

NANCY KAZUMI TANIGUCHI

**Evolução do aporte de metais dos últimos 150 anos no Estuário de Caeté,
Bragança-PA e aplicação de *proxies* geoquímicos no contexto paleoclimático
e dinâmica sedimentar**

São Paulo

2021

NANCY KAZUMI TANIGUCHI

**Evolução do aporte de metais dos últimos 150 anos no Estuário de Caeté,
Bragança-PA e aplicação de *proxies* geoquímicos no contexto paleoclimático
e dinâmica sedimentar**

Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Química.

Orientador: Prof. Dr. Rubens Cesar Lopes Figueira

São Paulo

2021

NANCY KAZUMI TANIGUCHI, Evolução do aporte de metais dos últimos 150 anos no Estuário de Caeté, Bragança-PA e aplicação de proxies geoquímicos no contexto paleoclimático e dinâmica sedimentar. Tese (Doutorado) apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Química.

Aprovado em: 12/07/2021

Versão Corrigida

Banca Examinadora

Prof. Dr. Rubens Cesar Lopes Figueira Instituição Instituto Oceanográfico

Presidente

Assinatura _____

Prof. Dr. Michel Michaelovitch de Mahiques Instituição Instituto Oceanográfico

Conceito _____ Assinatura _____

Prof. Dr. María Alejandra Gómez Pive Instituição Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Conceito _____ Assinatura _____

Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto Instituição Universidade Federal do Pará

Conceito _____ Assinatura _____

Dedico este trabalho a todas as pessoas essenciais em minha vida, com muito amor, carinho e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me agraciar com a benção da vida e por conceder a possibilidade de iniciar e finalizar este ciclo.

Ao Prof. Dr. Rubens C. L. Figueira, pela oportunidade, incentivo, aprendizado, confiança, amizade, orientações acadêmicas e de vida, por todo apoio desde a época da graduação. Agradeço por sua dedicação para comigo, explicações, conversas, apoio em todo período, sempre me tranquilizando, desenrolando, resolvendo em parceria as questões que foram aparecendo ao longo do doutorado. Agradeço por seu apoio relativo a todas as questões burocráticas que surgiram neste último ano de 2020. Agradeço muito a Deus por ter me abençoado tendo você como orientador, um exemplo de profissional, professor, pesquisador e com o lado humano inspirador.

Agradeço à minha família, em especial minha mãe e meu pai, aos meus irmãos Hiroshi e Sayuri, Ditian e Batian (*in memoriam*), Ricardo, Kaori, Daniela e Duke (*in memoriam*) que sempre estiveram ao meu lado, acreditando, apoiando, suportando meus mais diversos momentos e humores.

Aos professores Nils E. Asp e Eduardo Siegle, pela colaboração, amizade, suporte à viagem de campo, coleta dos testemunhos, amostras concedidas e utilizadas neste trabalho.

À toda equipe que participou da coleta do material em campo, em especial: Vando Gomes, Diego Gomes, Rodolfo Jazão, Helio dos Santos e Aline Cason.

Aos professores Michel M. de Mahiques e Márcia Caruso Bicego pela colaboração para realização das análises geoquímicas e sedimentológicas. Ao professor Michel pelo aprendizado com os resultados da análise dos isótopos de Sr e Nd e dinâmica sedimentar.

Aos professores membros que compõem a banca de defesa desta tese e aos professores Nils E. Asp, Chico Bill e Rafael Lourenço pela avaliação do exame de qualificação e por todas as contribuições a este trabalho.

Aos técnicos e funcionários do IO, em especial Alexandre Salaroli pela leitura no ICP-OES e IRMS, Gilberto Dias, Edilson Oliveira e Samara Goya no auxílio da abertura dos testemunhos e amostragem no laboratório de sedimentologia, ao pessoal da manutenção pelo auxílio na construção do suporte do equipamento de fluorescência de raios-X portátil, à toda equipe da biblioteca, todos sempre muito atenciosos e solícitos.

Ao Dr. Flávio Machado de Souza Carvalho do laboratório de difração de raios-X do Instituto de Geociências da USP pelos ensinamentos sobre argilominerais e dfx, e por sua disponibilidade e prestatividade.

Ao pessoal da Secretaria de Pós Graduação do IO: Ana Paula, Daniel, Letícia que, sempre muito gentis, simpáticos e prestativos, me auxiliaram nas dúvidas, prazos, solicitações e outras intercorrências.

À equipe do LaQimar pelo convívio, amizade, discussões que contribuíram para o enriquecimento do desenvolvimento deste trabalho, pelos cafés, *happy hours*, marmitas/almoços. Agradeço a Caroline Aparecida Dias por todo auxílio e dedicação nas atividades de laboratório, que ajudaram muito a gerar todos os resultados deste trabalho.

Agradeço a CAPES pela concessão da bolsa de doutorado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao Instituto Oceanográfico e ao programa de pós graduação do IO por toda infraestrutura para a realização e conclusão deste trabalho.

Aos professores, amigos e familiares: Isabel Montoya, Olga Sato, Silvia Helena de Mello e Sousa, Renata Nagai, Sueli Godoi, Paulo Polito, Marcos J. Kitaura, Ivo Koga, Cintia Yamashita, Thaisa Vicente, Naira Yamamoto, Carla Ito, Marcio Yamashita, Marouan Bouali, Renato Oliveira, Natasha Hoff, Tiago Biló, André Paloczy, Catia Sazaki, Camila Imamura, Aika Kitaura, Yuri Ando, Keith Ezaki, família Kitaura, amigos do Pará e tantos amigos não menos importantes que não estão aqui citados.

Agradecimento especial para Cintia Yamashita, Thaisa Vicente e Tailisi Trevizzani pela revisão da tese, conselhos, conversas, parceria, desabafos e amizade.

À Dra. Regina M. C. Pinto, Patricia D. Taniguchi, Rodrigo Ng. Taniguchi, Ingrid Juncá e Fernando Miyake (*in memoriam*) pelas orientações, encaixes e tratamento médico.

À equipe médica do Hospital das Clínicas FMUSP e toda equipe de enfermagem e limpeza que de forma super profissional e humana me ajudaram a estar viva para concluir este ciclo. Agradecimento especial ao Dr. Vitor Costa pelo primeiro gole de água depois que voltei à consciência, pelo apoio à minha família, pelo almoço especial, macarrão a carbonara, que ficará em minha memória durante a reta final da fase UTI. À doutora, cujo nome infelizmente desconheço, mas que cantou e orou por e para mim, chorou ao meu lado sem ao menos me conhecer enquanto eu estava “*offline*”. Ao Dr. Motoki que me acompanhou diariamente, apoiou minha família com informações, exames, diagnósticos e me trouxe mensagens da

minha família quando eu ainda estava isolada, mensagens de vídeo que me deram força e alívio ao ver todos bem.

A todos os médicos, enfermeiros, fisioterapeutas e profissionais da saúde que cuidaram de mim e me acompanharam durante os 50 dias de internação: Dra. Silvia, Ludmila, Tereza, Buda, Gabriela, Lucia de Andrade e tantos outros de cujos nomes não me recordo, que desde o momento do pronto atendimento acompanharam meu caso mesmo a distância, lembrando-se de mim tantos meses depois da minha alta. Se não fosse a competência de todos os profissionais do HC FMUSP, do atendimento oferecido pelo SUS, muito provavelmente eu não estaria mais neste plano para concluir o presente trabalho.

Agradeço a todas as pessoas que conheço e que não conheço que oraram pela minha saúde, pela minha recuperação e enviaram boas energias. Agradeço a todos que colaboraram com as encomendas de chocolates nas páscoas durante tantos anos, me ajudando muito na complementação da renda.

Agradeço ao Ricardo Ferrão pelo companheirismo, amor, amizade, carinho, dedicação, compreensão, cumplicidade, paciência, prestatividade num dos momentos mais delicados da minha vida. Agradeço por ter cuidado do Duke e da minha família durante minha ausência. Agradeço por todo suporte, levando meus pertences ao hospital, me acompanhando no antes, durante e pós internação, levando e trazendo lâminas dos meus exames para o HC FMUSP, se expondo e colocando em risco membros da sua família nesse período crítico da pandemia.

Agradeço a Todos que diretamente e indiretamente contribuíram e tornaram possível a conclusão desse ciclo, meu muito Obrigada!

*“...Valeu a pena? Tudo vale a pena
Se a alma não é pequena.
Quem quer passar além do Bojador
Tem que passar além da dor.
Deus ao mar o perigo e o abismo deu,
Mas nele é que espelhou o céu.”*

(Mar Português, Fernando Pessoa)

“Seja qual for o rumo que tomarmos, nosso destino
está indissolivelmente ligado à ciência.”
(Carl Sagan)

RESUMO

TANIGUCHI, Nancy K., **Evolução do aporte de metais dos últimos 150 anos no Estuário de Caeté, Bragança-PA e aplicação de proxies geoquímicos no contexto paleoclimático e dinâmica sedimentar**. 2021. 186 f. Tese (Doutorado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

Este trabalho propõe o estudo da evolução do aporte de metais num estuário da região amazônica, com foco na variação do ciclo hidrológico no continente e dinâmica sedimentar durante os últimos 150 anos. Foram analisados quatro registros sedimentares distribuídos ao longo do estuário e um registro sedimentar proveniente de um canal de maré. A geocronologia foi estabelecida por ^{210}Pb e indicou taxas de sedimentação média que variaram entre $0,58 \text{ cm ano}^{-1}$ a $1,04 \text{ cm ano}^{-1}$. Primeiramente compararam-se os resultados de metais obtidos por fluorescência de raios-X portátil (XRF-p) e por ICP/OES, e avaliou-se a aplicabilidade das razões Fe/Ca, Ti/Ca, Fe/Ti, Fe/K, Rb/Sr como *proxies* de proveniência de sedimento e de período úmido da região. As concentrações de metais obtidas por XRF-p e por ICP/OES (Cr, Ca, Fe, K, Mn, Pb, Sr, Ti, V e Zn) exibiram equivalência em magnitude e amplitude. Os resultados do método XRF-p mostraram-se excelentes parâmetros para estudos de reconstruções ambientais. Com os resultados do testemunho proveniente do canal de maré (TAI), reconheceram-se grupos de elementos indicadores de aporte continental, identificado como componente principal 1 (CP1) (Al, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Pb, Sc e V), e marinho (CaCO_3 , Mg, Sr, Ba) através da análise de componentes principais e agrupamento. A variação de CP1 contraposta a dados de precipitação anual do período entre 1973 e 2015 apresentou covariações em que valores positivos de CP1 foram sincrônicos a períodos úmidos, ao passo que valores negativos de CP1, a períodos de seca. Assim, foi possível inferir períodos úmidos e secos entre 1777 e 2015. As variações da CP1 foram aplicadas como indicador do fluxo de transporte de sedimento entre os estuários Caeté e Taperaçu, onde valores positivos da CP1 foram associados a fluxo de sedimento proveniente do estuário Caeté. A análise da evolução do aporte de metais por meio da aplicação das razões Fe/Ca, Ti/Ca, Fe/Ti, Fe/K e Rb/Sr foi realizada a partir dos resultados de XRF-p dos quatro testemunhos distribuídos ao longo do estuário. Através de imagens de satélite reconheceram-se evoluções e modificações de feições geomorfológicas em intervalos inferiores a cinco anos. Mudanças destas feições são influenciadas pela hidrodinâmica local e clima, o que se reflete nos resultados de conteúdo de metais, taxa de sedimentação e acumulação de massa. O desenvolvimento urbano de

Bragança, caracterizado pelo aumento dos teores de metais a partir de 1890, propiciou alteração da dinâmica sedimentar. As razões Fe/Ca e Ti/Ca indicaram influência continental nos testemunhos internos ao estuário (CAT-S, CAT-N), enquanto que os testemunhos da região de médio estuário e região externa (CAT1, CAT-F), apontaram influência tanto continental quanto marinha. A razão Fe/Ti revelou diferentes fontes de sedimentos a partir de 1890. A amostra de superfície do testemunho do médio estuário (CAT1) apresentou valores de $\epsilon\text{Nd}(0)$ igual a -18,65 e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ igual 0,742560, enquanto que a amostra de superfície da plataforma continental interna adjacente ao estuário (P4) apresentou valores de $\epsilon\text{Nd}(0)$ igual a -11,05 e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ igual a 0,721749. Esses resultados mostram que há diferentes fontes de sedimentos nestas duas áreas, sugerindo que o estuário não tem capacidade de exportar sedimentos para a plataforma continental adjacente. As razões metal/metal analisadas em testemunhos costeiros mostraram-se de complexa interpretação, pois um mesmo elemento pode ter mais de uma proveniência.

Palavras-chave: Metais. Fluorescência de raios-X portátil. Fonte de sedimento. Estuário. Bragança. Pará. Proxies. Geoquímica. Fe/Ca. Ti/Ca. Fe/Ti. Fe/K. Rb/Sr.

ABSTRACT

TANIGUCHI, Nancy K.. **Evolution of the metal supply of the last 150 years in the Caeté Estuary, Bragança-PA and application of geochemical proxies in the paleoclimatic context and sedimentary dynamics.** 2021. 186 f. Tese (Doutorado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

This work proposes to study the evolution of metal contents inputs in an estuary of the Amazon region, focusing on the variation of the hydrological cycle in the continent and sediment dynamics during the last 150 years. Four cores distributed along the estuary and one core from a tidal channel were analyzed. The geochronology was established by ^{210}Pb and showed average sedimentation rates ranging from $0.58 \text{ cm year}^{-1}$ to $1.04 \text{ cm year}^{-1}$. First we compared first the metals results obtained by portable X-ray fluorescence (XRF-p) and ICP/OES, and evaluated the applicability of Fe/Ca, Ti/Ca, Fe/Ti, Fe/K, Rb/Sr ratios as proxies for sediment provenance and wet period of the region. Comparison between XRF-p and ICP/OES (Cr, Ca, Fe, K, Mn, Pb, Sr, Ti, V, and Zn) exhibited equivalence in magnitude and amplitude. The results from the XRF-p method proved to be excellent parameters for environmental reconstruction studies. With the results from the tidal channel (TAI) core, groups of continental (Al, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Pb, Sc, and V) and marine (CaCO_3 , Mg, Sr, Ba) elements were recognized through principal component analysis and clustering. The CP1 variation counterposed to annual precipitation data from the period between 1973 and 2015 showed covariations in which positive CP1 values were synchronous to wet periods and negative CP1 values, to drought periods. Thus, it was possible to infer wet and dry periods from 1777 to 2015. The CP1 variations were applied as an indicator of the sediment transport flux between the Caeté and Taperaçu estuaries, where positive CP1 values were associated with sediment flux coming from the Caeté estuary. The analysis of metal input evolution based on the application of the Fe/Ca, Ti/Ca, Fe/Ti, Fe/K, and Rb/Sr ratios were carried out from the XRF-p results of the four core samples distributed along the estuary. Through satellite images, evolutions and modifications of geomorphological features have been recognized in intervals of less than five years. Changes in these features are influenced by local hydrodynamics and climate, which are reflected in the results of metal content, sedimentation rate, and mass accumulation. The urban development of Bragança,

characterized by an increase in the metal content from 1890, caused a change in the sedimentary dynamics.. The Fe/Ca and Ti/Ca ratios indicated a continental influence in the cores from the inner estuary (CAT-S, CAT-N) and both continental and marine influences in the mid-estuarine and outer (CAT1, CAT-F) cores. The Fe/Ti ratio revealed different sediment sources from 1890. Results of the surface sample from the middle estuary core (CAT1) showed Nd(0) value of -18.65 and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of 0.742560, and the surface sample from the inner continental shelf adjacent to the estuary (P4) showed Nd(0) value of -11.05 and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of 0.721749, which indicate different sediment sources for these two areas, suggesting that the estuary has no capacity to export sediments to the adjacent continental shelf. The use of metal/metal ratios analyzed in coastal cores proved to be of complex interpretation because the same element can have more than one provenance.

Keywords: Metals. Portable X-ray fluorescence. Sediment source. Estuary. Bragança. Pará. Proxies. Geochemistry. Fe/Ca. Ti/Ca. Fe/Ti. Fe/K. Rb/Sr.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Mapa de localização do testemunho coletado na Península de Ajuruteua, adaptado de Asp et al. (2016).....26
- Figura 2: Figura esquemática da unidade estratigráfica da Plataforma Bragantina, estado do Pará, Brasil (adaptado de Rossetti et al. (2001); Rossetti et al. (2013)).....28
- Figura 3: Esquema transversal de formação e evolução de ilha barreira em função da migração e emersão de barras ‘*offshore*’ (modificado de Hoyt 1967). 30
- Figura 4: Modelo esquemático da evolução da planície costeira bragantina (modificado de Souza-Filho et al. 2009)..... 31
- Figura 5: Médias mensais climatológicas da estação Tracuateua – PA, período de 1961 a 1990, parâmetros: precipitação total (mm), temperatura do ar (°C) e insolação total (horas) (INMET, 2018).33
- Figura 6: Média mensal referente à vazão dos rios Gurupi, Turiaçu e Caeté, no estado do Pará. Estes dados representam a média de uma série temporal de 1964 a 1971 para o rio Caeté e de 1972 a 1999 para os rios Gurupi e Turiaçu. Adaptado de Souza-Filho et al. (2009)..... 35
- Figura 7: Figura esquemática de localização dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT-F, TAI e CAT1 e da amostra de superfície P4. 38
- Figura 8: Série de decaimento do ^{238}U . Em destaque, os radionuclídeos que participam diretamente como fontes de ^{210}Pb41
- Figura 9: Desenho esquemático do ciclo hidrogeoquímico do ^{210}Pb . $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ corresponde ao ^{210}Pb não suportado e $^{210}\text{Pb}_{\text{s}}$, ao ^{210}Pb suportado.42
- Figura 10: Resultado da geocronologia do registro sedimentar CAT-S. Os anos de deposição obtidos pelo modelo CRS são apresentados em preto, símbolo “♦”, entre 0 cm e 100 cm. Os anos estimados por função polinomial baseado nas idades calculadas pelo modelo CRS estão representados em azul, símbolo “◇”, entre 100 cm e 164 cm. As barras verticais em cinza referem-se à taxa de sedimentação do ^{210}Pb obtida pelo modelo CRS.....56
- Figura 11: Resultado da geocronologia do registro sedimentar CAT-N. Os anos de deposição obtidos pelo modelo CRS são apresentados em preto, símbolo “♦”, entre 0 cm e 100 cm. Os anos estimados por função polinomial baseado nas idades calculadas pelo

<p>modelo CRS estão representados em azul, símbolo “◇”, entre 100 cm e 164 cm. As barras verticais em cinza referem-se à taxa de sedimentação do ²¹⁰Pb obtida pelo modelo CRS.....</p>	57
<p>Figura 12: Resultado da geocronologia do registro sedimentar CAT1. Os anos de deposição obtidos pelo modelo CIC são apresentados em preto, símbolo “◆”, entre 0 cm e 100 cm. Os anos estimados por função polinomial baseado nas idades calculadas pelo modelo CIC estão representados em azul, símbolo “◇”, entre 100 cm e 148 cm.....</p>	58
<p>Figura 13: Resultado da geocronologia do registro sedimentar CAT-F. Os anos de deposição obtidos pelo modelo CRS são apresentados em preto, símbolo “◆”, entre 0 cm e 100 cm. Os anos estimados por função polinomial baseado nas idades calculadas pelo modelo CRS estão representados em azul, símbolo “◇”, entre 100 cm e 192 cm. As barras verticais em cinza referem-se à taxa de sedimentação do ²¹⁰Pb obtida pelo modelo CRS.....</p>	59
<p>Figura 14: Resultado da geocronologia do registro sedimentar TAI. Os anos de deposição obtidos pelo modelo CRS são apresentados em preto, símbolo “◆”, entre 0 cm e 100 cm. Os anos estimados por função polinomial baseado nas idades calculadas pelo modelo CRS estão representados em azul, símbolo “◇”, entre 100 cm e 164 cm. As barras verticais em cinza referem-se à taxa de sedimentação do ²¹⁰Pb obtida pelo modelo CRS.....</p>	60
<p>Figura 15: Perfis verticais referentes às taxas de sedimentação (cm ano⁻¹) resultantes do modelo CRS, obtidas a partir dos níveis de ²¹⁰Pb ao longo dos primeiros 100 cm dos registros sedimentares CAT-S, CAT-N, CAT-F e TAI.....</p>	61
<p>Figura 16: Perfis verticais referentes às taxas de acumulação de massa (g cm⁻² a⁻¹) resultantes dos níveis obtidos de ²¹⁰Pb ao longo dos primeiros 100 cm dos registros sedimentares CAT-S, CAT-N, CAT-F e TAI.....</p>	62
<p>Figura 17: Perfis de concentração (mg kg⁻¹) do testemunho CAT-1 referentes aos elementos Al, Ca, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Pb, Rb, Sc, Sr e Ti obtidos a partir do método de digestão total e ICP/OES.....</p>	63
<p>Figura 18: Perfis de concentração (mg kg⁻¹) do testemunho TAI referentes aos elementos Al, Ca, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Ti, Pb, Sc, Sr, V e Zn obtidos a partir do método de digestão total e ICP/OES.....</p>	64

Figura 19: Perfis de concentração (mg kg^{-1}) do testemunho CAT-S referentes aos elementos Ca, Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, Sr, Ti, Sr, V, Zn e Zr obtidos a partir do método fluorescência de raio-X portátil.	66
Figura 20: Perfis de concentração (mg kg^{-1}) do testemunho CAT-N referentes aos elementos Ca, Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, Sr, Ti, Sr, V, Zn e Zr obtidos a partir do método fluorescência de raio-X portátil.	67
Figura 21: Perfis de concentração (mg kg^{-1}) do testemunho CAT1 referentes aos elementos Ca, Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, Sr, Ti, Sr, V, Zn e Zr obtidos a partir do método fluorescência de raio-X portátil.....	68
Figura 22: Perfis de concentração (mg kg^{-1}) do testemunho CAT-F referentes aos elementos Ca, Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, Sr, Ti, Sr, V, Zn e Zr obtidos a partir do método fluorescência de raio-X portátil.	69
Figura 23: Perfis de concentração (mg kg^{-1}) do testemunho TAI referentes aos elementos Ca, Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, Sr, Ti, Sr, V, Zn e Zr obtidos a partir do método fluorescência de raio-X portátil.....	70
Figura 24: Perfis referentes ao conteúdo de CaCO_3 (em %) dos testemunhos (I) CAT1 e (II) TAI.....	71
Figura 25: Resultados da análise de difração de raio-X referentes ao testemunho CAT1: onde (I) resultados de topo, amostra de profundidade 0 – 2 cm, (II) resultados do meio, amostra da profundidade 64 – 66 cm e (III) resultados da base, amostra da profundidade 146 – 148 cm.	74
Figura 26: Distribuição dos resultados dos elementos Cr, Ca, Fe, K, Mn, Pb, Sr, Ti, V e Zn expressos em mg kg^{-1} ao longo do testemunho TAI, obtidos pelo método de digestão total e ICP/OES e pelo método de XRF-p.	77
Figura 27: Gráfico de dispersão dos elementos Cr, Ca, Fe, K, Mn, Pb, Sr, Ti, V e Zn obtidos pelos métodos de digestão total e XRF-p, expressos em mg kg^{-1} , ao longo do testemunho TAI.	78
Figura 28: Gráfico <i>screeplot</i> dos autovalores em porcentagem dos componentes principais..	82
Figura 29: Gráfico de correlação entre elementos e componentes principais 1, 2 e 3.	83
Figura 30: Resultado da análise de agrupamento executada através da correlação entre elementos analisados e todas as componentes principais obtidas na ACP.....	84
Figura 31: Perfil da distribuição da variância de elementos de proveniência terrígena (CP 1) obtido ao longo do registro sedimentar TAI.....	85

Figura 32: Resultado da análise de agrupamento executada através da correlação dos elementos analisados e todas as componentes principais obtidas na ACP.....	87	
Figura 33: Em ▲, refere-se à série temporal de eventos climáticos El Niño Oscilação Sul (ENOS) classificados a partir do índice ONI disponível em http://origin.cpc.ncep.noaa.gov . As barras em azul representam as médias anuais da precipitação transformada em z da estação Tracuateua – PA para o período entre 1973 e 2015. As médias de precipitação anual dos anos com * (1986, 1988, 1989, 1992 e 2013) foram calculados a partir de dados mensais incompletos (INMET 2018). As barras em vermelho, representam a distribuição da variância dos elementos de proveniência terrígena (CP1) obtido ao longo do registro sedimentar TAI para os anos entre 1973 e 2015.....	89	
Figura 34	Série temporal de anos El Niño Oscilação Sul (ENOS) classificados a partir do índice MEI.ext (Wolter e Timlin 2011) de 1871 a 2005.....	91
Figura 35: Perfil da distribuição da variância de elementos de proveniência terrígena (CP 1) ao longo do registro sedimentar TAI.	92	
Figura 36: Figura esquemática da localização dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT, CAT-F e amostra de superfície P4.	94	
Figura 37: Imagens históricas de satélite da região de Bragança-PA, provenientes do Google Earth Pro, referentes aos anos de 1985, 1988, 1991 e 1999 (acesso em 24 de setembro de 2020).	96	
Figura 38: Imagens históricas de satélite da região de Bragança-PA, provenientes do Google Earth Pro, referentes aos anos de 2004, 2008, 2013 e 2020 (acesso em 24 de setembro de 2020)	97	
Figura 39: Perfil vertical referente às taxas de sedimentação (cm ano^{-1}) resultantes do modelo CRS obtidas a partir dos níveis de ^{210}Pb ao longo dos primeiros 100 cm dos registros sedimentares CAT-S, CAT-N, CAT-F. A linha em azul refere-se à tendência crescente da taxa de sedimentação ao longo dos testemunhos.	98	
Figura 40: Perfil vertical do conteúdo de Fe em mg kg^{-1} dos registros sedimentares CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F. O conjunto de dados em vermelho refere-se ao mesmo intervalo adotado para comparação do Fe com a taxa de sedimentação. As flechas em azul representam as tendências identificadas.	100	
Figura 41: Perfil vertical do conteúdo de Ca em mg kg^{-1} dos registros sedimentares CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F.....	103	

Figura 42: Perfil vertical do conteúdo de Ca em mg kg ⁻¹ dos registros sedimentares CAT1 e CAT-F.....	103
Figura 43: Perfil vertical de ln(Fe/Ca) dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F..	108
Figura 44: Perfil vertical de ln(Ti/Ca) dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F. .	109
Figura 45: Perfil vertical de ln(Fe/Ti) dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F...	110
Figura 46: Gráficos de dispersão de Fe x Ca, Ti x Ca, Fe x Ti dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F. O símbolo em preto representa dados datados antes de 1890 e em vermelho, dados de 1890 até o presente.	113
Figura 47: Compilação de 133 resultados de εNd(0) e ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr, previamente publicados, de amostras de sedimento de superfície e sedimentos em suspensão de rios que compõem a bacia de drenagem do rio Amazonas, destacados no mapa em azul, e regiões adjacentes ao estuário de Caeté. No anexo 4 é apresentada a tabela com todos os valores bem como as referências bibliográficas.	115
Figura 48: Perfil vertical de ln(Fe/K) dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F....	117
Figura 49: Perfil vertical de ln(Rb/Sr) dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F. .	118
Figura 50: Gráficos de dispersão de Fe e K, Rb e Sr, Ca e Sr dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F. O símbolo em preto representa dados datados antes de 1890 e em vermelho, dados de 1890 até o presente.	119
Figura 51: Gráficos de dispersão de Ca e K, Fe e Rb, K e Rb dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F. O símbolo em preto representa dados datados antes de 1890 e em vermelho, dados de 1890 até o presente.	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados dos registros sedimentares com suas respectivas coordenadas de localização, comprimento de recuperação, período de coleta, método de coleta, intervalos de subamostragem e análises realizadas em cada testemunho.	40
Tabela 2. Resultados referentes ao conteúdo de metais obtido para réplicas do material de referência certificado <i>SS-2 EnvironMAT Contaminated Soil</i> , pelo método de digestão total, USEPA 3052.....	47
Tabela 3. Resultado do conteúdo de metais obtido para réplicas do material de referência certificado <i>SS-2 EnvironMAT Contaminated Soil</i> pelo método de fluorescência de raio-X portátil.	49
Tabela 4. Resultado do conteúdo de metais obtido para réplicas do material de referência certificado 2711a Montana II Soil pelo método de fluorescência de raio-X portátil. ..	50
Tabela 5: Reultados obtidos de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, $\epsilon\text{Nd}(0)$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ referentes as amostras P4 e CAT1 (0-2 cm).	72
Tabela 6: Resultados das concentrações dos elementos Cr, Ca, Fe, K, Mn, Pb, Sr, Ti, V e Zn obtidos por digestão total (DT) e fluorescência de raios-X portátil (XRF-p) , expressos em mg kg^{-1} . N refere-se ao número de amostras, Min: valor mínimo, Máx: valor máximo, Média, Desvio-Padrão, M Mediana, IC Sup: Limite superior do Intervalo de confiança (IC), IC Inf.: limite inferior do intervalor de confiança.	79
Tabela 7: Resultados de correlação de Pearson entre os elementos Al, As, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Pb, Sc, Sr, Ti, V, Zn e CaCO_3	81
Tabela 8: Síntese das relações observadas nos diagramas Fe x Ca, Ti x Ca, Fe x Ti, Fe x K, Rb x Sr, Ca x Sr, Ca x K, Fe x Rb, K x Rb para os testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F 1	126

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
2 OBJETIVO	23
3 ÁREA DE ESTUDO	25
3.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA	27
3.2 CLIMA	32
3.3 ESTUÁRIO DO TAPERAÇU	34
3.4 ESTUÁRIO DE CAETÉ	34
3.5 FURO DO TAICI	36
4 MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1 REGISTROS SEDIMENTARES	38
4.2 GEOCRONOLOGIA PELA ATIVIDADE DO RADIONUCLÍDEO ^{210}Pb	41
4.3 CONTEÚDO DE METAL EM SEDIMENTO	45
4.3.1 <i>Digestão Total e espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES)</i>	45
4.3.2 <i>Análise por fluorescência de raios-X portátil</i>	48
4.4 CONTEÚDO DE CARBONATO DE CÁLCIO (CaCO_3)	50
4.5 ISÓTOPOS SR E ND	51
4.6 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X – MINERALOGIA	52
4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA	53
5 RESULTADOS	55
5.1 GEOCRONOLOGIA PELA ATIVIDADE DO RADIONUCLÍDEO ^{210}Pb	55
5.1.1 <i>CAT-S</i>	56
5.1.2 <i>CAT-N</i>	57
5.1.3 <i>CAT-I</i>	58
5.1.4 <i>CAT-F</i>	59
5.1.5 <i>TAI</i>	60
5.2 CONTEÚDO DE METAIS	62
5.2.1 <i>Conteúdo de metais obtidos por digestão total e ICP/OES</i>	62
5.2.2 <i>Conteúdo de metais obtido por fluorescência de raios-X portátil</i>	65

5.3 CONTEÚDO DE CaCO_3	71
5.4 ISÓTOPOS SR E ND	72
5.5 DIFRAÇÃO DE RAIO-X	73
6 DISCUSSÃO	75
6.1 AVALIAÇÃO ENTRE CONTEÚDO DE METAIS OBTIDO PELO MÉTODO DE DIGESTÃO TOTAL E ICP/OES E CONTEÚDO DE METAIS DETERMINADOS POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X PORTÁTIL	75
6.2 AVALIAÇÃO DOS TEORES DE METAIS COMO INDICADORES DE PERÍODOS ÚMIDOS NA MARGEM EQUATORIAL BRASILEIRA PARA OS ÚLTIMOS 240 ANOS	80
6.2.1 <i>Origem e fonte de sedimento</i>	86
6.2.2 <i>Avaliação da variação do CPI com dados observados de precipitação para o período de 1973 a 2015</i>	88
6.2.3 <i>Avaliação da variação do CPI com dados reconstruídos de eventos ENOS no período de 1871 a 2005</i>	90
6.2.4 <i>CPI ao longo do testemunho TAI</i>	91
6.3 EVOLUÇÃO DO APORTE DE METAIS NA PENÍNSULA DE AJURUTEUA	94
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	123
8 CONCLUSÃO	129
REFERÊNCIAS	130
ANEXO 1 – DADOS DIGESTÃO TOTAL E ICP/OES CAT1 E TAI	139
ANEXO 2 – DADOS XRF-P CAT-S, CAT-N, CAT1, CAT-F E TAI	151
ANEXO 3 – CaCO_3 (%) CAT1 E TAI	174
ANEXO 4 – DADOS DE $\epsilon\text{ND}(0)$ E $^{87}\text{SR}/^{86}\text{SR}$ DA REGIÃO DO AMAZONAS	180

1 INTRODUÇÃO

Estudos sobre a composição elementar dos sedimentos podem proporcionar uma ampla gama de informações tais como fonte e/ou origem dos sedimentos, direção, modo do transporte sedimentar, além de condições hidrográficas do mar. A composição e proporção elementar dos sedimentos de uma determinada região são resultantes de um conjunto de fatores, dentre os quais configurações geomorfológicas, espessura da coluna d'água e tipo de fundo, por exemplo, respondendo a complexos processos físicos, químicos, biológicos e geológicos. Assim, os depósitos sedimentares são importantes registros das condições ambientais tanto do presente como do passado (Calvert e Pedersen 2007).

A reconstituição de condições ambientais do passado é importante para a compreensão da variabilidade climática global e essencial para o fornecimento de previsões climáticas mais precisas (Calvert e Pedersen 2007). Compreender a variabilidade climática da margem continental equatorial brasileira é de especial interesse, uma vez que esta é parte integrante da região amazônica, cujo sistema exerce papel importante na regulação do clima global, além de estar sob influência direta da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), principal sistema gerador de precipitação sobre a região tropical (Nobre e Shukla 1996; Garreaud et al. 2009).

Trabalhos recentes da região do Amazonas têm buscado compreender a evolução das regiões de mangue em conjunto com suas respectivas fases de expansão, contração, além de substituição por outros tipos de vegetação durante o Holoceno, principalmente nos últimos 10000 anos (Behling et al. 2001; Cohen et al. 2005b, 2012, 2015; Souza Filho et al. 2006). A maioria dos estudos existentes apresentam dados estratigráficos, palinológicos e geoquímicos como $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e C/N em sedimentos e datações determinadas por ^{14}C , relacionando mudanças de fases de expansão, contração e/ou substituição de tipo de vegetação nas regiões de mangue com possíveis variações locais da linha de costa e variações climáticas.

As regiões cobertas por mangues respondem a uma complexa interação de processos costeiros que incluem fatores como frequência de inundação de maré, energia incidente de ondas, disponibilidade de nutrientes, tipo e topografia do substrato, além de presença e distribuição de água doce (Schaeffer-Novelli et al. 1990).

Estudos de Sommerfield et al. (1995) e Cohen et al. (2012) indicaram que a deposição de sedimentos lamosos e descargas fluviais na plataforma amazônica não foram constantes durante o Holoceno tardio, últimos 2500 anos. Desta forma, possíveis variações de descargas fluviais poderiam ter contribuído para ocorrências de variações da posição da linha de costa

associadas a curtos eventos climáticos resultantes de condições mais secas no continente (Mörner 1999).

Entretanto, ainda há poucos estudos que abordam os efeitos de variações climáticas recentes sobre a região costeira amazônica (Cohen et al. 2005, 2008). Cohen et al. (2005), por exemplo, sugere a ocorrência de dois períodos de baixa frequência de inundação da região de mangue de Bragança, região norte do Brasil, associados a possíveis períodos de regressão da linha de costa em condições mais secas no continente, um no período de 1130 A.D. a 1510 A.D. e outro de 1560 A.D. até meados do século XIX, este último, coincidente com o período climático conhecido como “Pequena Idade do Gelo”. Em uma escala de tempo mais recente, últimos 500 anos, Cohen et al. (2015) sugerem a ocorrência de variações referentes à influência marinha e/ou terrestre na região costeira do Amapá, associadas à variação da posição da linha de costa em consequência de condições mais secas em continente.

Além de períodos climáticos como a “Pequena Idade do Gelo”, estudos indicam que fenômenos climáticos intermitentes como o El Niño Oscilação Sul (ENOS) também exercem papel importante no regime de precipitação sobre a região amazônica (Reboita et al. 2010; Shimizu e Liebmann 2017). Pouco se sabe sobre os impactos de mega eventos de El Niño, por exemplo, sobre os estuários da região norte e nordeste do Atlântico, nos últimos séculos (Cohen et al. 2015).

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a evolução do aporte de metais em sedimentos como indicadores de períodos úmidos e/ou secos e identificar possíveis mudanças de fontes sedimentares em resposta à dinâmica e balanço sedimentar dos últimos 150 anos da Península de Ajuruteua, situada próximo à cidade de Bragança, estado do Pará (Figura 1).

2 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a evolução do aporte de metais no sistema estuarino Caeté, no estado do Pará, Brasil, durante os últimos 150 anos, com foco na compreensão da variação do ciclo hidrológico em continente bem como da dinâmica sedimentar da região. Para alcançar o objetivo principal mencionado, estabeleceram-se os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a aplicabilidade da determinação do conteúdo de metais por fluorescência de raios-X portátil para estudos de reconstituição ambiental em região costeira;
- Determinar quais elementos metálicos seriam os melhores indicadores de períodos úmidos e/ou secos para a área de estudo;
- Verificar se a fonte de sedimento da região de estudo sempre foi a mesma em todo o período estudado;
- Analisar a aplicabilidade das razões Fe/Ca, Ti/Ca, Fe/Ti, Fe/K, Rb/Sr como *proxies* de proveniência de sedimento e períodos úmidos na região de estudo para os últimos 150 anos;
- Reconhecer mudanças nos processos de intemperismo a partir dos resultados obtidos da análise de metais.

Subsequentemente, determinou-se como etapas metodológicas:

- Estabelecer um modelo cronológico para os registros sedimentares a serem analisados;
- Determinar o conteúdo de metais como Fe, Ti, Al, Ba, Ca, Sr, Cd, Cr, Cu, K, Mn, Ni, Pb, Rb, Sc, V e Zn nas amostras de sedimento utilizando procedimento de digestão total e fluorescência de raios-X portátil;
- Efetuar análise de difração de raios-X para identificação da mineralogia e análise de isótopos de Nd e Sr;
- Analisar e compreender os resultados obtidos comparando as metodologias de determinação de metais por digestão total assistida por ICP/OES e fluorescência de raios-X portátil;
- Aplicar método estatístico de análise multivariada com a finalidade de identificar e reconhecer grupos de elementos indicadores de fonte de sedimento, e indicadores de períodos úmidos/seco da região de estudo;

- Analisar e compreender as variações dos *proxies* Fe/Ca, Ti/Ca, Fe/Ti, Fe/K, Rb/Sr na região de estudo.

3 Área de Estudo

A área de estudo do presente trabalho (Figura 1) faz parte da margem continental equatorial brasileira, localizada a aproximadamente 300 km a sudeste da foz do rio Amazonas e 200 km a leste de Belém, capital do estado do Pará, região norte do Brasil. A região costeira entre os estados do Pará e Maranhão perfazem cerca de 480 km de extensão, apresentando uma linha de costa irregular, composta por diversas reentrâncias, que abrigam 23 estuários, 30 bacias hidrográficas que drenam uma área de 330 mil km² marcada pela presença de floresta de mangue contínua que recobre aproximadamente 7600 km² (Martins et al. 2007; Souza-Filho et al. 2009).

Os estuários desta região exibem tipicamente mais de 100 km de extensão em direção ao continente e incluem planícies costeiras de até 30 km de largura (Souza Filho 2005). A Península de Ajuruteua (Figura 1), área de estudo deste trabalho, está inserida neste litoral, apresentando cerca de 8 km de largura e 25 km de extensão, coberta principalmente por manguezais e limitada pelos estuários de Taperaçu a oeste e Caeté a leste (Figura 1) (Asp et al. 2012; Gomes et al. 2013).

