

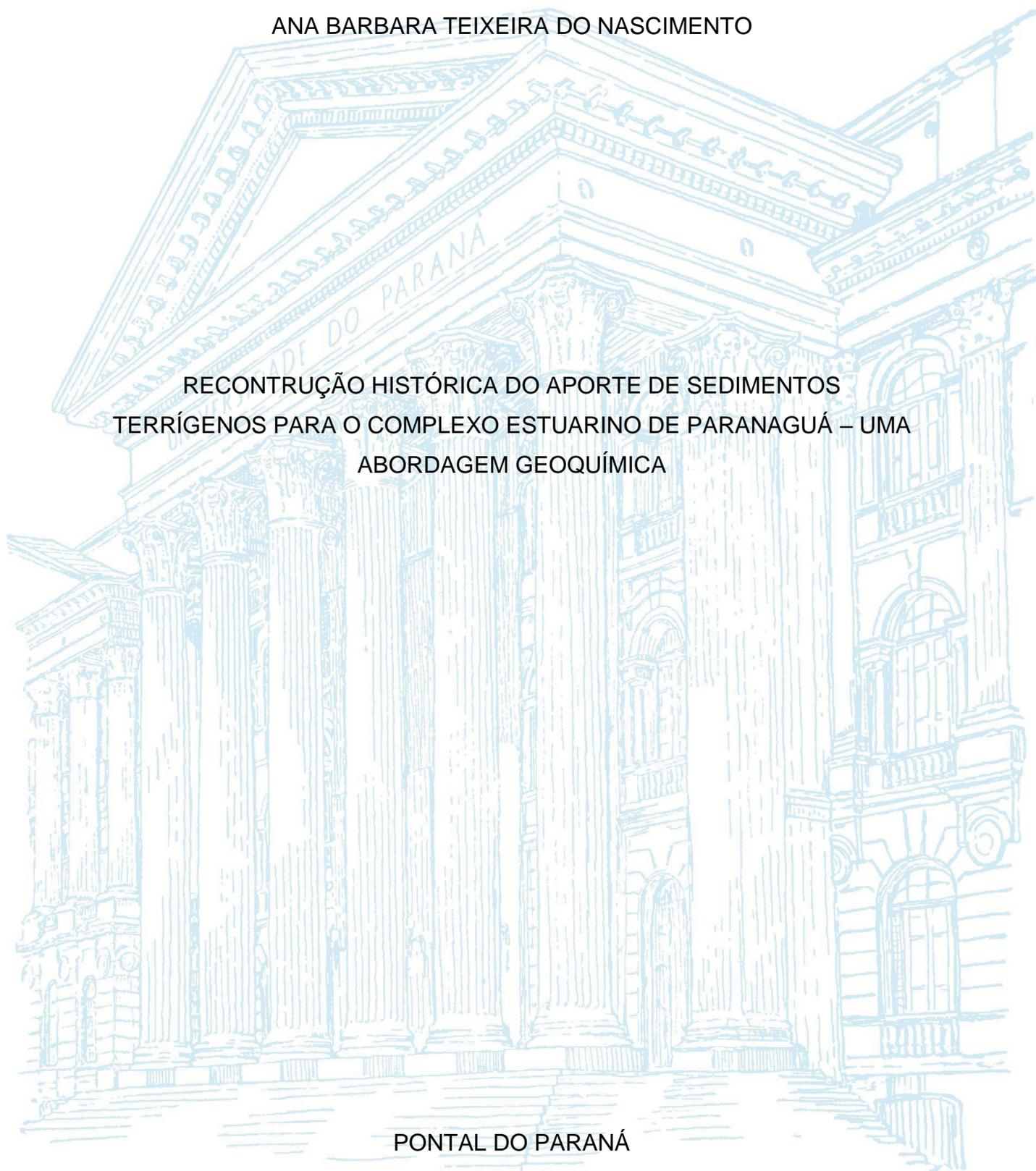
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA BARBARA TEIXEIRA DO NASCIMENTO

RECONSTRUÇÃO HISTÓRICA DO APORTE DE SEDIMENTOS
TERRÍGENOS PARA O COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ – UMA
ABORDAGEM GEOQUÍMICA

PONTAL DO PARANÁ

2021



ANA BARBARA TEIXEIRA DO NASCIMENTO

RECONSTRUÇÃO HISTÓRICA DO APORTE DE SEDIMENTOS
TERRÍGENOS PARA O COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ – UMA
ABORDAGEM GEOQUÍMICA

Monografia apresentada ao curso de Oceanografia, Campus Pontal do Paraná – Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Renata Hanae Nagai

PONTAL DO PARANÁ

2021

TERMO DE APROVAÇÃO

Ana Barbara Teixeira do Nascimento

“RECONSTRUÇÃO HISTÓRICA DO APORTE DE SEDIMENTOS TERRÍGENOS PARA O COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ - UMA ABORDAGEM GEOQUÍMICA”

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharela em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela
Comissão formada pelos membros:

Renata Hanae Nagai

Profa. Dra. Renata Hanae Nagai
Orientadora - Centro de Estudos do Mar - UFPR



Prof. Dr. César de Castro Martins
Centro de Estudos do Mar - UFPR



Prof. Dr. Michel Michaelovitch de Mahiques
Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo

Pontal do Paraná, 20 de dezembro de 2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe Elizandra e a minha irmã Rebecca por todo o suporte emocional, pelas conversas, conselhos, risadas e fofocas. Vocês foram essenciais ao longo destes anos de faculdade!

Ao meu pai Antônio por sempre me apoiar e me incentivar a fazer o melhor.

À minha querida orientadora, Dr^a Renata Hanae Nagai pelos ensinamentos, dedicação, paciência, apoio e compreensão.

Aos professores do Centro de Estudos do Mar e aos colegas do LabPaleo² que de alguma maneira auxiliaram na minha formação.

À Dra Tailisi Hoppe Trevisani, pelos dados de metais do XRF.

À Le e a Noaa por sempre serem minhas companhias nos surtos, crises, pizzas, risadas, passeios na restinga, jardinagem e tudo mais. Obrigada por tudo e um pouco mais!

À Nádia, por ter sido a melhor coisa que o oceano me trouxe. Obrigada por compartilhar esses anos comigo, amiga!

Agradeço à minha não amiga Evelyn e à minha amiga Le Senen, pelas cervejas, fofocas, piadas, pontos e caronas. E à minha sobrinha Jadequinha pelos lambeijos.

À Mari Araki pelas conversas sobre ansiedade, sobre a vida, sobre o futuro e por me ajudar com a vida acadêmica.

Por fim, agradeço ao CNPq pelo financiamento do projeto “*Panorama histórico e perspectivas futuras frente à ocorrência de estressores químicos no Complexo Estuarino de Paranaguá (EQCEP)*” (Chamada MCTIC/CNPq - Nº 21/2017 (Baías do Brasil) – processo nº 441265/2017-0). E pelo auxílio financeiro através do programa institucional de iniciação científica (CNPq/PIBIC).

“À beira daquilo que sabemos, em contato com o oceano do desconhecido, reluzem o mistério e a beleza do mundo”.

(Carlo Rovelli)

RESUMO

Estuários conectam o continente ao oceano, controlando a exportação de sedimentos para a plataforma continental. Estes ambientes dinâmicos possuem altas taxas de sedimentação influenciadas pelo regime de precipitação e por processos antrópicos de uso e ocupação do seu entorno. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo reconstruir o aporte de sedimentos terrígenos para o Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) ao longo dos últimos 200 anos, com base em parâmetros granulométricos e razões elementares (Fe/Ca, K/Ca, Ti/Ca, Fe/K e K/Rb) obtidos em registros sedimentares. As amostras utilizadas neste estudo provêm de dois testemunhos sedimentares coletados no eixo Leste-Oeste do CEP, localizados na porção mais interna (T4) e próximo à desembocadura do estuário (T5). A cronologia foi obtida por datação radiométrica, utilizando o radionuclídeo ^{210}Pb . A quantificação de metais (Ca, Cr, Fe, K, Mn, Rb, Sr, Ti, V e Zn) foi realizada por meio da técnica de Fluorescência de Raios X (XRF) e as análises granulométricas foram realizadas com o auxílio de um granulômetro a laser. Os resultados obtidos sugerem três fases distintas de aporte continental, entre os anos de 1854 a 2017, com períodos de variação similares entre os testemunhos. Entre 1854 e 1940, os resultados apontam para um maior aporte continental (maiores valores das razões Fe/Ca, Ti/Ca), com sedimentos mais intemperizados (maiores valores da razão Fe/K e menores de K/Rb) e grãos mais grossos (areia fina), potencialmente associados à expansão das atividades de uso e ocupação do solo no entorno do CEP. Entre 1941 e 1981, nossos resultados sugerem diminuição do aporte de sedimentos terrígenos, com a chegada de sedimentos com menor grau de intemperismo e grãos relativamente mais grossos, evidenciando a importância da ação humana sobre mudanças nas condições de intemperismo físico e na hidrodinâmica local. Na fase mais recente, entre 1982 e 2017, é possível observar aumento relativo no aporte de sedimentos continentais, com menor grau de intemperismo e grãos mais finos, associados tanto a intensificação das atividades humanas quanto ao regime de precipitação.

Palavras-chave: Estuário subtropical. Aporte terrígeno. Razões elementares.
Uso e ocupação do solo. Precipitação.

ABSTRACT

Estuaries connect land and ocean, controlling the export of sediments to the continental shelf. These dynamical environments have high sedimentation rates influenced by local precipitation regime and anthropic activities. In this context, this work aims to reconstruct the input of terrigenous sediments to the Paranaguá Estuarine Complex (CEP), over the last 200 years, based on granulometric parameters and elemental ratios (Fe/Ca, K/Ca, Ti /Ca, Fe/K and K/Rb) obtained from sedimentary records. The samples used in this study come from two sedimentary cores collected in the East-West axis of the CEP, located in the internal portion (T4) and close to the estuary mouth (T5). The chronology was obtained by radiometric dating, using the radionuclide ^{210}Pb . Metals quantification (Ca, Cr, Fe, K, Mn, Rb, Sr, Ti, V, and Zn) was performed by X-Ray Fluorescence (XRF) technique, and granulometric analyzes performed on a laser analyzer. The results suggest the existence of three distinct phases of continental input between the years 1854 to 2017, occurring in similar periods in both cores. Between 1854 and 1940, the results point to a bigger continental sediments contribution (higher Fe/Ca and Ti/Ca ratios), with a greater degree of weathering (higher Fe/K and low K/Rb ratios) and coarser grains (fine sand) deposition, potentially associated to the expansion of land use and occupation activities in the CEP. Between 1941 and 1981, our data suggest a smaller terrigenous input, weathering reduction, and the deposition of coarser grains, mainly related to increase in physical weathering and changes in local hydrodynamic regime promoted by the intensification of human activities. Finally, between 1982 and 2017, our data shows an increase in continental sediments, with a lower degree of weathering and the deposition of finer grains, associated with both the intensification of human activities and in the local precipitation regime.

Keywords: Subtropical estuary. Terrigenous input. Elemental ratios. Land use. Precipitation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Mapa de localização dos testemunhos T4 e T5 no Complexo Estuarino de Paranaguá.....	18
FIGURA 2 - Modelo de idade e taxas de sedimentação para o testemunho T4.	21
FIGURA 3 - Modelo de idade e taxas de sedimentação para o testemunho T4.	21
FIGURA 4 - Distribuição do diâmetro médio do grão (Φ) e do conteúdo (%) de areia e lama (silte + argila) ao longo do testemunho T4.....	22
FIGURA 5 - Distribuição do diâmetro médio do grão (Φ) e do conteúdo (%) de areia e lama (silte + argila) ao longo do testemunho T5.....	23
FIGURA 6 - Razões elementares para o testemunho T4.	25
FIGURA 7 - Razões elementares para o testemunho T5.	26
FIGURA 8 - Análise de componentes principais testemunho T4.....	28
FIGURA 9 - Análise de componentes principais testemunho T5.	29
FIGURA 10 - Razões elementares e diâmetro médio do grão para o testemunho T4, e registro histórico de pluviosidade regional.....	33
FIGURA 11 - Razões elementares e diâmetro médio do grão para o testemunho T5, e registro histórico de pluviosidade regional.....	37

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Coeficientes de correlação de Pearson entre razões elementares e o diâmetro médio do grão para o T4	27
TABELA 2 - Coeficientes de correlação de Pearson entre razões elementares e o diâmetro médio do grão para o T5	27
TABELA 3 - Autovetores das componentes principais calculadas a partir dos dados do testemunho T4.....	28
TABELA 4 - Autovetores das componentes principais calculadas a partir dos dados do testemunho T5.....	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1	PROCESSOS SEDIMENTARES EM REGIÕES ESTUARINAS	13
3.2	APLICAÇÕES DE RAZÕES ELEMENTARES EM RECONSTRUÇÕES PALEOAMBIENTAIS	14
3.3	MÉTODOS DE DATAÇÃO APLICADOS EM RECONSTRUÇÕES HISTÓRICAS	14
4	ÁREA DE ESTUDO	16
5	MATERIAIS E MÉTODOS	18
6	RESULTADOS	21
6.1	GEOCRONOLOGIA	21
6.2	PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS.....	22
6.3	RAZÕES ELEMENTARES	24
6.4	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	26
6.4.1	Correlação de Pearson	26
6.4.2	Análise de Componentes Principais	27
7	DISCUSSÃO	30
7.1	MUDANÇAS NO APORTE DE SEDIMENTOS TERRÍGENOS PARA A BAÍA DE ANTÓNINA.....	30
7.2	MUDANÇAS NO APORTE DE SEDIMENTOS TERRÍGENOS NA DESEMBOCADURA DO CEP	34
7.3	VARIAÇÕES NO APORTE DE SEDIMENTOS TERRÍGENOS PARA O CEP 38	
8	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS	41
	APÊNDICE 1 – HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO REGIONAL	46

1 INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) em 2017 declarou a Década da Ciência Oceânica para o Desenvolvimento Sustentável, o período entre 2021 e 2030. A década vem de encontro aos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, que tem como intuito fortalecer a paz e a prosperidade entre as pessoas e com nosso planeta, com foco no ODS 14. O ODS 14 – A vida na água, tem metas associadas ao aumento do desenvolvimento de pesquisas e conhecimento científico sobre o oceano, conservação da vida marinha e o uso sustentável dos recursos marinhos em regiões costeiras e oceânicas (ONU, 2015). As regiões costeiras representam uma área de grande desenvolvimento humano desde o início das civilizações, permitindo a extração de recursos pesqueiros, navegação, implantação de portos, marinas, indústrias e potencial recreativo (LAMOUR et al., 2004).

