaçu.

Figura 19 - Valores de pH no sedimento nas duas estações de coleta, nos dois municípios.



(a)



(b)

5.4 MATÉRIA ORGÂNICA

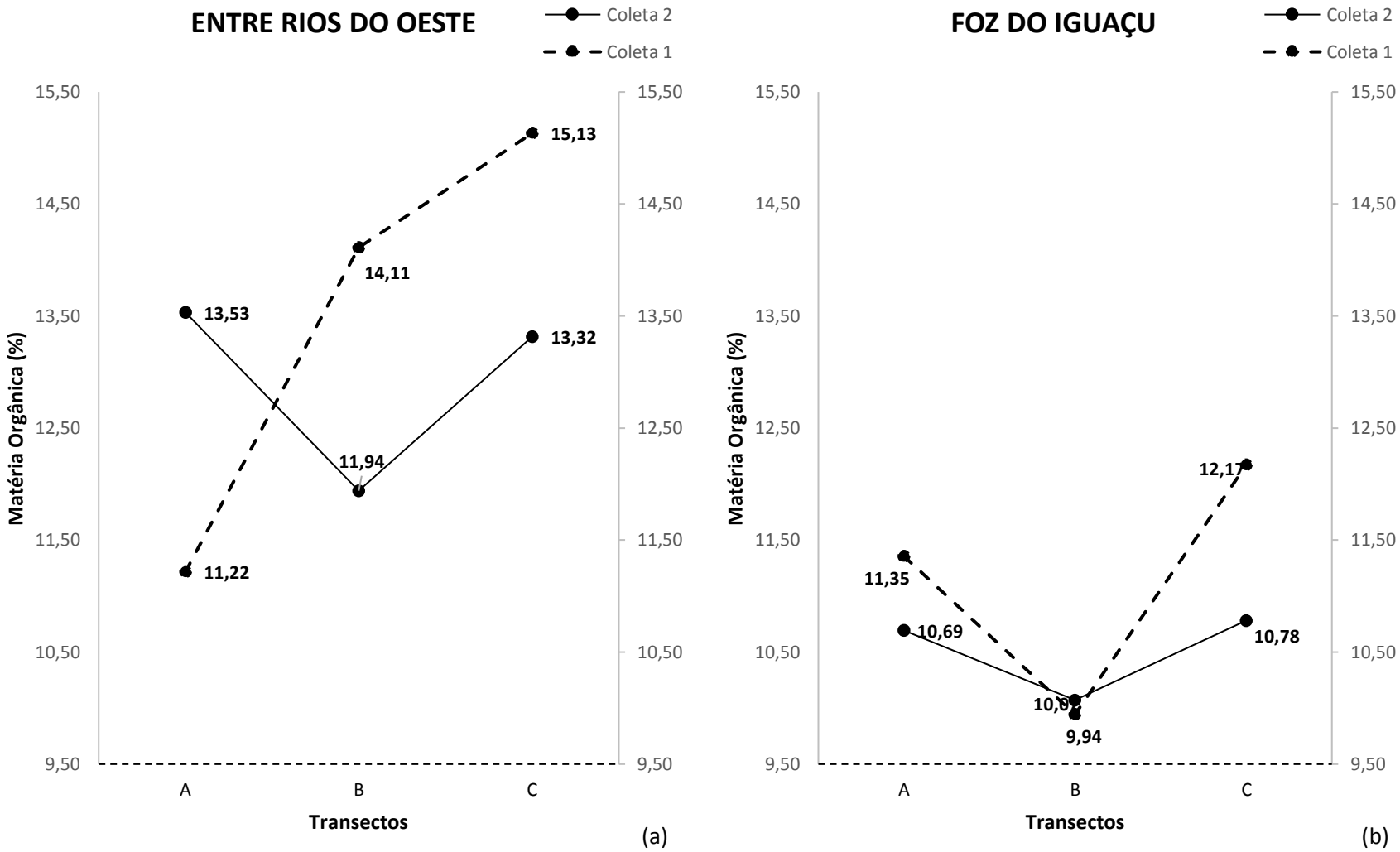
A média dos teores de matéria orgânica, dos nove pontos estudados, foi maior no município de Entre Rios do Oeste do que em Foz do Iguaçu.

Em Entre Rios do Oeste os valores variaram 6,61% entre as coletas – Figura 20 (a), já em Foz do Iguaçu os valores entre as coletas tiveram variabilidade de 5,57% – Figura 20 (b).

Em estudo realizado por Antunes e Giovanela (2009), os teores de matéria orgânica variaram entre 10 e 30 %, quando classificaram os sedimentos como enriquecido com matéria orgânico (MO > 10 %).

A resolução do CONAMA nº 454, de 01 de novembro de 2012 não apresenta valores de referência para matéria orgânica no sedimento dragado.

Figura 20 - Valores médios de matéria orgânica nos transectos dos respectivos municípios.



5.5 CARBONO ORGÂNICO TOTAL

No município de Entre Rios do Oeste os valores para carbono orgânico total variaram 3,68% entre as coletas – Figura 21 (a). Em Foz do Iguaçu a variação foi de 3,65% - Figura 21 (b).

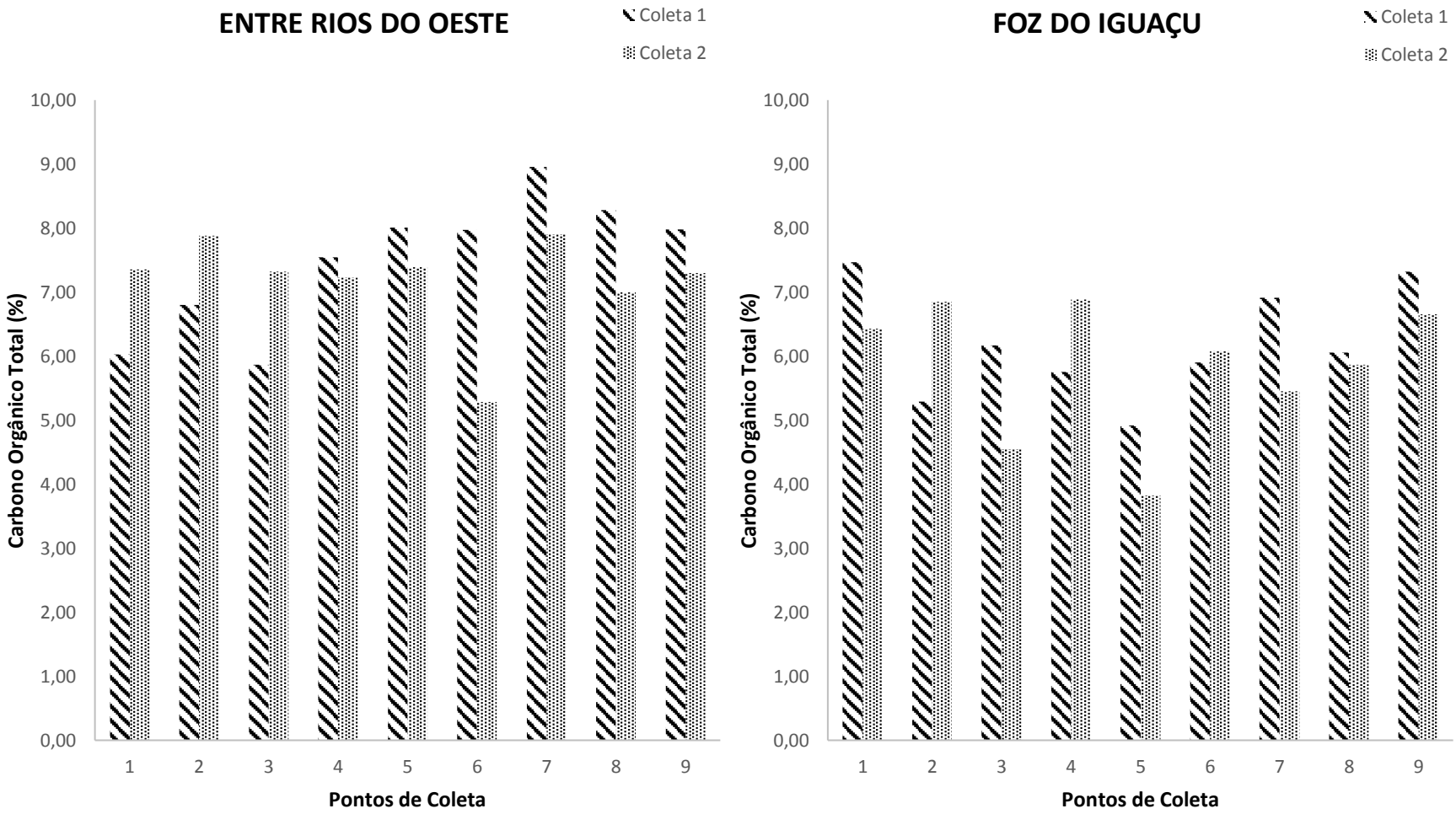
Teores de carbono orgânico total semelhantes aos deste estudo foram encontrados por Belo, *et al.*, (2010) em sedimentos de portos e praias artificiais do lago de Itaipu.

Estudo de Siqueira *et al.* (2004) no sistema estuarino de Santos (SP) as concentrações de carbono orgânico elementar nos sedimentos de fundo para todo o sistema estudado variaram de 0,09 a 5,78 %, com média de 2,25%. Os teores mais elevados de carbono orgânico elementar predominaram nos canais de Santos e São Vicente, com médias de 3,00% e 2,80%, respectivamente. Já na região da baía de Santos, a média obtida foi bem menor 0,68%.

Em Entre Rios do Oeste os pontos localizados nos tanques-rede e à jusante dos tanques-rede apresentaram os valores mais elevados, já em Foz do Iguaçu os pontos à montante dos tanques-rede possuem valores mais elevados.

Os teores de carbono orgânico total, em todos os pontos estudados, em ambos os municípios ficaram abaixo do valor orientador de alerta que é 10% conforme resolução do CONAMA nº 454/2012, para material dragado.

Figura 21 - Valores de carbono orgânico total nas duas estações de coleta, nos dois municípios investigados.



(a) (b)

5.6 FÓSFORO TOTAL

Os teores de fósforo nas amostras de sedimentos foram determinados a partir de uma curva de calibração, construída a partir de valores de absorbância versus concentrações dos padrões analíticos.

Quando comparados os dois municípios estudados, é observada uma concentração maior de fósforo total em Entre Rios do Oeste - Figura 22 (a). Isso pode ser explicado pelo fato deste receber a contribuição direta do rio São Francisco Verdadeiro, que desagua a, aproximadamente, 1.000 m da área de amostragem. Este rio é um carreador de nutrientes, uma vez que recebe ao longo do seu leito despejos de efluentes de lagoas de tratamento de resíduos aviários e agrícola.

Os valores de fósforo total tiveram alta variabilidade no município de Foz do Iguaçu - Figura 22 (b)

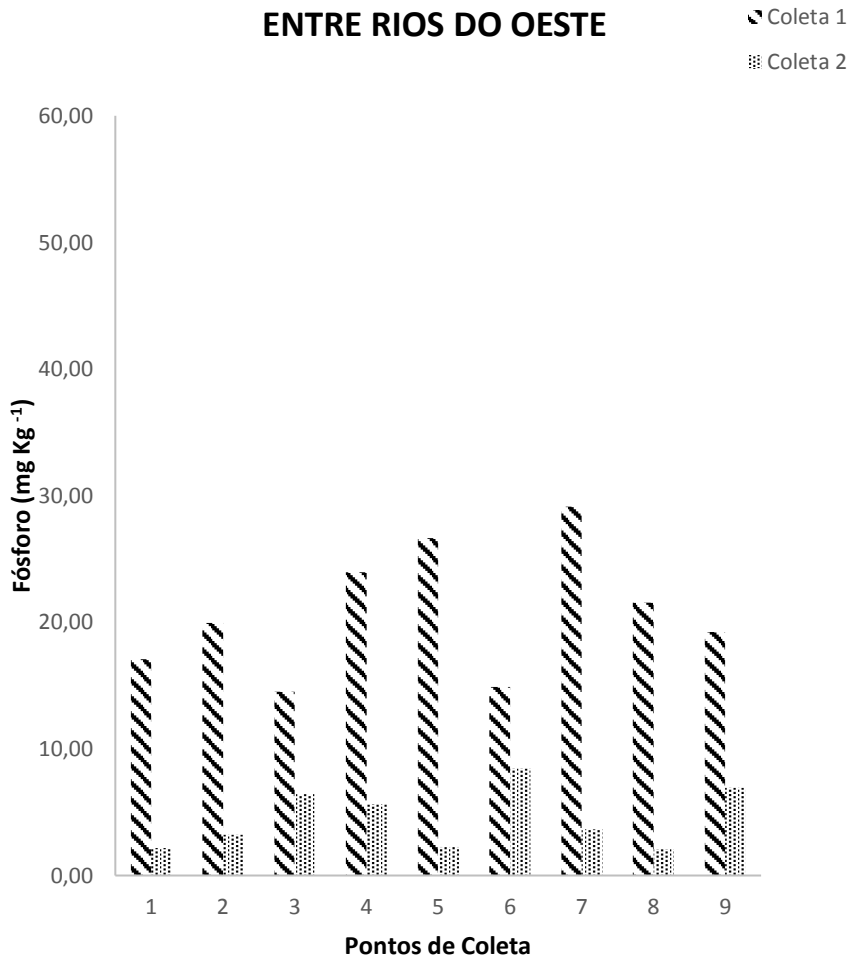
Esses teores são semelhantes aos encontrados por Belo, *et al.*, (2010) em sedimentos de portos e praias artificiais do lago de Itaipu.

Segundo Reynolds e Davies (2001), a disponibilidade do fósforo na água está associada a interação qualitativa e quantitativa entre os compartimentos, sedimentos e a água, um interferindo diretamente sobre o outro.

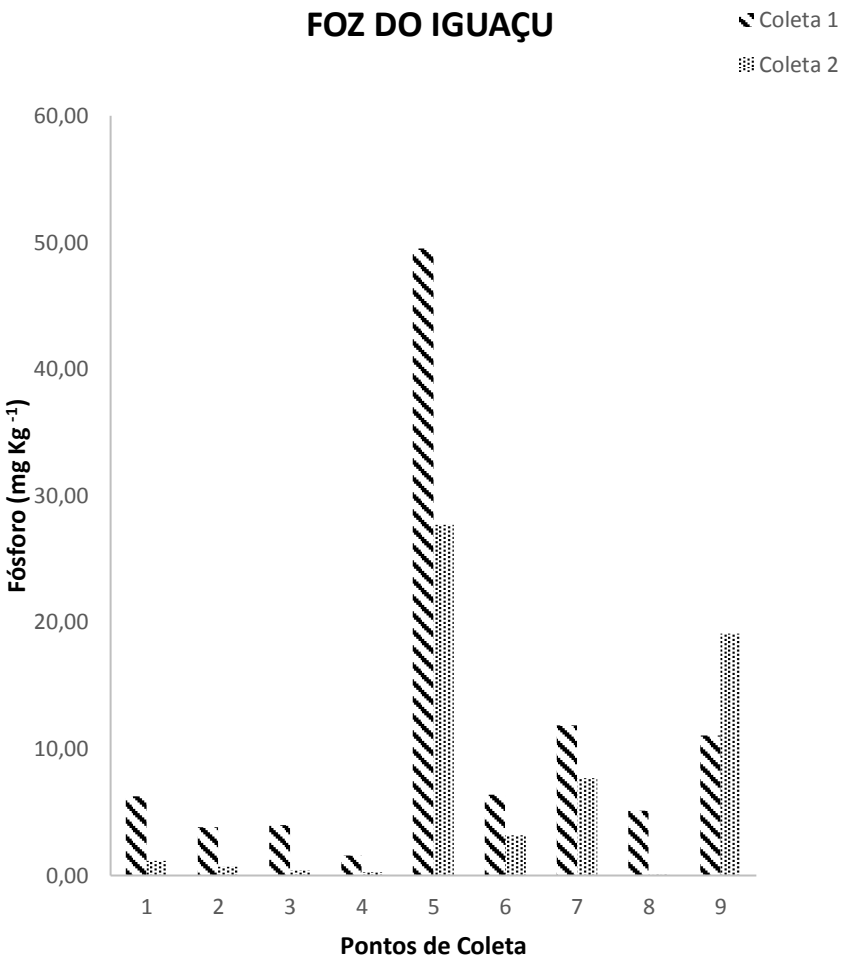
Marins *et al.* (2007) destacam que o estudo de diferentes formas de fósforo é capaz de caracterizar a influência antrópica a respeito dos sistemas fluviais, e é considerado uma importante ferramenta como indicador da qualidade ambiental.