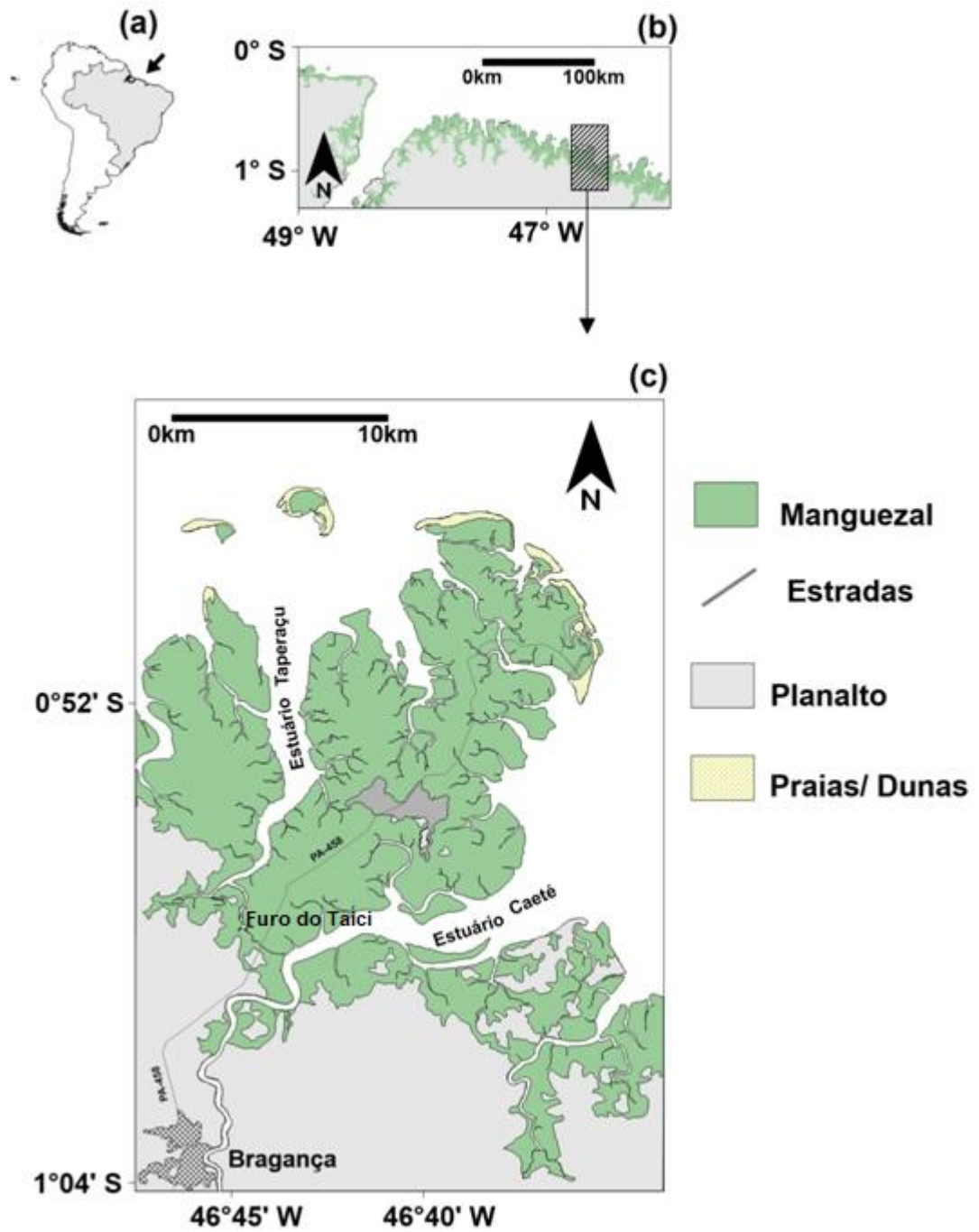


Figura 1: Mapa de localização do testemunho coletado na Península de Ajuruteua, adaptado de Asp et al. (2016).

3.1 Geologia e Geomorfologia

A Península de Ajuruteua está localizada sobre a bacia costeira Bragança-Viseu, de idade cretácica, estendendo-se da baía do Pirabas ao rio Gurupi. Apresenta configuração de costa subsidente por falhas normais de direção NW-SE, funcionando como sumidouro de sedimento (Souza-Filho e El-Robrini, 2000; Souza-Filho et al., 2009). As principais unidades litoestratigráficas desta região são as formações Pirabas, Barreiras e sedimentos Pós-Barreiras (Figura 2) cuja deposição foi influenciada por variações eustáticas globais e atividades tectônicas regionais (Costa et al. 1996; Rossetti et al. 2001; Rossetti et al. 2013).

As atividades tectônicas regionais configuraram rearranjos de leitos de rios e deslocamentos de blocos do embasamento da plataforma propiciando a entrada do mar a grandes distâncias nas áreas continentais. Segmentos tectônicos subsidentes combinados a um processo contínuo de rearranjos das drenagens promoveram a formação de paleovales principalmente ao longo das zonas de falhas normais e falhas transcorrentes (Rossetti 2006), que funcionaram como sumidouro de sedimentos siliciclásticos da Formação Barreiras (Rossetti e Gões 2004).

Os depósitos holocênicos desta região são constituídos por sedimentos inconsolidados que recobrem discordantemente as formações anteriores, constituídas basicamente por rochas sedimentares terciárias representadas por arenitos imaturos ou conglomeráticos que se assentam sobre sedimentos calcários da formação Pirabas (Rossetti et al. 2001; João et al. 2013).

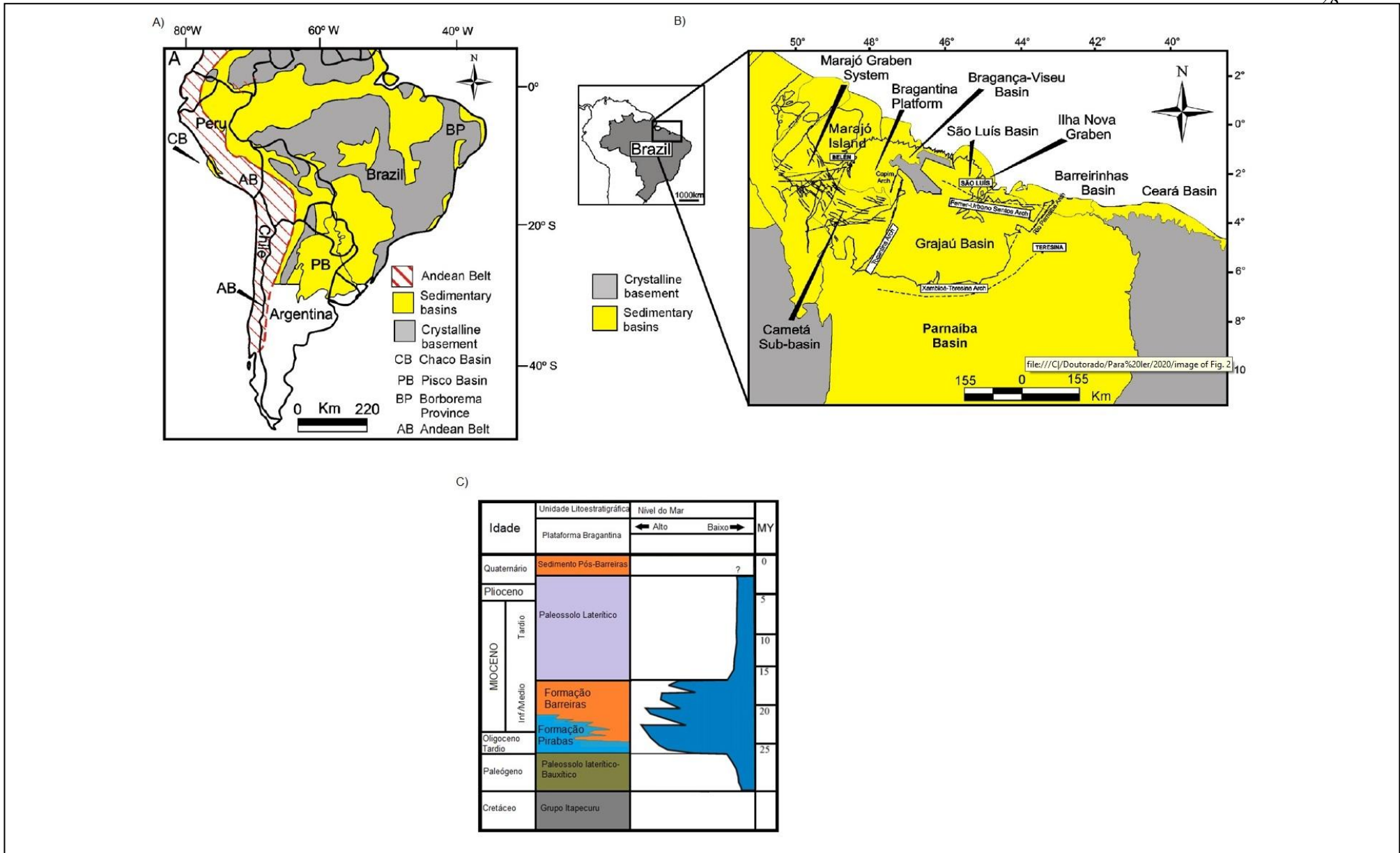


Figura 2: Figura esquemática da unidade estratigráfica da Plataforma Bragançina, estado do Pará, Brasil (adaptado de Rossetti et al. (2001); Rossetti et al. (2013)).

Os sedimentos da planície costeira da região de estudo são constituídos por sedimentos clásticos de litologia variável, compostos por conglomerados polimíticos com intercalações de sedimentos arenosos e argilosos, ricos em matéria orgânica, classificados como solos de mangue e gleissolos sálicos que constituem fácies sedimentares depositadas em ambientes de leque aluvial, planície de maré e fluvial (Souza Filho e El-Robrini 2000; IBGE-EMBRAPA 2001; Souza-Filho et al. 2009).

Segundo Lima et al. (2004), a composição geoquímica dos sedimentos da área de estudo exhibe uma assinatura de material terrígeno, tipo latossolo, da formação Barreiras, além de influência marinha caracterizada por variações nos conteúdos de Sr, Ba, Na, K, Mg, Cl e F. Em relação à composição mineralógica, estes autores reconheceram a presença de minerais como caulinita, esmectita, halita, pirita, feldspato, quartzo além de jarosita e gipsita (*gypsum*).

Toda a região costeira desta área, incluindo a Península de Ajuruteua, foi formada durante o Holoceno, resultante de um processo de progradação costeira modulada por pequenos eventos de subsidência, acompanhada de uma elevação do nível do mar regional, decorrente de diversos processos que incluem evolução estrutural-sedimentar das bacias Pará-Maranhão, Bragança-Viseu e São Luís, mudanças do nível relativo do mar, aporte sedimentar fluvial e complexo processo de redistribuição sedimentar da plataforma continental (Souza-Filho 2000; Cohen et al. 2005; Souza et al. 2006; Souza-Filho et al. 2009).

Durante os últimos 5000 anos, a progradação da linha de costa da região da Península de Ajuruteua pode ter ocorrido em função de uma migração e emersão de barras ‘*offshore*’ em direção à costa, associada à existência de delta de maré vazante dos estuários de macromaré da região (Figura 3, Souza-Filho et al. 2009; Asp et al. 2018).

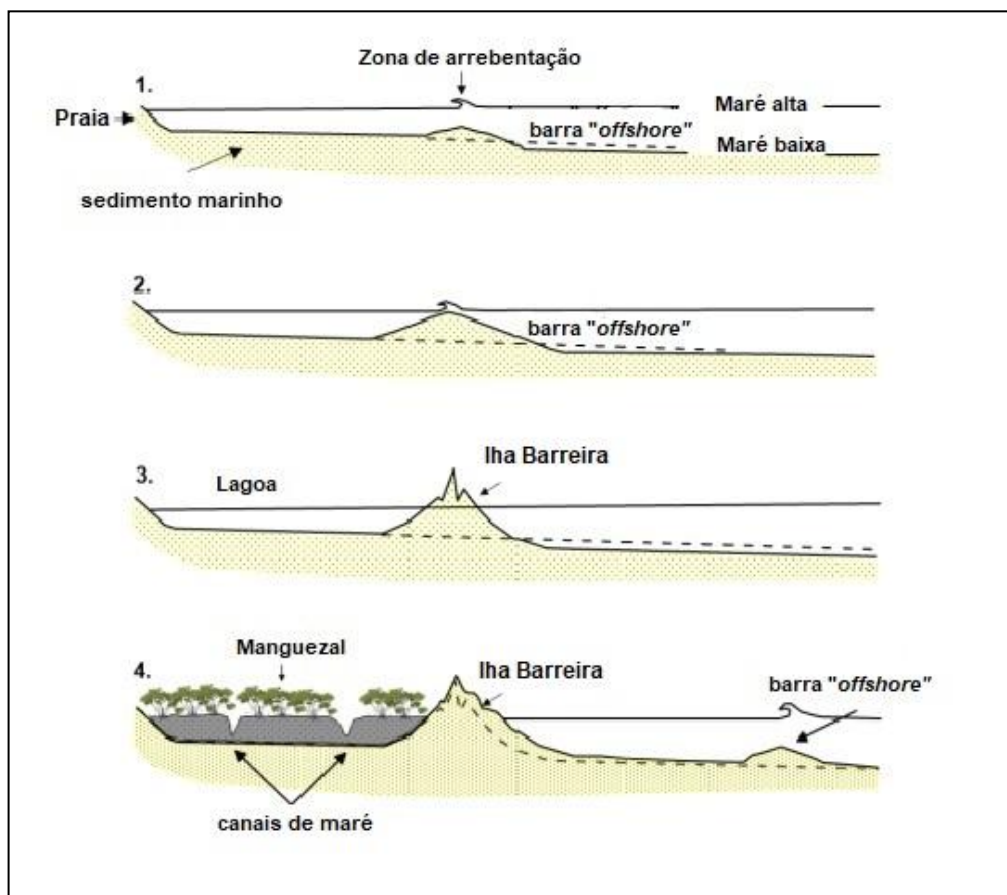


Figura 3: Esquema transversal de formação e evolução de ilha barreira em função da migração e emersão de barras 'offshore' (modificado de Hoyt 1967).

A barra existente na região costeira 'offshore', em resposta à dinâmica da ação de ondas e correntes de maré, evolui através de acréscimo de sedimento e migração em direção à linha de costa. Com o decorrer do tempo, a barra se transforma em uma barreira arenosa ou ilha barreira. A ilha barreira, por sua vez, propicia a formação de um ambiente lagunar ou ambiente de retrobarreira, que fica protegido da ação de ondas, favorecendo processos de sedimentação lamosa, onde o regime e dinâmica de maré são dominantes.

Asp et al. (2016) e Asp et al. (2018) sugerem que parte do suprimento de lama da região da península de Ajuruteua tem origem provável no Amazonas, onde as planícies de maré lamosa e a presença de manguezais, associadas ao clima equatorial, preencheriam ambientes lagunares rapidamente. Desta forma, ocorre a formação dos canais de maré que evoluem posteriormente para planícies de maré/manguezais, apresentando processo gradual de preenchimento e fechamento dos canais.

Todavia, estudos mais antigos apontam uma evolução da linha de costa da região de forma transgressiva, marcados por dois pulsos datados de 5900 a cal. AP e 2800 a. cal. AP, os quais foram associados à formação de ilhas barreiras (Figura 4) (Behling et al. 2001; Cohen et al. 2005; Souza-Filho et al. 2006, 2009).

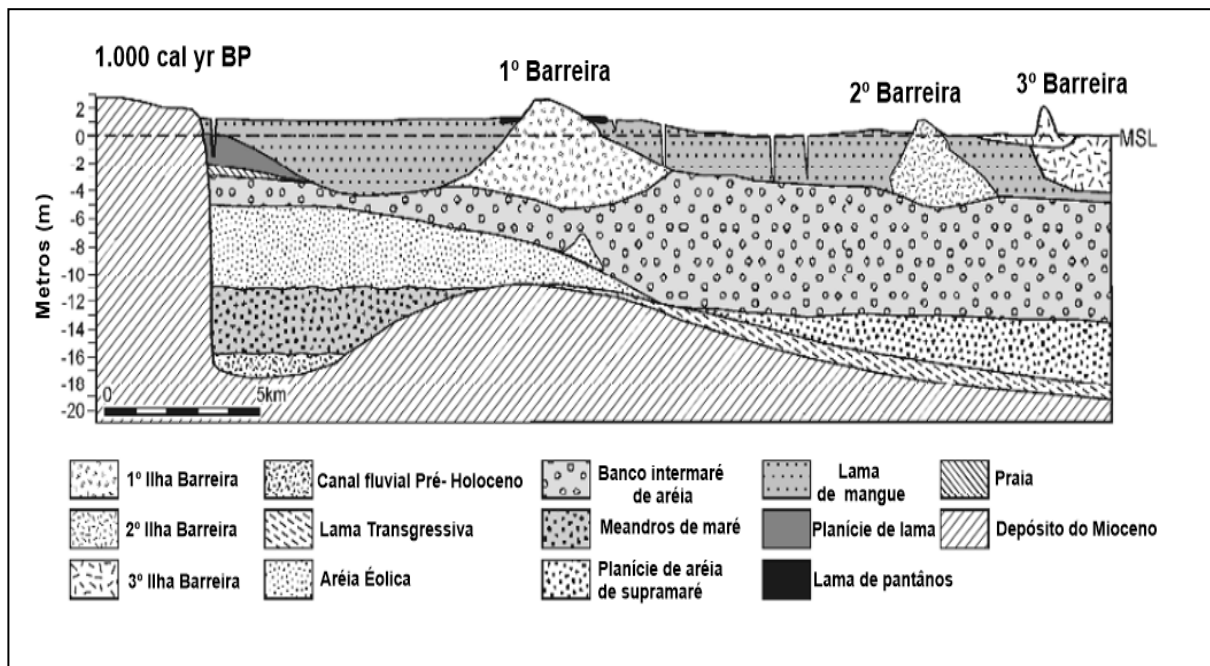


Figura 4: Modelo esquemático da evolução da planície costeira bragantina (modificado de Souza-Filho et al. 2009).

Nesses estudos, considera-se que em 1800 e 1400 a cal AP ocorreu uma queda de 1 m no nível relativo do mar em relação ao nível atual. Essa queda teria sido seguida de uma subida gradual até alcançar o nível atual (1000 a. cal AP). A variação do nível do mar propiciou uma progradação lamosa da linha de costa, que marcou o início do desenvolvimento dos manguezais intermarés (Souza Filho e El-Robrini 2000; Souza-Filho et al. 2009).

Atualmente, a Península de Ajuruteua apresenta um complexo sistema sedimentar que inclui diversas feições geomorfológicas, tais como canal estuarino, canais de maré, planícies de inundação, pântano salino, áreas de manguezal supramaré e intermaré, planícies arenosas, dunas costeiras e praias. Além disso, a península é caracterizada pela influência de uma macromaré semidiurna com amplitude média próxima a 5 m. Somando-se o regime de marés à configuração morfo-sedimentar relativamente plana da região, é favorecido um padrão de circulação hidrodinâmica

verticalmente homogêneo, controlado pela maré e por variações sazonais em função das sizíguas e quadraturas (Souza-Filho et al. 2009; Krause 2010; Asp et al. 2012; Gomes et al. 2013).

3.2 Clima

O clima da região costeira Amazônica é quente, úmido e apresenta temperatura anual média de aproximadamente 26 °C. O principal sistema gerador de precipitação sobre a região é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que migra sazonalmente, em anos considerados normais, da sua posição média mais ao norte, próximo a 14°N durante os meses de agosto-setembro, para a sua posição mais ao sul, em torno de 2°S, durante os meses de março-abril (Nobre e Shukla 1996; Garreaud et al. 2009).

Assim, a precipitação na região apresenta variação em função da posição da ZCIT, exibindo uma estação chuvosa entre janeiro e abril, quando a ZCIT atinge sua posição mais ao sul, e outra estação seca, entre setembro e novembro, quando ZCIT alcança sua posição mais ao norte (Figura 5) (INMET 2018). A precipitação média anual para a região costeira do Pará varia entre 2300 e 2800 mm, sendo que 73% deste valor ocorrem durante a estação chuvosa (Moraes et al. 2005; INMET 2018). No período seco, a precipitação média é próxima a zero (Moraes et al. 2005).

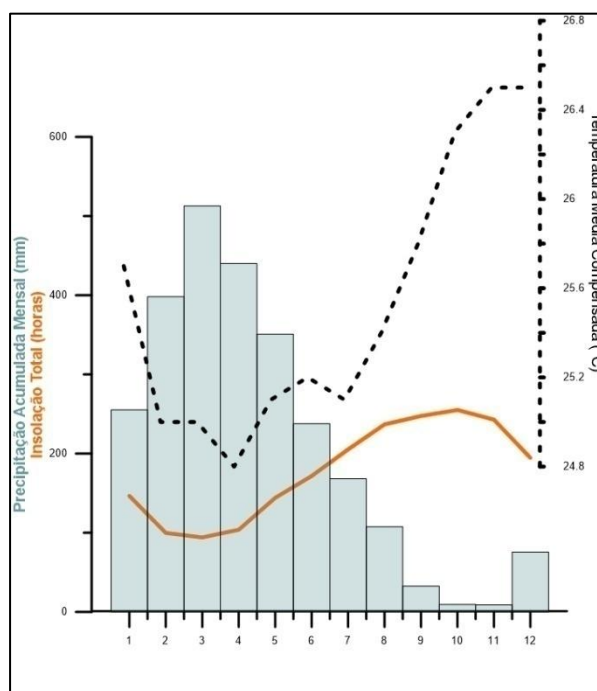


Figura 5: Médias mensais climatológicas da estação Tracuateua – PA, período de 1961 a 1990, parâmetros: precipitação total (mm), temperatura do ar (°C) e insolação total (horas) (INMET, 2018).

Além da variabilidade sazonal, a precipitação na região também apresenta anomalias associadas a fenômenos climáticos como El Niño Oscilação Sul (ENOS). Trabalhos como os de Garreaud et al. (2009) e Marengo e Espinoza (2016) indicam que, em episódios de El Niño, as regiões norte e nordeste brasileiras exibem condições de clima mais seco, e em episódios de La Niña e anos neutros, condições de clima úmido. Contudo, além dos eventos ENOS, estudos apontam que anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) do Atlântico Tropical Sul (ATS) e/ou Atlântico Tropical Norte (ATN) também podem se acoplar aos efeitos de anomalias de TSM do Pacífico Tropical, modificando o regime de precipitação sobre o Brasil Tropical (Poveda e Mesa 1997; Garreaud et al. 2009; Reboita et al. 2010; Cavalcanti 2012; Shimizu e Liebmann 2017).

A ZCIT é caracterizada por ser uma área de mínima pressão atmosférica e intensa convergência dos ventos. Devido à radiação solar intensa e uniforme na faixa equatorial, condições de baixas pressões em superfície são favorecidas, o que propicia a convergência dos ventos alísios de sudeste, vindos do hemisfério sul, e dos ventos

alísios de nordeste, vindos do hemisfério norte, em baixos níveis atmosféricos. A ascensão desses ventos provoca um resfriamento da massa de ar em ascensão, fazendo com que a umidade carregada seja perdida por condensação e precipitação (Melo et al. 2009).

Os ventos de leste, são persistentes ao longo da zona costeira desta região, apresentando algumas variações de direção e velocidade ao longo do ano, como resultado de variações na posição da ZCIT, sendo mais intensos no período seco, chegando a alcançar 10 m.s^{-1} (Souza Filho et al. 2009).

3.3 Estuário do Taperaçu

O estuário do Taperaçu tem cerca de 20 km^2 de superfície de água, e área de drenagem de aproximadamente 40 km^2 . Atualmente, a rede fluvial é ausente. Em sua cabeceira, seu antigo rio sofreu processo de preenchimento ao longo do tempo, sendo que, nos dias de hoje, a fonte de água doce neste estuário é proveniente de campos alagados. A área de drenagem é composta principalmente por manguezais e zonas úmidas, que limitam quase que exclusivamente a massa de água estuarina. Além disso, o estuário de Taperaçu é caracterizado por sedimentos constituídos predominantemente por areias muito finas, bem selecionadas, de origem predominantemente marinha (Asp et al. 2012).

3.4 Estuário de Caeté

O estuário de Caeté apresenta uma bacia de drenagem maior que a de Taperaçu, com área próxima de 2000 km^2 , caracterizada pela presença do rio Caeté cuja extensão é de cerca de 100 km , com vazão na ordem de $40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Pereira et al. 2009; Souza-Filho et al. 2009):

A vazão mensal do rio Caeté exhibe comportamento de variação semelhante ao regime de precipitação local, apresentando valores de vazão inferior a $50 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e maior vazão no mês de abril, próxima a $47 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, Figura 6 (Souza-Filho et al. 2009).

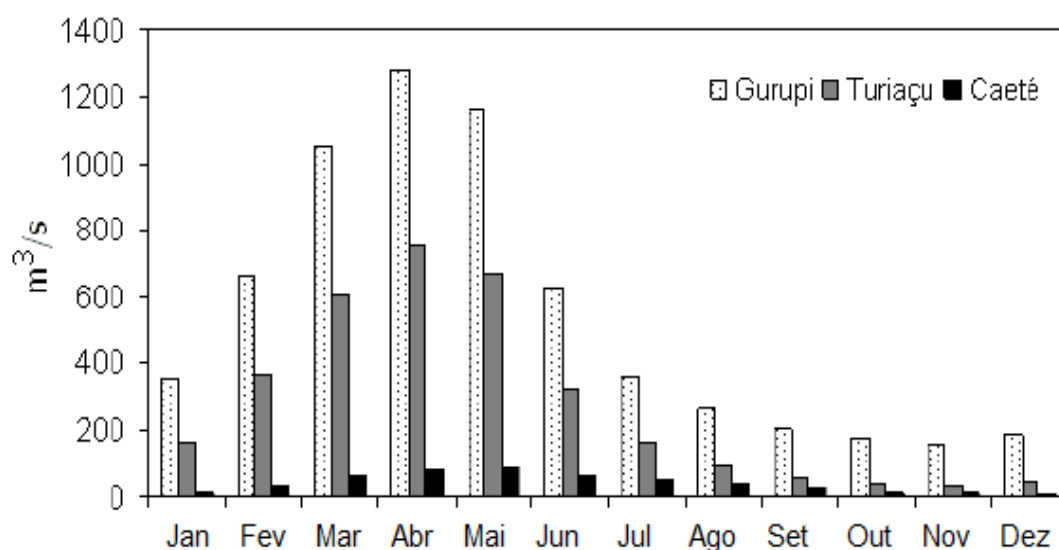


Figura 6: Média mensal referente à vazão dos rios Gurupi, Turiaçu e Caeté, no estado do Pará. Estes dados representam a média de uma série temporal de 1964 a 1971 para o rio Caeté e de 1972 a 1999 para os rios Gurupi e Turiaçu. Adaptado de Souza-Filho et al. (2009).

O estuário do Caeté apresenta águas menos salinas em relação ao estuário de Taperaçu, exibindo maiores concentrações de material sólido em suspensão (MSS) e zona máxima de turbidez (ZMT) bem definida (Asp et al. 2012; Gomes et al. 2013).

As condições hidrodinâmicas deste estuário exibem importantes variações de salinidade, concentração de material particulado em suspensão e condições de correntes, tanto em resposta à sazonalidade da precipitação e descarga fluvial da região, como em função de variações entre marés de sizígia e quadratura (Gomes et al. 2013).

Nos períodos chuvosos, as velocidades de corrente durante a vazante são maiores que as velocidades de corrente durante as enchentes, tanto na maré de sizígia, como na de quadratura, pois se somam à descarga fluvial que, em média, é 15 vezes maior em relação à condição da estação de seca. Na coluna d'água, a salinidade é maior próximo ao fundo e apresenta uma pequena diferença de salinidade em relação à superfície, independentemente das condições de maré, sizígia ou quadratura, e de períodos secos ou chuvosos. Entretanto, foram observadas diferenças de salinidade 4 entre superfície e fundo durante a fase vazante em marés de quadratura nas estações secas (Gomes et al. 2013).

Gomes et al. (2013) observaram uma variação importante em relação ao transporte de sedimentos lamosos em diferentes condições hidrodinâmicas, durante as marés de sizígia e quadratura. Estes autores sugerem que o transporte efetivo dos sedimentos lamosos ocorre basicamente durante as marés de sizígia, quando as velocidades e concentrações apresentam-se mais elevadas nos períodos de inundação durante as estações secas. Já nas marés de quadratura, os sedimentos lamosos parecem assentar-se nos períodos de estufa de maré, o que proporciona a retenção e aprisionamento dos sedimentos lamosos nesta área, contribuindo para o desenvolvimento e manutenção do mangue (Asp et al. 2016; Gomes et al. 2020; Schettini et al. 2020).

Em relação à posição da ZMT, esta também apresenta variação sazonal. Em períodos chuvosos, a ZMT localiza-se próximo ao Furo do Taici e, em períodos secos, a montante do estuário. Além disso, variação da concentração de material sólido em suspensão (MSS) no estuário do Caeté em função de chuvas tropicais também foi observada, maiores valores de MSS são coincidentes com a ocorrência e períodos de maior precipitação e vazão fluvial (Asp et al. 2012; Araújo e Asp 2013, Gomes et al. 2013).

3.5 Furo do Taici

O Furo do Taici é um canal de maré, com extensão média de 3 km e cerca de 15 m de largura, que interconecta a parte superior do estuário de Taperaçu, a oeste, com o setor médio do estuário de Caeté, a leste (Figura 1, Asp et al. 2012; Araújo e Asp 2013). A configuração e formação deste canal estão associadas ao processo evolutivo da península do Ajuruteua, que desempenha papel importante na conectividade entre os estuários, Caeté e Taperaçu, no âmbito referente ao fluxo de transporte e exportação de água e sedimento (Souza-Filho et al. 2009; Araújo e Asp 2013). Asp et al. (2012) constataram um forte gradiente de salinidade ao longo do canal Furo do Taici. Próximo à conexão do estuário de Taperaçu, a salinidade apresentou valores na ordem de 34, enquanto que na região de conexão com o estuário do Caeté, salinidade em torno de 14. Araújo e Asp (2013) observaram que o fluxo da água no Furo do Taici no início das enchentes de marés segue no sentido do estuário do Caeté para o estuário de Taperaçu.

Em relação ao fluxo de água no canal Furo do Taici, Asp et al. (2012) e Araújo e Asp (2013) indicam que a existência de uma assimetria da influência da maré sobre estes dois estuários proporciona o estabelecimento de um gradiente de pressão no canal Furo do Taici, onde as águas do Caeté, ricas em MSS, são transportadas para o estuário do Taperaçu, contribuindo para aumento da turbidez, aumento do MSS e redução da salinidade no alto do estuário do Taperaçu, nos períodos de marés enchentes.

Segundo McLachlan et al. (2020), os canais de maré nesta região desempenham papel importante para a conectividade entre estuários, de maneira que os canais mais ativos transportam sedimentos de um estuário para outro, ao passo que os de baixa conectividade importam e retêm sedimentos em regiões que não apresentam fonte direta.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Registros sedimentares

O presente trabalho baseia-se em cinco registros sedimentares: CAT-S, CAT-N, CAT-F, CAT1 e TAI e em uma amostra de superfície (P4) coletada na plataforma continental adjacente à foz do estuário do Caeté, município de Bragança, estado do Pará, Brasil (Figura 7). As informações referentes a localizações, posição geográfica, comprimento de recuperação, período e método de coleta, intervalos de subamostragem e análises realizadas de cada testemunho estão apresentados na Tabela 1.

A coleta dos registros sedimentares é resultado do trabalho em cooperação entre as equipes do Laboratório de Química Inorgânica Marinha (LaQIMar) do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP) e do Laboratório de Geologia Costeira (LAGECO) do Instituto de Estudos Costeiros da Universidade Federal do Pará (UFPA), coordenados respectivamente pelos professores Dr. Rubens Cesar Lopes Figueira e Dr. Nils Edvin Asp Neto.

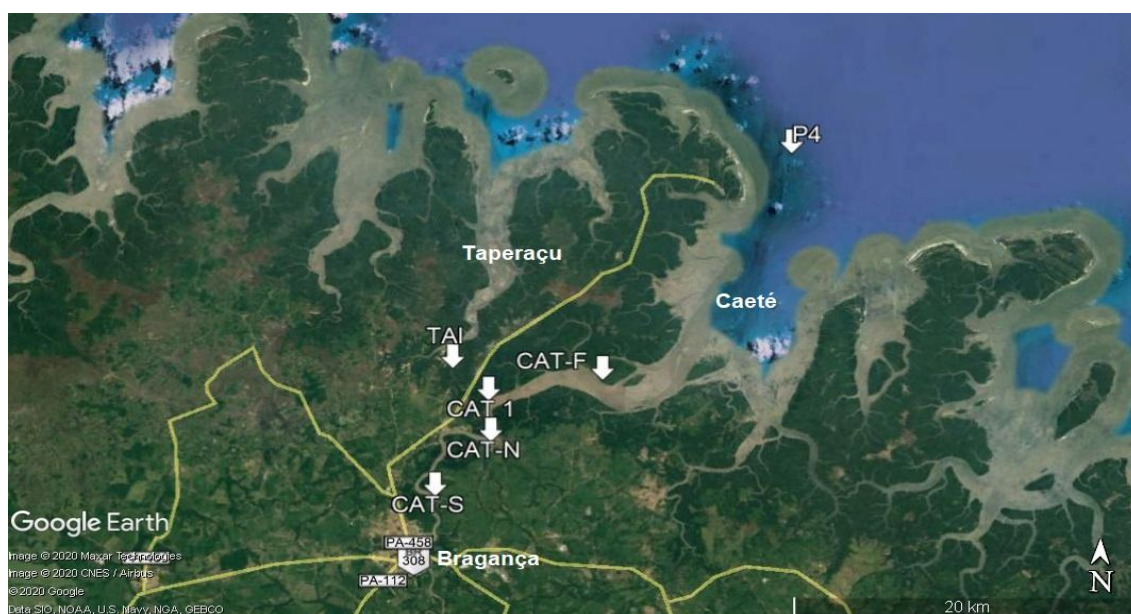


Figura 7: Figura esquemática de localização dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT-F, TAI e CAT1 e da amostra de superfície P4.

Os testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1, CAT-F, TAI foram recuperados através do uso de vibracore. Todos os testemunhos coletados foram abertos e processados no LaQImar e no laboratório de sedimentologia do IOUSP, onde foram subamostrados em

intervalos regulares de 2 cm (Tabela 1). Todas as amostras foram submetidas a processo de pesagem em balança analítica, congelamento e liofilização.

A partir da pesagem das amostras, antes e depois da liofilização, obteve-se o teor de água de cada amostra. O teor de água é um parâmetro utilizado na determinação do grau de porosidade do sedimento, aplicado como fator de correção, relacionado a efeitos de compactação proporcionada pela relação profundidade-massa dos sedimentos, considerado importante parâmetro nos estudos que envolvem determinação de taxas de sedimentação, como modelos de ^{210}Pb , e comportamento vertical de radionuclídeos ao longo do tempo, como ^{137}Cs (de Lima Ferreira et al. 2015).

Tabela 1: Dados dos registros sedimentares com suas respectivas coordenadas de localização, comprimento de recuperação, período de coleta, método de coleta, intervalos de subamostragem e análises realizadas em cada testemunho.

Testemunho	latitude	longitude	Localização	Comprimento de recuperação	Período da coleta	Método de Coleta	Intervalo de Subamostragem	Análises realizadas
CAT-S	0° 59' 48" S	46° 43' 33" W	Vila Caratateua	164 cm	06/2017	<i>Vibracore</i>	2 cm	Datação ²¹⁰ Pb Metais por XRF-p
CAT-N	01° 01' 43" S	46° 45' 14" W	Vila que Era	154 cm	06/2017	<i>Vibracore</i>	2 cm	Datação ²¹⁰ Pb Metais por XRF-p
CAT-F	0° 57' 36" S	46° 40' 08" W	Foz da Ilha do Jabuti	192 cm	2012	<i>Vibracore</i>	2 cm	Datação ²¹⁰ Pb Metais por XRF-p
TAI	0° 57' 18.432" S	46° 44' 47.508" W	Furo do Taici	210 cm	03/2015	<i>Vibracore</i>	2 cm	Datação ²¹⁰ Pb Metais por XR- pF Digestão Total
CAT1	0°58'23.736"S	46° 43' 39.180"W	Caeté	148 cm	03/2015	<i>Vibracore</i>	2 cm	Datação ²¹⁰ Pb Metais por XRF-p Digestão Total Isótopo Sr e Nd Mineralogia por DRX
P4	0° 0' 25.499" S	46° 33' 41.9" W	Plataforma Continental 25 m de prof.	Amostra de superfície		<i>Van Veen</i>	Amostra de superfície	Isótopo Sr e Nd

4.2 Geocronologia pela atividade do radionuclídeo ^{210}Pb

Nesta seção apresenta-se a metodologia utilizada para o estabelecimento da geocronologia obtida através da atividade do radionuclídeo ^{210}Pb . Os radionuclídeos têm sido amplamente aplicados nos estudos de dinâmica sedimentar para determinação de taxas de sedimentação e datação de colunas sedimentares (Walker 2006; Santos et al. 2008). A concentração de elementos radioativos diminui com o tempo a uma taxa constante, termo também conhecido como constante de decaimento. Combinando-se o conhecimento referente à meia-vida à geoquímica de um determinado radioelemento, é possível reconhecer variações do aporte de sedimentos de um determinado sistema sedimentar (Walker 2006; Santos et al. 2008; de Mahiques et al. 2009; Ferreira et al. 2016).

O ^{210}Pb é um isótopo radioativo do elemento chumbo (Pb), radionuclídeo natural, cuja meia-vida atinge 22,3 anos. Este isótopo é um dos elementos produzidos na série de decaimento do urânio (^{238}U), que inclui elementos filhos como rádio (^{226}Ra), radônio (^{222}Rn), chumbo (^{210}Pb), bismuto (^{210}Bi), e por último, chumbo estável (^{206}Pb). A série de decaimento está ilustrada na Figura 08 (Nittrouer et al. 1979; Noller 2000; Walker 2006).

O ^{210}Pb é proveniente do decaimento do ^{226}Ra , presente na crosta terrestre e que gera o gás nobre ^{222}Rn . Este gás nobre escapa do solo para atmosfera, decaindo a ^{210}Pb através de uma série de filhos de meia-vida curta (Figura 8 e Figura 9) (Nittrouer et al. 1979; Noller 2000; Walker 2006).

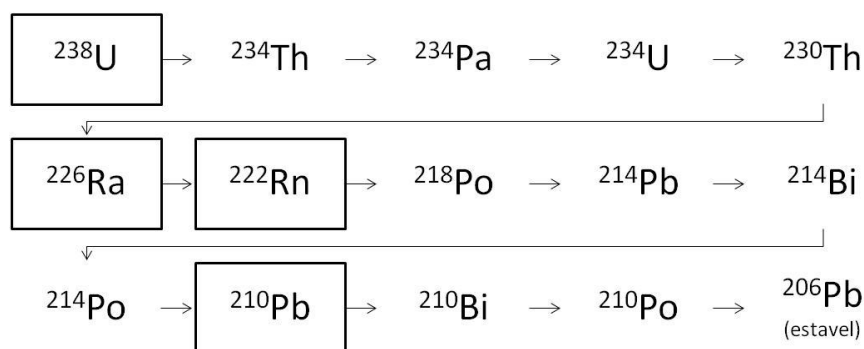


Figura 8: Série de decaimento do ^{238}U . Em destaque, os radionuclídeos que participam diretamente como fontes de ^{210}Pb .

Desta maneira, no sistema sedimentar, o ^{210}Pb é resultante de processos como o da série do decaimento do ^{238}U presente na crosta terrestre, rochas, solos e sedimentos, ou também proveniente da atmosfera, processo conhecido como *fall out*, resultante da série de decaimento do ^{222}Rn , advindo de deposição de poeira atmosférica (Figura 8) (Noller 2000; Lubis 2006; Walker 2006).

Assim, nos ambientes sedimentares, existe um excesso do ^{210}Pb em relação ao seu precursor ^{226}Ra . Denomina-se o excesso do ^{210}Pb , proveniente da atmosfera, de ^{210}Pb não suportado ($^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$). Já o ^{210}Pb produzido na própria matriz sedimentar pelo decaimento de ^{226}Ra , sem o escape de ^{222}Rn , é nomeado suportado ($^{210}\text{Pb}_{\text{s}}$) (Figura 9) (Noller 2000; Lubis 2006; Walker 2006).

O $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ pode ser obtido pela diferença entre a concentração do ^{210}Pb total ($^{210}\text{Pb}_{\text{t}}$), medido na amostra, menos a concentração do $^{210}\text{Pb}_{\text{s}}$, assumindo-se, para tal, que a série do ^{238}U está em equilíbrio secular e pode ser mensurado a partir de um nuclídeo pai, por exemplo, ^{226}Ra (Noller 2000; Lubis 2006; Walker 2006).

