

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA

HISTÓRICO DA ACUMULAÇÃO DE METAIS NAS LAGOAS
MIRIM, MANGUEIRA E NICOLA

por

Lisiane Oliveira Silva

Dissertação para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Oceânica

Rio Grande, dezembro, 2020

HISTÓRICO DA ACUMULAÇÃO DE METAIS EM SEDIMENTOS DE LAGOAS COSTEIRAS DO SUL DO BRASIL

Por

Lisiane Oliveira Silva
Engenheira Química

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica (PPGEO) da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Área de Concentração: Engenharia Costeira

Orientador: Prof. Dr. Carlos Francisco Ferreira de Andrade

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Liércio André Isoldi

PPGEO/FURG

Dra. Cacinele Mariana da Rocha

Ceclimar/ UFRGS

Prof. Dr. Liércio André Isoldi
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica

Rio Grande, 28 de dezembro de 2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e por me permitir realizar meus sonhos.

Aos meus pais um agradecimento especial, por todo amor, carinho e dedicação. São os principais responsáveis pela minha educação e formação pessoal por não medirem esforços para conclusão de mais essa etapa da minha vida!

Ao meu namorado, pelo companheirismo, incentivo, parceria e compreensão.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Francisco de Andrade pela orientação, dedicação, compreensão, sabedoria e auxílio na realização deste trabalho.

Ao Laboratório de Hidroquímica do Instituto de Oceanografia (IO) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), pelo auxílio prestado em etapas da execução do programa experimental e aos colegas por toda a ajuda e apoio. Em especial a Juliana Maciel e Renata Moura pelo apoio na realização das análises.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica (PPGEO) pelos conhecimentos transmitidos durante a realização das disciplinas e à Coordenação pela dedicação e competência.

Aos meus amigos e colegas do PPGEO, por me acompanharem e dividirem suas experiências e amizade.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade e contribuições para o trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo e apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

A Universidade Federal do Rio Grande (FURG) pelo ensino de qualidade e por me acolher como estudante de graduação e pós-graduação.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

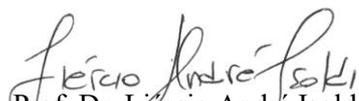
“HISTÓRICO DA ACUMULAÇÃO DE METAIS NAS LAGOAS MIRIM, MANGUEIRA E NICOLA”

Lisiane Oliveira Silva

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de:

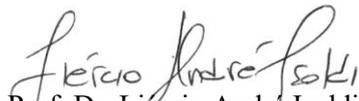
MESTRE EM ENGENHARIA OCEÂNICA

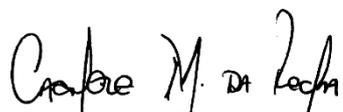
Tendo sido aprovada em sua forma final pela Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica


Prof. Dr. Liércio André Isoldi
Coordenador do PPGeo/FURG

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Carlos Francisco Ferreira de Andrade
Orientador – PPGeo/FURG


Prof. Dr. Liércio André Isoldi
Membro Interno – PPGeo/FURG


Dra. Caínele Mariana da Rocha
Membro Externo – UFRGS / Ceclimar

Ficha Catalográfica

S586h Silva, Lisiane Oliveira.
Histórico da acumulação de metais nas Lagoas Mirim, Mangueira e Nicola / Lisiane Oliveira Silva. – 2020.
89 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Rio Grande/RS, 2020.
Orientador: Dr. Carlos Francisco Ferreira de Andrade.

1. Taxa de Sedimentação 2. Datação 3. ^{210}Pb 4. Fator de Enriquecimento I. Andrade, Carlos Francisco Ferreira de II. Título.

CDU 556.55:549.25

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344

RESUMO

As lagoas Mirim, Mangueira e Nicola são parte da bacia hidrográfica localizada no litoral sul do Rio Grande do Sul, compreendendo uma grande diversidade de flora e fauna, além de desempenharem um importante papel econômico para o Estado. Dada a sua importância econômica e ambiental, ainda são limitados os estudos sobre metais em sedimentos nesta região. Sendo este estudo importante para a obtenção de informações para a melhor compreensão do comportamento dos metais ao longo da coluna sedimentar, pois estes geram conhecimento e compreensão para subsidiar políticas públicas de prevenção e mitigação dos efeitos negativos à qualidade de vida da população e dos seres vivos. Assim, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar os teores de Al, Cu, Fe e Mn em amostras de testemunho de sedimentos. Ao todo, foram coletadas amostras em cinco pontos amostrais nas lagoas Mirim, Mangueira e Nicola. Na pesquisa foi utilizada a técnica de espectrometria de absorção atômica de chama (FAAS) para a determinação do teor total dos metais. A qualidade dos resultados analíticos obtidos pelo método foi avaliada por meio da análise de amostras de referência certificadas. Pesquisadores utilizaram as amostras deste estudo para avaliar a taxa de sedimentação e a datação utilizando o método isotópico baseado na concentração natural relativa do ^{210}Pb e ^{226}Ra ao longo dos perfis de sedimento. Com estes dados foi possível avaliar as possíveis contribuições antrópicas ao longo do tempo relacionando com as concentrações de metais analisadas. Pois nos últimos anos, observa-se que a qualidade do sedimento desta região provavelmente está sendo alterada por atividades antrópicas como o cultivo de arroz irrigado e o manejo agrícola do solo. Os resultados obtidos foram avaliados utilizando o fator de enriquecimento (EF) e o Al como normalizante. Observou-se que a fonte dos metais analisados é predominantemente natural com algumas exceções onde os valores dos EF indicaram enriquecimento moderado, sugerindo a influência de fontes antrópicas. O que indica a necessidade de estudos específicos adicionais para melhor avaliação. Esta avaliação fornece uma descrição dos níveis de metais nos sedimentos das lagoas Mirim, Mangueira e Nicola, fornecendo evidências quantitativas e demonstrando a necessidade de melhorar a regulamentação das atividades agrícolas e industriais na região. Este trabalho tem caráter inédito, fornecendo os primeiros registros sobre a qualidade dos sedimentos nas lagoas Mangueira e Nicola.

Palavras-chave: taxa de sedimentação, datação, ^{210}Pb , fator de enriquecimento

ABSTRACT

The Mirim, Mangueira and Nicola lagoons are part of the hydrographic basin located on the south coast of Rio Grande do Sul, comprising a great diversity of flora and fauna, in addition to playing an important economic role for the State. Given its economic and environmental importance, studies on metals in sediments in this region are still limited. This study being important for obtaining information for a better understanding of the behavior of metals along the sedimentary column, as they generate knowledge and understanding to support public policies for the prevention and mitigation of the negative effects on the quality of life of the population and living beings. Thus, this work was developed with the objective of evaluating the contents of Al, Cu, Fe and Mn in sediment core samples. Altogether, samples were collected at five sampling points in Mirim, Mangueira and Nicola lagoons. In the research, the atomic flame absorption spectrometry (FAAS) technique was used to determine the total content of metals. The quality of the analytical results obtained by the method was assessed through the analysis of certified reference samples. Researchers used the samples from this study to evaluate the sedimentation rate and the dating using the isotopic method based on the relative natural concentration of ^{210}Pb and ^{226}Ra along the sediment profiles. With these data it was possible to evaluate the possible anthropic contributions over time relating to the concentrations of metals analyzed. In recent years, it is observed that the quality of sediment in this region is probably being altered by human activities such as irrigated rice cultivation and agricultural soil management. The results obtained were evaluated using the enrichment factor (EF) and Al as a normalizer. It was observed that the source of the analyzed metals is predominantly natural with some exceptions where the EF values indicated moderate enrichment, suggesting the influence of anthropic sources. This indicates the need for additional specific studies for better evaluation. This assessment provides a description of the levels of metals in the sediments of the Mirim, Mangueira and Nicola lagoons, providing quantitative evidence and demonstrating the need to improve the regulation of agricultural and industrial activities in the region. This work has an unprecedented character, providing the first records on the quality of sediments in the Mangueira and Nicola lagoons.

Keywords: sedimentation rate, dating, ^{210}Pb , enrichment factor

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Objetivo	17
1.1.1. Objetivo geral.....	17
1.1.2. Objetivos específicos.....	17
1.2. Estrutura da dissertação.....	18
2. ESTADO DA ARTE.....	19
2.1. Estudos realizados em diferentes regiões do mundo.....	19
2.2. Estudos realizados em diferentes regiões do Brasil	22
2.3. Estudos realizados na região de estudo	24
3. REVISÃO DE LITERATURA	26
3.1. Lagoas costeiras	26
3.2. Sedimentos de lagoas costeiras.....	27
3.3. Comportamento dos metais em lagoas costeiras	27
3.4. Aspectos hidrodinâmicos e hidrológicos	28
3.5. Taxa de sedimentação.....	28
3.6. Histórico da região de estudo.....	29
4. ÁREA DE ESTUDO	31
4.1. Lagoa Mirim	32
4.2. Lagoa Mangueira	33
4.3. Lagoa Nicola.....	34
5. METODOLOGIA	38
5.1. Amostragem.....	38
5.2. Análise granulométrica.....	41
5.3. Sedimento	41
5.4. Análise de metais	41
5.5. Quantificação de metais	42
5.6. Avaliação do aporte de metais pesados ao meio ambiente	43
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
6.1. Características sedimentológicas	45
6.2. Caracterização granulométrica	46
6.3. Taxa de sedimentação.....	52

6.4. Taxa de acumulação de metais no sedimento	53
6.5. Determinação do EF para amostras de testemunho das Lagoas Mirim, Mangueira e Nicola	64
7. CONCLUSÕES	66
8. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	67
9. REFERÊNCIAS.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1- Localização da área de estudo - Extremo sul do Rio Grande do Sul. Fonte: Santos et al. (2018).	31
Figura 4-2- Localização das principais tributários da Lagoa Mirim e do Canal de São Gonçalo. Fonte: Munar et al. (2018).....	33
Figura 4-3- Localização da ESEC Taim. Fonte: Paz et al. (2003).....	35
Figura 4-4 - Imagem de satélite da localização do ESEC Taim onde (1) sede ESEC Taim; (2) comportas de saída do Banhado do Taim; (3) Lagoa Nicola; (4) Lagoa Jacaré; (5) Canal do Jacaré; (6) Canal Sarita; (7) posto Negreiros. Fonte: Paz et al. (2003).	36
Figura 5-1 - Localização dos pontos de coleta de amostra. Fonte: Adaptado do Google Earth.	39
Figura 5-2 - Gravity corer. Fonte: Winsborow et al. (2012).....	39
Figura 5-3 - Testemunho de sedimento. Fonte: Colaboradores do projeto.	40
Figura 6-1- Distribuição granulométrica do testemunho MRF.	49
Figura 6-2 - Distribuição granulométrica do testemunho MRJ.....	50
Figura 6-3 - Distribuição granulométrica do testemunho MG.	51
Figura 6-4 - Atividades ^{226}Ra e ^{210}Pb (dpm g^{-1}) em todos os testemunhos de sedimentos analisados. Camadas mistas são destacadas com uma sombra cinza.....	53
Figura 6-5 - Distribuição temporal de metais no testemunho MR.	55
Figura 6-6 - Distribuição temporal de metais no testemunho MRF.	56
Figura 6-7 - Distribuição temporal de metais no testemunho MRJ.....	57
Figura 6-8 - Concentração média de Cu nos testemunhos da Lagoa Mirim.	59
Figura 6-9 - Concentração média de Mn nos testemunhos da Lagoa Mirim.	59
Figura 6-10 - Concentração média de Al nos testemunhos da Lagoa Mirim.	60
Figura 6-11 - Concentração média de Fe nos testemunhos da Lagoa Mirim.	60
Figura 6-12 - Distribuição temporal de metais no testemunho MG.	61
Figura 6-13 - Distribuição temporal de metais no testemunho NIC.....	62

LISTA DE SÍMBOLOS

Elementos Químicos

Ag	Prata
Al	Alumínio
As	Arsênio
Bi	Bismuto
C	Carbono
Cd	Cádmio
Co	Cobalto
Co	Cobalto
Cr	Cromo
Cs	Césio
Cu	Cobre
Fe	Ferro
Hg	Merúrio
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
Ni	Níquel
Pb	Chumbo
Ra	Rádio
Sb	Antimônio
Sc	Escândio
Se	Selênio
Sn	Estanho
Ti	Titânio
U	Urânio

V Vanádio

Zn Zinco

LISTA DE ABREVIATURAS

AAS	Espectrometria de Absorção Atômica, do inglês <i>Atomic Absorption Spectrometry</i>
CEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CF	Fator de Contaminação
CO	Carbono Orgânico
COT	Carbono Total
CRM	Material de Referência Certificado, do inglês <i>Certified Reference Material</i>
EF	Fator de Enriquecimento, do inglês <i>Enrichment Factor</i>
ENOS	<i>El Niño</i> Oscilação do Sul, do inglês <i>El Niño Southern Oscillation</i>
ERN	Intervalo de efeitos médios, do inglês <i>Effect Range Medium</i>
ESEC - Taim	Estação Ecológica do Taim
FAAS	Espectrometria de Absorção Atômica com Chama, do inglês <i>Flame Atomic Absorption Spectrometry</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
ICP-MS	Espectrometria de massa por plasma acoplado indutivamente, do inglês <i>Inductively coupled plasma mass spectrometry</i> .
I _{geo}	Índice de Geoacumulação
LD	Limite de Detecção
LQ	Limite de Quantificação
MO	Matéria Orgânica
NOAA	Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos Estados Unidos, do inglês <i>National Oceanic and Atmospheric Administration U.S.</i>
NT	Nitrogênio Total
PLI	Índice de Carga de Poluição
PMSB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PPGEO	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica

PT	Fósforo Total
SHT	Sistema Hidrológico do Taim
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, do inglês <i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>

1. INTRODUÇÃO

Os sedimentos desempenham um papel importante em ambientes aquáticos, além de ser um meio estável e eficaz para monitorar as condições e tendências regionais de qualidade ambiental (Bi et al., 2017). Os estudos em sedimentos servem também para mapear, traçar e monitorar fontes antropogênicas de contaminação e/ou anomalias causadas por processos geoquímicos naturais (Hortellani et al., 2005; Vestena, 2009).

Em ambientes aquáticos os sedimentos armazenam importantes registros históricos dos níveis de contaminação (Schneider et al., 2015). A análise da datação de sedimentos auxilia na reconstrução de fatos passados relacionados a eventos naturais e/ou antrópicos (Chen et al., 2004; Froehner et al., 2010). A análise da datação e os perfis metálicos podem ser usados para fornecer um registro da história espacial e temporal de insumos metálicos na região de estudo (Schneider et al., 2015).

A taxa de sedimentação é uma informação indispensável na avaliação do histórico de contaminação registrado em sedimentos de áreas impactadas por atividades industriais, urbanas e naturais (Benoit e Rozan, 2001). Isto porque é no sedimento que se depositam todos os compostos químicos. Desta maneira, em um sistema aquático, formam-se camadas no sedimento ao longo do tempo, contendo compostos cujas concentrações são proporcionais às quantidades destes elementos liberadas no corpo d'água em diferentes períodos (Esteves, 1998). Assim, torna-se possível, interpretar o desenvolvimento histórico e as alterações do ambiente. Para estimar a taxa de sedimentação, têm sido utilizados métodos isotópicos baseados na concentração natural relativa dos isótopos de chumbo (^{210}Pb) e rádio (^{226}Ra) ao longo de perfis de sedimento (Appleby et al., 1988).

Os metais são os contaminantes ambientais mais comuns e preocupantes, pois podem oferecer riscos aos ecossistemas e à saúde humana. As características mais importantes que distinguem os metais de outros contaminantes tóxicos são a alta persistência e a sua baixa degradabilidade no ambiente, podendo favorecer a ocorrência de processos de bioacumulação e biomagnificação (Zhang et al., 2014; Sousa et al., 2016).

Alguns elementos são essenciais, tais como ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), cobalto (Co), manganês (Mn), cromo (Cr), molibdênio (Mo), vanádio (V), selênio (Se) e níquel (Ni), pois possuem funções fisiológicas e bioquímicas importantes aos seres vivos. No entanto, quando em concentrações elevadas, esses elementos podem causar efeitos tóxicos. Por outro lado, elementos como arsênio (As), prata (Ag), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg), mesmo em baixas concentrações no ambiente são capazes de causar

efeitos tóxicos (Bryan, 1979; Esteves, 1998; Silva et al., 2014).

Entre as principais fontes destes elementos para o ambiente costeiro estão o intemperismo de rochas e a erosão de solos. Contudo, as atividades antrópicas são importantes emissões através de atividades industriais, efluentes domésticos e a poluição difusa por defensivos agrícolas e fertilizantes. Assim, a determinação de metais em sedimentos, é uma fonte importante de informações para avaliar possíveis contaminações derivadas de ações naturais ou antrópicas (Kaushik et al., 2009).

As lagoas, ou lagunas, costeiras são de suma importância, pois são regiões de interface entre zonas costeiras, águas interiores e águas marinhas, e atuam como retentoras de substâncias, incluindo metais (Esteves, 1998). Nestes ambientes, os sedimentos são acumuladores naturais de metais, principalmente pelas características geoquímicas e elevadas taxas de sedimentação (Salomons e Forstner, 1984; Barcellos et al., 1997). Por esse motivo, as lagoas costeiras são ambientes propícios para o estudo da evolução do aporte sedimentar de várias décadas e até centenas de anos, incluindo a história da poluição (Ruiz-Fernández, 2003).

O desenvolvimento deste estudo na região sul do Brasil, dominada por importantes lagoas costeiras (Mirim, Mangueira e menores como a Lagoa Nicola) é de suma importância. Estes locais têm grande complexidade e características únicas como localização em região de fronteira, banhados de importância reconhecida pela UNESCO, elevada sensibilidade, biodiversidade e grande demanda hídrica. Além disso, o conhecimento da qualidade ambiental ainda é limitado nesta região, sendo praticamente ausente nas lagoas Mangueira e Nicola. Diante disso, o trabalho foi desenvolvido com o intuito de avaliar a contaminação ambiental das lagoas Mirim, Mangueira e Nicola ao longo dos anos, investigar a contaminação de origem antrópica neste ambiente e relacionar a possível contaminação com dados e fatos históricos.

1.1. Objetivo

1.1.1. Objetivo geral

Este trabalho visa avaliar a variação temporal das concentrações de metais ao longo do maior sistema lagunar costeiro raso do mundo (sistema Patos-Mirim-Mangueira). Com o intuito de preencher as lacunas no conhecimento a respeito da geoquímica de metais em lagoas costeiras com uma investigação do histórico de acumulação de metais ao longo do tempo nos sedimentos em diferentes pontos das lagoas Mirim, Mangueira e Nicola.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar a concentração dos metais Al, Cu, Fe e Mn no sedimento em diferentes pontos das lagoas Mirim, Mangueira e Nicola;
- avaliar a taxa de sedimentação dos metais em cada região de coleta quantificando os elementos mais abundantes, comparando esses dados com aqueles obtidos nas amostras de sedimento;
- investigar a qualidade do sedimento através do histórico de acumulação destes metais e pela correlação com a concentração de metais em diferentes profundidades (perfil de sedimento), os períodos e a magnitude dos impactos no sistema em estudo.
- avaliar possíveis contaminações e identificar aportes antropogênicos ou naturais através do uso do fator de enriquecimento (EF) utilizando o alumínio (Al) como normalizador.

1.2. Estrutura da dissertação

Este trabalho está dividido em 9 capítulos, de maneira que, o primeiro capítulo contempla introdução e objetivos. O segundo capítulo traz o estado da arte desta pesquisa, estudos sobre o histórico deposicional de metais em lagoas do Brasil e de outros países. O terceiro abrange uma revisão bibliográfica de alguns conceitos que serão discutidos no decorrer do texto sobre lagoas costeiras, comportamento dos metais em sedimentos, aspectos hidrológicos e hidrodinâmicos das lagoas costeiras, taxa de sedimentação e os fatos históricos que podem ter ligação com a acumulação de metais na região estudada. O quarto capítulo apresenta a área de estudo e a importância econômica para a região. No quinto capítulo é apresentada a metodologia que foi utilizada para atingir os objetivos propostos. No sexto capítulo os resultados e discussões relacionados à caracterização granulométrica, taxa de sedimentação, análise de metais e avaliação de possíveis contaminações. No sétimo, as conclusões do estudo. No oitavo capítulo, são apresentadas sugestões para trabalhos futuros. Por fim, encontra-se o referencial bibliográfico.

2. ESTADO DA ARTE

No estado da arte é apresentado estudos sobre a avaliação da taxa de sedimentação e o histórico deposicional de metais em sedimentos de lagoas costeiras. A seguir serão apresentados alguns trabalhos recentes relacionados a esse tema no mundo, Brasil e em regiões próximas à região estudada.

2.1. Estudos realizados em diferentes regiões do mundo

Maanan et al. (2014) avaliaram a taxa de sedimentação (atividade de ^{137}Cs e ^{210}Pb), concentração de metais pesados, EF normalizado por alumínio (Al) e contaminação no testemunho de sedimento da Lagoa Oualidiam, Marrocos. Os resultados mostraram que os sedimentos superficiais são altamente enriquecidos com metais pesados em comparação aos níveis pré-industriais de fundo. Os fatores de enriquecimento indicaram que a lagoa é (fortemente/moderadamente) poluída por metais pesados, possivelmente atribuídos às atividades agrícolas e descargas de águas residuais de áreas urbanizadas na região.

Schneider et al. (2015) avaliaram a contaminação por metais em sedimentos do Lago Budgewni, Austrália. Os sedimentos foram datados usando os métodos ^{210}Pb e ^{137}Cs para determinar os perfis de concentração de Cu, As, Se, Zn, Cd e Pb nos últimos 60 anos. As maiores concentrações de Zn e Cu foram encontradas em locais próximos a uma usina termoelétrica, enquanto As e Pb foram encontrados na bacia de deposição de sedimentos, os resultados obtidos foram consistentes com as atividades da região.

Wan et al. (2016) analisaram as concentrações de As, Cd, Sb e Pb, razões isotópicas de Pb, conteúdo de matéria orgânica e carbonatos em um testemunho de sedimento do Lago Gonghai, China. Os fluxos antropogênicos refletiram as evoluções atmosféricas dos últimos 200 anos.

Mahu et al. (2016) reconstituíram a história de deposição de Pb, Cu e Zn em testemunhos de sedimentos de três estuários (Amisa, Sakumo II and Volta) no Golfo da Guiné, na África Ocidental. Usando geocronologias derivadas de radioisótopos (^{210}Pb e ^{137}Cs) determinaram as taxas de sedimentação, geocronologias e tendências de acúmulo de metal traço. Foram analisados por espectrometria gama (^{210}Pb e ^{137}Cs) e ICP-MS. Concluíram que foi possível reconstituir com sucesso o histórico da deposição de metal traço em testemunhos de sedimentos dos estuários do Gana.

Bueno et al. (2016) avaliaram o registro geoquímico sedimentar da Baía de Montevideu, localizada na zona intermediária do Rio de La Plata no Uruguai, de modo a

determinar os insumos históricos de metais antropogênicos na região. Concentrações de Al, Cr, Cu, Pb, Sc e Zn foram analisadas e os índices EF. A taxa de sedimentação foi determinada com base em atividades de ^{210}Pb e validado com dados de ^{137}Cs por espectrometria gama. Os resultados mostraram que as concentrações de metais aumentaram de acordo com o desenvolvimento da indústria na região. O índice e a concentração de metais representaram de forma confiável a história de diferentes políticas econômicas e ambientais que influenciam atividades industriais históricas.

Sondi et al. (2017) investigaram as características geoquímicas de sedimentos dos lagos Veliko e Malo Jezero, localizados na ilha Mljet (Croácia e do Mar Adriático). Os resultados forneceram informações sobre os processos geoquímicos dominantes que determinam Al, As, Bi, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, Sr, Ti e U em sedimentos. A concentração de Zn, Cu, Pb, Sn e Bi nos sedimentos indicaram um baixo nível de poluição.