As concentrações de fósforo total, em todos os pontos ficaram muito abaixo do valor orientador de alerta do CONAMA nº 454/2012, que limita em 2.000 mg Kg^{-1} para material dragado, mostrando que a eutrofização ainda é de pequena intensidade.

Figura 22 - Valores de fósforo total nas duas estações de coleta, nos dois municípios investigados.



(a)



(b)

5.7 ANÁLISE TEXTURAL

A avaliação granulométrica dos sedimentos teve como objetivo a classificação do sedimento pelas frações de areia, silte e argila. As amostras foram classificadas texturalmente de acordo com a porcentagem de cada fração encontrada com a análise granulométrica.

Com relação ao tamanho da partícula, em Entre Rios do Oeste o sedimento foi classificado como arenoso na coleta 1 em todos os pontos e na coleta 2, os pontos 3, 4, 5, 6, 7 e 9 e argilosos os pontos 1, 2 e 8. Em Foz do Iguaçu somente o ponto 5 da coleta 1 e o ponto 3 da coleta foram classificados como argilosos.

Kalwa *et al.*, 2013 encontrou valores semelhantes ao deste estudo em municípios diferentes do mesmo Lago.

Neste estudo ocorreu a predominância da fração de areia. A menor fração de argila ocorreu no ponto 9, com 7,38% na cidade de Foz do Iguaçu, coleta 1.

5.8 QUANTIFICAÇÃO DE METAIS NAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO

Os resultados de quantificação para os sedimentos por FAAS foram expressos em mg L^{-1} (ou ppm) e então convertidos para mg Kg^{-1}, levando em consideração o volume do balão volumétrico (50 mL) onde o extrato foi avolumado, e a massa de sedimento utilizada. As determinações foram realizadas em duplicatas.

Os resultados e o desvio padrão obtidos para os metais pseudo-totais das amostras de sedimento para o município de Entre Rios do Oeste estão descritos na Tabela 6 e para o município de Foz do Iguaçu na Tabela 7.

5.8.1 Íons metálicos

5.8.1.1 Limite de detecção e quantificação

O limite de detecção (LD) representa a menor concentração da substância analisada que pode ser detectada, mas não necessariamente quantificada, utilizando um determinado procedimento experimental (RIBANI *et al.*, 2004).

O limite de quantificação (LQ) representa a menor concentração da substância em exame que pode ser medida, utilizando um determinado procedimento experimental. Assim como o LD, o LQ é expresso como uma concentração (RIBANI *et al.*, 2004).

O cálculo do LD e o LQ foram baseados em parâmetros da curva analítica, o limite de detecção (equação 3) e o limite de quantificação (equação 4) podem ser expressos como:

$$\boldsymbol{LD = 3\ X\ \frac{s}{S}} \qquad (3)$$

$$\boldsymbol{LQ = 10\ X\ \frac{s}{S}} \qquad (4)$$

Onde s é a estimativa do desvio padrão do branco, e o S é o coeficiente angular da curva analítica (RIBANI *et al.*, 2004).

A Tabela 5 apresenta os valores de LD e LQ calculados para a determinação dos íons metálicos.

Tabela 5 - Limites de detecção e quantificação para os íons metálicos.

Metal	**LD (mg L^{-1})**	**LQ (mg L^{-1})**
Al	7,27	24,2
Ca	0,31	1,05
Cd	0,02	0,07
Cr	0,17	0,58
Cu	0,15	0,51
Fe	0,65	2,17
Mg	$6,3^{10-4}$	$7,7^{10-3}$
Mn	$9,8^{10-3}$	0,03
Na	$1,4^{10-3}$	$4,9^{10-3}$
Pb	1,06	3,55
Zn	0,02	0,08

Fonte: O autor (2017).

Tabela 6 - Concentrações de metais pseudo-totais nas amostras de sedimento no município de Entre Rios do Oeste (mg Kg^{-1}).

	PONTOS DE COLETA	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Pb	Zn
COLETA 01 (11/2016)	**Ponto 1**	34507,78± 3390	0,12± 0,1	2,68± 2	196,82± 2	16582,51± 250	608,65± 136	1495,83± 0,7	27,86± 1	133,66± 2
	Ponto 2	52979,08± 967	1,33± 0,4	52,33± 1	206,72± 6	14047,35± 368	1267,78± 91	1766,47± 71	41,99± 15	110,03± 3
	Ponto 3	50843,40± 3531	1,76± 0,1	12,74± 0	166,06± 24	15974,21± 35	759,28± 310	1578,47± 166	67,21± 16	88,22± 10
	Ponto 4	54776,71± 8276	2,27± 0,1	65,02± 0,3	228,80± 8	16487,81± 215	1820,18± 356	1137,25± 83	67,11± 10	131,18± 2
	Ponto 5	32069,48± 4205	1,70± 0,2	41,79± 2	204,96± 19	15403,69± 98	797,60± 14	2070,59± 469	34,55± 21	104,20± 13
	Ponto 6	36479,91± 1238	0,42± 0	53,97± 1	165,96± 20	8044,15± 780	2149,57± 186	2328,79± 116	48,13± 2	97,73± 11
	Ponto 7	38668,80± 9211	0,76± 0,2	45,04± 9	146,04± 18	8516,94± 463	1014,57± 425	1859,26± 239	67,41± 9	98,59± 11
	Ponto 8	35500,62± 7424	0,61± 0,1	67,08± 1	235,05± 0,1	16949,40± 958	1649,86± 86	1852,92± 16	69,70± 10	124,28± 1
	Ponto 9	41341,82± 3876	0,68± 0,1	61,41± 3	219,62± 16	13558,47± 99	1281,66± 334	2071,32± 226	92,11± 7	125,24± 6
COLETA 02 (05/2017)	**Ponto 1**	57666,25± 5	0,17± 0,1	9,51± 2	253,27± 5	15110,42± 616	1473,05± 9	1421,65± 118	20,91± 7	123,60± 1
	Ponto 2	59589,85± 8150	0,56± 0,2	10,37± 0,1	266,05± 3	17968,59± 51	1507,24± 14	2250,58± 156	17,46± 4	131,54± 3
	Ponto 3	67608,48± 1800	0,20± 0	12,00± 0,3	266,61± 11	17318,58± 628	1775,64± 13	2021,59± 149	38,83± 12	127,19± 5
	Ponto 4	65645,01± 249	< LD	12,59± 0,8	241,33± 17	15142,72± 51	1241,52± 24	1437,02± 71	36,88± 3	116,15± 5
	Ponto 5	83966,33± 7532	0,56± 0,2	14,10± 0,6	286,71± 9	21260,90± 772	1947,14± 75	2451,42± 1	46,07± 4	128,78± 3
	Ponto 6	22238,09± 1160	< LD	59,34± 1	83,58± 5	8109,14± 827	2031,77± 13	1215,15± 165	24,70± 3	108,12± 1
	Ponto 7	60345,72± 5844	0,12± 0	7,84± 3	247,22± 14	14755,81± 549	1927,50± 46	1626,31± 32	48,50± 22	141,56± 4
	Ponto 8	67873,86± 17464	0,43± 0,2	3,50± 1	267,49± 23	15088,41± 294	1334,06± 3	2210,79± 120	34,82± 1	113,07± 8
	Ponto 9	73642,39± 1133	0,40± 0,2	7,10± 0,8	238,51± 1	17833,50± 87	934,51± 78	1216,38± 28	56,46± 26	118,71± 0,4

Tabela 7 - Concentrações de metais pseudo-totais nas amostras de sedimento do município de Foz do Iguaçu (mg Kg^{-1}).

	PONTOS DE COLETA	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Pb	Zn
COLETA 01 (11/2016)	**Ponto 1**	40179,33± 8269	2,40± 0,2	19,18± 0,2	107,76± 8	108046,41± 952	646,17± 43	417,42± 51	28,88± 4	78,66± 5
	Ponto 2	28423,11± 3102	2,24± 0,3	18,03± 2	68,13± 7	183638,32± 3879	321,75± 21	1048,17± 15	23,51± 13	69,39± 1
	Ponto 3	40403,60± 9533	1,56± 0,1	83,99± 3	91,04± 11	86892,44± 497	484,05± 71	195,15± 12	9,62± 1	60,57± 4
	Ponto 4	46413,73± 10095	1,68± 0,5	132,55± 3	94,35± 5	117576,43± 479	736,90± 8	267,28± 8	38,61± 3	70,08± 3
	Ponto 5	31813,26± 3932	0,91± 0,2	2,22± 1	< LD	37790,17± 1681	314,19± 17	220,80± 3	35,04± 1	36,72± 1
	Ponto 6	29492,68± 2690	1,62± 0	34,25± 0,1	132,88± 46	99532,56± 241	647,79± 202	434,85± 65	34,46± 4	67,50± 7
	Ponto 7	42694,61± 4678	1,76± 0,2	87,69± 33	114,10± 12	114949,13± 545	684,65± 103	831,34± 61	32,29± 4	69,41± 4
	Ponto 8	47317,90± 11406	1,24± 0,1	57,13± 22	127,72± 22	108658,69± 800	475,17± 125	623,85± 22	23,68± 11	80,50± 11
	Ponto 9	50000,06± 12104	1,32± 1	11,61± 3	126,89± 8	92972,45± 17	764,44± 84	703,19± 22	32,50± 13	83,11± 4
COLETA 02 (05/2017)	**Ponto 1**	59792,73± 10682	0,71± 0	61,85± 5	127,18± 15	106641,93± 2861	497,28± 148	490,59± 14	57,12± 13	140,16± 19
	Ponto 2	47947,49± 4280	0,77± 0	53,59± 0,1	55,91± 20	116044,09± 1894	318,90± 8	485,32± 83	61,73± 25	64,26± 6
	Ponto 3	47795,86± 4693	0,15± 0	8,78± 0,8	26,20± 4	41223,30± 3060	< LD	272,96± 5	63,34± 17	47,35± 2
	Ponto 4	57275,89± 1892	< LD	37,18± 0,5	117,18± 3	105582,93± 2844	281,49± 80	1058,23± 82	38,70± 9	71,17± 0,1
	Ponto 5	27028,72± 4751	0,91± 0,1	60,23± 2	22,52± 13	35318,35± 132	< LD	308,01± 10	31,62± 3	66,77± 3
	Ponto 6	54570,43± 3240	0,59± 0,3	48,48± 3	75,41± 0,4	99240,79± 2078	192,04± 5	616,92± 3	69,38± 9	71,71± 1
	Ponto 7	42073,00± 3175	0,22± 0,1	59,07± 0,6	101,45± 3	131722,35± 224	168,36± 30	853,22± 5	37,89± 12	85,34± 3
	Ponto 8	51680,95± 716	< LD	47,23± 1	98,78± 8	107138,76± 3524	247,53± 111	943,00± 326	< LD	85,28± 5
	Ponto 9	58040,17± 23386	0,23± 0	49,79± 1	87,24± 42	98606,36± 2660	648,47± 7	984,48± 96	13,65± 6	76,03± 15

5.8.2 Alumínio

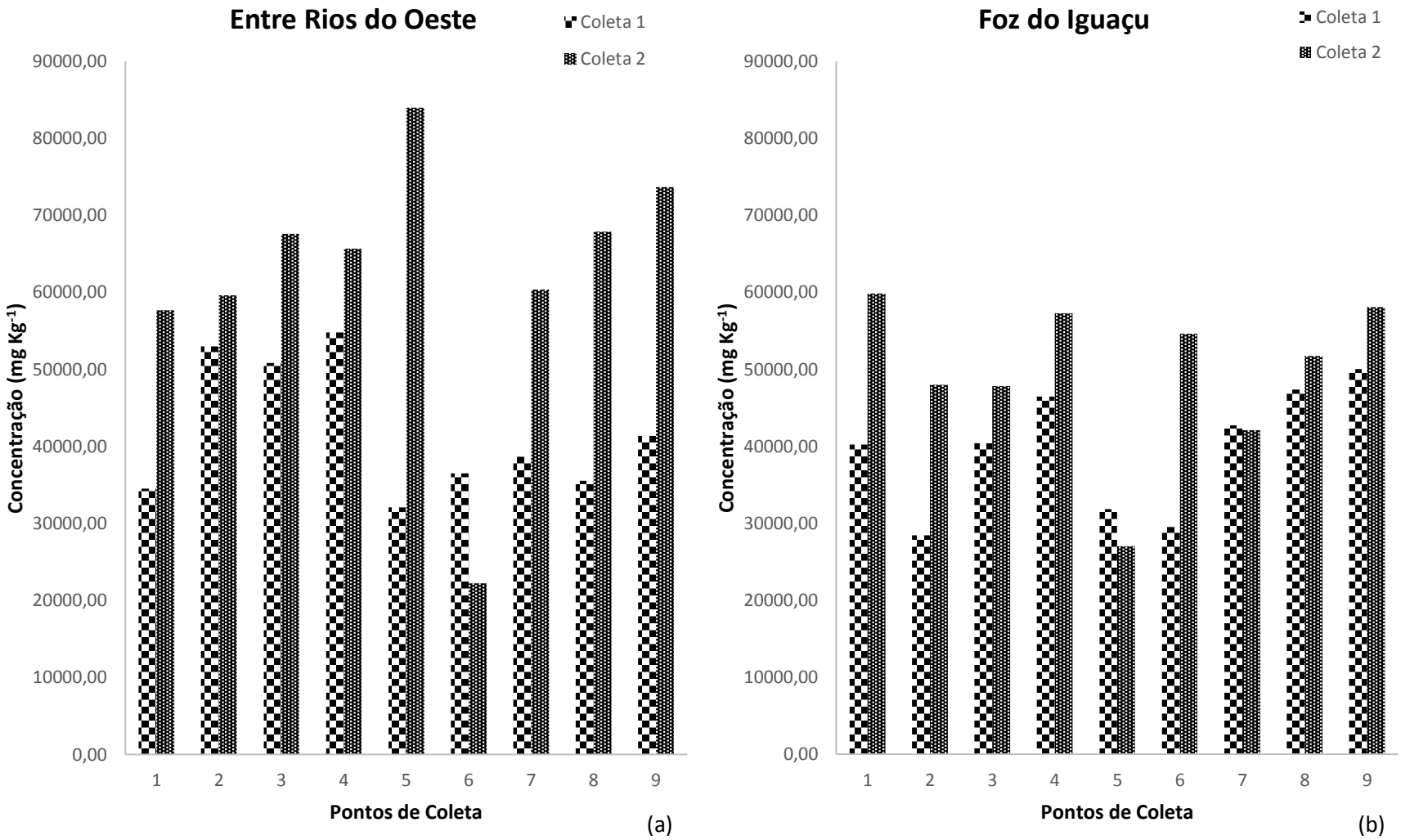
Em Entre Rios do Oeste os maiores valores para o teor de alumínio foram encontrados na coleta de 2017, com destaque para o ponto 5, localizado exatamente abaixo dos tanques-rede e no ponto 9, mais raso dentre todos nesse município – Figura 23 (a).

Em Foz do Iguaçu, o teor de alumínio também se apresentou mais elevado na coleta de 2017, com destaque para o ponto 1 e 9, ambos distantes cerca de 400 metros dos tanques-rede – Figura 23 (b).

Kalwa (2011) em estudo na região do Lago de Itaipu encontrou valores menores para a fração pseudo-total nos sedimentos.

Os teores quantificados deste íon metálico não foram relacionados com os limites de tolerância TEL e PEL porque o alumínio não está incluído na lista dos valores guias do protocolo canadense de proteção da vida aquática.

Figura 23 - Teor de alumínio nas amostras de sedimento.



5.8.3 Cádmio

Dos teores de cádmio em Entre Rios do Oeste, na coleta de 2016 – Figura 24 (a), apenas os pontos 1 e 6 ficaram abaixo do limite TEL, ambos com 12 metros de profundidade, sendo que a maior concentração de Cd ocorreu no ponto 4, onde tem a menor profundidade dentre os pontos coletados, com 7,3 metros de profundidade, 4 vezes acima do valor TEL. Para a coleta de 2017 todos os pontos tiveram a concentração abaixo do limite TEL, fator este que pode estar diretamente relacionado com a menor ocorrência de chuvas deste período.