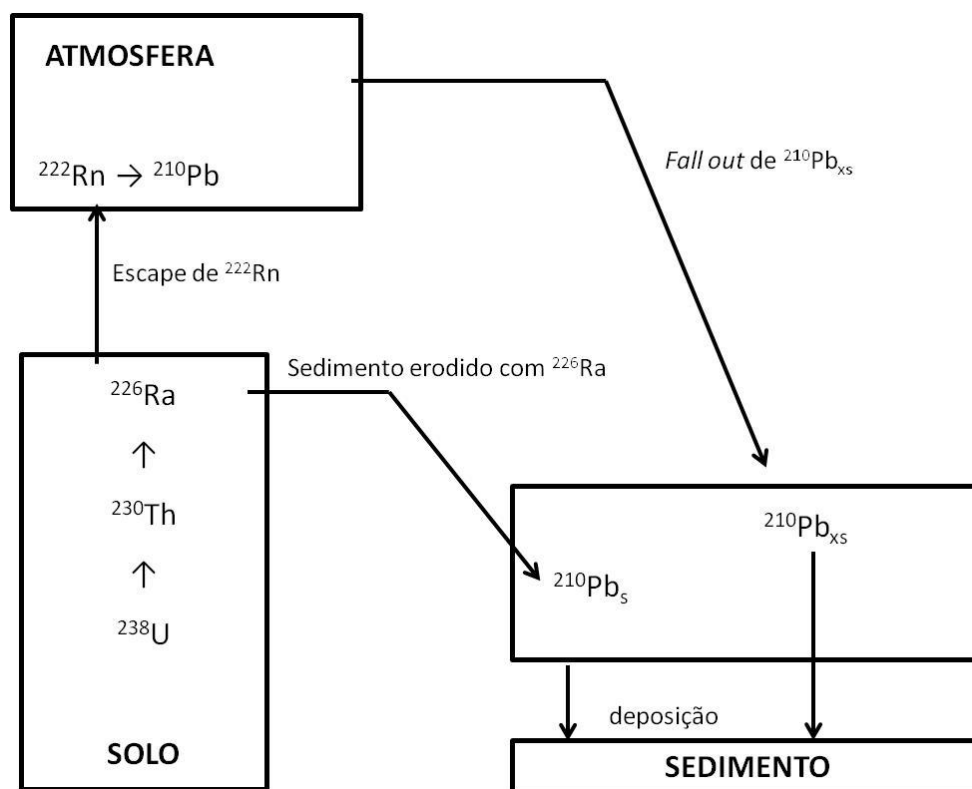


Figura 9: Desenho esquemático do ciclo hidrogeoquímico do ^{210}Pb . $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ corresponde ao ^{210}Pb não suportado e $^{210}\text{Pb}_{\text{s}}$, ao ^{210}Pb suportado.

Em um testemunho, a concentração do $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ diminui com o aumento da profundidade do testemunho, devido ao seu decaimento radioativo. Usualmente, o ^{210}Pb é aplicado para geocronologia recente. Considera-se como “recente” os últimos 150 anos, ou sete meias-vidas do ^{210}Pb , que equivalem ao período em que aproximadamente 99,22% do ^{210}Pb decai e torna-se ^{210}Bi (Figura 8). Assim, o gradiente do decaimento do $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ ao longo do testemunho pode fornecer a base para a determinação da taxa de sedimentação (Lubis 2006; Walker 2006).

No presente trabalho, considerou-se como taxa de sedimentação (S) a altura da coluna de sedimento depositada ao longo de um determinado intervalo de tempo, expressa em unidade de comprimento [L] por tempo [T] (cm ano^{-1} , por exemplo).

Existem diversos modelos matemáticos que calculam a taxa de sedimentação a partir do $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$. Um destes modelos é o denominado CIC - *Constant Initial Concentration* (Robbins e Edgington 1975) que considera as seguintes premissas:

- i.) O fluxo de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ na interface sedimento-água é constante;
- ii.) A atividade inicial de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ é constante;
- iii.) A taxa de sedimentação local é constante;
- iv.) Não há migração vertical pós-deposicional de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$;
- v.) A atividade de $^{210}\text{Pb}_{\text{s}}$ é independente da profundidade.

Matematicamente, o modelo CIC é expresso pela equação (01) e a idade da amostra calculada a partir da equação (02):

$$S = \frac{\lambda \times D}{\ln\left(\frac{C_{\text{Pb-210}}}{C_{0\text{Pb-210}}}\right)} \quad (\text{equação 01})$$

$$t = \frac{z}{S} \quad (\text{equação 02})$$

Onde:

S = taxa de sedimentação em cm.ano^{-1} ;

$C_{\text{Pb-210}}$ = contagem do $^{210}\text{Pb}_{\text{unsupported}}$ (não suportado) na base do testemunho;

$C_{0\text{Pb-210}}$ = contagem do $^{210}\text{Pb}_{\text{unsupported}}$ (não suportado) no topo do testemunho;

λ = constante de decaimento radioativo do ^{210}Pb ($0,031076 \text{ ano}^{-1}$);

D = distância entre o topo e o estrato medido, em centímetros;

z = a profundidade (em cm) e

t = idade da amostra de sedimento em z (em anos).

Outro modelo usualmente utilizado para determinação da taxa de sedimentação a partir de ^{210}Pb é denominado CRS -*Constant Rate of Supply* (Appleby e Oldfield 1978; Lubis 2006). Este modelo apresenta uma formulação matemática aplicável em ambientes cuja dinâmica sedimentar é variável, ou seja, ambientes onde ocorre uma variação na atividade de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ ao longo do tempo em resposta à diluição/concentração de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ por uma aceleração/redução na taxa de sedimentação local. O modelo CRS apresenta as seguintes premissas:

- i.) O fluxo de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ na interface sedimento –água é constante;
- ii.) A atividade inicial de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ não é constante;
- iii.) A taxa de sedimentação local não é, necessariamente, constante;
- iv.) Não há migração vertical pós-deposicional de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ e
- v.) A atividade de $^{210}\text{Pb}_{\text{s}}$ é independente da profundidade.

O equacionamento do modelo CRS segue as equações (03), (04) e (05):

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left[\frac{I(A)_{\text{tot}}}{I(A)_z} \right] \quad (\text{equação 03})$$

$$v(z) = \lambda \frac{1}{\rho} \left[\frac{I(A)_{\text{tot}} - I(A)_z}{A(z)} \right] \quad (\text{equação 04})$$

$$\varphi(z) = \frac{1}{\lambda} \left[\frac{I(A)_{\text{tot}} - I(A)_z}{A(z)} \right] \quad (\text{equação 05})$$

Em que:

t = idade da amostra na profundidade z (em anos);

λ = constante de decaimento radioativo do ^{210}Pb (em a^{-1});

ρ = densidade aparente da amostra (em g cm^{-3});

v = taxa de sedimentação na profundidade z (em cm a^{-1});

φ = taxa de acumulação de massa na profundidade z (em $\text{g cm}^{-2} \text{a}^{-1}$);

$I(A)_{\text{tot}}$ = inventário total de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ do testemunho (em mBq cm^{-2});

$I(A)_z$ = inventário total de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ do topo até a profundidade z do testemunho (em Bq cm^{-2}) e;

$A(z)$ = atividade de $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ na profundidade z (em Bq kg^{-1});

Inventário equivale ao somatório de suas atividades até uma profundidade de interesse, como ilustra a equação 06:

$$I(A)_z = \sum_z^0 A(i) \quad (\text{equação 06})$$

Neste trabalho, a geocronologia de todos os testemunhos foi estabelecida através dos níveis de ^{210}Pb e ^{226}Ra seguindo a metodologia proposta em Figueira et al. (2007) e Ferreira et al. (2013). Para cada testemunho, amostras de intervalos regulares, referentes aos primeiros 100 cm de cada testemunho, foram separadas para determinação dos níveis de ^{210}Pb e ^{226}Ra . Em cada amostra, cerca de 10 g de sedimento, previamente liofilizados e macerados, foram transferidos para recipientes de polietileno próprios para contagem gama. As atividades de ^{210}Pb e ^{226}Ra foram obtidas no Laboratório de Espectrometria Gama, IOUSP, através de espectrometria gama de alta resolução com uso de um espectrômetro gama constituído de um detector de Ge hiper puro (HPGe), de modelo GMX25190 da EG&G ORTEC, resolução média de 1,9 keV para o pico de 1332,35 keV de ^{60}Co , eletrônica acoplada e software MAESTRO versão 5.1. A partir dos resultados obtidos de ^{210}Pb e ^{226}Ra foram estabelecidas as taxas de sedimentação e datação do testemunho de acordo com Figueira et al. (2007) e Ferreira et al. (2013).

Em todos os testemunhos, a taxa de sedimentação foi estabelecida seguindo o modelo CRS – *Constant Rate of Supply* (Appleby e Oldfield 1978; Appleby e Oldfield 1992; Lubis 2006), com exceção do testemunho CAT1. Para o testemunho CAT1, a taxa de sedimentação foi estabelecida seguindo o modelo CIC - *Constant Initial Concentration* (Robbins e Edgington 1975).

4.3 Conteúdo de metal em sedimento

4.3.1 Digestão Total e espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES)

A determinação do conteúdo dos metais como Al, Ca, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Ti, Pb, Sc, Sr, V e Zn foi realizada nos testemunhos CAT1 e TAI. Estas amostras foram submetidas à digestão total, isto é, destruição e solubilização das amostras através de acidificação com uso de ácido nítrico (HNO_3), ácido fluorídrico (HF) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), assistida por um sistema fechado e uso de micro-ondas, seguindo o

método U.S.EPA 3052 (*United States Environmental Protection Agency*, de 1995 (USEPA 1995)). O conteúdo dos elementos foi determinado através de espectrometria de emissão óptica por plasma indutivamente acoplado (ICP-OES/Varian 710ES).

A obtenção dos conteúdos de metais se pauta no estabelecimento de curvas de calibração realizadas para cada elemento no ICP-OES. Sete soluções de diferentes concentrações foram preparadas a partir de um padrão multielementar para construção da curva de calibração. Utilizou-se a curva de calibração, cujo coeficiente de correlação apresentasse valor igual ou maior que 0,999 com no mínimo cinco pontos. As concentrações utilizadas na construção da curva foram preparadas de modo que os valores obtidos das amostras se enquadrassem dentro da faixa de operação. Adicionalmente, a cada dez amostras analisadas, um padrão multielementar e um branco de reagentes foram medidos para verificar possíveis variações do equipamento.

Adicionalmente, para controle de qualidade dos dados obtidos dos conteúdos de metais, réplicas do material de referência certificado de solo contaminado “*EnviroMAT Contaminated Soil/SS-2*” (SS-2) e branco de reagentes também foram submetidos ao mesmo processo analítico, para avaliar a eficiência do método e eliminar a hipótese de contaminação por reagentes utilizados.

A Tabela 2 apresenta os valores certificados de cada elemento do material de referência SS-2, bem como os resultados obtidos de média, desvio padrão, valores do intervalo de confiança superior e inferior e porcentagem de recuperação referente ao número de réplicas (n) do material de referência obtido pelo método de digestão total, USEPA 3052. Os resultados de todos os elementos analisados confirmaram a eficácia do método, visto que apresentaram valores de recuperação dentro da faixa de 71 a 104%.

Tabela 2. Resultados referentes ao conteúdo de metais obtido para réplicas do material de referência certificado *SS-2 EnvironMAT Contaminated Soil*, pelo método de digestão total, USEPA 3052.

SS2	Valor certificado (ppm)	Intervalo de Confiança certificado (ppm)	Intervalo Tolerância certificado (ppm)	n	Média	Desvio Padrão	IC SUP	IC INF	Recuperação (%)
Al	44853	37791 - 51915	8005 - 81701	12	42084,89	8142,284	46691,74	37478,05	94
As	78	62 - 94	5 - 151	12	79,51	8,554	84,35176	74,67165	102
Ba	650	594 - 706	380 - 920	12	543,65	38,407	565,3847	521,9244	84
Ca	118738	106798 - 130678	56442 - 181034	12	89908,16	40522,838	112835,7	66980,63	76
Cd	2			14	2,08	0,378	2,273444	1,877695	104
Cr	58	51 - 65	21 - 95	12	50,18	4,517	52,73343	47,6216	87
Cu	198	189 - 207	155 - 241	12	174,51	15,983	183,5532	165,4676	88
Fe	29070	27262 - 30878		12	25368,79	4672,537	28012,48	22725,1	87
K	18119	16349 - 19889	9096 - 27142	11	16102,18	1220,929	16823,69	15380,67	89
Li	20			9	15,59	2,925	17,50249	13,68011	78
Mg	14225	12995 - 15455	7953 - 20497	13	11820,89	5180,687	14637,09	9004,684	83
Mn	577	545 - 609	409 - 745	12	489,46	134,424	565,5203	413,4084	85
Na	12539	11362 - 13716	6830 - 18248	7	10278,00	2275,894	11963,97	8592,022	82
Ni	59	55 - 63	42 - 76	13	47,58	7,767	51,80105	43,35662	81
P	814	744 - 884	483 - 1145	12	731,51	69,072	770,5948	692,4345	90
Pb	148	130 - 166	63 - 233	7	138,78	55,695	180,0435	97,52551	94
Sr	382	351 - 413	226 - 538	12	321,98	79,117	366,7424	277,2151	84
Ti	2893	2664 - 3122	1753 - 4033	10	2055,07	756,695	2524,064	1586,073	71
V	59	54 - 64	36 - 82	13	55,43	2,708	56,90089	53,95631	94
Zn	509	479 - 539	362 - 656	13	474,50	85,746	521,1123	427,8902	93

4.3.2 Análise por fluorescência de raios-X portátil

O conteúdo dos metais Ca, Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, Sr, Ti, Sr, V, Zn e Zr também foram obtidos através da análise de fluorescência de raio-X portátil (XRF-p). Esta análise foi realizada em todos os testemunhos: CAT-S, CAT-N, CAT-F, CAT1 e TAI, executada em pastilhas com amostras liofilizadas e homogêneas a cada 2 cm. Cada pastilha foi preparada com uso de um filme transparente circular mylar com diâmetro de 2,5", 63,5 mm, e tubos abertos da SCP Science. Foi utilizado um analisador portátil de fluorescência de raios-X, Delta Professional da marca Olympus. O equipamento foi configurado para aplicar 3 feixes ("3 beams") sendo os dois primeiros feixes com tempo de 20 s a 40 kV e o último feixe com 20 s a 15 kV. As concentrações dos elementos são apresentadas em mg.kg^{-1} , fornecidas automaticamente pelo software interno do equipamento, configurado para o conjunto de elementos do modo solo ("soil"). Os valores dos elementos apresentados como resultados referem-se ao valor médio de três leituras realizadas na mesma amostra, expressos em mg.kg^{-1} , não corrigidos pela porosidade e nem pelo teor de água do testemunho.

Para controle de qualidade e verificação da eficiência deste método foi realizado o mesmo procedimento de obtenção dos resultados em réplicas de material de referência certificado de solo contaminado "*EnviroMAT Contaminated Soil/SS-2*" (SS-2). A Tabela 3 apresenta os valores certificados de cada elemento, bem como os resultados obtidos de média, desvio padrão, valores do intervalo de confiança superior e inferior e porcentagem de recuperação referente a n réplicas do material de referência certificado. O mesmo procedimento foi realizado para o método de fluorescência de raio-X para os quais foram utilizados os materiais de referência certificados SS2 e 2711a *Montana II Soil*. Os resultados destes dois materiais de referência estão apresentados nas Tabelas 3 e 4 respectivamente. A recuperação do material SS2 através desse método apresentou valores entre 77 e 142% (Tabela 3). A recuperação do material 2711a *Montana II Soil* variou entre 85 a 106% (Tabela 4).

Tabela 3. Resultado do conteúdo de metais obtido para réplicas do material de referência certificado SS-2 *EnvironMAT Contaminated Soil* pelo método de fluorescência de raio-X portátil.

SS2	Valor certificado (ppm)	Intervalo de Confiança certificado (ppm)	Intervalo Tolerância certificado (ppm)	n	Media	Desvio Padrão	IC SUP	IC INF	Recuperação (%)
As	78	62 - 94	5 - 151	13	68,5	4,30	70,8	66,1	88
Ca	118738	106798 - 130678	56442 - 181034	13	167458,1	2081,75	168589,7	166326,4	141
Cr	58	51 - 65	21 - 95	13	61,2	3,87	63,3	59,1	106
Cu	198	189 - 207	155 - 241	13	151,5	5,43	154,5	148,6	77
Fe	29070	27262 - 30878		13	25463,9	189,02	25566,7	25361,2	88
K	18119	16349 - 19889	9096 - 27142	13	25700,8	325,95	25878,0	25523,6	142
Mn	577	545 - 609	409 - 745	13	555,6	10,70	561,4	549,8	96
Pb	148	130 - 166	63 - 233	13	120,2	2,91	121,8	118,7	81
Sr	382	351 - 413	226 - 538	13	400,8	5,72	403,9	397,7	105
Ti	2893	2664 - 3122	1753 - 4033	13	2844,3	44,87	2868,7	2819,9	98
V	59	54 - 64	36 - 82	13	78,8	3,73	80,8	76,7	134
Zn	509	479 - 539	362 - 656	13	428,1	8,21	432,5	423,6	84

Tabela 4. Resultado do conteúdo de metais obtido para réplicas do material de referência certificado 2711a Montana II Soil pelo método de fluorescência de raio-X portátil.

2711 a	Valor certificado (ppm)	Intervalo de Confiança certificado (ppm)	n	Media	Desvio Padrão	IC SUP	IC INF	Recuperação (%)
As	107	± 5	4	95,5	2,38	97,8	93,2	89
Ca	24200	±0,06%	4	22829,5	200,07	23025,6	22633,4	94
Cd	54,1	±0,5	4	57,5	2,89	60,3	54,7	106
Cr	52,3	±2,9	4	50	1,41	51,4	48,6	96
Cu	140	2	4	123,75	3,77	127,4	120,1	88
Fe	28200	0,04%	4	23854,5	171,34	24022,4	23686,6	85
K	25300		4	22165,25	146,78	22309,1	22021,4	88
Mn	675	18	4	578,75	4,99	583,6	573,9	86
Pb	1400		4	1384,5	8,74	1393,1	1375,9	99
Rb	120	3	4	121,75	1,89	123,6	119,9	102
Sr	242	10	4	234,5	2,65	237,1	231,9	97
Ti	3170	0,008	4	2696,25	19,50	2715,4	2677,1	85
V	80,7	5,7	4	82,5	2,52	85,0	80,0	102

4.4 Conteúdo de carbonato de cálcio (CaCO₃)

O conteúdo de carbonato de cálcio (CaCO₃) foi obtido por diferença de peso antes e depois da acidificação de aproximadamente 3 g de sedimento seco com ácido clorídrico (HCl) 10% e expresso em porcentagem (%). Após a adição do ácido, as amostras foram aquecidas em chapa, ajustada a temperatura de 50 °C, até que não se observasse a presença de bolhas. Para a certificação da total eliminação do CaCO₃, adicionou-se 2 a 3 gotas de HCl concentrado. Em seguida, as amostras foram lavadas com água deionizada e secas em estufa a 40 °C.

4.5 Isótopos Sr e Nd

A análise isotópica dos elementos estrôncio (Sr) e neodímio (Nd) foram realizadas em duas amostras de superfície, correspondentes ao intervalo de 0 a 2 cm, referente ao topo do testemunho CAT1 e outra amostra de superfície identificada como P4, coletada utilizando pegador *Van Veen* na plataforma interna, em frente ao estuário do Caeté, na profundidade de cerca de 25 m, latitude 0° 0' 25,499" S, longitude 46° 33' 41,9" W.

Estas análises foram realizadas no laboratório CPGeo do Instituto de Geociências na Universidade de São Paulo. A razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de interesse refere-se ao sedimento marinho livre da fração do conteúdo de CaCO_3 associado aos bioclastos, ou seja, que se referem à rocha fonte. Para isto, cerca de 2 g de sedimento previamente liofilizados passaram por processo de remoção do conteúdo de CaCO_3 , entretanto, com uso de solução de ácido acético (HOAc) 10%. As amostras com a solução HOAc permaneceram em banho ultrassônico por quatro horas. Posteriormente, as amostras foram transferidas para tubos e centrifugadas por 15 minutos a 1500 rpm. O procedimento de enxágue do resíduo foi repetido por 4 vezes, com adição de 14 ml de água deionizada e processo de centrifugação. Após o enxágue, as amostras foram secas em estufa a 40°C e encaminhadas para análise isotópica.

Os valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ foram determinados seguindo a metodologia de Sato et al. (1995). As análises da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ foram efetuadas em um espectrômetro de massas por termoionização (TIMS) - Thermo Triton. As razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ foram normalizadas para o valor de $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0,1194$. O valor do branco de Sr durante a análise foi de 132 pg e o valor médio para a razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ do padrão NBS-987 entre janeiro/2019 e dezembro/2019 foi de $0,710268 \pm 0,000015$. As análises de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ foram executadas num espectrômetro de massas ICP-MS Thermo-Neptune. As razões isotópicas $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (medidas como Nd^+) foram normalizadas para os valores de $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,7219$ (Depaolo 1981) e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,512103$ do padrão JNdi-1 (média laboratorial do ano de 2019). O parâmetro $\epsilon\text{Nd}(0)$ corresponde ao valor atual ($t = 0$) e é calculado segundo a equação: $= \{[(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{amostra}}/0,512638] - 1\} * 10^4$, onde $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}} = 0,512638$ (Hamilton et al. 1983). O branco obtido de Nd durante a análise foi de 43 pg e valor médio do dia para a razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ do padrão JNdi-1 de $0,512103 \pm 0,000002$ (n= 16).

4.6 Difração de raios-X – Mineralogia

A identificação dos argilominerais foi realizada nas amostras do testemunho CAT1, a partir da análise de difração de raio-x (DRX) a partir de difratogramas obtidos em três diferentes etapas: 1) amostra natural seca ao ar, 2) saturada com etilenoglicol e 3) aquecida a 500°C por 4 horas.

Para a separação da fração argila das amostras, cerca de 1 g de sedimento seco foi colocado num tubo falcon de 15 ml, sendo adicionados, a seguir, 10 ml de água deionizada. As amostras foram agitadas por aproximadamente 2 minutos e em seguida centrifugadas. Repetiu-se esse processo por 5 vezes para remoção da halita, sal marinho, das amostras. Após esse processo, as amostras foram agitadas por cerca de 2 minutos novamente com 10 ml de água deionizada. A separação da fração argila das amostras foi realizada por processo de decantação, onde separou-se uma alíquota do sobrenadante com auxílio de pipeta. O sobrenadante foi colocado em lâmina de vidro, as amostras foram identificadas e secas ao ar naturalmente.

A análise de difração de raios-X foi executada no Laboratório de Difração de Raios-X LDRX do Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Para esta análise, utilizou-se um difratômetro de pó *Siemens* modelo D5000 com tubo de cobre (40 Kw e 40 $\mu\text{Å}$). A aquisição foi feita no intervalo de 2 a 65° (2 theta) para amostras secas naturais e de 2 a 30° (2 theta) para amostras glicoladas e aquecidas.

Para este trabalho, considerou-se como argilomineral qualquer material mais fino que 2 μ . Argilominerais ocorrem dispersos nos sedimentos e concentram-se na fração granulométrica menor que 2 μ . Essa fração não é considerada mineralógica, pois além dos argilominerais, que são filossilicatos hidratados de alumínio dominantes da fração argila, pode haver quantidades variáveis de outros minerais como quartzo, feldspato e calcita.

Em sedimentos argilosos, os argilominerais mais encontrados são pertencentes aos grupos da caulinita, clorita, illita e esmectita, bem como dos interestratificados como illita-esmectita.

4.7 Análise estatística

4.7.1 Análise de Componentes Principais

Para a identificação dos grupos de elementos com comportamentos semelhantes, foi executada a análise de componentes principais (ACP). A ACP é uma técnica estatística multivariada aplicada para encontrar componentes lineares de variáveis correlacionadas por meio de cálculos dos autovalores e correspondentes autovetores de uma matriz de variâncias-covariâncias ou de uma matriz de coeficientes de correlação entre variáveis (Landim 2010; Hongyu et al. 2016). Esta técnica transforma linearmente um conjunto de “n” variáveis originais normalmente correlacionadas entre si em outro conjunto de mesma dimensão, com “n” variáveis não correlacionadas denominadas componentes principais. Cada componente principal (CP) é uma combinação linear de todas as variáveis originais onde as variáveis são agrupadas segundo suas variâncias. As componentes principais obtidas são independentes entre si e a contribuição de cada componente representa sua proporção de explicação da variância total dos dados (Hongyu et al. 2016). A importância de uma variável dentro da componente principal obtida pode ser verificada avaliando o resultado da correlação entre as variáveis originais e as componentes obtidas (Hongyu et al. 2016)

A ACP foi aplicada para os resultados dos elementos: Al, Ba, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Pb, Sc, Sr, Ti, V e CaCO₃, utilizando-se a matriz de correlação entre essas variáveis.

4.7.2 Análise de Agrupamento

Análise de agrupamento é uma técnica estatística utilizada para descrever diversas técnicas numéricas cuja finalidade é classificar valores de uma matriz de dados em grupos discretos. A técnica classificatória multivariada da análise de agrupamentos pode ser utilizada quando se deseja explorar as similaridades entre indivíduos ou amostras (modo Q) ou entre variáveis (modo R) (Landim 2010).

Neste trabalho foi aplicada a análise de agrupamento modo-R, sobre a matriz de correlações dos elementos considerados como variáveis e as componentes resultantes

obtidas da ACP, utilizando o método Ward com índice de similaridade, distância euclidiana.

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software Past versão 3.14 (Hammer et al. 2001).

5 RESULTADOS

Nesta seção apresentam-se os resultados obtidos em todas as análises executadas nos registros sedimentares. O detalhamento e apresentação dos resultados segue a seguinte sequência: primeiramente serão exibidos os resultados referentes à geocronologia, em seguida, os resultados dos conteúdos de metais e análise isotópica de Sr e Nd e, por último, os resultados de mineralogia. Todos os resultados exibidos nesta seção serão utilizados de forma combinada e discutidos no próximo capítulo.

5.1 Geocronologia pela atividade do radionuclídeo ^{210}Pb

Apresentam-se nesta seção os resultados da geocronologia obtidos a partir da atividade do radionuclídeo ^{210}Pb para os testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1, CAT-F e TAI. As figuras 10, 11, 12, 13 e 14 exibem a relação dos anos de deposição obtidos ao longo dos registros sedimentares em conjunto com o modelo de idade estimado. Além do modelo de idade, as figuras também exibem os respectivos erros representados em barra para cada resultado. As maiores faixas de erro ocorrem em deposições mais antigas devido ao erro de 10% da metodologia adotada (Ferreira et al. 2013). Barras verticais em cinza, apresentadas nas figuras mencionadas, representam as taxas de sedimentação dos respectivos modelos aplicados através dos níveis de ^{210}Pb . Nas figuras 15 e 16, são exibidos os perfis referentes à taxa de sedimentação e taxa de acumulação de massa para cada testemunho.

5.1.1 CAT-S

Os dados geocronológicos obtidos para o testemunho CAT-S revelam que os 164 cm do registro alcançam os últimos 200 anos. A amostra do topo do registro sedimentar foi considerada como pertencente ao ano da coleta, 2017; na profundidade de 100 cm, o ano estabelecido pelo modelo CRS foi de 1888 e a base, 164 cm, o ano de deposição estimado foi de 1819 (Figura 10).

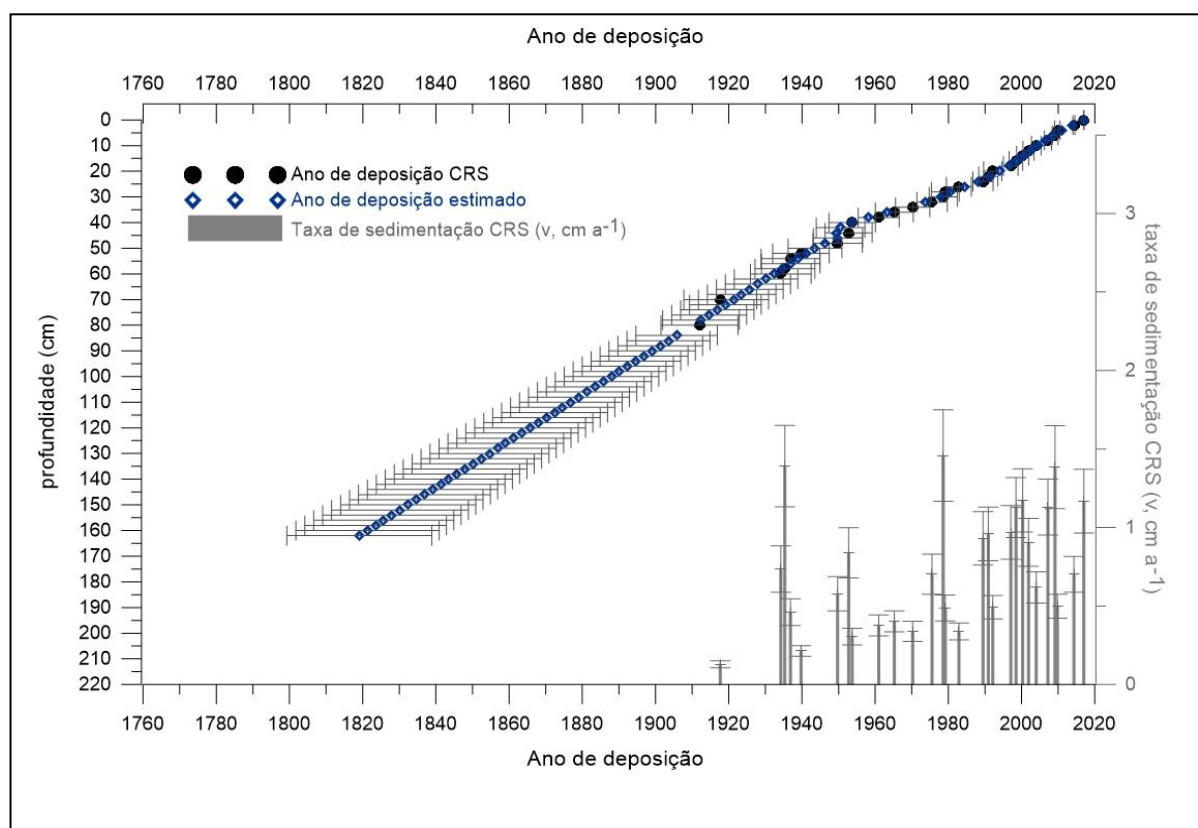


Figura 10: Resultado da geocronologia do registro sedimentar CAT-S. Os anos de deposição obtidos pelo modelo CRS são apresentados em preto, símbolo “◆”, entre 0 cm e 100 cm. Os anos estimados por função polinomial baseado nas idades calculadas pelo modelo CRS estão representados em azul, símbolo “◇”, entre 100 cm e 164 cm. As barras verticais em cinza referem-se à taxa de sedimentação do ^{210}Pb obtida pelo modelo CRS.

5.1.2 CAT-N

Os dados geocronológicos obtidos para o testemunho CAT-N revelam que os 154 cm do registro alcançam os últimos 200 anos. A amostra do topo do registro sedimentar foi considerada o ano da coleta do testemunho, 2017; na profundidade de 100 cm, o ano estabelecido pelo modelo CRS foi de 1894 e a base, 154 cm, o ano de deposição estimado foi de 1821 (Figura 11).

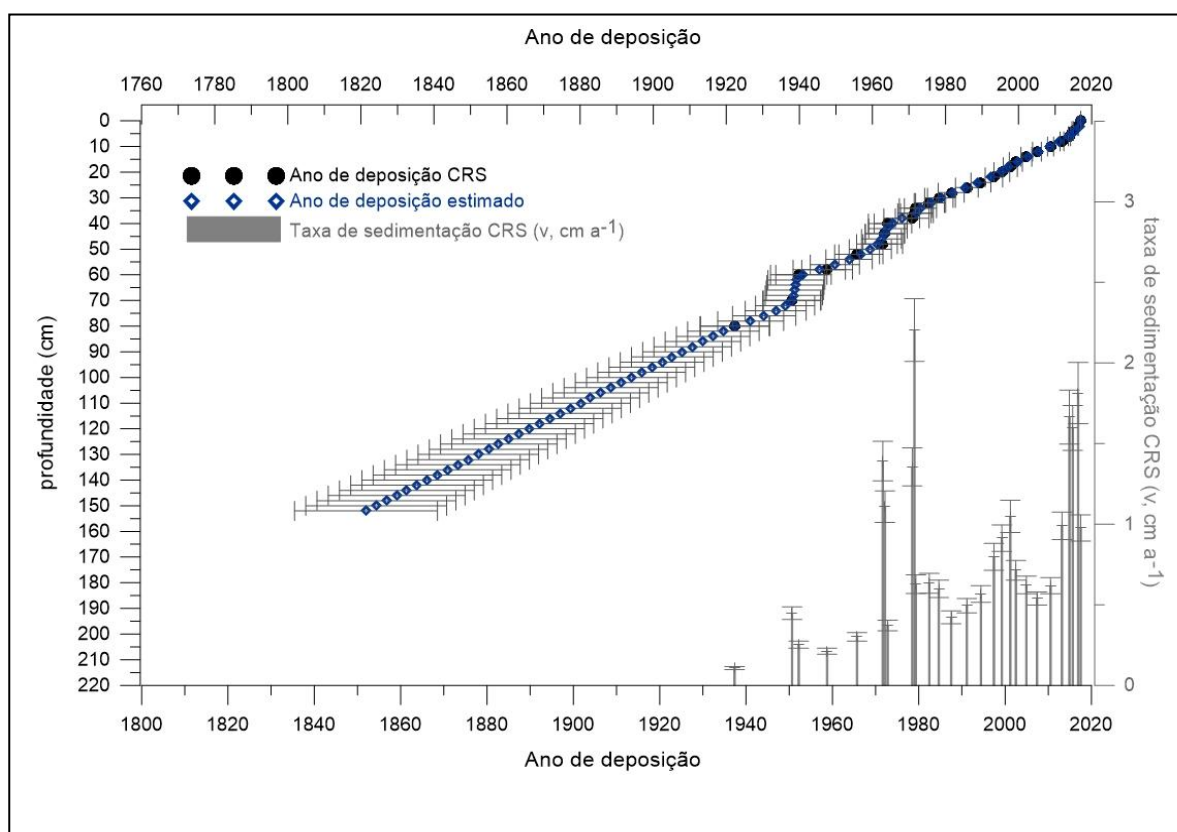


Figura 11: Resultado da geocronologia do registro sedimentar CAT-N. Os anos de deposição obtidos pelo modelo CRS são apresentados em preto, símbolo “◆”, entre 0 cm e 100 cm. Os anos estimados por função polinomial baseado nas idades calculadas pelo modelo CRS estão representados em azul, símbolo “◇”, entre 100 cm e 164 cm. As barras verticais em cinza referem-se à taxa de sedimentação do ²¹⁰Pb obtida pelo modelo CRS.

5.1.3 CAT1

Os dados geocronológicos obtidos para o testemunho CAT1 revelam que os 148 cm do registro alcançam os últimos 250 anos. A amostra do topo do registro sedimentar foi considerada o ano da coleta do testemunho, 2012; na profundidade de 100 cm, o ano estabelecido pelo modelo CIC foi de 1843 e a base, 148 cm, o ano de deposição estimado foi de 1764, com taxa de sedimentação média de $0,58 \text{ cm ano}^{-1}$ (Figura 12).

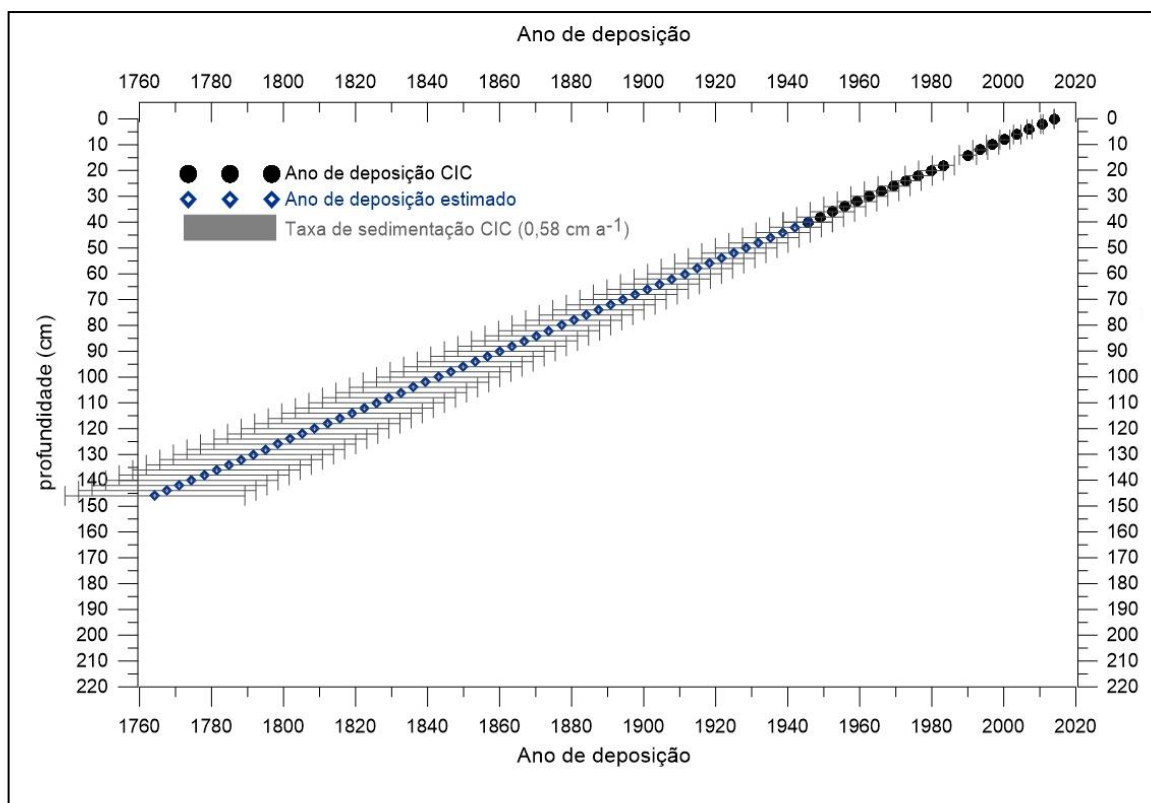


Figura 12: Resultado da geocronologia do registro sedimentar CAT1. Os anos de deposição obtidos pelo modelo CIC são apresentados em preto, símbolo “◆”, entre 0 cm e 100 cm. Os anos estimados por função polinomial baseado nas idades calculadas pelo modelo CIC estão representados em azul, símbolo “◇”, entre 100 cm e 148 cm.

5.1.4 CAT-F

Os dados geocronológicos obtidos para o testemunho CAT-F revelam que os 192 cm do registro alcançam os últimos 240 anos. A amostra do topo do registro sedimentar foi considerada o ano da coleta do testemunho, 2012; em 100 cm, o ano estabelecido pelo modelo CRS foi de 1894 e a base, 192 cm, o ano de deposição estimado foi de 1770 (Figura 13). A Figura 13 exhibe em detalhe os resultados da geocronologia do testemunho CAT-F apresentando a relação dos anos de deposição obtidos ao longo dos 192 cm do registro sedimentar.