Costa-Böddeker et al. (2018) analisaram os teores de metais pesados sedimentares em ambientes dinâmicos (como lagoas costeiras tropicais) da Lagoa Thi Vai, Vietnã. Dois testemunhos de sedimentos foram datados pelo método do ^{210}Pb . As taxas médias de sedimentação ($9,2 \text{ cm ano}^{-1}$ a montante, $4,7 \text{ cm ano}^{-1}$ a jusante) indicaram alta erosão da terra, provavelmente, devido ao desmatamento e ao despejo de material dragado. O I_{geo} , EF e CF foram calculados com base em valores de fundo geogênicos. A maioria dos índices mostrou apenas contaminação moderada para diferentes elementos, particularmente por Cr e Pb. Este estudo, contribuiu para o conhecimento da dinâmica estuarina na distribuição e acumulação de metais pesados temporalmente, fornecendo informações para melhorar a qualidade ecológica da região estudada.

Zonta et al. (2018) investigaram a distribuição granulométrica e a concentração de Al, As, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn, carbono total (COT) e carbono orgânico (CO) em sedimentos da Lagoa de Veneza, Itália. Análises de ^{137}Cs e ^{210}Pb foram realizadas para estabelecer a cronologia dos sedimentos. A taxa média de acumulação de sedimentos foi estimada em $0,2 - 0,4 \text{ cm ano}^{-1}$. Os elementos litogênicos (Al, As, Cr, Fe, Mn, Ni) diminuíram em direção ao topo dos testemunhos. Em contraste, os elementos antropofílicos (Cu, Hg, Pb, Zn) aumentaram até as camadas sedimentares subsuperficiais (5 - 10 e/ou 10 - 20 cm) como um efeito de aumento de entradas de poluentes no passado. O EF foi calculado comparando as concentrações nos sedimentos “pré-industrial” (>100 anos atrás) e recente (camada superficial, 0 - 5 cm). Neste estudo, o mercúrio foi o único elemento potencialmente nocivo para a vida aquática. Sua concentração na camada de

sedimento superficial excedeu o valor da Faixa de Média-Efeito NOAA (ERM) em 27% das amostras, correspondendo a 20% da área superficial da água rasa.

Nazneen, Singh e Raju (2019) analisaram a distribuição e o fracionamento de metais pesados Cu, Zn, Pb, Cd, Co, Ni, Mn e Fe nos sedimentos da Lagoa de Chilika, Índia. Os resultados indicaram a concentração média de metais pesados em diferentes testemunhos na seguinte ordem Fe > Mn > Cu > Pb > Zn > Ni > Co > Cd. Correlações entre os metais pesados, CO, NT, PT e fração de argila siltosa, sugerem que estes elementos e o tamanho de grão desempenham um papel no controle da abundância de metais pesados nos sedimentos. Metais como Pb, Cu, Zn estão positivamente correlacionados com CO, NT, PT e o tamanho do grão. Enriquecimento significativo para Pb e enriquecimento moderadamente significativo para Cu foi observado em quase todos os testemunhos. Enriquecimento extremamente severo para Cd foi observado no testemunho. As principais fontes de metais pesados na área de estudo são a agricultura, a descarga de esgoto não tratado e o tráfego de barcos. Os níveis elevados de Pb são devido ao aumento do tráfego nas estradas, a queima de combustíveis fósseis e a deposição atmosférica.

Pratte et al. (2019) analisaram testemunhos (15 a 40 cm de profundidade) coletados de onze lagos da planície Songnen (China) para reconstruir as alterações dos metais como traçadores de atividades humanas. Foram analisados Al, Fe, Ti, As, Co, Cr, Cu, Cd, Mn, Ni, Pb, Sb, V e Zn. Neste estudo, utilizaram o Al como normalizante para o cálculo do EF. Em cada perfil, os EF de insumos metálicos não diferem significativamente dos valores pré-industriais ($EF < 1,5$), exceto para Cd ($EF = 2 - 5,5$). A datação radiométrica dos testemunhos (^{210}Pb , ^{137}Cs) mostrou que a contaminação de Cd começou a partir de meados do século XX e aumentou acentuadamente na década de 80, um padrão que combina com o rápido crescimento econômico e industrial da China. A alta concentração de Cd antrópico comparado a outros metais (Cu, Ni, Pb, Sb, V, Zn) é provavelmente de origem local devido à intensificação das práticas agrícolas, através do uso de fertilizantes químicos, estrume e águas residuais.

Orani et al. (2019) investigaram terras raras e o registro histórico do acúmulo de metal no ambiente costeiro da Namíbia, África. Os isótopos de Pb foram determinados para fornecer informações adicionais sobre a origem dos metais naturais e/ou antropogênicos. Foram calculados os índices de contaminação EF, I_{geo} e Índice de Carga de Poluição (PLI) para avaliar possíveis contaminações de sedimentos e identificar as fontes de poluição terrestre. O enriquecimento em Pb, Cu, As, Cd e Zn é inteiramente limitado às camadas superficiais dos testemunhos, confirmando que o aumento de

insumos desses elementos está relacionado principalmente ao desenvolvimento de atividades terrestres. As terras raras determinados nos testemunhos não revelaram nenhuma influência antropogênica, mas forneceram informações básicas sobre a deposição histórica desses elementos nos sedimentos costeiros.

2.2. Estudos realizados em diferentes regiões do Brasil

Martins et al. (1989) determinaram ^{210}Pb em sedimentos da Lagoa dos Patos, obtendo valores de 3,50 e 8,30 mm ano^{-1} , revelando altas taxas de sedimentação em curto período. Toldo Jr et al. (2006) determinaram a taxa de sedimentação através do isótopo de carbono (^{14}C), sendo a média de 0,52 mm ano^{-1} , valor comparável à taxa de 0,75 mm ano^{-1} obtida por estratigrafia. Como resultados, os autores constataram que as altas taxas de sedimentação em curto período podem estar relacionadas ao desmatamento da bacia hidrográfica local e impactos antrópicos.

Niencheski et al. (2006) avaliaram a distribuição de Cd, Pb, Cu, Cr, Zn, Al e Fe em 15 testemunhos de sedimento da Lagoa dos Patos localizada no Sul do Brasil com o objetivo de estabelecer os níveis naturais de fundo desses metais e avaliar as influências antrópicas. Al e Fe foram testados como normalizantes, entre os quais Al foi escolhido como o mais apropriado para os locais de amostragem. Em algumas estações foram encontradas concentrações anômalas para Cd, Pb e Cu e também foi observada a contaminação de sedimentos com Zn, Cr, Al e Fe.

Nilin et al. (2013) realizaram um estudo sobre a qualidade do sedimento da Bacia do Rio Ceará localizado na região Nordeste do Brasil. A distribuição de metais seguiu um gradiente de concentração com quantidades na seguinte ordem: Fe, Al, Zn, Cr, Pb e Cu. O I_{geo} indicou um enriquecimento de metais no sedimento, principalmente em áreas internas, consideradas moderadamente/fortemente contaminadas por Al, Cu, Cr e Zn.

Niencheski, Moore e Windom (2014) investigaram sedimentos do estuário da Lagoa dos Patos no Sul do Brasil. Estimaram as taxas sedimentação e avaliaram o acúmulo de metais. A taxa de acúmulo de metais foi calculada com base nas mudanças na atividade do ^{210}Pb em relação à profundidade no sedimento. Foram determinados Fe, Al, Cr, Zn, Mn, Cd, Cu, Ni, Pb, Ag, Sn, Sb e Ti. Os resultados indicaram uma taxa média de sedimentação de 0,30 cm ano^{-1} . Neste estudo, eles puderam concluir que o transporte de sólidos suspensos aumentou após o aprofundamento do canal e com a construção de quebra-mares. Quanto ao acúmulo de metais nos sedimentos, os resultados sugerem que

houve apenas pequenos enriquecimentos que podem ser atribuídos a fontes antropogênicas.

Barcellos et al. (2017) descreveram a evolução sedimentar do estuário do Capibaribe (PE — Brasil) por meio da análise suscetibilidade magnética, tamanho de grão, carbonato de cálcio, matéria orgânica total e parâmetros geoquímicos (taxas de sedimentação, concentrações de metais pesados, EF utilizando o Al como normalizante e CF) ao longo do testemunho. A taxa de sedimentação foi determinada pela atividade do ^{210}Pb , a média foi de $0,52 \text{ cm ano}^{-1}$. Neste estudo, não foi possível registrar a contaminação antrópica, embora o Pb e As apresentaram um nível de enriquecimento indicando contaminação antrópica.

Ivanoff et al. (2017) analisaram o sedimento da Lagoa Itapeva no sul do Brasil. Utilizaram o método ^{210}Pb para determinar a taxa de sedimentação que indicou forte influência da drenagem do Rio Três Forquilhas, com valores na ordem de $0,32 \text{ cm ano}^{-1}$.

Ivanoff et al. (2020) avaliaram as condições de sedimentação pela aplicação dos métodos geocronológicos do ^{210}Pb e ^{137}Cs em quatro testemunhos da Lagoa dos Patos, no sul do Brasil. As taxas de sedimentação apresentaram um padrão decrescente de norte a sul, indicando uma forte influência da descarga do Rio Guaíba (principal afluente da Lagoa dos Patos) no transporte de sedimentos para o interior da lagoa. O testemunho (norte) teve a maior taxa de sedimentação, da ordem de $0,70 \text{ cm ano}^{-1}$, enquanto os locais de perfuração centro e centro-sul apresentaram valores inferiores que corresponderam a taxas, respectivamente, de $0,55$ e $0,44 \text{ cm ano}^{-1}$. Essa tendência decrescente foi revertida no local mais ao sul, que apresentou uma taxa de $0,48 \text{ cm ano}^{-1}$ devido à influência conjunta das descargas do Rio Camaquã e do Canal de São Gonçalo, combinada com maior flocculação associada à proximidade do local com o estuário. Eles puderam concluir que as taxas foram maiores nos períodos de maior precipitação, enquanto o contrário ocorreu nos períodos mais secos. A correlação entre essas anomalias e evento *El Niño*-Oscilação Sul (ENOS) foi identificada. Durante os anos de *El Niño*, as taxas de sedimentação aumentaram 135% no setor norte; nos setores centro e centro-sul, as taxas aumentaram 164% e 170%, respectivamente, enquanto se registou um aumento de 262% a sul da lagoa.

2.3. Estudos realizados na região de estudo

As Lagoas Mirim, Mangueira e Nicola estão localizados no extremo sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Apesar da importância ecológica, econômica e geopolítica ainda são bastante reduzidos estudos sobre qualidade ambiental e composição química de sedimentos e inexistentes estudos para a Lagoa Nicola. Desta forma, procurou-se fazer o levantamento do estado da arte com ênfase em estudos com importância ao assunto desta pesquisa, os quais são abordados resumidamente.

Na Lagoa Mirim os principais estudos desenvolvidos foram sobre a sedimentologia (Vieira, 1995; Buchmann et al., 1998; Vieira et al., 2020), aspectos geológicos e geomorfológicos (Abreu et al., 1985; Buchmann et al., 1997), hidrologia (Obregon et al., 1999; Beltrame e Tucci, 1998; Oliveira et al., 2015), hidroquímica (Friedrich, 2004; Friedrich et al., 2006) e hidrodinâmica (Xavier, 2002; Oliveira et al., 2015; Vieira et al., 2020). É importante salientar que há poucos estudos relacionados à qualidade ambiental e composição química de sedimentos, incluindo trabalhos desenvolvidos por Niencheski et al. (2001), Mirlean et al. (2003), Santos et al. (2003) e Santos et al. (2004).

Niencheski et al. (2001) avaliaram a concentração de mercúrio em peixes na Lagoa Mirim apresentando baixas concentrações. Mirlean et al. (2003) estudaram a distribuição de arsênio em sedimentos superficiais no sistema lagunar Mirim-Patos. Os sedimentos apresentaram baixas concentrações de arsênio total, sugerindo que não há enriquecimento ou entrada antrópica deste elemento.

Santos et al. (2003) determinaram metais pesados em sedimentos superficiais da Lagoa Mirim. As maiores concentrações de Fe, Cu, Zn, Mn e Cr ocorreram na região sul da lagoa; o Pb ocorreu em maiores concentrações a região norte e o Cd é bem distribuído ao longo da lagoa. Os valores encontrados não estão acima dos critérios de qualidade e não foram encontradas evidências de contaminação de origem antrópica.

Santos et al. (2004) apresentaram dados sobre a composição orgânica e teores de nutrientes em sedimentos da Lagoa Mirim. O baixo teor de carbono foi atribuído à diluição do insumo orgânico e a altos processos de ressuspensão de sedimentos. O baixo teor entre a razão nitrogênio/fósforo pode estar associado ao intenso uso de fertilizantes fosfatados.

Friedrich et al. (2004) avaliaram a qualidade hídrica da Lagoa Mirim, através das concentrações de metais dissolvidos (Cu, Cr, Zn, Pb, Ni, Cd, Fe, Mn, Al, Hg e As) e particulados (Cu, Cr, Zn, Pb, Ni, Cd, Fe, Mn e Al), bem como discutiu o uso do Fe e Al como normalizadores geoquímicos.

Mirlean et al. (2005) avaliaram as relações entre mercúrio na precipitação, água, sedimento e tecidos de peixes em lagos próximos às áreas industriais e suburbanas, e distantes, em fontes protegidas como a Lagoa Flores, localizada na Estação Ecológica do Taim. As concentrações de mercúrio no sedimento e na água dos locais de estudo não variaram. Em contraste, o mercúrio na precipitação nos lagos aumentou com a proximidade de fontes industriais. O mercúrio no tecido dos peixes aumentou ao longo do mesmo gradiente, mas também variou com o nível trófico e a zona de profundidade preferida.

Na Lagoa Mangueira, Bruschi (2005) justificou a alcalinidade e valores de pH, devido à existência de um depósito de concha no fundo. Por outro lado, Attisano et al. (2008) apresentaram a Lagoa Mangueira como um corpo hídrico distinto das demais lagoas costeiras da região, pois apresentaram valores elevados de pH, nutrientes e alta concentração de matéria orgânica, que deve estar associada às atividades agrícolas e à degradação das áreas úmidas do Taim.

Na Lagoa Mangueira, Santos et al. (2008a) encontraram sedimentos ricos em carbonatos, bem como alto teor de cálcio em águas sobrejacentes. Diferentemente da Lagoa Mirim que é pobre em carbonatos (Calliari, 1980).

Quintela et al. (2019) analisaram o acúmulo de As e Pb em peixes e répteis no Banhado do Taim. O estudo demonstrou que a concentração total de As alcançou níveis altos, sugerindo um cenário de contaminação ambiental. Por outro lado, o Pb apresentou baixas concentrações. Além disso, recomendou a análise de compartimentos abióticos (principalmente água e sedimentos), de modo a investigar a necessidade de técnicas de remediação, visando a melhoria da qualidade ambiental da região.

Recentemente, Bortolin et al. (2020) estudaram a distribuição dos sedimentos superficiais do sistema lagunar Patos-Mirim em relação às condições hidrodinâmicas dominantes com o intuito de avaliar os processos de deposição e determinar a combinação das condições morfométricas e hidrodinâmicas. Eles puderam observar que os depocentros tem grande importância para o monitoramento ambiental, pois são o destino do processo fonte-sumidouro da fração de sedimentos finos e elementos químicos associados.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é apresentada a revisão de literatura, conceituando e definindo alguns termos recorrentes no texto, tratando sobre lagoas costeiras, avaliação da taxa de sedimentação, concentração e histórico deposicional de metais em sedimentos, conceituando também fator de enriquecimento.

3.1. Lagoas costeiras

As lagoas costeiras da região foram formadas a cerca de 10 mil anos durante eventos de progressão e transgressão do nível do mar (Kjerfve, 1994). São corpos d'água relativamente rasos separados do oceano por barreiras arenosas, geralmente orientadas ao longo da costa. Elas são isoladas parcial ou totalmente do oceano por um, ou mais canais restritos que raramente excedem alguns metros de profundidade (Kjerfve et al. 1997; Patchineelam, 2000).

Além disso, as lagoas costeiras se comportam como um sistema de contorno ou captura de sedimentos de granulação fina dependendo das condições geomorfológicas e hidrodinâmicas (Vieira et al., 2020) que são moduladas pela variabilidade climática (Távora et al., 2019; Ivanoff, et al., 2020).

As lagoas costeiras possuem menor energia hidrodinâmica quando comparadas com outros corpos hídricos, desta forma, tornam-se ambientes adequados para o estudo da evolução do aporte sedimentar. São caracterizadas como áreas de alta taxa de acumulação de sedimentos de granulometria fina, ricas em materiais orgânicos, em razão da minimização de fontes de energia como marés, ondas e correntes (Harrison e Mora, 1996; Ruiz-Fernández, 2003; Loureiro, 2012).

Segundo Boggs (1995), o padrão de circulação nas lagoas costeiras é pouco afetado pelo aporte de água doce, devido à sua comunicação com o mar estar restrita pela presença de algum tipo de barreira física (restingas). Os principais movimentos de água nas lagoas são pelas correntes de maré ou ondas geradas por ventos.

As lagoas costeiras são ambientes sensíveis que sofrem com atividades antropogênicas, tais como, a construção de barragens e reservatórios de água na bacia de drenagem, que servem de armadilha para os sedimentos necessários à formação da barreira/restinga; agricultura e urbanização dos solos, que aumentaram o grau de erosão e, conseqüentemente, a chegada de sedimentos às lagoas, que sofrem o assoreamento e diminuição da qualidade das águas em função do aumento da turbidez das águas; e o lançamento de esgotos domésticos sem tratamento (Patchineelam, 2000).

O sistema lagunar Patos-Mirim se comporta como uma armadilha costeira de barreira posterior para sedimentos internos de granulação fina (Calliari et al., 2009; Dillenburg et al., 2017; Weschenfelder e Corrêa, 2018). A maior parte da carga de sedimentos transportada por riachos e rios que drenam a bacia hidrográfica, representa a fonte natural do ambiente sedimentar limnogeológico (Dillenburg et al., 2017; Bitencourt e Dillenburg, 2020) que é dominado por fácies arenosa, siltosa e argilosa (Toldo, 1994; Toldo et al., 2000; Tomazelli e Villwock, 2000; Weschenfelder et al., 2014; Bortolin et al., 2018).

3.2. Sedimentos de lagoas costeiras

O Sistema lagunar Mirim-Patos é alimentado por sedimentos do Escudo Uruguai-Sul-Riograndense, mas também de rochas sedimentares e vulcânicas do Paleo-Mesozóico da Bacia do Paraná. Este material siliciclástico é incorporado pelos rios Jacuí e Camaquã na Bacia Hidrográfica da Lagoa dos Patos (Tomazelli e Villwock, 2000; Vaz et al., 2006), e Cebolatti, Taquarí, Jaguarão e Piratini no Mirim Sistema de drenagem lagunar (Oliveira et al., 2015; Vieira et al., 2020).

Este sistema lagunar é caracterizado por dois domínios sedimentológicos principais; as margens submersas rasas, que servem de substrato para o desenvolvimento de pontas arenosas e o fundo da lagoa de águas profundas, onde predominam os sedimentos lodosos (Toldo, 1991).

3.3. Comportamento dos metais em lagoas costeiras

Os sedimentos são importantes carreadores de metais no ciclo hidrológico, podendo refletir a atual qualidade do sistema, bem como o desenvolvimento histórico de certos parâmetros hidrológicos e químicos. Além disso, as análises comparativas das concentrações totais de perfis longitudinais e testemunhos de sedimentos podem conter um registro histórico valioso, incluindo anomalias de metais causadas por processos naturais bem como mudanças ocasionadas em decorrência de processos antrópicos (Salomons e Förstner, 1984).

Os sedimentos são mais afetados pela concentração de metais que a coluna d'água, sendo os principais depósitos elementares; e também atuam como fonte de elementos para a coluna d'água dependendo das condições físico-químicas do meio (Chester, 2009; Schintu et al., 2016).

As principais fontes de contaminação de metais nos sedimentos são originadas da atmosfera, deposições sólidas e áreas agrícolas. As fontes em escala local são as emissões

de despejos industriais, esgotos domésticos, depósitos de lixo e despejos de mineração (Calmano, 1996).

Vale ressaltar que as análises de composição granulométrica têm o intuito de avaliar a capacidade de adsorção de metais por partículas finas (silte e argila), pois em análises de sedimentos o tamanho do grão desempenha papel fundamental no controle de metais (Loring e Rantala, 1992). Além disso, a granulometria é um dos principais fatores que condiciona a distribuição de metais em sedimento (Zhang et al., 2002).

3.4. Aspectos hidrodinâmicos e hidrológicos

Costi et al. (2018) avaliaram a influência dos ventos incidentes e as descargas dos principais tributários no nível de água. Concluíram que a Lagoa Mirim é um sistema semifechado dominado por descargas de rios em escalas longas de tempo e modulada pela ação do vento em escalas menores.

Oliveira et al. (2015) observaram que o vento local é a forçante mais importante para a dinâmica da Lagoa Mirim transportando água entre as extremidades norte/sul, devido à orientação, topografia suave e a batimetria rasa em comparação a sua área superficial.

A região de estudo tem variabilidade interanual modulada por *El Niño*-Eventos de Oscilação Sul (Möller et al., 2008; Távora et al., 2019; Ivanoff, et al., 2020). Os ventos são orientados sudoeste-nordeste (SW-NE) paralelo à costa conforme modulado pelos ventos locais nordeste-sudoeste (NE-SW) predominantes, mas com a maior intensidade de SW durante o inverno (Möller et al., 2001).

O sistema da Lagoa Mirim é raso, cerca de 6 m de profundidade, favorecendo a ocorrência de ondas locais de 1,6 m de altura com um período de 4,8 s (Toldo et al., 2003), principalmente ao longo das margens arenosas (<5 m de profundidade), em contraste com acúmulo de lama em profundidade acima de 5 m, conforme descrito por Toldo et al. (2000).

3.5. Taxa de sedimentação

Sugio (2003) definiu a taxa de sedimentação como a velocidade de acumulação de sedimentos em um ambiente subaquático, sendo medida pela espessura depositada em um determinado intervalo de tempo. Segundo o autor, o valor absoluto desse parâmetro é muito difícil de ser determinada, devido às fases de sedimentação que são alteradas pela deposição mais lenta, a não deposição ou erosão e, além disso, podem ser muito variáveis de um local para outro no mesmo ambiente.

A taxa de sedimentação é uma informação importante para a avaliação do histórico de contaminação registrado em sedimentos de áreas impactadas por atividades antrópicas (Benoit e Rozan, 2001). Assim, existem vários métodos para medir a taxa de sedimentação, destacam-se, observações diretas, cálculos teóricos, métodos paleontológicos, métodos isotópicos, entre outros (Suguio, 2003).

Os métodos isotópicos são baseados especialmente na concentração natural relativa do ^{210}Pb e ^{226}Ra ao longo de perfis de sedimento (Patchineelam e Smoak, 1999).

3.6. Histórico da região de estudo

Em 1977, foi construída a Barragem Eclusa do Canal São Gonçalo, primeira grande realização do Plano de Desenvolvimento da Bacia Lagoa Mirim, um acontecimento com grande significado histórico, político, econômico e social (Vianna, 2012).

A Lagoa Mirim e a Lagoa dos Patos formam o maior sistema lagunar da América do Sul. A água flui no sentido Mirim-Patos, pois existe o Canal São Gonçalo que é uma barragem eclusa, que impede o aporte das águas salinas do estuário da Lagoa dos Patos em direção à Lagoa Mirim, garantindo um melhor aproveitamento dos recursos naturais e tornando possível a utilização da água para produção agrícola, consumo humano e industrial. Além de outras atividades, como a pesca e a exploração mineral (areias de fundo) (Gouvêa et al., 2010; Vianna, 2012).

Segundo Santiago et al. (2010), o represamento afetou a hidrodinâmica e a ecologia da região causando a diminuição das espécies estuarinas e a diminuição nos desembarques de peixes de 50 mil toneladas em 1970 para 40 mil toneladas no final dos anos 90.

O principal uso da água da Lagoa Mirim é a irrigação de plantações de arroz, no Brasil e no Uruguai, responsável por produção de 50% da produção de ambos os países (IRGA, 2006). De acordo com IRGA (2019), possibilita a irrigação de uma área total de 150 mil hectares de lavoura de arroz. Outro uso importante é o abastecimento urbano do município de Rio Grande e vizinhanças, viabilizando assim o fornecimento de água potável.