Para os teores de cádmio no município de Foz do Iguaçu todos os pontos da coleta do ano de 2016 – Figura 24 (b) foram maiores que o valor TEL mas menores que o valor PEL, já na coleta de 2017, os valores obtidos nos pontos 1, 2, 5 e 6 ficaram acima do limite TEL, com destaque para os pontos 5 e 6 que se localizam exatamente onde estão os tanques-rede.

A baixa concentração de cádmio encontrada nos sedimentos pode estar relacionada a característica desse elemento ser mais solúvel em água, a menos que íons sulfeto estejam também presentes para precipitar o metal como CdS, como nos casos onde o teor ficou mais elevado (BAIRD; CANN, 2011), o que também pode ser um indicativo da baixa contribuição de fontes antropogênicas de poluição para este local..

Barreto e Bitar (2011) em estudo no córrego Aragão, afluente do rio Paranaíba, município de Patos de Minas/MG encontraram valores entre 0,000003 mg Kg^{-1} e 0,0000028 mg Kg^{-1} para cádmio.

Em estudo de Kerkhoff (2013), no reservatório do Lago de Itaipu no município de São Miguel do Iguaçu os valores para cádmio situaram -se na faixa de 0,88 mg Kg^{-1} e 1,18 mg Kg^{-1}. E no município de Foz do Iguaçu, os valores para cádmio situaram -se na faixa de 0,79 mg Kg^{-1} e 0,95 mg Kg^{-1} abaixo do limite PEL, de 3,53 mg Kg^{-1}.

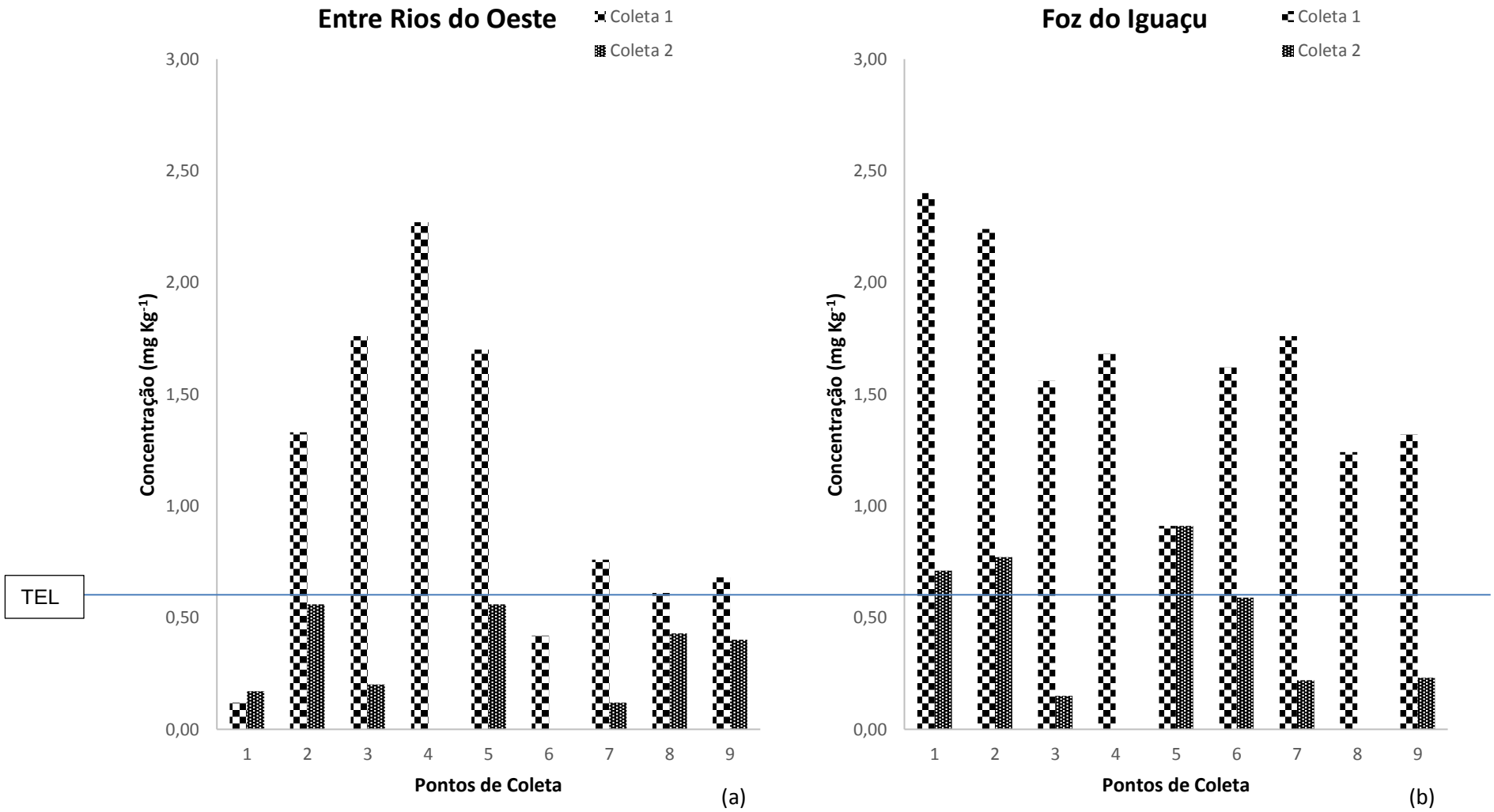
Estudo de Bonai (2007), no Reservatório de Itá encontrou valores para cádmio que se situaram entre 5,33 mg Kg^{-1} e 7,87 mg Kg^{-1}.

Em relação ao estudo de Chambo (2011), no Reservatório de Itaipu, os valores encontrados para o cádmio foram de 1,40 mg kg-1 a 2,26 mg Kg^{-1}.

Uma potencial fonte de Cd para o ambiente com as concentrações acima do nível TEL de 0,59 mg Kg $^{-1}$ está relacionada ao uso de fertilizantes de fosfato, o qual

contém cádmio iônico como um contaminante natural, e uso de lodo de esgoto contaminado com cádmio emitido pelas indústrias, aumentam o nível desse metal no solo (BAIRD; CANN, 2011). Logo, o carreamento do solo por meio do escoamento superficial contribui com a inserção deste elemento no corpo hídrico e incorporação em sedimentos, assim também como o enriquecimento através do excedente da ração proveniente para a alimentação dos peixes nos tanques-rede.

Figura 24 - Teor de cádmio nas amostras de sedimento.



5.8.4 Cromo

Na coleta de 2016, dos teores de cromo encontrados em Entre Rios do Oeste - Figura 25 (a), apenas os pontos 1 e 3 ficaram abaixo do limite TEL, 37,3 mg Kg^{-1}, ambos com aproximadamente 12 metros de profundidade. A maior concentração de Cr ocorreu no ponto 8, com profundidade de 15 metros, quase 2 vezes acima do valor TEL. Para a coleta de 2017 apenas o ponto 6, ponto central dos tanques-rede, teve a concentração acima do limite TEL mas abaixo do limite PEL, 90 mg Kg^{-1}.

No município de Foz do Iguaçu, na coleta de 2016 – Figura 25 (b), dos teores de cromo pesquisados somente os pontos 1, 2 5 e 9 foram menores que o valor TEL, onde apenas o ponto 4 ficou acima do limite PEL, já na coleta do ano de 2017, somente o ponto 3 ficou abaixo do limite TEL, tem-se que levar em consideração o fato de que os pontos 3 e 4 estão localizados logo abaixo dos tanques-rede.

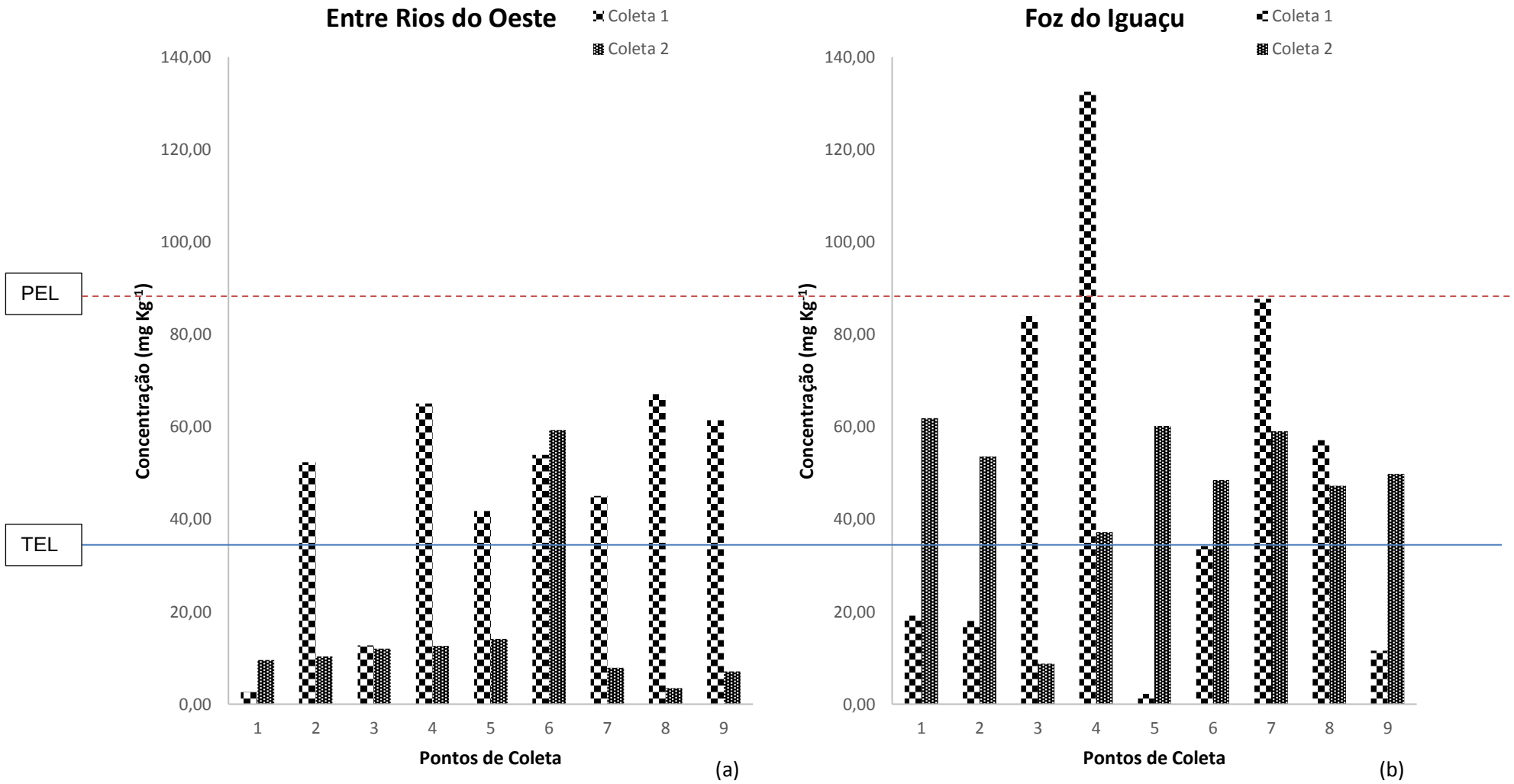
Tais resultados foram próximos aos detectados por Belo, Quináia e Pletsch (2010), em sedimentos do reservatório de Itaipu, Paraná, as concentrações de Cr de 6,4 a 71,9 mg Kg^{-1}.

Na pesquisa de Chambo (2011), no Reservatório de Itaipu em Santa Helena (PR) as concentrações de cromo no sedimento atingiram valores de 45,3 mg Kg^{-1}.

Bonai (2007), avaliou a presença de metais pesados no Reservatório da Usina Hidrelétrica de Itá em Santa Catarina, e obteve concentrações que variavam entre 74,63 mg Kg^{-1} e 119,50 mg Kg^{-1}.

Estudo de Queiroz (2006) no rio Piracicaba (MG) obteve valores de 0,126 mg Kg^{-1} a 0,447 mg Kg^{-1} para cromo.

Figura 25 - Teor de cromo nas amostras de sedimento.



5.8.5 Cobre

Os teores de cobre analisados no município de Entre Rios do Oeste foram mais elevados na coleta do ano de 2017 – Figura 26 (a), onde o ponto 6, logo abaixo dos tanques-rede, foi o que apresentou o menor teor de cobre, 83,58 mg Kg^{-1}, abaixo do limite PEL, 197 mg Kg^{-1}.

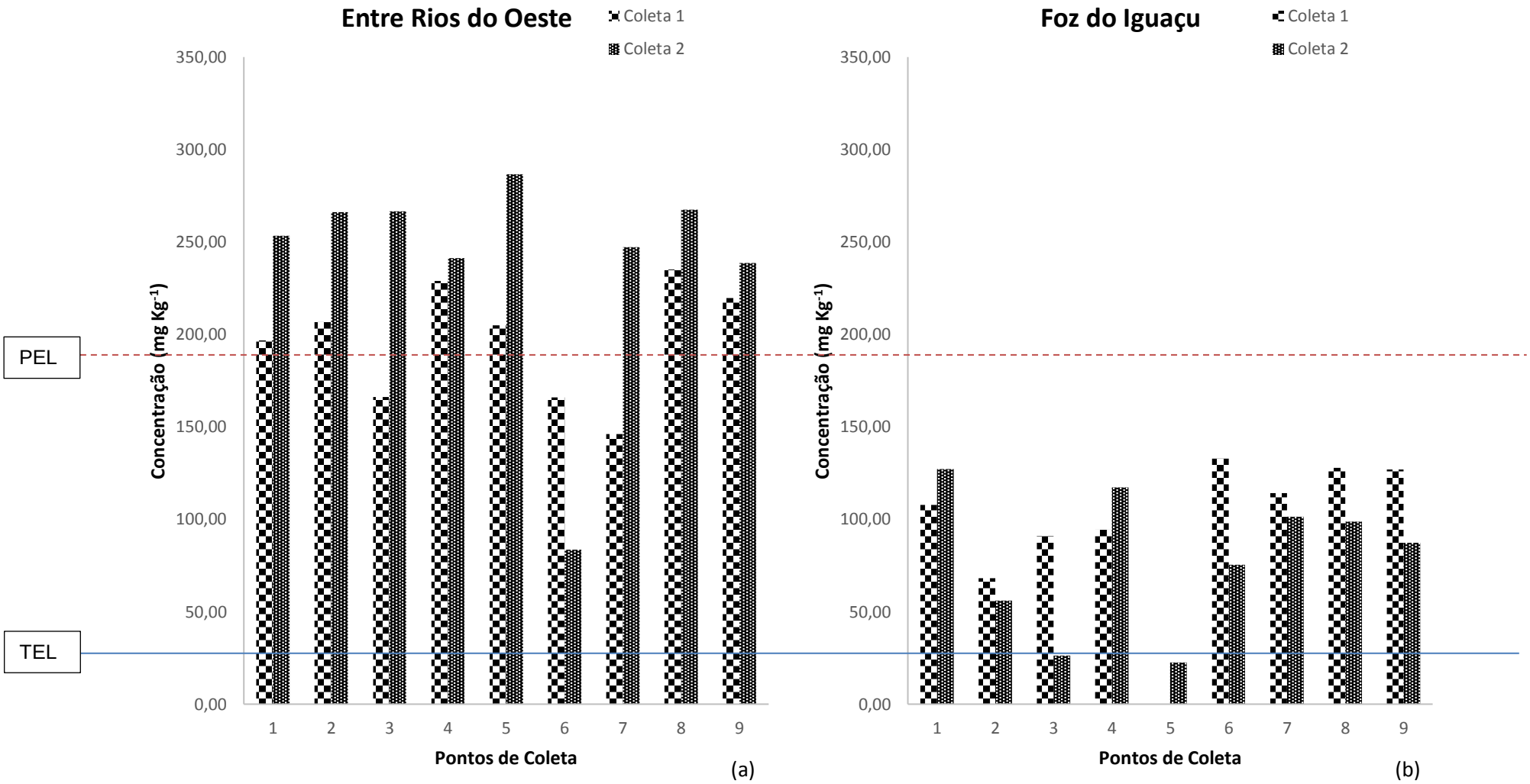
No município de Foz do Iguaçu os maiores teores de cobre foram encontrados na coleta de 2016 - Figura 26 (b). Nos quais os pontos 1, 3, 6 e 7 obtiveram valores menores que o limite PEL. Dos pontos que excederam o limite PEL destaca-se o ponto 5, na coleta de 2016, enquanto o ponto 6 do mesmo ano de coleta obteve valor superior ao PEL, 197 mg Kg^{-1}. E na coleta de 2017 apenas os pontos 3 e 5 obtiveram valor menor que o TEL, 35,7.