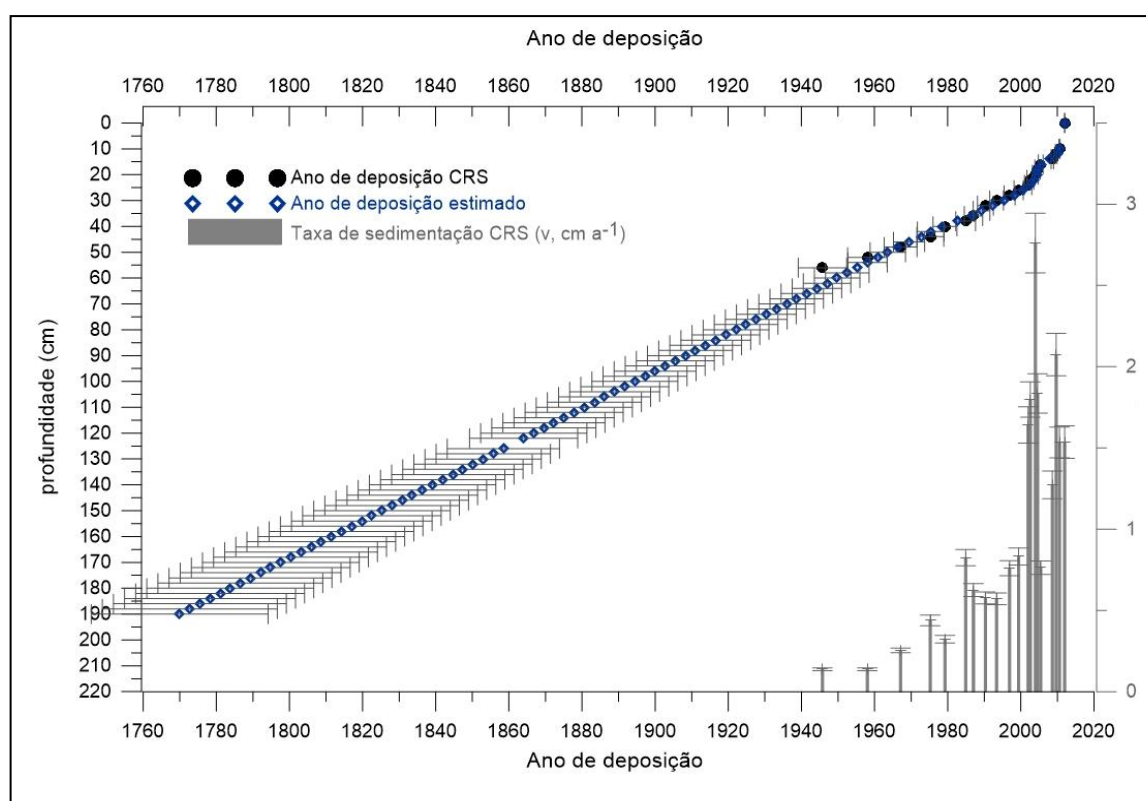


Figura 13: Resultado da geocronologia do registro sedimentar CAT-F. Os anos de deposição obtidos pelo modelo CRS são apresentados em preto, símbolo “◆”, entre 0 cm e 100 cm. Os anos estimados por função polinomial baseado nas idades calculadas pelo modelo CRS estão representados em azul, símbolo “◇”, entre 100 cm e 192 cm. As barras verticais em cinza referem-se à taxa de sedimentação do ^{210}Pb obtida pelo modelo CRS.

5.1.5 TAI

Os dados geocronológicos obtidos para o testemunho TAI revelam que os 210 cm do registro alcançam os últimos 240 anos. A amostra do topo do registro sedimentar foi considerada o ano da coleta do testemunho, 2015; em 100 cm, o ano estabelecido pelo modelo CRS foi de 1901 e a base, 210 cm, o ano de deposição estimado foi de 1777 (Figura 14). A Figura 14 exhibe em detalhe os resultados da geocronologia do testemunho TAI apresentando a relação dos anos de deposição obtidos ao longo dos 210 cm do registro sedimentar.

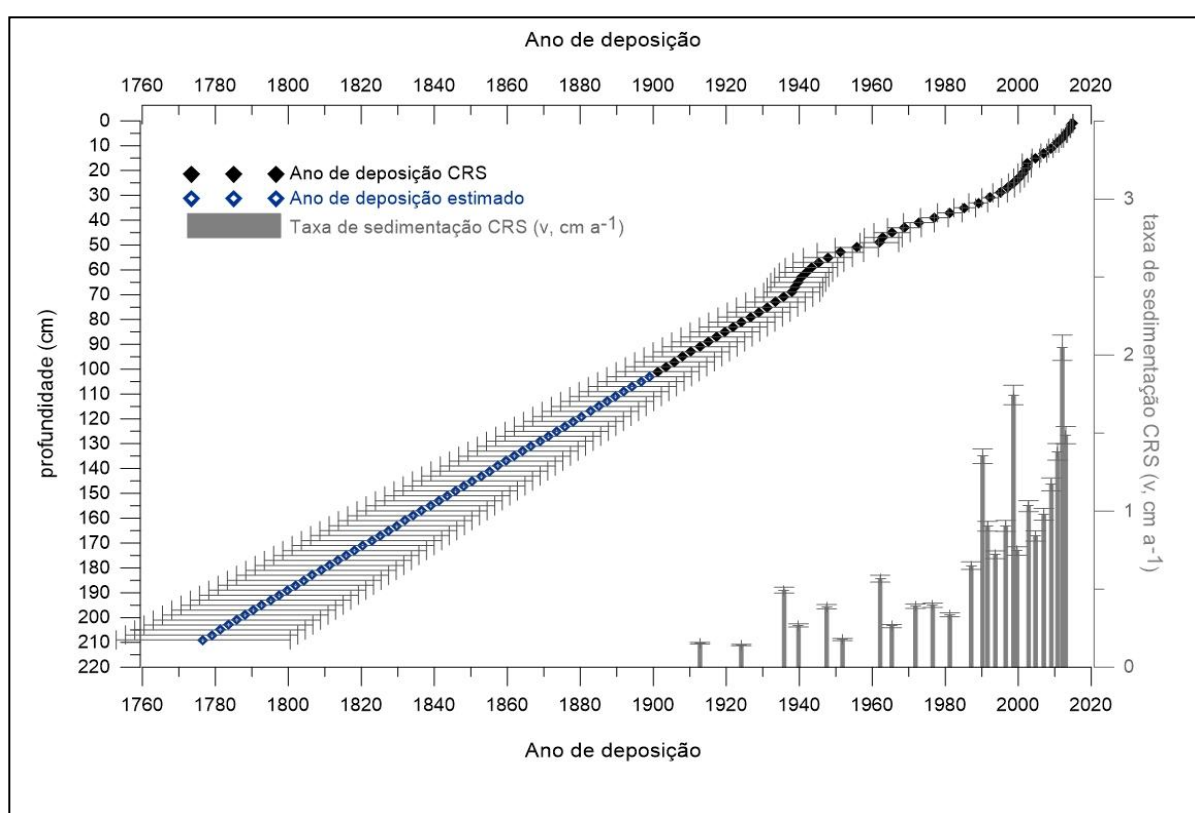


Figura 14: Resultado da geocronologia do registro sedimentar TAI. Os anos de deposição obtidos pelo modelo CRS são apresentados em preto, símbolo “◆”, entre 0 cm e 100 cm. Os anos estimados por função polinomial baseado nas idades calculadas pelo modelo CRS estão representados em azul, símbolo “◇”, entre 100 cm e 164 cm. As barras verticais em cinza referem-se à taxa de sedimentação do ²¹⁰Pb obtida pelo modelo CRS.

A Figura 15 exibe o perfil vertical das taxas de sedimentação (cm ano^{-1}), resultantes dos respectivos modelos aplicados a cada testemunho ao longo dos primeiros 100 cm dos registros sedimentares. Desta forma, é possível observar que os perfis apresentam distribuições semelhantes, com taxa de sedimentação média do testemunho CAT-S de $0,70 \pm 0,12 \text{ cm ano}^{-1}$, do CAT-N de $0,81 \pm 0,07$, do CAT1 de $0,58 \pm 0,00 \text{ cm ano}^{-1}$, do CAT-F de $1,04 \pm 0,07 \text{ cm ano}^{-1}$ e TAI de $0,78 \pm 0,03 \text{ cm ano}^{-1}$, todos com tendência crescente em direção ao presente.

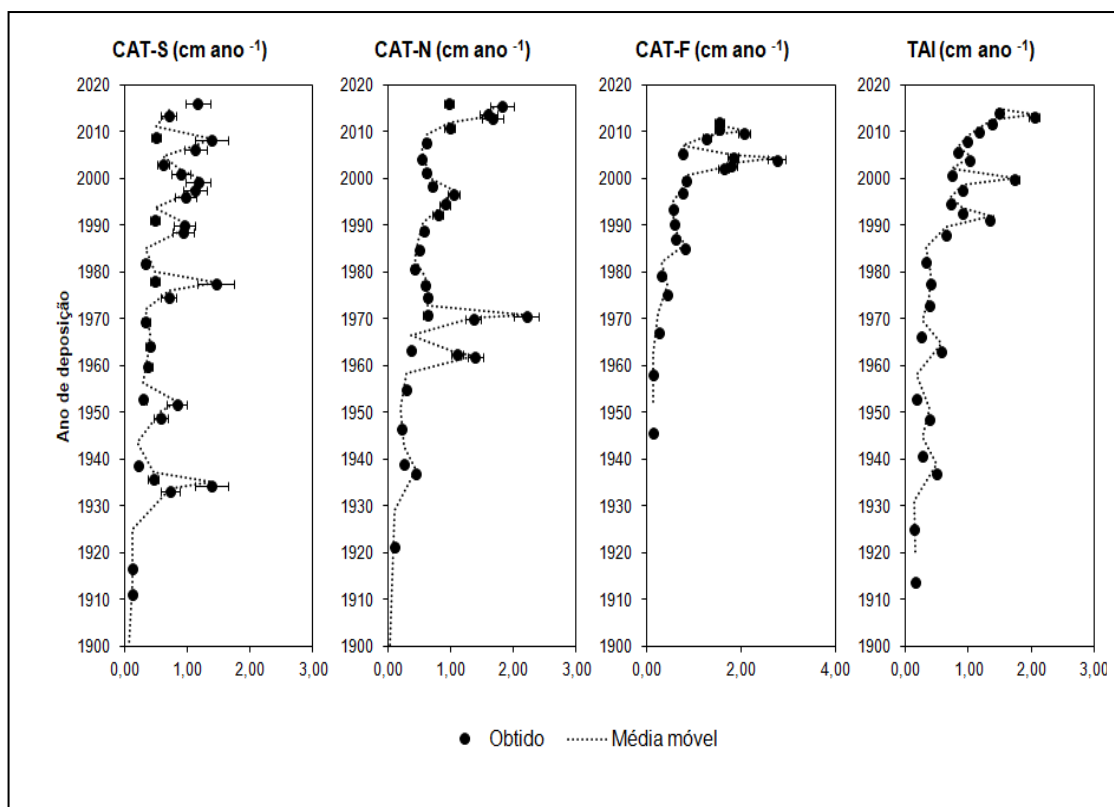


Figura 15: Perfis verticais referentes às taxas de sedimentação (cm ano^{-1}) resultantes do modelo CRS, obtidas a partir dos níveis de ^{210}Pb ao longo dos primeiros 100 cm dos registros sedimentares CAT-S, CAT-N, CAT-F e TAI.

A Figura 16 exibe o perfil vertical referente às taxas de acumulação de massa ($\text{g cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$), obtidas através dos níveis de ^{210}Pb ao longo dos primeiros 100 cm dos registros sedimentares. Os perfis apresentaram os seguintes valores médios de acumulação de massa: CAT-S $0,70 \pm 0,12 \text{ g cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$, CAT-N $0,51 \pm 0,05 \text{ g cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$, CAT-F $1,12 \pm 0,07 \text{ g cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ e TAI $0,73 \pm 0,03 \text{ g cm}^{-2} \text{ a}^{-1}$.

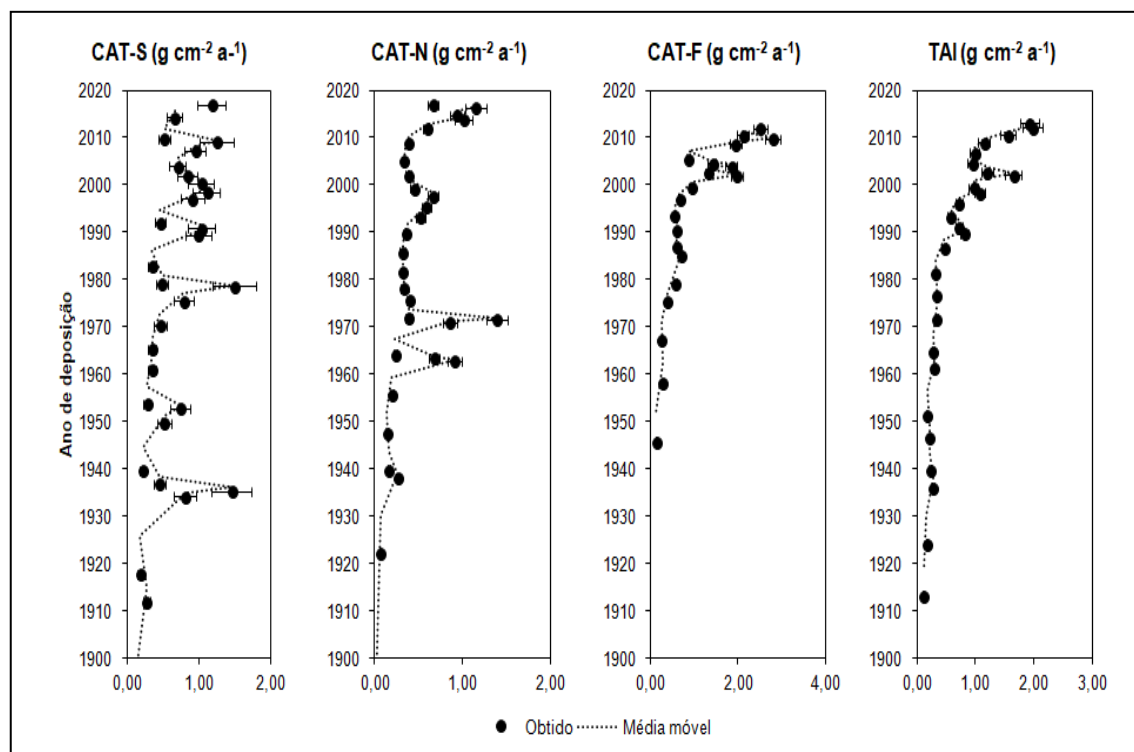


Figura 16: Perfis verticais referentes às taxas de acumulação de massa ($\text{g cm}^{-2} \text{a}^{-1}$) resultantes dos níveis obtidos de ^{210}Pb ao longo dos primeiros 100 cm dos registros sedimentares CAT-S, CAT-N, CAT-F e TAI.

5.2 Conteúdo de Metais

5.2.1 Conteúdo de metais obtidos por digestão total e ICP/OES

As Figuras 17 e 18 apresentam os perfis verticais das concentrações referentes ao conteúdo de metais dos testemunhos CAT1 e TAI obtidos pelo método de digestão total e ICP/OES (Anexo 1).

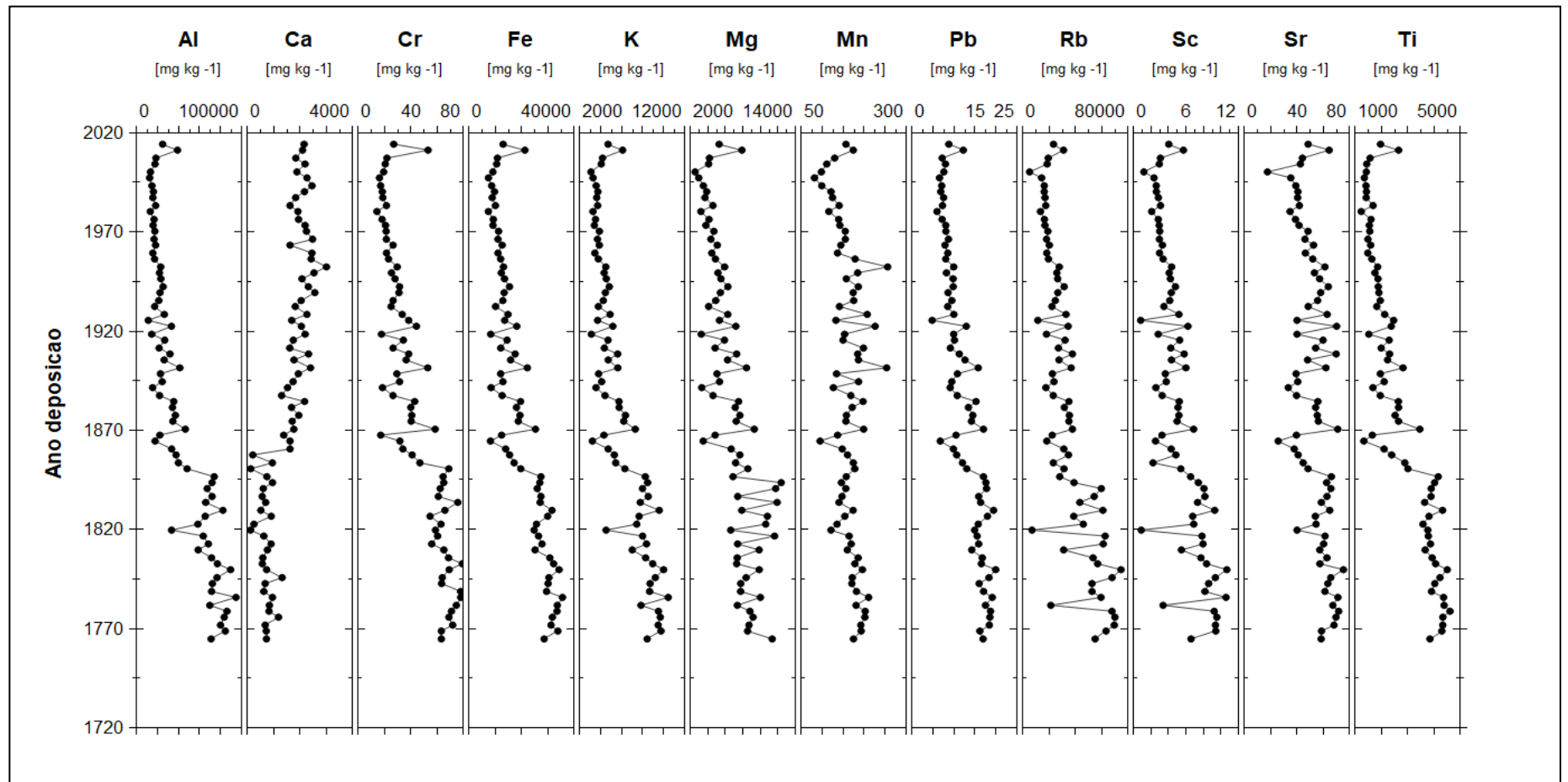


Figura 17: Perfis de concentração (mg kg^{-1}) do testemunho CAT-1 referentes aos elementos Al, Ca, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Pb, Rb, Sc, Sr e Ti obtidos a partir do método de digestão total e ICP/OES.

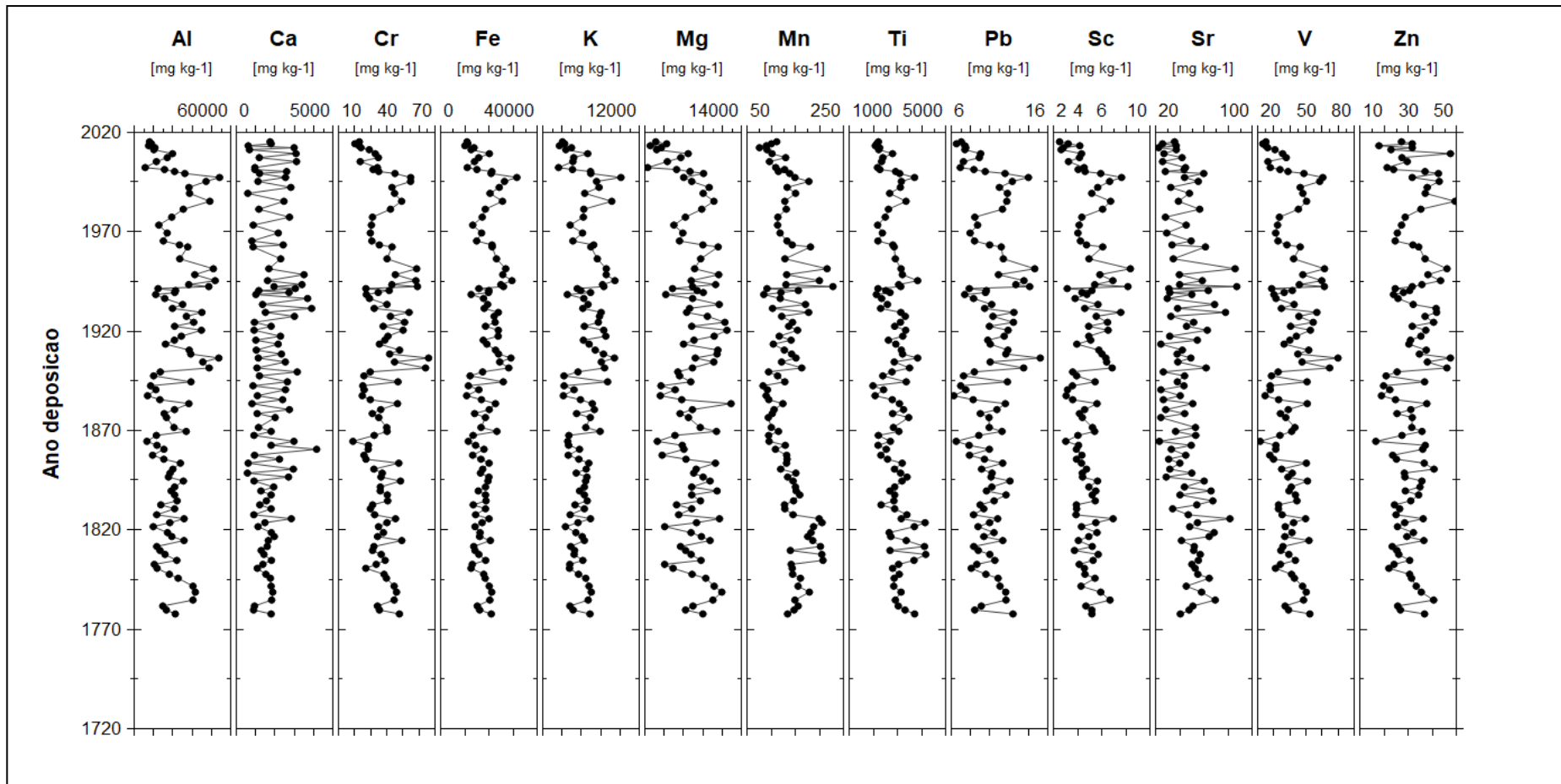


Figura 18: Perfis de concentração (mg kg^{-1}) do testemunho TAI referentes aos elementos Al, Ca, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Ti, Pb, Sc, Sr, V e Zn obtidos a partir do método de digestão total e ICP/OES.

5.2.2 Conteúdo de metais obtido por fluorescência de raios-X portátil

As figuras 19, 20, 21, 22 e 23 apresentam os perfis verticais das concentrações referentes ao conteúdo de metais dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1, CAT-F e TAI, respectivamente, obtidos pelo método de fluorescência de raios-X portátil (Anexo 2).

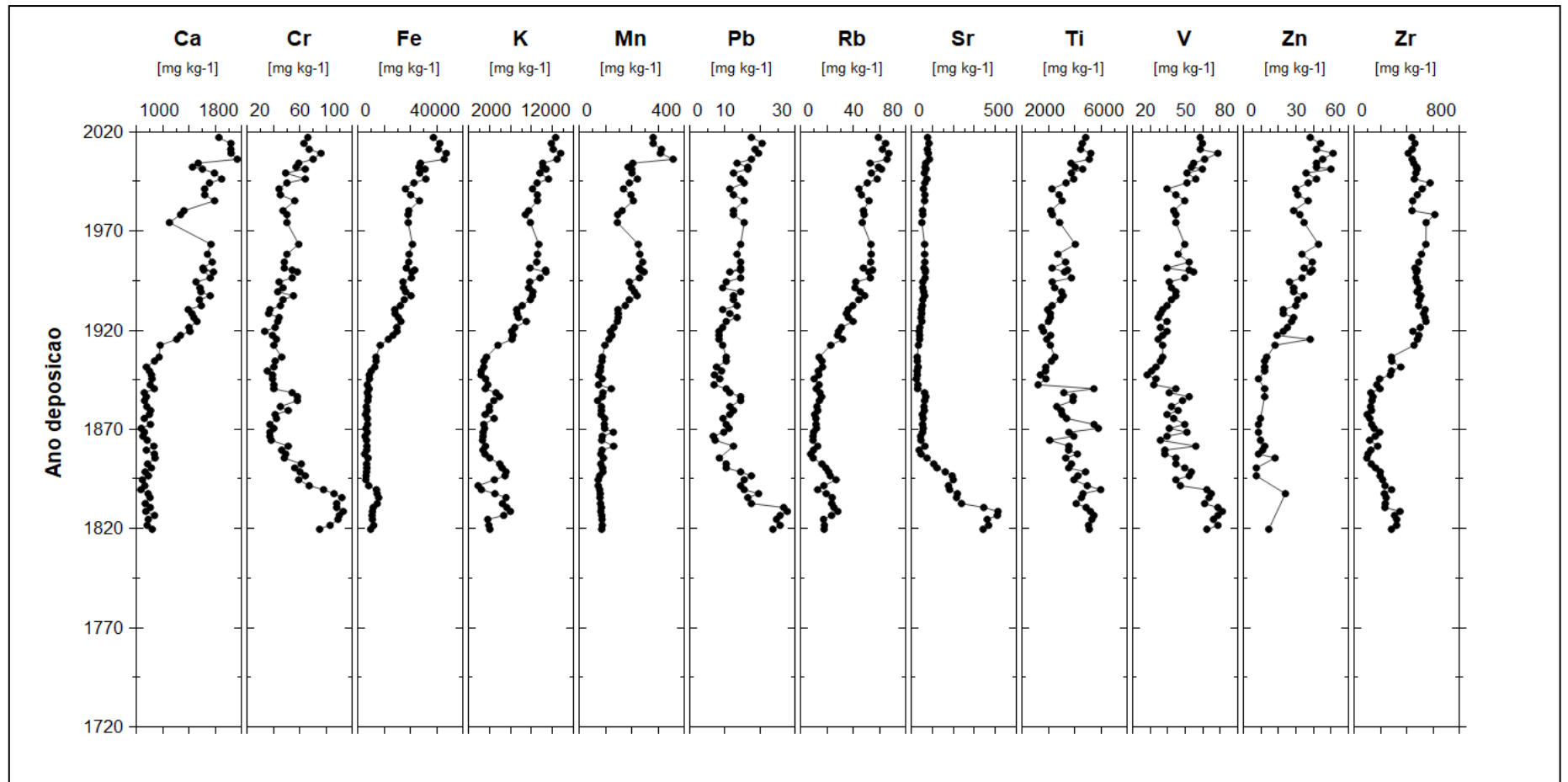


Figura 19: Perfis de concentração (mg kg^{-1}) do testemunho CAT-S referentes aos elementos Ca, Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, Sr, Ti, Sr, V, Zn e Zr obtidos a partir do método fluorescência de raio-X portátil.

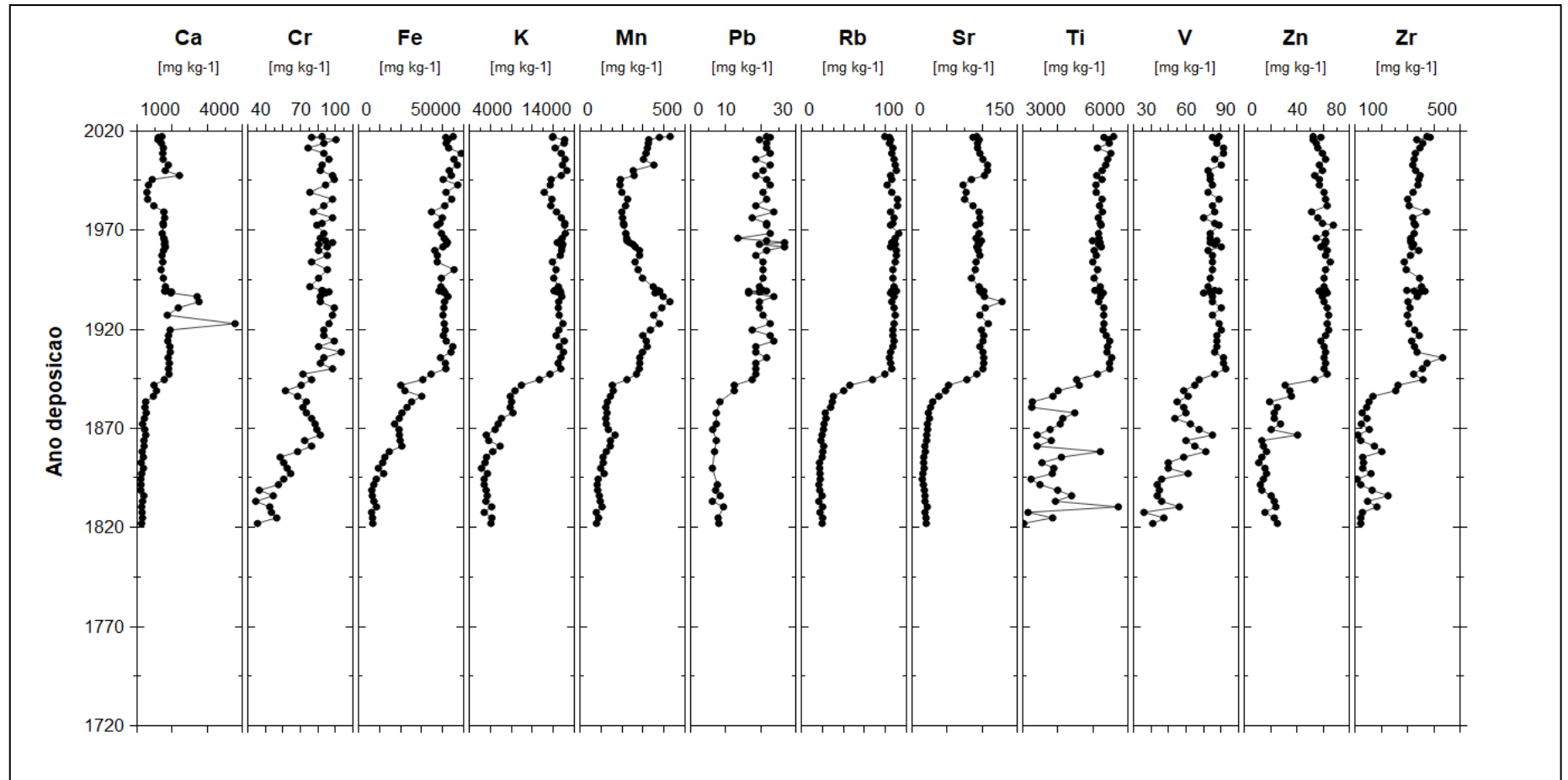


Figura 20: Perfis de concentração (mg kg^{-1}) do testemunho CAT-N referentes aos elementos Ca, Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, Sr, Ti, Sr, V, Zn e Zr obtidos a partir do método fluorescência de raio-X portátil.

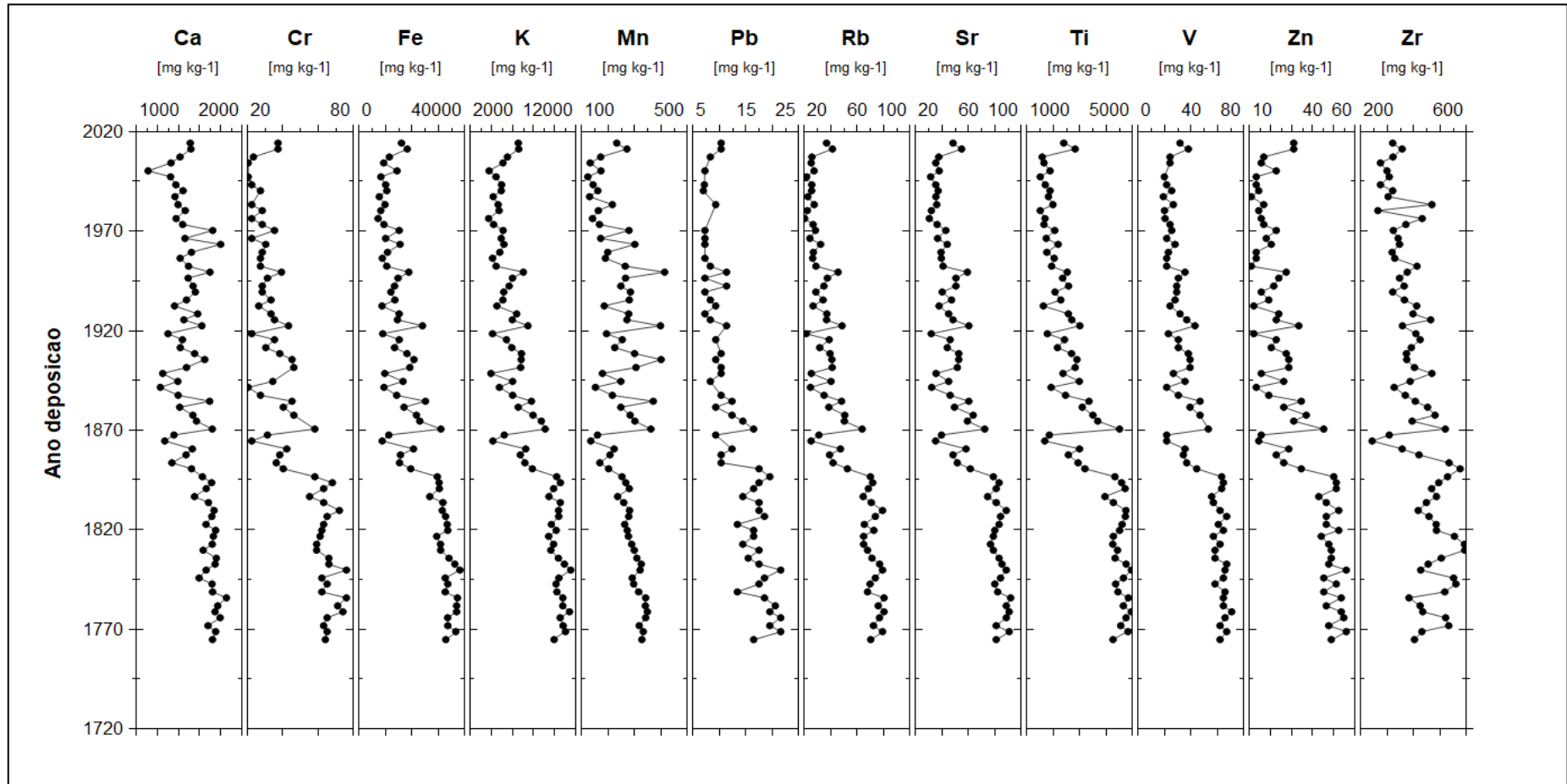


Figura 21: Perfis de concentração (mg kg^{-1}) do testemunho CAT1 referentes aos elementos Ca, Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, Sr, Ti, Sr, V, Zn e Zr obtidos a partir do método fluorescência de raio-X portátil.

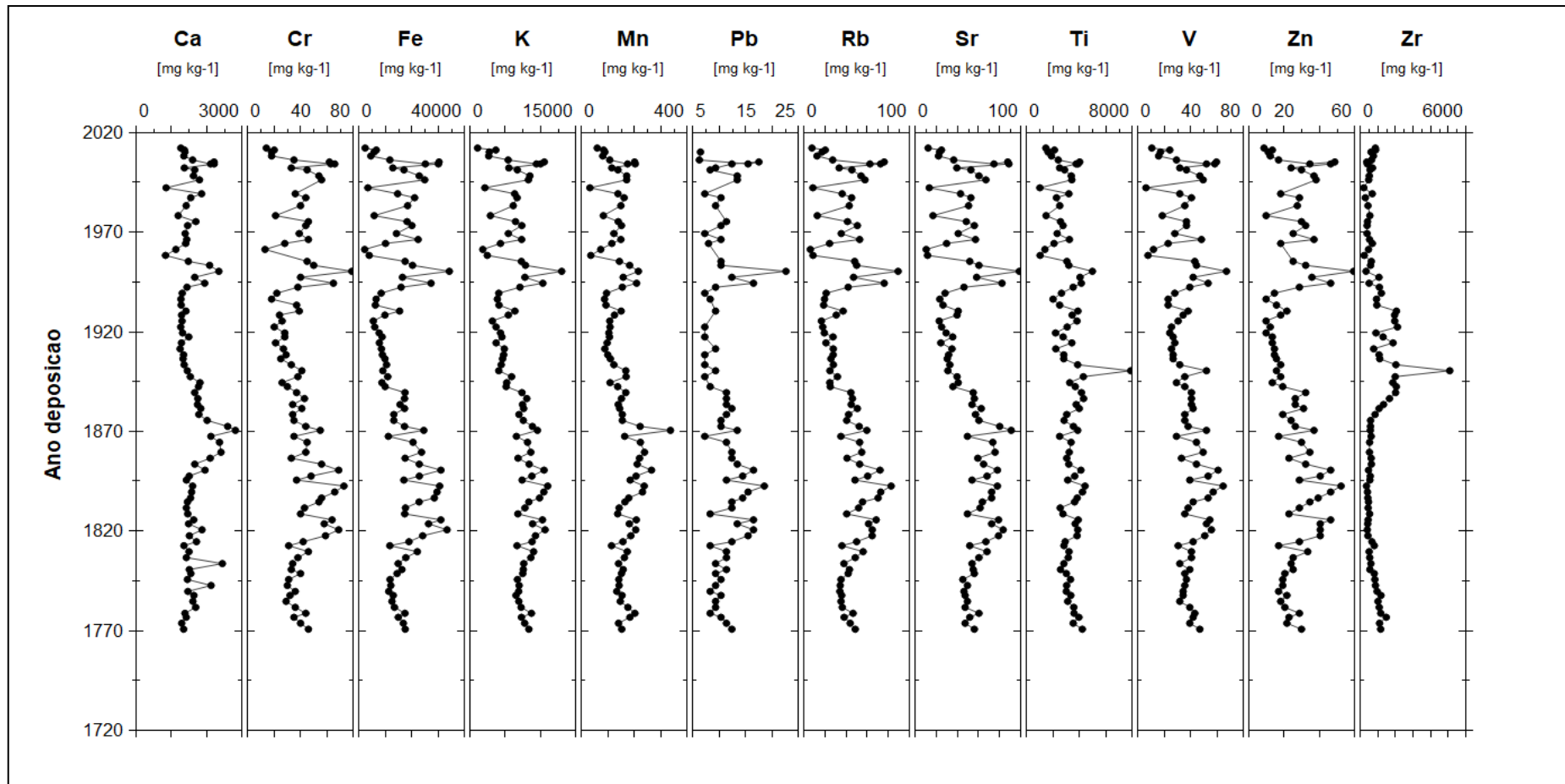


Figura 22: Perfis de concentração (mg kg⁻¹) do testemunho CAT-F referentes aos elementos Ca, Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, Sr, Ti, Sr, V, Zn e Zr obtidos a partir do método fluorescência de raio-X portátil.

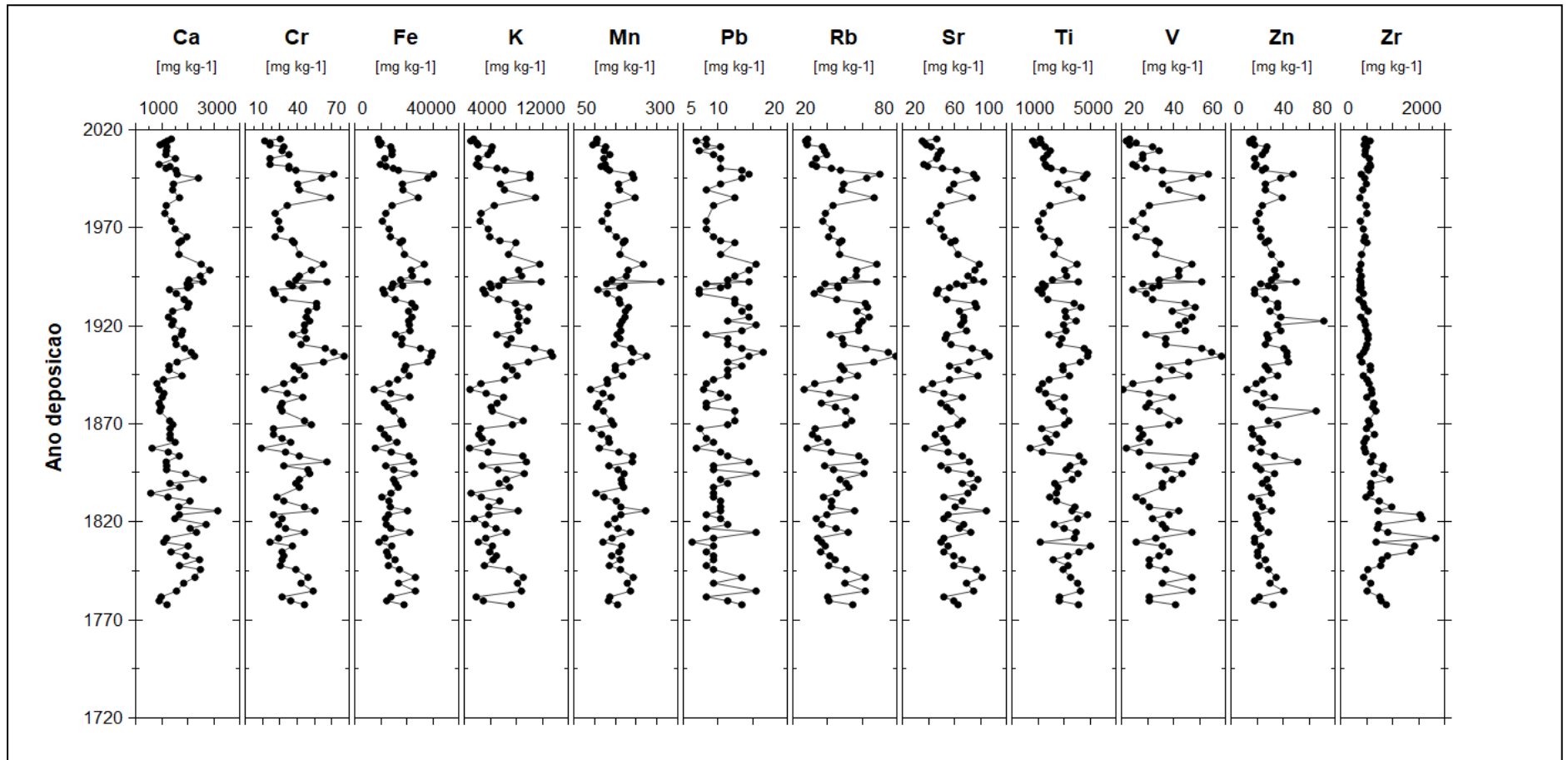


Figura 23: Perfis de concentração (mg kg^{-1}) do testemunho TAI referentes aos elementos Ca, Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, Sr, Ti, Sr, V, Zn e Zr obtidos a partir do método fluorescência de raio-X portátil.