No sistema natural da Lagoa Mirim, a principal ação antrópica nos dois países são as plantações de arroz irrigado, que têm uma alta demanda de água nos períodos de baixa precipitação (IPH, 1998). De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB, 2016), o consumo médio anual é de, aproximadamente, $45 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de água para a irrigação. Além disso, o uso excessivo de defensivos agrícolas pode ser uma das

principais fontes de metais para os ecossistemas aquáticos que compreende a Lagoa Mirim e Mangueira (Villanueva, 1998). Consequentemente, este curso de água recebe concentrações intensas de compostos químicos, pois a presença de lavouras nas margens de rios facilita a entrada de sedimentos para o corpo de água, principalmente, através da lixiviação por efeito da precipitação (Jung, 2017).

No Rio Grande do Sul, o primeiro projeto de irrigação a ser utilizado no arroz irrigado teve início como iniciativa privada em 1881, operando efetivamente em 1903 (Min, 2008).

De acordo com Teixeira (2015), na década de 1960 teve início as atividades de exploração de areia no Rio Jaguarão, um dos principais tributários da Lagoa Mirim, com o intuito de suprir a demanda de insumo base para a construção civil no município. Antes de 1994, essa atividade extrativa era ilegal no leito do Rio Jaguarão causando a degradação da mata ciliar da região, assoreamento de rios, acúmulo de sedimentos, lixiviamento de áreas adjacentes aos rios e que foram desmatadas para a agricultura, obras de engenharia e causas naturais.

Três possíveis fontes antrópicas principais são propostas para a Lagoa Mirim: (1) pesticidas e fertilizantes usados na cultura do arroz; (2) mineração e queima de carvão em algumas cidades localizadas dentro da Bacia do Rio Jaguarão; e, (3) águas residuais de cidades localizadas na Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim (Friedrich, 2004).

4. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho são as lagoas Mirim, Mangueira e Nicola localizadas no extremo sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, como indicado na Fig. 4.1.

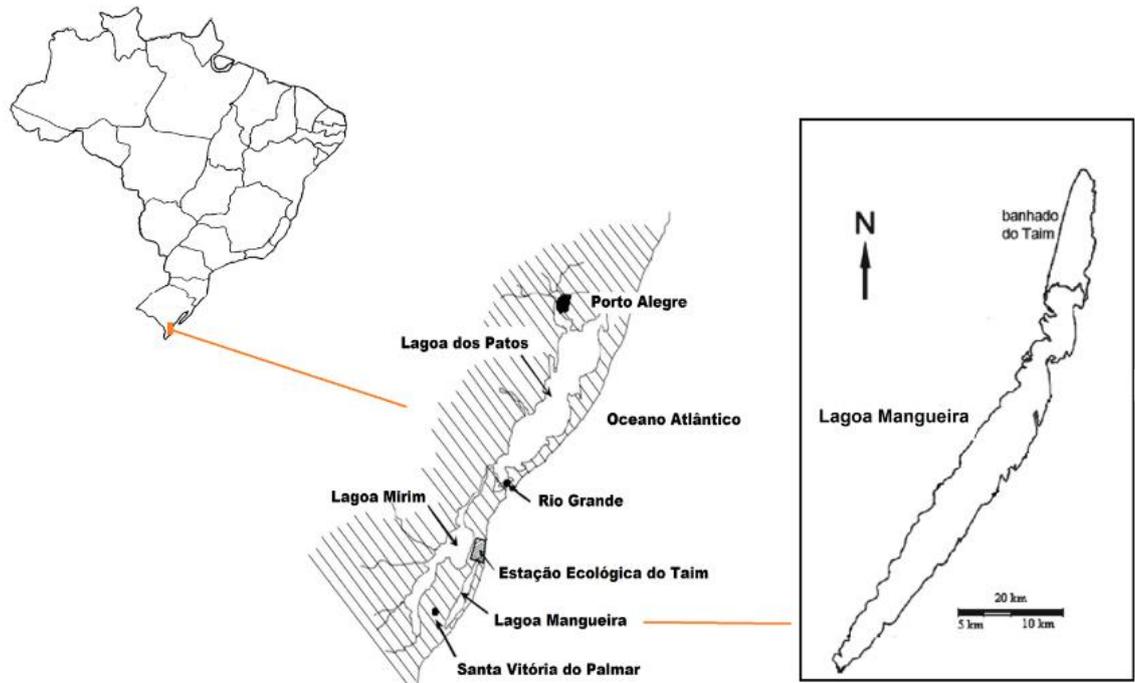


Figura 4-1- Localização da área de estudo - Extremo sul do Rio Grande do Sul. Fonte: Santos et al. (2018).

O processo de formação e evolução do sistema lagunar ocorreu durante sucessivos ciclos regressivos e transgressivos do nível do mar nos últimos 400 mil anos, originando quatro sistemas deposicionais tipo Laguna-Barreira (Villwock e Tomazelli, 1995; Tomazelli e Villwock, 2000). O Sistema Laguna-Barreira IV é o mais recente e constitui a linha de costa atual. Nesta região surgiu sistemas lagunares, entre elas a Lagoa Mangueira, na “interface” da Lagoa Mirim com o Oceano Atlântico. A conexão entre esse corpo hídrico ocorre por meio do Banhado do Taim (Tomazelli et al., 2000; Buchmann et al., 2009). De acordo com Tomazelli et al. (2000) a Lagoa Mirim e Mangueira foram formadas em tempos geológicos diferentes, consequentemente, possuem diferentes composições mineralógicas.

4.1. Lagoa Mirim

A Lagoa Mirim, localizada do extremo sul do Brasil e a leste do Uruguai, forma com a Lagoa dos Patos o maior complexo lagunar da América do Sul. Morfodinamicamente é considerada uma lagoa estrangulada, a conexão com o oceano ocorre de forma indireta através do Canal de São Gonçalo que liga a Lagoa Mirim ao estuário da Lagoa dos Patos (Oliveira et al., 2015; Silva et al., 2019). Possui área superficial de aproximadamente 4.000 km², profundidade média de 4,5 m, extensão média de 180 km e largura de 22 km (Vieira e Rangel, 1984, 1988; Munar et al., 2018).

De acordo com dados da Agência de Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim – ALM, a Lagoa Mirim está dividida em oito bacias hidrográficas no território brasileiro, a Bacia do São Gonçalo – principal afluente o Rio Piratini – a Bacia do Arroio Grande (4.080 km²) – que incorpora o Arroio Grande e o Arroio Chasqueiro – e a bacia do Litoral (6.416 km²), onde estão localizados o Banhado do Taim e a Lagoa Mangueira, entre outras menores. No território uruguaio, a Bacia do Tacuarí (5.143 km²), a Bacia do Cebollatí (17.328 km²), a Bacia do Sarandi (1.266 km²) e a Bacia do São Miguel (6.933 km²) – integrada pelo São Miguel e por outros arroios de menor expressão; na divisa entre o Brasil e o Uruguai, está a Bacia do Rio Jaguarão, com 8.188 km².

É importante ressaltar que a Lagoa Mirim tem como principais tributários o Rio Cebollatí na porção mais ao sul, o Rio Jaguarão e o Rio Tacuarí ambos na porção central (Párraga, 1997; Beltrame e Tucci, 1998), mostrado na Fig. 4.2.

O clima da região é subtropical com média anual de temperatura entre 14 °C a 18 °C e precipitação anual em média de 2000 mm (Santos et al., 2004; Costi et al., 2018). A intensidade dos ventos nesta região é muito variável durante o ano, sendo a direção predominante a nordeste, mas durante o outono e inverno há incidência de ventos de quadrante sul, ao contrário do que ocorre no verão e primavera (Spagnoli et al., 2002).

A Lagoa Mirim e as áreas úmidas ao seu entorno têm importância econômica, social e ambiental, no Brasil e no Uruguai. A principal atividade econômica da região é o cultivo de arroz, tendo um elevado uso da água para irrigação (Beltrame e Tucci, 1998; Párraga, 1997). As áreas agrícolas de cultivo de arroz são submetidas ao uso excessivo de pesticidas, inseticidas e fertilizantes químicos que são possíveis fontes de metais para os ecossistemas naturais (Niencheski et al., 2002).

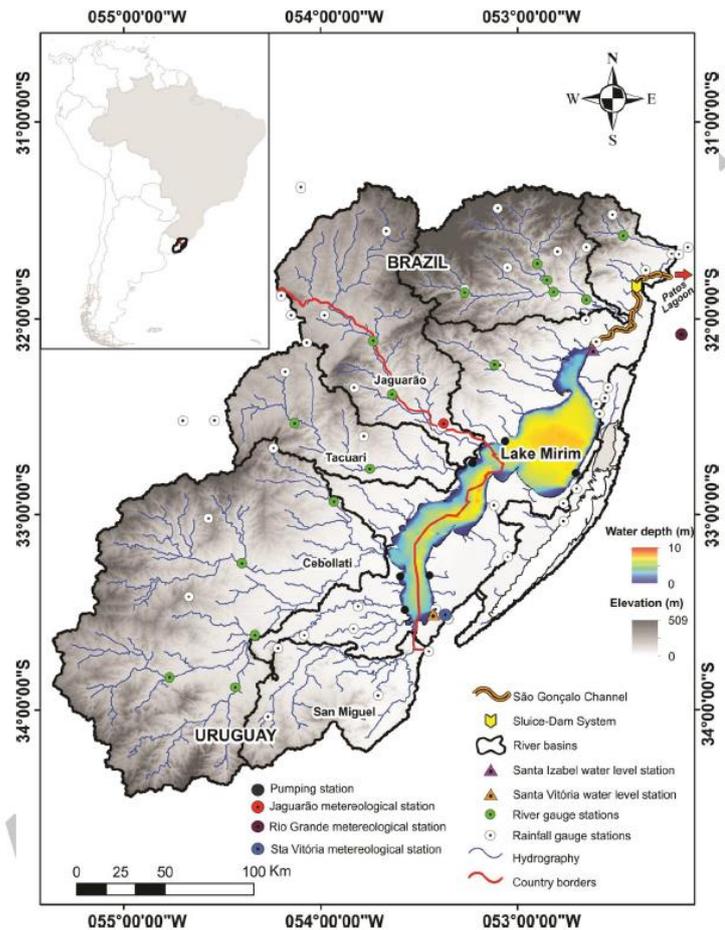


Figura 4-2- Localização das principais tributários da Lagoa Mirim e do Canal de São Gonçalo. Fonte: Munar et al. (2018).

4.2. Lagoa Mangueira

A Lagoa Mangueira faz parte do complexo Lagunar (Patos-Mirim-Mangueira), maior complexo lagunar do planeta. Possui cerca de 90 km de comprimento, área superficial de 820 km² e profundidade máxima de 7 m. É caracterizada como um ecossistema raso, sem efeito de maré, tributários e ligação com o oceano Atlântico (Tejadas et al., 2016).

A Lagoa Mangueira com diversas lagoas menores, integra o Sistema Hidrográfico do Taim (SHT), localizado na região sul do Estado do Rio Grande do Sul, entre os municípios de Santa Vitória do Palmar e Rio Grande (Artioli et al., 2009). A restinga localizada entre as lagoas Mirim, Mangueira e o mar é dominada por sedimentos arenosos (Ullman et al., 2003).

As principais atividades econômicas da região são a agricultura, pecuária, pesca e recreação (Milani, 2009). Caracterizado principalmente pela irrigação da cultura do arroz,

consumo de recursos hídricos e evidências de mudanças ambientais ao longo dos anos (Silva et al., 2009).

Na perspectiva geológica, a Lagoa Mangueira possui cerca de 5000 anos, confinada entre barreiras geológicas entre o período Pleistocênico e Holocênico, formada a partir de regressões e transgressões marinhas através de processos de erosão e deposição de areia com a ação eólica (Schäfer, 1984; Tomazelli e Villwock, 2005).

O sedimento tem característica arenosa composta principalmente de quartzo, siliciclásticos com granulometria fina a média (Tomazelli et al., 2000; Buchmann et al., 2009). Além disso, apresenta alto teor de matéria orgânica, provavelmente a partir da cobertura vegetal em constante interação com a água do Banhado do Taim (Villanueva et al., 2000; Andrade et al., 2012).

Segundo Milani et al. (2008) as águas superficiais da Lagoa Mangueira possuem concentrações de macro e micronutrientes mais elevados para alguns elementos (silicato, fosfato, amônio, nitrito e ferro dissolvido) que outros corpos lagunares da região, como as Lagoas Mirim e Patos.

O clima da região é subtropical com forte influência oceânica, sendo a temperatura média anual de 18 °C e precipitação de 1100 mm. O inverno é caracterizado por ser relativamente frio e chuvoso, e o verão como quente e seco, além de ventos bastante intensos (Fragoso, 2005; Andrade, 2012).

4.3. Lagoa Nicola

A Lagoa Nicola localizada no alto da Lagoa Mangueira faz parte da Estação Ecológica do Taim (ESEC Taim) (Ludwig, 2004). Possui características similares aos sistemas lagunares Mirim e Mangueira (Villanueva et al., 2000). Apesar de sua importância ecológica, econômica e geopolítica ainda é pouco conhecida, principalmente, estudos relacionados à qualidade ambiental de sedimentos são incipientes.

O Banhado do Taim localizado no extremo sul do estado do Rio Grande do Sul ocupa cerca de 60% da área total da Estação Ecológica do Taim (ESEC Taim), unidade de conservação federal criada através do Decreto no 92.963, de 21 de julho de 1986, com o intuito de proteger os Banhados do Sul e a fauna ameaçados de extinção e preservar o local de passagem de aves migratórias (IBAMA, 2003).

A ESEC Taim situa-se na estreita faixa de terra entre o oceano Atlântico e a Lagoa Mirim, abrange uma área de aproximadamente 300 km², com cerca de 30% de sua área

integrada no município de Rio Grande e 70% pertencente ao município de Santa Vitória do Palmar (Paz et al., 2003) (Fig. 4.2).

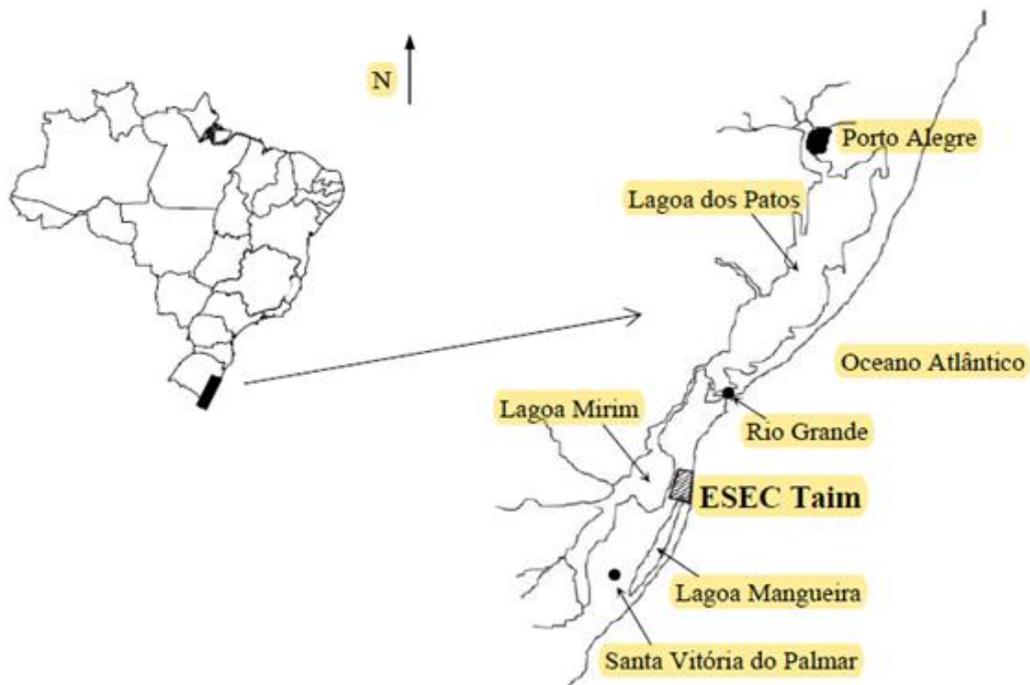


Figura 4-3- Localização da ESEC Taim. Fonte: Paz et al. (2003).

Os ecossistemas predominantes da ESEC Taim são banhados, lagoas, campos e dunas, com destaque para o banhado do Taim, e para as Lagoas Nicola e Jacaré, além da parte norte da Lagoa Mangureira (Fig. 4.4) (Paz et al., 2003).

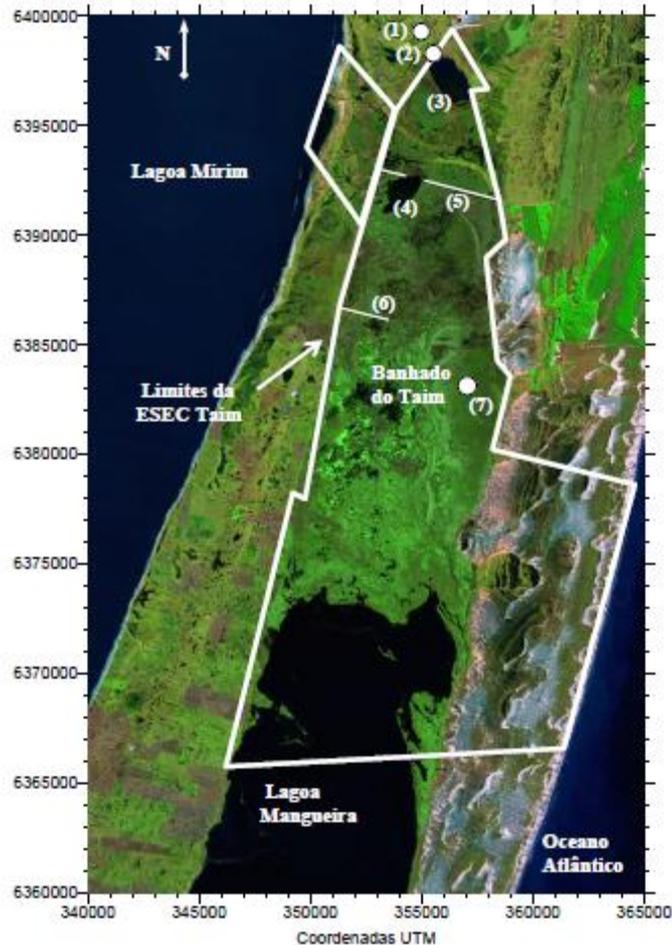


Figura 4-4 - Imagem de satélite da localização do ESEC Taim onde (1) sede ESEC Taim; (2) comportas de saída do Banhado do Taim; (3) Lagoa Nicola; (4) Lagoa Jacaré; (5) Canal do Jacaré; (6) Canal Sarita; (7) posto Negreiros. Fonte: Paz et al. (2003).

Segundo definição do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEMA), banhados ou área úmidas são extensões de terras normalmente saturadas de água onde se desenvolvem flora e fauna típicas. Possuem aspectos hidrogeológicos e ecossistêmicos diferenciados e específicos.

De acordo com Tassi (2008) e Sete (2010), frequentemente são relatados conflitos sobre o uso da água para a preservação da biodiversidade e atividades agrícolas. O regime hidrológico do Banhado do Taim, característica fundamental para a manutenção da biodiversidade local, é alterado principalmente pela irrigação, pois o ecossistema possui uma baixa capacidade de recuperação agravado pela precipitação semelhante à evaporação média anual (Panessa et al., 1989; Rosa et al., 2017). Sendo possível observar alterações morfohidrográficas, decorrentes da expansão urbana e de práticas agrícolas vinculadas às lavouras de arroz irrigado (Simon e Silva, 2015; Rosa et al., 2017) e que,

consequentemente, podem apresentar alterações antrópicas irreversíveis nas características naturais destes ecossistemas.

Os banhados estão entre os ecossistemas mais produtivos apresentando altos níveis de diversidade biológica e de produtividade primária e secundária (Kafer et al., 2011; Kafer, 2013). Burger (2000) e Chomenko (2007) citam alguns benefícios que estes ecossistemas proporcionam, como a estocagem e purificação da água, recarga do lençol freático, regulação do clima local, manutenção da biodiversidade, regulação dos ciclos biogeoquímicos, estocagem de carbono, proteção de zonas costeiras à elevação do nível do mar, controle da erosão e absorção de grandes volumes de chuva.

No Banhado do Taim grande parte das entradas de água ocorrem por meio das precipitações na sua bacia hidrográfica e do escoamento da Lagoa Mangueira, principal fonte de alimentação de água. As saídas de água ocorrem por evaporação, irrigação e, quando o nível d'água está alto, através do escoamento para a Lagoa Mirim, mediante um sistema de canais e comportas, localizado ao norte do banhado, caracterizando um sistema regido essencialmente por níveis d'água (Paz, 2003; Villanueva, 2003).

O clima da região é subtropical com temperatura média de 23 °C durante o verão e 13 °C durante o inverno. A precipitação média anual de 1100 mm, bem distribuída durante o ano, tendo um aumento nos meses de inverno, além de ventos intensos (IBAMA, 2003; Rossato, 2011). A vegetação característica são espécies de macrófitas aquáticas (Pott et al., 2012), responsável pela elevada biodiversidade animal local (Agostinho, 2000).

5. METODOLOGIA

5.1. Amostragem

As amostras analisadas neste estudo foram coletadas durante a realização do projeto intitulado “Qualidade da água subterrânea para uso doméstico e da água superficial para a agricultura em função da descarga do estuário submarino existente na região de restinga do litoral do RS” (QUALIESTSUB).

Os pontos de amostragem de sedimentos foram selecionados nas lagoas Mirim, Mangueira e Nicola, em locais de acesso permitido pelas condições ambientais e onde seria possível realizar a amostragem. Por outro lado, a escolha dos locais de amostragem também obedeceu à ideia de se distribuir esses pontos em posições de diferentes características.

Foram definidos cinco pontos de coleta de testemunhos de sedimentos, conforme mostrado na Fig. 5.1, cuja localização foi georreferenciada através de GPS (*Global Positioning System*). Três pontos na Lagoa Mirim que foram identificados como MR, de coordenadas 32° 48' 47,66" S e 52° 47' 31,16" O. O ponto MRF, de coordenadas de 32° 41' 7,36" S e 53° 01' 2,67" O. O terceiro como MRJ, de coordenadas 32° 40' 66,28" S e 53° 08' 4,21" O.

O segundo – MG – situado na Lagoa Mangueira, em uma região caracterizada como um sistema raso, sem efeito de maré, tributários, ligação com o oceano Atlântico, cujas coordenadas são 32° 56' 6,64" S e 52° 38' 0,748" O.

A terceira coleta de amostras foi realizada em uma área de proteção ecológica, situada na ESEC Taim, na Lagoa Nicola localizada no alto da Lagoa Mangueira. Foi identificado por NIC, e localizado nas coordenadas 32° 34' 0,12" S e 52° 31' 59,88" O.

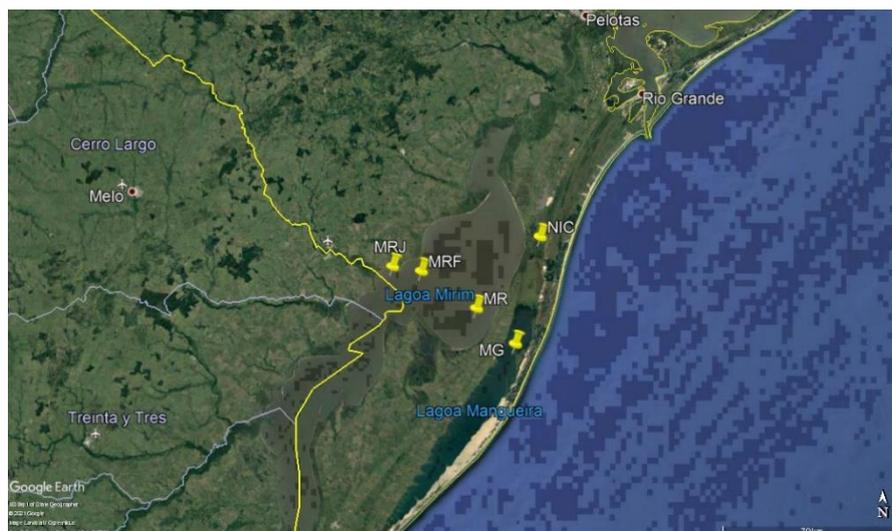


Figura 5-1 - Localização dos pontos de coleta de amostra. Fonte: Adaptado do Google Earth.

Os testemunhos foram obtidos em abril de 2008 com um amostrador de fundo do tipo *Gravity Corer* (Fig. 5.2), coletor que utiliza a força da gravidade para penetrar o sedimento e permite a coleta de perfis verticais intactos (Barcelo e Petrovic, 2007). O amostrador é constituído por um barrilete metálico contendo em seu núcleo um tubo plástico, onde a amostra de sedimento fica contida conforme mostrado na Fig. 5.3.



