

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM CONSERVAÇÃO E
MANEJO DE RECURSOS NATURAIS – NÍVEL MESTRADO

MARCELO BEVILACQUA REMOR

HISTÓRICO DE CONTAMINAÇÃO POR ELEMENTOS-TRAÇO NA PLANÍCIE
ALUVIAL DO ALTO RIO PARANÁ

CASCATEL- PR
FEVEREIRO – 2013

MARCELO BEVILACQUA REMOR

HISTÓRICO DE CONTAMINAÇÃO POR ELEMENTOS-TRAÇO NA PLANÍCIE
ALUVIAL DO ALTO RIO PARANÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Conservação e Manejo de Recursos Naturais – Nível Mestrado, do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial a obtenção do título de Mestre em Conservação e Manejo de Recursos Naturais

Área de Concentração: Conservação e Manejo de Recursos Naturais

Orientador: Dr. Silvio César Sampaio

Coorientadoras: Dr^a. Sandra Regina Damatto

Dr^a. Zuleica Carmem Castilhos

CASCADEL- PR
FEVEREIRO – 2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central do Campus de Cascavel – Unioeste
Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

R324h Remor, Marcelo Bevilacqua
Histórico de contaminação por elementos-traços na planície aluvial
do Alto Rio Paraná / Marcelo Bevilacqua Remor — Cascavel, PR:
UNIOESTE, 2013.
25 p.

Orientador: Prof. Dr. Silvio César Sampaio
Co-orientadora: Profa. Dra. Sandra Regina Damatto
Co-orientadora: Profa. Dra. Zuleica Carmem Castilhos
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do
Paraná.
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Conservação e
Manejo de Recursos Naturais, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde.
Bibliografia.

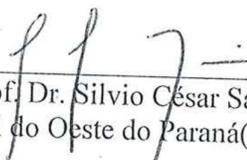
1. Metais pesados. 2. Isótopo²¹⁰Pb. 3. Paleolimnologia. 4. Sedimento
lacustre. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21.ed. 551

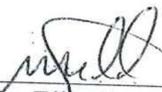
MARCELO BEVILACQUA REMOR

HISTÓRICO DE CONTAMINAÇÃO POR ELEMENTO-TRAÇO NA PLANÍCIE
ALUVIAL DO ALTO RIO PARANÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação stricto sensu em Conservação e Manejo de Recursos Naturais-Nível de Mestrado, do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Conservação e Manejo de Recursos Naturais, pela comissão Examinadora composta pelos membros:



Prof. Dr. Silvio César Sampaio
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Presidente/Orientador)



Prof. Dr. Eløy Lemos de Mello
Universidade estadual do Oeste do Paraná



Prof. Dr. Cristiano Poletto
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Aprovada em 19 de Fevereiro de 2013.

Local da defesa: Unioeste, Prédio de Salas de Aula, sala 56, Cascavel-PR.

DEDICATÓRIA

Aos meus familiares, em especial a minha mãe Rosane Bevilacqua e aos meus avós Laurindo Angelim Bevilacqua e Albina Bevilacqua que sempre me apoiaram incondicionalmente em todas as etapas da minha vida.

Vocês serão, sempre, meus exemplos.

AGRADECIMENTOS

Em geral a exatidão da ciência não permite o caminho da fé ou da crença. Por outro lado, o que seria de nós no dia a dia sem estes momentos? Por isso meu Deus, lhe agradeço pela saúde, pelo amor que tive durante este trabalho, os insucessos (pois com eles aprendi, cresci e me tornei um homem melhor), por cada barreira que aparecia em meu caminho, as quais algumas vezes me fizeram cair mas, em seguida, sem deixar me abater, eu levantava, erguia a cabeça e ia em frente até chegar este dia...

Ao meu orientador Dr. Silvio César Sampaio que neste período de convivência sempre me apoiou e deu liberdade para que eu fizesse o que achasse mais interessante. A ele serei eternamente grato pelos ensinamentos, conversas e “puxões de orelha” que muito contribuíram para a minha formação científica, profissional e pessoal.

As coorientadoras Dr^a. Sandra Regina Damatto e Dr^a. Zuleica Carmem Castilhos pelas análises e pelos ensinamentos passados.

A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior pela bolsa de estudo.

A todos integrantes do 5º Grupamento do Corpo de Bombeiros do Paraná em especial ao Sargento Raimundo Aparecido de Souza e ao Soldado Maycon Leandro Cardoso Peixe. Ao Dr. José Stevaux pelo auxílio na coleta do material analisado.

A meus caros professores que construíram este trabalho comigo, que supriram minhas deficiências, que com muita paciência propuseram novos rumos e que ensinaram como se faz ciência, nesse momento peço-lhes humildemente desculpas por aquilo que consciente e ou inconscientemente fiz e que possa ter desagradado ou chateado, mas infelizmente as relações humanas produzem fatos desta natureza.

Aos Professores componentes da banca examinadora, Dr. Cristiano Poletto e Dr. Eloy Lemos de Mello, por terem aceitado o convite de participar e contribuir com seus conhecimentos para melhoria do trabalho.

Aos amigos conquistados ao longo da vida, por todas os momentos alegres que passamos juntos e os momentos de dificuldades que não seriam superados sem os vossos apoio.

A Universidade Estadual do Oeste do Paraná, pela oportunidade de realizar o mestrado de qualidade e com destaque no mercado de trabalho.

*A todos que estão nestas linhas e a alguém que eventualmente posso ter esquecido,
MUITO OBRIGADO!*

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	6
INTRODUÇÃO.....	7
MATERIAL E MÉTODOS.....	9
RESULTADOS.....	13
DISCUSSÃO.....	18
CONCLUSÃO.....	21
REFERÊNCIAS.....	22

Este artigo está de acordo com as normas da revista Journal of Soils and Sediments.

Disponível em: <http://www.springer.com/environment/soil+science/journal/11368>

RESUMO

Objetivo: Investigar a evolução temporal do fornecimento de elementos-traço, identificando tendências na concentração histórica da bacia de drenagem da Planície Aluvial do Alto Rio Paraná. **Material e Método:** Os *corers* extraídos da Lagoa dos Patos e na Lagoa das Garças foram fatiados em intervalos uniformes de 2,2 e 2,0 cm respectivamente. Posteriormente foi realizada a análise geocronológica pelo método radioquímico do isótopo ^{210}Pb . A quantificação do elemento Mercúrio foi realizada com o equipamento LUMEX. Enquanto os demais elementos-traço foram quantificados por meio de absorção atômica de chama, com abertura seguindo o método USEPA 3050B. **Resultados:** A taxa de sedimentação da Lagoa das Garças é de $7,7 \text{ mm ano}^{-1}$ ($2,66 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$) e da Lagoa dos Patos é de $6,0 \text{ mm ano}^{-1}$ ($1,94 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$). **Conclusão:** Os sedimentos das Lagoas dos Patos e da Lagoa das Garças possuem concentrações de elementos-traço semelhantes aos valores de referência. O principal fator que regula o fornecimento de elementos-traço na planície aluvial do Alto Rio Paraná são os pulsos de inundação, que podem ser magnificados pelo fenômeno climático *El Niño*. A queima da cana-de-açúcar, aumento da agropecuária, urbanização e lançamento de efluentes de siderúrgicas contribuíram para o aumento da concentração de alguns elementos-traço. Enquanto a adsorção por macrofitas aquáticas e o processo de oligotrofização, causado pelas barragens a montante da planície aluvial, acarretaram na redução da concentração de outros elementos.