Em pesquisa desenvolvida por Alves *et al.* (2010) no córrego Monte Alegre no município de Ribeirão Preto (SP) foi encontrado valor médio de 1176,850 mg Kg^{-1} para cobre.

Kalwa (2011) em estudo no Lago de Itaipu encontrou valores no sedimento de 37,87 mg Kg^{-1} a 208,89 mg Kg^{-1}.

O teor de cobre apresentou pouca variabilidade nos teores de cobre no município de Entre Rios do Oeste em comparação ao município de Foz do Iguaçu.

Figura 26 - Teor de cobre nas amostras de sedimento.



5.8.6 Ferro

Os teores de ferro mais elevados, no município de Entre Rios do Oeste se apresentaram na coleta de 2017, ponto 5, enquanto o menor valor foi encontrado no ponto 6, no ano de 2016, pontos estes localizados logo abaixo dos tanques-rede – Figura 27 (a).

No município de Foz do Iguaçu ocorre exatamente o contrário, em relação ao maior e menor teor de ferro, onde o maior teor de ferro está no ponto 6, coleta 2016, e o menor teor de ferro no ponto 5, coleta 2017 – Figura 27 (b), pontos estes localizados logo abaixo dos tanques-rede.

Na pesquisa de Chambo (2011), no Reservatório de Itaipu em Santa Helena (PR) as concentrações de ferro no sedimento atingiram valores de 1127,06 mg Kg^{-1} a 11144,80 mg Kg^{-1}.

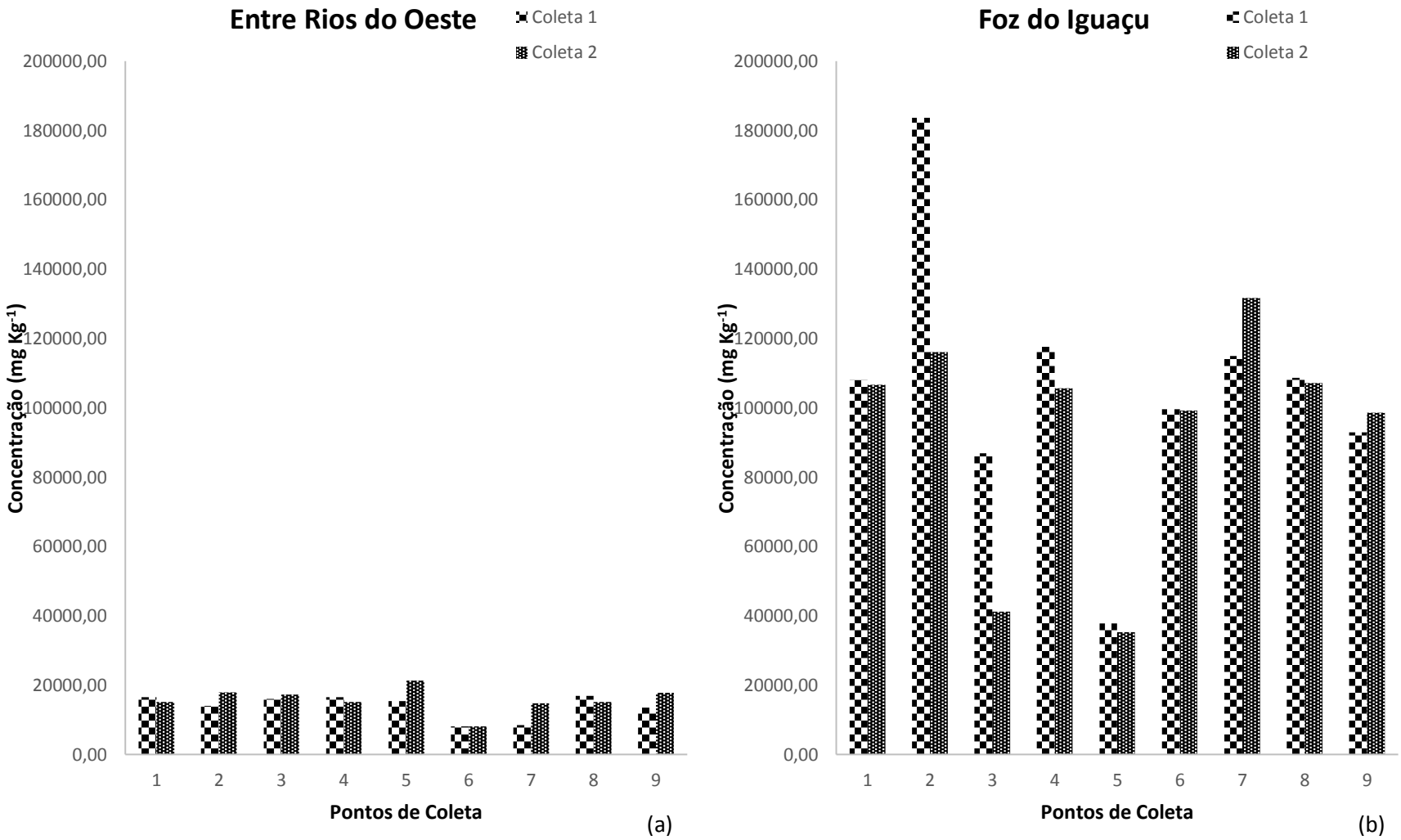
Queiroz (2006) no rio Piracicaba (MG) obteve valores de 81,966 mg Kg^{-1} a 552,98 mg Kg^{-1} para ferro.

Em estudo de Kalwa (2011), no Lago de Itaipu os valores para ferro ficaram entre 5775,89 mg Kg^{-1} e 7635,08 mg Kg^{-1}.

Destaca-se que os teores de ferro nos pontos do município de Foz do Iguaçu ficaram até 100 vezes mais elevados do que no município de Entre Rios do Oeste.

Os teores quantificados deste íon metálico não foram relacionados com os limites de tolerância TEL e PEL porque o ferro não está incluído na lista dos valores guias do protocolo canadense de proteção da vida aquática.

Figura 27 - Teor de ferro nas amostras de sedimento.



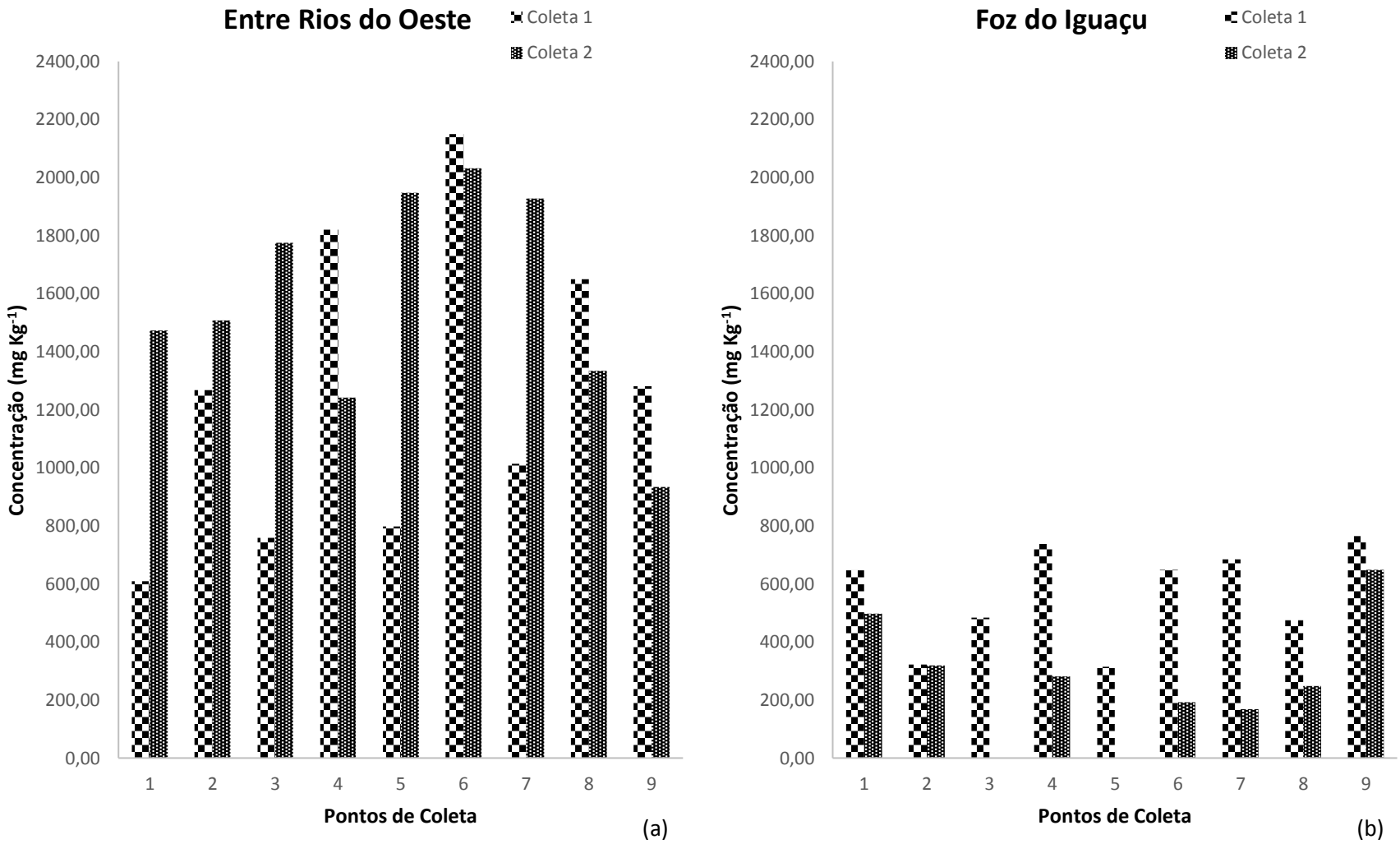
5.8.7 Magnésio

Nas análises de magnésio no município de Entre Rios do Oeste, o teor mais elevado foi encontrado na coleta de 2016, ponto 6, e o menor valor no ponto 1 do mesmo ano– Figura 28 (a).

No município de Foz do Iguaçu, foi encontrado o maior teor de magnésio no ponto 9 de 2016, enquanto nos pontos 3 e 5, de 2017 não foram encontrados teores de magnésio – Figura 28 (b).

Os teores quantificados deste íon metálico não foram relacionados com os limites de tolerância TEL e PEL porque o magnésio não está incluído na lista dos valores guias do protocolo canadense de proteção da vida aquática.

Figura 28 - Teor de magnésio nas amostras de sedimento.



5.8.8 Manganês

Na análise de manganês no município de Entre Rios do Oeste, o teor mais elevado foi encontrado na coleta do ano de 2017, ponto 5, exatamente nos tanques-rede, e o menor valor no ponto 4, coleta de 2016 – Figura 29 (a).

Em Foz do Iguaçu, foi encontrado o maior teor de manganês no ponto 4, na coleta de 2017, e menor teor no ponto 3, da coleta de 2016 – Figura 29 (b).

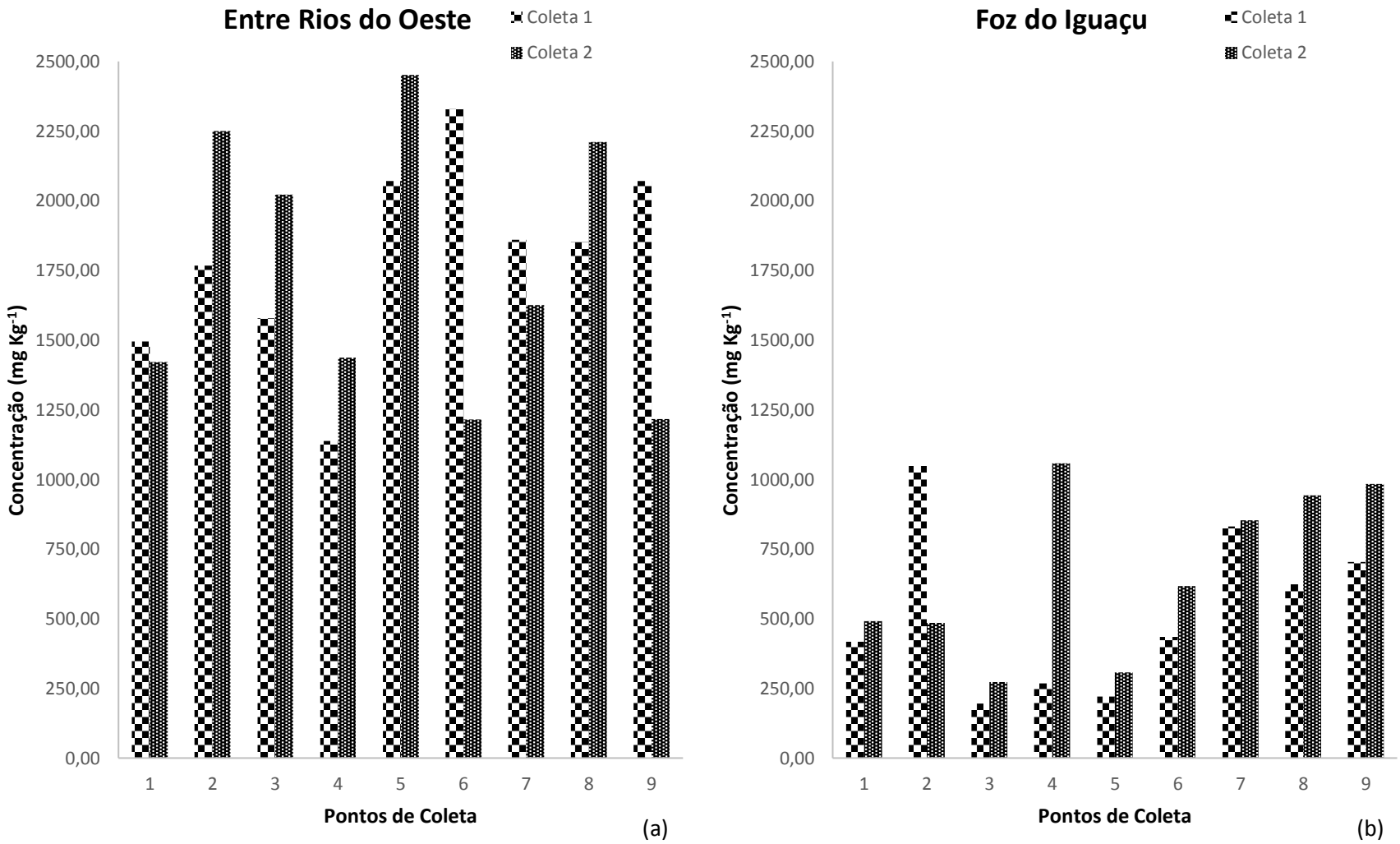
Em pesquisa desenvolvida por Alves *et al.* (2010) no córrego Monte Alegre no município de Ribeirão Preto (SP) foi encontrado valor médio de 13763,957 mg Kg^{-1} para manganês.

Kalwa (2011) atribuiu valores de 119,81 mg Kg^{-1} a 1723,70 mg Kg^{-1} para manganês.

Chambo (2011), encontrou valores de 10,67 mg Kg^{-1} a 13,23 mg Kg^{-1} nas concentrações de zinco no sedimento do Reservatório de Itaipu em Santa Helena (PR).

Os teores quantificados deste íon metálico não foram relacionados com os limites de tolerância TEL e PEL porque o manganês não está incluído na lista dos valores guias do protocolo canadense de proteção da vida aquática.

Figura 29 - Teor de manganês nas amostras de sedimento.