Os estuários modernos são resultado da transgressão do nível do mar durante o Holoceno (NELSON, 1972). Estas feições atuam como armadilhas sedimentares, controlando o fluxo de sedimentos do continente para o oceano, onde há elevadas taxas de acúmulo do material terrígeno e com isso apresentam uma tendência natural de assoreamento (KENNETT, 1982). Ecossistemas estuarinos são áreas que abrigam grande diversidade de espécies e habitats, desempenhando um papel fundamental para a preservação da vida marinha (OLDS et al., 2018). Estas regiões são favoráveis à ocupação humana para a realização de diversas atividades socioeconômicas. No Brasil, 26,6% da população reside em municípios na zona costeira (IBGE, 2010). Dados globais apontam que em torno de 2,4 bilhões de pessoas vivem em zonas costeiras, 40% da população mundial (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2003).

O aporte de sedimentos terrígenos para ambientes estuarinos é controlado naturalmente pelo regime de precipitação, pois este, é o principal fator que influencia outros processos geológicos como o intemperismo, a erosão de rochas, o transporte desses sedimentos para as bacias hidrográficas (TEIXEIRA et al., 2000) e pela cobertura vegetal dos solos. Outro fator relevante na variação do aporte de material terrígeno para os estuários é o desenvolvimento de atividades industriais, portuárias e o turismo em larga escala (GRUBER et al., 2003). Estas ações impactam o balanço sedimentar natural destes ecossistemas, refletindo em efeitos

ecológicos sobre a biota e no meio socioeconômico (HOWARTH,1991; THRUSH et al., 2004).

Os estuários são importantes ambientes deposicionais, onde há preservação da assinatura geoquímica dos sedimentos no momento de sua deposição, o que permite utilizar essa ferramenta para reconstruir a evolução das condições ambientais (GUO e YANG, 2016; ANGELI et al., 2019). Existem diferentes fatores que influenciam no aporte dos sedimentos terrígenos para esses ambientes, podendo dificultar a identificação da origem, natural ou relacionada ao uso e ocupação do solo (BARCELLOS et al., 2017). A reconstrução das condições ambientais pretéritas a presença humana pode, nesse contexto, auxiliar no entendimento da resposta desses ambientes a processos naturais e antrópicos. Para entender esta evolução ambiental são utilizados *proxies*¹, como a composição inorgânica dos sedimentos e razões elementares, que são ferramentas usadas para este tipo de estudo. Há razões, por exemplo, que indicam o aporte de material terrígeno (Fe/Ca e Ti/Ca), outras que apontam o transporte sedimentar por vias fluviais ou eólicas (Ti/Al), e indicadores de intemperismo (Fe/K e Al/Si) (GOVIN et al., 2012).

O Complexo Estuarino de Paranaguá e suas áreas adjacentes abrigam uma das últimas reservas de Mata Atlântica do Brasil e diversas formas de uso e ocupação do solo, como o portuário, pesqueiro, agrícola, turístico e ocupação urbana (MARONE et al., 2005; PIERRI et al., 2006). Entretanto, regiões estuarinas recebem elevada descarga de poluentes das atividades que ocorrem no continente adjacente, trazidos pelas chuvas e rios, gerando grande impacto nestes ambientes (GUO et al., 2019). A ocupação das terras do litoral do Paraná aconteceu há aproximadamente 6.000 anos pelos homens sambaquis, porém, a criação das cidades iniciou em 1648 com a fundação de Paranaguá, influenciando no aumento populacional e nas atividades econômicas regionais (PIEERI et al., 2006). Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como proposta principal avaliar os efeitos da mudança climática e da expansão das atividades humanas, sobre os sistemas costeiros naturais a partir da análise das oscilações do aporte sedimentar proveniente do continente por meio de razões elementares.

¹ Wefer et al. (1999) descreve as variáveis proxy, no âmbito da paleoceanografia, como descritores mensuráveis que representam parâmetros não observáveis (p.ex. temperatura, produtividade, salinidade, teor de oxigênio).

2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo principal entender como as oscilações climáticas regionais e o uso e a ocupação do solo no entorno do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) e na bacia de drenagem adjacente influenciaram o aporte de material terrígeno para este sistema, ao longo dos últimos 200 anos.

A fim de atingir o objetivo principal, foram delimitados os seguintes objetivos específicos:

- (i) Reconstruir mudanças nos processos sedimentares do CEP nos últimos 200 anos, com base em parâmetros granulométricos e razões elementares;
- (ii) Relacionar as variações no aporte de material terrígeno, com oscilações no regime de precipitação;
- (iii) Relacionar a influência das atividades de uso e ocupação do solo em torno do CEP com mudanças no aporte de sedimentos terrígenos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 PROCESSOS SEDIMENTARES EM REGIÕES ESTUARINAS

Ambientes estuarinos são definidos como corpos aquosos costeiros semifechados com conexão livre para o oceano, onde a água do mar é diluída de maneira mensurável com a água do continente (PRITCHARD, 1967). Os processos sedimentares em estuários fornecem informações sobre a deposição de sedimentos, processos morfológicos e características da sua evolução ambiental (CHENG et al., 2019). As principais fontes de sedimentos para estes ambientes são a serra do mar e a escarpa frontal, sendo em sua maioria composta por rochas siliciclásticas e fragmentos vegetais em menor proporção (TEIXEIRA et al., 2000). Nas áreas fonte, dominam os processos de intemperismo, erosão e transporte, através de agentes como o vento, precipitação, cursos fluviais e processos químicos, sendo estes os principais fatores associados à oscilação nos aportes terrígenos (TEIXEIRA et al., 2000; BOGGS et al., 2005).

Em geral, o sedimento presente em ambientes estuarinos consiste em areia fina, trazida pela ação das correntes de maré e ondas, e também em sedimentos lamosos, transportados pelos cursos fluviais, precipitação e ventos (CLIFTON, 1982). A área no estuário onde ocorre o encontro entre a água oceânica e a continental, é conhecida como zona de máxima turbidez (DYER, 1995). Nesta zona há grande concentração de material suspenso, as partículas mais finas presentes na coluna d'água floculam e tendem a se depositar, formando uma área de maior deposição sedimentar (MACHADO, 2011).

A exportação de sedimentos do continente para o mar é um processo natural que ocorre nos estuários, mantendo um equilíbrio dinâmico entre estes compartimentos (TRUSH et al., 2004). Entretanto, atividades antropogênicas impactam o processo de sedimentação nestes ambientes, especialmente em áreas com elevada densidade populacional (CHENG et al., 2019). O aumento das concentrações de material em suspensão e das taxas de sedimentação pode diminuir a penetração de luz na coluna d'água e pode causar a anoxia no ambiente aquático, contribuindo para a degradação dos ecossistemas estuarinos (HOWARTH, 1991; TRUSH et al., 2004). Esta elevação no aporte sedimentar,

também pode causar assoreamento em hidrovias e portos causando problemas para a navegação, levando a necessidade de processos de dragagem (CARRILHO et al., 2003; ODRESKI et al., 2003). Ainda, de acordo com as atividades de uso do solo, o fluxo de material terrígeno pode contribuir com estressores como nutrientes, metais, pesticidas e hidrocarbonetos, alterando as condições naturais do estuário (TRUSH et al., 2004; ZIJP et al., 2017).

3.2 APLICAÇÕES DE RAZÕES ELEMENTARES EM RECONSTRUÇÕES PALEOAMBIENTAIS

Os sedimentos possuem uma composição elementar específica, influenciada pelas características da rocha fonte, intemperismo químico, processos de retrabalhamento durante o transporte, sedimentação e alterações diagenéticas após a deposição (CALVERT & PEDERSEN, 2007; YOUN & KIM, 2011). Esta composição serve como um *proxy* para os estudos sobre alterações das condições ambientais, capaz de fornecer informações sobre o clima, circulação oceânica, transporte sedimentar e outros fatores ambientais (CALVERT & PEDERSEN, 2007).

A composição elementar serve para rastrear a origem do sedimento, porém pode gerar interpretações diferentes quando analisada de forma isolada, pois sofre efeitos de diluição, devido à atividade biológica e pela dissolução de carbonatos em maiores profundidades (GOVIN et al., 2012). Já as razões elementares são inertes a estes efeitos de diluição, sendo mais apropriadas para paleoreconstruções (GOVIN et al., 2012). Dentre as razões existentes, as mais utilizadas em reconstruções paleoclimáticas são Fe/Ca, Ti/Ca e Fe/K, sendo que o Fe e o Ti estão associados à fração terrígena (*proxies* de aporte continental) e o Ca ao carbonato marinho (GOVIN, et al., 2012).

3.3 MÉTODOS DE DATAÇÃO APLICADOS EM RECONSTRUÇÕES HISTÓRICAS

Radionuclídeos são isótopos instáveis de elementos químicos que emitem energia a partir da desintegração nuclear (FERREIRA, 2018). Estes radioisótopos podem ser usados em estudos de geocronologia marinha, uma vez que estes são depositados no sedimento oceânico (SANCHEZ-CABEZA e RUIZ-

FERNANDEZ, 2012; FERREIRA, 2018). A datação é realizada a partir das diferentes camadas ao longo da coluna sedimentar, sendo um contínuo registro das mudanças no passado, de grande relevância para reconstituição ambiental e para entender a evolução dos processos naturais e antrópicos em um ambiente (APPLEBY, 2001; FERREIRA, et al., 2015).

Uma das técnicas mais importantes para estimar a data de deposição de um sedimento, em um período recente, é a que utiliza o radionuclídeo ^{210}Pb , que possui um tempo de meia vida ($t_{1/2}$) de 22,2 anos, permitindo verificar variações na sua atividade radioativa com uma resolução quase anual (APPLEBY, 2001; GODOY, 2018). Esta técnica radiométrica baseia-se na avaliação do decaimento de ^{210}Pb ao longo de um testemunho sedimentar, relacionando a profundidade com a taxa de sedimentação (decaimento + profundidade = taxa de sedimentação) (GODOY, 2018).

4 ÁREA DE ESTUDO

A planície litorânea do Paraná tem sua base constituída por rochas ígneas e metamórficas, formadas entre 2,6 bilhões e 450 milhões de anos atrás, e é recoberta por sedimentos inconsolidados, depositados entre 66 milhões de anos atrás e o presente (MINEROPAR, 2001). Estes sedimentos podem ser classificados de acordo com a sua origem, continental ou costeira. Os sedimentos continentais são associados a depósitos como cones e leques aluviais, tálus, colúvios e os sedimentos fluviais, enquanto os sedimentos costeiros são segregados em dois grupos, um deles inclui cordões litorâneos, praias e dunas frontais e o outro os ambientes estuarinos (ANGULO, 1992).

O CEP (25°00'S - 25°35'S e 48°15'W - 48°50'W), localizado na porção centro norte do litoral do Paraná (FIGURA 1), apresenta em sua configuração estrutural uma sucessão de fácies sedimentares que indicam os máximos de transgressão (aproximadamente 120.000 e 5.100 anos B.P.) e os períodos de regressão do nível do mar (LESSA et al., 1998; LANA et al., 2001; ANGULO et al., 2009). O CEP ocupa uma área de 612km² e tem profundidade média de 5,4m, exceto pelo canal da Galheta que pode chegar a profundidades de 38m (LAMOUR, 2000; LANA et al., 2001). É composto pelas baías de Antonina e Paranaguá no eixo Leste-Oeste, e pelas baías das Laranjeiras, Guaraqueçaba e Pinheiros com orientação Norte-Sul. (MANTOVANELLI,1999). Possui um regime de micromarés (máximo de 2,7m), com marés semi-diurnas e circulação regida, principalmente, pelas correntes de maré. Os principais rios que compõem a bacia de drenagem do CEP são: Guaraguaçu, Nhundiaquara, Cachoeira, Guaraqueçaba e Serra Negra (ANGULO, 1992).