Figura 5-2 - *Gravity corer*. Fonte: Winsborow et al. (2012).

O tamanho total dos testemunhos coletados foi de 85 cm, sendo fatiadas em amostras de 1 cm cada nas camadas iniciais, após 10 cm a cada 4 cm até o final, tendo-se cortado o tubo contendo o testemunho para depois retirar o sedimento. As amostras foram

acondicionadas em sacos plásticos, lacradas, devidamente identificadas por sua profundidade, e pesadas ainda úmidas.



Figura 5-3 - Testemunho de sedimento. Fonte: Colaboradores do projeto.

As amostras de cada testemunho foram secas em estufa a uma temperatura de 60 °C, desagregadas em gral de porcelana, homogeneizadas e pesadas. Após a abertura do testemunho, as amostras foram separadas para a quantificação de ^{210}Pb e ^{226}Ra , análise granulométrica e metais totais.

Cabe ressaltar que os dados sobre a taxa de sedimentação foram obtidos por Bueno et al. (2021, no prelo) artigo em fase de revisão e são apresentados neste estudo com o objetivo de estabelecer correlações entre os dados analisados. As análises foram feitas no laboratório do *Department of Earth, Ocean and Atmospheric Science, Florida State University, Flórida, USA*.

Bueno et al. (2021, no prelo) analisaram os radionuclídeos da série de decaimento do isótopo de urânio (^{238}U) com um detector coaxial semiplanar intrínseco de germânio (Ge) de alta pureza com 40% de eficiência, alojado em uma blindagem de chumbo, acoplado a um analisador multicanal. A atividade de ^{210}Pb foi determinada pelo método proposto por Appleby (1988), pela medição direta do pico de gama 46,5 KeV, enquanto a atividade de ^{226}Ra foi calculada pela média dos picos de suas filhas ^{214}Pb e ^{214}Bi (295,2 KeV) (351,9 KeV) (609,3 KeV). O excesso de atividade de ^{210}Pb ($^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$) foi estimado subtraindo o ^{226}Ra da atividade total de ^{210}Pb . As taxas de sedimentação foram obtidas através do método de datação por Concentração Inicial Constante (CIC) descrito em Appleby e Oldfield (1992).

5.2. Análise granulométrica

Com a análise das dimensões das partículas é possível obter informações sobre a disponibilidade de determinados tipos de partículas e sobre as rochas que deram origem, sobre o transporte (de acordo com a resistência das partículas, sua composição e alteração química), e sobre os ambientes deposicionais. De acordo com Lemes et al. (2003), a fração de material mais fino do sedimento (silte e argila) contém a maior quantidade de metais, pois têm maior tendência em adsorver devido a maior razão área superficial/tamanho do grão.

O método de Suguio (1973) foi utilizada para a análise granulométrica. As amostras foram secas em estufa a temperatura de 100 °C. Depois de secas, as amostras foram homogeneizadas. O sedimento de grão fino (<63 µm) foi obtido por peneiras com diferentes tamanhos de malha. Posteriormente, foram pesadas e finalmente, o tamanho de grão foi expresso em porcentagem.

Este procedimento foi realizado no Laboratório de Sedimentologia no Instituto de Oceanografia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG).

5.3. Sedimento

As amostras de sedimentos destinadas para a determinação de metais foram secas em estufa a 60 °C para a eliminação da água, até obtenção de peso constante (Baumgarten et al., 2010) e maceradas para a obtenção de uma amostra homogênea para posterior digestão e análise de metais.

5.4. Análise de metais

Para a determinação de metais em amostras de sedimentos é necessário converter a amostra em uma forma adequada, de acordo com a técnica de quantificação. A técnica utilizada foi espectrometria de absorção atômica de chama - FAAS, exige a introdução das amostras na forma de soluções aquosas, sendo necessária a digestão da amostra de sedimento.

O procedimento de digestão foi aplicado para as amostras de sedimento e Materiais de Referência Certificado de sedimento (IAEA-356, IAEA-457, MESS-1 e BCSS-1). Os brancos utilizados foram feitos seguindo os mesmos procedimentos. As soluções resultantes foram armazenadas em tubos plásticos e refrigeradas até o momento da análise.

A metodologia de abertura da amostra foi a digestão assistida por forno de micro-ondas, sendo adicionado uma mistura de ácido nítrico (HNO_3) e ácido fluorídrico (HF), conforme o método oficial 3052 da Agência de Proteção Ambiental (EPA, do inglês *Environmental Protection Agency*) com algumas modificações (USEPA, 2007). O método utilizado consiste na decomposição total do sedimento, através do uso de HNO_3 , HF, H_2O_2 e H_3BO_3 .

Para a digestão total da amostra foi utilizado cerca de 0,20 g de sedimento, seguidos da adição de 5 mL de ácido nítrico (HNO_3) Suprapur® (Merck) e 2 mL de ácido fluorídrico (48%) (HF) Suprapur® (Merck) em tubos de Teflon. Foram mantidos em repouso por 24h, para fins de liberação dos vapores ácidos. Antes da primeira etapa de digestão, foi adicionado 2 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) Suprapur® (Merck), sendo mantido em repouso até atingir a temperatura ambiente. Na segunda etapa de digestão da amostra, foi adicionado 10 mL de solução de ácido bórico (4%) (H_3BO_3). A digestão foi realizada no forno de micro-ondas (Mars Xpress – versão 5), durante 45 min a 180 °C. Posteriormente, os tubos foram mantidos em repouso até voltarem a temperatura ambiente e, após esse período, em tubos plásticos foram diluídas a 50 mL com H_2O Milli-Q.

5.5. Quantificação de metais

Neste trabalho a quantificação dos metais Cu, Mn, Fe e Al, foi procedida empregando a técnica de espectrometria de absorção atômica de chama – FAAS (Shimadzu, modelo AA-7000). Foram utilizadas curvas de calibração para cada elemento elaborado a partir das soluções padrão de modo a construir as curvas de calibração. A exatidão e a precisão do método analítico foram avaliadas utilizando materiais de referência certificado. Os resultados foram expressos em mg kg^{-1} de peso seco.

O limite de detecção (LD) é definido como a menor concentração da espécie de interesse que pode ser detectada pela técnica de quantificação, enquanto o limite de quantificação (LQ) é definido como a mais baixa concentração que pode ser quantificada nos limites de precisão e exatidão do método analítico (Ribeiro et al., 2008). O LD e o LQ das análises foram calculados, respectivamente, como 3 vezes e 10 vezes o desvio padrão dos brancos, divididos pelo coeficiente angular (inclinação) da curva de calibração de cada metal (Brito et al., 2003). Para isso, realizou-se 10 medidas de brancos, as quais foram submetidas a esta metodologia.

A eficiência da extração dos metais foi calculada pela razão entre a concentração de metal analisado e a concentração de metal do Material de Referência Certificado (CRM).

5.6. Avaliação do aporte de metais pesados ao meio ambiente

O fator de enriquecimento (EF) permite identificar metais originários de atividades humanas e os provenientes de processos naturais, para avaliar o grau de influência antrópica no ambiente (Marins et al., 2004).

O EF do metal é determinado através da comparação das concentrações de metais encontradas numa determinada zona, com as concentrações de metais em áreas de referência consideradas não poluídas (valores *background*) (Salomons e Forstner, 1984). Como valores de referência podem ser usados: o teor médio de elementos das rochas; o teor médio de elementos na crosta terrestre; e os níveis pré-industriais de uma região específica (Sreekanth et al., 2015; Kim et al., 2016).

O elemento normalizador é um elemento químico de pouca mobilidade no sedimento e fracamente associado às atividades antropogênicas.

De acordo com Yongming et al. (2006), a classificação de contaminação baseada em valores do EF, sendo estas:

- EF < 2: enriquecimento mínimo ou nulo;
- EF 2 - 5: enriquecimento moderado;
- EF 5 - 20: indicador de enriquecimento significativo;
- EF 20 - 40: indicador de enriquecimento muito alto;
- EF > 40: indicador de enriquecimento extremamente alto.
-

A possibilidade de contaminação foi avaliada através do EF, o qual é calculado pela razão entre a concentração do metal no material particulado/normalizador dividido pela razão entre metal na crosta terrestre/normalizador. O EF fornece informações sobre a contaminação de sedimentos de um único elemento (Szefer et al., 1998). A EF foi calculada da seguinte forma:

$$EF = \frac{\left(\frac{C_X}{C_N}\right)_{Amostra}}{\left(\frac{C_X}{C_N}\right)_{Referência}} \quad (5.1)$$

onde: C_X é a concentração do elemento X ; C_N é o conteúdo do elemento de normalização. Os valores de fundo correspondem à concentração do elemento na base do testemunho.

Metais como Sc, Mn, Ti, Al, e Fe são usados como normalizadores geoquímicos (Kumar, et al., 2012). Neste estudo, no cálculo do EF, foi escolhido como elemento de referência o alumínio (Al), considerando sua baixa mobilidade natural no meio ambiente, por ser um dos elementos mais abundantes da Terra e imóvel ao assumir pH constante (Zhang et al., 2009). É importante destacar estudos desenvolvidos utilizando o Al como normalizador (Niencheski et al., 2006; Hortelanni et al., 2008; Maanann et al., 2014; Barcellos et al., 2017; Pratte et al., 2018; Orani et al., 2019).

Os valores de alguns elementos que compõem a crosta terrestre são usados como valores de referência para o cálculo de EF, sendo utilizados neste estudo. A composição dos elementos estudados segundo Martin e Whitfield (1983) são mostrados na Tab. 5.1.

Tabela 5-1- Valores de referência da crosta terrestre.

Elemento	Concentração (mg kg⁻¹)
Al	69300
Cu	32
Fe	35000
Mn	720

Fonte: Martin e Whitfield (1983)

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da avaliação de parâmetros físico-químicos de sedimento, análise de metais, além dos dados da taxa de sedimentação, são apresentados neste capítulo.

6.1. Características sedimentológicas

Foi realizada a análise entre os valores das propriedades físicas e as características sedimentológicas do material que compõe os testemunhos, com o intuito de identificar as principais interfaces entre camadas de sedimentos. Nos sedimentos analisados foi feita a separação da amostra por tipo de material e estruturas presentes. Foram identificados areia grossa a muito grossa, areia média, areia muito fina a fina, lama arenosa, lama compacta, lama fluida e lama muito fluida, além de pedaços de conchas nas maiores profundidades e material vegetal. As Tabs. 6.1, 6.2 e 6.3 e o Apêndice I apresentam a descrição detalhada dos testemunhos.

Tabela 6-1 - Características do testemunho da Lagoa Mirim – MRF

Profundidade (cm)	Características
1	Fluido
2	Fluido + raízes
3 - 4	Fluido
5 - 7	Pouco fluido
8	Mais plastificado
9 - 12	Firme plastificado
14 - 30	Firme
35 - 70	Com conchas
75 - 85	Com conchas, bem consistente

Nos testemunhos da Lagoa Mirim, a base predominante é argila e silte com um pouco de areia. De acordo com a Tab. 6.1, observa-se nas profundidades iniciais que o sedimento tem um aspecto mais fluido e a partir de 9 cm mais firme. Além disso, há presença de conchas em profundidades maiores (35 - 85 cm).

Tabela 6-2 - Características do testemunho da Lagoa Mirim – MRJ

Profundidade (cm)	Características
1	Bem lamoso
2	Bem lamoso com um pouco de vegetação em decomposição
3 - 4	Lamoso com raízes
5 - 6	Pouco lamoso com raízes
7 - 10	Pouco lamoso com poucas raízes
12	Mais consistente
14 - 18	Firme
20 - 30	Lama bem firme
35	Super firme
40 - 50	Plastificado

O testemunho MRJ apresenta uma sedimentação mais lamosa, vegetação em decomposição e raízes em sua composição (ver Tab. 6.2).

Tabela 6-3 - Características do testemunho da Lagoa Mangueira – MG

Profundidade (cm)	Observações
1 - 5	Lamoso
6 - 8	Lamoso + firme
9 -20	Firme
25 - 60	Firme + conchas

O testemunho da Lagoa Mangueira, conforme Tab. 6.3, apresenta a base predominantemente arenosa. Observa-se em profundidades menores sedimentação mais lamosa e a profundidades maiores presença de conchas. Dados da literatura confirmam a existência de conchas no fundo da Lagoa Mangueira (Brusch, 2005; Guimarães, 2014).

6.2. Caracterização granulométrica

Definiu a porcentagem em peso que a fração granulométrica possui em relação à massa total de amostra. Os resultados das análises são mostrados na Tab. 6.4 e nas Figs. 6.1, 6.2 e 6.3. Com o intuito de avaliar a distribuição granulométrica da região de estudo foram realizadas as análises de caracterização granulométrica. É importante salientar, que essas análises foram feitas nos testemunhos da Lagoa Mirim (MRF e MRJ) e da Lagoa Mangueira (MG).

Verifica-se na Tab. 6.4 que nos 16 cm superiores do testemunho MRF há predominância de argila, enquanto no restante do perfil há um equilíbrio predominante entre areia e silte.

No testemunho MRJ, conforme Tab. 6.4 e Fig. 6.2, verifica-se a predominância de areia média, fina e muito fina somente na profundidade de 4 cm; na maioria do perfil há predominância de argila e um ligeiro acréscimo na quantidade de silte, nas profundidades (2 e 9 cm).

De acordo com a Tab. 6.4 e a Fig. 6.3, no testemunho MG há predominância de areia em todo o perfil amostrado, além de uma porcentagem muito pequena de silte nas profundidades a partir de 5 cm. Nota-se, ainda, neste testemunho, um acréscimo considerável na quantidade de areia, em relação aos testemunhos MRF e MRJ que apresentaram médias granulométrica semelhantes entre si para as frações silte e argila.

Tabela 6-4 - Distribuição granulométrica dos testemunhos de sedimentos (em porcentagem).

Testemunho	Amostra	Profundidade (cm)	% Areia	% Silte	% Argila
MRF	1	1	3,05	27,70	69,25
	2	2	7,89	17,14	74,97
	3	3	10,67	12,61	76,72
	4	4	15,28	26,81	37,91
	5	5	34,58	13,40	52,01
	6	6	35,66	9,04	55,30
	7	7	11,65	17,65	70,71
	8	8	6,65	11,47	81,88
	9	9	9,03	17,36	73,61
	10	10	10,63	31,75	57,19
	11	12	2,89	34,03	63,07
	12	14	3,17	16,32	80,50
	13	16	2,30	11,49	86,21
MRJ	1	1	11,62	35,21	53,17
	2	2	19,57	46,23	34,21
	3	3	26,19	11,90	61,90
	4	4	69,22	14,03	16,74
	5	5	29,81	7,18	63,00
	6	6	28,69	12,11	59,20
	7	7	35,71	8,42	55,87
	8	8	34,45	3,50	62,04
	9	9	18,15	63,52	18,33
	10	10	12,77	8,40	78,82
	11	12	7,92	34,65	57,43
	12	14	11,83	35,13	53,04
	13	16	12,20	37,95	49,85
MG	1 - 2	1 - 2	43,13	31,25	25,63
	5 - 6	5 - 6	91,49	4,30	4,21
	8	8	94,37	4,33	1,30
	9	9	84,70	6,22	9,08
	10	10	69,34	8,91	21,75
	11	12	66,98	11,93	21,08
	12	14	83,12	3,60	13,28
13	16	80,15	11,45	8,40	

MRF

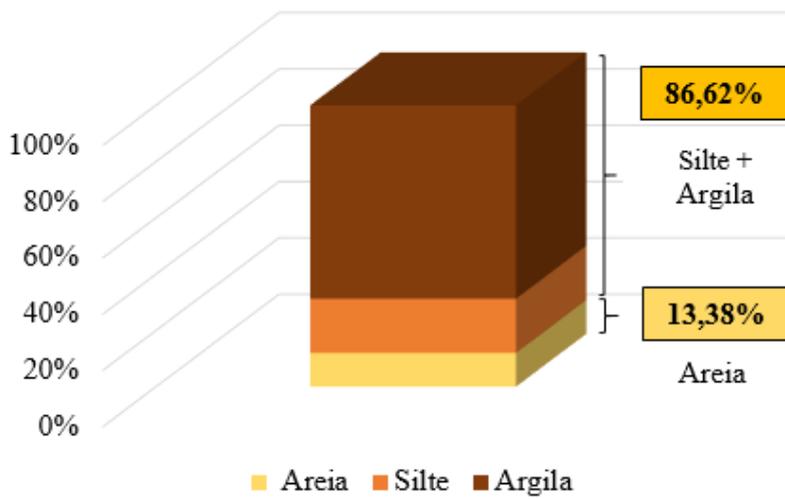
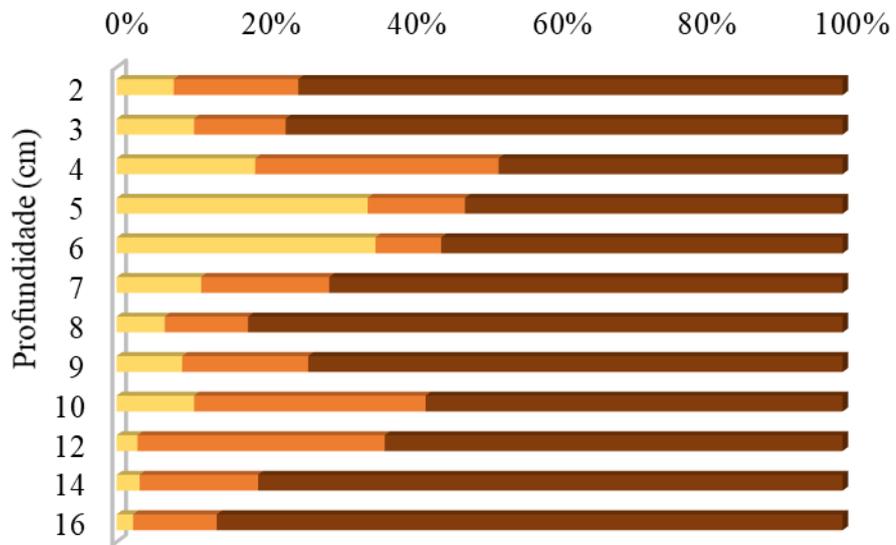


Figura 6-1- Distribuição granulométrica do testemunho MRF.

MRJ

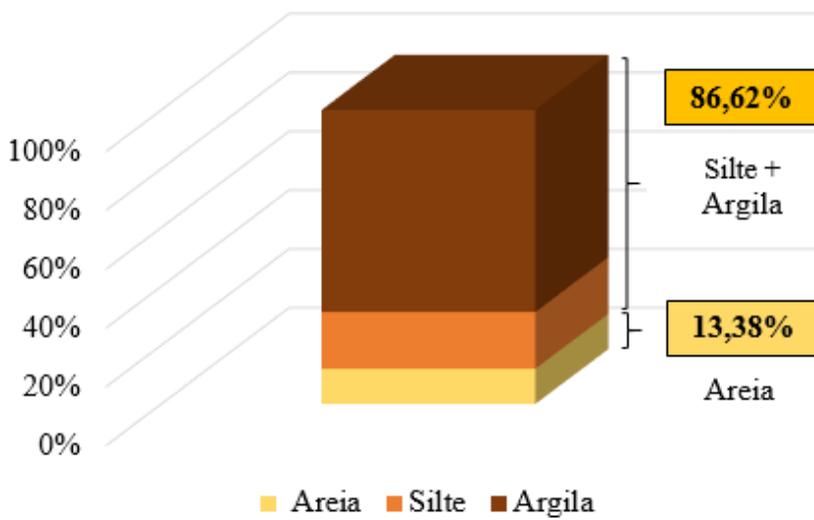
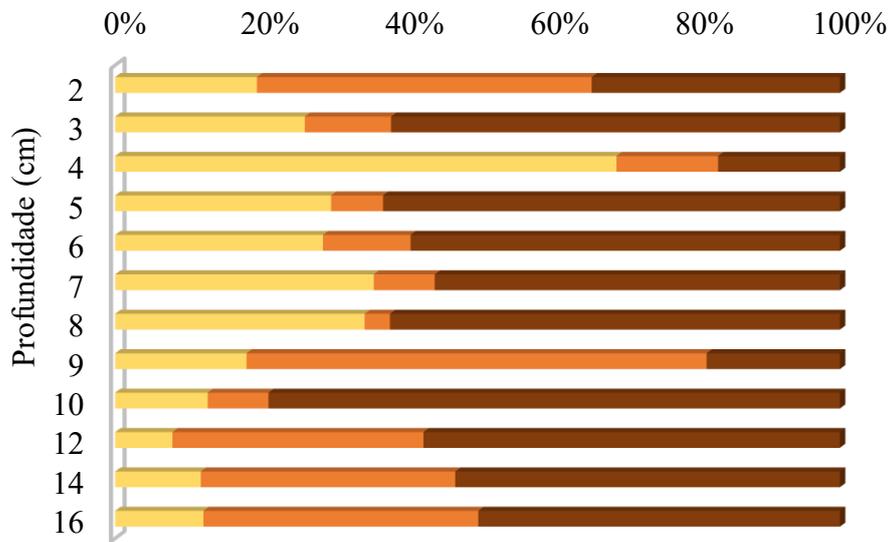


Figura 6-2 - Distribuição granulométrica do testemunho MRJ.

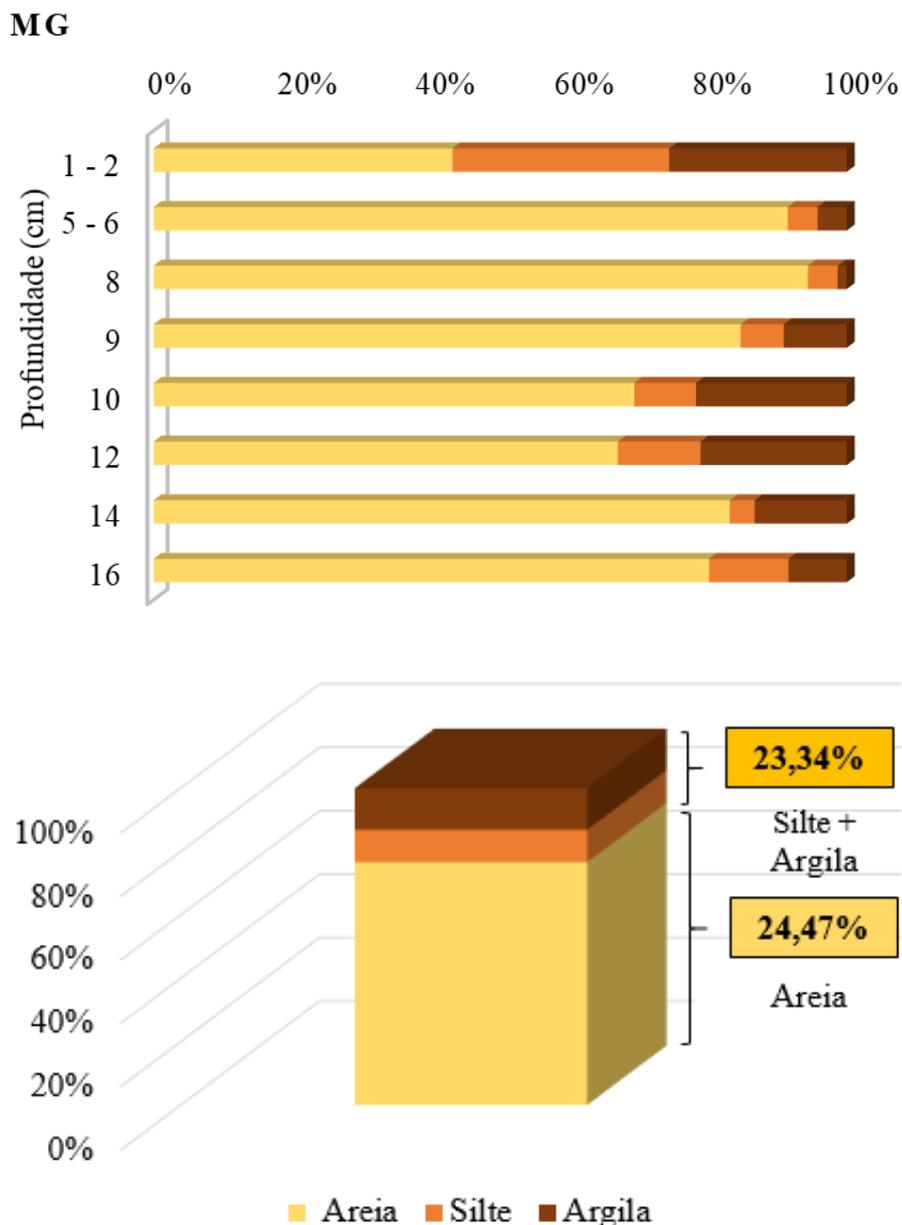


Figura 6-3 - Distribuição granulométrica do testemunho MG.