Palavras chaves: Metais pesados; Isótopo ^{210}Pb ; Sedimento lacustre; Paleolimnologia;

ABSTRACT

Objective: Investigate the temporal evolution of the supply of trace elements, identifying trends in the historical concentration of the drainage basin of the Upper Paraná River Floodplain. **Material and Methods:** The corers extracted of the Patos' Pond and the Garças' Pond were sliced into uniform intervals of 2.2 and 2.0 cm respectively. Later the geochronological analysis was performed by the method radiochemical of isotope ^{210}Pb . The quantification of element Mercury was performed with the equipment LUMEX. While the others trace elements were quantified by flame atomic absorption spectrometry, opening following the Method USEPA 3050B. **Results:** The sedimentation rate of the Garças' Pond is 7.7 mm year^{-1} ($2.66 \text{ kg m}^{-2} \text{ year}^{-1}$) and of the Patos' Pond is 6.0 mm year^{-1} ($1.94 \text{ kg m}^{-2} \text{ year}^{-1}$). **Conclusion:** The sediments of the Patos' Pond and the Garças' Pond have concentrations of trace elements similar to the background. The main factor that regulates the supply of trace elements in the Upper Paraná River Floodplain is the flood pulses, which can be magnified by the El Niño phenomenon. The burning of cane sugar, increased agriculture, urbanization and release of effluents from steel mills contributed to the increase in the concentration of some trace elements. While the adsorption by macrophytes and process oligotrophication caused by damss upstream of the floodplain, resulted in the reduction of the concentration of other elements.

Keywords: Heavy metals; Isotope ^{210}Pb ; Lacustrine sediment; Paleolimnology;

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do Paraná é a terceira maior do Brasil, ocupa aproximadamente 10% do território brasileiro. Abrange áreas dos estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina e do Distrito Federal. Na bacia está concentrada 30% da demanda de água do país e apenas 7% da disponibilidade hídrica. As principais fontes de degradação da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Paraná são: o esgoto doméstico, 56% não passam por tratamento antes do descarte nos mananciais (ANA 2010); disposição inadequada de resíduos sólidos, a região concentra 32% da população nacional (ABRELPE, 2011); poluição industrial, principalmente nas cabeceiras, como no Alto Tietê que abriga 40% dos estabelecimentos industriais do País e na bacia do rio Piracicaba, o segundo polo industrial do País e o maior complexo siderúrgico da América Latina; desmatamento, manejo inadequado do solo e atividades agropecuárias; e aproveitamento hidroelétrico, nela encontram-se 60% da capacidade instalada de energia elétrica do país, com destaque para a Usina Hidrelétrica de Itaipu. A montante da planície aluvial do Alto Rio Paraná existem 27 usinas hidrelétricas operando (ANA, 2012).

A planície aluvial do Alto Rio Paraná se localiza no segmento entre o lago do reservatório da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera, a região superior do rio Ivinhema e o início do reservatório da Usina Hidrelétrica de Itaipu em Guaíra (22° 32' S e 22° 59' S) e (53° 08' W a 53° 40' W, 250 m de altitude) (Campos e Costa-Filho 1994) (Figura 1). A planície aluvial do Alto Rio Paraná é o último trecho do rio Paraná, em território brasileiro, onde ainda existe um ecossistema com interação rio-planície de inundação (Junk et al. 1989, Neiff 1990).

A planície aluvial do Alto Rio Paraná possui considerável variabilidade de habitats, conservando grande diversidade de espécies terrestres e aquáticas, sendo o pulso de inundação considerado o principal fator que regula a estrutura das comunidades e o funcionamento deste ecossistema. Embora alterado pela operação dos reservatórios de usinas hidrelétricas a montante, os ciclos hidrossedimentológicos ainda respeitam certa sazonalidade, contribuindo para a manutenção de várias espécies adaptadas a esse ecossistema (Agostinho e Zaleswiski 1996, Thomaz et al. 1997). A sazonalidade dos pulsos de inundação é influenciada principalmente fenômeno climático El Niño, que

aumenta a precipitação na bacia de drenagem da planície aluvial do Alto Rio Paraná (Rao e Hada 1990, Grimm et al. 1998).

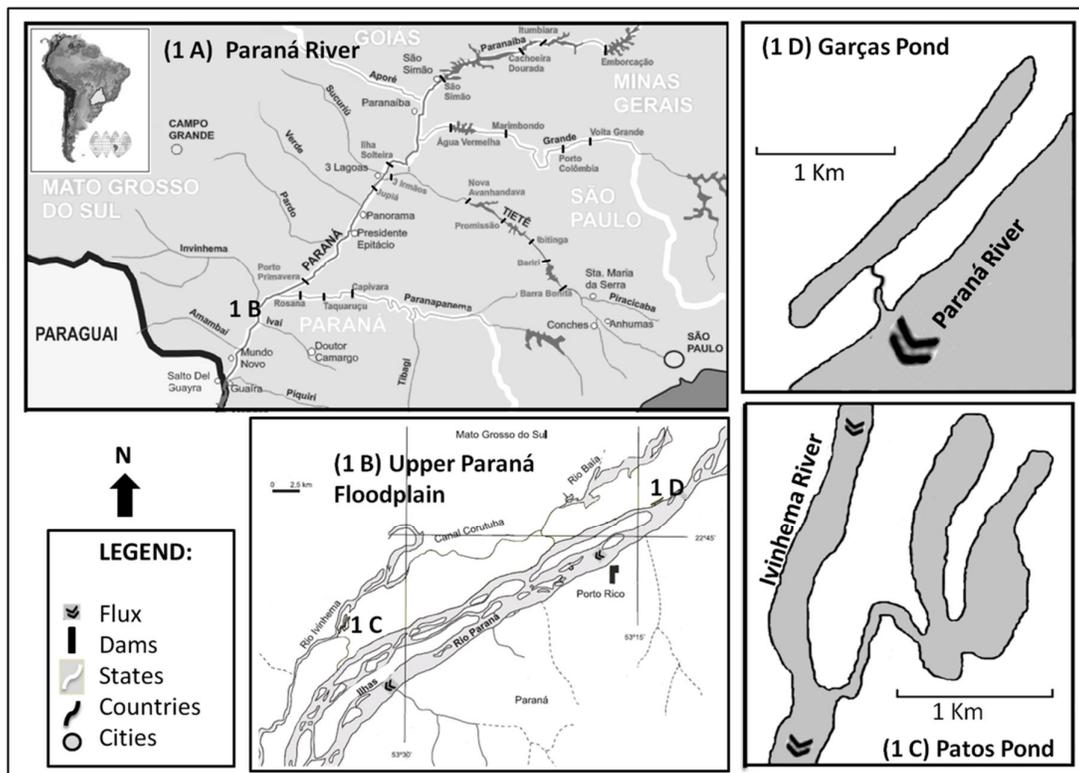


Figura 1 – Localização da área de estudo. 1 A: Bacia de drenagem do rio Paraná; 1 B: Planície Aluvial do Alto Rio Paraná; 1 D Lagoa das Garças; 1 C Lagoa dos Patos.

Devido suas características singulares a planície aluvial do Alto Rio Paraná é alvo de intensos estudos desde 1980, principalmente de cunho ecológico e taxonômico das diversas comunidades, fitoplâncton (Borges e Train 2009; Rodrigues et al. 2009), zooplâncton, (Pauleto et al. 2009) perifiton, (Algarte et al. 2009; Murakami et al. 2009) macroinvertebrados bentônicos, (Garcia et al. 2010; Mormul et al. 2011) ictiofauna (Silva et al. 2008; Abujanra et al. 2009), macrófitas aquáticas (Mormul et al. 2010; Ferreira et al. 2011) aves (Mendonca et al. 2009; Gimenes e Anjos 2011), estudos geomorfológicos (Martins et al. 2009; Stevaux et al. 2009) e hidrológicos (Rocha 2010). Entretanto poucos estudos foram desenvolvidos sobre a concentração de elementos-traço na região. Entre estes, sobre o tema de estudo, se destaca os desenvolvidos por Moraes et al. (1997) que realizaram estudo sobre a concentração de Mercúrio em peixes e Lenzi et al. (1997) que analisaram a concentração de Cobre no sedimento, água e em macrófitas aquáticas.

Os estudos existentes na planície aluvial do Alto Rio Paraná sobre a concentração de elementos-traço possuem curta duração. Estes estudos não proporcionam a obtenção de valores de referência (*background*), muito menos o espectro do fornecimento de elementos-traço e possível alteração na sua concentração, devido à evolução das atividades antrópicas na bacia de drenagem. Essas informações podem ser obtidas aplicando-se técnicas de geocronologia. Dentre as técnicas, a determinação do isótopo ^{210}Pb se destaca para a datação de frações sedimentadas em períodos recentes, menores que 150 anos (Walling and He 1997;. Terry et al. 2006).