O clima regional é classificado como subtropical úmido mesotérmico, com temperatura média anual variando entre 20,8 e 22,0 °C, precipitação média anual de 2.500 mm (máximo de 5.300 mm) e umidade média do ar em torno de 85% (ANGULO, 1992; LANA et al., 2001). As principais influências sobre o clima nesta região estão relacionadas ao deslocamento do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e a passagem de massas polares frias no inverno (LANA et al., 2001).

A distribuição sedimentar no CEP apresenta diferenças entre os seus eixos Leste-Oeste e Norte-Sul (LAMOUR et al., 2004; ANGELI et al., 2020). Na baía de

Paranaguá os grãos apresentam baixo grau de seleção, com predominância de silte e argila, há concentração de sedimentos mais grossos nas desembocaduras dos grandes rios, possivelmente relacionado com a predominância das forçantes estuarinas em relação aos fluxos fluviais, e a porcentagem de carbonatos (CaCO_3) varia de 0 a 20% e a matéria orgânica entre 0 a 15% (LAMOUR et al., 2004).

A região localizada ao entorno do CEP, tem apresentado intenso desenvolvimento urbano e econômico, impulsionado pela expansão do setor industrial e portuário. Durante os últimos 200 anos Paranaguá, maior município desta região, passou a abrigar um dos portos mais importantes para a economia nacional, além do complexo industrial instalado na cidade, voltado para a importação e exportação de produtos (PIERRI *et. al*, 2006; APPA). Para viabilizar o crescimento portuário, foram necessárias diversas obras de dragagens no canal que dá acesso aos portos de Paranaguá e Antônia, as quais são realizadas desde a década de 60 (APPA). Esta região também tem apresentado grande crescimento demográfico, de acordo com os censos realizados pelo IBGE, entre 1900 e 2000, o município de Paranaguá teve um aumento populacional de 10 mil para mais de 127 mil habitantes.

De acordo com as estimativas populacionais do IBGE (2020), o entorno do CEP abriga aproximadamente 182.717 pessoas, distribuídas entre os municípios de Guaraqueçaba, Antonina e Paranaguá. A expansão das atividades dos Portos de Paranaguá, maior exportador de grãos do país, e Antonina representa grande importância para a economia regional e nacional, também contribuindo para a instalação de novos terminais portuários (NOERNBERG et al., 2008). Ainda, a planície litorânea onde o CEP está localizado possui grande importância ecológica, pois abriga diversos ecossistemas como mangues, restingas e uma extensa área de Mata Atlântica, Patrimônio Natural da Humanidade e Reserva da Biosfera (UNESCO, 1999; HASSLER, 2005).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

O material deste trabalho provém de testemunhos sedimentares coletados, com o auxílio de um *gravity corer*, dentro do eixo principal do Complexo Estuarino de Paranaguá (FIGURA 1), coletados no âmbito do projeto “*Panorama histórico e perspectivas futuras frente à ocorrência de estressores químicos presentes no Complexo Estuarino de Paranaguá (EQCEP)*” [CNPq 441265/2017-0]. Os testemunhos foram abertos longitudinalmente e descritos, com o intuito de verificar mudanças litológicas (cor e textura). Os testemunhos foram então subamostrados em intervalos regulares de 2 cm, acondicionados em recipientes plásticos, congelados e liofilizados.

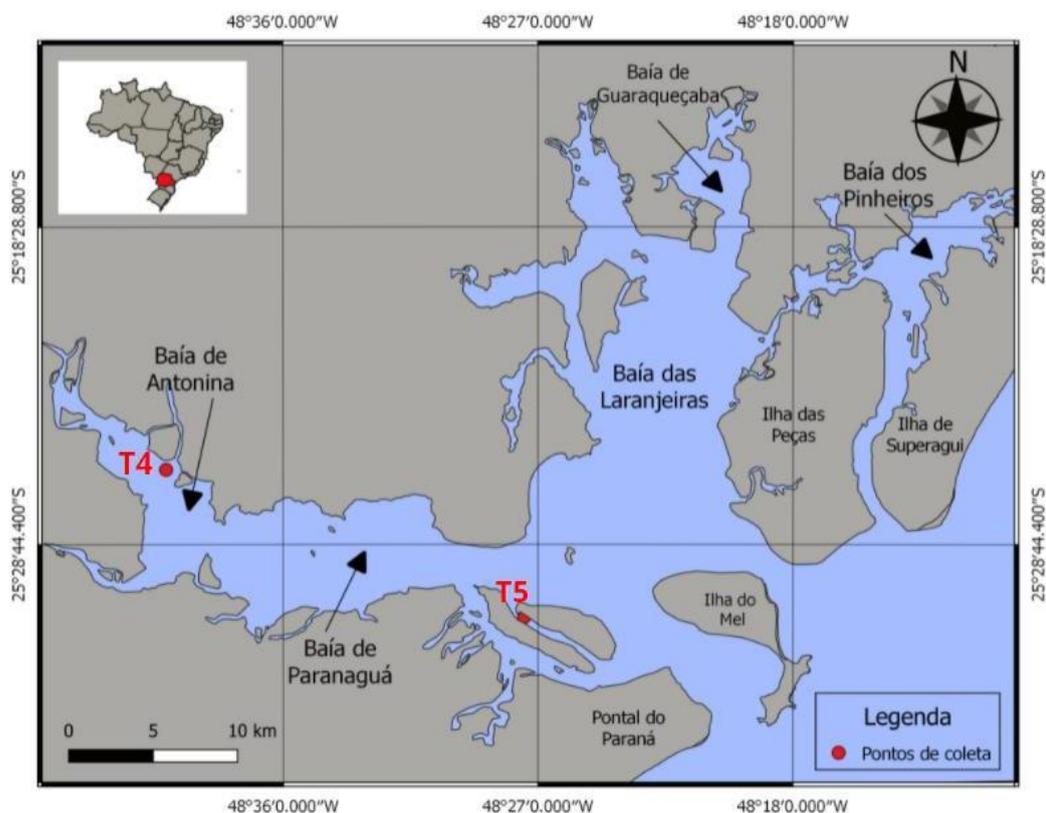


FIGURA 1 – Mapa de localização dos testemunhos T4 e T5 no Complexo Estuarino de Paranaguá

A cronologia dos testemunhos foi obtida por meio de datação radiométrica utilizando o radionuclídeo ^{210}Pb . Para isso, aproximadamente 15 a 20 g de sedimento liofilizado foram acondicionados em potes plásticos e então mantidos em temperatura ambiente. A medida da contagem das emissões radioativas foi realizada em um equipamento de Espectrometria Gama, marca EGG & ORTEC, modelos GMX com alta eficiência de contagem e baixa radiação de fundo, adequados a medidas ambientais. O método de determinação do radionuclídeo ^{210}Pb , está detalhadamente descrito em Figueira et al. (2006) e Ferreira et al. (2014). A partir das atividades medidas para este radionuclídeo, foi possível calcular as taxas de sedimentação, estimar a taxa de sedimentação e estimar a data de deposição das camadas sedimentares dos testemunhos e, conseqüentemente, estabelecer um modelo geocronológico. Considerando que as seções mais profundas do testemunho possam alcançar idades mais antigas que aquelas possíveis de serem estimadas pelo método do ^{210}Pb .

As análises granulométricas foram realizadas em um granulômetro Malvern Hydro 2000, que fornece o tamanho dos grãos em μm , e os dados foram transformados para a escala phi utilizando o software Sysgran. As amostras foram previamente preparadas através do processo de remoção do material carbonático com ácido clorídrico (HCl) a 10% e de remoção da matéria orgânica (MO) com peróxido de hidrogênio (H_2O_2) a 10%. Estes dados foram utilizados para avaliação das variações na dinâmica sedimentar.

A determinação de metais foi realizada através da técnica de Fluorescência de Raios X (XRF) com auxílio de um analisador Olympus DELTA Professional XRF Analyser, no Laboratório de Química Inorgânica Marinha do IO/USP. Os resultados obtidos foram analisados através da aplicação de razões elementares, para encontrar variações, por exemplo, na influência marinha- terrígena (razões Ti/Ca, Fe/Ca), proveniência dos sedimentos e condições climáticas relativas à idade das colunas sedimentares estudadas. Para identificar as variações no aporte de sedimentos terrígenos para o Complexo Estuarino de Paranaguá foram utilizadas as razões elementares Fe/Ca, Ti/Ca e K/Ca. Além das razões Fe/K e K/Rb, que servem como *proxy* para indicar o grau de intemperismo do sedimento.

As análises estatísticas dos dados foram realizadas utilizando o software Past 4.03 (HAMMER et al., 2001). Foi aplicada a análise de correlação de Pearson

para avaliar as correlações existentes entre as razões elementares e o diâmetro médio do grão. Ainda, foi realizada a Análise de Componentes Principais para visualizar a contribuição das variáveis em relação à variabilidade do conjunto de dados.

6 RESULTADOS

6.1 GEOCROLOGIA

As Figuras 2 e 3 representam os resultados de taxa de sedimentação e modelo de idades dos testemunhos T4 e T5. O testemunho T4 apresenta taxas de sedimentação variando de 0 a 1,5 cm ano⁻¹, e representa os últimos 137 anos (período histórico de 1880 a 2017).

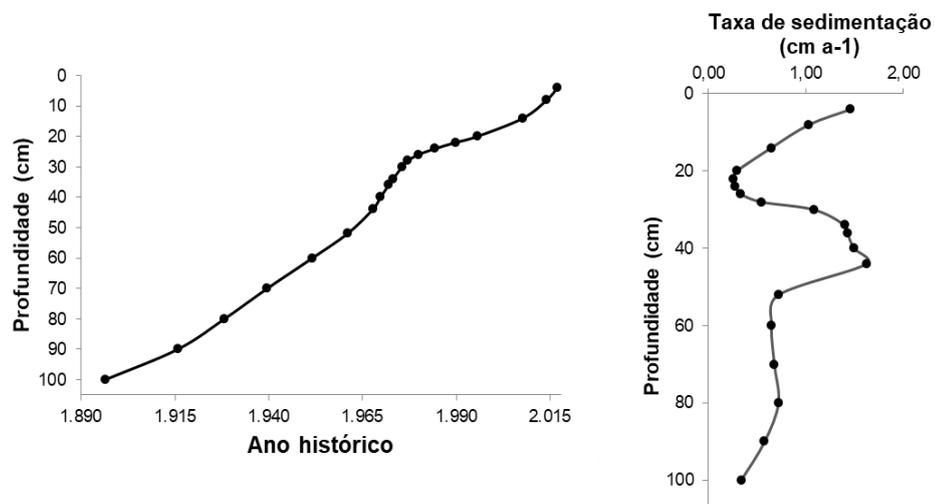


FIGURA 2 - Modelo de idade e taxas de sedimentação para o testemunho T4.

O testemunho T5 apresenta taxas de sedimentação variando de 0 a ~ 4 cm ano⁻¹, e representa os últimos 200 anos (período histórico de 1803 a 2013).

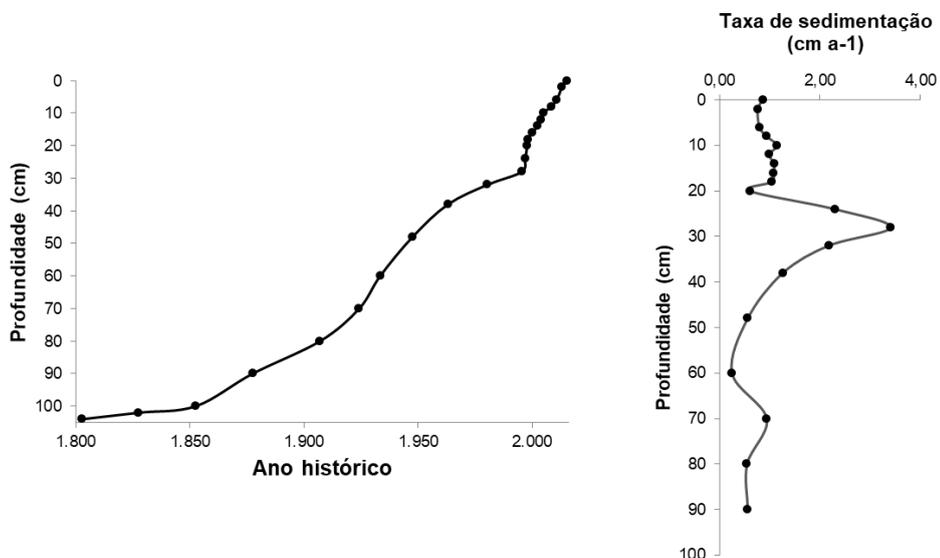


FIGURA 3 - Modelo de idade e taxas de sedimentação para o testemunho T5.

6.2 PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS

No testemunho T4, o diâmetro médio do grão variou de argila (8 a 9 Φ) à silte grosso (4 a 5 Φ), com média de silte médio (5 a 6 Φ) (FIGURA 4). Entre a base (126 cm) da coluna sedimentar e 22 cm de profundidade, o diâmetro médio variou entre silte grosso (4 a 5 Φ), médio (5 a 6 Φ), fino (6 a 7 Φ) e muito fino (7 a 8 Φ). A partir de 22 cm há uma mudança para argila (8 a 9 Φ), que predominam até o topo do testemunho. Em contrapartida, o conteúdo de areia variou entre 0,07 e 53,4%, com valores oscilando entre 5,0 e 54,0%, entre a base do testemunho e 24 cm, e entre 0,07 e 1,0% dessa profundidade até o topo do testemunho. O intervalo entre 126 e 24 cm de profundidade da coluna sedimentar pode ser subdividido em três partes, onde o conteúdo de areia apresenta aumento (valores próximos de 50,0%) centrado nas profundidades 110, 80-70 e 40 cm. A distribuição do conteúdo de lama (silte+argila) ocorre de maneira inversamente proporcional ao conteúdo de areia, apresentando valores entre 46,6% e 99,9%, com valor médio de 76,2% ($\sigma = 15,7$).