5.3 Conteúdo de CaCO_3

Os perfis referentes ao conteúdo de CaCO_3 (em %) dos testemunhos CAT1 e TAI estão apresentados na Figura 24 (Anexo 3).

No testemunho CAT1, Figura 24 (I), verifica-se que os valores do conteúdo de CaCO_3 variam entre 0,07 % a 9,88 % e apenas um valor acima de 20,00 % no ano estimado de 1833 (profundidade 106 cm). A média obtida para todo o registro sedimentar foi de 4,3 % e desvio padrão de 3,1 %. Adicionalmente, é possível notar uma tendência crescente dos valores do conteúdo de CaCO_3 em direção ao presente.

Para o testemunho TAI, Figura 24 (II), os valores obtidos variaram entre 2,50% e 24,00% de CaCO_3 , sem tendência evidente. A média dos dados obtidos para todo o registro foi de 14,8%, com desvio padrão de 3,9 %. Entretanto, no intervalo entre o ano de deposição 1900 até o presente, é possível notar que a média sofreu alteração, com aumento para 16% e desvio padrão de 4,6 %.

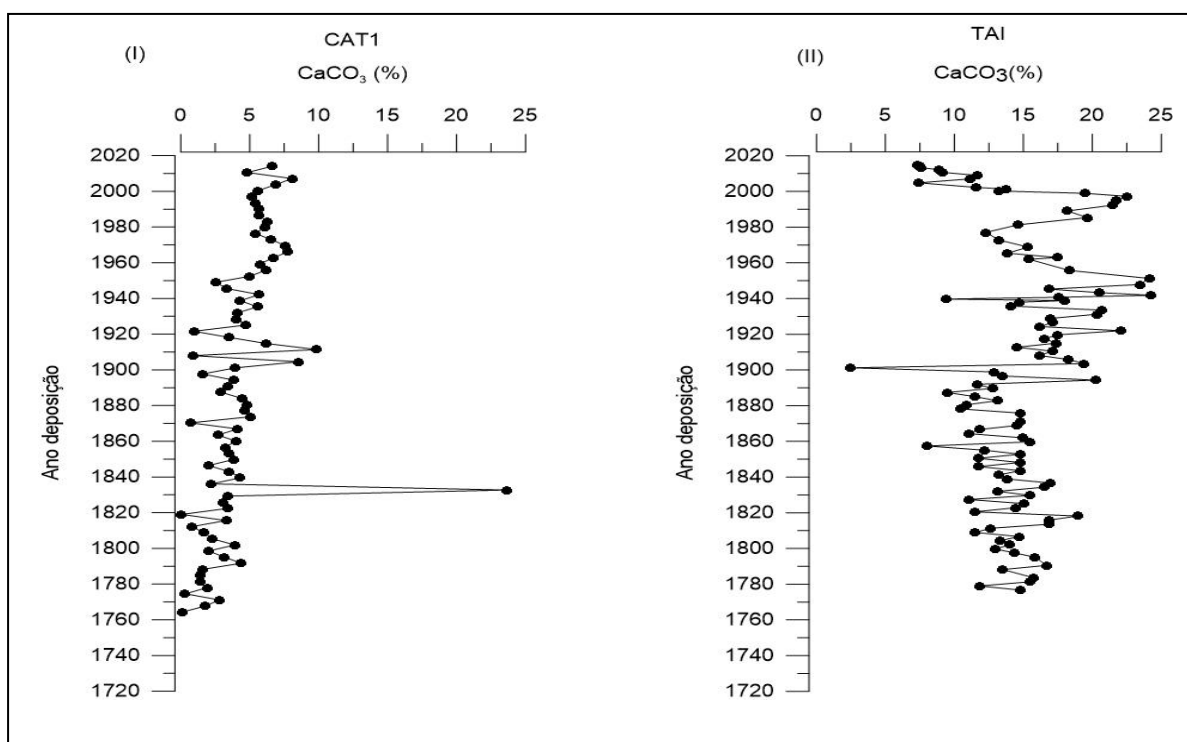


Figura 24: Perfis referentes ao conteúdo de CaCO_3 (em %) dos testemunhos (I) CAT1 e (II) TAI.

5.4 Isótopos Sr e Nd

A Tabela 5 exhibe os valores obtidos de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, $\epsilon\text{Nd}(0)$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e seus respectivos erros referentes a duas amostras de superfície, uma referente à fração de 0-2 cm do testemunho CAT1 e outra amostra, P4, referente ao sedimento de fundo da plataforma interna coletada em frente ao estuário do Caeté.

Tabela 5: Resultados obtidos de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, $\epsilon\text{Nd}(0)$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ referentes as amostras P4 e CAT1 (0-2 cm).

Amostra	Material	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	erro (2s)	$\epsilon\text{Nd}(0)$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	erro (2s)
P4 (Caeté)	Sedimento	0,512072	0,000005	-11,05	0,721749	0,000053
CAT1 (0-2 cm)	Sedimento	0,511682	0,000005	-18,65	0,742560	0,000061

5.5 Difração de raio-X

Foram realizadas análises de difração de raio-X na fração argila, separada por decantação, para identificação da mineralogia em amostras do testemunho CAT1.

A identificação dos grupos de argilominerais foi obtida a partir de três análises da mesma amostra, tendo sido gerados difratogramas de raio-X das amostras no estado natural, glicolada e aquecida.

O grupo da caulinita é identificado com pico próximo à região de 7 Å no estado natural e glicolado. No estado aquecido, o pico do grupo caulinita em 7 Å desaparece. O grupo mica é identificado através do pico próximo à região de 10 Å nos três estados. O grupo das esmectitas diferencia-se dos demais por apresentar mudanças na posição de pico nos diferentes estados. No estado natural, seu pico ocorre próximo à região de 14 Å, no estado glicolado, o pico ocorre na região próxima a 18 Å e, quando aquecida, a 10 Å. Em caso da presença do grupo clorita, a identificação pode ser realizada através do pico na região de 7 Å, iguais nos três estados.

No testemunho CAT1, a análise foi realizada em três amostras distribuídas ao longo do testemunho, sendo elas: topo (0-2 cm), meio (64-66 cm) e base (144-146 cm), Figura 25. As três amostras apresentaram difratogramas semelhantes, constituídas basicamente de caulinita, esmectita e mica.

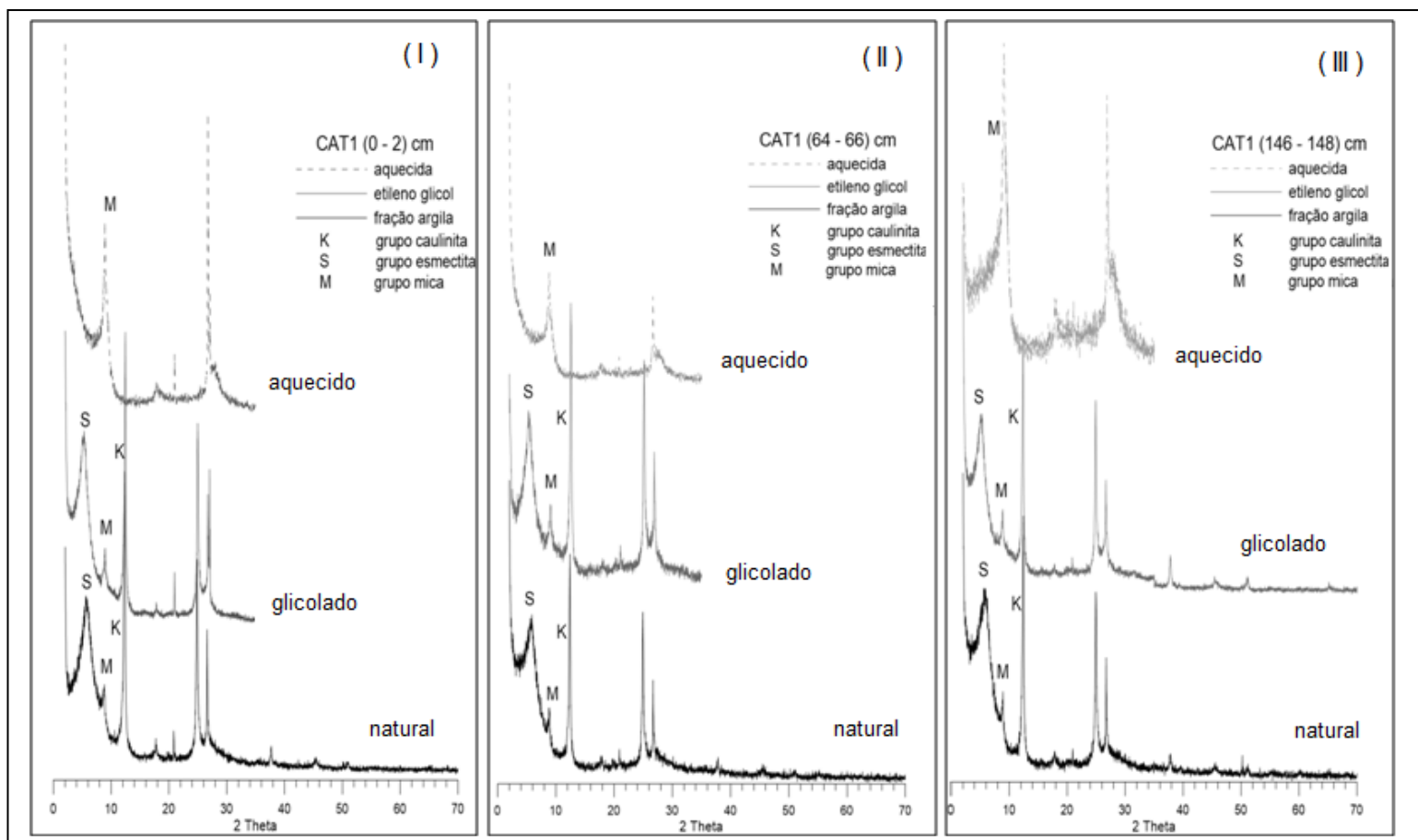


Figura 25: Resultados da análise de difração de raio-X referentes ao testemunho CAT1: onde (I) resultados de topo, amostra de profundidade 0 – 2 cm, (II) resultados do meio, amostra da profundidade 64 – 66 cm e (III) resultados da base, amostra da profundidade 146 – 148 cm.

6 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos de todos os testemunhos permitiram estabelecer uma discussão a partir de diferentes abordagens, sendo elas:

- 1) Avaliação entre conteúdo de metais obtidos pelos métodos de digestão total e ICP/OES, e fluorescência de raios-X portátil;
- 2) Avaliação de teores de metais como indicadores de períodos úmidos na margem equatorial brasileira para os últimos 240 anos e;
- 3) Evolução do aporte de metais na península de Ajuruteua.

6.1 Avaliação entre conteúdo de metais obtido pelo método de digestão total e ICP/OES e conteúdo de metais determinados por fluorescência de raios-X portátil

Nas últimas décadas, as análises multi-elementares se tornaram cada vez mais importantes para a ciência da Terra (Calvert e Pedersen 2007). Com o reconhecimento das mudanças climáticas e crescente preocupação ambiental iniciados em meados de 1980, desencadeou-se um rápido desenvolvimento de instrumentos de alta resolução e precisão que permitiram a geração de um grande conjunto de dados para investigar processos ambientais (Rothwell e Croudace 2015).

A espectrometria de fluorescência de raios-X é um dos métodos mais amplamente aplicados para determinação da composição elementar em amostras geológicas. A evolução da instrumentação relacionada à espectrometria de fluorescência de raios-X permitiu que dados de materiais geológicos começassem a ser obtidos em campo, bem como a bordo de navios de pesquisas (Jansen et al. 1998; Ge et al. 2005; Wien et al. 2005).

Desde o primeiro protótipo de XRF *core scanner*, utilizado pelo *Netherlands Institute of Sea Research* (NIOZ) em 1988 (Jansen et al. 1998), muitas publicações científicas basearam-se no emprego desta técnica apoiando interpretações de registros paleoambientais e paleoceanográficos a partir de registros sedimentares (e.g. Arz et al. 1998; Behling et al. 2000; Arz et al. 2001; Haug et al. 2001; Moreno et al. 2004; Peterson e Haug 2006b; Chiessi et al. 2009; Govin et al. 2012a).

O número de estudos científicos gerados através da análise de XRF *core scanner* de sedimentos aumentou rapidamente na primeira década do século XXI e apresentou crescimento rápido, quase que exponencial após 2005, com a disponibilidade de modelos de alta resolução alcançando escalas submilimétricas, denominados μ XRF (Rothwell e Croudace 2015). Entretanto, são poucos estudos que apresentam e discutem resultados obtidos por dispositivos portáteis de espectrometria de fluorescência de raios-X. Dado este contexto, apresenta-se nesta seção uma avaliação dos resultados obtidos por espectrometria de fluorescência de raios-X portátil em comparação com resultados obtidos por digestão total, determinados por ICP-OES tomando como base, os resultados do testemunho TAI.

Comparando as concentrações dos elementos Cr, Ca, Fe, K, Mn, Pb, Sr, Ti, V e Zn, obtidas por diferentes metodologias, é possível verificar que os resultados destes elementos apresentam equivalência em magnitude, amplitude, bem como variações similares ao longo do testemunho (Figura 26, Tabela 6).

Através do gráfico de dispersão de cada elemento, evidencia-se uma relação linear dos resultados obtidos por ambos os métodos, com exceção do elemento Ca (Figura 27). Embora o gráfico de dispersão do Ca indique uma relação não linear entre os valores obtidos, os resultados obtidos por XRF-p apresentam média e variações semelhantes ao longo do testemunho, além de apresentar intervalo de confiança da média de Ca obtido pelo método de XRF-p contido no intervalo de confiança da média do método de digestão total, calculado com nível de 95% de confiança (Tabela 6).

Desta forma, os resultados provenientes do método de fluorescência de raios-X portátil mostram-se excelentes parâmetros para estudos de reconstruções ambientais em contextos paleoceanográficos e/ou paleoclimáticos. Evidencia-se adicionalmente que o método de digestão total tem como desvantagem maior demanda de tempo para obtenção dos resultados, maior custo de insumos, além de não preservação da amostra.

Em contrapartida, a análise de fluorescência portátil apresenta como vantagem ser não destrutivo, pode-se realizar a análise em amostras sem tratamento prévio e rápida geração de resultados. Como desvantagem, aponta-se a resolução espacial da obtenção dos resultados e maior intervenção do usuário sobre a obtenção dos resultados quando comparado ao XRF *core scanner*.

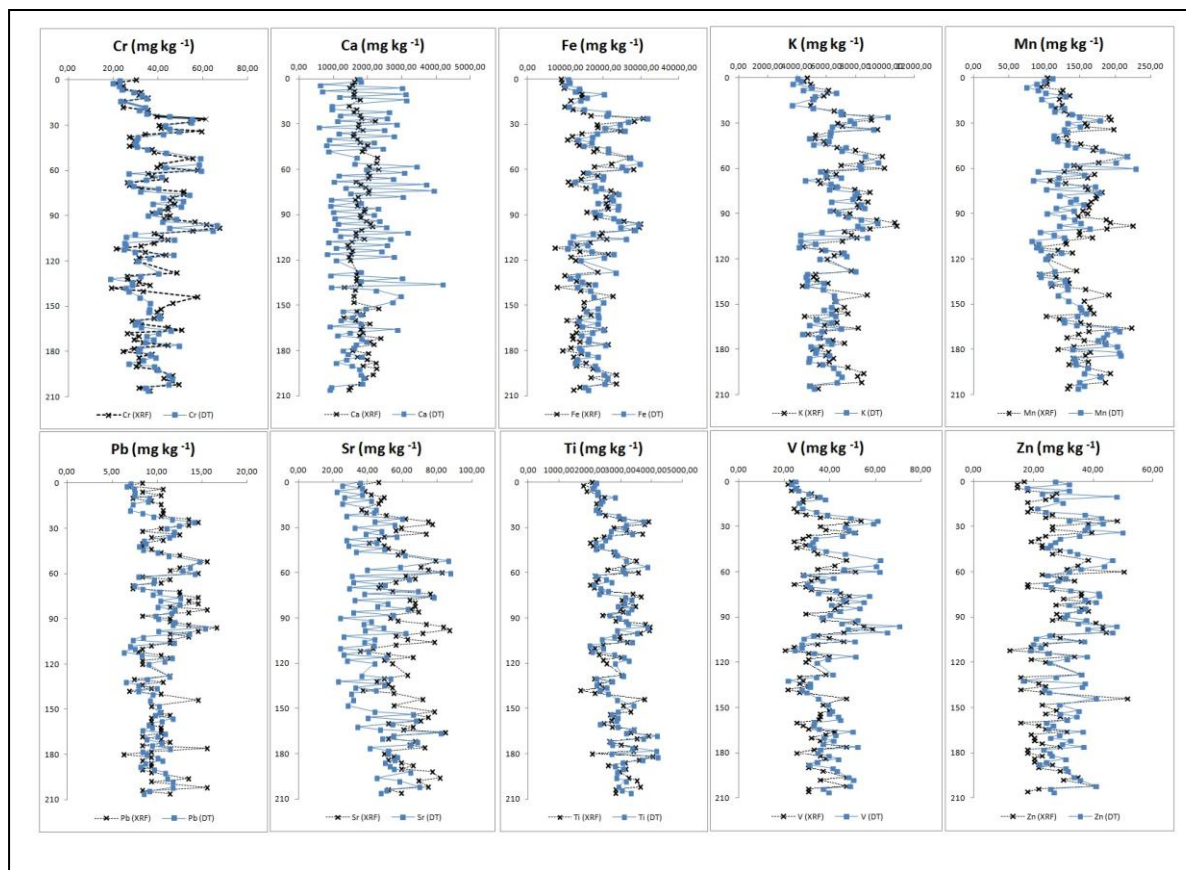


Figura 26: Distribuição dos resultados dos elementos Cr, Ca, Fe, K, Mn, Pb, Sr, Ti, V e Zn expressos em mg kg^{-1} ao longo do testemunho TAI, obtidos pelo método de digestão total e ICP/OES e pelo método de XRF-p.

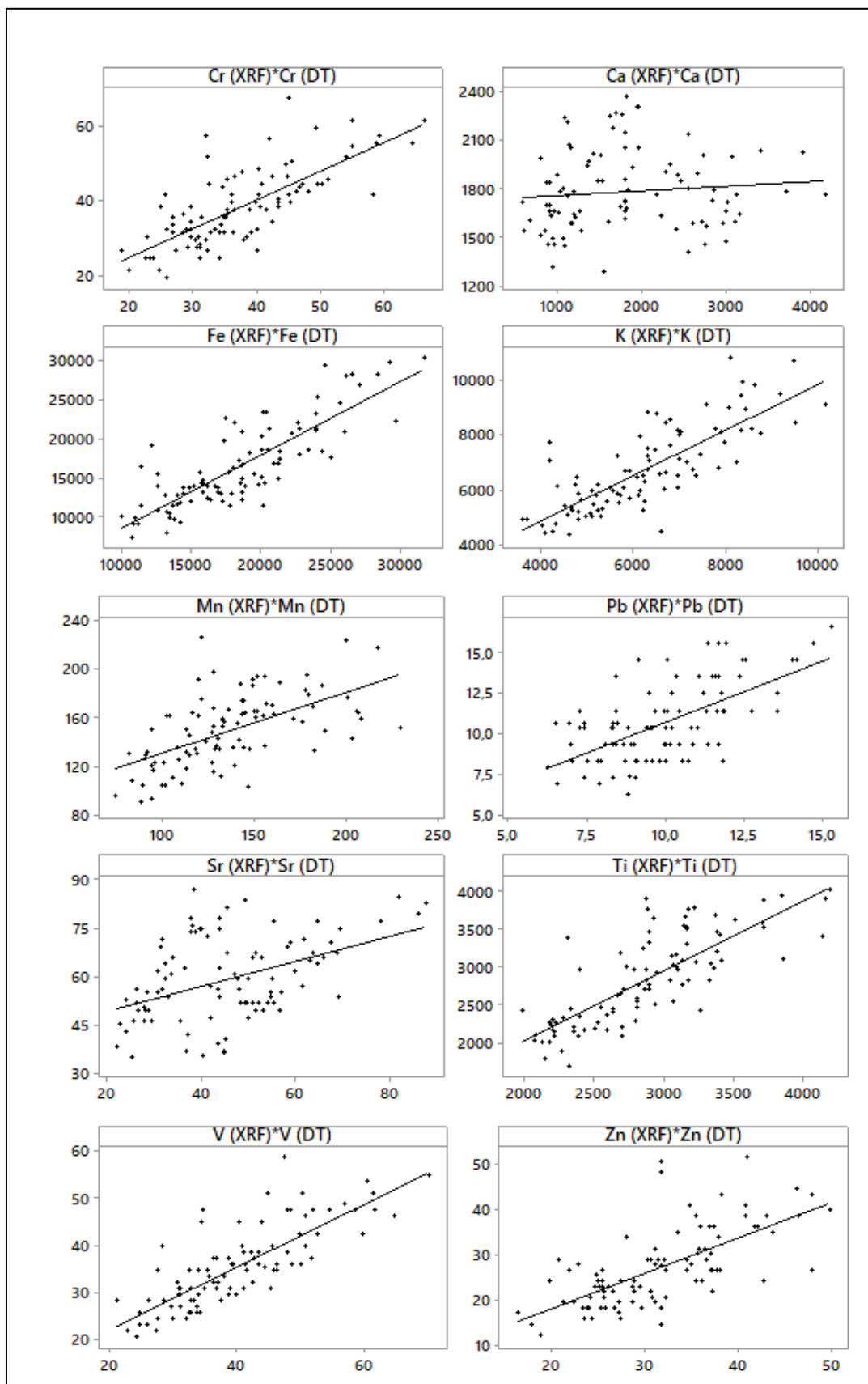


Figura 27: Gráfico de dispersão dos elementos Cr, Ca, Fe, K, Mn, Pb, Sr, Ti, V e Zn obtidos pelos métodos de digestão total e XRF-p, expressos em mg kg^{-1} , ao longo do testemunho TAI.

Tabela 6: Resultados das concentrações dos elementos Cr, Ca, Fe, K, Mn, Pb, Sr, Ti, V e Zn obtidos por digestão total (DT) e fluorescência de raios-X portátil (XRF-p), expressos em mg kg⁻¹. N refere-se ao número de amostras, Min: valor mínimo, Máx: valor máximo, Média, Desvio-Padrão, M Mediana, IC Sup: Limite superior do Intervalo de confiança (IC), IC Inf.: limite inferior do intervalo de confiança.

	Cr (DT)	Cr (XRF)	Ca (DT)	Ca (XRF)	Fe (DT)	Fe (XRF)	K (DT)	K (XRF)	Mn (DT)	Mn (XRF)	Pb (DT)	Pb (XRF)	Sr (DT)	Sr (XRF)	Ti (DT)	Ti (XRF)	V (DT)	V (XRF)	Zn (DT)	Zn (XRF)
N	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93
Min	18,77	19,12	572,32	1284,46	9978,03	7318,74	3601,71	4365,09	74,96	89,35	6,21	6,21	22,11	35,05	1975,83	1686,22	21,25	20,40	16,48	11,96
Máx	66,32	67,43	4180,01	2360,08	31739,10	30443,77	10141,50	10819,39	228,99	225,60	15,27	16,57	87,64	87,08	4187,89	4035,48	70,18	58,66	49,71	51,42
Média	37,36	38,10	1805,09	1780,60	18458,58	16445,26	6256,21	6744,18	137,10	149,40	9,85	10,61	45,78	59,59	2858,80	2833,83	39,88	35,18	31,49	26,82
Desvio padrão	9,99	10,34	843,14	243,71	4846,15	5447,40	1460,40	1521,71	34,34	29,64	1,97	2,37	14,84	12,89	507,87	596,13	10,34	8,56	7,33	8,57
Mediana	35,42	37,24	1740,50	1755,63	18051,00	14910,25	6205,85	6515,32	132,65	150,58	9,63	10,35	44,64	57,32	2863,75	2818,37	38,74	34,43	31,12	26,31
Coef. var	26,73	27,15	46,71	13,69	26,25	33,12	23,34	22,56	25,05	19,84	20,04	22,34	32,41	21,63	17,77	21,04	25,94	24,34	23,28	31,95
IC Sup.	35,32	35,99	1632,80	1730,80	17468,32	15332,14	5957,79	6433,33	130,08	143,34	9,45	10,13	42,75	56,96	2755,02	2712,01	37,77	33,43	29,99	25,07
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IC Inf.	39,40	40,22	1977,38	1830,40	19448,85	17558,39	6554,63	7055,13	144,11	155,46	10,25	11,10	48,84	62,23	2962,57	2955,64	42,00	36,93	32,99	28,57

6.2 Avaliação dos teores de metais como indicadores de períodos úmidos na margem equatorial brasileira para os últimos 240 anos

Esta seção tem como objetivo avaliar as variações do conteúdo de metais em sedimentos como indicadores de períodos mais úmidos na margem continental equatorial brasileira para os últimos 240 anos, através da análise geoquímica do registro sedimentar TAI, coletado na região conhecida como Furo do Taici na Península de Ajuruteua, situado próximo à cidade de Bragança, estado do Pará (Figura 7).

Para atingir este objetivo aplicaram-se técnicas de análises estatísticas como correlação de Pearson, análise de componentes principais e análise de agrupamento no conjunto de resultados de conteúdo de metais obtidos por digestão total e conteúdo de carbonato de cálcio (CaCO_3). As análises estatísticas tiveram como propósito identificar grupos de elementos com comportamentos semelhantes que poderiam ser adotados como indicadores de proveniência dos sedimentos, bem como condições ambientais.

Preliminarmente, foi executada a análise de correlação de Pearson entre os elementos determinados ao longo do testemunho. A Tabela 7 exibe os resultados desta análise e observa-se que todos os elementos apresentaram correlação positiva e significativa entre eles ($p < 0,05$), com exceção do elemento Ca. O Ca apresentou correlação negativa com os elementos As, Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Pb, Sc, Sr, V e positiva com Fe, Mg, K, P, Ti, Zn e CaCO_3 . Os resultados de correlação do elemento Ca com os demais elementos foram todos abaixo de 0,4 e apenas as correlações com os elementos Fe, K, Mn, Sr, Zn e CaCO_3 foram significativas ($p < 0,05$).

Tabela 7: Resultados de correlação de Pearson entre os elementos Al, As, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Pb, Sc, Sr, Ti, V, Zn e CaCO₃.

	Al	As	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	P	Pb	Sc	Sr	Ti	V	Zn	CaCO ₃ (%)
Al		6,32E-19	3,25E-08	0,48662	1,66E-50	4,68E-43	5,15E-24	6,05E-51	1,40E-43	1,95E-16	1,01E-07	5,64E-34	3,54E-42	2,50E-30	4,66E-05	2,68E-09	1,34E-45	4,81E-24	3,67E-12
As	0,74		9,18E-05	0,060751	1,96E-21	1,40E-21	8,89E-16	7,99E-15	6,13E-11	1,27E-09	7,63E-08	1,06E-13	4,69E-18	1,94E-14	1,24E-06	1,74E-06	1,41E-21	3,17E-12	0,000146
Ba	0,52	0,38		0,091862	3,07E-09	4,12E-08	1,88E-08	4,59E-06	2,67E-07	0,000301	1,48E-05	2,21E-07	6,08E-09	2,12E-17	2,30E-11	0,023476	7,22E-08	0,000301	1,45E-05
Ca	0,07	-0,19	-0,17		0,58152	0,17924	0,19498	0,017341	0,002651	0,36464	0,025185	0,52078	0,93421	0,388	5,06E-07	0,90595	0,24208	0,040541	0,028491
Co	0,95	0,77	0,55	-0,06		3,39E-65	2,55E-33	8,19E-40	1,84E-30	2,03E-15	2,29E-11	1,45E-31	1,09E-53	1,38E-33	8,46E-08	1,58E-11	9,91E-69	9,84E-22	3,19E-11
Cr	0,92	0,78	0,51	-0,13	0,97		1,73E-42	7,38E-33	1,55E-25	2,76E-13	3,08E-11	3,90E-28	8,76E-49	5,14E-31	1,54E-08	3,98E-13	1,59E-89	1,81E-19	3,74E-09
Cu	0,80	0,69	0,52	-0,13	0,88	0,92		6,69E-20	8,28E-16	1,12E-08	7,82E-10	4,96E-18	1,73E-29	1,62E-25	1,18E-08	1,93E-11	1,55E-36	3,69E-15	1,43E-08
Fe	0,95	0,68	0,44	0,24	0,91	0,87	0,76		1,61E-64	4,20E-15	3,32E-05	1,09E-36	1,52E-37	4,62E-21	0,041108	6,17E-11	5,79E-34	4,51E-23	6,29E-12
K	0,93	0,59	0,49	0,30	0,86	0,82	0,69	0,97		4,04E-16	0,001048	6,19E-31	7,88E-32	7,99E-19	0,13132	6,32E-10	1,16E-26	4,05E-21	3,70E-12
Mg	0,70	0,56	0,35	0,09	0,69	0,65	0,53	0,68	0,70		1,63E-05	1,17E-10	9,10E-16	1,91E-11	0,00243	3,92E-07	9,07E-15	2,31E-12	1,84E-08
Mn	0,50	0,50	0,42	-0,22	0,60	0,60	0,56	0,40	0,32	0,41		7,36E-05	6,12E-10	3,03E-14	2,89E-18	4,88E-12	1,03E-11	0,00223	0,000124
P	0,88	0,66	0,49	0,06	0,87	0,84	0,73	0,90	0,86	0,59	0,38		4,88E-30	4,02E-21	0,003439	3,32E-07	1,01E-29	6,98E-21	2,05E-11
Pb	0,92	0,73	0,54	-0,01	0,95	0,94	0,85	0,90	0,87	0,69	0,57	0,86		1,33E-27	2,89E-06	4,78E-13	1,43E-53	9,08E-21	3,07E-11
Sc	0,86	0,67	0,72	-0,09	0,88	0,86	0,82	0,77	0,74	0,61	0,67	0,77	0,84		2,23E-14	4,49E-10	1,63E-31	9,10E-14	9,55E-11
Sr	0,39	0,46	0,60	-0,48	0,50	0,53	0,53	0,20	0,15	0,30	0,73	0,29	0,45	0,67		0,024981	1,89E-08	0,026875	0,003293
Ti	0,55	0,46	0,23	0,01	0,61	0,64	0,61	0,59	0,57	0,48	0,62	0,48	0,64	0,57	0,22		2,47E-14	9,38E-06	0,002154
V	0,93	0,78	0,51	-0,12	0,98	0,99	0,90	0,88	0,83	0,68	0,61	0,85	0,95	0,87	0,52	0,67		4,27E-20	1,15E-09
Zn	0,80	0,62	0,35	0,20	0,78	0,75	0,68	0,79	0,77	0,63	0,30	0,77	0,77	0,66	0,22	0,43	0,76		1,34E-06
CaCO ₃ (%)	0,62	0,37	0,42	0,22	0,60	0,55	0,53	0,62	0,62	0,52	0,37	0,61	0,60	0,59	0,29	0,30	0,56	0,46	

Para a identificação dos grupos de elementos com comportamentos semelhantes, foi executada a análise de componentes principais (ACP) dos resultados dos elementos: Al, Ba, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Pb, Sc, Sr, Ti, V e CaCO_3 , utilizando-se a matriz de correlação entre essas variáveis. Nesta análise, o elemento Ca não foi considerado na matriz de dados, pois apresentou correlação não significativa ($p > 0,05$) com a maioria dos demais elementos e os elementos As, Co, Mn, P e Zn também não foram incluídos na ACP a fim de diminuir o efeito de multicolinearidade, visto que estes elementos apresentaram boa correlação com Al e outros elementos.

Como resultado da ACP, obteve-se que as três primeiras componentes explicam 86,0 % da variância total observada no conjunto de dados, sendo que a primeira componente (CP1) corresponde a 69,6 %, a segunda componente (CP2) a 10,2 % e a terceira componente (CP3) a 6,2 % (Figura 28).

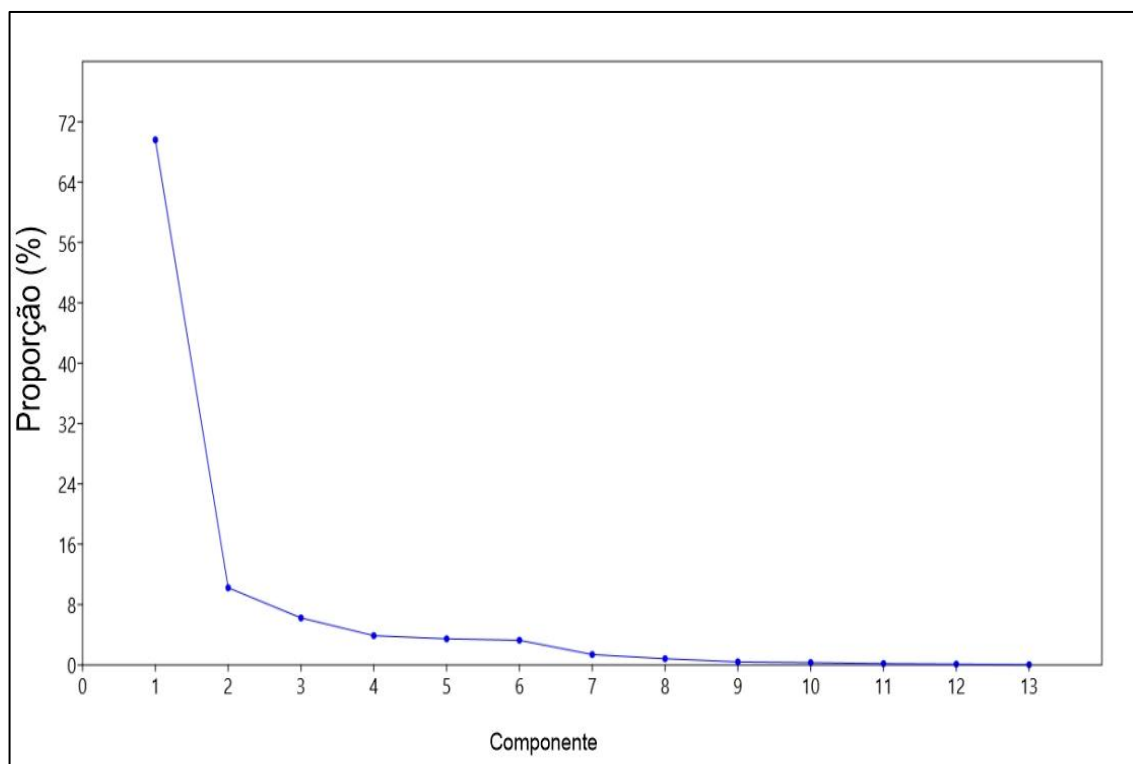


Figura 28: Gráfico *screeplot* dos autovalores em porcentagem dos componentes principais.

Os resultados das correlações entre os elementos, considerados aqui como variáveis, e as componentes principais 1 (CP1), 2 (CP2) e 3 (CP3) são apresentados na Figura 29. Na CP1, os elementos Al, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Pb, Sc e V apresentaram coeficiente de correlação superior a 0,7; na CP2, os elementos Sr e Ba, coeficientes de

correlação 0,8 e 0,6 respectivamente; e na CP3, a variável CaCO_3 coeficiente de correlação 0,5.

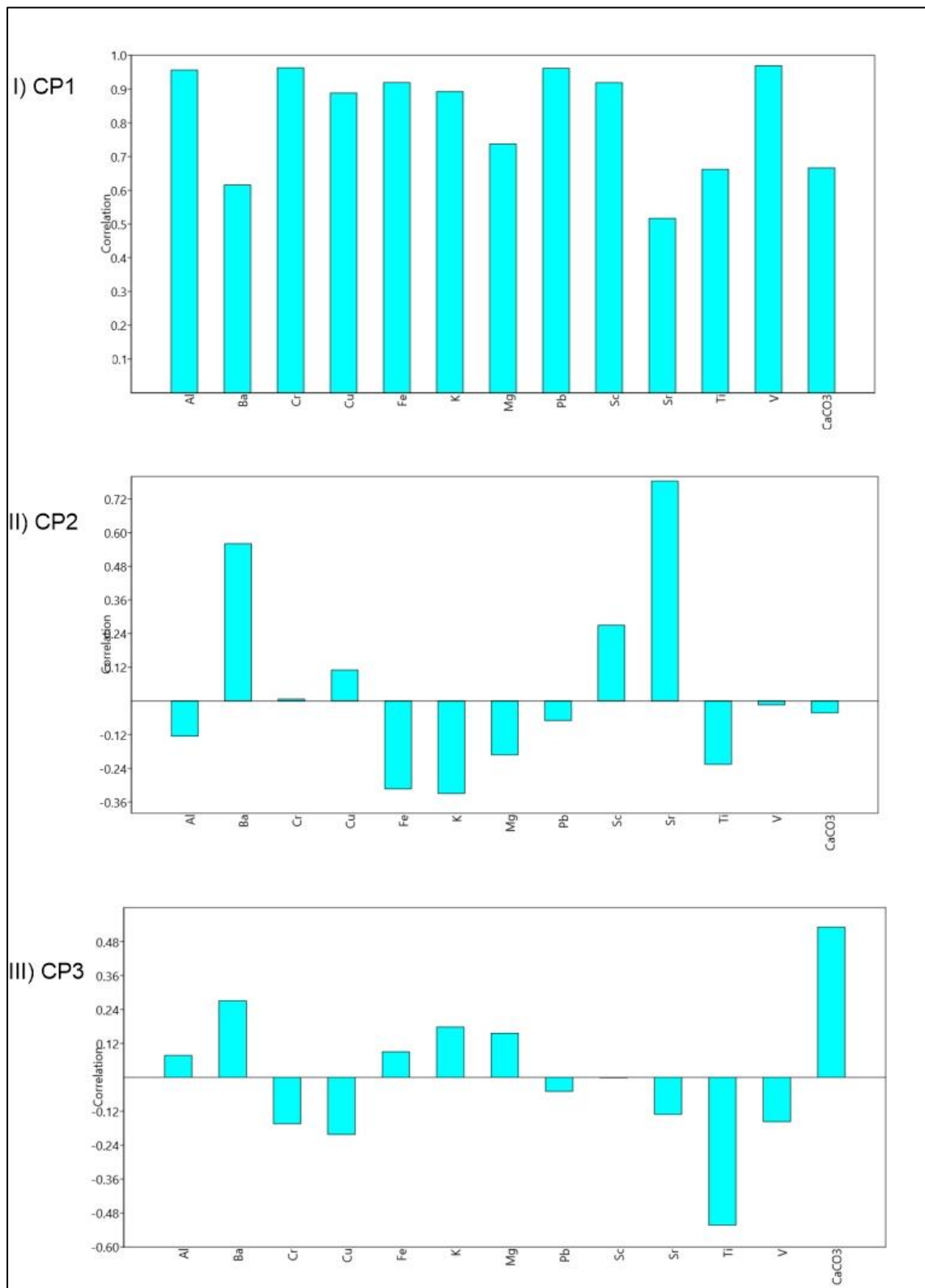


Figura 29: Gráfico de correlação entre elementos e componentes principais 1, 2 e 3.

A Figura 30 exibe o resultado da análise de agrupamento realizada a partir da matriz da correlação entre elementos e todas as componentes principais obtidas na ACP.