O isótopo ^{210}Pb é utilizado em estudos sobre dinâmicas de sedimentação, fornecimento de nutrientes e contaminantes em ambientes como lagos (Mortensen et al. 2004; Trabelsi et al. 2012), mares (Barsanti et al. 2011; Basile et al. 2011), estuários (Díaz-Asencio et al. 2009), e planícies aluviais (Tamtam et al. 2011; Navratil et al. 2012). Em planícies aluviais a sedimentação regula o acúmulo de nutrientes e contaminantes nos ambientes sazonalmente inundados pelos pulos de inundação. Isto causa enriquecimento e remobilização de elementos traços para o sistema, em eventos futuros (Walling e Owens 2003). As planícies aluviais são sistemas singulares, pois possuem características climáticas e geomorfológicas distintas uma das outras, além das ações antrópicas que ocorrem em sua bacia de drenagem. Desta forma torna-se necessária a investigação sobre as dinâmicas de sedimentação, fornecimento de nutrientes e contaminantes em todas elas.

O estudo é solicitado pela ausência de conhecimento sobre a geoquímica dos registros sedimentares recentes na Planície Aluvial do Alto rio Paraná e a consequente falta de conhecimento sobre a variabilidade do fornecimento de elementos-traço ao longo do tempo. Neste sentido, o objetivo foi investigar a evolução temporal do fornecimento de elementos-traço, identificando tendências na concentração histórica da bacia de drenagem da Planície Aluvial do Alto Rio Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O clima da planície aluvial do Alto Rio Paraná é classificado segundo Köppen como Cfa, tropical-subtropical, com temperatura média anual de 22° C e precipitação média anual de 1500 mm.

A vegetação original da região é floresta estacional semidecidual que foi reduzida a pequenos fragmentos localizados em áreas próximas ao rio Paraná e suas ilhas. A paisagem da planície aluvial do Alto Rio Paraná é um mosaico complexo que inclui remanescentes florestais, trechos de vegetação ciliar, florestas de pântano, pomares de buriti, vegetação arbustiva, pastagens e zonas úmidas. Além dos segmentos de grandes rios como o Paraná, Ivinhema e Baía, sendo este último situado completamente dentro da planície de inundação, são encontrados na região lagos de várzea, canais secundários, mais de 100 ilhas, praias arenosas e pantanosas (Campos e Souza 1997).

Os *corers* de sedimentos foram extraídos da Lagoa das Garças e da Lagoa dos Patos (Figura 1).

A Lagoa das Garças (22° 43' 30,7'' S e 53° 18' 15,5'' W) está localizada no lado direito do rio Paraná, com a qual está conectada permanentemente por um canal. A lagoa possui aproximadamente 150 m de largura e 2000 m de comprimento, 0,3 Km² de área e profundidade média de 2,5 m (Rodrigues et al. 2002). No local de coleta a profundidade da coluna da água era de 3,5 m. A Lagoa dos Patos (22° 49' 30,64'' S e 53° 33' 12'' W) está localizada na margem esquerda do rio Ivinhema, ambos permanentemente ligados por um canal. A lagoa possui área de 1,14 km² e profundidade entre 2,8 e 4,8 m (Souza Filho e Stevaux 1997). A profundidade da coluna da água no ponto de coleta era de 4,5 m.

Coleta das Amostras

A coleta dos *corers* de sedimentos foi realizada em outubro de 2011. Na região mais profunda de cada lagoa foi selecionado um metro quadrado, de onde foram extraídos seis *corers*. Os *corers* foram extraídos com auxílio de *handcorers* de *Polyvinyl chloride* (PVC), com 80 mm de diâmetro e 1,2 m de comprimento. Os *handcorers* foram cravados perpendicularmente ao sedimento e extraído com cautela pelos mergulhadores. Visando minimizar a deformação dos *corers*, imediatamente após a saída do *handcorers* do nível do sedimento, a extremidade inferior foi fechada com uma rolha.

Os seis *corers* de sedimento extraídos da Lagoa das Garças e na Lagoa dos Patos foram fatiados em intervalos uniformes de 2 cm e 2,2 cm, respectivamente, para a formação das sub-amostras. As sub-amostras foram secas a temperatura ambiente em local fechado, evitando a volatilização dos elementos-traço, em bandejas de poliestireno expandido minimizando a contaminação das amostras por outros metais. Após a secagem

as sub-amostras foram pesadas em balança de precisão para determinação da taxa de sedimentação.

Análise Cronológica

A análise cronológica dos *corers* de sedimento pelo isótopo ^{210}Pb foi realizada no Laboratório de Radiometria Ambiental do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, pelo método radioquímico, segundo Moreira et al. (2003).

A medição da atividade do isótopo ^{210}Pb foi utilizada para determinar as datas de formação de cada fatia do *corer* de sedimento das lagoas. A atividade do isótopo ^{210}Pb foi determinada somente nas sub-amostras ímpares dos *corers* de sedimento de cada ponto. A determinação das datas de sedimentação das sub-amostras pares foram calculadas pela média aritmética das sub-amostras ímpares, superior e inferior destas.

Análise dos Elementos-traço

As sub-amostras de sedimento foram peneiradas em peneira de PVC e náilon com malha de 63 μm . A determinação dos elementos-traço foi realizada na fração silte/argila (<63 μm) segundo recomendação da Organização Mundial da Saúde (WHO 1982).

A determinação dos elementos-traço Cálcio, Cádmiio, Cobalto, Cromo, Cobre, Potássio, Magnésio, Manganês, Sódio, Níquel, Chumbo e Zinco, foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica. A abertura das amostras e extração dos metais foi realizada mediante via úmida segundo o método 3050B da USEPA (1996), que é indicado para digestão de sedimento, lama e solos, o qual consiste basicamente de adição de ácido nítrico e peróxido de hidrogênio e retomada em ácido clorídrico a temperatura de 90°C.

A análise do elemento Mercúrio foi realizada com emprego do LUMEX, equipamento de absorção atômica portátil, acoplado a um reator de pirólise. O princípio analítico da determinação se baseia na destruição térmica da amostra seguida pela determinação da quantidade de vapor de mercúrio. Não há necessidade de pré-tratamento ácido da amostra. O limite de detecção do equipamento para amostras sólidas é de 5 ng g^{-1} (CASTILHOS et al. 2006). Visando a qualidade das análises, foram analisados materiais de referência certificado (sedimento marinho) como padrão de aferição do método de analítico utilizado. Os materiais de referência certificados e a porcentagem de recuperação estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados das análises da amostra certificada para aferição do método analítico utilizado e porcentagem de recuperação.

E	P	CRM	AC	CI	CF	R
Ca	0,5 ppm	IAEA 356	88,7 mg g ⁻¹	81,1 - 96,8	82,67 mg g ⁻¹	93,2 %
Cd	0,1 ppm	IAEA 356	4,47 µg g ⁻¹	4,32 - 4,77	4,2 µg g ⁻¹	94,0 %
Co	1,0 ppm	IAEA 356	15,00 µg g ⁻¹	14,1 - 16,4	14,3 µg g ⁻¹	95,3 %
Cr	0,5 ppm	IAEA 356	69,8 µg g ⁻¹	62,9 - 74,4	66,1 µg g ⁻¹	94,7 %
Cu	0,5 ppm	IAEA 356	365 µg g ⁻¹	351 - 375	356,6 µg g ⁻¹	97,7 %
Hg	5,0 ppb	IAEA 433	7,62 µg g ⁻¹	6,74 - 7,98	8,15 µg g ⁻¹	107 %
K	0,2 ppm	IAEA 356	12,6 mg g ⁻¹	9,35 - 13,9	12,2 mg g ⁻¹	96,8 %
Mn	1,0 ppm	IAEA 356	312 µg g ⁻¹	288 - 323	307,9 µg g ⁻¹	98,7 %
Na	0,1 ppm	IAEA 356	13,9 mg g ⁻¹	12,4 - 16,1	13,3 mg g ⁻¹	96,0 %
Ni	0,5 ppm	IAEA 356	36,9 µg g ⁻¹	35,1 - 40,1	35,8 µg g ⁻¹	97,0 %
Pb	1,0 ppm	IAEA 356	47,00 µg g ⁻¹	43,9 - 51,9	44,2 µg g ⁻¹	94,0 %
Zn	0,1 ppm	IAEA 356	117 µg g ⁻¹	91 - 206	112,3 µg g ⁻¹	96,0 %

E: Elemento; P: Precisão do método analítico adotado; CRM: Material de referência certificado (sedimento Marinho); AC: Concentração do material certificado; CI: Intervalo de Confiança do material certificado; CF: Concentração encontrada no material certificado com o método analítico adotado; R: Porcentagem de recuperação. Ca: Cálcio; Cd: Cádmiu; Co: Cobalto; Cr: Cromo; Cu: Cobre; K: Potássio; Mg: Magnésio; Mn: Manganês; Na: Sódio; Ni: Níquel; Pb: Chumbo; Zn: Zinco.