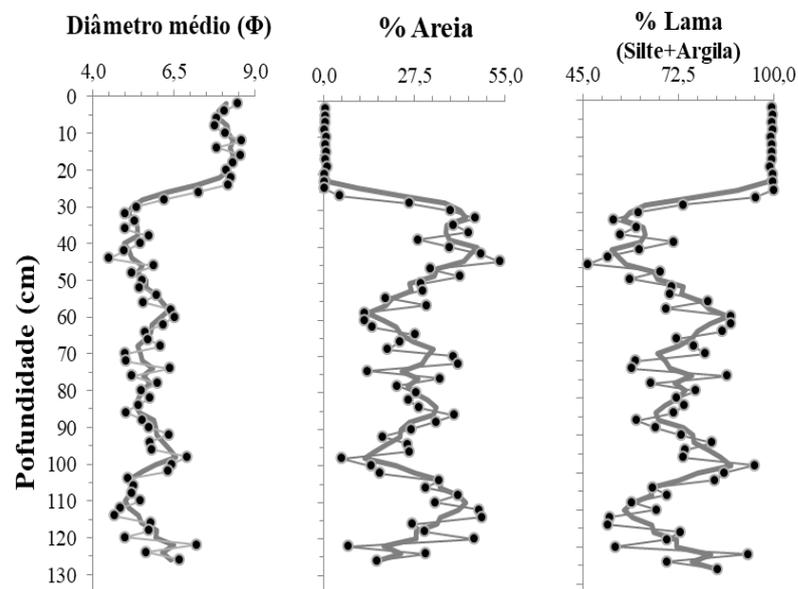


FIGURA 4 - Distribuição do diâmetro médio do grão (Φ) e do conteúdo (%) de areia e lama (silte + argila) ao longo do testemunho T4. Os pontos ligados pela linha cinza clara representam os valores encontrados para cada parâmetro, e a linha cinza escuro representa a média móvel entre 3 pontos.

Os resultados da granulometria obtidos para o testemunho T5 estão representados na FIGURA 5. Neste testemunho, o diâmetro médio do grão variou entre areia fina (2 a 3 Φ) a silte grosso (4 a 5 Φ), com média de areia fina (2 a 3 Φ). Entre a base (104 cm) do testemunho e 62 cm, os sedimentos são compostos por areia fina (2 a 3 Φ), e oscilam entre areia fina (2 a 3 Φ), muito fina (3 a 4 Φ) e silte grosso (5 a 6 Φ) até os 26 cm da coluna sedimentar, quando o diâmetro médio do grão apresenta valores de areia muito fina (3 a 4 Φ) até o topo da coluna sedimentar. O conteúdo de areia variou de 61,8 a 93,5 %. As maiores porcentagens de areia são observadas entre a base do testemunho e 62 cm, seguida por oscilações entre o valor máximo e mínimo, com tendência geral de diminuição até 24 cm. A partir desta profundidade o conteúdo de areia se mantém em torno de 86,0% até o topo do testemunho. O conteúdo de lama (silte+argila), inversamente proporcional ao conteúdo de areia, apresentou valor médio de 14,7% ($\sigma = 7,14$), com valor máximo de 38,6% e mínimo de 6,49%.

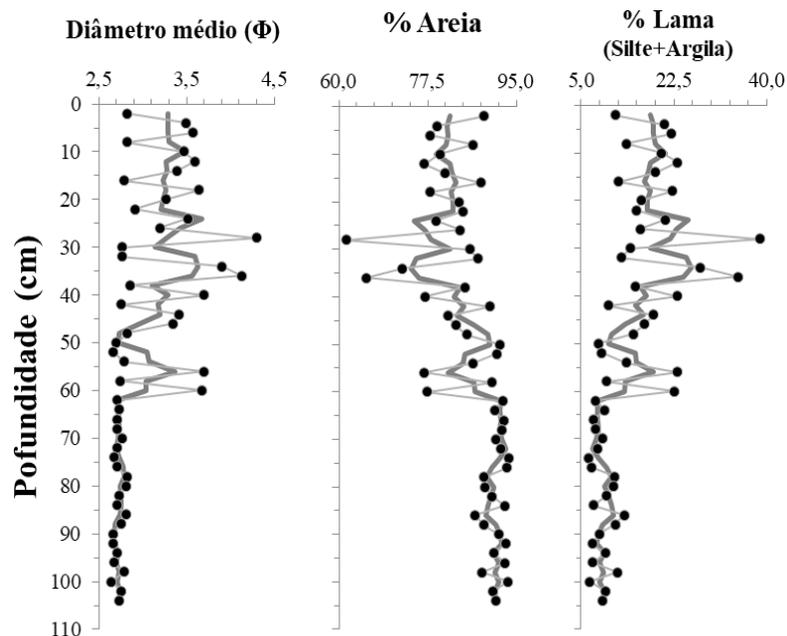


FIGURA 5 - Distribuição do diâmetro médio do grão (Φ) e do conteúdo (%) de areia e lama (silte + argila) ao longo do testemunho T5. Os pontos ligados pela linha cinza clara representam os valores encontrados para cada parâmetro, e a linha cinza escuro representa a média móvel entre 3 pontos.

6.3 RAZÕES ELEMENTARES

Os valores obtidos para as razões elementares Fe/Ca, K/Ca, Ti/Ca, K/Rb e Fe/K no testemunho T4 e T5 estão representados nas FIGURAS 6 e 7, respectivamente.

Para o testemunho T4, a razão Fe/Ca apresentou valor mínimo de 3,42 e máximo de 12,5, com valor médio de 8,42 ($\sigma = 1,76$). Foi observado aumento nos valores da razão Fe/Ca entre a base (150 cm) do testemunho e 124 cm, onde se encontrou seu valor máximo. A partir desta profundidade os valores da razão Fe/Ca diminuíram, oscilando em torno da média até 58 cm de profundidade. Entre 58 cm e 20 cm, os valores de Fe/Ca apresentaram tendência geral de diminuição, oscilando entre 3,42 e 10,3, seguido de aumento em seus valores atingindo aproximadamente 8,00 no topo do testemunho.

A razão K/Ca tem valor médio de 0,83 ($\sigma = 0,24$), variando entre 1,34 e 0,25, com tendência geral de aumento em seus valores entre 150 e 112 cm (0,57 e 1,34, respectivamente). A partir desta profundidade até 26 cm a razão K/Ca apresentou valores relativamente menores, oscilando em torno do valor médio. Os menores valores da razão K/Ca são observados entre 24 e 20 cm, seguidos por tendência de aumento nos valores desta razão até o topo da coluna sedimentar.

A razão Ti/Ca apresentou valor médio de 0,81 ($\sigma = 0,32$), oscilando entre seu valor máximo (1,75) e mínimo (0,22) entre 150 e 132 cm de profundidade da coluna sedimentar. A partir de 130 cm houve tendência geral de diminuição dos valores de Ti/Ca, que se mantém em torno dos valores médios até atingir valor mínimo em 24 cm. A partir desta profundidade, houve aumento nos valores da razão Ti/Ca (0,65) até o topo do testemunho.

A razão Fe/K teve valor médio de 10,8 ($\sigma = 2,83$), oscilando de 5,34 a 19,0, com tendência geral de aumento dos valores da razão da base até o topo do testemunho. Entre 150 e 94 cm, os valores da razão aumentaram, oscilando entre 5,34 e 17,0, e valores relativamente menores de Fe/K foram observados entre 56 e 26 cm, seguidos por diminuição nos valores até o topo do testemunho.

A maior amplitude de valores foi observada para a razão K/Rb, com variações entre valor máximo e mínimo de 49,8 e 11,2, respectivamente, com valor médio de 31,5 ($\sigma = 9,59$). Os valores de K/Rb apresentaram diminuição entre a base do testemunho e 94 cm, oscilando entre 49,8 e 13,9, seguido por aumento até 26 cm. Entre 24 e 18 cm da coluna sedimentar, os valores desta razão apresentaram diminuição, atingindo valores de 13,0; seguida por aumento nos valores de K/Rb rumo ao topo do testemunho sedimentar.

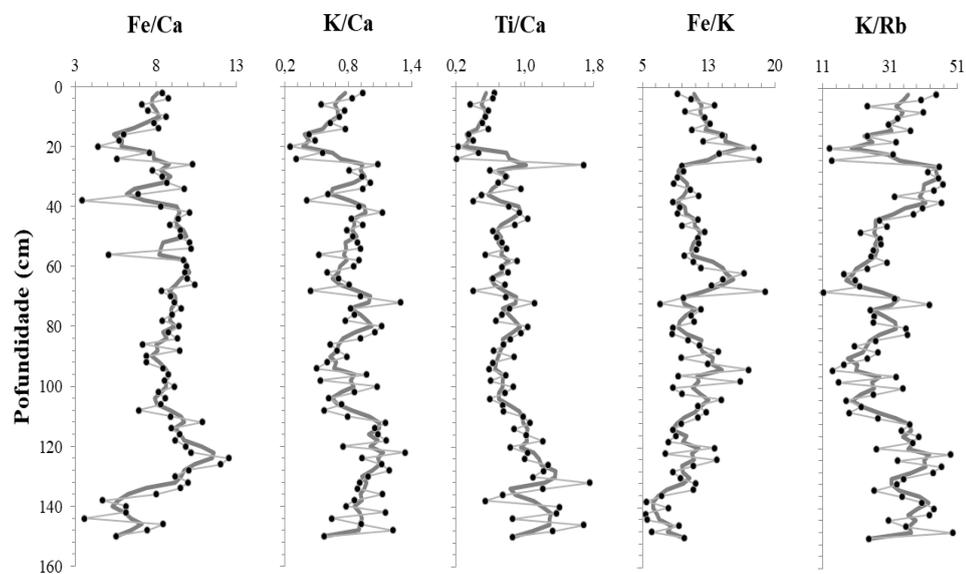


FIGURA 6 - Razões elementares para o testemunho T4. Os pontos ligados pela linha cinza clara representam os valores encontrados para cada razão, e a linha cinza escuro representa a média móvel entre 3 pontos.

A razão Fe/Ca apresentou valor máximo de 5,45 e mínimo de 2,32, com valor médio de 3,95 ($\sigma = 0,60$). Os menores valores de Fe/Ca ocorreram na base (104 cm) do testemunho, com valor mínimo em 100 cm, e a partir desta profundidade os valores aumentaram até 62 cm. Entre 60 e 20 cm o perfil apresentou grande amplitude nas oscilações, variando entre seu valor máximo e mínimo. A partir dos 20 cm, os valores apresentaram oscilações em torno da média até o topo da coluna sedimentar.

A razão K/Ca mostrou variações entre 0,41, e 1,04, com valor médio em torno de 0,69 ($\sigma = 0,15$). Esta razão apresentou menores valores na base do testemunho com aumento até 62 cm, onde apresentou seu maior valor. Entre 60 e 42 cm os valores apresentaram diminuição, seguidos por oscilações entre os valores médio e

mínimo até o topo do testemunho. Foram observadas tendências similares para razão Ti/Ca, que apresentou valores entre 0,23 e 0,64, com média em torno de 0,39 ($\sigma = 0,09$).

A razão Fe/K apresentou valor médio de 5,94 ($\sigma = 1,18$). Em geral, o perfil desta razão mostrou aumento dos valores entre a base e 66 cm, desta profundidade até 30 cm os valores mostraram oscilações entre o máximo (9,01) e mínimo (4,13). A partir de 28 cm os valores se mantêm em torno da média até o topo do perfil.

A razão K/Rb mostrou oscilações nos valores de 24,1 e 48,5, com média de 36,2 ($\sigma = 6,87$). A tendência desta razão mostrou diminuição dos valores entre 104 e 66 cm, e a partir desta profundidade até os 26 cm, os valores variaram entre o máximo e mínimo. A partir de 24 cm até o topo da coluna sedimentar, os valores apresentaram oscilações em torno da média.