Neste estudo, os testemunhos da Lagoa Mirim - MRF e MRJ - apresentaram em média $18,98 \pm 7,97\%$; $24,48 \pm 17,95\%$ de silte, $67,64 \pm 13,32\%$; $51,05 \pm 17,15\%$ de argila, respectivamente. Observa-se que os sedimentos da Lagoa Mirim (MRJ e MRF) são constituídos, principalmente, por silte e argila. A soma das frações silte e argila apresenta porcentagens semelhantes para os dois pontos estudados. De acordo com Förstner e Salomons (1980), os metais associam-se preferencialmente às frações finas dos sedimentos (silte e argila). Portanto, granulometricamente os testemunhos de sedimentos analisadas na Lagoa Mirim possuem capacidades similares de agregar esses metais por

meio de processos de adsorção.

A distribuição granulométrica dos sedimentos da Lagoa Mirim (MRF e MRJ) evidencia o predomínio da fração de lama ou sedimento de granulometria mais fina. O testemunho MRF, coletado na região central, apresentou maior quantidade de sedimento de granulação fina ($86,62 \pm 12,30\%$) quando comparado ao testemunho coletado próximo às margens do Rio Jaguarão MRJ que apresentou em média ($75,53 \pm 7,20\%$). A distribuição granulométrica dos sedimentos da Lagoa Mangueira – MG – evidencia o predomínio da fração arenosa ($76,66 \pm 15,50\%$).

De acordo com a literatura a morfologia da Lagoa Mirim apresenta duas regiões distintas. A região mais rasa há predomínio das frações arenosas, e a região central e profunda, concentram as frações mais finas (silte-argilosas) (Vieira, 1995; Santos et al., 2003), sendo comum em outras lagoas do Rio Grande do Sul, como a Lagoa dos Patos (Calliari, 1980; 2005; Toldo Jr., 1989, Baisch, 1994).

Em estudos anteriores, Guimarães et al. 2005, mostram que os sedimentos da Lagoa Mangueira têm maior concentração de areia e menor concentração de lama. Em outro estudo, resultados obtidos por Guimarães (2014) demonstram que os sedimentos de fundo da Lagoa Mangueira são compostos por aproximadamente 89% de areia, enquanto 11% representa as frações lamosas. De acordo com Tomazelli et al. (2000) e Buchmann et al. (2009), os sedimentos da Lagoa Mangueira têm características arenosas e são compostos principalmente por quartzo, siliciclásticos com granulometria fina a média.

Portanto, as distribuições granulométricas encontradas neste estudo são semelhantes aos encontrados por estudos desenvolvidos anteriormente nas lagoas Mirim e Mangueira.

6.3. Taxa de sedimentação

As taxas de sedimentação foram calculadas para os testemunhos analisados pela atividade de ^{210}Pb e ^{226}Ra (dpm g^{-1}) usada para calcular ^{210}Pb ($^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$) não-suportado, conforme mostrado na Fig. 6.4. Resultando nos seguintes valores de taxas de sedimentação MR = $0,04 \text{ cm ano}^{-1}$, MRF = $0,15 \text{ cm ano}^{-1}$, MRJ = $0,04 \text{ cm ano}^{-1}$, NIC = $0,09 \text{ cm ano}^{-1}$ e MG = $0,06 \text{ cm ano}^{-1}$ (Bueno et al., 2021 no prelo).

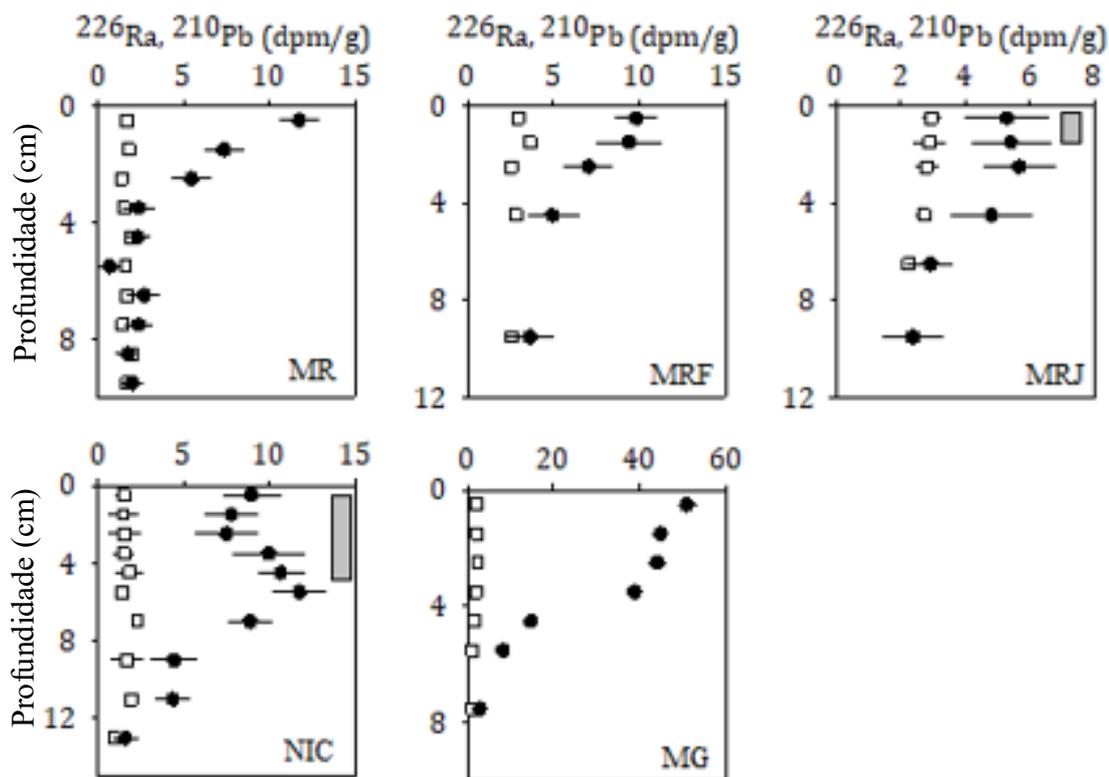


Figura 6-4 - Atividades ^{226}Ra e ^{210}Pb (dpm g^{-1}) em todos os testemunhos de sedimentos analisados. Camadas mistas são destacadas com uma sombra cinza.

Fonte: Bueno et al. (2021, no prelo) artigo em fase de revisão.

É importante ressaltar que os resultados geocronológicos obtidos por isótopos de ^{210}Pb , a partir dos perfis das Lagoas Mirim, Mangueira e Nicola, cobrem um período de aproximadamente 150 anos, correspondendo ao intervalo de 1858 a 2008. As camadas mistas mostradas na Fig. 6.4 podem estar relacionadas

6.4. Taxa de acumulação de metais no sedimento

Foram analisados pela técnica instrumental FAAS os elementos Al, Cu, Fe e Mn. Na Tab. 6.5 são apresentados o mínimo, máximo, média, desvio padrão e o coeficiente de variação para cada elemento/testemunho. De acordo com os resultados demonstrados para os metais analisados, em todos os pontos de amostragem as quantificações realizadas apresentaram desvios padrão pequenos e aceitáveis.

Tabela 6-5- Mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação de cada elemento. Resultados em (mg kg⁻¹).

		Cu	Mn	Al	Fe
MR	Mín.	10,16	106,59	27932,68	412,35
	Máx.	18,44	390,77	33241,70	2290,92
	Média	12,63	172,49	30207,43	1097,13
	DV	3,05	108,61	2113,07	660,16
	CV	0,24	0,63	0,07	0,60
MRF	Mín.	7,18	373,24	12739,95	722,44
	Máx.	14,11	733,87	96681,93	2267,03
	Média	9,83	511,33	38292,61	1327,73
	DV	2,57	133,73	27330,35	661,45
	CV	0,26	0,26	0,71	0,50
MRJ	Mín.	7,37	70,87	18140,44	548,62
	Máx.	13,83	150,60	24714,80	1640,39
	Média	9,27	90,23	21627,50	1155,94
	DV	1,94	24,65	2191,39	337,88
	CV	0,21	0,27	0,10	0,29
MG	Mín.	4,46	37,36	23884,48	112,24
	Máx.	22,46	213,38	50035,35	4925,50
	Média	13,86	112,94	28666,75	1623,39
	DV	7,60	75,16	8106,90	1487,48
	CV	0,55	0,67	0,28	0,92
NIC	Mín.	11,85	601,54	27197,13	1576,86
	Máx.	23,28	1204,93	32128,49	3128,28
	Média	18,77	922,39	30042,76	2534,33
	DV	4,34	189,99	1646,46	518,63
	CV	0,23	0,21	0,05	0,20

É possível notar na Tab. 6.5 que os elementos Al e Fe apresentam concentrações elevadas o que é esperado em sedimentos, as concentrações variaram entre 12740 - 96682 e 112 – 4926 mg kg⁻¹, respectivamente. O Al e Cu apresentaram os menores valores de desvio padrão/média indicando que as concentrações se encontram bem distribuídas ao longo dos testemunhos de sedimentos, já o Mn mostrou alta variabilidade ao longo dos testemunhos.

Para representar o comportamento dos metais no sedimento, na escala de tempo, das lagoas estudadas, foram feitos gráficos, conforme mostram as Figs 6.5, 6.6 e 6.7, 6-12 e 6-13.

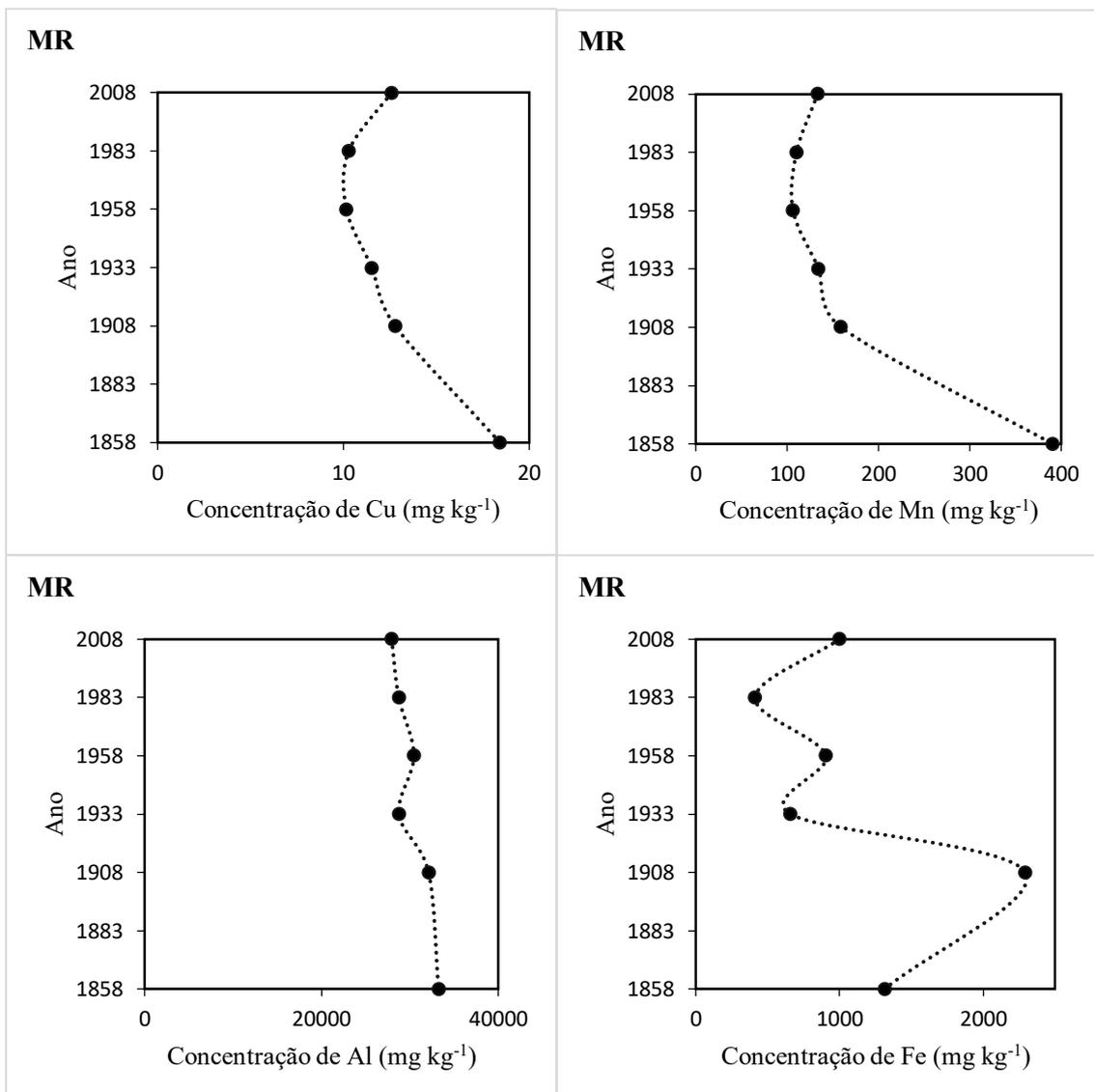


Figura 6-5 - Distribuição temporal de metais no testemunho MR.

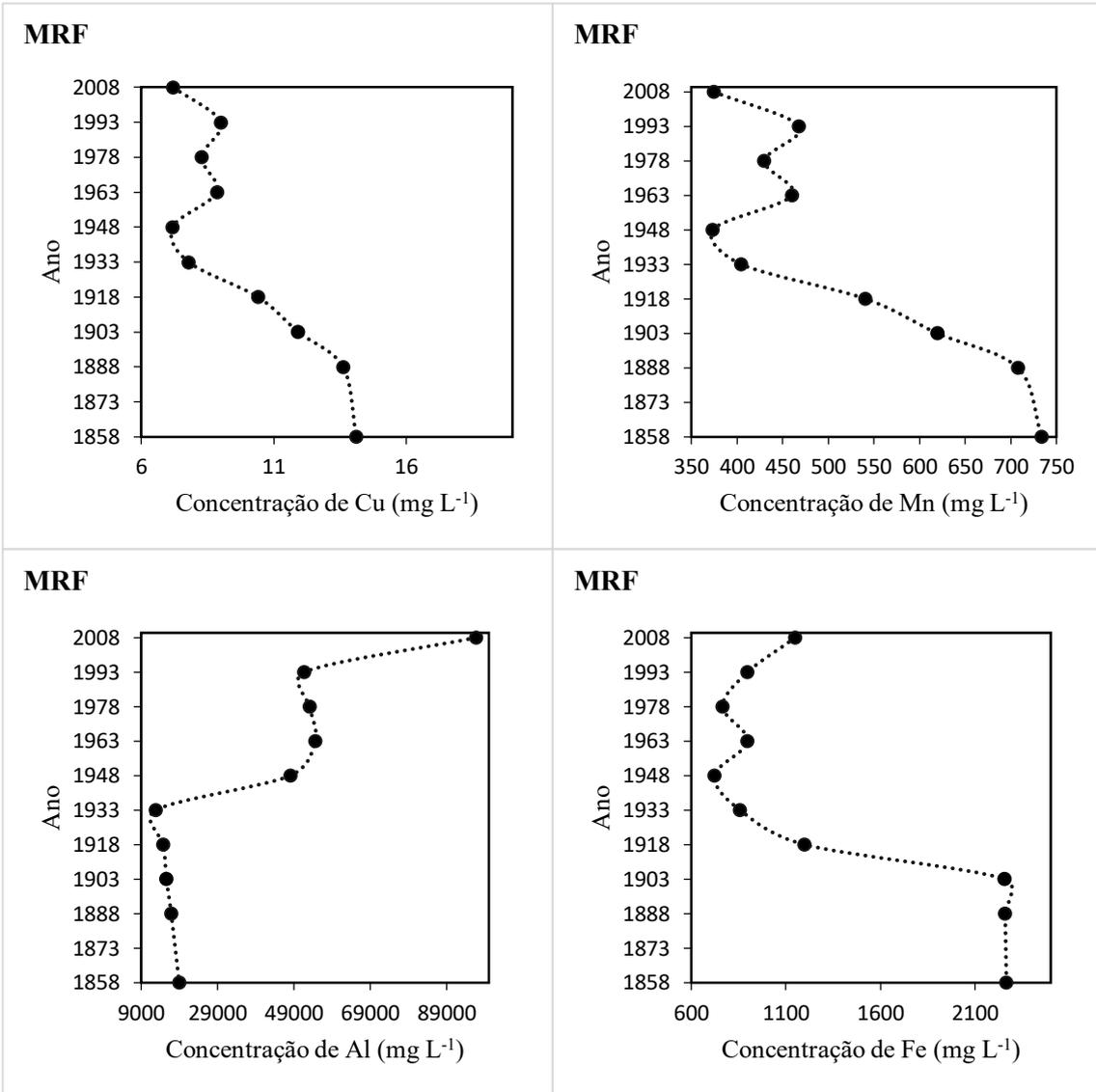


Figura 6-6 - Distribuição temporal de metais no testemunho MRF.

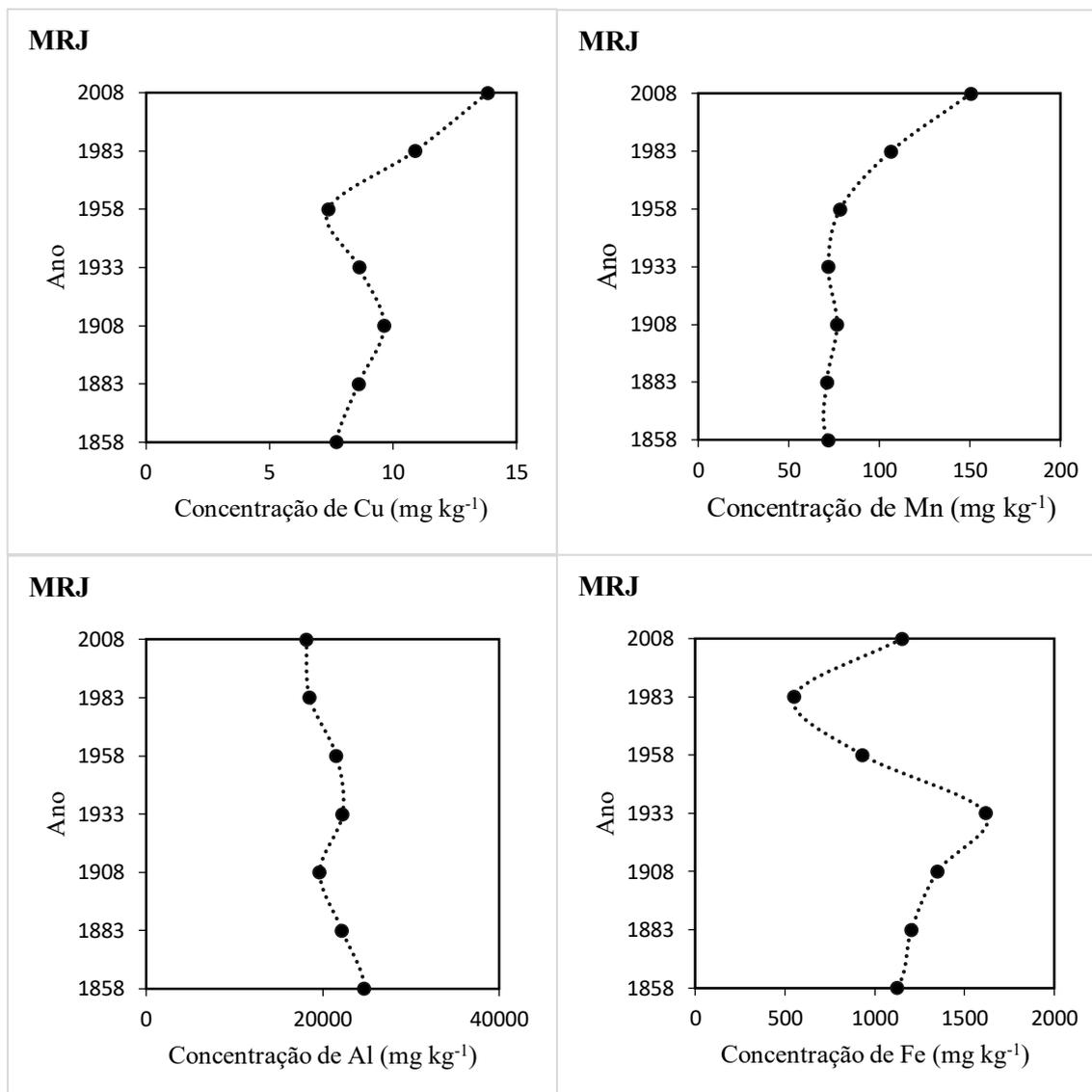


Figura 6-7 - Distribuição temporal de metais no testemunho MRJ.

As taxas de sedimentação dos testemunhos da Lagoa Mirim apresentaram diferenças significativas quando comparados os valores entre si, cujos valores são de 0,04 cm ano⁻¹ para os testemunhos MR e MRJ e de 0,15 cm ano⁻¹ para o testemunho MRF.

Olhando a localização de ambos os testemunhos, nota-se que o testemunho MRJ está próximo à desembocadura do Rio Jaguarão, diferente do testemunho MR, deslocado para leste da lagoa. E o testemunho MRF localizado mais ao centro da lagoa. Esta diferença de localização pode ser a explicação da diferença entre as taxas de sedimentação encontradas.

Além disso, outros fatores que podem influenciar a taxa de sedimentação e o fluxo de metais são a circulação local e o aporte de sedimentos. A taxa de sedimentação é um parâmetro dinâmico, resultante de aspectos que são variáveis como o clima e o uso e

ocupação do solo da bacia (DNIT, 2014).

A hidrodinâmica da Lagoa Mirim é influenciada principalmente pelo regime de ventos e pela descarga fluvial dos principais tributários. Além disso, a hidrodinâmica também influencia na qualidade e a disponibilidade da água, o tempo de residência dos poluentes e de deposição de sedimento (Costi et al., 2018).

O testemunho MRF localizado mais ao centro da Lagoa Mirim apresentou maior taxa de sedimentação que os testemunhos MR e MRJ. Quando comparados os resultados obtidos neste estudo com dados de deposição de ambientes semelhantes, é possível observar que o resultado obtido para o testemunho MRF é relativamente alto, isso pode estar relacionado com a condição hidrodinâmica, cujo comportamento provoca um aprisionamento dos sedimentos no setor central da lagoa entre os rios Jaguarão e Tacuarí (Bendô, 2020).

De acordo com Möller Jr. et al. (2001), o transporte de sedimentos ao longo da Lagoa Mirim é dominado pelo regime dos ventos da região e pela variabilidade da descarga fluvial. Durante eventos de alta descarga fluvial é observada a intensificação no transporte de sedimentos, porém existe uma restrição da circulação fazendo com que as partículas suspensas fiquem aprisionadas no setor central da Lagoa Mirim (Bendô, 2020), o que pode justificar a alta taxa de sedimentação no testemunho MRF, pois esse efeito promove grande deposição no centro da lagoa.

As concentrações de metais na Lagoa Mirim apresentaram a mesma variabilidade entre os testemunhos de sedimentos MR, MRF e MRJ. Foi observado um decréscimo nas concentrações de Cu, Mn e Fe ao longo dos últimos 150 anos. Exibiram valores com uma média nas concentrações de Cu, Mn, Al e Fe para o testemunho MR de $12,6 \pm 3,0 \text{ mg kg}^{-1}$; $172,5 \pm 108,6 \text{ mg kg}^{-1}$; $30207 \pm 2113 \text{ mg kg}^{-1}$; $1097 \pm 660 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente. No testemunho MRF de $9,8 \pm 2,5 \text{ mg kg}^{-1}$; $511,3 \pm 113,7 \text{ mg kg}^{-1}$; $38292 \pm 27330 \text{ mg kg}^{-1}$; $1327 \pm 661 \text{ mg kg}^{-1}$ e MRJ de $9,2 \pm 1,9 \text{ mg kg}^{-1}$; $90,2 \pm 24,6 \text{ mg kg}^{-1}$; $21627 \pm 2191 \text{ mg kg}^{-1}$; $1155 \pm 337 \text{ mg kg}^{-1}$, conforme mostram as Figs. 6.8, 6.9, 6.10 e 6.11 as barras de erro representam o desvio padrão. No entanto, o testemunho MRF que está localizado no centro da lagoa apresentou a maior taxa de sedimentação e maior acúmulo de Mn, Al e Fe.