5.8.9 Chumbo

A análise de chumbo mostra que, no município de Entre Rios do Oeste, o teor mais elevado foi encontrado na coleta do ano de 2016, ponto 9, e o menor valor no ponto 2 na coleta de 2017 – Figura 30 (a). Na coleta de 2016 apenas os pontos 1 e 5 ficaram abaixo do valor TEL, 35 mg Kg^{-1}, enquanto na coleta de 2017 os pontos 1, 2, 6 e 8 ficaram abaixo do valor TEL. Acima do valor TEL ficaram os pontos 2, 3, 4, 6, 7 8, coleta 2016 e os pontos 3, 4, 5, 7 e 9, coleta 2017.

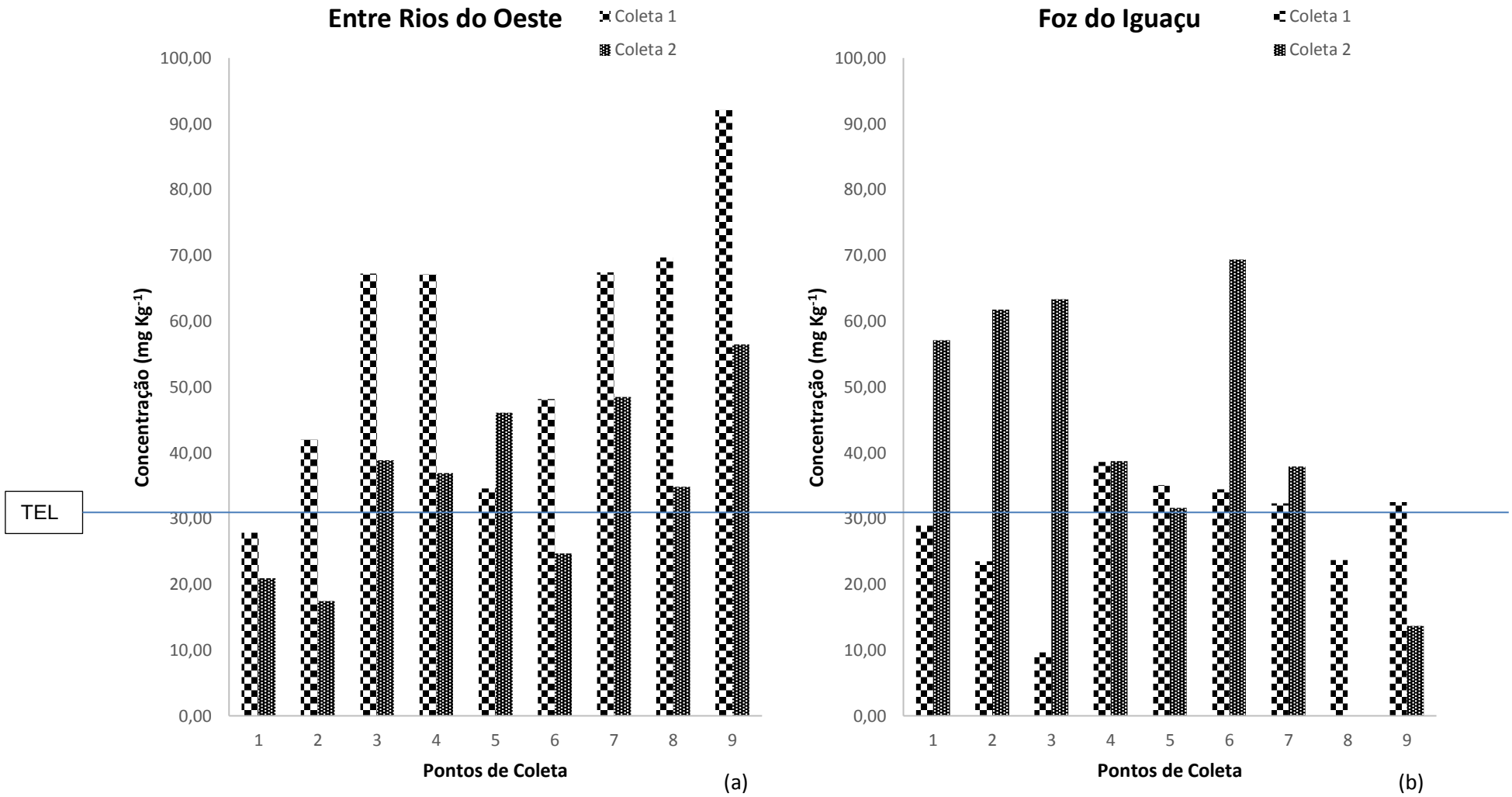
No município de Foz do Iguaçu, foi encontrado o maior teor de chumbo no ponto 6, coleta 2017, e menor teor no ponto 3, coleta 2016 – Figura 30 (b). Somente os pontos 4 e 5 da coleta do ano de 2016 apresentaram valor acima do limite TEL, 35 mg Kg^{-1}, enquanto na coleta de 2017 ficaram abaixo do limite TEL apenas os pontos 1, 5 e 9, com destaque para o ponto 8 da coleta 2 que apresentou valor 0 para o teor de chumbo.

No estudo publicado por Bonai (2007), os valores para chumbo situaram-se abaixo do limite TEL, 35 mg Kg^{-1}, variando entre 17 mg kg-1 e 31,58 mg kg-1. Enquanto Chambo (2011), encontrou concentrações de chumbo que atingiram valores entre 44 mg Kg^{-1} e 53 mg Kg^{-1}.

Os resultados de Kalwa (2011) no Lago de Itaipu apresentou valores 26,92 mg Kg^{-1} a 67,97 mg Kg^{-1} para chumbo.

Barreto e Bitar (2011) em estudo no córrego Aragão, afluente do rio Paranaíba, município de Patos de Minas/MG encontraram valores entre 0,0000025 mg Kg^{-1} a 0,0000336 mg Kg^{-1} para chumbo.

Figura 30 - Teor de chumbo nas amostras de sedimento.



5.8.10 Zinco

Na análise de zinco no município de Entre Rios do Oeste, foi encontrado que, o teor mais elevado deu-se na coleta de 2017, ponto 7, e o menor valor no ponto 3, coleta 2016 – Figura 31 (a). Na coleta do ano de 2016 os pontos 2, 3, 5, 6 e 7 ficaram abaixo do valor TEL, 123 mg Kg^{-1}, enquanto na coleta de 2017 os pontos 4, 6, 8 e 9 ficaram abaixo do valor TEL.

No município de Foz do Iguaçu, foi encontrado o maior teor de zinco no ponto 1, coleta do ano de 2017, e o menor teor no ponto 5, coleta de 2016 – Figura 31 (b). Apenas o ponto 1 da coleta de 2017 apresentou valor acima do limite TEL, 123 mg Kg^{-1}.

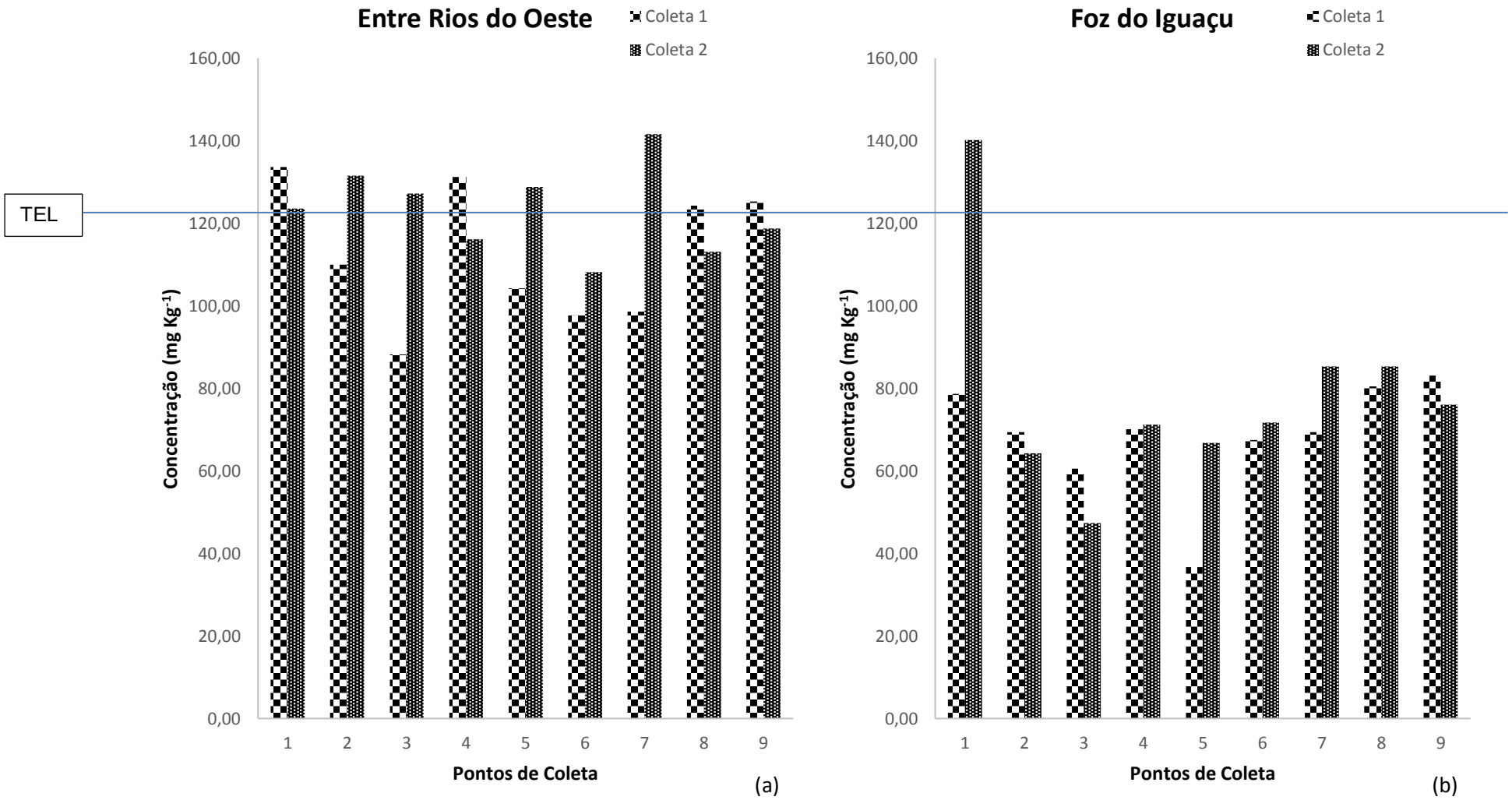
Alves *et al.* (2010) no córrego Monte Alegre no município de Ribeirão Preto (SP) encontrou valor médio de 1293,861 mg Kg^{-1} para zinco.

Na pesquisa de Chambo (2011), no Reservatório de Itaipu em Santa Helena (PR) as concentrações de zinco no sedimento atingiram valores de 10,67 mg Kg^{-1} a 13,23 mg Kg^{-1}.

Barreto e Bitar (2011) em estudo no córrego Aragão, município de Patos de Minas/MG encontraram valores entre 0,0000116 mg Kg^{-1} a 0,0000282 mg Kg^{-1} para zinco no sedimento.

Estudo de Queiroz (2006) no rio Piracicaba (MG) obtiveram valores de 0,08 mg Kg^{-1} a 0,128 mg Kg^{-1} para zinco.

Figura 31 - Teor de zinco nas amostras de sedimento.



5.9 APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

A Análise dos Componentes Principais – ACP (*Principal Component Analysis*) foi aplicada aos dados experimentais auto-escalonados dos teores de íons metálicos e parâmetros complementares, obtidos nos sedimentos superficiais nas regiões de tanques-rede nos municípios de Entre Rios do Oeste e Foz do Iguaçu, no Lago de Itaipu, a fim de verificar as semelhanças e/ou diferenças entre os pontos de coleta e sua correlação entre as variáveis. O auto-escalonamento foi feito para assegurar que todas as análises tivessem igual importância para auxiliar na discriminação das amostras.

5.9.1 ACP para íons metálicos do sedimento de Entre Rios do Oeste e de Foz do Iguaçu

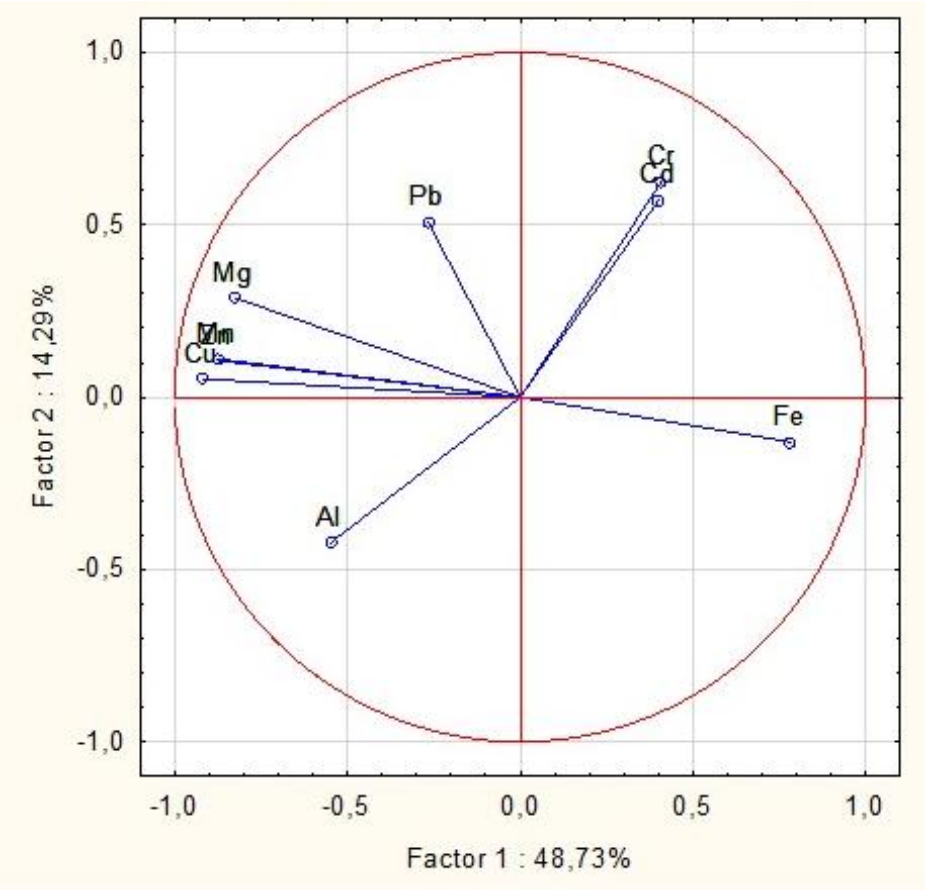
A análise dos resultados da ACP mostrou que as duas primeiras componentes (Fator 1 e Fator 2) conseguem explicar 48,73% e 14,29%, respectivamente, totalizando 63,02% da variabilidade nos dados – Figura 32.

Para a primeira componente principal (Fator 1), é possível observar que as variáveis Cu, Mg, Mn, Pb e Zn são inversamente correlacionadas com a variável Fe, este em determinados pontos superior em teor de até 10 vezes para Cu, Mg, Mn e Zn, resultado esperado, visto que a região oeste do Paraná é rica em Fe nos solos, conforme definido pela MINEROPAR (2005), podendo este ser lixiviado aos ambientes aquáticos, passando a ser componente dos sedimentos.

Para a segunda componente principal a variável em destaque foi Al, inversamente proporcional ao Cd e Cr. Esses dois elementos são considerados potencias contaminantes ambientais e elevadas concentrações em ambientes naturais indicam contribuições antropogênicas.