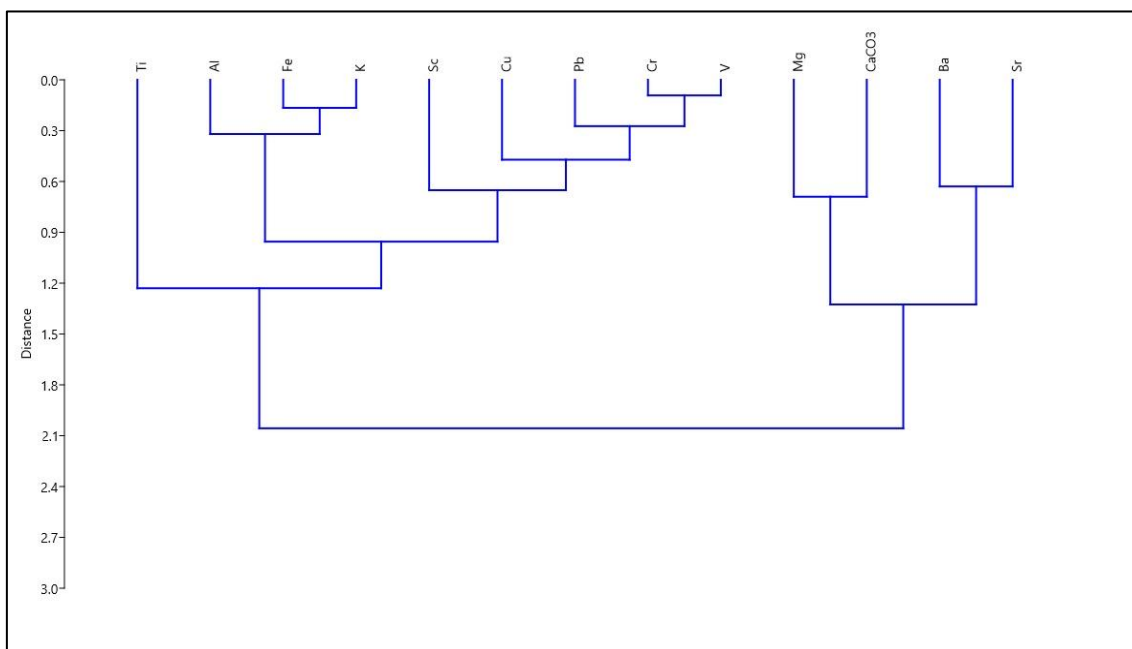


Figura 30: Resultado da análise de agrupamento executada através da correlação entre elementos analisados e todas as componentes principais obtidas na ACP.

A Figura 31 exibe a distribuição da CP1 obtida ao longo do tempo, permitindo observar variações bem marcadas, ora com períodos de valores de CP1 positivos, ora com períodos de valores de CP1 negativos, em intervalos de tempo variáveis, entre 2 e 20 anos (Figura 31).

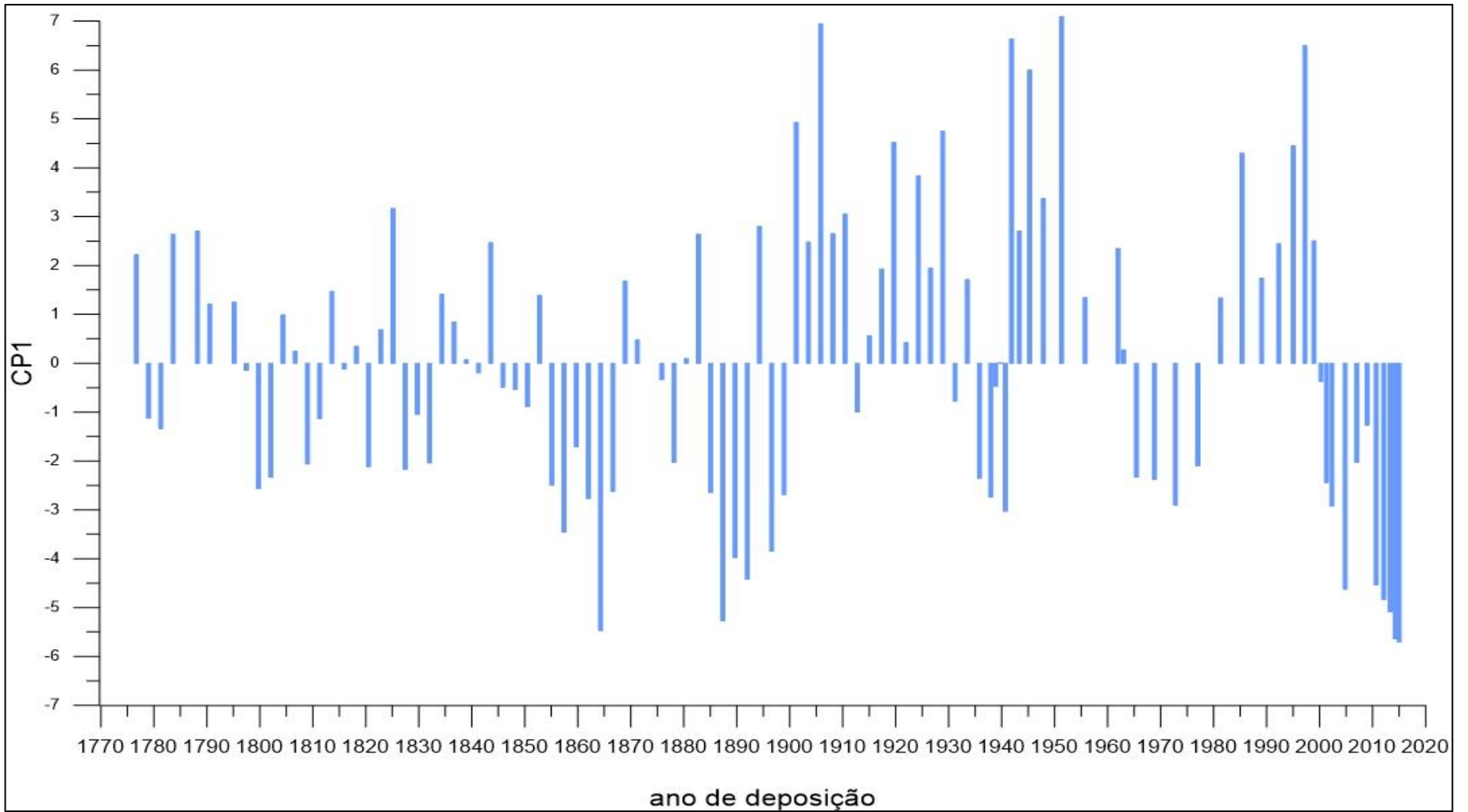


Figura 31: Perfil da distribuição da variância de elementos de proveniência terrígena (CP 1) obtido ao longo do registro sedimentar TAI.

6.2.1 Origem e fonte de sedimento

Os resultados da ACP indicam a existência de grupos de elementos de proveniência semelhantes. Na CP1, destacam-se os elementos Al, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Pb, Sc e V, que apresentaram coeficiente de correlação superior a 0,7 com a respectiva componente (Figura 29). Segundo Calvert e Pedersen (2007) estes elementos apresentam características conservativas e são constituintes de sedimentos de origem terrígena. O resultado da ACP indica que 70 % da variância observada no conjunto de dados original pode ser explicada por este conjunto de elementos. As componentes 2 e 3, CP2 e CP3, apresentaram como elementos mais significativos o Sr e Ba na CP2 e CaCO_3 na CP3. Estes três parâmetros, CaCO_3 , Ba e Sr são geralmente relacionados a sedimentos de proveniência marinha.

O CaCO_3 corresponde a um dos principais componentes biogênicos dos sedimentos marinhos e está presente como composto predominante em esqueletos e carapaças de organismos marinhos como, por exemplo, em conchas e carapaças de foraminíferos (Schneider et al. 2006b). O íon Ca presente na água do mar é fixado como carbonato de cálcio (CaCO_3) na formação das carapaças, tecas ou testas dos organismos. Assim como o Ca, os elementos alcalino terrosos Ba, Mg e Sr também estão associados a carbonatos, formando carbonato de magnésio (MgCO_3), carbonato de estrôncio (SrCO_3), e carbonato de bário (BaCO_3). Além de carbonatos, o Sr e Ba também podem formar sulfato de estrôncio (SrSO_4) e sulfato de bário (BaSO_4) marinhos associados a processos biológicos ou a outros processos, podendo ser observados, por exemplo, em silicatos terrígenos e/ou em estruturas de óxidos ou hidróxidos de Fe, Al e Mn (Gonneea e Paytan 2006; Schneider et al. 2006; Calvert e Pedersen 2007; Paytan 2009; Rothwell e Croudace 2015).

Adicionalmente, os resultados da análise de agrupamento sugerem a existência de dois grandes grupos (Figura 32): o primeiro grupo constituído dos elementos de proveniência terrígena: Ti, Al, Fe, K, Sc, Cu, Pb, Cr e V e outro grupo de proveniência marinha, com os elementos Mg, CaCO_3 , Ba e Sr. Dentro do grupo dos elementos denominados como indicadores de proveniência terrígena também foi possível a identificação de um subgrupo de elementos relacionados a argilominerais: Sc, Cu, Pb, Cr e V e outro, associado a elementos de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (Calvert e Pedersen 2007) (Figura 32). Essa composição de elementos é coerente com a assinatura de material terrígeno do tipo latossolo derivado da Formação Barreiras com

influência marinha e corrobora resultados como os apresentados por da Costa et al. (2004).

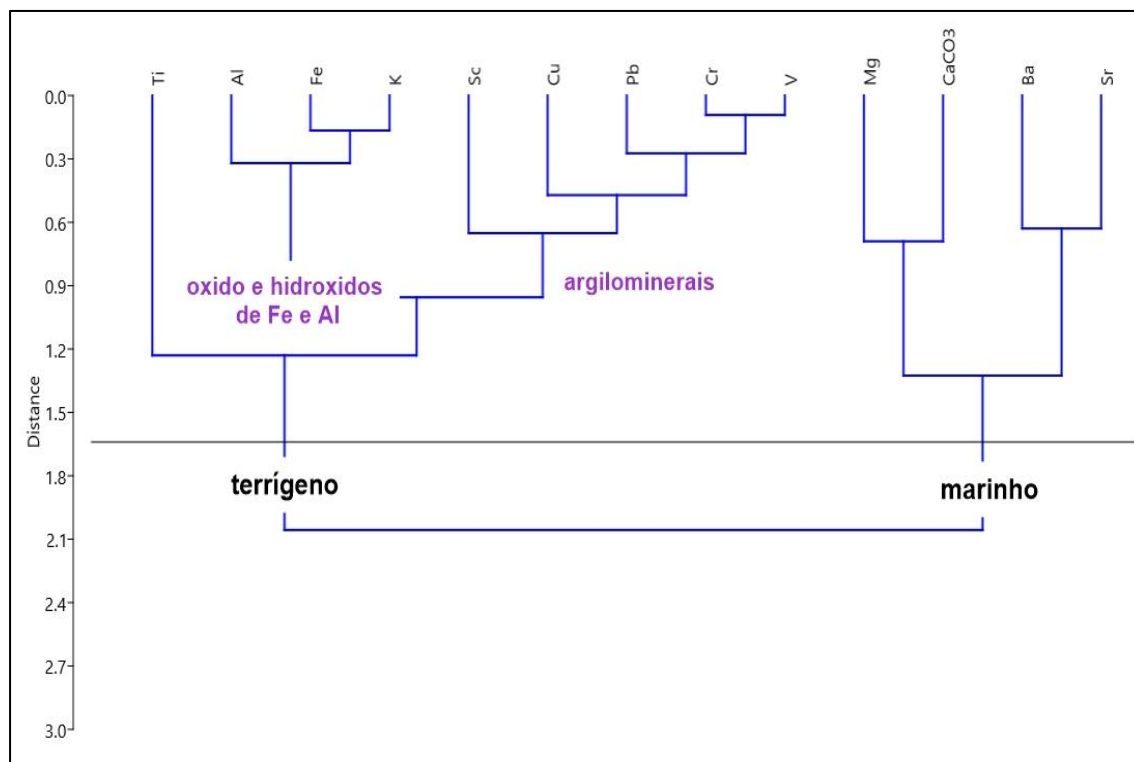


Figura 32: Resultado da análise de agrupamento executada através da correlação dos elementos analisados e todas as componentes principais obtidas na ACP.

Neste contexto, considerando e avaliando o perfil dos resultados do “score” obtido para a CP1 associada aos dados geocronológicos obtidos para o testemunho TAI, é possível relacioná-los à variação do aporte de sedimentos terrígenos ao longo do tempo (Figura 31).

Segundo da Costa et al. (2004), a composição geoquímica e o balanço sedimentar na região de estudo são condicionados pelo clima local que governa o regime hidrológico, a dinâmica de sedimentos e deposição de matéria orgânica. Para avaliar a relação da variação observada em CP1, indicadora de aporte de sedimentos terrígenos, com variações de períodos mais úmidos na região, apresenta-se um diagnóstico dos resultados com dados observados de precipitação no período de 1973 a 2015, e anos de ocorrência de El Niño, La Niña e anos neutros, também conhecidos como eventos ENOS, baseado no índice ONI (*Oceanic Niño Index*). Em seguida, contrapõem-se dados dos resultados da CP1 com eventos ENOS indicados pelo índice MEI.ext (*Extended Multivariate ENSO Index*) para o período de 1871 a 2005. Por

último, uma discussão da série temporal obtida de CP1 de 1777 a 2015, para o registro sedimentar TAI.

6.2.2 Avaliação da variação do CP1 com dados observados de precipitação para o período de 1973 a 2015

A Figura 33 exibe a distribuição da média de precipitação anual normalizada em z da estação de Tracuateua - PA entre os anos de 1973 e 2015 (INMET 2018), com os dados obtidos de CP1 e os anos de eventos ENOS.

Ressalta-se que, na região de estudo, nos anos de La Niña e anos neutros, a precipitação anual média é anormalmente positiva, ou seja, acima da média. Enquanto que, em anos de El Niño, a precipitação é anormalmente negativa, abaixo da média, e corroboram trabalhos como de Garreaud et al. (2009); Grimm e Tedeschi (2009); Poveda e Mesa (1997); Uvo et al. (1998).

Segundo trabalhos como Marengo et al. (1993), Marengo e Espinoza (2016), Marengo e Hastenrath (1993), Reboita et al. (2010), em anos em que ocorre o El Niño, a ZCIT posiciona-se mais ao norte do que sua posição geográfica normal no Atlântico Tropical, o que contribui para uma precipitação abaixo da média na área de estudo.

Observando a Figura 33, é possível verificar que variações negativas da CP1 são coincidentes com anos de menores precipitações anuais médias e anos de ocorrência de El Niño. As variações positivas da CP1 ocorrem em anos de maiores precipitações anuais e anos identificados com eventos de La Niña ou neutros. Alguns anos, por exemplo, 1977, 1989, 1992, 1997, 2000, 2007, 2009, apresentam inversão de sinais entre positivo e negativo da CP1 em relação à precipitação média anual e eventos ENOS.

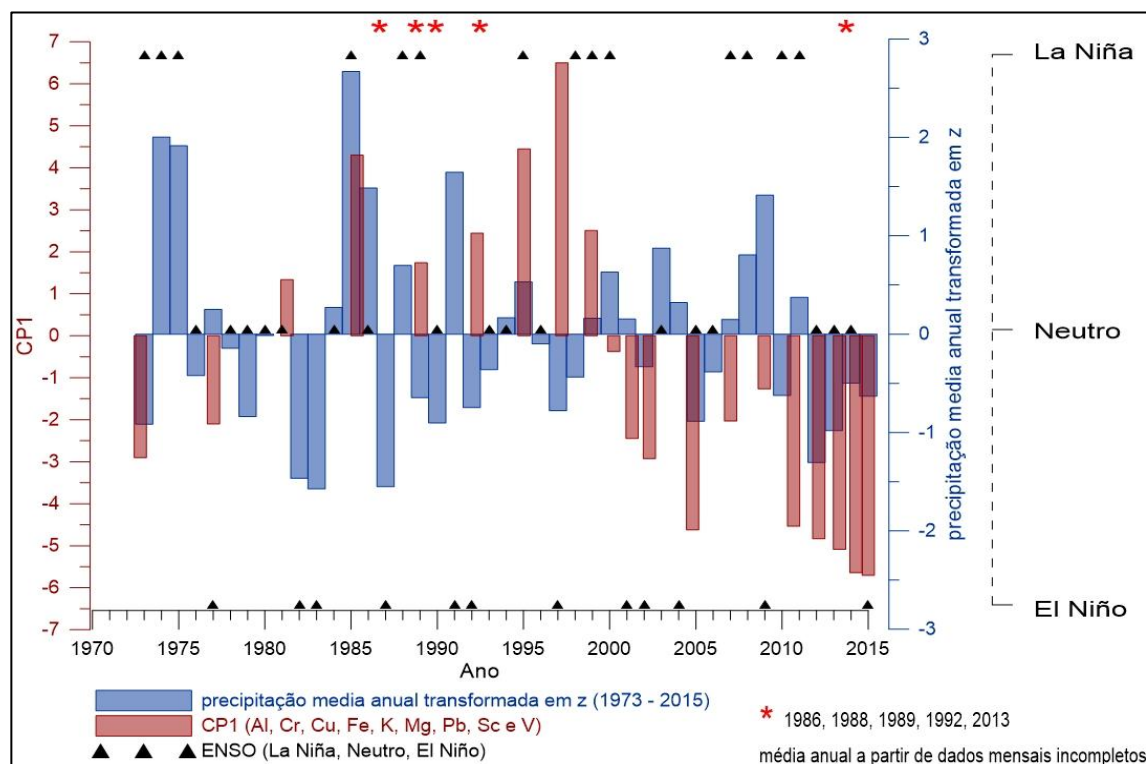


Figura 33: Em ▲, refere-se à série temporal de eventos climáticos El Niño Oscilação Sul (ENOS) classificados a partir do índice ONI disponível em <http://origin.cpc.ncep.noaa.gov>. As barras em azul representam as médias anuais da precipitação transformada em z da estação Tracuateua – PA para o período entre 1973 e 2015. As médias de precipitação anual dos anos com * (1986, 1988, 1989, 1992 e 2013) foram calculados a partir de dados mensais incompletos (INMET 2018). As barras em vermelho, representam a distribuição da variância dos elementos de proveniência terrígena (CP1) obtido ao longo do registro sedimentar TAI para os anos entre 1973 e 2015.

Os anos de 1977 e 2007 aparentam situações semelhantes, ambos apresentando valores negativos de CP1, precipitação média positiva e, consecutivos a anos de déficit de precipitação. Já os anos de 1989 e 1992, exibem valores positivos de CP1 associados à precipitação negativa e posteriores a anos de precipitação acima da média. Estes dois cenários podem ser associados a uma possível existência de um atraso no tempo do sinal da CP1, componentes terrígenos, em relação ao regime de precipitação. Este atraso temporal poderia ser associado a processos de transporte dos sedimentos, deposição das partículas, ou ainda, tempo necessário para a sedimentação das partículas na região de estudo. Entretanto, estes atrasos temporais da CP1 não ocorreram de forma genérica e sequencial, mas apenas pontualmente, nos anos citados.

Embora nesta série temporal de 42 anos, de 1973 a 2015, a maioria dos sinais de CP1, precipitação média e eventos ENOS sejam coincidentes com o esperado, anos de El Niño (La Niña e neutros) com menores (maiores) valores de precipitação e CP1, verifica-se a existência de anos anômalos como, por exemplo, 1997, 2000, 2007 e 2009. Tais anomalias sugerem a importância de outros fatores, como por exemplo, a configuração dos cenários referente às anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM), anomalias do Atlântico Tropical Sul (ATS) ou Atlântico Tropical Norte (ATN), que poderiam estar acentuando ou desintensificando anomalias referentes ao ciclo hidrológico da região (Uvo et al. 1998; Reboita et al. 2010; Cavalcanti 2012).

6.2.3 Avaliação da variação do CP1 com dados reconstruídos de eventos ENOS no período de 1871 a 2005

Para avaliação dos resultados de CP1 em um contexto de escala de maior tempo (Figura 40), utilizou-se o índice MEI.ext, que abrange o período de 1871 a 2005 (Wolter e Timlin 2011). Em 134 anos, 90% dos resultados de CP1 apresentaram valores positivos em anos identificados como La Niña e neutro pelo índice MEI.ext, e valores negativos de CP1 concomitantes a anos de El Niño (Figura 34). O mesmo comportamento das variações de CP1 também foi observado para o período mais recente entre os anos de 1973 e 2015 (Figura 33). Apenas 7% dos anos (1885, 1887, 1890, 1892, 1915, 1936, 1938, 1939 e 2001) apresentaram relação inversa do cenário esperado com valores de CP1 negativos em anos considerados neutro ou La Niña e 3% dos anos (1951, 1992, 1995 e 1997), valores positivos de CP1, em anos de El Niño. Essas inversões poderiam estar refletindo diferentes situações de anomalias de TSM do Atlântico Tropical (Reboita et al. 2010).

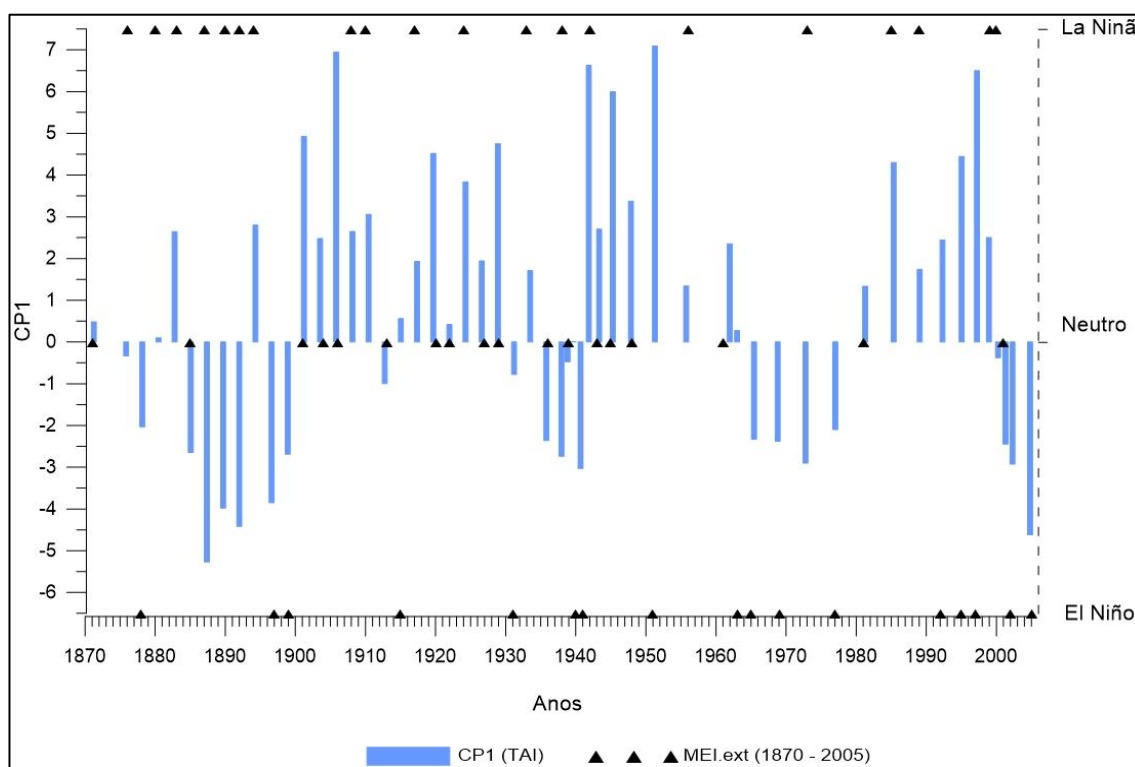


Figura 34 ▲▲▲ Série temporal de anos El Niño Oscilação Sul (ENOS) classificados a partir do índice MEI.ext (Wolter e Timlin 2011) de 1871 a 2005.

■ Perfil da distribuição da variância dos elementos de proveniência terrígena (CP 1) obtido ao longo do registro sedimentar TAI para os anos entre 1871 a 2005.

6.2.4 CP1 ao longo do testemunho TAI

No contexto apresentado, após avaliação do CP1 em conjunto com dados observados de precipitação da região de estudo e índices ONI e MEI.ext, é possível relacionar a série temporal de CP1 obtida para o testemunho TAI com períodos de aporte de sedimentos terrígenos, associados a períodos úmidos ou secos na região, onde valores negativos de CP1 indicariam períodos secos, e valores positivos de CP1, períodos mais úmidos (Figura 35).

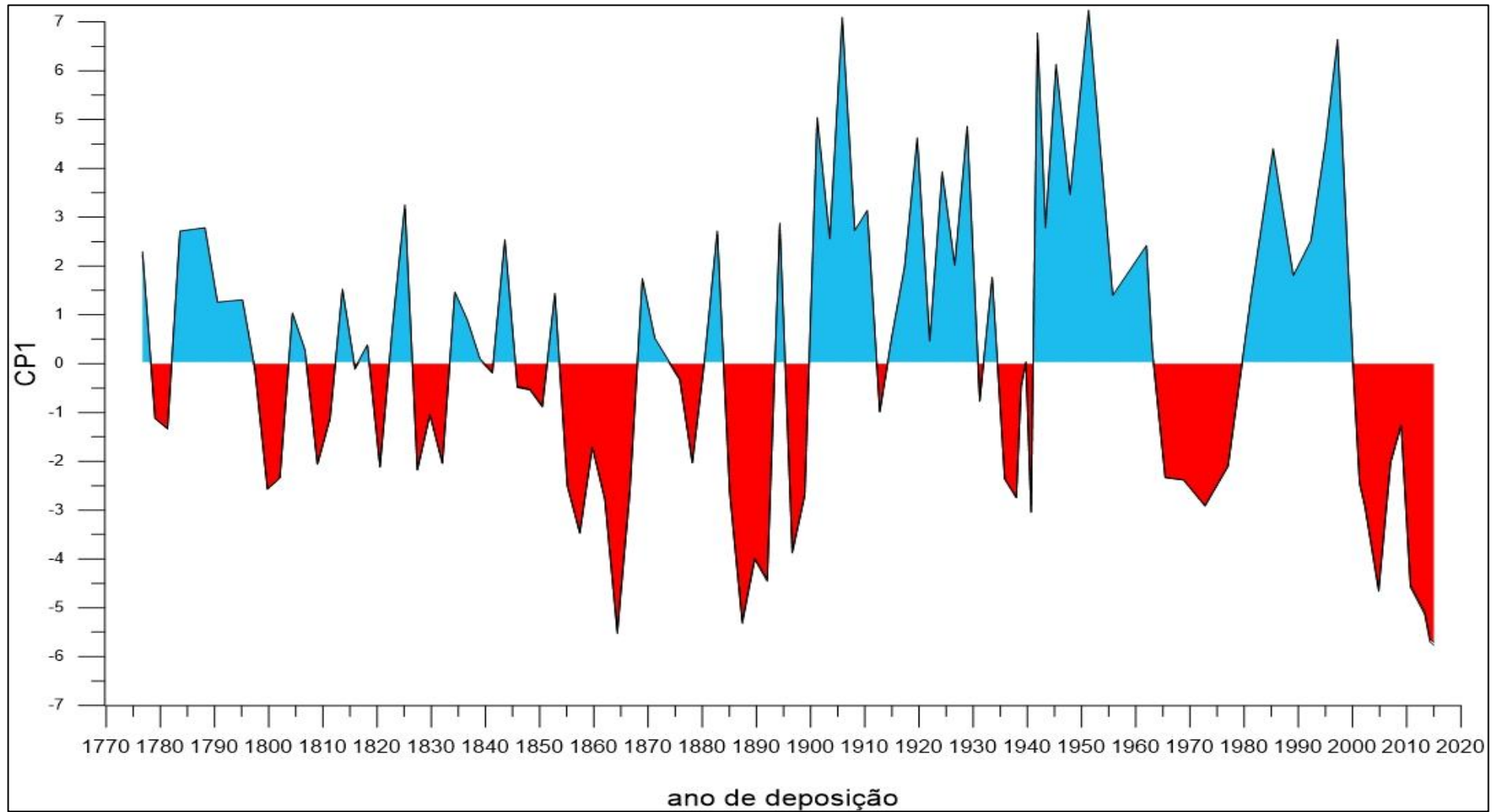


Figura 35: Perfil da distribuição da variância de elementos de proveniência terrígena (CP 1) ao longo do registro sedimentar TAI.

Embora entre os anos de 2000 e 2015, sejam observados episódios de El Niño, identificados nos anos de 2001, 2002, 2004, 2009 e 2015, segundo o índice ONI, observam-se valores de CP1 predominantemente negativos em direção ao presente. Esse período de valores negativos sugere que possivelmente esteja ocorrendo uma diminuição de deposição de sedimentos de origem continental na região. Isso poderia ser um reflexo de condições de um clima mais seco da área de estudo nestes últimos 15 anos. Apesar de a região ter apresentado anomalias de precipitação positiva em alguns anos, anomalias de precipitação negativas foram mais frequentes para este período, sem relação aparente com eventos ENOS. Situações semelhantes ocorrem para os períodos identificados em vermelho na Figura 41, por exemplo, de 1965 a 1977.

Entre os anos de 1981 a 1999, os valores positivos de CP1 indicam condições de maior deposição de sedimentos de origem continental, refletindo condições de clima mais úmido identificados em azul na Figura 35. Neste período, segundo o índice ONI, anos considerados neutros e de La Niña foram mais recorrentes que anos de El Niño, e observaram-se anomalias positivas de precipitação maiores que anos de precipitação negativas. Os períodos destacados em azul na Figura 34 como, por exemplo, os anos de 1901 a 1929 e de 1942 a 1963, sugerem situações semelhantes ao período de 1981 a 1999.

Adicionalmente, avaliando-se esses resultados num contexto regional e considerando que o testemunho TAI é proveniente de um canal de maré que conecta os estuários de Caeté e Taperaçu, é possível relacionar as variações observadas de CP1 com direção do fluxo de transporte de sedimento. Asp et al. (2012) e Araújo e Asp (2013) constataram que, no início das marés enchentes, o fluxo de água no Furo do Taici segue no sentido do estuário do Caeté, em direção ao estuário de Taperaçu. A ausência de uma fonte direta de água doce no estuário de Taperaçu faz com que os sedimentos tenham características de influência marinha e os sedimentos provenientes do estuário do Caeté, características continentais. Neste contexto, uma possível associação das variações observadas em CP1 poderia indicar que períodos com variações positivas de CP1 (em azul na Figura 35) estariam associados a um fluxo de sedimento dominante proveniente do Caeté, enquanto que CP1 negativo (em vermelho na Figura 35) indicaria um fluxo proveniente do Taperaçu.

6.3 Evolução do aporte de metais na Península de Ajuruteua

Esta seção tem como propósito avaliar a evolução do aporte de metais na Península de Ajuruteua em um contexto *multi-proxy*. Para isto, serão discutidos os resultados geoquímicos dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F e de uma amostra de superfície P4, Figura 36.

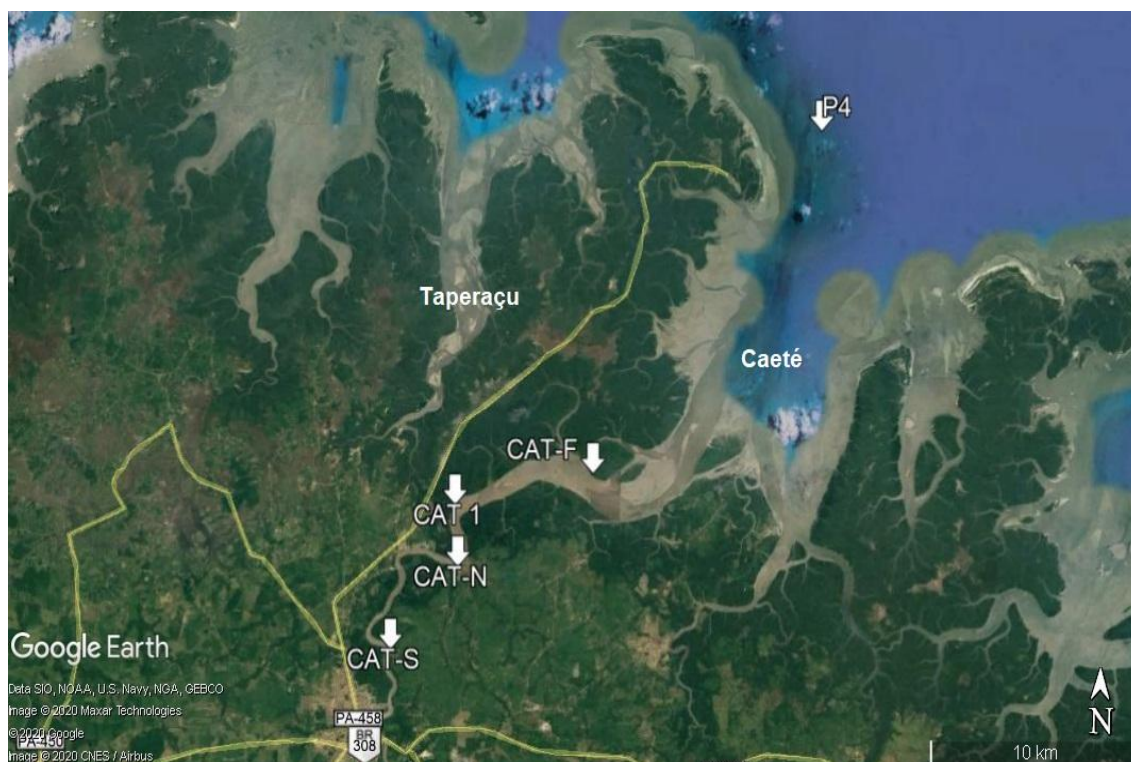


Figura 36: Figura esquemática da localização dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT, CAT-F e amostra de superfície P4.

Os dados obtidos a partir de geocronologia estabelecida por ^{210}Pb indicam que os quatro testemunhos mencionados atingem pelo menos os últimos 200 anos (Figura 10, Figura 11, Figura 12, Figura 13), e apresentam taxa média de sedimentação na mesma ordem de grandeza, todos com tendência crescente em direção ao presente (Figura 15; Figura 37). As diferenças observadas entre as taxas de sedimentação possivelmente estão associadas à posição de coleta dos respectivos testemunhos que refletem a hidrodinâmica local e serão discutidas a seguir.

O CAT-S é o testemunho coletado na região interna do estuário (Figura 36) e apresentou taxa de sedimentação média de $0,70 \pm 0,12 \text{ cm ano}^{-1}$. O CAT-F é o testemunho coletado na região externa do estuário e apresentou o maior valor de taxa média de sedimentação entre os quatro testemunhos discutidos nesta seção, $1,04 \pm 0,07 \text{ cm ano}^{-1}$.

Avaliando-se imagens históricas em sequência cronológica obtidas por satélite do período de 1985 até 2020 (Figura 37e 38), é possível notar um aumento espacial das delimitações da Ilha do Jabuti, concomitante ao crescimento e estabelecimento de vegetação adjacente à posição de coleta do CAT-F.

Além disso, a sequência de imagens permite o acompanhamento da evolução de feições geomorfológicas, como bancos de areia que progridem para pequenas ilhas, acompanhadas do estabelecimento de vegetação em períodos de tempo relativamente curtos, inferiores a cinco anos, retratando a complexa dinâmica geomorfológica da região.

Assim, o aumento espacial da Ilha do Jabuti pode ter contribuído para maior retenção de sedimentos na posição em que o CAT-F foi coletado, justificando o valor observado da taxa de sedimentação para este testemunho.

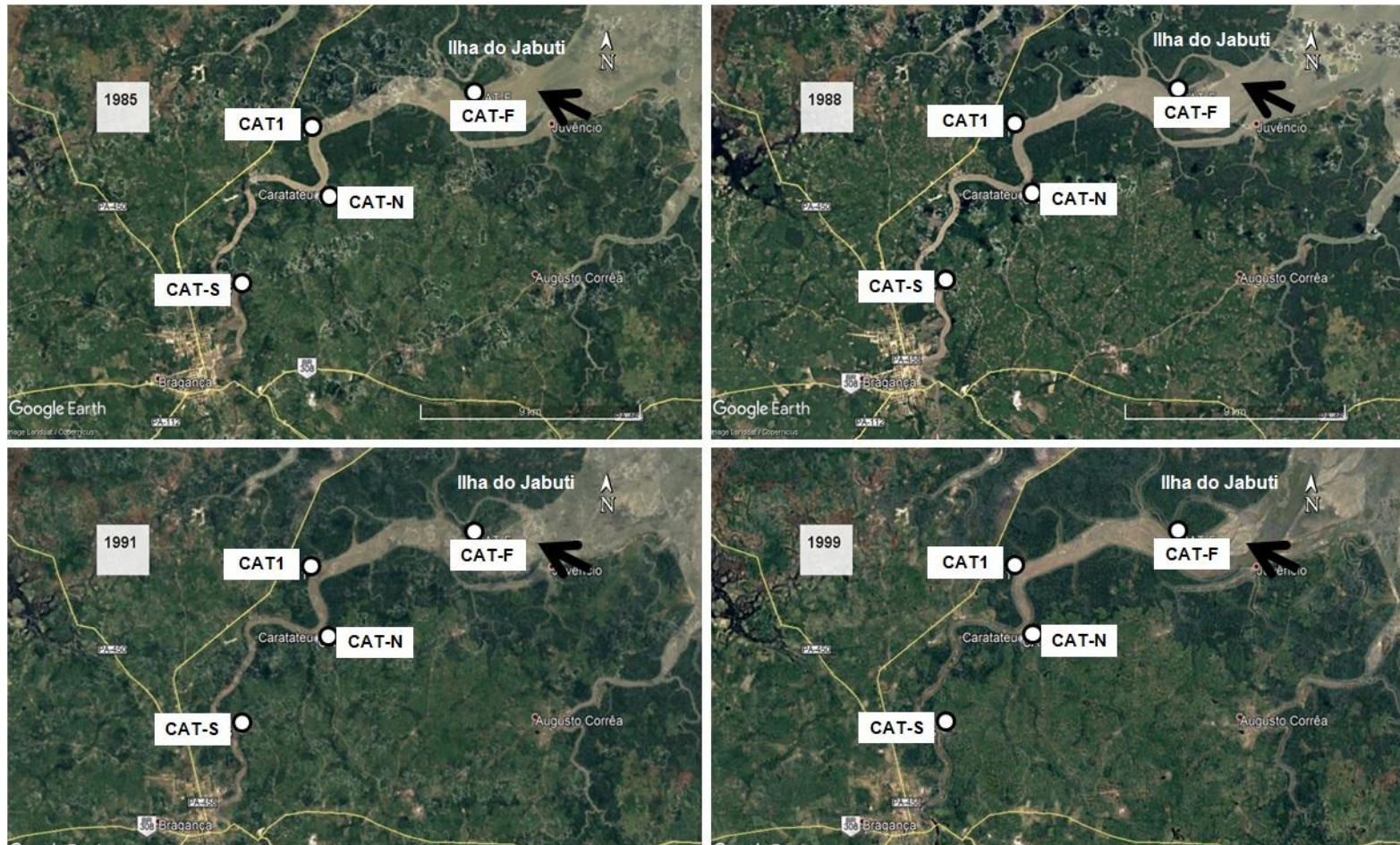


Figura 37: Imagens históricas de satélite da região de Bragança-PA, provenientes do Google Earth Pro, referentes aos anos de 1985, 1988, 1991 e 1999 (acesso em 24 de setembro de 2020).