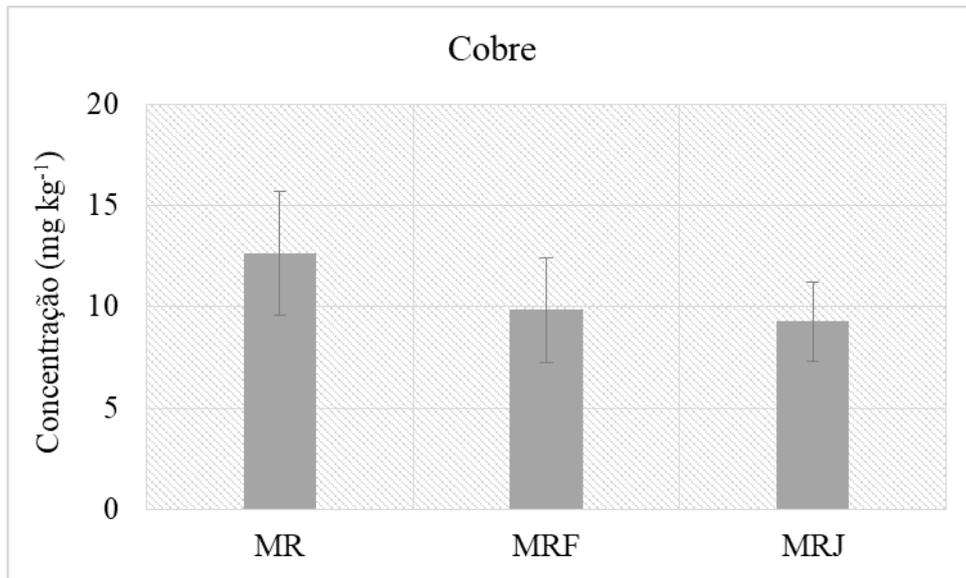


Figura 6-8 - Concentração média de Cu nos testemunhos da Lagoa Mirim.

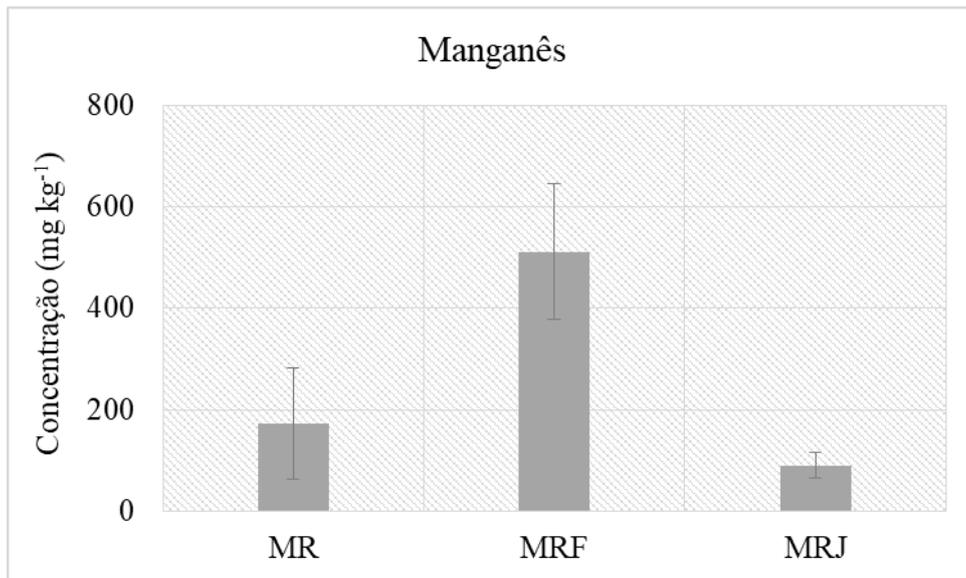


Figura 6-9 - Concentração média de Mn nos testemunhos da Lagoa Mirim.

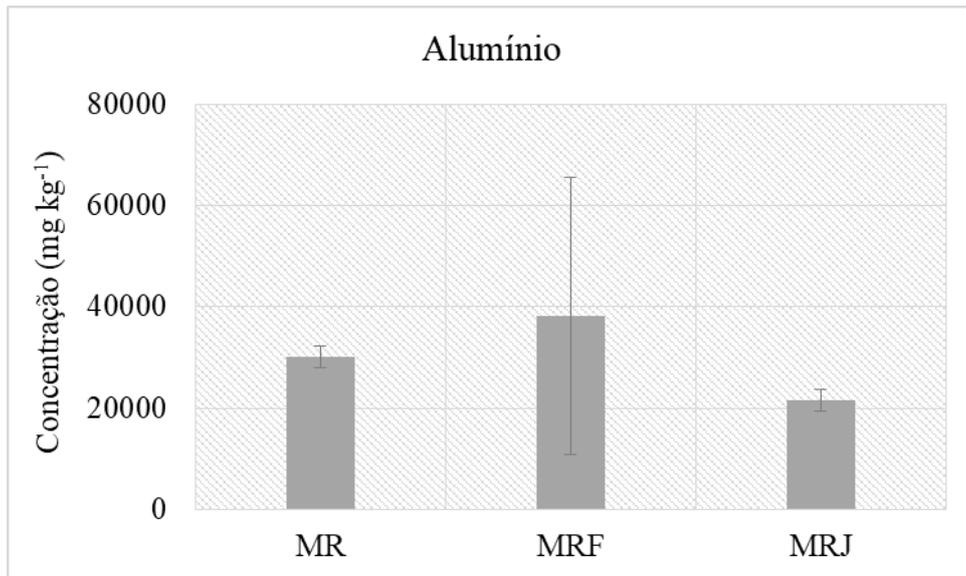


Figura 6-10 - Concentração média de Al nos testemunhos da Lagoa Mirim.

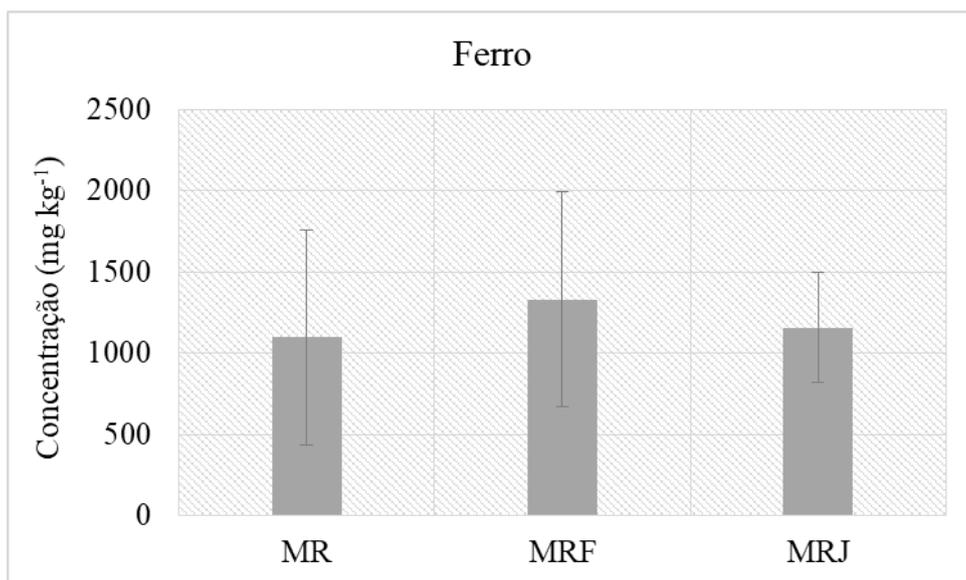


Figura 6-11 - Concentração média de Fe nos testemunhos da Lagoa Mirim.

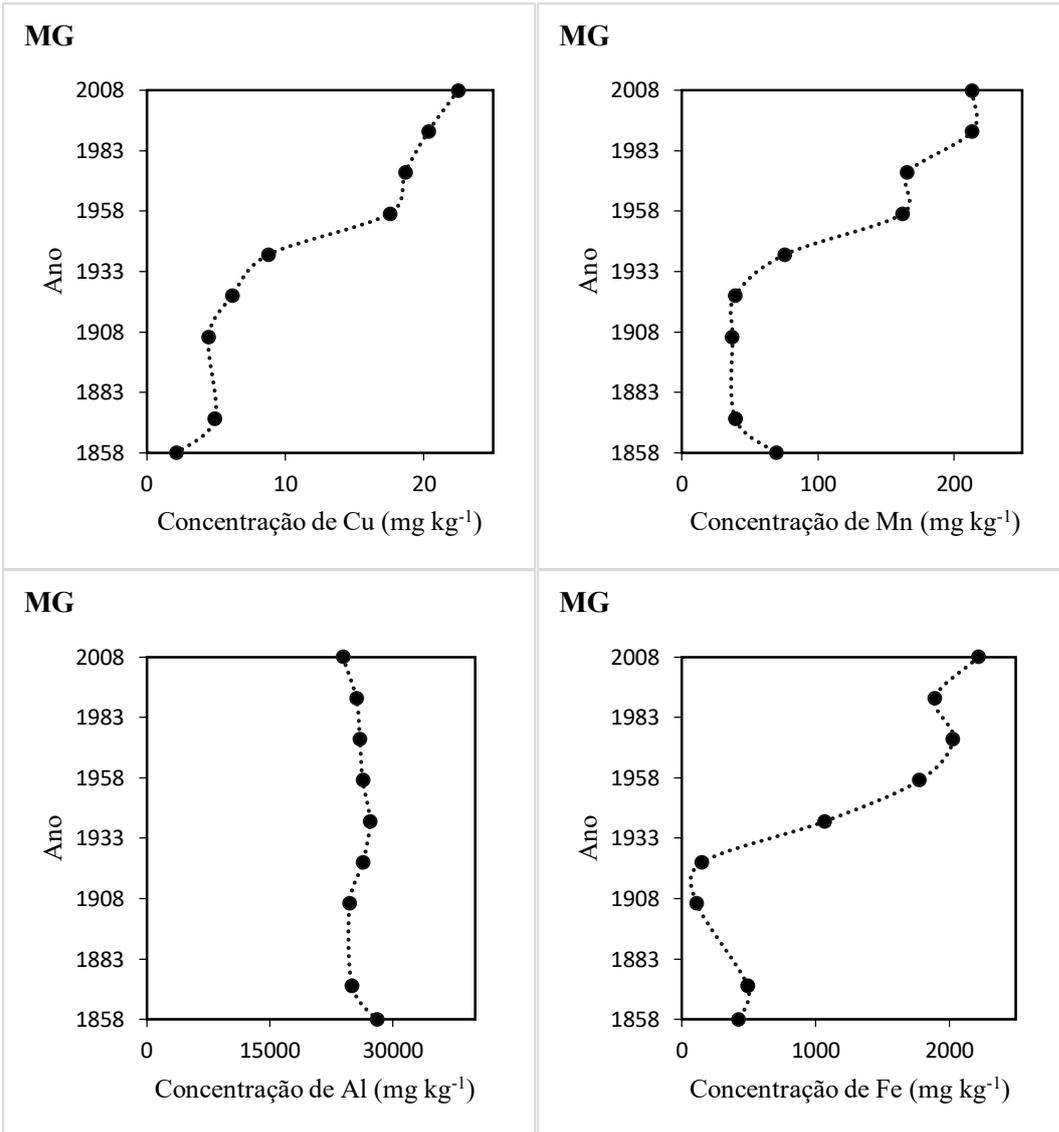


Figura 6-12 - Distribuição temporal de metais no testemunho MG.

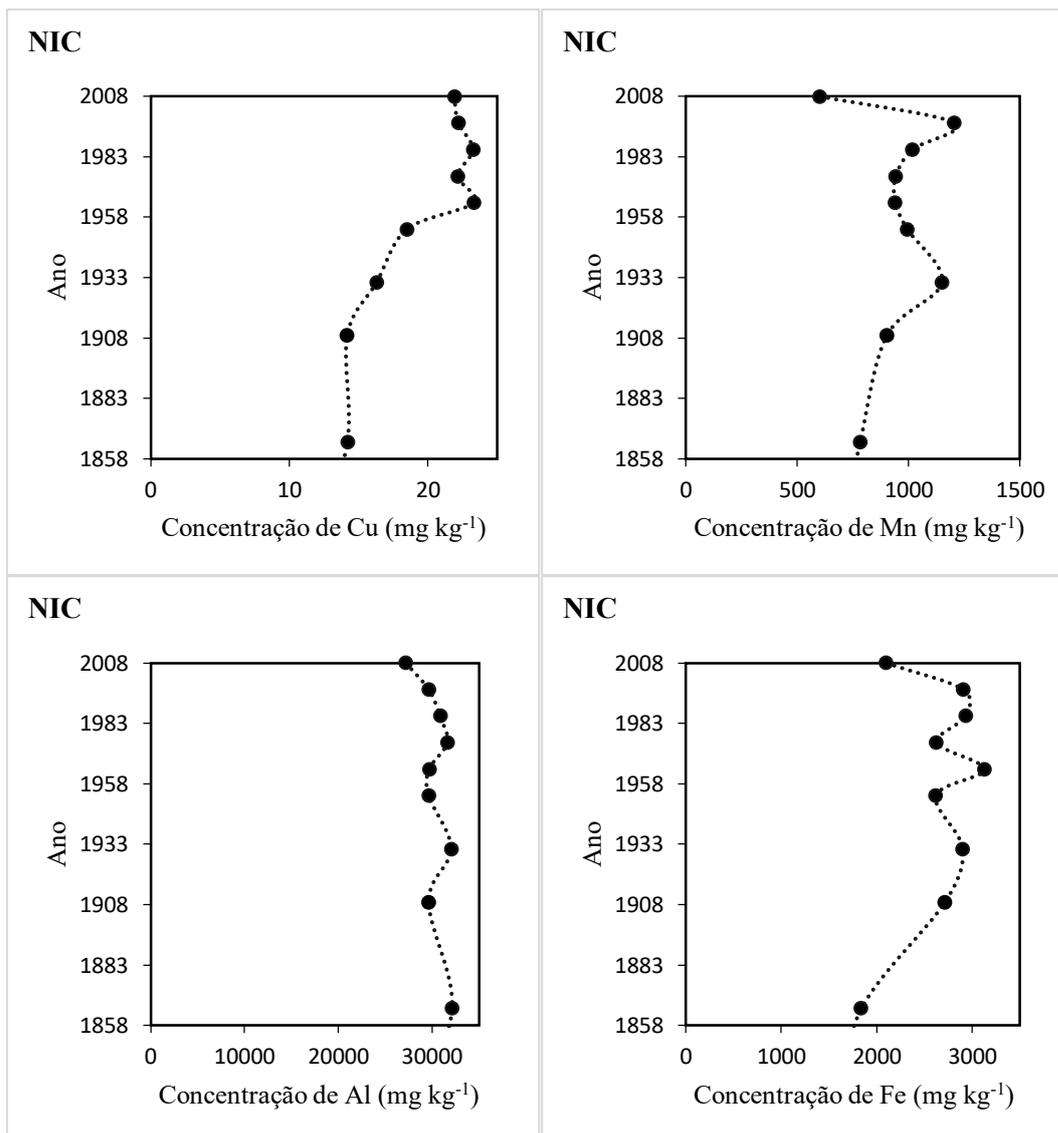


Figura 6-13 - Distribuição temporal de metais no testemunho NIC.

Em contraste, na Lagoa Mangueira e na Lagoa Nicola, os teores de metais aumentaram ao longo dos últimos 150 anos, conforme observado na Tab. 6.5 com uma média nas concentrações de Cu, Mn, Al e Fe na Lagoa Mangueira de $13,8 \pm 7,6 \text{ mg kg}^{-1}$; $112,9 \pm 75,1 \text{ mg kg}^{-1}$; $28666 \pm 8106 \text{ mg kg}^{-1}$; $1623 \pm 1487 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente. E na Lagoa Nicola de $18,7 \pm 4,3 \text{ mg kg}^{-1}$; $922,4 \pm 189,9 \text{ mg kg}^{-1}$; $30042 \pm 1646 \text{ mg kg}^{-1}$; $2534 \pm 518 \text{ mg kg}^{-1}$. É importante ressaltar que as Lagoas Mangueira e Nicola não apresentam expressivos tributários, ao contrário da Lagoa Mirim.

As taxas de sedimentação nas margens arenosas das lagoas são provavelmente mais baixas, pois as taxas de acumulação são maiores nas áreas centrais e mais profundas. No entanto, os valores obtidos neste estudo são inferiores às taxas de sedimentação da Lagoa do Patos que variam entre $0,35$ a $0,83 \text{ cm ano}^{-1}$ (Martins et al., 1989; Toldo Jr et

al., 2005) e $0,30 \text{ cm ano}^{-1}$ (Niencheski et al., 2014). E de outros ambientes costeiros brasileiros variam de $0,12$ a $2,2 \text{ cm ano}^{-1}$ (Santos et al., 2008b). Recentemente Bendô (2020), estimou a taxa de sedimentação por simulação computacional no setor norte da Lagoa Mirim encontrando uma taxa de sedimentação de $0,24$ a $1,7 \text{ cm ano}^{-1}$. Na parte central, o valor máximo computado foi de $2,7 \text{ cm ano}^{-1}$ e no setor sul $0,03 \text{ cm ano}^{-1}$.

As baixas taxas de sedimentação podem ter relação com a alta taxa de ressuspensão de sedimento na coluna da água devido à ação dos ventos desses lagos rasos, seguida da exportação para banhados próximos (Fragoso et al., 2011; Silva et al., 2019, Vieira et al., 2020; Bueno et al., 2021 no prelo).

O testemunho MG exibiu um aumento considerável na concentração de metais provavelmente resultantes das atividades de plantações de arroz que se intensificaram após 1960 (IRGA, 2019). Desta forma, é possível inferir que a irrigação e a erosão do solo podem ter contribuído para o aumento da taxa de acúmulo de metais na região estudada (Anderson et al., 2013; Sanders et al., 2014). E também a influência da usina termoeétrica de Candiota inaugurada em 1961 (Bitencourt et al., 2015). Pesquisas identificam algumas substâncias ambientalmente danosas como Fe, Mn, Zn, Co, Pb, além de outros poluentes nocivos ao extremo como óxido de nitrogênio, enxofre, mercúrio metálico associadas às cinzas que são emitidas pela usina (Martins et al., 2016).

Além disso, outro fato histórico importante no final da década de 70, foi a construção de uma barragem esclusa para evitar a salinização das águas da Lagoa Mirim (Borba, 2016). Isto fornece indícios que atividades de origem antropogênica interferem nos níveis de sedimentação de alguns metais.

Na Lagoa Nicola, único sistema estudado não afetado por arrozais em seu entorno, o aumento na concentração de metais ao longo do tempo poderia ser impulsionado pelos canais de drenagem artificiais construídos antes de 1950 que modificaram o regime natural de água do sistema (Sobrinho, 1951; Grehs, 2008).

O déficit nos teores de Cu, Mn e Fe na Lagoa Mirim são provavelmente uma consequência da diluição e da alta ressuspensão de sedimentos (Santos et al. 2004), o que está em contraste com a acréscimo no teor de metais ao longo dos anos na Lagoa Mangueira e Lagoa Nicola.

É importante salientar que não existem estudos relatando a taxa de acumulação de metais ao longo do tempo nas lagoas Mangueira e Nicola.

6.5. Determinação do EF para amostras de testemunho das Lagoas Mirim, Mangueira e Nicola

O EF foi utilizado para avaliar a influência de fontes antropogênicas dos metais analisados nos testemunhos das lagoas Mirim, Mangueira e Nicola, conforme Tab. 6.6. Usando o alumínio (Al) como elemento normalizador e dados da crosta terrestre como valores de referência.

Tabela 6-6 - Fatores de enriquecimento para Cu, Mn e Fe nos testemunhos de sedimentos.

Testemunho	Cu	Mn	Fe	Testemunho	Cu	Mn	Fe
MR 1	0,98	0,46	0,07	MRJ 8	0,75	0,43	0,07
MR 2	0,78	0,37	0,03	MRJ 9	0,79	0,34	0,10
MR 3	0,72	0,34	0,06	MRJ 10	0,89	0,39	0,14
MR 4	0,87	0,45	0,05	MG 1	2,04	0,86	0,18
MR 5	0,86	0,48	0,14	MG 2	1,72	0,80	0,15
MR 6	1,20	1,13	0,08	MG 3	1,55	0,61	0,15
MRF 1	0,16	0,37	0,02	MG 4	1,44	0,59	0,13
MRF 2	0,38	0,87	0,03	MG 5	0,70	0,27	0,08
MRF 3	0,34	0,78	0,03	MG 6	0,51	0,14	0,01
MRF 4	0,35	0,81	0,03	MG 7	0,39	0,15	0,01
MRF 5	0,32	0,75	0,03	MG 8	0,21	0,08	0,19
MRF 6	1,32	3,06	0,13	MG 10	1,66	0,24	0,03
MRF 7	1,52	3,52	0,16	NIC 1	1,74	2,13	0,15
MRF 8	1,65	3,82	0,29	NIC 2	1,62	3,91	0,19
MRF 9	1,75	4,05	0,27	NIC 3	1,63	3,18	0,19
MRF 10	1,62	3,73	0,24	NIC 4	1,52	2,87	0,16
MRJ 1	1,65	0,80	0,13	NIC 5	1,70	3,05	0,21
MRJ 2	1,27	0,55	0,06	NIC 6	1,35	3,23	0,17
MRJ 3	0,25	0,12	0,03	NIC 7 + 8	1,10	3,45	0,18
MRJ 4	0,84	0,31	0,14	NIC 9 + 10	1,04	2,93	0,18
MRJ 5	1,06	0,37	0,14	NIC 11 + 12	0,96	2,35	0,11
MRJ 6	0,84	0,31	0,11	NIC 13 + 14	0,92	2,36	0,11
MRJ 7	0,67	0,28	0,09				

*em negrito os valores de EF > 2.

Nos testemunhos de sedimento da Lagoa Mirim – MR e MRJ – foi constatado que em todos os casos, EF < 2 para os metais analisados. Sugerem que a concentração de traços de metal pode vir inteiramente de processos naturais de intemperismo (Zhang et al., 2002b).

Os valores de $EF > 2$ implica em um aporte ao meio ambiente de fonte antrópica ou derivado de algum processo natural. Nos testemunhos de sedimentos da Lagoa Mirim (MRJ 6, MRJ 7, MRJ 8, MRJ 9, MRJ 10) e os testemunhos da Lagoa Nicola, o elemento Mn obteve enriquecimento moderado EF entre 2 – 5. No testemunho da Lagoa Mangueira – MG 1, o Cu apresentou enriquecimento moderado. Não foram encontrados valores de $FE > 5$.

O Cu e Mn em algumas amostras da Lagoa Mirim e Nicola, apresentaram EF acima de 2, o que indica uma contaminação moderada, sugere a ocorrência de aportes antropogênicos. O que indica a necessidade de estudos específicos adicionais para melhor avaliação. As Lagoas Mirim, Mangueira e Nicola podem ser consideradas um ambiente ainda pouco impactado em relação às concentrações de Cu, Fe e Mn.

No estudo desenvolvido por Friedrich et al. (2004) na Lagoa Mirim, o Cu apresentou $EF > 1$, que indica contaminação pequena, ou anomalias geoquímicas naturais na região. Além disso, não foram observadas evidências de contaminação por Mn.

Niencheski, et al. (2004) utilizaram o Al como normalizante para amostras de sedimentos na Lagoa dos Patos. Em algumas amostras, foram encontradas concentrações anômalas de Cu e contaminação dos sedimentos com Al e Fe. O Cu apresentou $EF > 2$, indicativo de enriquecimento de metal acima dos níveis naturais. A contaminação de sedimentos superficiais na região estudada sugere atividade portuária como a principal fonte.