Análise dos dados

A análise prévia dos dados indica distribuição normal dos resíduos, assumindo-se o teorema de Limites Centrais. Amostras superiores a 25 pontos ($n \geq 25$) os dados são considerados com distribuição normal dos resíduos (Montgomery 2009). Os dados foram primeiramente analisados por meio de análise estatística descritiva, a partir de representação gráfica, tabelas e medidas de tendências centrais.

As taxas de sedimentação em mm ano⁻¹ e em kg m⁻² ano⁻¹ foram obtidas pelas equações 1 e 2, respectivamente.

$$Sr = \frac{C}{t} \quad \text{equação 1}$$

$$Sr = \frac{M}{A \times t} \quad \text{equação 2}$$

Onde,

Sr : Taxa de Sedimentação;

C : Profundidade do *corer* de sedimento em mm;

M : Massa do *corer* de sedimento em kg;

A : Área do *handcorer* em m²;

t : Tempo em anos.

Posteriormente os resultados da concentração de cada elemento-traço ao longo do tempo foram representados e avaliados pelo método estatístico Gráficos de Controle de Shewhart Individual. O Limite Superior de Controle (ULC) e o Limite Inferior de Controle (LCL) para cada elemento foi calculado segundo as equações 3 e 4, respectivamente.

$$UCL = \bar{X} + 3 \cdot \left(\frac{\overline{MR}}{d_2}\right) \quad \text{equação 3}$$

$$LCL = \bar{X} - 3 \cdot \left(\frac{\overline{MR}}{d_2}\right) \quad \text{equação 4}$$

Onde,

\bar{X} : Média dos dados;

\overline{MR} : Média da amplitude móvel dos dados;

d_2 : Constante quando usada uma amplitude móvel de $n=2$ ($d_2 = 1,128$) (Montgomery 2009)

RESULTADOS

A Figura 2 demonstra os resultados das datas pela profundidade do *corer* de sedimento. O *corer* de sedimento da Lagoa das Garças tem 76 cm e a análise cronológica por ²¹⁰Pb datou até 1912 (99 anos) e a taxa de sedimentação é de 7,7 mm ano⁻¹ (2,66 kg m⁻² ano⁻¹). O *corer* de sedimento da Lagoa dos Patos tem 84 cm e a análise cronológica por ²¹⁰Pb datou até 1876 (135 anos) e a taxa de sedimentação é de 6 mm ano⁻¹ (1,94 kg m⁻² ano⁻¹).

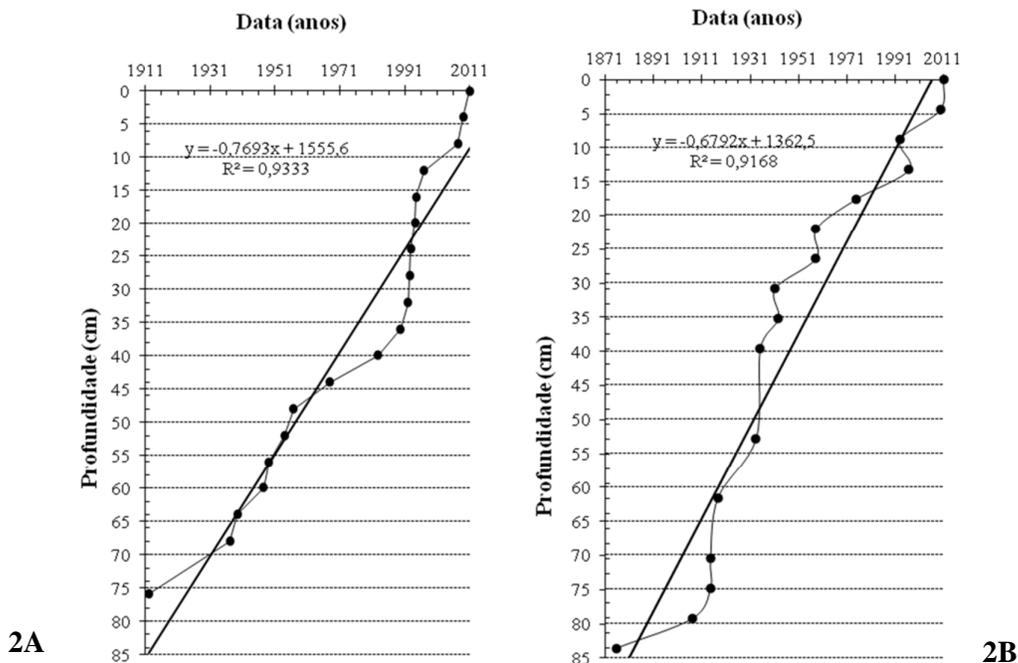


Figura 2 – Análise de datação por ^{210}Pb em função da profundidade do *corer* de sedimento. **2A:** Lagoa das Garças, **2B:** Lagoa dos Patos.

As concentrações mínimas e máximas (ppm) dos elementos-traço na Lagoa das Garças e na Lagoa dos Patos estão descritas na Tabela 2, juntamente com os Valores de Referência para o Rio Tietê (VRRT) proposto por Nascimento (2003) e os Níveis de Referências Geológicas Globais (NRGG), valores compilados por Turekaian e Wedepohl (1961). A concentração de Cádmiu na Lagoa das Garças ficou abaixo do limite de detecção da metodologia utilizada, exceto pela amostra sedimentada em 1991, cuja concentração foi de 0,043 ppm.

Tabela 2 – Concentração mínimas e máximas dos elementos-traço (ppm) na Lagoa dos Patos, na Lagoa das Garças.

Elementos	Lagoa das Garças		Lagoa dos Patos		VRRT	NRGG
	Min.	Max.	Min.	Max.		
Ca	3,71	48,75	11	60	*	22100
Cd	nd	0,043	0,64	1,72	0,22 ± 0,04	0,3
Co	19,7	33,45	36	83	22 ± 4	19
Cr	24,13	51,51	23	37	76 ± 64	90
Cu	37,82	79,12	67	109	52 ± 44	45
Hg	0,036	0,067	0,025	0,125	0,11 ± 0,04	0,4
K	2069	3998	610	1280	*	26600
Mg	2818	4268	1898	3103	*	15000
Mn	254	528	163	509	*	850
Na	195	747	409	791	*	9600
Ni	12	31	20,5	49	39 ± 17	68
Pb	17	39	7,5	22,4	42 ± 15	20
Zn	57	89	66	117	90 ± 22	95

*: valores inexistentes; **nd**: não detectado; **VRRT**: Valores de Referência para o Rio Tietê (ppm) proposto por Nascimento (2003) juntamente com o desvio padrão; **NRGG**: Níveis de Referências Geológicas Globais (ppm) valores compilados por Turekaiian e Wedepohl (1961).

Os valores da concentração dos elementos-traço na Lagoa das Garças e na Lagoa dos Patos ao longo do tempo, estão descritos nas figuras 3 e 4, respectivamente.