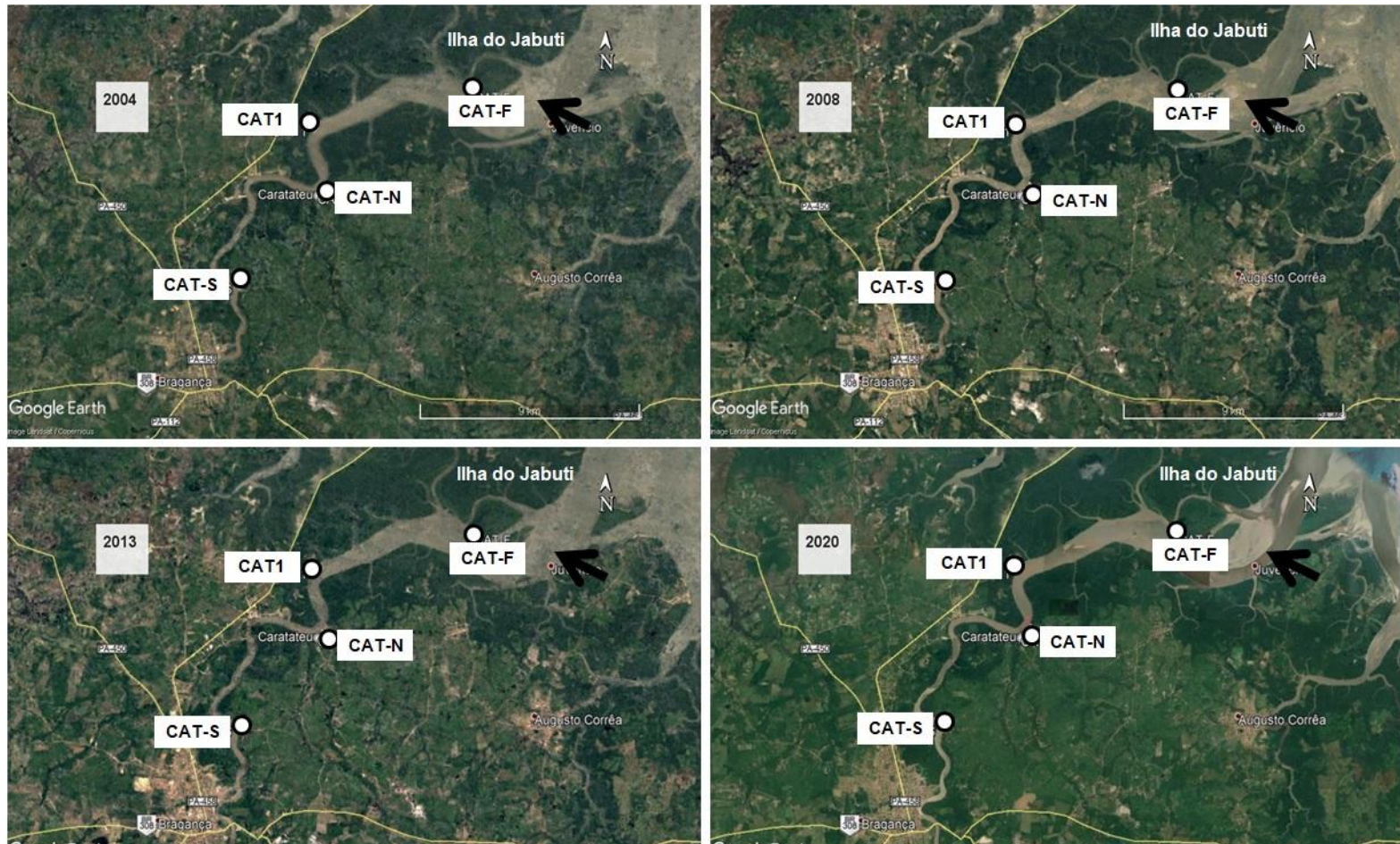


Figura 38: Imagens históricas de satélite da região de Bragança-PA, provenientes do Google Earth Pro, referentes aos anos de 2004, 2008, 2013 e 2020 (acesso em 24 de setembro de 2020)

Comparando-se os perfis das taxas de sedimentação dos testemunhos CAT-S, CAT-N e CAT-F (Figura 39), é possível verificar a existência de um atraso no início da tendência crescente da taxa de sedimentação de um pouco mais de 10 anos entre os testemunhos. O testemunho CAT-S exibe uma discreta tendência crescente em direção ao presente, que se inicia entre os anos de 1920 e 1930 (Figura 39). No testemunho CAT-N, a tendência crescente em direção ao presente começa a partir de 1930 (Figura 39). No CAT-F, o início da tendência crescente ocorre entre 1960 e 1970 (Figura 39). Esse atraso no início da tendência crescente da taxa de sedimentação pode estar associado ao tempo de preenchimento do estuário e conseqüente progradação da linha de costa da Península do Ajuruteua.

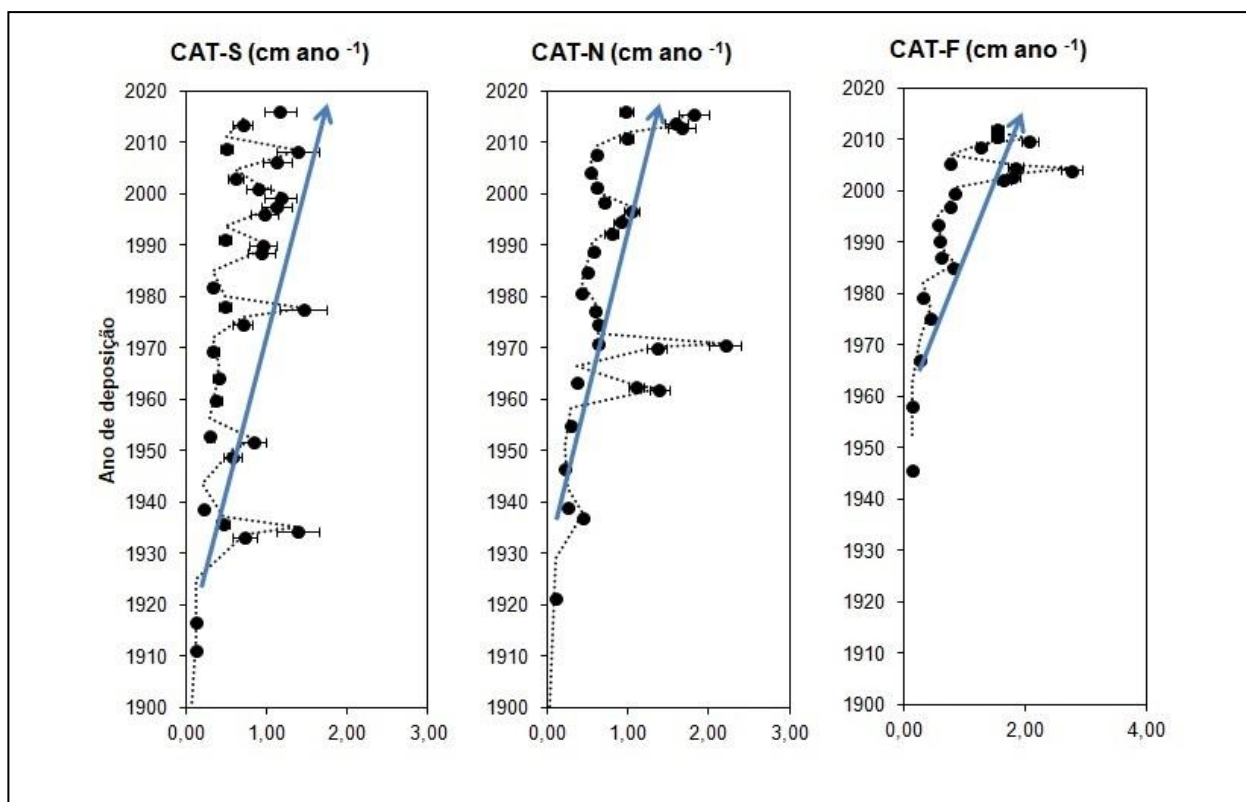


Figura 39: Perfil vertical referente às taxas de sedimentação (cm ano^{-1}) resultantes do modelo CRS obtidas a partir dos níveis de ^{210}Pb ao longo dos primeiros 100 cm dos registros sedimentares CAT-S, CAT-N, CAT-F. A linha em azul refere-se à tendência crescente da taxa de sedimentação ao longo dos testemunhos.

Além dos perfis de taxa de sedimentação, nota-se que os perfis dos conteúdos de metais obtidos dos quatro testemunhos exibem padrão similar aos perfis das taxas de sedimentação (Figura 19, 20, 21 e 22).

Os solos da região continental adjacente à Península de Ajuruteua são caracterizados por latossolos e argilossolos amarelos derivados do grupo barreiras (Rossetti 2006; Rossetti et al. 2013). Assim, a maior parte dos sedimentos que chegam ao estuário é composta de minerais secundários associados ao desenvolvimento pedogenético avançado dos solos, com presença marcante de caulinita e óxidos e hidróxidos de Fe e Al, além de uma série de minerais primários como mica, biotita, clorita, muscovita, carbonatos, feldspatos, entre outros, presentes na litologia terciária que compõe a planície costeira amazônica (Costa et al. 2004)

Ferro é um componente presente nos argilominerais de origem continental (Arz et al. 1998). Assim como o ferro, metais como Cr, K, Mn, Pb, Rb, Ti, V e Zn também são de origem continental (Calvert e Pedersen 2007). Embora alguns elementos sejam considerados elementos maiores por estarem presentes em altas concentrações como, por exemplo, Fe, K, Mn, Ti, e outros elementos traço, com baixas concentrações, como Cr, Pb, Rb, V e Zn, todos apresentam variações e tendências semelhantes em resposta à mesma proveniência (Figura 19, 20, 21 e 22). Neste contexto, a discussão a seguir foi desenvolvida evidenciando a variação do conteúdo de Fe como representante dos metais indicadores de material depositado proveniente do continente.

A Figura 40 exhibe o perfil do conteúdo de Fe dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F. Os quatro testemunhos apresentam mudança significativa no aporte de Fe em meados de 1900, quando é possível observar uma evolução gradual no aporte deste elemento em direção ao presente, similar ao que se observa nos perfis de taxa de sedimentação. Entretanto, para o mesmo intervalo de tempo dos perfis das taxas de sedimentação, as tendências crescentes do conteúdo de Fe e dos demais metais de origem continental exibem diferenças quanto ao da tendência crescente. O CAT-S apresenta início de tendência crescente próximo a 1900, o CAT-N, a tendência crescente começa entre os anos de 1930 e 1940 e no CAT1, próximo ao ano de 1970. No CAT-F, entre 1820 e 1920 observa-se uma tendência decrescente e, a partir de 1940 em direção ao presente, maiores amplitudes nos valores e nenhuma tendência evidente (Figura 40).

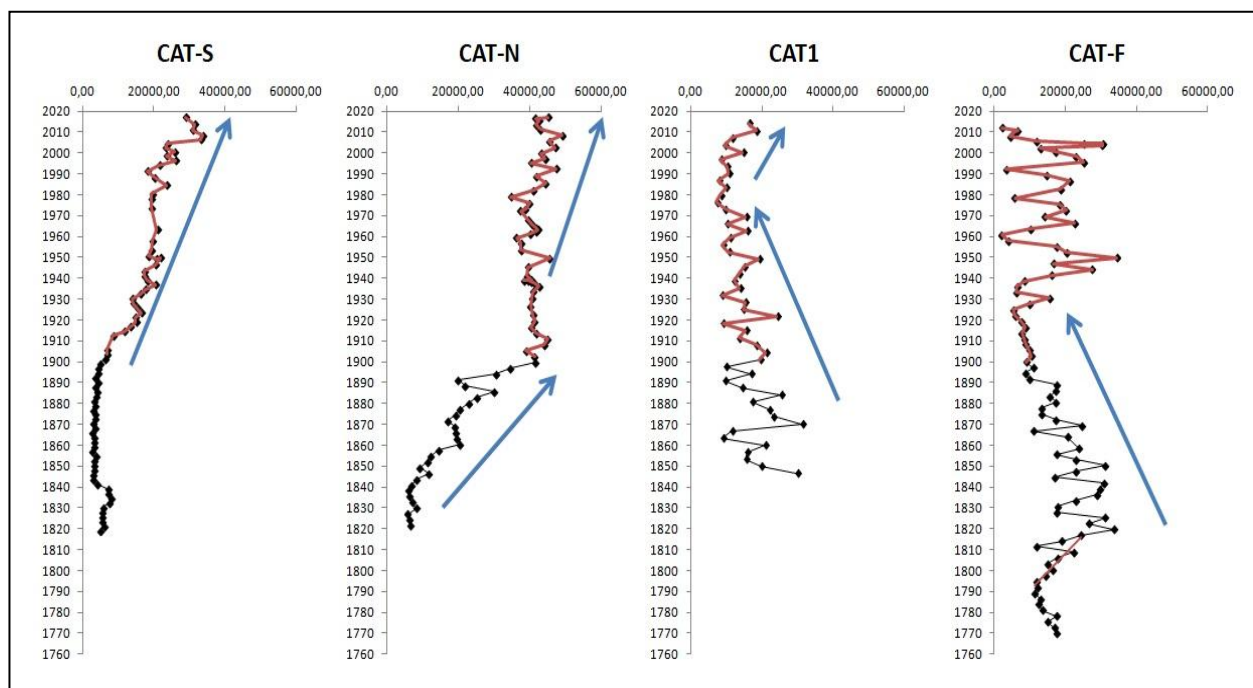


Figura 40: Perfil vertical do conteúdo de Fe em mg kg^{-1} dos registros sedimentares CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F. O conjunto de dados em vermelho refere-se ao mesmo intervalo adotado para comparação do Fe com a taxa de sedimentação. As flechas em azul representam as tendências identificadas.

Historicamente, em 1854, a então vila de Bragança foi elevada à categoria de município de Bragança. Este período foi marcado por transformações decorrentes ao crescimento e desenvolvimento desta região. Em 1883 foram iniciadas as obras de construção da estrada de ferro de Bragança a partir de Belém (Leandro e Silva 2013; Alves 2018; Lacerda 2018). O início da construção da ferrovia marcou o período áureo da colonização da Zona Bragantina (Leandro and Silva 2013; Alves 2018; Lacerda 2018) e, conforme a estrada de ferro foi sendo construída, novas colônias foram surgindo às margens da estrada de ferro.

A construção da ferrovia foi acompanhada por desmatamento da floresta primária para abertura e construção da mesma, e posteriormente o desmatamento foi acentuado para criação de áreas agrícolas e transformação da madeira das árvores em carvão vegetal, utilizado na locomoção do trem (Leandro and Silva 2013; Alves 2018; Lacerda 2018). Ainda no mesmo período, em 1887, foi iniciada a construção da linha telegráfica entre Bragança e São Luiz do Maranhão.

Em 1908 ocorreu a inauguração da estrada de ferro, porém, antes da inauguração da mesma, o intercâmbio de produtos entre Belém e Bragança já havia aumentado. Os

fluxos dominantes de produtos agrícolas saíam de Bragança para Belém, e produtos importados transportados de Belém para Bragança (Leandro and Silva 2013; Alves 2018; Lacerda 2018).

Além do comércio, em meados de 1900, a valorização da borracha serviu como atrativo para o estabelecimento de uma população migrante na região da Zona Bragantina. Desta forma, a região vivenciou um processo de desenvolvimento econômico acelerado, chegando a ser considerada a principal região de produção de alimentos para abastecimentos de Belém e seringais (Leandro and Silva 2013; Alves 2018; Lacerda 2018).

Desta forma, possivelmente todas as atividades de uso e ocupação dos solos contribuíram para alteração da dinâmica sedimentar da região em particular da Península de Ajuruteua, sendo evidenciado pelo aumento de material proveniente do continente, indicado pelos teores de Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, Ti, primeiramente mais evidente no testemunho CAT-S (Figura 19, Figura 40). O CAT-S, por ser o testemunho localizado na porção interna do estuário e mais próximo à cidade de Bragança, apresenta alteração do aporte de metais provenientes do continente praticamente concomitante à história de desenvolvimento da região. No testemunho CAT-N, a tendência crescente destes metais ocorre em anos posteriores ao CAT-S e possivelmente está relacionado ao tempo de alcance e deposição, bem como preenchimento do estuário.

Diferentemente dos testemunhos CAT-S e CAT-N, os testemunhos CAT1 e CAT-F exibem tendência decrescente em diferentes intervalos de tempo no conteúdo dos elementos provenientes do continente, aqui exemplificado pelo conteúdo de Fe (Figura 40). O CAT1 apresentou tendência decrescente dos metais de origem continental entre os anos de 1870 e 1970 (Figura 21) e o CAT-F, entre 1820 e 1920 (Figura 22).

Um fato importante que deve ser considerado e que pode ser observado na Figura 36 é a posição em que os testemunhos CAT1 e CAT-F foram coletados. Estes foram coletados na margem esquerda do estuário de Caeté, onde os fluxos de vazante são dominantes. Assim, pode-se esperar tendência decrescente de material proveniente do continente, com diminuição do aporte de metais, menor deposição em função de fatores hidrodinâmicos ou ainda possível diluição do conteúdo de Fe e metais provenientes do continente, em consequência de um aumento do espaço de acomodação nestas posições do estuário.

A diminuição do aporte de metais provenientes do continente nestes períodos para o CAT1 e CAT-F não corresponde ao histórico de desenvolvimento da região. É reconhecido que o uso e ocupação dos solos concomitantes a desmatamento e intensificação de atividades agrícolas acentuam processos de lixiviação e erosivos. Num cenário como o descrito, seria esperado um aumento nos teores de Fe em todos os testemunhos, mesmo que em magnitudes diferentes.

Uma possível diminuição da deposição de metais de origem continental associada a fatores hidrodinâmicos poderia ser uma opção elegível para interpretação da tendência decrescente observada nestes testemunhos. O aumento de processos erosivos em continente decorrente das atividades antrópicas da região pode ter contribuído para um aumento do escoamento e vazão do rio Caeté, que pode ter influenciado, conseqüentemente, o tamanho e volume do prisma de maré.

O prisma de maré corresponde ao volume de água que entra no estuário durante a maré enchente e está relacionado com a altura da maré, sendo calculado pelo produto entre a altura de maré e a área do sistema. A importância do prisma da maré no ambiente estuarino é associada à capacidade de renovação da massa de água a cada ciclo completo de maré (Miranda et al. 2002).

Para analisar essa possível mudança do prisma de maré, avaliou-se o perfil do conteúdo de Ca como indicador de influência marinha, Figura 41 (Arz et al. 1998; Haug et al. 2001; Peterson and Haug 2006a; Pivel et al. 2013; Nace et al. 2014; Zhang et al. 2015). Ao comparar os quatro testemunhos em mesma escala de unidade não foi possível observar mudanças ou tendências ao longo do tempo. Contudo, comparando-se apenas os testemunhos CAT1 e CAT-F, Figura 42, observa-se a ocorrência de maiores variações do conteúdo de Ca no CAT1 no período de 1850 a 1970 e maiores amplitudes em CAT-F, respectivamente. Assim, diagnostica-se um cenário para o período de 1850 a 1970, com leve tendência decrescente do conteúdo de Fe (Figura 40) e materiais de origem continental, coincidente com maiores variações do conteúdo de Ca (Figura 42) nos testemunhos CAT1 e CAT-F. Desta forma, podem ser admissíveis tanto a possibilidade de menor deposição de Fe e metais de origem continental, devido a fatores hidrodinâmicos, como uma diluição dos mesmos, em função do aumento do espaço de acomodação sob maior influência marinha.

Ressalta-se através da Figura 40, bem como dos demais perfis de metais analisados (Figuras 19, 20, 21 e 22), a influência da hidrodinâmica no processo de deposição dos sedimentos, através da variação e amplitude dos conteúdos dos metais. O

CAT-F exibe maiores amplitudes e dispersão dos conteúdos elementares por estar na posição externa do estuário com maior influência marinha, sendo mais exposto à ação de ondas e correntes, por exemplo.

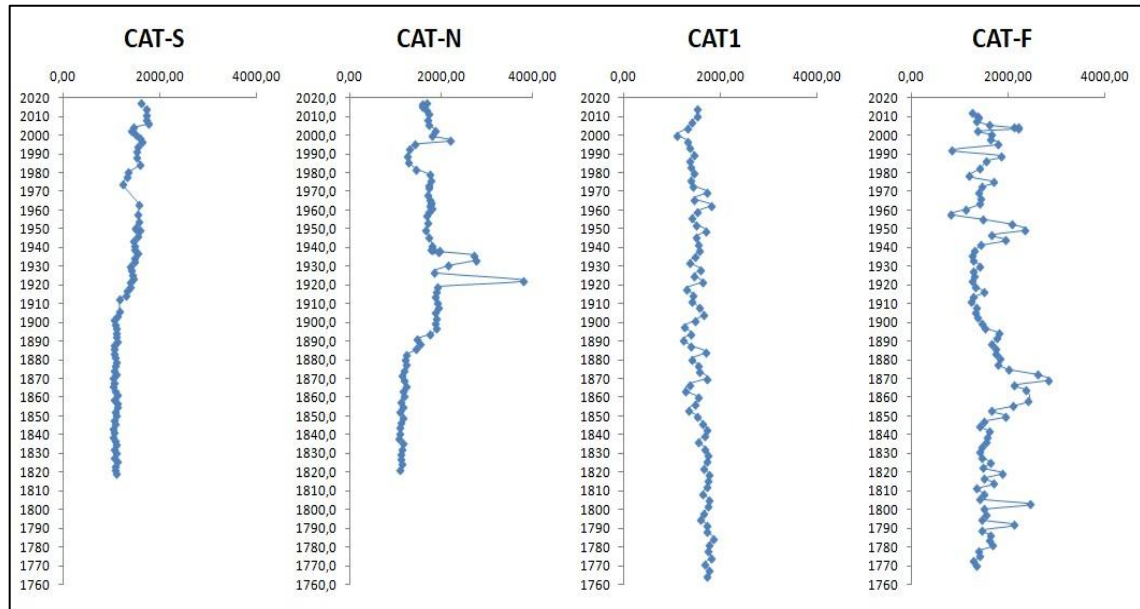


Figura 41: Perfil vertical do conteúdo de Ca em mg kg⁻¹ dos registros sedimentares CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F.

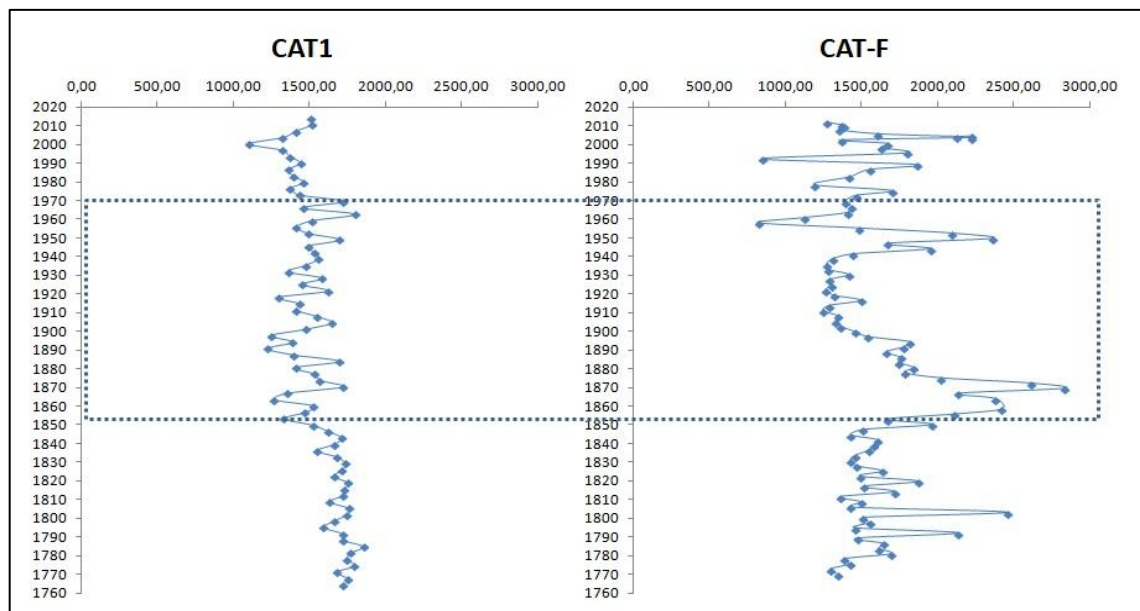


Figura 42: Perfil vertical do conteúdo de Ca em mg kg⁻¹ dos registros sedimentares CAT1 e CAT-F.

Além da análise dos perfis dos conteúdos elementares, é possível utilizar razões elementares. Muitos estudos aplicam razões elementares para reconstituições históricas de condições climáticas e/ou oceanográficas (Arz et al. 1998; Haug et al. 2001; Peterson and Haug 2006a; Govin et al. 2012b; Pivel et al. 2013; Zhang et al. 2015). Arz et al. (1998) apresentaram as razões Fe/Ca e Ti/Ca, como indicadores de aporte continental. Segundo estes autores, os elementos Fe e Ti são componentes de argilominerais de origem terrígena e o Ca associado ao teor de carbonato de cálcio de origem marinha. Desta forma, Arz et al. (1998) identificaram períodos em que o aumento dos valores das razões Fe/Ca e Ti/Ca foram relacionados a condições climáticas continentais mais úmidas, uma vez que estes elementos alcançariam o ambiente marinho principalmente por processos de drenagens das bacias hidrográficas e variações de vazões de rios costeiros, respondendo principalmente ao regime de pluviosidade local.

Todavia, os estudos anteriormente citados aplicam razões elementares em testemunhos coletados na região do talude continental, que são constituídos por sedimentos hemipelágicos. Os sedimentos hemipelágicos são compostos principalmente por sedimentos alóctones e autóctones, basicamente de origem terrígena e/ou biogênica. Os sedimentos alóctones são provenientes de regiões adjacentes geralmente transportados como material em suspensão por rios, poeiras carregadas por vento ou também provenientes de erupções vulcânicas. A componente biogênica, associada aos sedimentos autóctones, é constituída por organismos planctônicos e bentônicos. Os organismos planctônicos, que vivem na coluna d'água, ao morrer, decantam e alcançam o fundo marinho. Os organismos bentônicos abrangem todos que vivem nos fundos marinhos. Incluem-se, também como sedimentos autóctones, os minerais provenientes de precipitação devido a processos químicos locais.

Por consequência, registros sedimentares provenientes do talude continental apresentam composições diversificadas com diferentes proporções de diluição entre componente biogênico, materiais terrígenos e precipitados e com taxa de sedimentação na ordem de centímetros por kilôanos (cm ka^{-1}).

Contudo, o presente trabalho apresenta resultados de testemunhos de região costeira estuarina onde os principais parâmetros que controlam a dinâmica sedimentar desta região são descarga fluvial, circulação estuarina e dinâmica de marés. A região é caracterizada por variações de salinidade, mudanças de direção e velocidade de correntes que acompanham o regime de maré, além de ser influenciada pelo clima com alterações do fluxo de material terrígeno sazonalmente. Além de todos estes fatores, a

taxa de sedimentação é da ordem de centímetros por ano (cm a^{-1}). Com intuito de avaliar a aplicação destes indicadores ou *proxies* em testemunhos de regiões costeiras serão discutidos os resultados das razões Fe/Ca, Ti/Ca, Fe/Ti, Fe/K, e Rb/Sr. Como citado anteriormente, as razões Fe/Ca e Ti/Ca têm sido utilizadas como indicadores de aporte de material continental (Arz et al. 1998; Haug et al. 2001; Peterson and Haug 2006b; Govin et al. 2012; Nace et al. 2014).

A razão Fe/Ti tem sido aplicada como indicadora de fonte e/ou proveniência de sedimentos (Kujau et al. 2010). Fe e Ti estão intimamente relacionados à fração terrígena. O elemento Fe é mais propenso à remobilização diagenética em sedimentos porosas, enquanto o Ti é praticamente inerte aos processos diagenéticos (Richter et al. 2006). Assim, Kujau et al. (2010) sugere que uma relação linear entre Fe e Ti indica mesma fonte de sedimento.

A razão Fe/K tem sido interpretada como indicadora de grau de intemperismo em continente (Mulitza et al. 2008; Govin et al. 2012; Nace et al. 2014). Mulitza et al. (2008) propuseram o uso da razão Fe/K como indicadora de aridez na região adjacente do Sahel, norte da África. Estes autores concluíram que diminuições de Fe/K indicavam condições mais secas no Sahel, durante eventos Heinrich dos últimos 60 mil anos.

Para a região da América do Sul, Govin et al. (2012) similarmente sugerem a razão Fe/K como indicadora de intemperismo químico. Em amostras de sedimentos provenientes do rio da Prata, estes autores obtiveram baixos valores de Fe/K e relacionaram esses resultados a presença de sedimento rico em ilita proveniente de bacias de drenagem dos rios Bermejo e outros afluentes andinos.

Igualmente, Nace et al. (2014) apontam a aplicação das razões Ti/Ca e Fe/K como indicadoras de precipitação, intensidade de intemperismo e aporte de sedimentos continentais. Estes autores analisaram um registro sedimentar do talude continental adjacente à região nordeste brasileira e observaram picos de Ti/Ca e Fe/K coincidentes entre eles, correlacionados com eventos Heinrich dos últimos 120000 anos antes do presente (A.P.).

Em regiões tropicais, condições úmidas favorecem e intensificam processos de intemperismo químico, o que pode levar a maiores concentrações de ferro nos solos e sedimentos detríticos. Assim, o ferro seria associado originalmente a precipitados como oxi-hidróxidos de ferro insolúveis, em comparação com potássio mais móvel e solúvel (Nace et al. 2014).

A razão Rb/Sr, similarmente à razão Fe/K, é aplicada como indicadora de grau de intemperismo (Yang et al. 2004; Fernández et al. 2013; Lü et al. 2016; Miriyala et al. 2017). Rb e Sr são elementos presentes em rochas e minerais. Rb é associado principalmente a argilominerais e ocorre em minerais potássicos como biotita, muscovita e feldspato potássico, enquanto que, o Sr geralmente ocorre em minerais ligados ao Ca. Os minerais potássicos são mais estáveis do que os carbonatos, assim, durante o processo de intemperismo, o Rb permanece no resíduo de origem, enquanto o Sr pode ser removido mais facilmente, refletindo-se em variações da razão Rb/Sr (Goldstein 1988).

O Rb apresenta características alcalinas e raio iônico maior ($r = 1,48 \text{ \AA}$) que a do K ($r = 1,33 \text{ \AA}$). Por estas características, este é comumente adsorvido no lugar do K e incorporado na estrutura cristalina de minerais como feldspato-potássico e mica. Adicionalmente, o processo de adsorção do Rb é mais intenso em ambientes alcalinos, tais como águas ricas em sódio (Faure e Powell 2012).

Os elementos Ca e Sr residem principalmente em minerais de carbonato e silicato, como calcita, dolomita e plagioclásio. O Sr é removido das rochas fontes continentais e concentra-se na forma dissolvida nos oceanos. Embora este elemento seja um elemento traço, ele é abundante na água do mar, e seus minerais próprios não se precipitam. O Sr é geralmente encontrado em associação com minerais cujo elemento dominante é o Ca como em fosforitas e carbonatos, em que o Ca pode ser substituído isomorficamente pelo Sr (Faure e Powell 2012).

No processo de intemperismo, o elemento Ca é lixiviado desde os processos iniciais até os estágios finais do intemperismo, enquanto que K é acumulado nos estágios iniciais e sua lixiviação ocorre somente em estágios mais avançados do intemperismo. Assim, Rb e Sr tendem a acompanhar o comportamento dos elementos K e Ca respectivamente (Faure e Powell 2012).

Entretanto, Lima et al. (2004) mencionam que a composição química dos sedimentos da região de Bragança, além de apresentar assinatura típica de material terrígeno derivado da Formação Barreiras, tem assinatura associada ao fato de que parte dos sedimentos que constituem os mangues são caracterizados por influência marinha marcada pelos elementos Sr, Ba, Na, K, Mg, Cl e F. Segundo estes autores, a presença expressiva de feldspato-potássico e esmectita nos sedimentos, e ausência dos mesmos nas rochas de origem, indicam neoformação desses minerais. A neoformação de feldspato-potássico e esmectita se deve, provavelmente, à contribuição de K^+ e Mg^{2+} da

água do mar e sua concentração por evaporação ou difusão iônica na superfície dos sedimentos, com suprimento de sílica (SiO_2) proveniente de diatomáceas, explicando a maior concentração desses minerais nesta área. Portanto, a presença dos elementos Ca, K, Sr e Mg na composição dos sedimentos da região de estudo pode ser tanto de origem continental, quanto marinha.

A seguir, serão discutidos os *proxies* Fe/Ca, Ti/Ca e Fe/Ti e em seguida Fe/K e Rb/Sr. Para a comparação entre os testemunhos, aplicou-se a transformação em escala logarítmica das razões citadas a fim de reduzir grandezas de elevada amplitude para valores com escala menor.

As Figuras 43, 44 e 45 exibem os perfis das razões $\ln(\text{Fe}/\text{Ca})$, $\ln(\text{Ti}/\text{Ca})$, $\ln(\text{Fe}/\text{Ti})$, respectivamente, dos quatro testemunhos. De maneira geral, é possível verificar que em todas as razões avaliadas os testemunhos CAT-S e CAT-N apresentam perfis diferentes de CAT1 e CAT-F

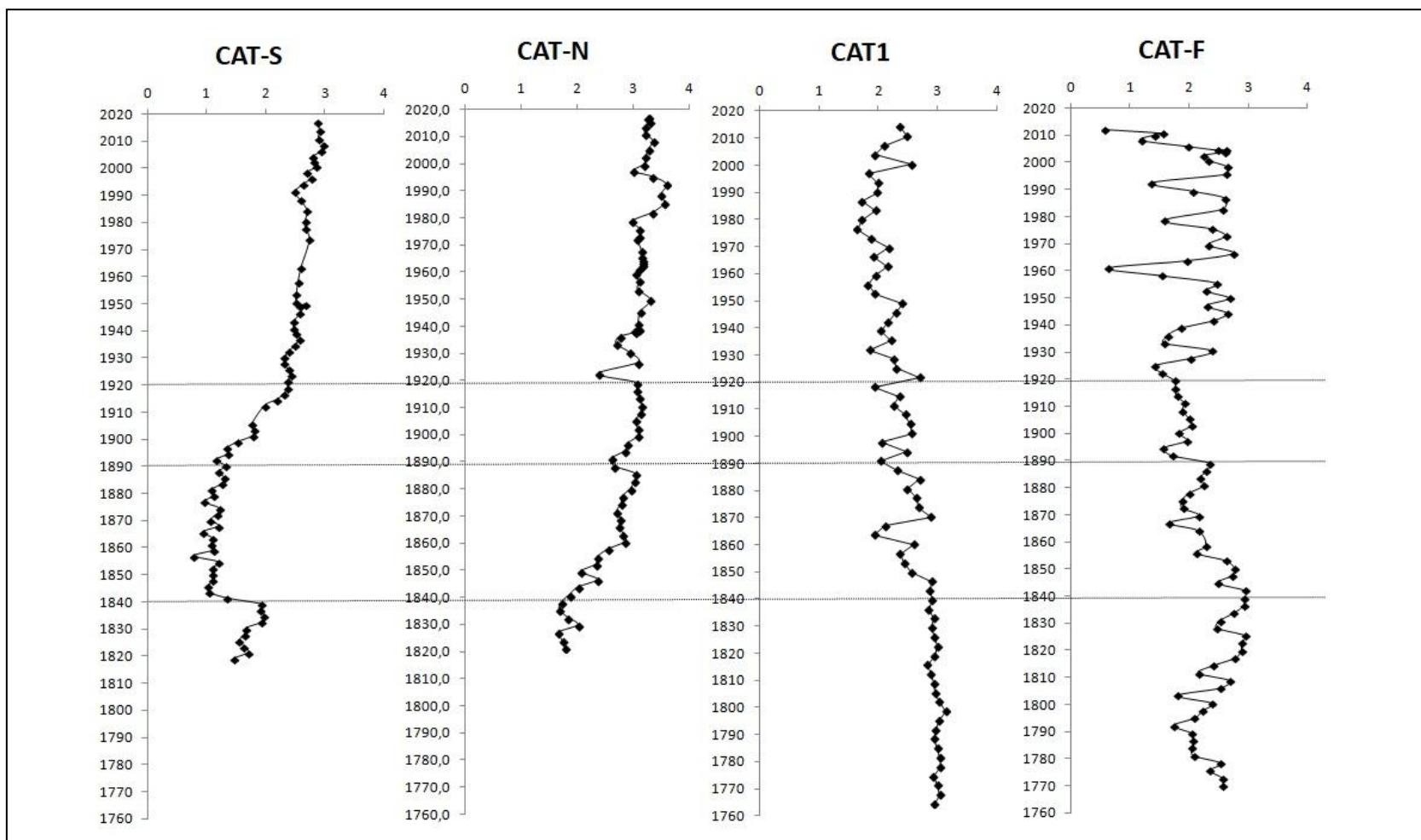


Figura 43: Perfil vertical de $\ln(\text{Fe}/\text{Ca})$ dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F.

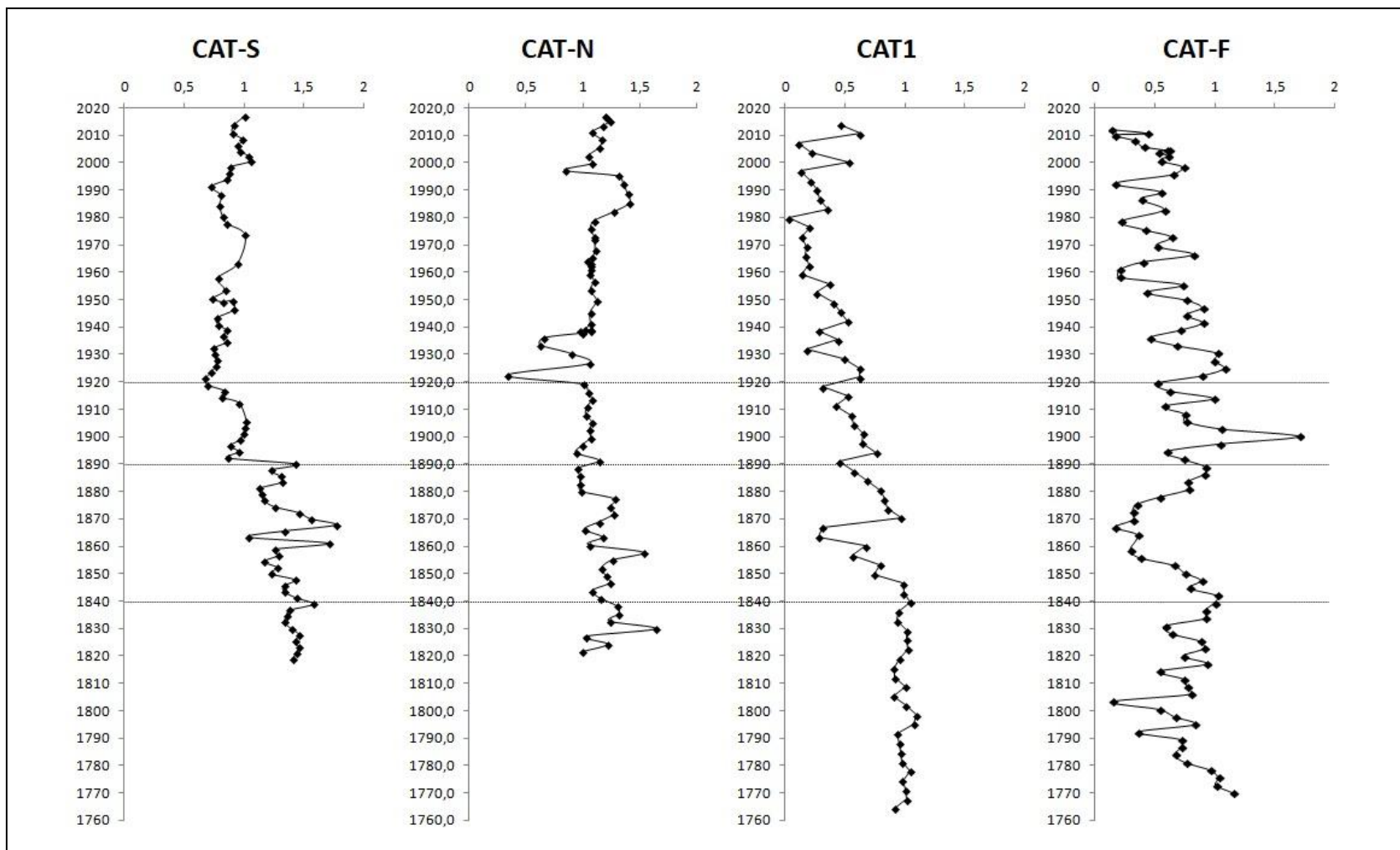


Figura 44: Perfil vertical de $\ln(Ti/Ca)$ dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F.