7. CONCLUSÕES

Este estudo fornece evidências do impacto antropogênico relacionado à concentração de metais ao longo do tempo expresso através dos perfis de sedimento. No entanto, essas influências não foram observadas em todos os testemunhos das lagoas estudadas. A partir da determinação da concentração dos metais Al, Cu, Fe, Mn e da avaliação da taxa de sedimentação, conclui-se que há diferença de concentração de metais entre as regiões estudadas. Visto que houve um decréscimo na concentração de Cu, Fe e Mn nos testemunhos da Lagoa Mirim, enquanto na Lagoa Mangueira e Nicola houve aumento ao longo do tempo. Isso pode ser explicado pela influência de diferentes atividades antropogênicas e aspectos hidrodinâmicos e hidrológicos, observado pela diferença na distribuição de tamanho dos grãos. No entanto, os resultados das taxas de sedimentação das lagoas estudadas não foram compatíveis aos de outras lagoas da costa brasileira e de regiões próximas.

Além disso, foi comprovado que a partir da década de 1960 houve um aumento considerável na concentração de metais nas lagoas Mangueira e Nicola que pode ser resultado da intensificação das atividades agrícolas na região, do início das atividades da usina termelétrica de Candiota, da construção da barragem-eclusa do Canal São Gonçalo e da exploração de areia no Rio Jaguarão. Isto fornece indícios que as atividades de origem antropogênica interferem nas concentrações de metais nos sedimentos.

A normalização dos dados com o teor de Al mostrou sua utilidade na avaliação da contaminação por metais dos sedimentos na região estudada. O Al pode ser aceito como normalizador pelo fato de não ser relacionado a fontes antropogênicas, ser predominante e menos variável em relação aos metais analisados neste estudo.

8. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Este estudo identificou algumas questões que podem auxiliar na elaboração de trabalhos futuros.

- Sugere-se a análise de outros metais tais como Cd, Cr, Hg, Mg, Ni, Pb, Se, V, Zn e o metaloide As;
- a avaliação de carbono orgânico total (COT), matéria orgânica (MO) e nitrogênio total (NT);
- com os dados obtidos relacionar episódios históricos do desenvolvimento socioeconômico para melhor compreender a região estudada.

9. REFERÊNCIAS

ABREU, V. S.; FALCETTA, M. M.; THIESEN, Z. V. **Estudo preliminar da geologia, geomorfologia e paleontologia da região de Ponta dos Latinos - Lagoa Mirim -RS.** Coletânea de Trabalhos Paleontológicos apresentados no VIII Congresso Brasileiro de Paleontologia, p. 187-193, 1985.

Agência de Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim - ALM. Disponível em <https://wp.ufpel.edu.br/alm/?page_id=2103> Acesso em fevereiro de 2021.

AGOSTINHO, A. A.; THOMAZ, S. M.; MINETE-VERA, C. V.; WINEMILLER, K. O. Biodiversity in the high Paraná River floodplain. **Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation**, v. 1, p. 89-118. 2000.

ANDRADE C. F. F.; NIENCHESKI, L. F. H.; ATTISANO, K. K.; MILANI, M. R.; SANTOS, I. R.; MILANI, I. C. Fluxos de nutrientes associados às descargas de água subterrânea para a Lagoa Mangueira (Rio Grande do Sul, Brasil). **Química Nova**, v. 35, p. 5-10, 2012. (DOI: 10.1590/S0100-40422012000100002).

APPLEBY, P. G.; NOLAN, P. J.; OLDFIELD, F.; RICHARDSON, N.; HIGGITT, S. R. ²¹⁰Pb dating of lake sediments and ombrotrophic peats by gamma assay. **Science of the Total Environment**, v. 68, p. 157-177, 1988. (DOI: 10.1016/0048-9697(88)90341-5).

APPLEBY, P. G.; OLDFIELD, F. **Application of lead-210 to sedimentation studies.** Ivanovich, M., Harmon, S. (Eds.), Uranium Series Disequilibrium: Application to Earth, Marine and Environmental Science. Oxford Science Publications, p. 731-783, 1992.

ARTIOLI, L. G.; VIEIRA, J. P.; GARCIA, A. M.; BEMVENUTI, M. D. A. Distribuição, dominância e estrutura de tamanhos da assembleia de peixes da Lagoa Mangueira, sul do Brasil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 99, n. 4, p. 409-418, 2009. (DOI: 10.1590/S0073-47212009000400011).

ATTISANO, K. K.; NIENCHESKI, L. F. H.; MILANI, I. C. B.; MACHADO, C. S.; MILANI, M. R., ZARZUR, S.; ANDRADE, C. F. F. Evidences of continental groundwater inputs to the shelf zone in Albardão, RS, Brazil. **Brazilian Journal of**

Oceanography, v. 56, p. 189-200, 2008. (DOI: 10.1590/S1679-87592008000300004).

BARCELLOS, C.; LACERDA L. D.; CERADINI, S. Sediment origin and budget in Sepetiba Bay - an approach based on multielement analysis. **Environmental Geology**, v. 32, p.203-209, 1997. (DOI: 10.1007/s002540050208)

BARCELLOS, R. L.; FIGUEIRA, R. C. L.; FRANÇ, E. J.; SCHETTINI, C. A; DE ARRUDA XAVIER, D. Changes of estuarine sedimentation patterns by urban expansion: the case of Middle Capibaribe Estuary, Northeastern Brazil. **International Journal of Geosciences**, v. 8, n. 4, p. 514-535, 2017. (DOI: 10.4236/ijg.2017.84027).

BARCELO, D.; PETROVIC, M. **Sustainable management of sediment resources: sediment quality and impact assessment of pollutants**. SedNet, Elsevier, Amsterdam, 2007.

BAUMGARTEN, M. G. Z.; WALLNER-KERSANACH, M.; NIENCHESKI, L. F. H. **Manual de análises em oceanografia química**. Segunda edição Rio Grande, RS, Brasil: Editora FURG, 2010.

BELTRAME, L. F. S.; TUCCI, C. E. M. **Estudo para avaliação e gerenciamento da disponibilidade hídrica da Bacia da Lagoa Mirim**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS, Porto Alegre, v. 1, 1998.

BENDÔ, A. R. R., 2020. **Estudo numérico hidro-morfodinâmico da Lagoa Mirim, RS, Brasil: análise de cenários de dragagem e seus impactos**. Dissertação de mestrado em Engenharia Oceânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande.

BENOIT, G.; ROZAN, T. F. ^{210}Pb and ^{137}Cs dating methods in lakes: a retrospective study. **Journal of Paleolimnology**, v. 25, p. 455-465, 2001. (DOI: 10.1023/A:1011179318352).

BI, S.; YANG, Y.; XU, C.; ZHANG, Y.; ZHANG, X.; ZHANG, X. Distribution of heavy metals and environmental assessment of surface sediment of typical estuaries in eastern China. Mar., **Marine Pollution Bulletin**, v. 121, p. 357-366, 2017. (DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.06.013).

BITENCOURT, D. G. B.; PINTO, L. F. S.; PAULETTO, E. A.; SILVA, M. T.; GARCIA, G. F. Geração de drenagem ácida e de contaminação por metais pesados em perfis de solos construídos em área de mineração de carvão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1821-1834, 2015. (DOI: 10.1590/01000683rbc20140810).

BITENCOURT, V. J. B.; DILLENBURG, S. R. Application of multivariate statistical techniques in alongshore differentiation of coastal barriers. **Marine Geology**, v. 419, p. 106077, 2020. (DOI: 10.1016/j.margeo.2019.106077).

BOGGS, JR., S. 1995. **Principles of Sedimentology and Stratigraphy**. Prentice Hall, New Jersey.

BORTOLIN, E. C.; WESCHENFELDER, J.; COOPER, A. Incised valley paleoenvironments interpreted by seismic stratigraphic approach in Patos Lagoon, Southern Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 48, n. 3, p. 533-551, 2018. (DOI:10.1590/2317-4889201820170133).

BORTOLIN, E. C.; WESCHENFELDER, J.; FERNANDES, E. H.; BITENCOURT, L. P. ; MÖLLER, O. O.; GARCÍA-RODRÍGUEZ, F.; TOLDO, E. Reviewing sedimentological and hydrodynamic data of large shallow coastal lagoons for defining mud depocenters as environmental monitoring sites, **Sedimentary Geology**, v. 410, p. 105782, 2020. (DOI: 10.1016/j.sedgeo.2020.105782).

BRITO, N. M.; JUNIOR, O. P. D. A.; POLESE, L.; RIBEIRO, M. L. Validação de métodos analíticos: estratégia e discussão. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 13, 2003. (DOI 10.5380/pes.v13i0.3173).

BRUSCH, L. R. de F. Ações de avaliação, aproveitamento e geração de valor econômico aos ativos ecológicos brasileiros: a missão da Fundação ZERI Brasil. Zero Emissions Research Initiatives, Fundação ZERI Brasil, disponível online em <http://www.zeri.org.br>, 2005.

BRYAN, G. W.; DARRACOTT, A. Bioaccumulation of marine pollutants. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, v. 286, n. 1015, p. 483-505, 1979. (DOI: 10.1098/rstb.1979.0042).

BUCHMANN, F. S. DE C.; BARBOSA, P. V.; VILLWOCK, J. A. Sedimentologia e

paleontologia durante o máximo transgressivo holocênico na lagoa mirim, RS, Brasil. *Acta Geológica Leopoldensia*, v. 21, n. 46-47, p. 21-26, 1998.

BUCHMANN, F. S.; BARBOSA, V. P.; VILLWOCK, J. A. Sedimentologia e paleoecologia durante o máximo transgressivo holocênico da Lagoa Mirim, RS, Brasil. *Acta Geológica Leopoldensia*, v. 46-47, p.21-26, 1997.

BUENO, C.; BRUGNOLI, E.; FIGUEIRA, R. C. L.; MUNIZ, P.; FERREIRA, P. A. L.; RODRÍGUEZ, F. G. Historical economic and environmental policies influencing trace metal inputs in Montevideo Bay, Río de la Plata. *Marine Pollution Bulletin*, v. 113, n. 1-2, p. 141-146, 2016. (DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.08.082).

BUENO, C.; BRUGNOLI, E.; FIGUEIRA, R. C. L.; MUNIZ, P.; FERREIRA, P. A. L.; RODRÍGUEZ, F. G. Historical economic and environmental policies influencing trace metal inputs in Montevideo Bay, Río de la Plata. *Marine Pollution Bulletin*, v. 113, n. 1-2, p. 141-146, 2016. (DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.08.082).

BUENO, C.; SANDERS, C. J.; NIENCHESKI, F. H., ANDRADE, C.; BURNETT, W.; SANTOS, I. R. Carbon accumulation in nutrient-poor coastal lakes following land-use change (Rio Grande do Sul, Brazil), no prelo 2021.

BURGER, M. I. **Situação e Ações Prioritárias para a Conservação de Banhados e Áreas Úmidas da Zona Costeira**. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do RS, p. 60, 2000.

CALLIARI, L. J., 1980. **Aspectos sedimentológicos e ambientais na região estuarial da Laguna dos Patos**. Dissertação de Mestrado em Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CALLIARI, L. J.; WINTERWERP, J. C.; FERNANDES, E.; CUCHIARA, D.; VINZON, S. B.; SPERLE, M.; HOLLAND, K. T. Fine grain sediment transport and deposition in the Patos Lagoon–Cassino beach sedimentary system. *Continental Shelf Research*, v. 29, n. 3, p. 515-529, 2009. (DOI: 10.1016/j.csr.2008.09.019).

CALMANO, W. **Metals in sediments: Remobilization and environmental hazards**. Development and progress in sediment quality assessment: Rationale, challenges,

techniques and strategies. SPB, Amsterdam, Holanda, 1996.

CALVANCANTI, A. J. R., 2013. **Influência hidrodinâmica no metabolismo de lagos rasos**. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CEMA, 2000. **Código Estadual de Meio Ambiente**. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201810/08143237-380-2018-criterios-para-identificacao-e-enquadramento-de-banhados-em-imoveis-urbanos.pdf>>. Acesso em 02 de fevereiro de 2021.

CHEN, B.; XUAN, X.; ZHU, L.; WANG, J.; GAO, Y.; YANG, K. Distributon of polycyclic aromac hydrocarbons in surface waters, sediments and soils of Hangzhou City, China. **Water Research**. v. 38, p. 348-356. 2004.

CHESTER, R. **Marine geochemistry**. Second Edition. Osney Mead, Oxford: Blackwell Science. 2009.

CHOMENKO, L. **Recursos hídricos e áreas úmidas: ambientes a serem preservados**. IZAKRZEVSKI, S. B. (Org.). Conservação e uso sustentável da água: múltiplos olhares. Erechim: EdiFapes, RS, p. 33-48, 2007.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 454, 01 de novembro de 2012. Disponível em: <www.mineiropt.com.br/arquivoslf/arq51acc67f913ce.pdf> Acesso em fevereiro de 2021.

COSTA-BÖDDEKER, S.; HOELZMANN, P.; DE STIGTER, H. C.; VAN GAEVER, P., HUY, H. Đ.; SCHWALB, A. The hidden threat of heavy metal pollution in high sedimentation and highly dynamic environment: Assessment of metal accumulation rates in the Thi Vai Estuary, Southern Vietnam. **Environmental Pollution**, v. 242, p. 348-356, 2018. (DOI: 10.1016/j.envpol.2018.05.096)

COSTI, J.; MARQUES, W. C.; KIRINUS, E. P.; DUARTE, R. F.; ARIGONY-NETO, J. Water level variability of the Mirim - São Gonçalo system, a large, subtropical, semi-enclosed coastal complex. **Advances in Water Resources**, v. 117, p. 75-86, 2018. (DOI:

10.1016/j.advwatres.2018.05.008).

DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C.; CARON, F.; BITENCOURT, V. J. Changes in the Littoral Drift System of the Uruguayan Coast during the Holocene and its Influence in the Continuing Erosion in Southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 95, n. SI, p. 453-457, 2020. (DOI: 10.2112/SI95-088.1).

DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C.; CARON, F.; SAWAKUCHI, A. O. The complex prograded Cassino barrier in southern Brazil: Geological and morphological evolution and records of climatic, oceanographic and sea-level changes in the last 7–6 ka. **Marine Geology**, v. 390, p. 106-119, 2017. (DOI: 10.1016/j.margeo.2017.06.007).

DNIT. TOMO I - Estudo Ambiental (EI): Dragagens do Canal do Sangradouro e do Canal de Santa Vitória do Palmar, visando a reativação da Hidrovia d Lagoa Mirim. Technical report, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, Brasília/DF, 2014.

ESTEVES, F.A. **Lagoas costeiras: origem, funcionamento e possibilidade de manejo**. In: Esteves, F.A. (ed). Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do município de Macaé (RJ), 1998.

FRAGOSO Jr., C. R., 2005. **Simulações de Fitoplâncton no Sistema Hidrológico do Taim (RS)**. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FRAGOSO Jr., C. R.; MOTTA-MARQUES, D. M. L.; FERREIRA, T. F.; JANSE, J. H.; NES, E. H. V. Potential effects of climate changes and eutrophication on large subtropical shallow lake. **Environmental Modelling and Software**, v. 26, p. 1337-1348, 2011. (DOI: 10.1016/j.envsoft.2011.05.004).

FRIEDRICH, A. C., 2004a. **Hidroquímica da Lagoa Mirim - RS**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica, Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande.

FRIEDRICH, A. C.; NIENCHESKI, L. F.; SANTOS, L. F. Dissolved and Particulate Metals in Mirim Lagoon, Brazil-Uruguayan Border. **Journal of Coastal Research**, 39, 1036 - 1039, 2004b. (DOI: 10.2307/25741737).

FROEHNER, S.; PICCIONI W.; MACHADO, K. S.; AISSE, M. M. Removal Capacity of Caffeine, Hormones, and Bisphenol by Aerobic and Anaerobic Sewage Treatment. **Water, Air, e Soil Pollution** v. 216, n.1-4, p.463-471, 2010. (DOI: 10.1007/s11270-010-0545-3).

GOUVÊA, T.; ZARNOT, D. H.; ALBA, J. M. F. Caracterização geoambiental e histórico do processo de desenvolvimento da bacia da Lagoa Mirim. FILIPPINI ALBA, J. M. (Ed.). Sustentabilidade socioambiental da bacia da Lagoa Mirim. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010.

GUIMARÃES, L. S., 2014. **Morfodinâmica de um detal artificial na margem oeste da Lagoa Manguieira - RS**. Tese de doutorado do Programa de Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

HARRISON, R. M.; MORA, J. Introductory chemistry for the environmental science. Cambridge University Press, Cambridge, 1996.

HORTELLANI, M. A.; SARKIS, J. E. S.; BONETTI, J.; BONETTI, C. Evaluation of mercury contamination in sediments from Santos - São Vicente estuarine system, São Paulo State, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.16, p.1140-1149, 2005

IBAMA, 2003. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Disponível em <<https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=90673>>. Acesso em 02 de fevereiro de 2021.

IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Estudo para Avaliação e Gerenciamento da Disponibilidade Hídrica da Bacia da Lagoa Mirim. Volume 1 - Desenvolvimento do Estudo, 1998. Disponível em <https://wp.ufpel.edu.br/alm/files/2019/04/000123857->

l.pdf

IRGA, Instituto Rio Grandense do Arroz, 2019. Produção RS Série Histórica. Disponível em: <https://irga-admin.rs.gov.br/upload/arquivos/201909/19141756-producao-rs-x-br.pdf>

IRGA, INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. Arroz Irrigado - Safra 2005/2006 - Produção Municipal, 2006.

IVANOFF, M. D.; TOLDO Jr, E. E.; FIGUEIRA, R. C.; FERREIRA, P. A. Geocronologia com ^{210}Pb na avaliação das taxas de sedimentação e da dinâmica deposicional na Lagoa Itapeva, sul do Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 44, n. 3, p. 489-500, 2017. (DOI: 10.22456/1807-9806.83271).

IVANOFF, M. D.; TOLDO, E. E.; FIGUEIRA, R. C. L. Use of ^{210}Pb and ^{137}Cs in the assessment of recent sedimentation in Patos Lagoon, southern Brazil. **Geo-Marine Letters**, v. 40, p. 1057-1067, 2020. (DOI: 10.1007/s00367-019-00633-8).

JUNG, B. M., 2017. **Variabilidade dos Fluxos de Sedimentos em Suspensão para a Lagoa dos Patos e os Processos de Trocas com o Oceano Adjacente**. Dissertação de Mestrado Oceanografia Física, Química e Geológica, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande.

KAFER, D. D. S.; COLARES, I. G.; HEFLER, S. M. Composição florística e fitossociologia de macrófitas aquáticas em um banhado continental em Rio Grande, RS, Brasil. **Rodriguésia**, v. 62, n. 4, p. 835-846, 2011.

KAFER, D. S., 2013. **Composição e distribuição das macrófitas aquáticas e sua relação com fatores abióticos em uma área úmida no sul do Brasil**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Federal do Rio Grande.

KAUSHIK, A.; KANSAL, A.; SANTOSH, M.; KUMARI, S.; KAUSHIK, C. P. Heavy metal contamination of river Yamuna, Haryana, India: assessment by metal enrichment factor of the sediments. **Journal of Hazardous Materials**, v. 164, p. 265-270, 2009.

(DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.08.031)

KIM, B. S. M.; SALAROLI, A. B.; DE LIMA FERREIRA, P. A.; SARTORETTO, J. R., DE MAHIQUES, M. M.; FIGUEIRA, R. C. L. Spatial distribution and enrichment assessment of heavy metals in surface sediments from Baixada Santista, Southeastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 103, n. 1-2, p. 333-338, 2016. (DOI: 10.1016/j.marpolbul.2015.12.041).

KJERFVE, B. (1994). **Coastal lagoons**. Elsevier oceanography series, v. 60, p. 1-8, 1994. (DOI: 10.1016/S0422-9894(08)70006-0).

KJERFVE, B.; RIBEIRO C. H.; DIAS, G. T.; FILIPPO, A. M.; QUARESMA V. S. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 17, n. 13, p. 1609- 1643, 1997. (DOI: 10.1016/S0278-4343(97)00028-9).

KUMAR, A.; RAMANATHAN, A. L.; PRABHA, S.; RANJAN, R. K.; RANJAN, S.; SINGH, G. Metal speciation studies in the aquifer sediments of Semria Ojhapatti, Bhojpur District, Bihar. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, n. 5, p. 3027-3042, 2012. (DOI: 10.1007/s10661-011-2168-6).

LEMES, M. J. L.; FILHO, P. M. F.; PIRES, M. A. F. Influência da mineralogia dos sedimentos das Bacias Hidrográficas dos Rios Mogiguaçu e Pardo na composição química das águas de abastecimento público. **Química Nova**, v. 26, n. 1, p. 13-20, 2003.

LORING, D. H.; RANTALA, R. T. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. **Earth-science reviews**, v. 32, n. 4, p. 235-283, 1992. (DOI:0.1016/0012-8252(92)90001-A).

LOUREIRO, D. D.; FERNANDEZ, M.; HERMS, F.; ARAÚJO, C.; LACERDA, L. D. Distribuição dos metais pesados em sedimentos da Lagoa Rodrigo de Freitas. **Oceanologia Australis**. v.16, p. 353-364, 2012. (DOI: 10.4257/oeco.2012.1603.04).

LUDWIG, T. A.; FLORES, T. L.; MOREIRA FILHO, H.; VEIGA, L. A. S. Inventário florístico das diatomáceas (*ochrophyta*) de lagoas do sistema hidrológico do Taim, Rio Grande do Sul, Brasil: *Coscinodiscophyceae*. **Iheringia. Série Botânica**, v. 59, n. 1, p.

97-106, 2004.

MAANAN, M.; RUIZ-FERNANDEZ, A. C.; MAANAN, M.; FATTAL, P.; ZOURARAH, B.; SAHABI, M. A long-term record of land use change impacts on sediments in Oualidia lagoon, Morocco. **International Journal of Sediment Research**, v. 29, n. 1, p. 1-10, 2014. (DOI: 10.1016/S1001-6279(14)60017-2).

MAHU, E.; NYARKO, E.; HULME, S.; SWARZENSKI, P.; ASIEDU, D. K.; COALE, K. H. Geochronology and historical deposition of trace metals in three tropical estuaries in the Gulf of Guinea. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 177, p. 31-40, 2016. (DOI: 10.1016/j.ecss.2016.05.007)

MARINS, R. V.; SAULO, F. J. P.; MAIA, S. R. R. Distribuição de mercúrio total como indicador de poluição urbana e industrial na costa brasileira. **Química Nova**, v. 27, n. 5, 763-770, 2004. (DOI: 10.1590/S0100-40422004000500016).

MARTINS, I. R.; VILLWOCK, J. A.; MARTINS, L. R.; BENVENUTI, C. E. The Lagoa dos Patos Estuarine Ecosystem. **Pesquisas em Geociências**, v. 22, p. 5-44, 1989. (DOI: 10.22456/1807-9806.21454).

MARTINS, M. D. C., 2016. Avaliação genotóxica em hortaliças cultivadas em áreas de exploração de carvão: potencial mutagênico e riscos à saúde humana.

MILANI, I. C. B., 2009. **Fluxo subterrâneo de metais traço para a costa extremo sul do Brasil**. Tese de doutorado em Oceanografia Química, Física e Geológica, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Química, Física e Geológica, Universidade Federal do Rio Grande.

MILANI, I. C. B.; ANDRADE C. F. F.; ATTISANO, K. K.; NIENCHESKI, L. F. H.; SANTOS, I. R.; BURNETT, W. Fluxos subterrâneos de nutrientes e metais traço para a Lagoa Mangureira (RS), **XV Congresso Brasileiro De Águas Subterrâneas**, 2008.

MIN, Ministério da Integração Nacional. A irrigação no Brasil: situação e diretrizes. Brasília: IICA, ISBN: 978-92-9039-908-7, 2008.

MIRLEAN, N.; ANDRUS, V. E.; BAISCH, P.; GRIEP, G.; CASARTELLI, M. R. Arsenic pollution in Patos Lagoon estuarine sediments, Brazil. **Marine Pollution**

Bulletin, v. 46, p. 1480-1484, 2003. (DOI: 10.1016/S0025-326X(03)00257-1).

MIRLEAN, N.; LARNED, S. T.; NIKORA, V.; KUTTER, V. T. Mercury in lakes and lake fishes on a conservation-industry gradient in Brazil. **Chemosphere** 60, 226-236, 2005.