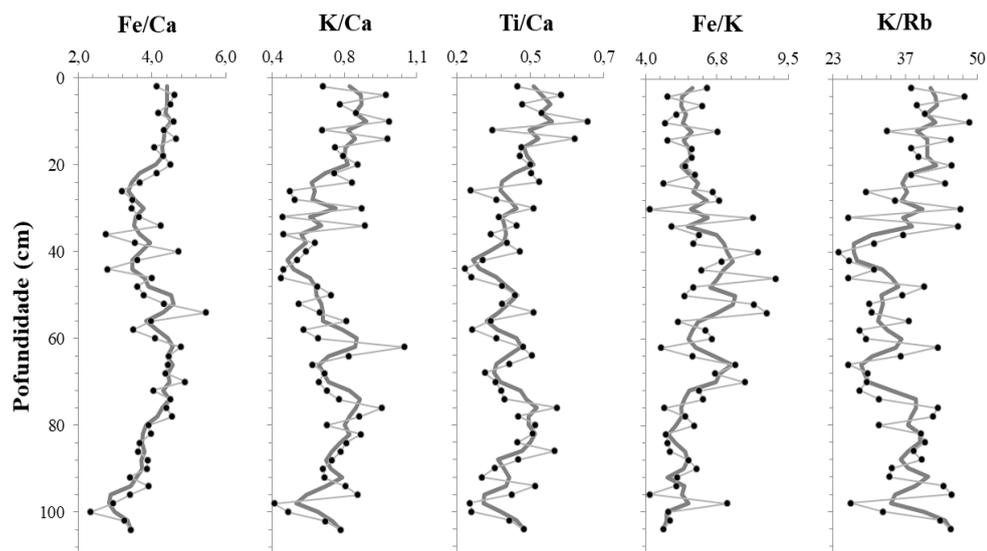


FIGURA 7 - Razões elementares para o testemunho T5. Os pontos ligados pela linha cinza clara representam os valores encontrados para cada razão, e a linha cinza escuro representa a média móvel entre 3 pontos.

6.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

6.4.1 Correlação de Pearson

A matriz obtida com os coeficientes da correlação de Pearson entre as razões elementares e o diâmetro médio (Φ), para os testemunhos T4 e T5, são apresentados nas TABELAS 1 e 2, respectivamente.

No testemunho T4, a razão K/Ca apresentou correlação significativa positiva com as razões Ti/Ca ($r = 0,793$), K/Rb ($r = 0,606$) e Fe/Ca ($r = 0,707$), e correlação significativa negativa com a razão Fe/K ($r = - 0,769$). A razão Fe/K apresentou correlação significativa negativa com K/Rb ($r = - 0,789$) e com a razão Ti/Ca ($r = - 0,553$).

TABELA 1 - Coeficientes de correlação de Pearson entre razões elementares e o diâmetro médio do grão, para o T4. Valores significativos ($p < 0,05$) estão em negrito.

	Fe/Ca	K/Ca	Ti/Ca	Fe/K	K/Rb	Diâmetro médio (Φ)
Fe/Ca						
K/Ca	0,707					
Ti/Ca	0,652	0,793				
Fe/K	-0,179	-0,769	-0,553			
K/Rb	0,100	0,668	0,467	-0,789		
Diâmetro médio (Φ)	-0,353	-0,398	-0,445	0,306	0,010	

Para o testemunho T5, foi observada forte correlação significativa positiva entre as razões K/Rb e K/Ca ($r = 0,806$), K/Ca e Ti/Ca ($r = 0,797$), Ti/Ca e K/Rb ($r = 0,687$), Fe/Ca e K/Ca ($r = 0,512$), e Fe/Ca e Ti/Ca ($r = 0,507$). Já as razões Fe/K e K/Rb ($r = - 0,814$), e K/Ca e Fe/K ($r = - 0,697$), apresentaram correlação significativa negativa.

TABELA 2 - Coeficientes de correlação de Pearson entre razões elementares e o diâmetro médio do grão para o T5. Valores significativos ($p < 0,05$) estão em negrito.

	Fe/Ca	K/Ca	Ti/Ca	Fe/K	K/Rb	Diâmetro médio (Φ)
Fe/Ca						
K/Ca	0,512					
Ti/Ca	0,507	0,797				
Fe/K	0,234	-0,697	-0,467			
K/Rb	0,101	0,806	0,687	-0,814		
Diâmetro médio (Φ)	0,026	-0,045	0,009	0,089	0,107	

6.4.2 Análise de Componentes Principais

Os resultados obtidos para a análise de componentes principais para o testemunho T4 e T5 são apresentados nas FIGURAS 8 e 9, respectivamente.

Cabe destacar que os dados não apresentaram distribuição normal, mesmo após tentativa de normalização.

Os autovalores obtidos para o testemunho T4, indicaram que a componente 1 representa 57,71% da variância total, a componente 2 representa 22,16% e a componente 3 representa 12,24%. Assim, estas 3 componentes representam 92,11% da variância do conjunto de dados. De acordo com os autovetores da análise (TABELA 3) a componente 1 está correlacionada positivamente com a variabilidade das razões K/Ca, Ti/Ca e K/Rb e negativamente com a razão Fe/K, a segunda componente está correlacionada negativamente com a razão K/Rb, e a componente 3 é explicada pela variabilidade do diâmetro médio.

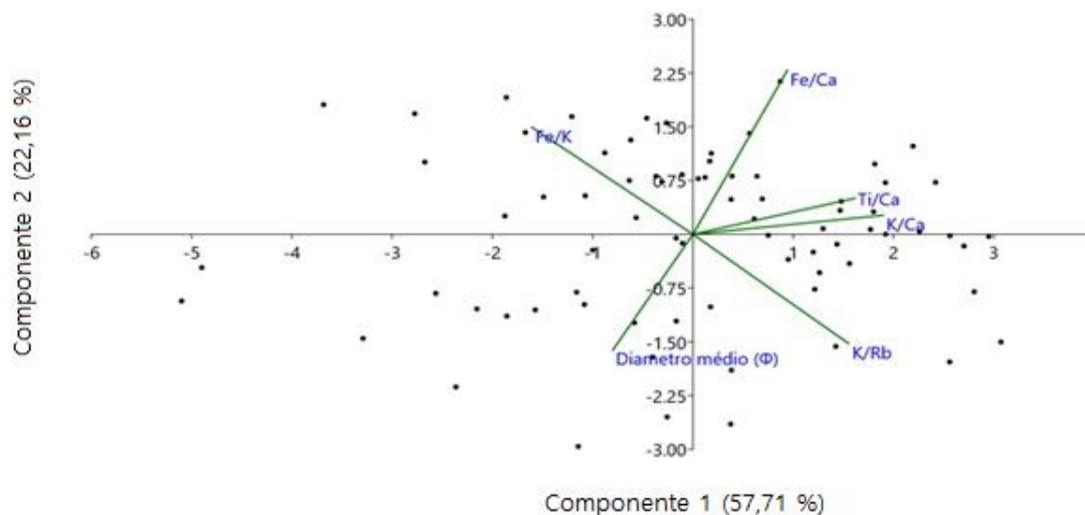


FIGURA 8 - Análise de componentes principais testemunho T4.

TABELA 3 - Autovetores das componentes principais calculadas a partir dos dados do testemunho T4.

	PC 1	PC 2	PC 3
Fe/Ca	0,663	0,560	0,431
K/Ca	0,965	0,008	0,134
Ti/Ca	0,861	0,234	0,105
Fe/K	-0,816	0,471	0,230
K/Rb	0,655	-0,693	0,040
Diâmetro médio (Φ)	-0,505	-0,510	0,682

Para o testemunho T5, os autovalores obtidos indicaram que a primeira componente representa 54,00% da variabilidade total, a segunda componente representa 22,65% e a terceira componente representa 17,00% da variabilidade. Assim, as 3 componentes detêm 93,64% da variância do conjunto de dados. Os autovetores (TABELA 4) mostraram que a componente 1 responde positivamente a variabilidade das razões K/Ca, Ti/Ca e K/Rb e negativamente com a razão Fe/K, a segunda responde positivamente a razão Fe/Ca, e a componente 3 responde a variação do diâmetro médio.

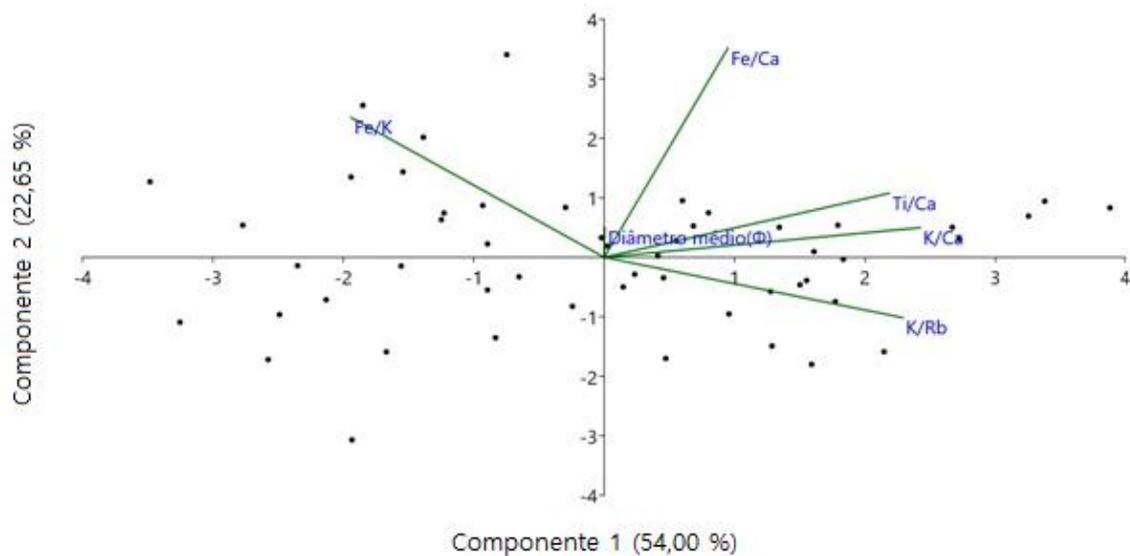


FIGURA 9 - Análise de componentes principais testemunho T5.

TABELA 4 - Autovetores das componentes principais calculadas a partir dos dados do testemunho T5.

	PC 1	PC 2	PC 3
Fe/Ca	0,376	0,904	-0,093
K/Ca	0,962	0,128	-0,073
Ti/Ca	0,867	0,277	-0,022
Fe/K	-0,771	0,604	0,024
K/Rb	0,909	-0,261	0,156
Diâmetro médio (Φ)	0,001	0,127	0,990

7 DISCUSSÃO

A análise de razões elementares (Fe/Ca, K/Ca, Ti/Ca, Fe/K e K/Rb) e do diâmetro médio do grão ao longo de dois registros sedimentares coletados na área mais interna (T4) e próximo à desembocadura (T5) do Complexo Estuarino de Paranaguá, permitiu inferir sobre mudanças no aporte de sedimentos terrígenos para área de estudo nos últimos 200 anos. A fim de melhor entender os fatores relacionados às mudanças no aporte de sedimentos para o CEP, os resultados encontrados são discutidos sobre uma perspectiva dos principais fatores que controlam o aporte de sedimentos para ambientes estuarinos: (i) mudanças no regime de precipitação (TEIXEIRA et al., 2000), por meio de registros pluviométricos da Agência Nacional de Águas (ANA); e (ii) a expansão das atividades humanas (GRUBER et al., 2003), considerando o contexto histórico regional de expansão das atividades humanas (APÊNDICE 1).

7.1 MUDANÇAS NO APORTE DE SEDIMENTOS TERRÍGENOS PARA A BAÍA DE ANTONINA

O testemunho T4 foi coletado a montante do estuário, na Baía de Antonina, onde a contribuição marinha pode ser considerada insignificante. Neste sentido, para a discussão dos resultados deste testemunho, as razões elementares consideradas como proxies do aporte terrígeno vs. marinho (p.e., Fe/Ca, K/Ca e Ti/Ca) não foram consideradas. Ainda assim, os resultados sedimentológicos e geoquímicos obtidos para o testemunho T4 sugerem a existência de três fases distintas de aporte de sedimentos terrígenos para a Baía de Antonina, ao longo dos últimos 137 anos: (i) de 1880 a 1940; (ii) de 1941 a 1977; e (iii) de 1978 a 2017 (FIGURA 10).

Durante as fases i (1880-1940) e ii (1941-1977) o diâmetro médio dos grãos não apresentou mudanças significativas, oscilando entre siltes grossos e médios. A fase iii (1978-2017) é marcada por um aumento abrupto no diâmetro médio dos grãos, indicando a presença de sedimentos mais finos ao longo desta fase. Os resultados granulométricos encontrados no testemunho T4 apontam para uma mudança significativa nos padrões de deposição dos sedimentos na Baía de Antonina após 1978, que pode estar relacionada com mudanças nas condições

ambientais da rocha fonte destes sedimentos (p.e., regime de precipitação) e/ou a alterações hidrodinâmicas locais (p.e., alterações no uso e ocupação do solo). As mudanças observadas nas razões Fe/K e K/Rb, sugerem que houve alteração nas condições ambientais da rocha fonte destes sedimentos nos últimos 137 anos. Entre 1880 e 1940 (fase i), as razões Fe/K e K/Rb sugerem que nesta fase houve variação no grau de intemperismo dos sedimentos depositados, com uma tendência suave de diminuição do intemperismo químico em direção ao final desta fase. O início da fase ii (1941-1977) é marcado pelo aumento no grau de intemperismo, seguido por uma diminuição do intemperismo químico em conjunto com uma discreta diminuição no diâmetro médio dos grãos, indicando a chegada de sedimentos relativamente mais grossos. A fase iii (1978-2017) também tem seu início marcado pela presença de sedimentos mais intemperizados, seguida pela redução do grau de intemperismo dos sedimentos depositados rumo ao final desta fase.