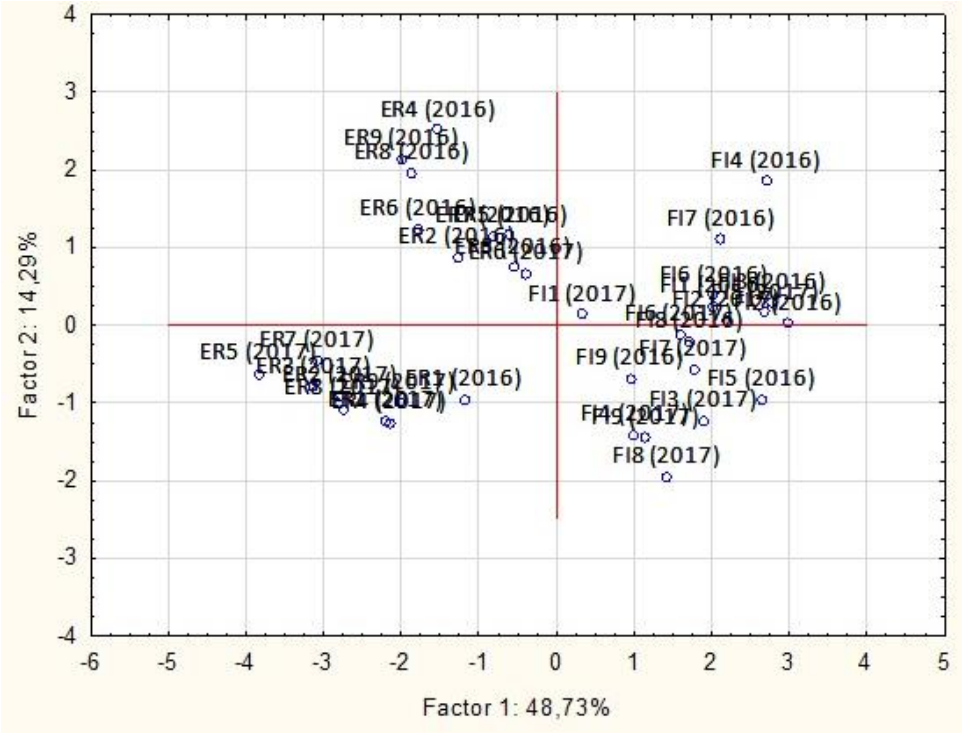
Os íons metálicos Cu, Mg, Mn e Zn são encontrados comumente no solo da região, e sua origem no sedimento pode estar associado a lixiviação, visto que a área de estudo está situada na foz de dois rios que recebem contribuições de áreas de solo agricultáveis.

Figura 32 - Pesos da primeira e segunda componentes principais para análise de amostras de sedimento de Entre Rios do Oeste e Foz do Iguaçu.



O comportamento estatístico das variáveis nos dois municípios e nas duas etapas de coleta mostrou a formação de 4 grupos distintos, onde os municípios ficaram separados por coleta - Figura 33.

Figura 33 - Escores da primeira e segunda componentes principais para análise de amostras de sedimento de Entre Rios do Oeste e Foz do Iguaçu.



O agrupamento da coleta de 2016 de Foz do Iguaçu ficou no quadrante positivo de X e Y, os mesmos foram direcionados pelos altos teores de Cd e Cr.

A coleta de Foz do Iguaçu de 2017 apresentou-se no quadrante positivo de X e negativo de Y, devido aos altos teores de Fe.

No quadrante negativo de X e positivo de Y os teores dos metais Cu, Mg, Mn, Pb e Zn foram os responsáveis pelo agrupamento da coleta de 2016 de Entre Rios do Oeste.

A coleta de 2017 de Entre Rios do Oeste sofreu forte influência dos altos teores de Al.

Outro resultado importante a ser destacado é que a análise de ACP permitiu a separação quase completa dos municípios em quadrantes diferentes em função dos teores de metais. Com base na ACP – Figura 33, é possível distinguir os municípios em razão das especificidades do sedimento de cada município.

5.9.2 ACP com todos os parâmetros

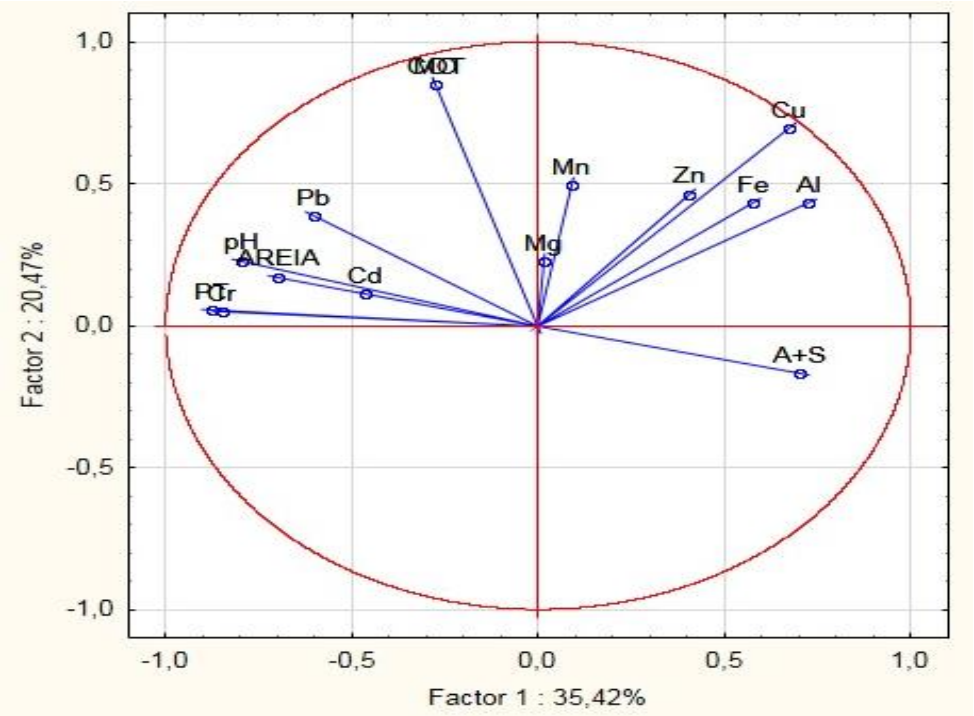
5.9.2.1 Município de Entre Rios do Oeste

Nesta etapa foi aplicada ACP para as médias das concentrações dos íons metálicos e dos demais parâmetros estudados, teve como objetivo verificar a variabilidade de forma isolada em cada ambiente de estudo nas duas coletas de amostragem.

A análise dos resultados da ACP mostrou que as duas primeiras componentes principais (Fator 1 e Fator 2) conseguem explicar 35,42% e 20,47%, respectivamente, totalizando 55,89% da variabilidade nos dados – Figura 34.

Para a primeira componente principal (Fator 1) – Figura 34, é possível observar que as variáveis Al, Cu, Fe, Mg, Mn e Zn obtiveram valores próximos entre si. Enquanto as variáveis MO, COT, PT, pH, areia, Cd, Cr e Pb são inversamente correlacionadas com a variável A+S (argila + silte).

Figura 34 - Pesos da primeira e segunda componentes principais para análise de amostras de sedimento de Entre Rios do Oeste.

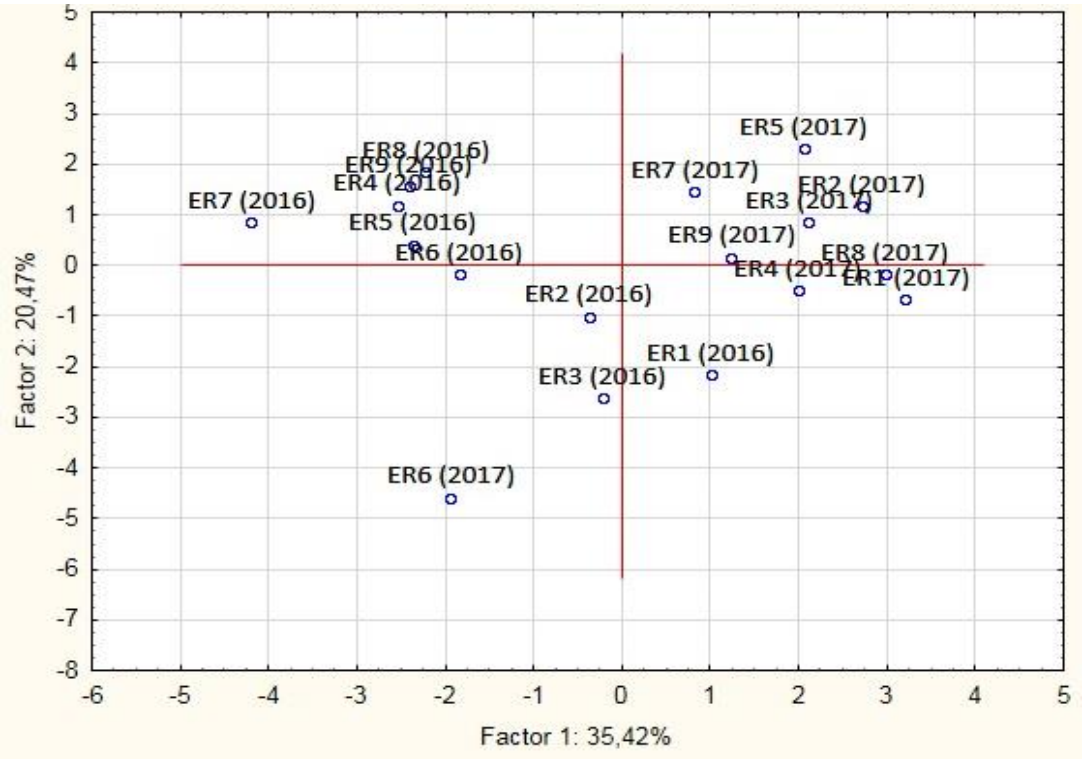


As análises da relação entre as variáveis nos diferentes anos de coleta sugerem que há uma separação das mesmas em quadrantes diferentes. As amostras que ficaram agrupadas no quadrante positivo de X e positivo de Y sofreram influência devido aos teores de Al, Cu, Fe, Mg, Mn e Zn, cujos pontos são do ano de 2017.

No quadrante negativo de X e positivo de Y, ficaram as amostras do ano de 2016 com influência dos teores dos metais Cd, Cr e Pb e também das características físico-químicas como areia, COT, MO, pH e PT.

As amostras ER1, 2 e 3 (2016) foram influenciadas pelo teor de A+S, assim como o ponto ER6 (2017), representadas nos quadrantes inferiores do gráfico – Figura 35.

Figura 35 - Escores da primeira e segunda componentes principais para análise de amostras de sedimento de Entre Rios do Oeste.



Resultado importante a ser enfatizado é que a análise de ACP permitiu a separação da maioria das amostras por ano em quadrantes diferentes em função de suas características físico-químicas. Tal variabilidade, possivelmente esteve relacionada às condições temporais do ano de 2017.

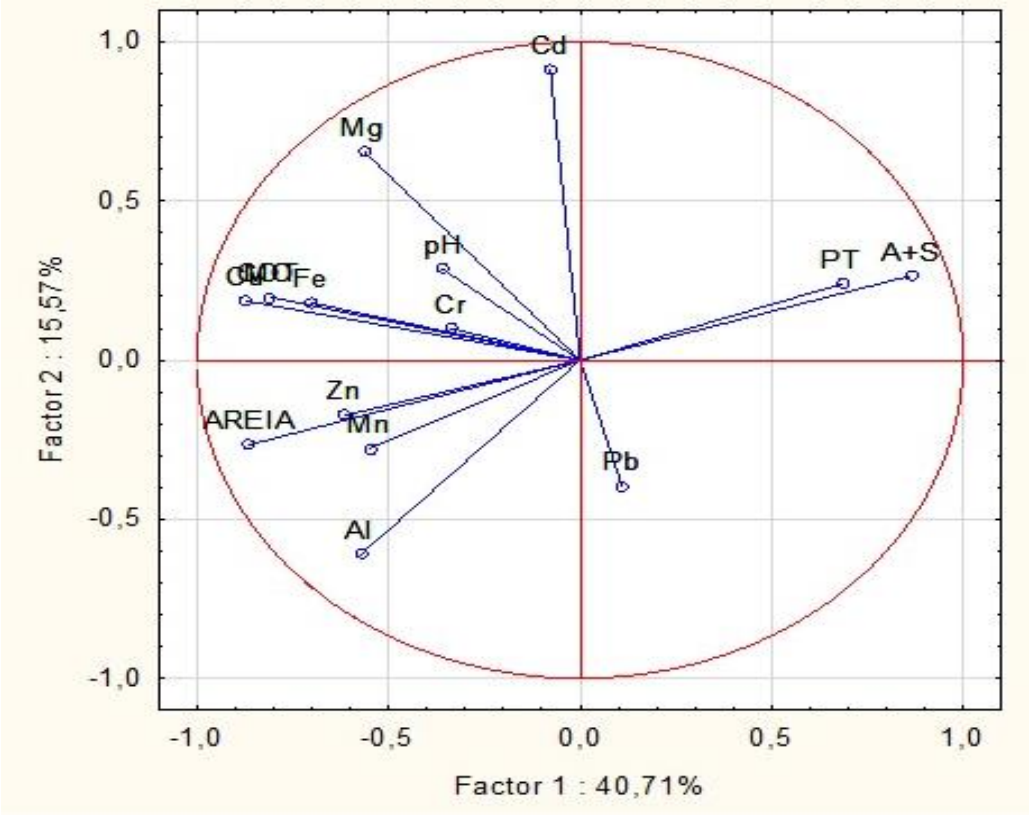
5.9.2.2 Município de Foz do Iguaçu

A análise dos resultados da ACP de Foz do Iguaçu mostrou que as duas primeiras componentes principais (Fator 1 e Fator 2) conseguem explicar 40,71% e 15,57%, respectivamente, totalizando 56,28% da variabilidade nos dados – Figura 34.

Para a primeira componente principal (Fator 1) – Figura 36, é possível observar que as variáveis Cd, Cr, Fe, Mg, COT, MO e pH são inversamente correlacionadas com a variável Pb. Já para a segunda componente principal as variáveis Al, Mn, Zn e Areia são inversamente correlacionadas com as variáveis PT e A+S.

Tal fato pode ser explicado porque, sedimentos de granulometria mais fina tendem a absorverem mais os elementos metálicos presentes no ambiente.

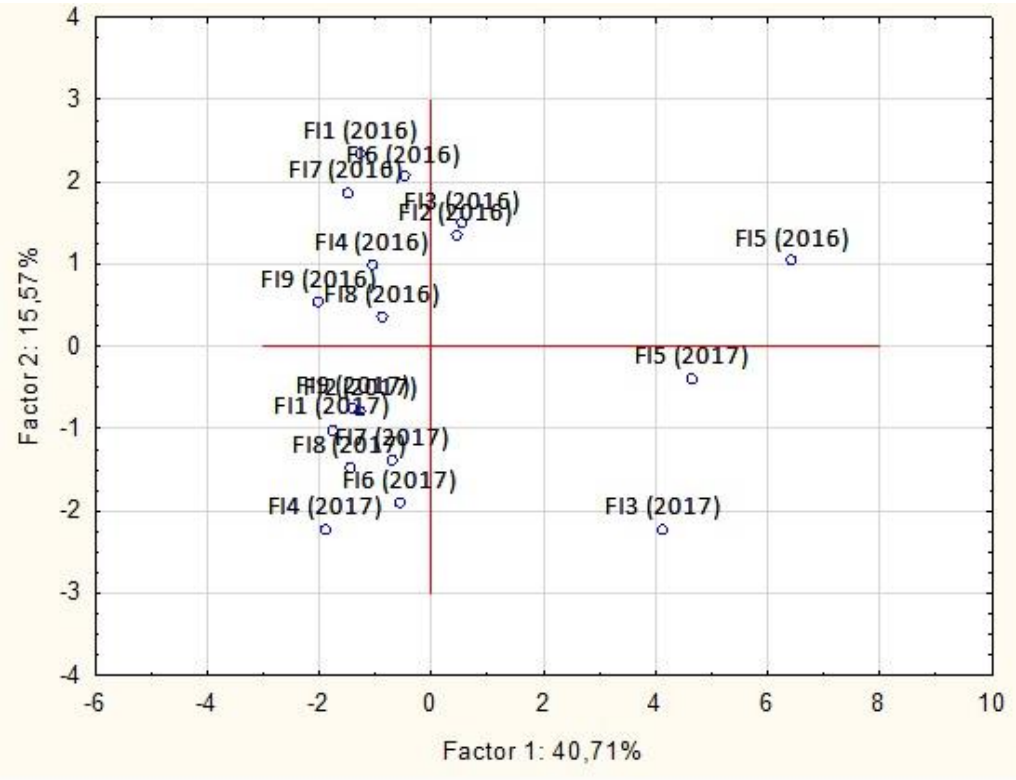
Figura 36 - Pesos da primeira e segunda componentes principais para análise de amostras de sedimento de Foz do Iguaçu.