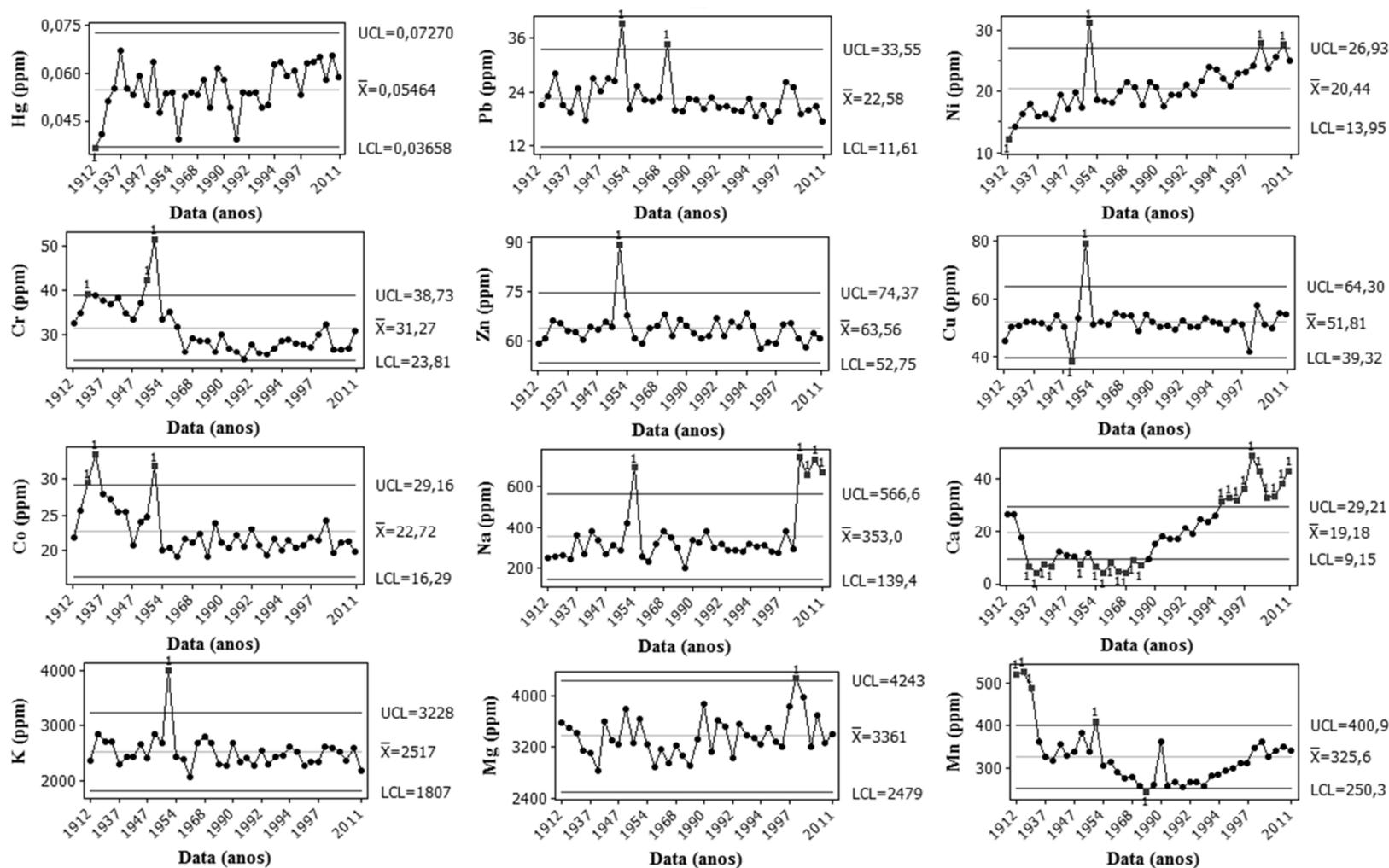


Figura 3 – Gráfico de Controle de Qualidade de Shewhart Individual da série histórica da concentração dos elementos-traço na Lagoa das Garças.

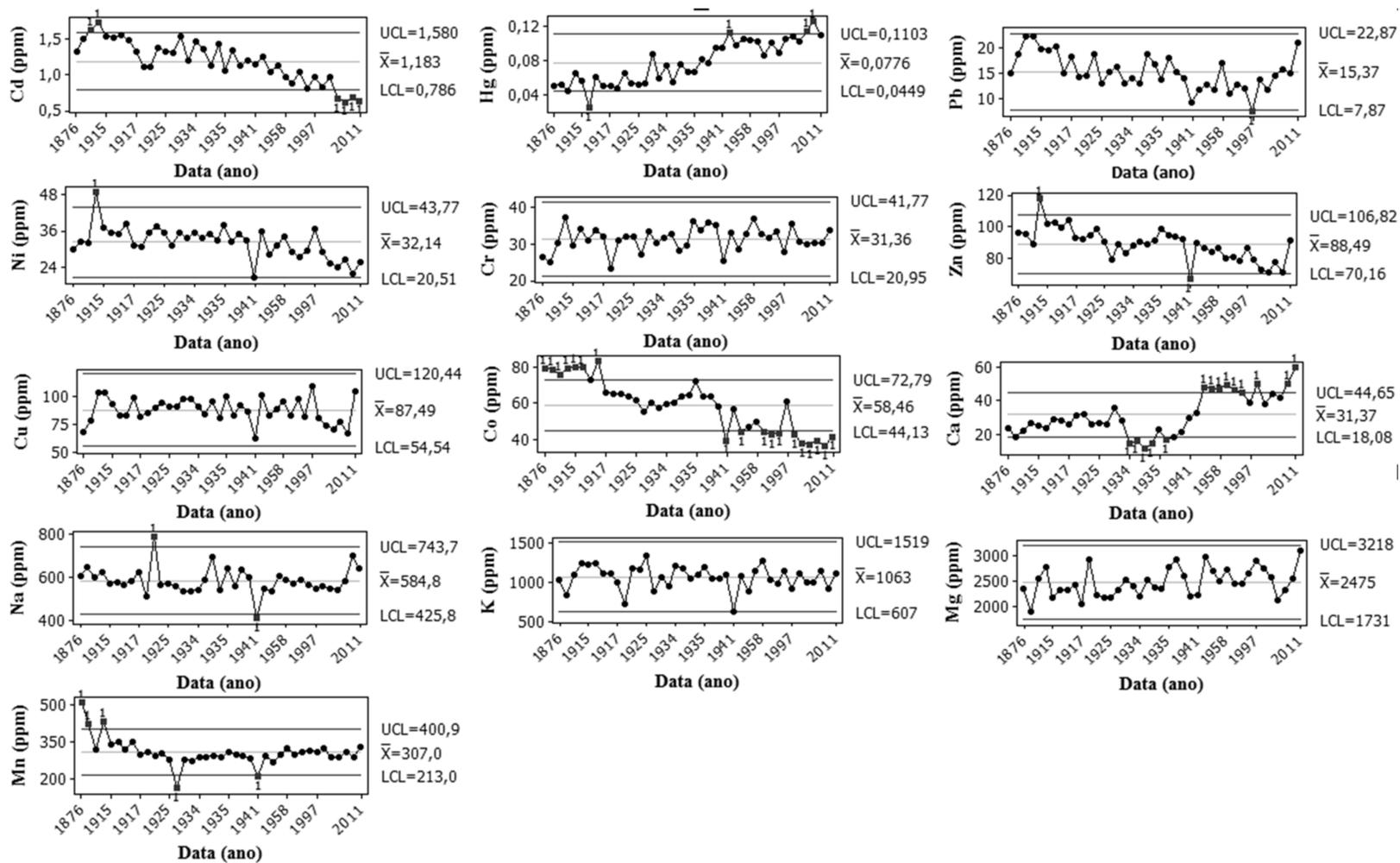


Figura 4 – Gráficos de Controle de Qualidade Shewhart Individual da série histórica da concentração dos elementos-traço na Lagoa dos Patos.

DISCUSSÃO

Os resultados das análises de datação dos *corers* de sedimento das duas lagoas ficaram dentro do período recomendado para análise com o radioisótopo ^{210}Pb , máximo 150 anos (Walling e He 1997; Terry et al. 2006) não havendo necessidade de extrapolar os dados por meio de modelagem estatística. Ambos os *corers* amostram material sedimentado datado do período pré-industrial brasileiro, anterior a 1937. Essas amostras podem ser consideradas *background* das atividades antrópicas (Förster et. al 1993).