Entre o final do século XVIII e o início do século XIX (fase i), o litoral do Paraná apresentou grande desenvolvimento econômico e populacional proporcionados pela expansão do setor agrícola. Neste período, houve a construção da estrada de ferro entre Curitiba e o litoral (1880), e a ampliação de indústrias e construções portuárias em Antonina (1904-1914) (APPA). Estes eventos contribuíram para a exposição do solo nesta fase, podendo ser uma das forçantes para as variações no grau de intemperismo dos sedimentos depositados ao longo deste período. Durante fase seguinte (ii – 1941 até 1977) houve intensificação de atividades que impactam a entrada de sedimentos para o estuário como, por exemplo, a construção da Usina Hidrelétrica Marumbi, em Morretes (1956-1961), e a construção da Usina Hidrelétrica Governador Pedro Viriato Parigot de Souza, em Antonina (1963-1970) (PATCHINEELAM *et al.*, 2008). Nestas obras de geração de energia são realizadas transposições de rios, levando a alteração dos fluxos hidrodinâmicos naturais, tendo como um dos efeitos o aumento na carga de sedimentos transportados por estes cursos fluviais. Ainda, nesta fase, houve obras de dragagem no Canal da Galheta, nos anos de 1968 e 1972, que provocaram alterações na circulação estuarina e na deposição sedimentar. Estas diversas atividades antrópicas causam a erosão do solo e intensificam os processos de intemperismo, ainda que os registros da fase ii indiquem uma diminuição do intemperismo químico, a presença de sedimentos mais grossos sugere que os processos de intemperismo físicos decorrentes da

ação humana foram mais importantes na disponibilização de sedimentos para a região da Baía de Antonina nesta fase.

No litoral do Paraná, os registros de pluviosidade têm início somente em 1940 (FIGURA 10), período que corresponde às fases ii e iii do testemunho T4. Entre 1941 e 1977 (fase ii), a tendência discreta de diminuição do intemperismo químico e do diâmetro médio dos grãos observada nos sedimentos do T4 não são claramente observadas no registro pluviométrico do município de Antonina (estação pluviométrica da ANA 2548003 – região norte da cidade). Entretanto, os registros pluviométricos das estações localizadas no município de Antonina (estação 2548068 - centro histórico do município; e estação 2548003 – região norte da cidade) mostram que ao longo da fase ii houve volume de precipitação relativamente menor do que na fase iii, que pode ter contribuído na diminuição do intemperismo químico e a presença de sedimentos mais grossos neste período. Entre 1978 e 2017 (fase iii), os *proxies* de intemperismo apresentam tendências similares aos registros da estação pluviométrica localizada no centro histórico de Antonina. Estes dados mostram que no início desta fase houve um aumento pontual na pluviosidade, associado a presença de sedimentos mais intemperizados, seguido por uma diminuição gradativa da pluviosidade, que é acompanhada pelos *proxies* de grau de intemperismo dos sedimentos. Ainda, no início da fase iii (1978-2017), entre 1978 e 1984, não foram identificadas atividades antrópicas que pudessem justificar a mudança significativa indicada pelos *proxies* de intemperismo e no diâmetro médio dos grãos. Ainda que ao longo desta fase, há o registro de realização de dragagens do canal de acesso ao porto de Antonina (1992, 1998, 2000, 2002 e 2013), com o início das operações dos Terminais de Cargas da Ponta do Félix em 1999.

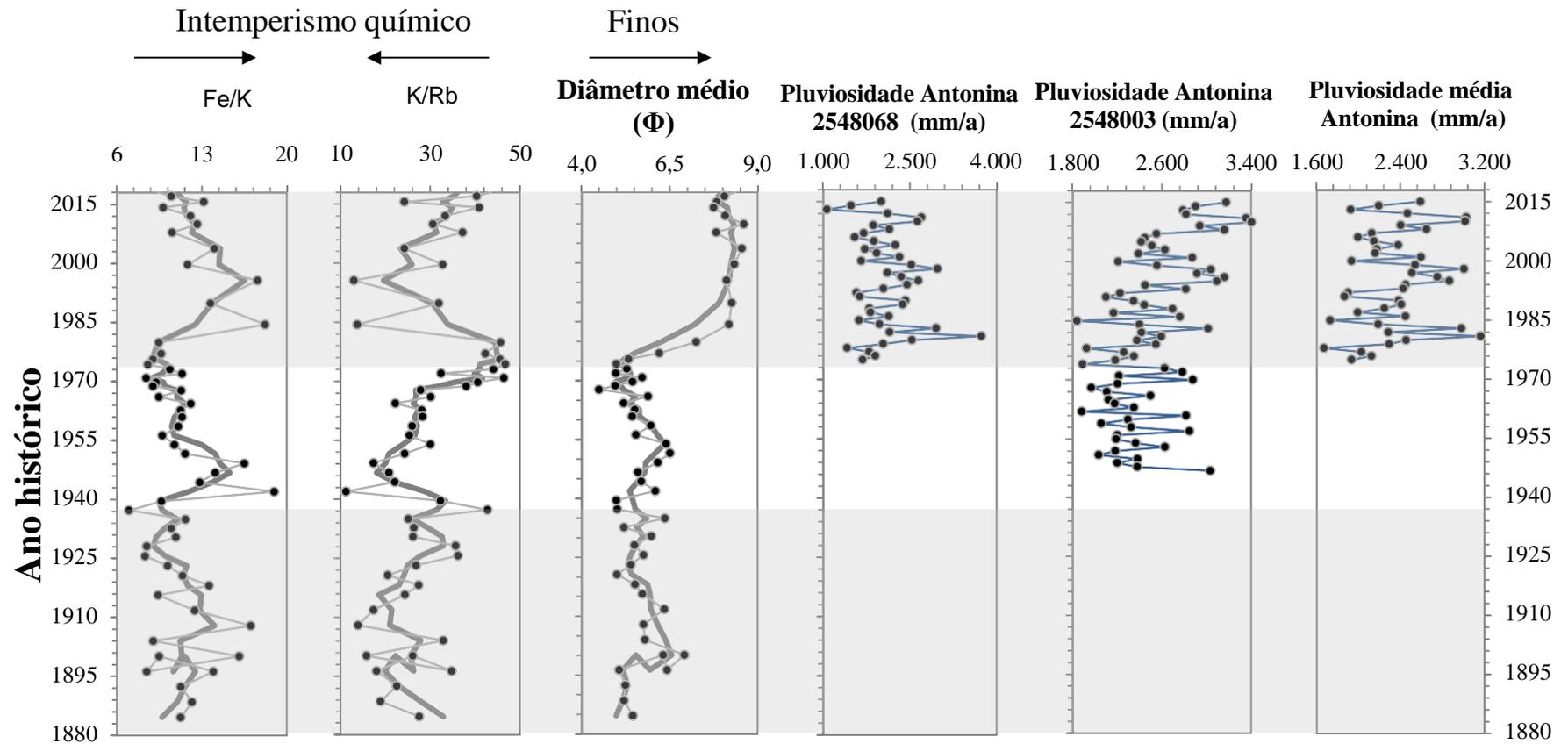


FIGURA 10 - Razões elementares e diâmetro médio do grão para o testemunho T4, e registro histórico de pluviosidade regional. Os pontos ligados pela linha cinza clara representam os valores encontrados para cada razão, e a linha cinza escuro representa a média móvel entre 3 pontos. A primeira curva de pluviosidade representa a estação pluviométrica (2548068-Antonina, centro histórico); a segunda representa a estação pluviométrica (2548003-Antonina, região norte); e a terceira representa a média entre as duas estações pluviométricas anteriores. Os dados das estações foram obtidos pelo Portal HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA).

7.2 MUDANÇAS NO APORTE DE SEDIMENTOS TERRÍGENOS NA DESEMBOCADURA DO CEP

No testemunho T5 os parâmetros granulométricos e geoquímicos investigados permitem delimitar quatro fases distintas de aporte de sedimentos terrígenos ao longo dos 200 anos: (i) de 1803 a 1853; (ii) de 1854 a 1928; (iii) de 1929 a 1981; e (iv) de 1982 a 2013 (FIGURA 11).

O testemunho T5, foi coletado entre as Ilhas da Cotinga e Rasa da Cotinga, localizadas na porção leste da Baía de Paranaguá. Estas ilhas apresentam áreas de manguezais e aluviões, e, também apresentam alguns cursos fluviais de baixo fluxo, e outros mais efetivos como o Rio Furado (Ilha da Cotinga) e o Rio do Cerco (Rasa da Cotinga) (CANEPARO, 1999). Os sedimentos destas ilhas são areno-siltico-argilosos de origem costeira, e sedimentos arenosos de origem marinha, sendo estes últimos predominantes na Ilha Rasa da Cotinga (RIVERAU et al., 1968). O diâmetro médio do grão indicou a presença de sedimentos mais grossos ao longo das fases i (1803-1853) e ii (1854-1928), compostos em mais de 90% por areias finas. O início da fase iii, em 1929, é marcado por uma mudança abrupta na granulometria, indicando a presença de sedimentos mais finos até 1981. A fase iv (1982- 2013) não indicou tendência no diâmetro médio, apresentando variações entre areias finas e silte grosso. As razões Fe/Ca, Ti/Ca e K/Ca, apresentaram distribuição similar ao longo do testemunho T5, e sugerem para a primeira fase (1803-1853) aporte terrígeno relativamente discreto. O aporte de sedimentos terrígenos aumenta na fase ii (1854-1928) e diminui novamente na fase seguinte (1929-1981). Entre 1982 e 2013 (fase iv) o aporte de sedimentos terrígenos é relativamente maior do que na fase anterior, porém sem apresentar tendência de aumento ou diminuição.

Nos últimos 200 anos, as razões Fe/K e K/Rb, sugerem que as mudanças no aporte de sedimentos terrígenos para o CEP foram acompanhadas de alteração no grau de intemperismo dos sedimentos. Na fase i, de 1803 a 1853, o menor aporte de sedimentos terrígenos observado é acompanhado da chegada de sedimentos com menor grau de intemperismo (razões Fe/K e K/Rb), enquanto na fase ii (1854 a 1928) as razões elementares sugerem maior aporte de material de origem continental (razões Fe/Ca, Ti/Ca e K/Ca) com alto grau de

intemperismo (razões Fe/K e K/Rb). No entanto, entre 1929 e 1981 (fase iii), apesar de ser observado menor aporte de sedimentos terrígenos para o local de coleta do testemunho T5, as razões Fe/K e K/Rb sugerem que os sedimentos apresentam grau de intemperismo semelhante aos da fase anterior. Na fase iv, de 1940 a 2013, apesar de haver um maior aporte de sedimentos terrígenos para região da Ilha da Cotinga, estes sedimentos apresentam menor grau de intemperismo.

Os registros históricos dos dados de precipitação local da ANA (FIGURA 11) compreendem as fases iii e iv, identificadas para o testemunho T5. Entre 1940 e 1981, os *proxies* de intemperismo (Fe/K e K/Rb) e a granulometria apresentaram tendências similares à curva de precipitação, sugerindo a presença de sedimentos mais finos e com maior grau de intemperismo associado ao aumento de pluviosidade. Entretanto os *proxies* de aporte terrígeno (Fe/Ca, K/Ca e Ti/Ca) apresentaram diminuição do aporte nesta fase. Entre 1982 e 2013 (fase iv) houve maior volume de precipitação em relação à fase anterior, porém sem tendências de aumento ou diminuição, similar ao aporte terrígeno, sugerindo maior volume de sedimentos continentais associados ao maior volume pluviométrico. No entanto, a fase iv indicou sedimentos mais grossos e com menor grau de intemperismo.

O histórico de ocupação humana da região sugere que o aumento do aporte terrígeno apresentado na fase ii (1854-1928), pode estar associado à expansão portuária, industrial e agrícola, e ao crescimento populacional que ocorrem na região durante este período, pois estes eventos contribuem para exposição do solo, a intensificação de erosão e o aumento artificial nas taxas de deposição (PATCHINEELAM et al., 2008). O período entre 1929 e 1981 (fase iii) apresentou tendência de redução do aporte continental, porém a granulometria mostrou uma mudança abrupta para sedimentos mais finos, podendo estar associada às intervenções antrópicas tanto na bacia de drenagem adjacente, e alterações hidrodinâmicas no estuário. Nesta fase houve a intensificação de atividades de dragagens no Canal da Galheta, ampliação portuária e desmatamento de grandes áreas costeiras. Ainda, na década de 1970 houve a construção da hidrelétrica Governador Pedro Viriato Parigot de Souza, em Antonina, que interligou os rios Cachoeira e Capivari, sendo que após esta transposição, o rio Cachoeira apresentou um aumento de 33 % em sua vazão (PATCHINEELAM et al., 2008). As atividades

que apresentaram grande impacto no regime sedimentar para o estuário foram mais intensas entre os anos de 1960-1981, quando os *proxies* de aporte terrígeno indicaram grandes variações no volume de sedimentos continentais.

Na fase iv (1982-2013) às atividades humanas ocorrem de maneira ainda mais intensa, comparada às fases anteriores, com dragagens para o aprofundamento do Canal da Galheta e também para o canal de acesso à Antonina, pois em 1999 os terminais da Ponta do Félix entram em operação. Também, há um grande crescimento populacional em relação ao período anterior, sendo que entre 1950 os municípios de Antonina, Guaraqueçaba, Morretes e Paranaguá somavam 53.369 habitantes, e em 2010 já somavam 182.949 habitantes. Nesta fase, as razões de aporte terrígeno indicam maior volume de sedimentos continentais e a granulometria indica presença de sedimentos mais finos, apresentando relação com a intensificação das atividades antrópicas.