As análises da relação entre as variáveis nos diferentes anos de coleta sugerem que há uma separação das mesmas em quadrantes diferentes. Foi observado que a maioria das amostras, de ambos os anos, ficaram nos quadrantes negativo de X, à esquerda, as quais foram caracterizadas pelos altos valores das

variáveis Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Zn, pH, MO, COT e areia. Todos os sedimentos coletados nestes pontos apresentaram concentrações maiores de íons metálicos em relação aos pontos localizados no eixo positivo de X (Fator 1) com exceção para os pontos FI5 (2016) e FI3 e 5 (2017) - Figura 37.

Figura 37 - Escores da primeira e segunda componentes principais para análise de amostras de sedimento de Foz do Iguaçu.



Assim como no município de Entre Rios do Oeste, a análise da ACP para o município de Foz do Iguaçu permitiu a separação da maioria das amostras por ano em quadrantes diferentes em função de suas características físico-químicas. Tal variabilidade, possivelmente esteve relacionada também às condições temporais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o pH do sedimento no município de Entre Rios do Oeste e Foz do Iguaçu apresentam características levemente ácidas, sem grande variabilidade entre os pontos estudados. A detecção de elevados teores de alumínio, ferro e manganês podem ser provenientes da composição mineralógica da região em estudo e pelo fato destes íons metálicos serem abundantes na crosta terrestre.

Na quantificação da fração pseudo-total existente nos sedimentos, notou-se quantidades consideráveis dos íons metálicos analisados, com destaque para os elementos: cobre (pontos 2, 4, 5, 8 e 9 (2016)) no município de Entre Rios do Oeste e cromo (ponto 4 (2016)) em Foz do Iguaçu, os quais apresentaram teores acima do limite PEL (*Probable Effect Level*).

Quanto à caracterização de matéria orgânica nas amostras, os sedimentos da região de Entre Rios do Oeste foram classificados em orgânicos, exceto para o ponto 6 (2016) que foi considerado como inorgânico. Enquanto para Foz do Iguaçu os pontos 2 e 5 (2016) e 3, 5 e 7 (2017) foram considerados como inorgânicos.

A avaliação do pH nas amostras de sedimentos das duas regiões em estudo apresentou como resultado serem ambas levemente ácidas, com menores taxas dessa variável no município de Entre Rios do Oeste.

Os teores de fósforo total quantificados em Entre Rios do Oeste variaram de 2,09 a 29,14 mg Kg^{-1}, enquanto em Foz do Iguaçu os valores ficaram entre 0,39 a 49,54 mg Kg^{-1}. Estes teores são inferiores ao valor alerta (2000 mg Kg^{-1}) preconizado pela resolução CONAMA n° 344.

A análise de componentes principais, realizada para os teores dos íons metálicos pseudo-totais, agrupou os pontos de amostragem em função do ano de coleta, da granulometria e da matéria orgânica contida nas amostras.

Destaca-se que os valores de referência de metais pesados de uma determinada região hidrográfica não podem ser determinados pela simples comparação com aqueles valores indicados na Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004. Todavia, se considera esses valores pela ausência de referências mais apropriadas.

Há a extrema necessidade de o Brasil criar uma legislação específica para a qualidades de sedimentos com padrões adequados para o próprio país. Amostras de

sedimento revelam características próprias como a sua constituição e influências do contexto de onde são oriundas. De maneira óbvia, é questionável a utilização de padrões estrangeiros para o estabelecimento de valores padrões no estudo de determinados ecossistemas.

REFERÊNCIAS

ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. New York: Wiley, 1990. 339p.

ALVES, R. I. S.; TONANI, K. A. A.; NIKAIDO, M.; CARDOSO, O. O.; TREVILATO, T. M. B.; SEGURAMUÑOZ, S. I. Avaliação das concentrações de metais pesados em águas superficiais e sedimentos do Córrego Monte Alegre e afluentes, Ribeirão Preto, SP, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 5, n. 3, p. 122-132, 2010.

ANDERLE, R. V. Prefeitura Municipal de Entre Rios do Oeste. Disponível em: <http://www.entreriosdooeste.pr.gov.br>. Acesso em: 19 de dezembro de 2017.

ANTUNES, M.; GIOVANELA, M. **Análise granulométrica e determinação de parâmetros físico-químicos de sedimentos de fundo da microbacia do Arroio Marrecas**. In: XVII Encontro de Jovens Pesquisadores da UCS, 2009, Caxias do Sul. CD de Resumos do XVII Encontro de Jovens Pesquisadores da UCS, 2009. p. 1-1.

BAIRD, Colin; CANN, Michael. **Química Ambiental.** Tradução: Marco Tadeu Grassi. Márcia Matiko Kondo; Maria Cristina Canela e Felix José Nonnenmacher. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2011, 844 p.

BAIRD, C. **Environmental Chemistry**. New York: W. H. Ferman and Company, 1995.844p.

BARRETO, A.C.; BITAR, N.A.B.; Análise de metais pesados na água e nos sedimentos de corrente do córrego Aragão situado no município de Patos de Minas/MG. **Revista Perquirere**, Patos de Minas, v. 8, n. 2, p. 214-223, dez. 2011.

BELO, A.; QUINÁIA, S. P.; PLETSCH, A. L. Avaliação da contaminação de metais em sedimentos superficiais das praias do lago de Itaipu. **Química Nova**, v.33, n. 3, p. 613-617, 2010.

BONAI, N.C. **Distribuição de Metais Pesados nos Sedimentos do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Itá e Avaliação da Eficiência de *Eichhornia crassipes* na Remediação de Águas Contaminadas pela Atividade Agrícola de Criação de Suínos.** 2007. 64f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade Comunitária Regional de Chapecó, Chapecó, 2007.

BOSCOLO, W. R.; FEIDEN, A.; BITTENCOURT, F.; CANZI, C. **Manual técnico:** criação de pacu em tanque-rede para produção de carne mecanicamente separada (CMS). Toledo: Convênio de cooperação técnico-financeira para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas à produção de peixes em sistema de tanques-rede no Reservatório de Itaipu - GEMAq/Unioeste/Itaipu Binacional, 2010. 50 p.

BRASIL. **IBGE**. Produção de Pecuária Municipal, 2013. Sistema IBGE de recuperação automática. Disponível em:< https://sidra.ibge.gov.br/home/ipp/brasil>. Acesso em: 01/03/2018.

BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. **Boletim estatístico de pesca e aquicultura do Brasil 2011**. Brasília: República Federativa do Brasil, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n° 454, de 01 de novembro de 2012**. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Brasília, DF, 08 nov. 2012, Seção 1, 66 p.

BRASIL. Ministério de Estado da Saúde. **Portaria Nº 518**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. 25 Mar 2004. Disponível em: < http://www.aeap.org.br/doc/portaria_518_de_25_de_marco_2004.pdf >. Acesso em: 18 fev. 2018

BROW, L. R.; FLAVIN, C.; FRENCH, H., *et al.*, **Estado do Mundo-2001**. Salvador: UMA Editora. 277p., 2000.

CARMO, C. A.; ABESSA, D. M. S.; NETO, J. G. M. **Metais em águas, sedimentos e peixes coletados no estuário de São Vicente-SP, Brasil.** O Mundo da Saúde, São Paulo: 2011;35(1):64-70

CASTAGNOLLI, N.; CYRINO, J. E. P. **Piscicultura nos trópicos**. São Paulo: Manole, 1986. 154p.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo:** Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**.** Série Relatórios. 2009.

CHAGAS, E. C.; LOURENÇO, J. N. P.; GOMES, L. C.; VAL, A. L. Desempenho e estado de saúde de tambaquis cultivados em tanques-rede sob diferentes densidades de estocagem. **Aquabio**, Jaboticabal, 2003.

CHAMBO, A.P.S. **Bioindicadores para determinação de metais pesados no reservatório da Itaipu Binacional, Paraná, Brasil.** 2011, 98f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Candido Rondon, 2011.

CLARK, R. B. **Marine Pollution.** 5ª Edição. Oxford University Press, Oxford. p. 237. 2001.

COELHO, G. F.; GONÇALVES JR., A. C.; SEIDEL, E. P.; CARVALHO, E. A.; SCHWANTES, D.. Avaliação da granulometria dos solos de sete municípios da região Oeste do Paraná. ***Synergismus Scyentifica*** UTFPR, v. 4, p. 99-101, 2009.

CONAMA, **Resolução n° 357 de 17 de março de 2005**. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: < http://www.saneago.com.br/novasan/leis/conama.pdf>. Acesso em: 07 de fev. de 2018.

CONAMA, **Resolução n° 454 de 01 de novembro de 2012**. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693. Acesso em: maio de 2016.

CRUZ, M. A. S; SANTOS, L. T. S. D. O; LIMA, L. G. L. M; JESUS, T. B. Caracterização mineralógica e granulométrica dos sedimentos como suporte para análise de contaminação ambiental em nascentes do rio Subaé-Feira De Santana/BA. **Geochimica Brasiliensis**, v. 27, n. 1, p. 49-62, 2013.

DAIRIKI, J. K. Manual técnico de Extensão (2): Pacu e Tambacu. 2010. **Revista Eletrônica Nutritime**, 2006.

DIAS, J.C.; LIMA, W.N. Comparação de métodos para a determinação de matéria orgânica em amostras ambientais. **Revista Científica da UFPA**, v. 4, n. 1, 2004.

DONAGEMA, G. K; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

DZOMBAK, D.A., MOREL, F.M.M. **Surface complexation modeling:** Hydrous ferric oxide. Willey, New York. 1990. 393p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2013. 306 p.

EPA – ENVIRONMENTAL REGULATIONS AND TECHNOLOGY. **Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge.** Revised July, 2003.

ESCORVO, J. D. 2004. O agronegócio da aqüicultura: perspectivas e tendências. **Zootec.** 2004 – Zootecnia e o Agronegócio (Brasília, 28 a 31 de maio de 2004). Disponível em: ftp://ftp.sp.gov.br/ftppesca/agronegocio_aqüicultura.pdf>. Acesso em: 26 de maio de 2017.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro.: Editora Interciência. 2011.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics**. In: El estado mundial de la pesca y la acuicultura. 2016. Disponível em:< file:///C:/Users/notebook/Downloads/a-i5692s.pdf>. Acesso em: 07/03/2018.

FERNANDES, J. B. K.; CARNEIRO, D. J.; SAKOMURA, N. K. Fontes e Níveis de Proteína Bruta em Dietas para Alevinos de Pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, 2000.

FERREIRA, F. J.; SILVA, C. A. Atividade alimentar do pacu em tanque rede. **Bioikos**; Campinas, 26(1):35-42, jan./jun., 2012

FRANZEN, Melissa. **Dinâmica do fósforo na interface água-sedimento em reservatórios**. 2009. 244f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

GURZAU, E. S.; NEAGU, C.; GURZAU, A. E. **Essentials metals – case study on iron**. Ecotoxicology and Environmental Safety, 56:190-200. 2003.

ICRP. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. The concept and use of reference animals, and plants for the purposes of environmental protection: Publication 23. **Annals of the ICRP**. 1974. Disponível em:<//journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1016/S0074-2740%2875%2980015-8>. Acesso em: 31 de janeiro de 2018.

IGNÁCIO, N. F. **Seleção de bioindicadores aquáticos pela toxicidade aguda e risco ambiental do inseticida fipronil**. Jaboticabal. 65 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura da Unesp, 2014.

ITAIPU. **Mais peixes em nossas águas.** Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/meioambiente/mais-peixes-em-nossas-aguas>. Acesso em: 12 de julho de 2017.

ITAIPU BINACIONAL. **Rio Paraná**. Disponível em:< https://www.itaipu.gov.br/energia/rio-parana>. Acesso em: 14 de julho de 2016.

IUPAC, **The determination of trace metals in natural waters.** West, T. S., Blackwell Scientific, p. 10-49, 1988.

JOMORI, R. K.; CARNEIRO, D. J.; MALHEIROS, E. B.; PORTELLA, M. C. Growth and survival of pacu Piaractus mesopotamicus (Holmberg, 1887) juveniles reared in ponds or at different initial larviculture periods indoors. **Aquaculture**, p. 277-287, 2003.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3.ed. Boca Raton, CRC Press, 2001. 413p.

KALWA, M.; QUINÁIA, S. P.; PLETSCH, A. L.; TECHY, L.; FELSNER, M. L.. Fractionation and Potential Toxic Risk of Metals From Superficial Sediment in Itaipu Lake Boundary Between Brazil and Paraguay. Archives of Environmental Contamination and Toxicology (Print), 2013.

KALWA, Miguel. **Diagnóstico da concentração de HPAs e íons metálicos em sedimentos do Lago de Itaipu – PR.** 2011. 100 f. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) – Universidade do Centro-Oeste, Guarapuava, 2011.

KERKHOFF, S.; RUBIO, F.; GONCALVES JUNIOR, A. C.; PARIZOTTO, M.; WERNKE, G. **Mexilhão Dourado como Bioindicador de Metais Pesados Tóxicos no Reservatório de Itaipu**. 2013. (Apresentação de Trabalho/Seminário)

KESLER, S. E. **Mineral Resources, Economics and the Environment**. Macmillan College Publishing Company, New York, p. 391. 1994.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, Editora Agronômica: Ceres Ltda,1985.

LI, X. D.; POON, C. S.; SUN, H.; LO, I. M.; KIRK, D. W. Heavy metal speciation and leaching behaviors in cement based solidified/stabilized waste materials. **J Hazard Mater**, v. 82, n. 3, p. 215-30, Apr 20 2001.

LIMA, L. P. A., BERNARDÉZ, L. A., BARBOSA, L. A. D., Gold processing residue from Jacobina basin: chemical and physical properties. **Revista Brasileira de Geociências**, 2007.

LIMA, M. C.; GIACOMELLI, M. B. O.; STÜPP. V. **Especiação de Cobre e Chumbo em Sedimento do Rio Tubarão pelo Método Tessier**. UFSC. Tubarão- SC. Química Nova, v. 24. n° 6. p. 734-740. 2001.

LIMA, V. C.; LIMA, M. R.; MELO, V. F. **Conhecendo os principais solos do Paraná:** abordagem para professores do ensino fundamental e médio. Curitiba : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Estadual do Paraná, 2012.

LOPES, T. R.; PLETSCH, A. L.; PERIOTTO, F. **Manual de análises laboratoriais para lodos e sedimentos**. Medianeira – PR. 2015.

LUTGENS, F. K.; TARBUCK, E. J. **Essentials of Geology**. 3ª Edição. Merril Publishing Company, Columbus. p. 378. 1989.

MACEDO, J. A. B. **Introdução à Química Ambiental.** Juiz de Fora – MG, 2002. 1ª Edição, 487 p.

_____. **Águas & Águas**. 2.ed. Atual. e rev. São Paulo: Varela. 2004.

MANAHAN, Stanley E. **Química Ambiental**. Tradução: Félix Nonnenmacher; revisão técnica: Wilson Figueiredo Jardim. 9 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013, 912 p.

MARINS, R. V.; FILHO, F. J. P.; ROCHA, C. A. S. Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do Rio aguaribe – Costa Nordeste Oriental Brasileira. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 5, p. 1208-1214, set./out. 2007.

MARTINS, M. L.; MORAES, F. R.; FUJIMOTO, R. Y.; NOMURA, D. T.; FENERICK JUNIOR, J. **Respostas do híbrido tambacú (*Piaractus mesopotamicus* HOLMBERG, 1887 macho X *Colossoma macropomum* CUVIER, 1818 fêmea) a estímulos simples ou consecutivos de captura**. Boletim do Instituto de Pesca, 2002.

MASCARENHAS, M. C.; CASTANHA, A. P. . **A Construção da Itaipu e os Reflexos na Educação de Foz do Iguaçu**. In: 4º Seminário Nacional Estado e Políticas Sociais, 2009, Cascavel. 4º Seminário Nacional Estado e Políticas Sociais: Políticas Sociais na América Latina, 2009.

MELLO, Nilvania A. de. Relação entre a fração mineral do solo e qualidade de sedimentos – o solo como fonte de sedimentos. In: POLETO, Cristiano; MERTEN, Gustavo H. (Org.). **Qualidade dos Sedimentos**. Porto Alegre: ABRH. 2006, p. 39-134.