As taxas de sedimentação obtidos nas duas lagoas, $7,7 \text{ mm ano}^{-1}$ na Lagoa das Garças e 6 mm ano^{-1} na Lagoa dos Patos, são coerentes com o estudo de Fávoro et al. (2006) que encontram taxa de sedimentação de $6,1 \text{ mm ano}^{-1}$ na Lagoa Salina do Meio ($0,126 \text{ km}^2$ de área) no Pantanal brasileiro, ambiente semelhante a planície aluvial do Alto Rio Paraná. Entretanto outros estudos no Pantanal brasileiro apresentam taxas de sedimentações menores, Godoy et al. (2002) encontraram taxa de sedimentação de $4,1$ e $3,7 \text{ mm ano}^{-1}$ em dois lagos do Rio Taquari e McGlue et al. (2011) calcularam a taxa de sedimentação da Lagoa da Gaíva (80 km^2 de área) em $2,4 \text{ mm ano}^{-1}$. A taxa de sedimentação tende ser menor em lagos maiores, pois nesses ambientes a taxa de sedimentação sofre menor influências do arraste de partículas de suas margens.

Taxas de sedimentação elevadas podem se tornar um risco para o ambiente aquático. Quanto maior a taxa de sedimentação, maior a carga de elementos-traço que entra no sistema associado ao sedimento. Os elementos-traço podem se tornar biodisponível por meio de processos biogeoquímico e afetar a biota aquática.

As concentrações mínimas e máximas dos elementos-traços no sedimento da Lagoa das Garças e da Lagoa dos Patos são comparadas na Tabela 02 com os Valores de Referências para o Rio Tietê, proposto por Nascimento (2003) (VRRT) e os Níveis de Referências Geológicas Globais, valores compilados por Turekian e Wedepohl (1961) (NRGG).

Os valores das concentrações dos elementos Cálcio, Cádmiio, Cromo, Mercúrio Potássio, Magnésio, Manganês, Sódio, Níquel, Chumbo e Zinco no sedimento da Lagoa das Garças não ultrapassaram os valores de referências NRGG e VRRT. No sedimento da Lagoa dos Patos os valores das concentrações dos elementos Cálcio, Cromo, Mercúrio Potássio, Magnésio, Manganês, Sódio, Níquel e Chumbo não ultrapassam os valores de referências.

No sedimento da Lagoa das Garças as concentrações do elemento Cobalto estão acima dos valores de referência VRRT (22 ± 4 ppm) e NRGG (19 ppm). Entretanto as concentrações mais elevadas foram registradas no período de 1912 a 1954. As menores concentrações foram registradas no período de 1997 a 2011.

A concentração dos demais elementos estudados na Lagoa das Garças não ultrapassa o valor de referência VRRT, entretanto os elementos Chumbo e Cobre, ultrapassam o valor de referência NRGG. Os valores das concentrações de Chumbo possuem alta variabilidade no período entre 1912 a 1980, a variabilidade diminui no período 1980 a 2011, mostrando a tendência de redução na concentração de Chumbo ao longo do tempo. Os valores das concentrações de Cobre possuem pouca flutuação, permanecendo próximo a média geral, com alguns pontos discrepantes.

Na Lagoa dos Patos as concentrações do elemento Cádmio no sedimento estão acima dos níveis de referência VRRT (0,22 ppm) e NRGG (0,3 ppm). Entretanto as concentrações mais elevadas foram registradas no período de 1915 a 1917. As menores concentrações foram registradas no período de 1997 a 2011. As concentrações do elemento Cobalto no sedimento estão acima dos valores de referência VRRT (22 ± 4 ppm) e NRGG (19 ppm). Entretanto as concentrações mais elevadas foram registradas no período de 1876 a 1917. As menores concentrações foram registradas no período de 1997 a 2011. A concentração máxima do elemento Zinco no sedimento foi registrada em 1915 (117 ppm). Sendo a única amostra que ultrapassou os valores de referência VRRT (90 ± 22 ppm) e NRGG (95 ppm). As concentrações do elemento Cobre no sedimento estão acima do valor de referência NRGG (45 ppm). Entretanto as concentrações mais baixas não ultrapassam o valor de referência VRRT (52 ± 44 ppm). Como as concentrações máximas dos elementos Cádmio, Cobalto e Zinco foram registradas no período de 1876 a 1917. Esse fato indica que as ações antrópicas não estão exercendo aumento na concentração desses elementos, pois, no período em que os registros mostraram as maiores concentrações a bacia de drenagem do rio Ivinhema era minimamente povoada. A distribuição da concentração do Cobre ao longo do tempo, apresenta certa flutuação em relação a média geral, não apresentando nenhuma tendência. Isso mostra que os fatores antrópicos não causam efeito na concentração do Cobre no sedimento da Lagoa dos Patos.

A comparação entre os valores das concentrações dos elementos-traço no sedimento com os valores de referência. Isso mostra que os valores do sedimento da Lagoa das Garças da Lagoa dos Patos permaneceram próximos aos valores de referências globais

ao longo do tempo. Os valores encontrados podem ser considerados como valores de referências locais. Segundo Nascimento (2003) os valores de referência da concentração de elementos-traço em sedimento determinados regionalmente são mais adequados que os valores considerados globais, por representar apropriadamente as características litológicas singulares de cada área de estudo.

A flutuação na concentração dos elementos-traço em ambas as lagoas é causada pelos pulsos de inundações. Quando ocorre o pulso de inundação aumenta a quantidade de material particulado que entra no sistema, principalmente devido o arraste causado pelo escoamento superficial, enriquecendo o sistema com nutrientes e contaminantes (Junk et al. 1989). Outro fator que deve ser considerado é o fenômeno climático *El Niño*, que causa o aumento da precipitação na bacia de drenagem do rio Paraná (Lagoa da Garça) (Rao e Hada 1990, Grimm et al. 1998) podendo magnificar os pulsos de inundação.

A concentração do elemento Cálcio foi enriquecida ao longo do tempo, na Lagoa da Garça e na Lagoa dos Patos. O Cálcio é utilizado na agricultura, para diminuir a acidez do solo, e na construção civil, principalmente no preparo de argamassas. O aumento na concentração de Cálcio está ligado principalmente a esses dois fatores. Aproximadamente 80% da área de drenagem de ambas as lagoas são destinadas à agropecuária (ANA 2012). A urbanização também contribuiu para o aumento na concentração de Cálcio. A população brasileira nos últimos 65 anos quadruplicou, sendo que em 1950 mais de 60% da população residia em áreas rurais, porém em 2010 esse percentual baixou para 16%, na bacia de drenagem o percentual é ainda menor 7% (IBGE 2013).

A concentração do elemento Níquel na Lagoa da Garça aumentou com o tempo. O Níquel é principalmente empregado na fabricação do aço inoxidável, outras ligas metálicas e fundição. Na bacia de drenagem do rio Paraná estão localizados a maior cidade juntamente com o maior parque industrial (São Paulo) e complexo siderúrgico (Piracicada) da América Latina (ANA 2012). O despejo inadequado dos resíduos industriais, principalmente os resíduos de siderúrgicas explica o aumento na concentração do elemento Níquel.

A concentração do elemento Mercúrio na Lagoa dos Patos teve um acréscimo gradativo ao longo do tempo. Esse acréscimo está associado com a queima da cana-de-açúcar. Segundo Friedli et al (2003) 13% das emissões globais de Mercúrio para a atmosfera são provenientes da queima da biomassa. Na bacia do Rio Ivinhema 175 mil

hectares são cultivados com cana-de-açúcar isso equivale a aproximadamente 4% da área total da bacia (IBGE 2007).

As concentrações dos elementos Cobalto, Cromo e Manganês no sedimento da Lagoa das Garças diminuíram com o tempo. A redução na concentração dos elementos foi causada pelo fenômeno de oligotrofização do Rio Paraná na região da planície aluvial do Alto Rio Paraná. A oligotrofização é causada pela implantação de barragens das usinas hidrelétricas a montante da planície aluvial do Alto Rio Paraná. As barragens sequestram o sedimento juntamente com os nutrientes e elementos-traço (Roberto et al 2009). Geralmente as barragens sequestram apenas a fração grosseira do sedimento, deixando a fração mais fina, rica em contaminantes, seguir a jusante da barragem. Mas devido o número de barragens operando na Bacia do Rio Paraná, elas conseguem armazenar parte da fração fina do sedimento. Das cidades de São Paulo e Piracicaba, as duas áreas mais industrializadas da bacia, existem 10 barragens de usinas hidrelétricas somando aproximadamente 600 km de remanso ao longo do rio. Esse trajeto é suficiente para sedimentar parte da fração fina do sedimento suspenso.