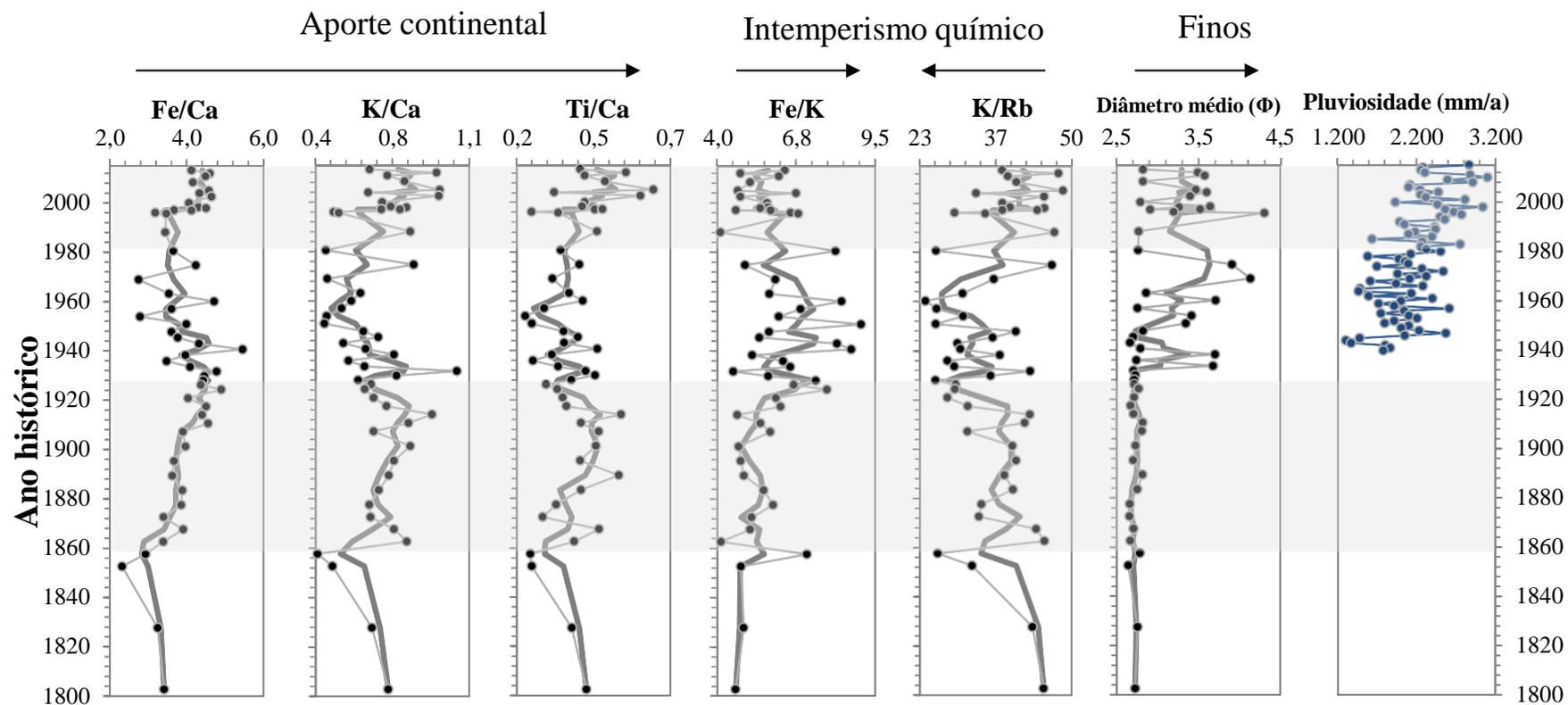


FIGURA 11 - Razões elementares e diâmetro médio do grão para o testemunho T5, e registro histórico de pluviosidade regional. Os pontos ligados pela linha cinza clara representam os valores encontrados para cada razão, e a linha cinza escuro representa a média móvel entre 3 pontos. A curva azul representa a média histórica de pluviosidade anual (mm/ano^{-1}) para as estações dos municípios de Antonina (2548003), Morretes (2548000), Guaraqueçaba(2548039) e Paranaguá (83844), obtidos pelo Portal HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA).

7.3 VARIAÇÕES NO APORTE DE SEDIMENTOS TERRÍGENOS PARA O CEP

Nos últimos 200 anos, as mudanças observadas no aporte de sedimentos continentais para o CEP foram principalmente impulsionadas por alterações na composição química dos sedimentos que foi responsável pela maior parte da variância dos dados (79,9 % para o T4 e 76,6 % para o T5). No entanto, o entendimento de forma conjunta da dinâmica sedimentar na Baía de Antonina (T4) e em sua desembocadura (T5) exige a avaliação dos dados granulométricos e geoquímicos. De maneira geral, o registro sedimentar coletado na Baía de Antonina (T4), localizada a montante do CEP, apresentou sedimentos relativamente mais intemperizados, do que próximo à desembocadura do estuário (T5). Em ambos os registros foi possível identificar fases distintas de aporte de sedimentos continentais para o estuário, marcadas por mudanças no diâmetro médio dos grãos e na composição química dos sedimentos. Estas fases abrangem períodos históricos similares.

A primeira fase compreende o período de 1854 a 1940, as fases i (1880-1940) e ii (1854-1928) dos testemunhos T4 e T5, respectivamente. Comparando o grau de intemperismo encontrado nestas fases, é possível observar que à montante do estuário, o grau de intemperismo dos sedimentos depositados é maior do que a jusante. No entanto, na Baía de Antonina apesar de haver oscilações nos valores das razões Fe/K e K/Rb não há tendência geral de mudança. Em contrapartida, à jusante, há aumento no intemperismo dos sedimentos depositados neste período. Nesta fase, as mudanças no uso e ocupação do entorno do CEP promoveram as mudanças observadas, uma vez que esta fase foi marcada por intensa expansão das atividades socioeconômicas na região (Pierri *et al.*, 2004, e Patchineelam *et al.*, 2008).

Durante as fases ii (1941-1977 – T4) e iii (1929-1981 – T5), os registros sedimentares apresentam características distintas. Na Baía de Antonina há diminuição do grau de intemperismo em relação à fase anterior e sedimentos mais grosseiros, enquanto na Ilha da Cotinha há um aumento no grau de intemperismo e de sedimentos finos. Entre 1941 e 1981, as atividades humanas como desmatamento de grandes áreas de entorno e a realização de dragagens para ampliação portuária, favoreceram a erosão do solo nas margens do CEP e

alteraram a hidrodinâmica local. Estas alterações foram, provavelmente, os principais fatores que controlaram o aporte e a deposição de sedimentos de forma localizada no CEP. Entre 1960-1981, a intensificação das atividades humanas no entorno do CEP é observada tanto na Baía de Antonina (T4) quanto na Ilha da Cottinga (T5) quando os *proxies* apresentam tendências mais claras de mudança.

No período de 1982 a 2017 (fase iii (1978-2017 – T4) e iv (1982-2013 – T5), os dois registros apresentaram aumento abrupto na chegada pontual de sedimentos com maior grau de intemperismo, seguido por uma diminuição gradativa. Neste período, as mudanças observadas nos registros do CEP apresentam relação tanto com o desenvolvimento das atividades antrópicas no entorno do estuário quanto com os registros de precipitação local (FIGURA 10, 11).

8 CONCLUSÃO

Com base na aplicação de razões elementares e parâmetros granulométricos em dois testemunhos sedimentares coletados no Complexo Estuarino de Paranaguá, foi possível avaliar as variações de aporte de sedimentos terrígenos neste ambiente. Foram delimitadas três fases correlatas entre os dois registros sedimentares, que indicam as variações de aporte continental. Ao longo da primeira fase (1854-1940), os resultados sugerem maior aporte de sedimentos terrígenos (maiores valores das razões Fe/Ca, Ti/Ca e K/Ca), com maior grau de intemperismo (maiores valores da razão Fe/K e menores de K/Rb) e sedimentos mais grossos (areia fina a silte grosseiro), associados à expansão das atividades de uso e ocupação do solo no entorno do CEP. Durante a segunda fase (1940-1981), os dados sugerem uma diminuição do aporte de sedimentos terrígenos, com a deposição de sedimentos com menor grau de intemperismo e granulometria similar à fase anterior, podendo estar relacionado a um período com menor volume pluviométrico. No decorrer da terceira fase (1982-2017) há um aumento significativo no aporte de sedimentos continentais, com menor grau de intemperismo e grãos mais finos, que pode estar associado tanto às atividades humanas quanto ao regime de precipitação. Os nossos resultados sugerem que as alterações de aporte terrígeno, grau de intemperismo e tamanho médio do grão que ocorreram ao longo do período estudado, apresentam relações tanto com as variações pluviométricas quanto com a expansão das atividades humanas.

REFERÊNCIAS

- ANGELI, J. L. F.; RUBIO, B.; KIM, B. S. M.; FERREIRA, P. A. L.; SIEGLE E.; FERREIRA, R. C. L. Environmental changes reflected by sedimentary geochemistry for the last one hundred years of a tropical estuary. **Journal of Marine Systems**, v. 189, p. 36–49, 2019.
- ANGELI, J. L. F. ; TREVIZANI, T. H. ; Nagai, R.H. ; MARTINS, C. C. ; FIGUEIRA, R. C. L. ; MAHIQUES, M. M. . Geochemical mapping in a subtropical estuarine system influenced by large grain-shipping terminals: Insights using Metal/Metal ratios and multivariate analysis. **Environmental Earth Sciences**, v. 79, p. 443, 2020.
- ANGULO, R. J. **Geologia da planície costeira do Estado do Paraná**. 334 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.
- ANGULO R. J.; SOUZA M. C.; LESSA G. C. The Holocene Barrier Systems of Paranaguá and Northern Santa Catarina Coasts, Southern Brazil. In: DILLENBURG, S. R; HESP P. A. **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil. Lecture Notes in Earth Sciences**, v. 107. Berlin, Heilderberg: Springer, 2009. p. 135-176.
- APPLEBY, P. G. Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In: LAST, W. M.; SMOL, J. P. **Tracking Environmental Change Using Lake Sediments Volume 1: Basin Analysis, Coring, and Chronological Technique**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. p. 171–203.
- BARCELLOS, R. L.; FIGUEIRA, R. C. L.; FRANÇA, E. J.; SCHETTINI, C. A.; XAVIER, D. A. Changes of Estuarine Sedimentation Patterns by Urban Expansion: The Case of Middle Capibaribe Estuary, Northeastern Brazil. **International Journal of Geosciences**, v. 08, n. 04, p. 514–535, 2017.
- BOGGS, S. J. **Principles of Sedimentology and Stratigraphy**. New York: Prentice-Hall, 2005.
- CALVERT, S. E.; PEDERSEN, T. F. Chapter fourteen elemental proxies for palaeoclimatic and palaeoceanographic variability in marine sediments: interpretation and application. In: HILLAIRES-MARCEL, C.; DE VERNAL, A. **Proxies in Late Cenozoic Paleoceanography. Developments in Marine Geology**, v. 1. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London: Elsevier, 2007. p. 567–644.
- CANEPARO, S. C. **Manguezais de Paranaguá: uma análise da dinâmica espacial da ocupação antrópica - 1952-1996**. Curitiba, 1999. 289 p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná.
- CARRILHO, J. C.; MARONE, E.; ANGULO, R. J.; SOARES, C. R. Estimativa Da Carga De Material Particulado Em Suspensão E Sua Influência No Assoreamento Do Porto De Paranaguá-Pr. In: IX CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS QUATERNÁRIOS, II CONGRESSO DO

QUATERNÁRIO DE PAÍSES DE LÍNGUA IBÉRICA E II CONGRESSO SOBRE PLANEJAMENTO E GESTÃO DA ZONA COSTEIRA DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, 2003, Recife. **Anais**, 2003. p. 10-14.

CHENG, Z.; WANG, X. H.; JALÓN-ROJAS, I.; LIU, Y. Reconstruction of sedimentation changes under anthropogenic influence in a medium-scale estuary based on a decadal chronological framework. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 227, 106295, 2019.

CLIFTON, H. E. Estuarine Deposits. In: SCHOLLE, P. A.; SPEARING, D. **Sandstone Depositional Environments**, California: American Association of Petroleum Geologists, 1982. p. 179–190.

CREECH, J. B.; BAKER, J. A.; HOLLIS, C. J.; MORGANS, H. E.G.; SMITH, E. G.C. Eocene sea temperatures for the mid-latitude southwest Pacific from Mg/Ca ratios in planktonic and benthic foraminifera. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 299, n. 3–4, p. 483–495, 2010.

DUARTE, A. A. L. S.; VIEIRA, J. M. P. Caracterização de ambientes estuarinos: mistura em estuários. **Engenharia Civil UM**, n. 6, p. 41-55, 1997.

DYER, K. R. Sediment transport processes in estuaries. In: PERILLO, G. M. E. **Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Developments in Sedimentology**. Amsterdam: Elsevier Science, 1995. p. 423-449.

FARIAS, R. F. A química do tempo: carbono 14. **Qnesc**, v. 16, p. 6-8, 2002.

FERREIRA, P. A. L.; SIEGLE, E.; SCHETTINI, C. A. F.; MAHIQUES, M. M.; FIGUEIRA, R. C. L. Statistical validation of the model of diffusion-convection (MDC) of ^{137}Cs for the assessment of recent sedimentation rates in coastal systems. **Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry**, v. 303, p. 2059–2071, 2014.