MENEZES, Jorge – ABRAPPESQ – **Associação Brasileira dos Pisicultores e Pesqueiros.** Jundiaí – SP, 2003. Disponível em: <http://www.abrappesq.com.br/materia1.htm>. Acesso em: 06 de Julho de 2017.

MINEROPAR. Minerais do Paraná S.A. **Geoquímica de solo** – Horizonte B: Relatório final de projeto. Curitiba: Mineropar, 2005.

MIRANDA, M. B. **A Empresa Binacional Itaipu**. Revista Virtual Direito Brasil, v. 2, p. 1-30, 2008

MIRANDA, G. A. **Transporte Eletrocinético de Cromo em Sedimentos da Baía de Guanabara**, 2008, Dissertação de mestrado – Pontifica Universidade Católica do Rio de Janeiro – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da PUC- Rio, Rio de Janeiro, 2008.

NASCIMENTO, F.; OLIVEIRA, M. D.; **Avaliação da Produtividade do Cultivo de Cachara (Pseudoplatystoma fasciatum) em Tanques-Rede no Pantanal**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (Embrapa Pantanal),v. 122,p. 1-22-,n. 2013.

OGA, S.; CAMARGO, M. M. A.; BATISTUZZO, J. A. O. **Fundamentos de toxicologia**. 3.ed. São Paulo: Atheneu, 2008, 690p.

OLIVEIRA, M. R. **Investigação da Contaminação por Metais Pesados da Água e do Sedimento de Corrente nas margens do Rio São Francisco e tributários, a jusante da Represa da Cemig, no Município de Três Marias, Minas Gerais.** Tese (Doutorado em Geologia). Belo Horizonte – MG. 2007

OLIVEIRA, R. J. **Implantação de tanques-rede para cultivo de peixes no reservatório da hidrelétrica de Itaipu.** 2010. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Ambiental – Faculdade Dinâmica das Cataratas (UDC), Foz do Iguaçu - PR, 2010.

OMS- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE 1998. **Elementos Traço na Nutrição e Saúde Humanas**. S.P. Editora Roca Ltda.

ONO, E. A.; KUBITZA, F. **Cultivo de peixes em tanques-rede**. 3ª .ed. Jundiaí, 2003. 41 p.
OSTRENSKY, A.; PESTANA, D.; CASTILHO, G. G.; BORGHETTI, J. R.; PEREIRA, L. A.; CHAMMAS, M.; PIE, M. R.; BOSCARDIN, N. R.; PILCHOWSKI, R. W.; SILVA, U. A. T.; BOEGER, W. A. **Aquicultura no Brasil:** O Desafio é crescer. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO, p.275, 2008.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de Análise Química de Solo e Controle de Qualidade**. IAPAR, p. 12-14, Londrina, PR, 1992.

PLETSCH, A. L. **Interação da Matéria Orgânica com Íons Cu (II) no Sedimento e a Disponibilização de Metais para o Meio Aquático - Represa de Itaipu, Paraná**. Dissertação (Mestrado em Química Ambiental). Universidade Estadual de Londrina – PR, 2002.

POLETO, C. **Qualidade dos Sedimentos.** Porto Alegre: ABRH, 2006, 397 p.

POLETO, Cristiano; LAURENTI, Ariane. Sedimentos urbanos e corpos d'água. In: POLETO, Cristiano (Org.). **Ambiente e Sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, 2008, p. 109–148.

PORTO, R. L. L., BRANCO, S. M., CLEARY, R. W., COIMBRA, R. M., EIGER, S., LUCA, S. J., NOGUEIRA, V. P. Q.; PORTO, M .F. A. **Hidrologia Ambiental**, 3º ed. Edusp, São Paulo, 1991, 414 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FOZ DO IGUAÇU. Disponível em: <http://www.pmfi.pr.gov.br/ArquivosDB?idMidia=62490>. Acesso em: 19 de dezembro de 2017.

QUEIROZ, M. T. A. **Bioacumulação de metais pesados na bacia do rio Piracicaba, Minas Gerais, aplicando a Análise por Ativação Neutrônica Instrumental**. 2006. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, UNILESTEMG, 2006.

RAMOS, I. P. **Impactos de pisciculturas em tanques-rede sobre a ictiofauna da represa de Chavantes:** alimentação, parasitas e bromatologia. 2011. 75 f. Tese

(Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

REYNOLDS, C. S. DAVIES, P. S. Sources and bioavailability of phosphorus fractions in freshwaters: a british perspective. **Biology Review**, v.76, p.27-64, 2001.

RIBANI, M.; BOTOLLI, C. B. G.; COLLIN, C. H.; JARDIM, I. C. S. F.; MELO, L. F. C. Validação em Métodos Cromatográficos e Eletroforéticos. **Química Nova**, v. 27, n° 5, p. 771-780. 2004.

RONCONI, T. A.; FRIGO, E. P.; BASTOS, R. K.; AZEVEDO, K. D.; GATINE, S.; ZANON, E. **Caracterização do sedimento de fundo, avaliação da qualidade da água e medição da vazão no Arroio Ouro Verde, Foz do Iguaçu - PR.** In: III Congresso Internacional de Sustentabilidade, 2010, Foz do Iguaçu. Desenvolvimento Rural Sustentável, Turismo e Meio Ambiente, 2010.

SANTOS, A. A.; RANZANI-PAIVA, M. J. T.; FELIZARDO, N. N. *et al.* Análise histopatológica de fígado de tilápia-do-Nilo, Oreochromis niloticus, criada em tanque-rede na represa de Guarapiranga, São Paulo, Brasil. **Boletim do Instituto da Pesca**, v.30, n.2, 2004.

SCHROPP, S. J.; LEWIS, F. G.; WINDOW, H. L.; RYAN, J. D.; CALDER, F. D.; BURNEY, L. C. Interpretation of metal concentrations in estuarine sediments of Florida using aluminum as a reference element. **Estuaries**, v. 13, p. 227-235. 1990.

SILVA, J. M. A. **Características reprodutivas de Curimba (*Prochilodus lineatus*), Pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e Piracanjuba (*Brycon orbignyanus*).** 75 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2007.

SIQUEIRA, G. W.; LIMA, W. N.; MENDES, A. S.; APRILE, F. M.; BRAGA, E. S.; MAHIQUES, M. M. Evolução do impacto ambiental causado por matéria orgânica, mercúrio e arsênio nos sedimentos de fundo do Sistema Estuarino de Santos. **Geochimica Brasiliensis**, v. 18, p. 54-63, 2004.

SOETHE, F. **Avaliação da utilização das marcas PIT TAG e DART TAG em espécies de peixes nativos da bacia do rio Paraná**. 2011. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Ambiental – Faculdade Dinâmica das Cataratas (UDC), Foz do Iguaçu - PR, 2011.

TAVARES-DIAS, M.; MORAES, F.R. Biochemical parameters for *Piaractus mesopotamicus, Colossoma macropomum* (Characidae) and hybrid Tambacu (*P. mesopotamicus* X *C. macropomum.* **Ci. Anim., Bras.,** Goiânia, v. 11, n. 2, p. 363-368, abr./jun. 2010.

TOMAZELLI, Andréa Cristina. **Estudo comparativo das concentrações de cádmio, chumbo e mercúrio em seis bacias hidrográficas do Estado de São Paulo.** 2003. 144f. Tese (Doutorado em Biologia Comparada), Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2003.

ULUOZLU,O. D.; TUZEN, M., MENDIL, D. *et al.* Trace metal content in nine species of fish from the Black and Aegean Seas, Turkey. **Food Chemistry**, v.104, n.2, 2007.

URBINATI, E.C.; GONÇALVES, F.D. Pacu (Piaractus mesopotamicus). In: BALDISSEROTO, B.; GOMES, L.C. (Orgs.) **Espécies nativas para a piscicultura no Brasil.** Santa Maria: UFSM, p.225-255, 2005.

VILLA, Maria Estela Casale Dalla. **Concentração de metais em sedimentos na bacia hidrográfica do município de Umuarama / PR**. Revista Espaço Acadêmico (UEM), v. 11, p. 127-135, 2011.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 1996.

W.H.O. **Guidelines for drinking-water quality** (1996). Healt criteria and other supporting information. 2ª Edição, v. 2. World Health Organization, Genebra.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – TABELA DE CORRELAÇÃO PARA ÍONS METÁLICOS DO SEDIMENTO DE ENTRE RIOS DO OESTE E DE FOZ DO IGUAÇU

Variable	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Pb	Zn
Al	1,000000	-0,329492	-0,320522	0,575414	-0,178549	0,280833	0,324032	0,098646	0,439055
Cd	-0,329492	1,000000	0,285518	-0,180640	0,336053	-0,168346	-0,278023	0,018373	-0,289898
Cr	-0,320522	0,285518	1,000000	-0,318258	0,339098	-0,111770	-0,306958	0,059856	-0,215126
Cu	0,575414	-0,180640	-0,318258	1,000000	-0,607463	0,747810	0,812065	0,164356	0,860737
Fe	-0,178549	0,336053	0,339098	-0,607463	1,000000	-0,664330	-0,655059	-0,309425	-0,577923
Mg	0,280833	-0,168346	-0,111770	0,747810	-0,664330	1,000000	0,741033	0,161308	0,722506
Mn	0,324032	-0,278023	-0,306958	0,812065	-0,655059	0,741033	1,000000	0,198837	0,711500
Pb	0,098646	0,018373	0,059856	0,164356	-0,309425	0,161308	0,198837	1,000000	0,211488
Zn	0,439055	-0,289898	-0,215126	0,860737	-0,577923	0,722506	0,711500	0,211488	1,000000

APÊNDICE 2 – TABELA DE CORRELAÇÃO PARA ÍONS METÁLICOS DO SEDIMENTO DE ENTRE RIOS DO OESTE

Variable	pH	MO	COT	PT	A+S	AREIA	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Pb	Zn
pH	1,000000	0,454264	0,453761	0,721114	-0,44158	0,44158	-0,588761	0,233235	0,605990	-0,396117	-0,454290	-0,043889	0,102976	0,536020	-0,146860
MO	0,454264	1,000000	0,999994	0,299362	-0,14975	0,14975	0,082742	0,086310	0,228351	0,346100	-0,011506	0,122856	0,434550	0,367542	0,138664
COT	0,453761	0,999994	1,000000	0,299601	-0,14880	0,14880	0,082190	0,085682	0,227260	0,345813	-0,011776	0,120955	0,434076	0,366541	0,138483
PT	0,721114	0,299362	0,299601	1,000000	-0,49520	0,49520	-0,647557	0,620888	0,699342	-0,475885	-0,337027	-0,344603	-0,064431	0,526789	-0,361781
A+S	-0,441584	-0,149750	-0,148798	-0,495199	1,00000	-1,00000	0,291987	-0,305734	-0,571194	0,359884	0,116964	-0,204694	0,176105	-0,496134	-0,034207
AREIA	0,441584	0,149750	0,148798	0,495199	-1,00000	1,00000	-0,291987	0,305734	0,571194	-0,359884	-0,116964	0,204694	-0,176105	0,496134	0,034207
Al	-0,588761	0,082742	0,082190	-0,647557	0,29199	-0,29199	1,000000	-0,114393	-0,629512	0,789663	0,670096	0,113779	0,137955	-0,090729	0,362224
Cd	0,233235	0,086310	0,085682	0,620888	-0,30573	0,30573	-0,114393	1,000000	0,403472	-0,096024	0,128284	-0,243575	-0,054651	0,403697	-0,310254
Cr	0,605990	0,228351	0,227260	0,699342	-0,57119	0,57119	-0,629512	0,403472	1,000000	-0,493644	-0,493485	0,294586	-0,026672	0,487549	-0,247073
Cu	-0,396117	0,346100	0,345813	-0,475885	0,35988	-0,35988	0,789663	-0,096024	-0,493644	1,000000	0,802847	0,083810	0,321071	-0,096484	0,634452
Fe	-0,454290	-0,011506	-0,011776	-0,337027	0,11696	-0,11696	0,670096	0,128284	-0,493485	0,802847	1,000000	-0,163076	0,096196	-0,066878	0,553587
Mg	-0,043889	0,122856	0,120955	-0,344603	-0,20469	0,20469	0,113779	-0,243575	0,294586	0,083810	-0,163076	1,000000	0,186345	-0,073456	0,280460
Mn	0,102976	0,434550	0,434076	-0,064431	0,17611	-0,17611	0,137955	-0,054651	-0,026672	0,321071	0,096196	0,186345	1,000000	0,000176	-0,070144
Pb	0,536020	0,367542	0,366541	0,526789	-0,49613	0,49613	-0,090729	0,403697	0,487549	-0,096484	-0,066878	-0,073456	0,000176	1,000000	-0,135842
Zn	-0,146860	0,138664	0,138483	-0,361781	-0,03421	0,03421	0,362224	-0,310254	-0,247073	0,634452	0,553587	0,280460	-0,070144	-0,135842	1,000000

APÊNDICE 3 – TABELA DE CORRELAÇÃO PARA ÍONS METÁLICOS DO SEDIMENTO DE FOZ DO IGUAÇU

Variable	pH	MO	COT	PT	A+S	AREIA	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Pb	Zn
pH	1,000000	0,172765	0,173116	-0,310263	-0,35528	0,35528	-0,219885	0,256465	0,242283	0,351104	0,338373	0,185723	0,027219	0,071281	0,161604
MO	0,172765	1,000000	0,999996	-0,371734	-0,55399	0,55399	0,527856	0,203964	0,057325	0,693892	0,430171	0,695359	0,337510	-0,062201	0,363146
COT	0,173116	0,999996	1,000000	-0,372527	-0,55369	0,55369	0,528003	0,204183	0,057040	0,693602	0,430001	0,695257	0,337051	-0,061880	0,363219
PT	-0,310263	-0,371734	-0,372527	1,000000	0,65893	-0,65893	-0,448654	0,010290	-0,275143	-0,567701	-0,553280	-0,072111	-0,252575	-0,160660	-0,411374
A+S	-0,355278	-0,553995	-0,553693	0,658933	1,00000	-1,00000	-0,517446	0,169365	-0,365658	-0,639898	-0,570433	-0,252987	-0,537058	0,041450	-0,426249
AREIA	0,355278	0,553995	0,553693	-0,658933	-1,00000	1,00000	0,517446	-0,169365	0,365658	0,639898	0,570433	0,252987	0,537058	-0,041450	0,426249
Al	-0,219885	0,527856	0,528003	-0,448654	-0,51745	0,51745	1,000000	-0,556905	0,161608	0,387986	0,094397	0,133011	0,330592	0,221210	0,493595
Cd	0,256465	0,203964	0,204183	0,010290	0,16937	-0,16937	-0,556905	1,000000	0,108346	0,191559	0,335885	0,560620	-0,248467	-0,191213	-0,077152
Cr	0,242283	0,057325	0,057040	-0,275143	-0,36566	0,36566	0,161608	0,108346	1,000000	0,272961	0,211315	0,276538	-0,124273	-0,088818	0,220594
Cu	0,351104	0,693892	0,693602	-0,567701	-0,63990	0,63990	0,387986	0,191559	0,272961	1,000000	0,545727	0,637689	0,401097	-0,221891	0,636546
Fe	0,338373	0,430171	0,430001	-0,553280	-0,57043	0,57043	0,094397	0,335885	0,211315	0,545727	1,000000	0,327825	0,623138	-0,157644	0,384382
Mg	0,185723	0,695359	0,695257	-0,072111	-0,25299	0,25299	0,133011	0,560620	0,276538	0,637689	0,327825	1,000000	0,036093	-0,292265	0,244843
Mn	0,027219	0,337510	0,337051	-0,252575	-0,53706	0,53706	0,330592	-0,248467	-0,124273	0,401097	0,623138	0,036093	1,000000	-0,287596	0,285527
Pb	0,071281	-0,062201	-0,061880	-0,160660	0,04145	-0,04145	0,221210	-0,191213	-0,088818	-0,221891	-0,157644	-0,292265	-0,287596	1,000000	0,037805
Zn	0,161604	0,363146	0,363219	-0,411374	-0,42625	0,42625	0,493595	-0,077152	0,220594	0,636546	0,384382	0,244843	0,285527	0,037805	1,000000