Outro fator que contribui com a redução da concentração dos elementos é o aumento da densidade das macrófitas aquáticas, que adsorvem os nutrientes e elementos-traço do meio. Mishra et al (2008) encontram concentração de elementos-traço 10-15 vezes maiores nas macrófitas aquáticas que no sedimento. De acordo com Thomaz et al (2004) macrófitas submersas, foram raramente observadas nos primeiros estudos realizados na planície de inundação, mas foram observados com maior frequência a partir de 1995 em lagos ligados ao rio Paraná, como é o caso da Lagoa das Garças.

O declínio da concentração dos elementos Cádmiio, Cobalto, Níquel e Zinco no sedimento da Lagoa dos Patos está associado ao aumento da densidade das macrófitas aquáticas no ambiente. A Lagoa dos Patos possui diversidade de macrófitas aquáticas principalmente flutuantes (Thomaz et al. 2009), que adsorvem os nutrientes e elementos-traço do meio. Mishra et al (2008) encontram concentração de elementos-traço 10-15 vezes maiores nas macrófitas aquáticas quando comparadas ao sedimento.

CONCLUSÃO

Os sedimentos das Lagoas dos Patos e da Lagoa das Garças não estão contaminados por elementos-traço.

A concentração dos elementos Mercúrio e Cálcio no sedimento da Lagoa dos Patos aumentaram ao longo do tempo, devido a queima da cana-de-açúcar, aumento da agropecuária e urbanização. A adsorção por macrófitas aquáticas acarretou a redução na concentração dos elementos Cádmio, Cobalto, Níquel e Zinco no sedimento da Lagoa dos Patos.

A concentração dos elementos Cálcio e Níquel no sedimento da Lagoa das Garças aumentaram ao longo do tempo, devido o aumento da agropecuária, urbanização e lançamento de efluentes de siderúrgicas. A adsorção por macrofitas aquáticas e o processo de oligotifização, causado pelas barragens a montante da planície aluvial, acarretaram na redução da concentração dos elementos Cobalto, Cromo e Manganês no sedimento da Lagoa das Garças.

O principal fator que regula o fornecimento de elementos-traço na planície aluvial do Alto Rio Paraná são os pulsos de inundação, que podem ser magnificados pelo fenômeno climático *El Niño*.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2011) Panorama dos resíduos sólidos: 2011. ABRELPE, São Paulo
- Abujanra F, Agostinho AA, Hahn NS (2009) Effects of the flood regime on the body condition of fish of different trophic guilds in the Upper Paraná River floodplain, Brazil. *Braz J Biol* 69:469-479
- Agostinho AA, Zalewski M (1996) A planície alagável do alto rio Paraná: Importância e preservação. Eduem, Maringá
- Algarte VM, Siqueira NS, Murakami EA, Rodrigues L (2009) Effects of hydrological regime and connectivity on the interannual variation in taxonomic similarity of periphytic algae. *Braz J Biol* 69:609-616
- ANA - Agência Nacional das Águas (2010) Atlas Brasil: abastecimento urbano de água. ANA, Brasília
- ANA – Agência Nacional das Águas (2012) Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil. Agência Nacional de Águas. ANA, Brasília
- Barbosa-Filho MP (2013) Calagem. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore/AG01_87_1311200215104.html. Acessado em 27 de Janeiro de 2013
- Barsanti M, Delbono I, Schirone A, Langone L, Miserocchi S, Salvi A, Defanti R (2011) Sediment reworking rates in deep sediments of Mediterranean Sea. *Science of the Total Environment* 409:2959-2970. DOI 10.1016/j.scitotenv.2011.04.025

- Basile S, Brai M, Rizzo S, Spanò M, Tranchina L (2011) Cycli influences on the heavy metal chronology in a Central Mediterranean area (Palermo Gulf, Italy). *J Soils Sediments* 11:174-184. DOI 10.1007/s11368-010-0314-3
- Borges PAF, Train S. (2009) Phytoplankton diversity in the Upper Paraná River floodplain during two years of drought (2000 and 2001). *Braz J Biol* 69:637-647
- Campos JB, Costa-Filho LV (1994) Proposta técnica de implantação da área de proteção ambiental do Arquipélago de ilha Grande. SEMA/IAP, Curitiba
- Campos JB, Souza MC (1997) Vegetação. In Vazzoler AEAM, Agostinho AA, Hahn NS (Eds.). *A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos*. Eduem Maringá, pp 331-342
- Castilhos ZC, Rodrigues S, Rodrigues APC, Villas-Boas RC, Siegel S, Veiga MM, Beinhoff C (2006) Mercury contamination in fish from gold mining areas in Indonesia and human health risk assessment. *Science of the Total Environment* 368:320-325
- Díaz-Asencio M, Alonso-Hernández CM, Bolanos-Álvarez Y, Gómez-Batista M, Pinto V, Morabito R, Hernández-Albernas JI, Eriksson M, Sanchez-Cabeza JÁ (2009) One century sedimentary Record of Hg and Pb pollutin in the Sagua estuary (Cuba) Derived from ^{210}Pb and ^{137}Cs chronology. *Marine Pollutin Bulletin* 59:108-115. DOI 10.1016/j.marpolbul.2009.02.010
- Fávaro DIT, Damatto SR, Silva PSC, Riga AA, Sakamoto AY, Mazzilli BP (2006) Chemical characterization and ^{210}Pb dating in wetland sediments from the Nhecolândia Pantanal Pond, Brazil. *J Radioanal Nucl Chem* 269:719-726
- Ferreira FA, Mormul RP, Thomaz SM, Pott A, Pott VJ (2011) Macrophytes in the upper Paraná river floodplain: checklist and comparison with other large South American wetlands. *Rev Biol Trop* 59:541-556
- Förster U, Ahlf W, Calmano W (1993) Sediment quality objectives and criteria development in Germany. *Wat Sci Tech* 28:307-316
- Friedli HR, Radke LF, Lu JY, Banic CM, Leitch WR, MacPherson JI (2003) Mercury emissions from burning of biomass from temperate North American forests: laboratory and airborne measurements. *Atmospheric Environment* 37:253-267. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00819-1](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00819-1)
- Garcia DA, Benedito E, Takeda AM (2010) Caloric density of *Loricariichthys platymetopon* in the Upper Paraná River floodplain. *Braz Arch Biol Technol* 53:1109-1118
- Gimenes MR, Anjos L (2011) Quantitative analysis of foraging habitat use by *Ciconiiformes* in the upper Paraná river floodplain, *Braz Arch Biol Technol* 54:415-427
- Godoy JM, Padovani Cr, Guimarães JRD, Pereira JCA, Vieira LM, Carvalho ZL, Galdino S (2002) Evaluation of the Siltation of River Taquari, Pantanal, Brazil, through ^{210}Pb Geochronology of Floodplain Lake Sediments. *Journal Brazilian Chemical Society* 13:71-77
- Grimm A, Ferraz SET, Gomes J (1998) Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño e La Niña events. *Journal of Climate*, 11:2863-80
- IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=cd&o=2&i=P&c=1286>> Acesso em: 4 de julho de 2013.