FERREIRA, P. A. L.; CAROSO-SILVA, S.; POMPÊO, M.; FIGUEIRA, R. C. L. Geocronologia e datação por radionuclídeos, um estudo de caso: Represa Paiva Castro (Sistema Cantareira- Mairiporã- São Paulo). In: POMPEO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V.; NISHIMURA, P. Y.; SILVA, S. C.; DOVAL, J. C. L. **Ecologia de Reservatórios e Interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015. p. 109-119.

FERREIRA, P. A. L. **Métodos de estudo de variáveis e processos de dinâmica sedimentar marinha com radionuclídeos naturais e artificiais**. 140 f. Tese (Doutorado em Oceanografia Química) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

FIGUEIRA, R. C. L.; TESSLER, M. G.; MAHIQUES, M. M.; CUNHA, I. I. L. Distribution of ^{137}Cs , ^{238}Pu and $^{239,240}\text{Pu}$ in sediments of the southeastern Brazilian shelf-SW Atlantic margin. **Science of Total Environment**, v. 357, p. 146-

159, 2006.

GODOY, J. M. Datação de Sedimentos com ^{210}Pb : Resgate do Histórico da Poluição Ambiental no Antropoceno. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 6, p. 1733–1757, 2018.

GOVIN, A.; HOLZWARTH, U.; HESLOP, D.; KEELING, L. F.; ZABEL, M.; MULITZA, S.; COLLINS, J. A.; CHIESSI, C. M. Distribution of major elements in Atlantic surface sediments (36°N-49°S): Imprint of terrigenous input and continental weathering. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems**, v. 13, n. 1, p. 1–23, 2012.

GRUBER, N.; BARBOZA, E.; NICOLODI, J. Geografia dos sistemas costeiros e oceanográficos: subsídios para gestão integrada da zona costeira. **Gravel**, n. 1, p. 81–89, 2003.

GUO, Y.; YANG, S. Heavy metal enrichments in the Changjiang (Yangtze River) catchment and on the inner shelf of the East China Sea over the last 150 years. **Science of the Total Environment**, v. 543, p. 105–115, 2016.

GUO, X.; YANG, Y.; NIU, Z.; LU, D.; ZHU, C.; FENG, J.; WU, J.; CHEN, Y.; TOU, F.; LIU, M.; HOU, L. Characteristics of microbial community indicate anthropogenic impact on the sediments along the Yangtze Estuary and its coastal area, China. **Science of The Total Environment**, v. 648, p. 306-314, 2019.

HAMMER, Ø.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P. D. **PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis**. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp. 2001.

HASSLER, M. As Unidades de Conservação no âmbito do Estado do Paraná. **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 15, p. 62–72, 2005.

HOWARTH, R. W.; FRUCI, J. R.; SHERMAN, D. Inputs of Sediment and Carbon to an Estuarine Ecosystem : Influence of Land Use. **Ecological Applications**, v. 1, n. 1, p. 27–39, 1991.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil. 2011.**

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). **Cidades Paraná- Panorama, dados do último censo e estimativas**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/panorama>> Acesso em 31/08/2020.

KENETT, J. P. **Marine geology**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1982.

LAMOUR, M. R.; SOARES, C. R.; CARRILHO, J. C. Mapas dos parâmetros texturais de sedimentos de fundo do Complexo Estuarino de Paranaguá - PR. **Boletim Paranaense de Geociencias**, n. 55, p. 77–82, 2004.

LANA, P. C.; MARONE, E.; LOPES, R. M.; MACHADO, E. C. The Subtropical Estuarine Complex of Paranaguá Bay, Brazil. In: Seeliger, U.; Kjerfve, B. **Coastal**

Marine Ecosystems of Latin America. Ecological Studies. Verlag, Berlin, Heidelberg: Springer, 2001. p. 131–145.

LESSA, G. C. MEYERS, S. R.; MARONE, E. Holocene stratigraphy in the Paranaguá, Southern Brazil. **Journal of Sedimentary Research**, v. 68, n. 6, p. 1060–1076, 1998.

MACHADO, C. G. Caracterização química dos agregados e sedimentos superficiais na zona de máxima turbidez no complexo estuarino de Paranaguá (CEP). **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 64, n. 64–65, p. 40–47, 2011.

MARONE, E., MACHADO, E. C., LOPES, R. M., SILVA, E. T. Land-ocean fluxes in the Paranaguá Bay estuarine system, southern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 53, n. 3-4, p. 169-181, 2005.

MINERAIS DO PARANÁ S/A (MINEROPAR). **Atlas geológico do Estado do Paraná.** 2001.

NELSON, B. W. Environmental framework at Coastal estuaries. **Geological Society of America Memoir**, v. 133.

NOERNBERG, M. A.; ANGELOTTI, R.; CALDEIRA, G. A.; RIBEIRO DE SOUSA, A. F. Determinação Da Sensibilidade Do Litoral Paranaense. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 12, n. 2, p. 49–59, 2008.

ODRESKI, L. L. R.; SOARES, C. R.; ANGULO, R. J.; ZEM, R. C. Taxas de assoreamento e a influencia antrópica no controle da sedimentação da Baía de Antonina - Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 53, p. 7-12, 2003.

OLDS, A. D.; FROHLOFF, B. A.; GILBY, B. L.; CONNOLLY, R. M.; YABSLEY, N. A.; MAXWELL, P. S.; HENDERSON, C. J.; SCHLACHER, T. A. Urbanization supplements ecosystem functioning in disturbed estuaries. **Ecography**, v. 41, i.12, p.2104-2113, 2018.

ORGANIZAÇÃO das NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.** 2015.

PATCHINEELAM, S. M.; SOARES, C. R.; CALLIARI, L. J. Assoreamento aterros e dragagens. In: NETO, J. A. B.; WALLNER-KERSANACH, M.; PATCHINEELAM, S. M. **Poluição Marinha.** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2008. P.(335)-(349).

PIERRI, N.; ANGULO, R. J.; SOUZA, M. C.; KIM, M. K. A ocupação e o uso do solo no litoral paranaense: condicionantes, conflitos e tendências. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 13, p. 137–167, 2006.

PRITCHARD, D. W. What is an estuary: physical view point. In: LAUFF, G D. **Estuaries.** Washington, D.C.: American Association for the Advancement of Science, 1967. p 3-5.

RAMSEY, C. B. Radiocarbon dating: Revolutions in understanding. **Archaeometry**,

v. 50, n. 2, p. 249–275, 2008.

REIMER, P. J.; BARD, E.; BAYLISS, A.; BECK, J. W.; BLACKWELL, P. G.; RAMSEY, C. B.; BROWN, D. M.; BUCK, C. E.; EDWARDS, R. L.; FRIEDRICH, M.; GROOTES, P. M.; GUILDERSON, T. P.; HAFLIDASON, H.; HAJDAS, I.; HATTÉ, C.; HEATON, T. J.; HOGG, A. G.; HUGHEN, K. A.; KAISER, K. F.; KROMER, B.; MANNING, S. W.; REIMER, R. W.; RICHARDS, D. A.; SCOTT, E. M.; SOUTHON, J. R.; TURNEY, C. S. M.; VAN DER PLICHT, J. Selection and Treatment of Data for Radiocarbon Calibration: An Update to the International Calibration (IntCal) Criteria. **Radiocarbon**, v. 55, n. 4, p. 1923–1945, 2013.

RIVERAU, J. C.; FUCK, R. A.; MURATORI, A. et al. Paranaguá, folha geológica. Curitiba: Comissão da Carta Geológica do Paraná, 1969. 1 mapa; color; 64 x 46 cm. Escala 1:70.000

SANCHEZ-CABEZA, J. A.; RUIZ-FERNÁNDEZ A. C. ^{210}Pb sediment radiochronology: An integrated formulation and classification of dating models. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 82, p. 183–200, 2012.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, C.; FAIRCHILD, T.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

THRUSH, S. F. HEWITT, J. E.; CUMMINGS, V. J.; ELLIS, J. I.; HATTON, C.; LOHRER, A.; NORKKO, A. Muddy Waters: Elevating Sediment Input to Coastal and Estuarine Habitats. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 2, n. 6, p. 299–306, 2004.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). **Atlantic Forest Southeast Reserves - WHC Nomination Documentation**. 1999. Disponível em: <<http://whc.unesco.org/uploads/nominations/893rev.pdf>> Acesso em 31/08/2020.

WEFER, G.; BERGER, W. H.; BIJMA, J.; FISCHER, G. Clues to Ocean History: a Brief Overview of Proxies. In: FISCHER G., WEFER G. **Use of Proxies in Paleoceanography**. Berlin, Heidelberg: Springer, 1999. p. 1-68.

WORLD RESOURCES INSTITUTE; UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME; UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME; **THE WORLD BANK**. World Resources 2002–2004, Decisions for the Earth: Balance, Voice and Power. **2003**.

YOUN, J.; KIM, T. J. Geochemical composition and provenance of muddy shelf deposits in the East China Sea. **Quaternary International**, v. 230, p. 3-12, 2011.

ZIJP, M. C.; HUIJBREGTS, M. A. J.; SCHIPPER, A. M.; MULDER, C.; POSTHUMA, L. Identification and ranking of environmental threats with ecosystem vulnerability distributions. **Scientific Reports**, v. 9298, p. 7, 2017.

APÊNDICE 1 – HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO REGIONAL. Os dados referentes à expansão industrial, portuária e dragagens foram obtidos através do site da Administração dos Portos do Paraná (APPA) (<http://www.portosdoparana.pr.gov.br/pagina/os-portos-do-parana-e-historia>). As informações sobre o desenvolvimento urbano, industrial e socioeconômico foram extraídos de Pierri *et al.*, 2004, e Patchineelam *et al.*, 2008. Os dados populacionais foram obtidos a partir do catálogo dos censos demográficos do IBGE (<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo>).

Período	Eventos históricos	População
1803 a 1853	<ul style="list-style-type: none"> ● Crescimento da exportação da erva-mate, arroz, farinha de mandioca e madeira. 	
1854 a 1928	<ul style="list-style-type: none"> ● Expansão do setor agrícola. ● Crescimento econômico da região que promoveu aumento da imigração. ● Construção do primeiro trapiche em Antonina, estabelecendo tráfego de navios entre Antonina e Paranaguá. (1856) ● Concluída a Estrada da Graciosa (1873). ● Construção da Estrada de Ferro entre Curitiba-Paranaguá (1880). ● Construções Industriais e instalações portuárias em Antonina (1904-1914). ● Porto de Paranaguá começa o Ciclo da Exportação de madeira (1920). 	<p>1872, PR - 126.722. Paranaguá - 8.228. Guaraqueçaba - 3.912. Antonina - 5.632. Morretes - 4.889. 22661</p> <p>1890, PR - 249.491. Paranaguá - 11.794. Guaraqueçaba - 5.417. Antonina 7.739. Morretes 5.978..</p> <p>1900, PR 327.136. Paranaguá – 10.075, Guaraqueçaba 5.469. Antonina 6.580. Morretes 6.394.</p>
1929 a 1981	<ul style="list-style-type: none"> ● Ampliação de 420 metros do cais do Porto de Paranaguá (1946). ● Construção do canal do DNOS Pontal do Paraná (1954). ● Ampliação de 500 metros de cais do Porto de Paranaguá (1955). ● Construção Usina Hidrelétrica Marumbi – Morretes (1956-1961). ● Incentivo de políticas para as atividades agroflorestais, provocando o desmatamento de grandes áreas (1960-1980). ● Dragagem Canal da Galheta (1968). ● Porto de Paranaguá atinge 1 milhão de toneladas movimentadas (1963). ● Construção Usina Hidrelétrica Governador Pedro Viriato Parigot de Souza - Antonina (1963-1970). 	<p>1940, PR - 1.236.276</p> <p>1950, PR - 2.115.547. Antonina - 10.991. Guaraqueçaba - 7.174. Morretes - 10.566. Paranaguá - 24.638.</p> <p>1970, PR - 6.938.093.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ●Obras de ampliação do cais de Paranaguá em 516 metros (1971). ●Construção do Oleoduto ligando o cais de inflamáveis à refinaria da Petrobras em Araucária (1975). ●Dragagem Canal da Galheta (1972). ●Implantação de um canteiro industrial, de empresas de construção de plataformas para a exploração de petróleo, na porção norte do Balneário Pontal do Sul (1980). 	
1982 a 2013	<ul style="list-style-type: none"> ●Expansão de mais 510 metros de cais do Porto de Paranaguá (1987). ●Dragagem do canal de acesso ao Porto de Antonina (1992). ●Dragagem Canal da Galheta e canal de acesso a Antonina (1998). ●Início das operações dos terminais de cargas da Ponta do Félix (1999). ●Dragagem canal de acesso a Antonina (2000-2002). ●Enchentes em Morretes e Paranaguá (2011). ●Dragagem canais de acesso, berços e bacias de evolução (2013). 	<p>2000, PR - 9 558 454. Antonina - 19.146. Guaraqueçaba - 8.288. Morretes - 15.273. Paranaguá - 127.150. Pontal do Paraná - 14.297.</p> <p>2010, PR - 10 444 526. Antonina - 18 891. Guaraqueçaba - 7 871. Morretes - 15 718. Paranaguá - 140 469. Pontal do Paraná - 20 920.</p>