MÖLLER JR, O. O.; PIOLA, A. R.; FREITAS, A. C.; CAMPOS, E. J. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. **Continental Shelf Research**, v. 28, n. 13, p. 1607-1624, 2008. (DOI:10.1016/j.csr.2008.03.012).

MÖLLER, O. O.; CASTAING, P.; SALOMON, J. C.; E LAZURE, P. The influence of local and non-local forcing effects on the subtidal circulation of patos lagoon. **Estuaries**, v. 24, n. 2, p. 297–311, 2001. (DOI: 10.2307/1352953).

MOTTA-MARQUES, D.; TUCCI, C.; CALAZANS, D.; CALLEGARO, V. L.; VILLANUEVA, A. **O Sistema Hidrológico do Taim**. Os sites e o programa brasileiro de pesquisas ecológicas de longa duração, Belo Horizonte- MG, 2002.

MUNAR, A. M.; CAVALCANTI, J. R.; BRAVO, J. M.; FAN, F. M., DA MOTTA-MARQUES, D.; FRAGOSO JR, C. R. Coupling large-scale hydrological and hydrodynamic modeling: Toward a better comprehension of watershed-shallow lake processes. **Journal of Hydrology**, v. 564, p. 424-441, 2018. (DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.07.045).

NAZNEEN, S.; SINGH, S.; RAJU, N. J. Janardhana. Heavy metal fractionation in core sediments and potential biological risk assessment from Chilika lagoon, Odisha state, India. **Quaternary International**, v. 507, p. 370-388, 2019. (DOI: 10.1016/j.quaint.2018.05.011).

NIENCHESKI, L. F.; MOORE, W. S.; WINDOM, H. L. History of human activity in coastal southern Brazil from sediment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 78, n. 1-2, p. 209-212, 2014. (DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.10.042).

NIENCHESKI, L. F.; WINDOM, H. L.; BARAJ, B.; WELLS, D.; SMITH, R. Mercury in fish from Patos and Mirim Lagoons, southern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v.

42, p. 1403-1406, 2001. (DOI: 10.1016/S0025-326X(01)00219-3).

NIENCHESKI, L. F. H.; BARAJ, B.; FRANÇA, R. G.; MIRLEAN, N. Lithium as a normalizer for assessment of anthropogenic metal contamination of sediments of the Southern area of Patos Lagoon. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, 5 (4): 473-483, 2002.

NILIN, J.; MOREIRA, L. B.; AGUIAR, J. E.; MARINS, R.; ABESSA, D. M. S.; LOTUFO, T. M. C.; LOTUFO, L. V. C. Sediment quality assessment in a tropical estuary: The case of Ceará River, **Northeastern Brazil. Marine Environmental Research**, v. 91, p. 89-93, 2013. (DOI: 10.1016/j.marenvres.2013.02.00).

OBREGON, E.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. Regionalização de vazões com base em séries estendidas: bacias afluentes a Lagoa Mirim. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 4, p. 57-75, 1999.

OLIVEIRA, H. A.; FERNANDES, E. H. L.; MÖLLER, O. O. J.; E COLLARES, G. L. Processos Hidrológicos e Hidrodinâmicos da Lagoa Mirim. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, p. 34-45, 2015.

ORANI, A. M.; VASSILEVA, E.; RENAC, C.; SCHMIDT, S.; ANGELIDIS, M. O.; ROZMARIC, M.; LOUW, D. First assessment on trace elements in sediment cores from Namibian coast and pollution sources evaluation. **Science of the Total Environment**, v. 669, p. 668–68, 2019. (DOI:10.1016/j.scitotenv.2019.03.059).

PANESSA, R.; PALO JR., H.; TRESCA, D. Estação Ecológica do Taim. Projeto cultural Lloyds Bank. São Paulo: Empresa das Artes, 1989.

PÁRRAGA, E. O., 1997. **Regionalização de funções hidrológicas com dados escassos: bacia contribuinte à Lagoa Mirim - RS**. Dissertação de Mestrado em Recurso Hídricos e Saneamento, Programa de Pós-Graduação em Recurso Hídricos e Saneamento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PATCHINEELAM, S. 2000. **Lagoas costeiras**. Disponível em: <http://www.usu.br/icba/oceano2/zonacosteira.htm>. Acesso em 02 de janeiro de 2019.

PATCHINEELAM, S.R.; SMOAK, J. M. Sediment accumulation rates along the inner

eastern Brazilian continental shelf. **Geo-Marine Letters**, v. 19, p. 196-201, 1999. (DOI: 10.1007/s003670050109).

PAZ, A. R. **Análise dos principais fatores intervenientes no comportamento hidrodinâmico do banhado do Taim (RS)**. Dissertação Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos - Universidade federal do Rio grande do Sul - UFRGS, 2003.

PAZ, A. R.; SCHETTINI, E. B. C.; VILLANUEVA, A. O. N. Simulação hidrodinâmica bidimensional do banhado do Taim (RS). **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, v. 15, 2003.

POTT, A.; POTT, V. J.; MOREIRA, S. N.; FERREIRA, F. A. Macrófitas aquáticas do Pantanal e de outras áreas úmidas em Mato Grosso do Sul. **Heringeriana**, v. 6, n. 1, p. 72-75, 2012.

PRATTE, S.; BAO, K.; SHEN, J.; DE VLEESCHOUWER, F.; LE ROUX, G. Centennial records of cadmium and lead in NE China lake sediments. **Science of The Total Environment**, v. 657, p. 548-557, 2019. (DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.407).

QUINTELA, F. M.; LIMA, G. P.; SILVEIRA, M. L.; COSTA, P. G.; BIANCHINI, A.; LOEBMANN, D.; MARTINS, S. E. High arsenic and low lead concentrations in fish and reptiles from Taim wetlands, a Ramsar site in southern Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 660, p. 1004-1014, 2019. (DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.031).

REESKI, L. F. H.; BARAJ, B.; WINDOM, H. L.; FRANÇA, R. G. Natural background assessment and its anthropogenic contamination of Cd, Pb, Cu, Cr, Zn, Al and Fe in the sediments of the Southern area of Patos Lagoon. **Journal of Coastal Research**, p. 1040-1043, 2006. (DOI: 10.2307/25741738).

RIBEIRO, F. A. D. L.; FERREIRA, M. M. C.; MORANO, S. C.; SILVA, L. R. D.; SCHNEIDER, R. P. Planilha de validação: uma nova ferramenta para estimar figuras de mérito na validação de métodos analíticos univariados. **Química Nova**, v. 31, n. 1, p. 164-171, 2008. (DOI: 10.1590/S0100-40422008000100029).

ROSA, C. N.; TASSI, R.; PICCILLI, G. G. A.; PEREIRA FILHO, W.; FAVARETTO, J. R.; FONTOURA, J. R. Identificação do padrão de distribuição de macrófitas aquáticas emergentes no banhado do Taim – RS - Brasil, frente a diferentes condições

hidrológicas. **Geociências**, v. 36, n. 4, p. 771 – 784, 2017.

ROSSATO, M. S., 2011. **Os Climas do Rio Grande do Sul: Variabilidade, Tendências e Tipologia**. Porto Alegre, Tese de Doutorado em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

RUIZ-FERNÁNDEZ, A. C.; HILLAIRE-MARCEL, C.; PÁEZ-OSUNA, F.; GHALEB, B.; SOTO-JIMÉNEZ, M. Historical trends of metal pollution recorded in the sediments of the Culiacan River Estuary, Northwestern Mexico. **Applied Geochemistry**, v. 18, n. 4, p. 577-588, 2003. (DOI: 10.1016/S0883-2927(02)00117-8).

SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U. **Sediments and the transport of metals**. In: *Metals in the Hydrocycle*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1984.

SANTIAGO, M.; POUHEY, J.; ROCHA, C.; PORTELINHA, M.; FERNANDES, J.; PIEDRAS, S. **O nível de água e a produção pesqueira na Lagoa Mirim**. Technical report, Embrapa Clima Temperado, Pelotas, Brazil, 2010.

SANTOS, F. S.; RANGEL, E. M.; FILHO, P. J. S. Determination of trace metals in water from Mangueira Lagoon - RS, Brazil. **Water Practice and Technology**, v. 13, p. 612-620, 2018. (DOI: 10.2166/wpt.2018.077).

SANTOS, I. R.; BAISCH, P.; DE LIMA, G. T. N. P.; DA SILVA-FILHO, E. V. Metais pesados em sedimentos superficiais da Lagoa Mirim, fronteira Brasil-Uruguai. **Geochimica brasiliensis**, v. 17, n. 1, 2003. (DOI: 10.21715/gb.v17i1.196).

SANTOS, I. R.; BAISCH, P.; LIMA, G. T. N. P.; SILVA-FILHO, E. V. Nutrients in surface sediments of Mirim lagoon, Brazil-Uruguay border. **Acta Limnologica Brasiliensis**, v. 16, n.1, p. 85-94, 2004.

SANTOS, I. R.; BURNETT, W. C.; GODOY, J. M. Radionuclides as tracers of coastal processes in Brazil: Review, synthesis, and perspectives. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 56, p.115-131, 2008b. (DOI: 10.1590/S1679-87592008000200004).

SANTOS, I. R.; FÁVARO, D. I. T.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SILVA-FILHO, E. V. Sediment geochemistry in coastal maritime Antarctica (Admiralty Bay, King George

Island): Evidence from rare earths and other elements. **Marine Chemistry**, v. 107, p. 464-474, 2007. (DOI: 10.1016/j.marchem.2007.09.006).

SANTOS, I. R.; MACHADO, M. I. C. S.; NIENCHESKI, L. F.; BURNETT, W.; MILANI, I.; ANDRADE, C.; PETERSON, R.; CHANTON, J., BAISCH, P. Major ion chemistry in a freshwater coastal lagoon from Southern Brazil (Mangueira Lagoon): Influence of groundwater inputs. **Aquatic Geochemistry**, vol. 14, p. 133-146, 2008a. (DOI: 10.1007/s10498-008-9029-0).

SCHÄFER, A. **Fundamentos de ecologia e biogeografia de águas continentais**. Porto Alegre, UFRGS, 1984.

SCHINTU, M.; MARRUCCI, A.; MARRAS, B.; GALGANI, F.; BUOSI, C.; IBBA, A.; CHERCHI, A. Heavy metal accumulation in surface sediments at the port of Cagliari (Sardinia, western Mediterranean): Environmental assessment using sequential extractions and benthic foraminifera. **Marine Pollution Bulletin**, v. 111, n. 1-2, p. 45-56, 2016. (DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.07.029).

SCHNEIDER, L.; MAHER, W.; POTTS, J. Use of a multi-proxy method to support the restoration of estuaries receiving inputs from industry. **Ecological Engineering**, 85, 247-256, 2015.

SETE, L. R., 2010. **Relações entre Estação Ecológica do Taim e Comunidade Local: Conflitos e Cooperação**. Dissertação de Mestrado em Extensão Rural, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria.

SILVA, J. D.; SRINIVASALU, S.; ROY, P. D.; JONATHAN, M. P. Environmental conditions inferred from multi-element concentrations in sediments off Cauvery delta, Southeast India. **Environmental Earth Sciences**, v.71, p. 2043-2058, 2014. (DOI: 10.1007/s12665-013-2606-6).

SILVA, M. A. D.; ANJOS, F. S.; CALDAS, N. V. **Um novo espaço em disputa: o produtor de arroz irrigado e as novas instituições reguladoras do uso e propriedade da água no extremo meridional brasileiro**. *Redes*, Santa Cruz do Sul, v. 14, n. 1, p.

45-61, 2009.

SIMON, A. L. H.; SILVA, P. F. Análise geomorfológica da planície lagunar sob influência do canal São Gonçalo – Rio Grande do Sul – Brasil. **Geociências**, v. 34, n. 4, p.749-767, 2015.

SONDI, I.; MIKAC, N.; VDOVIĆ, N.; IVANIĆ, M.; FURDEK, M.; ŠKAPIN, S. D. Geochemistry of recent aragonite-rich sediments in Mediterranean karstic marine lakes: Trace elements as pollution and palaeoredox proxies and indicators of authigenic mineral formation. **Chemosphere**, v. 168, p. 786-797, 2017. (DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.10.134)

SOUSA, S. H. M.; FERREIRA, P. A.; MARTINS, M. V.; SIEGLE, E.; AMARAL, P. G.; FIGUEIRA, R. C.; YAMASHITA, C.; RODRIGUES, A. R.; MAHIQUES, M. M. Spatial sediment variability in a tropical tide dominated estuary: Sources and drivers. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 72, p. 115-125, 2016. (DOI: 10.1016/j.jsames.2016.08.004).

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: editora Edgard Blücher Ltda, 2003.

SUGUIO, K. **Introdução a Sedimentologia**. Edgard Blucher, EDUSP, São Paulo. v. 317, p., 1973.

SZEFER, P.; KUSAK, A.; SZEFER, K.; GLASBY, G. P.; JANKOWSKA, H.; WOLOWICZ, M.; ALI, A. A. Evaluation of the anthropogenic influx of metallic pollutants into Puck Bay, southern Baltic. **Applied Geochemistry**, 13: 293-304, 1998. (DOI: 10.1016/S0883-2927(97)00098-X).

SZEFER, P.; SZEFER, K.; GLASBY, G. P.; PEMPKOWIAK, J.; KALISZAN, R. Heavy-metal pollution in surficial sediments from the southern Baltic Sea off Poland. **Journal of Environmental Science and Health - Part A Environmental Science and Engineering and Toxic and Hazardous Substance Control**, v. 31, n. 10, p. 2723-2754 1996. (DOI: 10.1080/10934529609376520).

TASSI, R., 2008. **Gerenciamento Hidroambiental de Terras Úmidas**. Tese de Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas

Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TAVORA, J.; FERNANDES, E. H.; THOMAS, A. C.; WEATHERBEE, R.; SCHETTINI, C. A. The influence of river discharge and wind on Patos Lagoon, Brazil, Suspended Particulate Matter. **International Journal of Remote Sensing**, v. 40, n. 12, p. 4506-4525, 2019. (DOI: 10.1080/01431161.2019.1569279).

TEIXEIRA, M. B., 2015. "**Teu suor está plantado em cada casa desse chão**". **A trajetória dos barqueiros areeiros do Rio Jaguarão e as suas adaptações às normatizações ambientais (Jaguarão, 1960 a 2004)**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em História, da Universidade Federal do Pampa.

TEJADAS, B. E.; BRAVO, J. M.; SANAGIOTTO, D. G.; TASSI, R.; MARQUES, D. M. L. D. M. Projeções de vazão afluente à lagoa mangueira com base em cenários de mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 3, p. 262-272, 2016. (DOI: 10.1590/0102-778631320150139).

TOLDO JR, E. E., 1994. **Sedimentação, Predição do Padrão de Ondas, e Dinâmica Sedimentar da Antepraia e Zona de Surfe do Sistema Lagunar**. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TOLDO JR, E. E., CORRÊA, I. C. S., ALMEIDA, L. E. S. B., WESCHENFELDER, J., GRUBER, N. L. S. Sedimentação de Longo e Curto Período na Lagoa dos Patos. **Pesquisas em Geociências**, v. 33, n. 2, p. 79-86, 2006.

TOLDO JR, E. E.; DILLENBURG, S. R.; CORREA, I. C.; ALMEIDA, L. E. Holocene sedimentation in Lagoa dos Patos Lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Coastal Research**, p. 816-822, 2000.

TOLDO JR, E. E.; DILLENBURG, S. R.; CORRÊA, I. C.; ALMEIDA, L. E. S. B.; WESCHENFELDER, J. Sedimentação na Lagoa dos Patos e os impactos ambientais. **Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**, v. 10, p. 2005, 2005.

TOLDO JR, E. Morfodinâmica da laguna dos patos, rio grande do sul. **Pesquisas em Geociências**, v. 18, n. 1, p. 58-63, 1991

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. Mapeamento Geológico de Planícies Costeiras:

O Exemplo da Costa do Rio Grande do Sul. **Gravel**, 2005.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. **O Cenozoico do Rio Grande do Sul: geologia da planície costeira**. Geologia do Rio Grande do Sul. Edições CIGO/UFRGS, Porto Alegre, 2000.

TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R.; VILLWOCK, J. A. Late quaternary geological history of Rio Grande do Sul coastal plain, Southern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, 30: 474-476, 2017.

ULLMAN, W. J.; CHANG, B.; MILLER, D. C.; MADSEN, J. A. Groundwater mixing, nutrient diagenesis, and discharges across a sandy beachface. Cape Henlopen, Delaware (USA). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 57, p. 539, 2003. (DOI: 10.1016/S0272-7714(02)00398-0).

USEPA - Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. Method 3051a. In Test methods for evaluating solid waste. SW-846 on-line. US Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste, Economic, Methods, and Risk Analysis Division, Washington, DC, USA, 2007. Disponível em: <http://www.epa.gov/waste/hazard/testmethods/sw846/online/3_series.htm>

VAZ, A. C.; MÖLLER JUNIOR, O. O.; ALMEIDA, T. L. D. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. **Atlântica**, v. 28, p. 13–23, 2006.

VIANNA, Manoel Luiz. **Extremo Sul do Brasil: um lugar esquecido**. Pelotas: Editora Textos, 2012.

VIEIRA, E. F.; RANGEL, S. R. S. **Rio Grande do Sul: geografia física e vegetação**. Porto Alegre: Sagra, 1984

VIEIRA, E. F.; RANGEL, S. R. S. **Rio Grande do Sul: geografia física e vegetação**. Porto Alegre: Sagra, 1984.

VIEIRA, E. F.; RANGEL, S. **Planície Costeira do Rio Grande do Sul – Geografia Física, Vegetação e Dinâmica Sócio Demográfica**. Ed. Sagra. Porto Alegre. 1988.

VIEIRA, H. M., 1995. **Contribuição ao estudo da sedimentologia da Lagoa Mirim-RS**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade

FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.

VIEIRA, H. M.; WESCHENFELDER, J.; FERNANDES, E. H.; OLIVEIRA, H. A.; MÖLLER, O. O.; GARCÍA-RODRÍGUEZ, F. Links between surface sediment composition, morphometry and hydrodynamics in a large shallow coastal lagoon. **Sedimentary Geology**, v. 398, p. 105591, 2020. (DOI: 10.1016/j.sedgeo.2020.105591).

VILLANUEVA, A. **Modelo Hidrodinâmico-Hidrológico do Banhado do Taim**. MOTTA – MARQUES, D. Sistema Hidrológico do Taim: projeto integrado UFRGS, FURG, FZB. Porto Alegre, 2003.

VILLANUEVA, A. O. N.; MARQUES, D. M.; TUCCI, C. E. M. The Taim wetland conflict: a compromise between environment conservation and irrigation. **Water International**, v. 25, n. 4, p. 610-616. 2000. (DOI: 10.1080/02508060008686876).

VILLANUEVA, ADOLFO O. N. Balanço Oferta-Demanda para Gerenciamento do Sistema Mirim-Mangueira. **Anais do Congresso Nacional Del Água**, p. 477-487, 1998.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, v. 8, p.1-45, 1995.

WAN, D.; SONG, L.; YANG, J.; JIN, Z.; ZHAN, C.; MAO, X.; & SHAO, Y. Increasing heavy metals in the background atmosphere of central North China since the 1980s: Evidence from a 200-year lake sediment record. **Atmospheric Environment**, v. 138, p. 183-190, 2016. (DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.05.015)

WESCHENFELDER, J.; CORREA, I. C. S. V. Evolução dos Paleocanais da Região Costeira do Rio Grande do Sul durante o Quaternário Tardio. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 22, n. 1, p. 41-47, 2018.

WINSBORROW, M.; CHAND, S., RISE, L.; BØE, R. **Cruise report-Sandwaves and sand transport on the Barents Sea continental margin offshore Norway**, 2012.

XAVIER, A. S., 2002. **Estudo da circulação hidrodinâmica da Lagoa Mirim**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande.

YONGMING, H.; PEIXUAN, D.; JUNJI, C.; POSMENTIER, E. S. Multivariate

analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. **Science of the Total Environment**, v. 355, p. 176-186, 2006. (DOI: 10.1016/j.scitotenv.2005.02.026).

ZHANG, H.; DAVISON, W.; MORTIMER, R. J.; KROM, M. D.; HAYES, P. J.; DAVIES, I. M. Localized remobilization of metals in a marine sediment. **Science of the Total Environment**, v. 296, n. 1-3, p. 175-187, 2002. (DOI: 10.1016/S0048-9697(02)00078-5).

ZHANG, J.; LIU, C. L. Riverine composition and estuarine geochemistry of particulate metals in China — weathering features, anthropogenic impact and chemical fluxes. **Estuarine, coastal and shelf science**, v. 54, n. 6, p. 1051-1070, 2002b. (DOI: 10.1006/ecss.2001.0879).

ZHANG, J.; LÜ, F.; SHAO, L.; HE, P. The use of biochar-amended composting to improve the humification and degradation of sewage sludge. **Bioresource technology**, v. 168, p. 252-258, 2014. (DOI: 10.1016/j.biortech.2014.02.080).

ZONTA, R.; BOTTER, M.; CASSIN, D.; BELLUCCI, L.G.; PINI, R.; DOMINIK, J. Sediment texture and metal contamination in the Venice Lagoon (Italy): A snapshot before the installation of the MOSE system. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 205, p. 131-151, 2018. (DOI: 10.1016/j.ecss.2018.03.007).

APÊNDICE I - Características Sedimentológicas dos Testemunhos das Lagoas Mirim e Mangueira

Tabela I – Lagoa Mirim testemunho - MRF

Profundidade (cm)	Amostra	Observações
1	MRF 1	Fluido
2	MRF 2	Fluido + raízes
3	MRF 3	Fluido
4	MRF 4	Fluido
5	MRF 5	Pouco fluido
6	MRF 6	Pouco fluido
7	MRF 7	Pouco fluido
8	MRF 8	Mais plastificado
9	MRF 9	Firme plastificado
10	MRF 10	Firme plastificado
12	MRF 11	Firme plastificado
14	MRF 12	Firme
16	MRF 13	Firme
18	MRF 14	Firme
20	MRF 15	Firme
25	MRF 16	Firme
30	MRF 17	Firme
35	MRF 18	Com conchas
40	MRF 19	Com conchas
45	MRF 20	Com conchas
50	MRF 21	Com conchas
55	MRF 22	Com conchas
60	MRF 23	Com conchas
65	MRF 24	Com conchas
70	MRF 25	Com conchas
75	MRF 26	Com conchas, bem firme
80	MRF 27	Com conchas, bem firme
85	MRF 28	Com conchas, bem firme

Tabela II - Lagoa Mirim testemunho - MRJ

Profundidade (cm)	Amostra	Observações
1	MRJ 1	Bem lamoso
2	MRJ 2	Bem lamoso com um pouco de vegetação em decomposição
3	MRJ 3	Lamoso com raízes
4	MRJ 4	Lamoso com raízes
5	MRJ 5	Pouco lamoso com raízes
6	MRJ 6	Pouco lamoso com raízes
7	MRJ 7	Pouco lamoso com poucas raízes
8	MRJ 8	Pouco lamoso com poucas raízes
9	MRJ 9	Pouco lamoso com poucas raízes
10	MRJ 10	Pouco lamoso com poucas raízes
12	MRJ 11	Mais consistente
14	MRJ 12	Firme
16	MRJ 13	Firme
18	MRJ 14	Firme
20	MRJ 15	Lama bem firme
25	MRJ 16	Lama bem firme
30	MRJ 17	Lama bem firme
35	MRJ 18	Super firme
40	MRJ 19	Plastificado
45	MRJ 20	Plastificado
50	MRJ 21	Plastificado

Tabela III – Lagoa Mangueira testemunho - MG

Profundidade (cm)	Amostra	Observações
1	MG 1	Lamoso
2	MG 2	Lamoso
3	MG 3	Lamoso
4	MG 4	Lamoso
5	MG 5	Lamoso
6	MG 6	Lamoso + firme
7	MG 7	Lamoso + firme
8	MG 8	Lamoso + firme
9	MG 9	Firme
10	MG 10	Firme
12	MG 11	Firme
14	MG 12	Firme
16	MG 13	Firme
18	MG 14	Firme
20	MG 15	Firme
25	MG 16	Firme + conchas
30	MG 17	Firme + conchas
35	MG 18	Firme + conchas
40	MG 19	Firme + conchas
45	MG 20	Firme + conchas
50	MG 21	Firme + conchas
55	MG 22	Firme + conchas
60	MG 23	Firme + conchas