- IBGE. Censo Agropecuário 2006: Resultados preliminares. IBGE. 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/default.shtm>>. Acesso em: 4 de julho de 2013.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais. El Niño: Últimas ocorrências. <http://enos.cptec.inpe.br/tab_elnino.shtml>. Acesso dia 7 de dezembro de 2012
- Jia G, Belli M, Blasi M, Marchetti A, Rosamilia S, Sanasone U (2000) 210Pb and 210Po determination in environmental samples. *Applied Radiation and Isotopes* 53:15-120
- Jia G, Belli M, Blasi M, Marchetti A, Rosamilia S, Sanasone U (2001) Determination of 210Pb and 210Po in mineral and biological environmental samples. *J Radioanal Nucl Chem* 247:491-499
- Junk WJ, Bayley PB, Sparks RE (1989) The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Can Spec Publ Fish Aquat Sci* 106:110-127
- Lenzi E, Luchese EB, Favero LOB, Dasilva AS (1997) Copper environmental dynamic in the alluvial plain of the Paraná river, Porto-Rico region, Paraná, Brazil. *Arquivos de biologia e tecnologia* 40:760-770
- Martins DP, Bravard JP, Stevaux JC (2009) Dynamics of water flow and sediments in the upper Paraná River between Porto Primavera and Itaipu Dam, Brazil. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 16:111-118
- McGlue MM, Silva A, Corradini FA, Zani H, Trees MA, Ellis GS, Parolin M, Swarzenski PW, Cohen AS, Assine ML (2011) Limnogeology in Brazil's "forgotten wilderness": a synthesis from the large floodplain lakes of the Pantanal. *Journal of Paleolimnology* 46:273–289
- Mendonca LB, Lopes EV, Anjos L (2009) On the possible extinction of bird species in the Upper Paraná River floodplain, Brazil. *Braz J Biol* 69:747-755
- Mishra VK, Upadhyaya AR, Pandey SK, Tripathi BD (2008) Concentrations of heavy metals and nutrients in water, sediments and aquatic macrophytes of Govind Ballabh Pant Sagar an anthropogenic lake affected by coal mining effluent. *Environ Monit Assess* 141:49–58. doi:10.1007/s10661-007-9877-x.
- Montgomery DC (2009) *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. Tradução Ana Maria Lima de Farias, Vera Regina Lima de Farias e Flores; Revisão técnica Luiz da Costa Laurencel. – 4 ed., reimpr.- Rio de Janeiro: LTC. 513p.
- Moraes LAF, Lenzi E, Luchese EB (1997) Mercury in two fish species from the paraná river floodplain, Paraná, Brazil. *Environmental Pollution* 98:123-127
- Moreira SRD, Fávoro DIT, Campagnoli F, Mazzilli BP (2003) Sedimentation rates and metals in sediments from the reservoir Rio Grande - São Paulo/Brazil. In: Warwick P (Ed) *Environmental Radiochemical Analysis II*, The Royal Society of Chemistry Cambridge, pp 383-391
- Mormul RP, Thomaz SM, Híguti J, Martens K (2010) Ostracod (Crustacea) colonization of a native and a non-native macrophyte species of Hydrocharitaceae in the Upper Paraná floodplain (Brazil): an experimental evaluation. *Hydrobiologia* 644:185-193
- Mormul RP, Thomaz SM, Takeda AM, Behrend RD (2011) Structural Complexity and Distance from Source Habitat Determine Invertebrate Abundance and Diversity. *Biotropica* 43:738-745

- Mortensen PB, Schlüter L, Jensen A, Aaser HF, Hansen KS (2004) Historical development and past ecological state of two Danish Sallow Lakes. *J Soils Sediments* 4:101-106
- Murakami E, Bicudo DC, Rodrigues L (2009) Periphytic algae of the Garças Lake, Upper Paraná River floodplain: comparing the years 1994 and 2004. *Braz J Biol* 69:459-468
- Nascimento MRL (2003) Proposição de valores de referência para concentração de metais e metaloides em sedimentos limnicos e fluviais da bacia hidrográfica do rio Tietê, SP. Tese, Universidade Federal de São Carlos
- Navratil O, Evrard O, Esteves M, Ayrault S, Lefèvre I, Legout C, Reyss JL, Gratiot N, Nemery J, Mathys N, Poirel A, Bonté P (2012) Core-derived historical records of suspended sediment origin in a mesoscale mountainous catmint: the River Bléone French Alps. *J Soils Sediments* 12:1463-1478. DOI 10.1007/s11368-012-0565-2
- Neiff JJ (1990) Ideas para la interpretacion ecológica del Paraná. *Interciencia*, 15:424-441
- Pauleto GM, Velho LFM, Brao AFS Tôha FAL, Bonecker CC (2009) Spatial and temporal patterns of Ciliate species composition (Protozoa: Ciliophora) in the plankton of the Upper Paraná floodplain. *Braz J Biol* 69:517-527
- Rao V B, Hada K (1990) Characteristics of rainfall over Brazil, annual variation e correlation with the southern oscillation. *Theoretical e Applied Climatology* 2:81-91
- Roberto MC, Santana NF, Thomaz SM (2009) Limnology in the Upper Paraná River floodplain: large-scale spatial and temporal patterns, and the influence of reservoirs. *Braz J Biol* 69:717-725
- Rocha PC (2010) Indicadores de Alteração Hidrológica no Alto Rio Paraná: Intervenções Humanas e Implicações na Dinâmica do Ambiente Fluvial. *Sociedade & Natureza* 22:191-211
- Rodrigues LC, Train S, Bovo-Scomparin VM, Jati S (2009) Interannual variability of phytoplankton in the main rivers of the Upper Paraná River floodplain, Brazil: influence of upstream reservoirs. *Braz J Biol* 69:501-516
- Rodrigues LC, Train S, Roberto MC, Pagioro TA (2002) Seasonal fluctuation of some limnological variables on a floodplain lake (Patos lagoon) of the Upper Paraná River, Mato Grosso do Sul State, Brazil. *Braz Arch Biol Technol* 45:499-513
- Silva GC, Hahn NS, Gubiani EA, Fugi R (2008) Invasive mollusc in the diet of *Pterodoras granulosus* (Valenciennes, 1821) (Pisces, Doradidae) in the Upper Paraná River floodplain, Brazil. *Ecology of Freshwater Fish*. 17:47-53
- Souza Filho EE, Stevaux JC (1997) Geologia e geomorfologia do complexo rio Baía, Corutuba, Ivinhema. In: Vazzoler AEAM, Agostinho AA, Hahn NS (eds) *A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos*. Eduem, Maringá, pp 3-43
- Stevaux JC, Martins DP, Meuer M (2009) Changes in a large regulated tropical river: The Paraná downstream the Porto Primavera Dam, Brazil. *Geomorphology* 110:1-20
- Tamtam F, Bot BL, Dinh T, Mompelat S, Eurin J, Chevreuil M, Bonté P, Mouchel JM, Ayrault S (2011) A 50-year record of quinolone and sulphonamide antimicrobial agents in Seine River sediment. *J Soils Sediments* 11:852-859. DOI 10.1007/s11368-011-0364-1
- Terry JP, Kostaschuk RA, Garimella S (2006) Sediment deposition rate in the Falefa River basin, Upolu island, Samoa. *J Environ Radioact* 86:45-63

- Thomaz SM, Bini LM, Pagioro TA, Murphy KJ, Santos AM, Souza DC (2004). Aquatic macrophytes: diversity, biomass and decomposition. In Thomaz, SM., AGOSTINHO, AA. and HAHN, NS. (Eds.). The upper Paraná River and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation. The Netherlands: Backhuys Publishers. pp 331-352.
- Thomaz SM, Carvalho P, Padial AA, Kobayashi JT (2009) Temporal and spatial patterns of aquatic macrophyte diversity in the Upper Paraná River floodplain. *Braz J Biol* 69:617-625. DOI 10.1590/s1519-69842009000300016
- Thomaz SM, Roberto MC, Bini LM (1997) Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. In: Vazzoler AEAM, Agostinho AA, Hahn NS (eds.) A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, químicos, biológicos e sócio-econômicos, Eduem, Maringá, pp 73-102
- Trabelsi Y, Gharbi F, Ghali AE, Oueslati M, Samaali M, Abdelli W, Baccouche S, Tekaya MB, Benmansour M, Mabit L, M*Barek NB, Reguigui N, Abril JM (2012) Recent sedimentation rates in Garaet El Ichkeul Lake, NW Tunisia, as affected by the construction of dams and a regulatory sluice. *J Soils Sediments* 12:784-796 DOI 10.1007/ s11368-012-0496-y
- Turekian KK, Wedepohl KH (1961) Distribution of elements in some major units of the earth's crust. *Geol Soc Am Bull* 72:175-192
- USEPA - United States Environmental Protection Agency (1996) Method 3050B. Acid digestion of sediments sludges and soils. USEPA, CD-ROM
- Walling DE, He Q (1997) Use of fallout ¹³⁷Cs in investigations of overbank sedimentation on river floodplains. *Catena* 29:263-282
- Walling DE, Owens PN (2003) The role of overbank floodplain sedimentation in catchment contaminant budgets. *Hydrobiologia* 494:83-91
- WHO – World Health Organization (1982) micropollutants in river sediments. World Health Organization, Copenhagen.