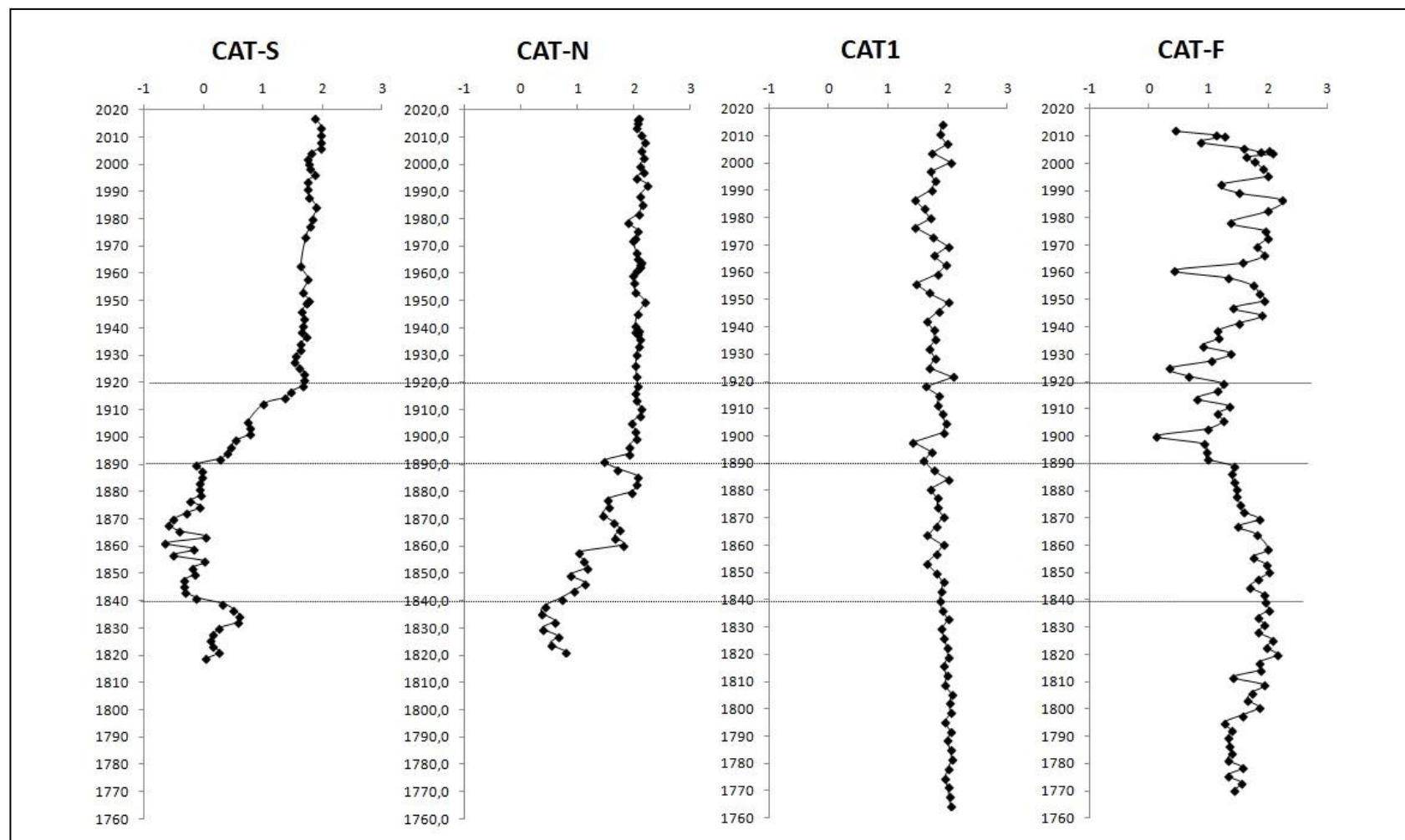


Figura 45: Perfil vertical de $\ln(\text{Fe}/\text{Ti})$ dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F.

Os testemunhos CAT-S e CAT-N exibem mudanças nos perfis das razões avaliadas nos anos 1840, 1890 e 1920. Embora as razões $\ln(\text{Fe}/\text{Ca})$ e $\ln(\text{Ti}/\text{Ca})$ sejam aplicadas como indicadores de aporte continental, as Figuras 43 e 44 revelam perfis distintos entre eles. Ao avaliar o gráfico de diagrama de dispersão entre Fe e Ca e Ti e Ca, Figura 46, é possível identificar a existência de dois conjuntos de dados, um conjunto de dados datados de antes de 1890 e outro conjunto de 1890 até o presente. A existência destes dois conjuntos de dados sugere uma possível alteração da fonte de sedimento a partir do ano de 1890 na região de estudo.

De forma complementar, tanto o perfil de $\ln(\text{Fe}/\text{Ti})$ (Figura 45) bem como o diagrama de Fe e Ti (Figura 46) para CAT-S e CAT-N dão suporte à provável mudança de proveniência de sedimentos a partir de 1890, concomitantemente ao histórico de evolução das atividades antrópicas na região, como a construção da estrada de ferro entre Bragança e Belém.

Além desta mudança de proveniência de sedimento a partir de 1890, o gráfico de dispersão (Figura 46) também permite diagnosticar outras situações. A linearidade obtida entre Fe e Ca do testemunho CAT-S para o conjunto de dados mais recente, de 1890 até o presente, sugere que o Ca presente no registro sedimentar deste período provém da mesma fonte que o Fe, ou seja, origem continental. Adicionalmente, a linearidade exibida entre Fe e Ti para os dados de 1890 até o presente, sugere que Fe e Ti são provenientes de mesma fonte sedimentar.

Diferente de CAT-S e CAT-N, o testemunho CAT1, apesar de exibir a existência dos conjuntos de dados antes e após 1890, não apresenta linearidade entre Fe e Ca e nem entre Ti e Ca, indicando que Ca não é continental e é possivelmente, de origem marinha (Figura 46). Além disso, a linearidade entre Fe e Ti (Figura 46) para todo o conjunto de dados aponta que, nesta posição do estuário, a proveniência da fonte continental é de mesma origem. O perfil logarítmico (razão Fe/Ti), $(\ln(\text{Fe}/\text{Ti}))$, corrobora o cenário sugerido, com perfil praticamente constante ao longo de todo o testemunho (Figura 50), e os difratogramas obtidos para as amostras de topo (0-2 cm), meio (64-66 cm) e base (144-146 cm) do CAT1 são idênticos, exibindo composição de minerais pertencentes aos grupos caulinita, esmectita e mica (Figura 25).

O CAT-F é o testemunho mais distinto dos quatro registros sedimentares. Os gráficos de dispersão (Figura 46) de Fe e Ca, Ti e Ca e Fe e Ti para o CAT-F não apresentam separação entre os conjuntos de dados antes ou após 1890, sendo marcados pela ausência de qualquer linearidade entre os elementos. A não linearidade entre Fe e

Ca e Ti e Ca sugerem que o Ca não é continental, e a não linearidade entre Fe e Ti indica que nesta posição do estuário possivelmente ocorrem diferentes fontes de sedimentos (Figura 46).

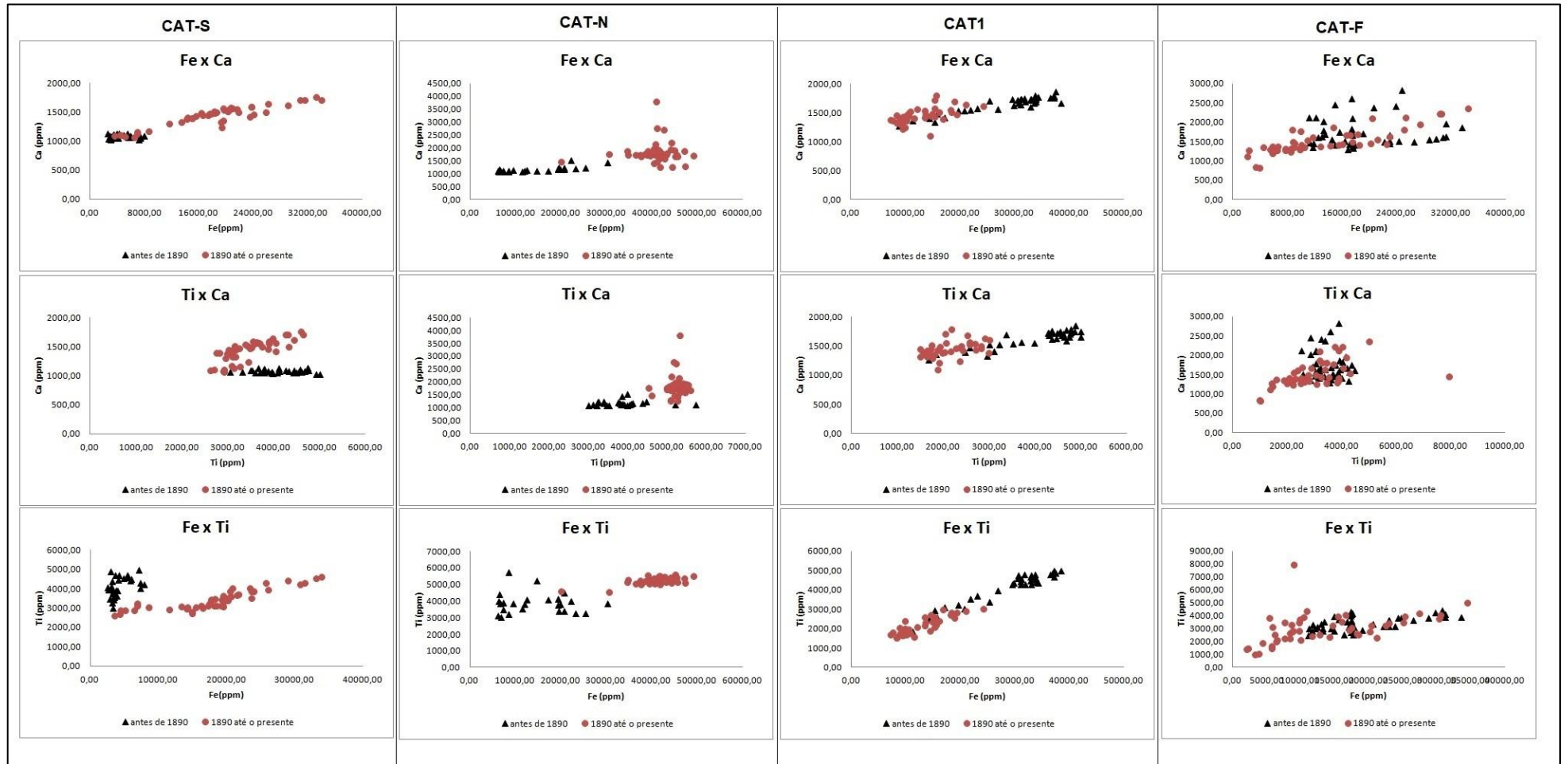


Figura 46: Gráficos de dispersão de Fe x Ca, Ti x Ca, Fe x Ti dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F. O símbolo em preto representa dados datados antes de 1890 e em vermelho, dados de 1890 até o presente.

Asp et al (2018) propuseram que parte dos sedimentos que contribuem para a evolução e progradação da linha de costa da Península de Ajuruteua é também proveniente da plataforma continental adjacente ao estuário. Estes autores apontaram que, embora seja significativa a variação sazonal da vazão do rio Caeté, apenas a descarga fluvial não explicaria o aumento que eles observaram na concentração de sedimento em suspensão durante a estação chuvosa. Consideraram que o aumento da concentração de sedimentos em suspensão e descarga do rio Caeté são pequenos (Asp et al 2016) e levantaram a hipótese de que parte da fonte de sedimentos é proveniente da região *offshore* ao estuário, constituída por sedimentos carregados pela pluma do rio Amazonas. Segundo estes autores, os sedimentos em suspensão alcançariam a região de estudo através das correntes de maré no período de chuva, quando a pluma do rio Amazonas espalha-se na plataforma continental, podendo atingir regiões a sudeste do rio. Os autores ressaltam ainda que o período de chuva da região é coincidente com o período de máxima vazão de sedimentos (fevereiro a abril) e água (abril a junho) do rio Amazonas e somente nestes períodos a pluma é capaz de atingir esta configuração.

De forma a complementar a investigação sobre a proveniência de sedimentos na região são apresentados os resultados da análise de isótopos de Sr e Nd realizada em duas amostras de superfície, uma do testemunho CAT1 e outra amostra identificada como P4, da plataforma continental adjacente (Figura 36). Os valores de $\epsilon\text{Nd}(0)$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ da amostra de superfície do CAT1 foram de, respectivamente, -18,65 e 0,742560. Em P4 os valores obtidos de $\epsilon\text{Nd}(0)$ foram de -11,05 e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e de 0,721749 (Tabela 6).

A Figura 47 exhibe os resultados obtidos das amostras de superfície de CAT1 e P4 do presente trabalho contraposto a uma compilação de 133 resultados de $\epsilon\text{Nd}(0)$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, previamente publicados, de amostras de sedimento de superfície e sedimentos em suspensão de diferentes regiões e rios que compõem a bacia de drenagem do rio Amazonas e regiões adjacentes ao estuário de Caeté (Figura 47, tabela de dados no anexo). Observa-se que as amostras previamente publicadas, provenientes do rio Amazonas, apresentam valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0,71 e 0,74 e de $\epsilon\text{Nd}(0)$ de -15 a -5.

Através da Figura 47 verifica-se que a amostra P4 apresenta valores semelhantes aos dados do rio Amazonas, o que indica mesma proveniência de sedimentos. Adicionalmente, este resultado comprova que a pluma do Amazonas é capaz de alcançar a região sudeste do rio onde parte do sedimento em suspensão carregado pela

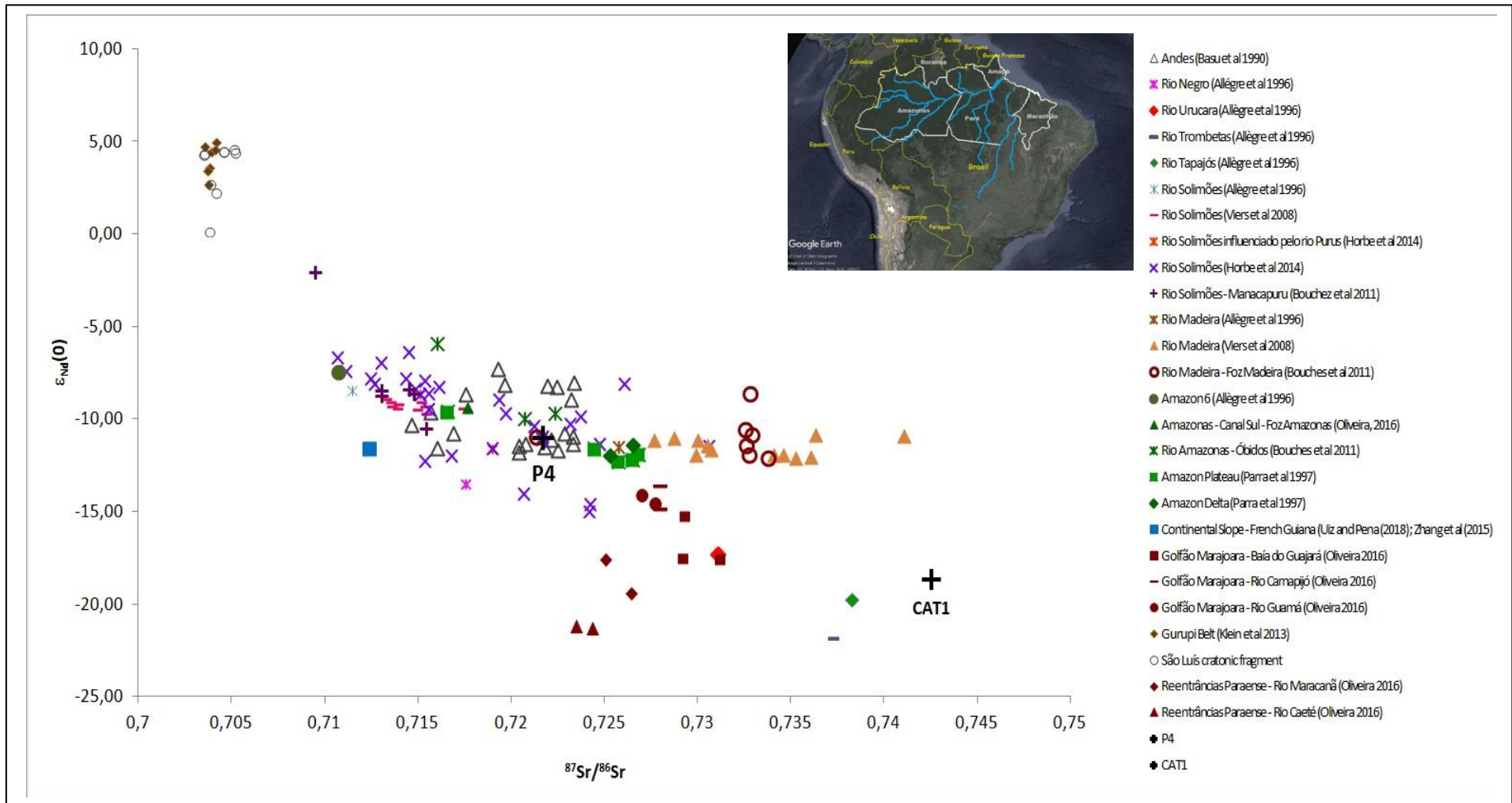


Figura 47: Compilação de 133 resultados de $\epsilon_{Nd}(0)$ e $^{87}Sr/^{86}Sr$, previamente publicados, de amostras de sedimento de superfície e sedimentos em suspensão de rios que compõem a bacia de drenagem do rio Amazonas, destacados no mapa em azul, e regiões adjacentes ao estuário de Caeté. No anexo 4 é apresentada a tabela com todos os valores bem como as referências bibliográficas.

mesma pode ser depositada na plataforma continental, região *offshore* ao estuário do Caeté, conforme apontado por Asp et al (2018).

Os valores de $\epsilon\text{Nd}(0)$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ obtidos para a amostra de superfície do CAT1 distinguem-se dos demais dados exibidos na Figura 47. Essa distinção de valores sugere que a fonte de sedimento dentro do estuário é diferente da amostra P4. Além disso, esse resultado aponta que o estuário do Caeté não tem capacidade de exportar sedimento para a plataforma continental adjacente, e possivelmente os sedimentos provenientes do rio Caeté ficam retidos no próprio estuário até o processo de deposição.

O CAT1 fica localizado na região denominada médio estuário, região em que ocorre grande mistura entre águas fluviais e marinhas, situação que favorece a formação da zona máxima de turbidez (Asp et al. 2012; Araújo e Asp 2013, Gomes et al. 2013, Asp et al 2016). Em posição mais externa ao estuário, ou baixo estuário, a influência marinha é maior. Neste contexto, a mistura de fontes de sedimento indicada pelo *proxy* Fe/Ti no testemunho CAT-F (Figura 45 e 46) pode ser suportada pela hipótese levantada em Asp et al (2018), segundo a qual a plataforma continental adjacente à Península de Ajuruteua também desempenha papel de fonte de sedimento para a região. Entretanto, para atribuir maior robustez a esta afirmação, seria necessária a realização de mais análises de isótopos de Sr e Nd em amostras de superfície do CAT-F ou outra amostra de superfície do baixo estuário.

A Figura 48 e 49 apresenta os perfis das razões $\ln(\text{Fe}/\text{K})$ e $\ln(\text{Rb}/\text{Sr})$, respectivamente. A Figura 50 apresenta os gráficos de dispersão entre os elementos Fe e K, Rb e Sr, Ca e Sr e, na Figura 51, os gráficos de dispersão entre os elementos Ca e K, Fe e Rb e K e Rb dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F.

Embora $\ln(\text{Fe}/\text{K})$ e $\ln(\text{Rb}/\text{Sr})$ sejam considerados *proxies* de intensidade de intemperismo, é possível notar diferenças entre os perfis de cada *proxy* para seus respectivos testemunhos.

Para o *proxy* $\ln(\text{Fe}/\text{K})$, os testemunhos CAT-S e CAT-N diferem de CAT1 e CAT-F de forma semelhante ao discutido anteriormente para os *proxies* em $\ln(\text{Fe}/\text{Ca})$, $\ln(\text{Ti}/\text{Ca})$ e $\ln(\text{Fe}/\text{Ti})$. A partir dos gráficos de dispersão (Figura 50), também se observa a existência de dois grupos de dados, antes e após 1890. Com exceção do CAT-N, é notável a linearidade exibida entre Fe e K para o conjunto de dados datado de 1890 até o presente em todos os testemunhos. Esta linearidade entre os elementos Fe e K sugere que ambos são de origem continental.

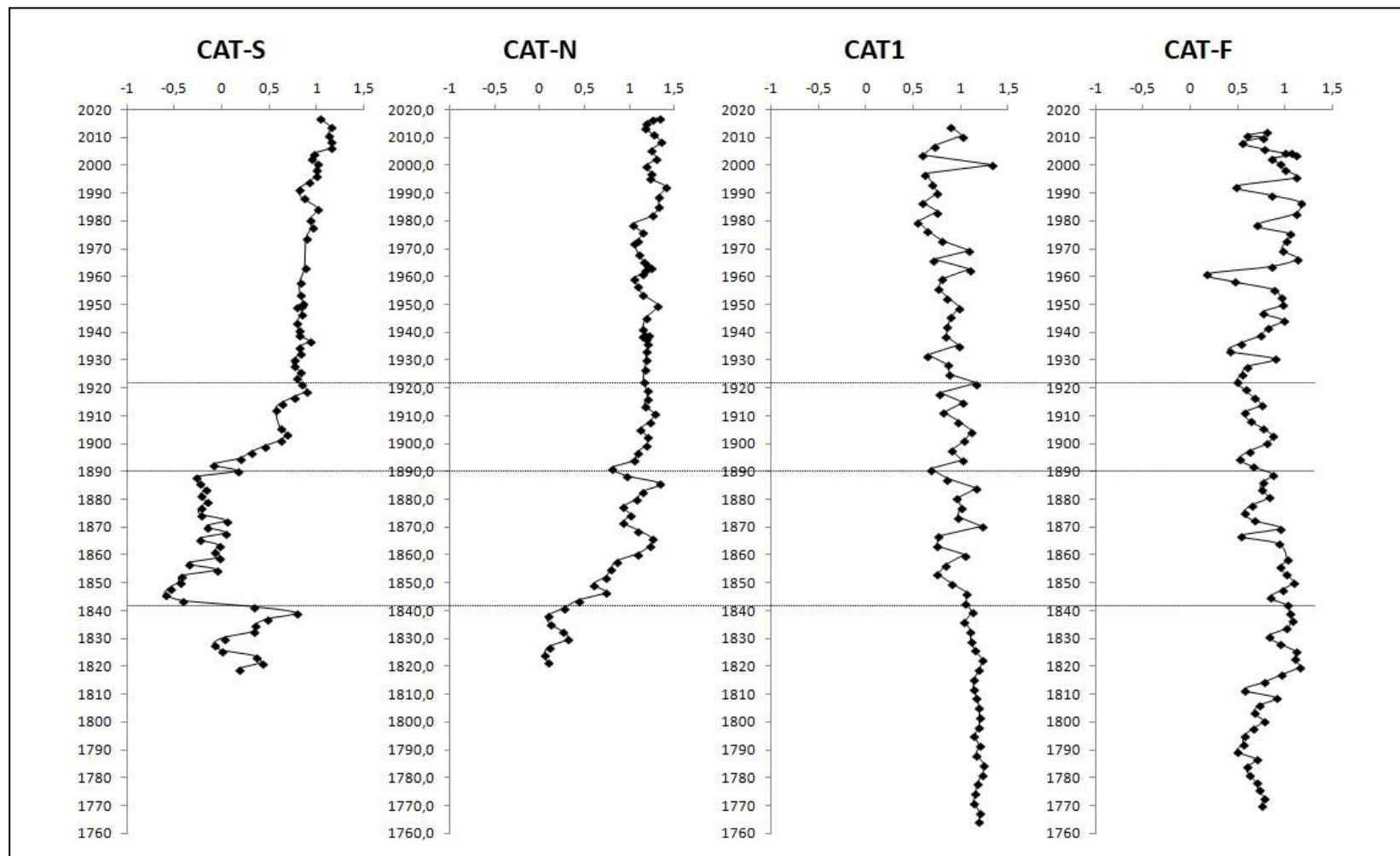


Figura 48: Perfil vertical de $\ln(\text{Fe}/\text{K})$ dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F.

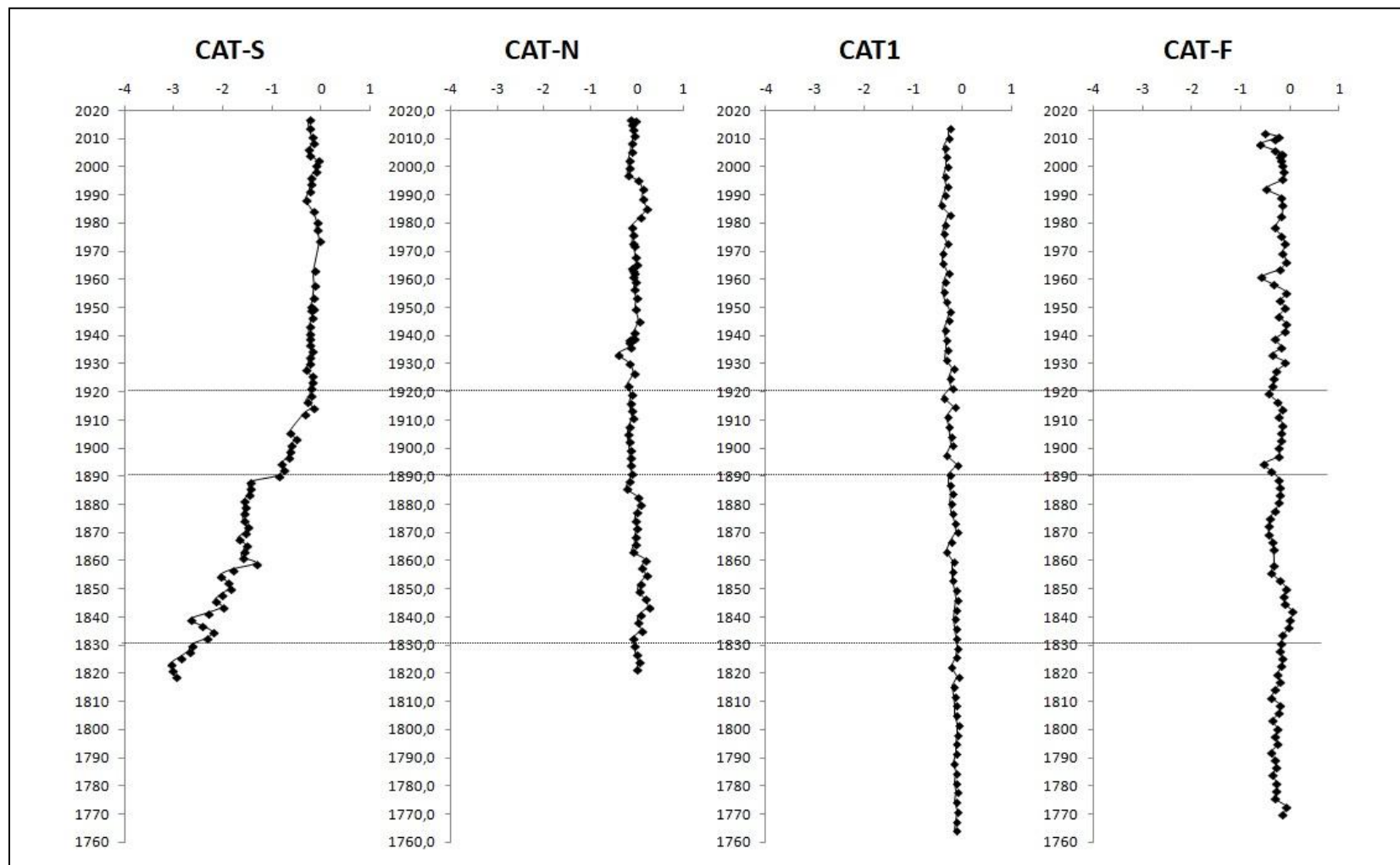


Figura 49: Perfil vertical de $\ln(Rb/Sr)$ dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F.

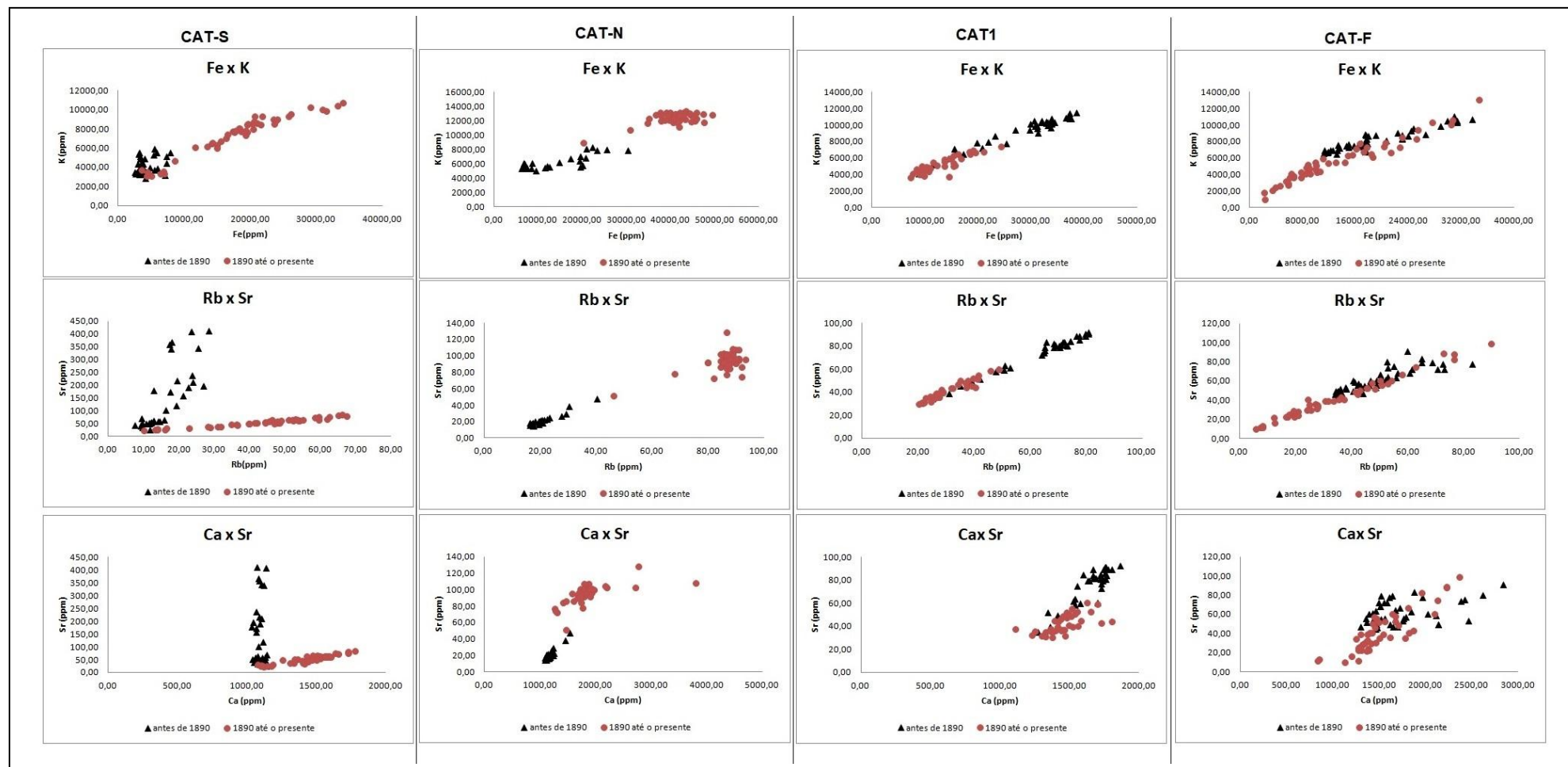


Figura 50: Gráficos de dispersão de Fe e K, Rb e Sr, Ca e Sr dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F. O símbolo em preto representa dados datados antes de 1890 e em vermelho, dados de 1890 até o presente.

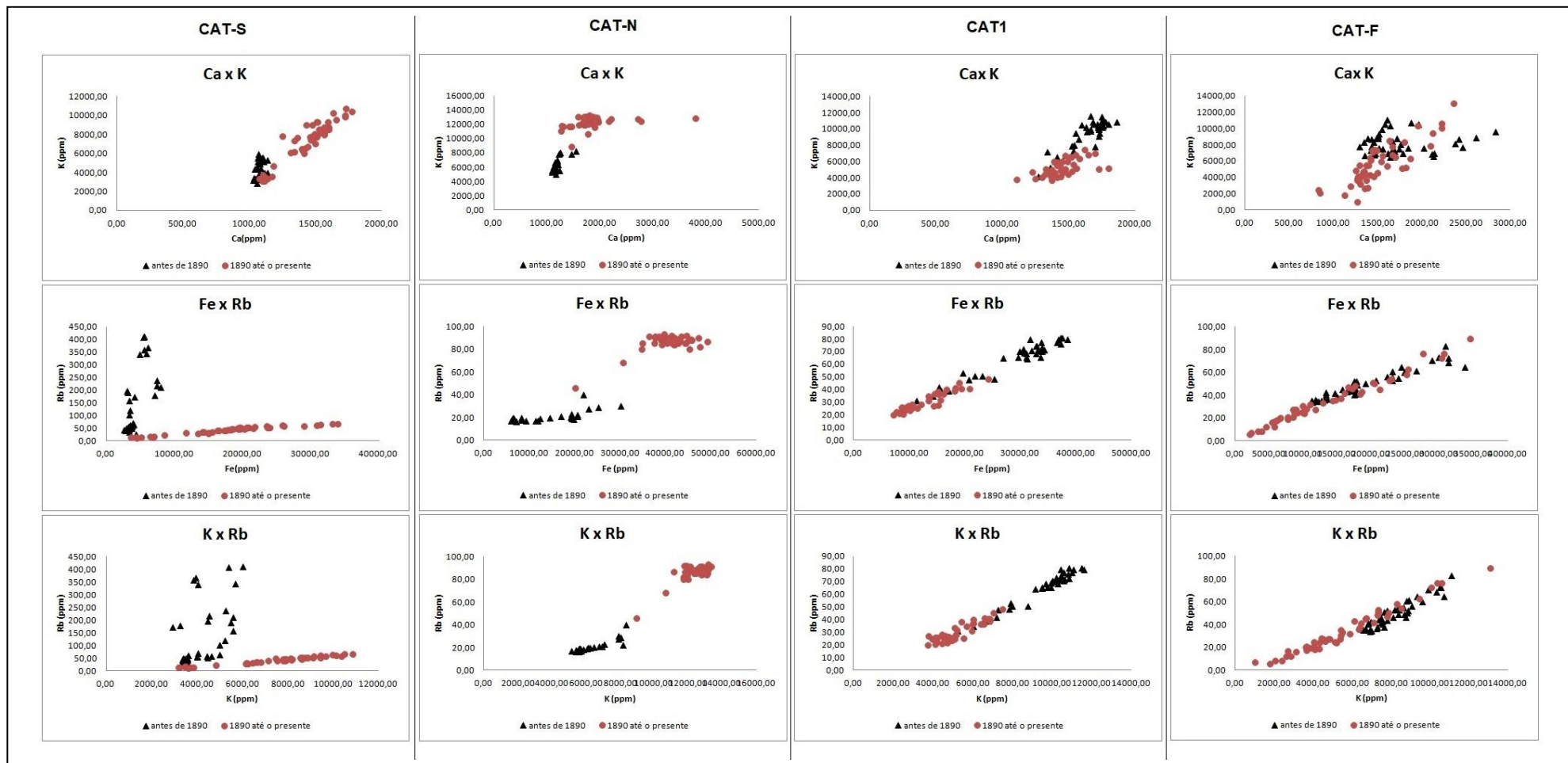


Figura 51: Gráficos de dispersão de Ca e K, Fe e Rb, K e Rb dos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F. O símbolo em preto representa dados datados antes de 1890 e em vermelho, dados de 1890 até o presente.

O diagrama de dispersão dos elementos Rb e Sr, Figura 50, segue a mesma configuração observada entre os elementos Fe e K. Neste contexto sugere-se que Rb e Sr também sejam de origem continental nos testemunhos CAT-N, CAT1 e CAT-F.

Os diagramas de dispersão dos elementos Ca e Sr, Figura 50, apresentam relação linear para o conjunto de dados de 1890 até o presente nos testemunhos CAT-S e CAT-F. Apenas no testemunho CAT1 a linearidade destes elementos é exibida pelo conjunto de dados antes de 1890. O elemento Ca não apresentou relação linear com Fe e nem Ti nos testemunhos CAT1 e CAT-F (Figura 46). Entretanto, uma relação linear entre Ca e Sr pode ser esperada em ambiente marinho devido ao processo de substituição desses dois elementos. Dessa forma, a linearidade entre Ca e Sr dos testemunhos CAT1 e CAT-F indica que estes elementos são de origem marinha.

No testemunho CAT-S, o Ca apresentou linearidade com Fe, Sr e K (Figura 46, Figura 50 e Figura 51). A relação linear entre os elementos Sr e Rb, Fe e Rb dão suporte para inferir que o elemento Ca presente no testemunho CAT-S é de origem continental.

O CAT-N exhibe a distinção de conjunto de dados antes e após o ano de 1890, entretanto, difere-se dos demais testemunhos por não exibir linearidade entre os elementos discutidos: Fe, Ti, K, Ca, Rb e Sr. Desta maneira, sugere-se que o testemunho CAT-N apresente composição de dois grandes blocos de sedimentos, antes e após 1890, com fontes distintas.

O elemento K no testemunho CAT-F apresenta linearidade com Ca, Fe e Rb. Neste registro sedimentar foi levantada a questão de duas fontes de sedimentos, continental e da plataforma continental, *offshore* ao estuário. A relação linear de K com Ca sugerem influencia marinha bem como a relação linear entre K, Fe e Rb, influencia continental.

Neste contexto, tanto o *proxy* $\ln(\text{Fe}/\text{K})$ como $\ln(\text{Rb}/\text{Sr})$ tratam da razão de elementos de origem continental cujas características de mobilidade iônica tornam-se importantes para a compreensão destes *proxies*. Embora Lima et al. (2004) tenham apontado que K seja de origem marinha na região de estudo, apenas no testemunho CAT-F foi possível detectar essa situação. Possivelmente, a fração de K que é precipitada na região é menor do que o K carregado nos processos de intemperismo provenientes do continente.

Os *proxies* $\ln(\text{Fe}/\text{K})$ e $\ln(\text{Rb}/\text{Sr})$ de forma similar aos *proxies* $\ln(\text{Fe}/\text{Ca})$, $\ln(\text{Ti}/\text{Ca})$, exibem mudanças nos perfis das razões nos anos 1840, 1890 e 1920 para os testemunhos CAT-S e CAT-N. Embora as razões $\ln(\text{Fe}/\text{K})$ e $\ln(\text{Rb}/\text{Sr})$ sejam aplicadas

como indicadores de intemperismo, as Figuras 53 e 54 revelam perfis distintos entre eles.

O *proxy* $\ln(\text{Fe}/\text{K})$ apresenta tendência crescente em direção ao presente para os testemunhos CAT-S e CAT-N. Nos testemunhos CAT1 e CAT-F, o perfil é relativamente constante para todo o período analisado. Com relação ao *proxy* $\ln(\text{Rb}/\text{Sr})$, apenas o testemunho CAT-S apresenta tendência crescente em direção ao presente, enquanto que os demais registros apresentam-se praticamente constantes ao longo de todo o período analisado.

Nos testemunhos CAT-S e CAT-N, para o período de 1840 a 1890, os valores mais baixos de $\ln(\text{Fe}/\text{K})$ e $\ln(\text{Rb}/\text{Sr})$ sugerem que, possivelmente, a região seria mais seca. A partir de 1890 a 1920, a tendência crescente em ambos os *proxies* sugere um cenário de intensificação dos processos de intemperismo, onde se atinge um novo equilíbrio a partir de 1920 com valores dos dois *proxies* constantes, com pouca variação, em direção ao presente.

O *proxy* $\ln(\text{Rb}/\text{Sr})$ apresenta padrão semelhante ao $\ln(\text{Fe}/\text{K})$ para o testemunho CAT-S. Porém, para os demais testemunhos, os valores de $\ln(\text{Rb}/\text{Sr})$ são praticamente constantes ao longo de todo o período analisado.

Em todos os testemunhos e todos os *proxies* analisados são evidentes as mudanças nos anos de 1840, 1890 e 1920 (Figura 43, 44, 45, 48 e 49). Os perfis das razões elementares e os gráficos de dispersão indicam que antes de 1840 os sedimentos apresentavam características distintas das mais recentes, e provavelmente de origens distintas. Os *proxies* $\ln(\text{Fe}/\text{Ca})$, $\ln(\text{Ti}/\text{Ca})$, $\ln(\text{Fe}/\text{Ti})$, $\ln(\text{Fe}/\text{K})$ e $\ln(\text{Rb}/\text{Sr})$, para o período entre 1840 a 1890, sugerem um cenário de mudanças no balanço sedimentar da região concomitantemente a um período mais seco. Isso é corroborado pelo histórico de desenvolvimento da região. O período entre 1890 e 1920 é marcado por uma estabilização até atingir uma situação de equilíbrio a partir do ano de 1920. A partir de 1920 até o presente, os resultados sugerem um cenário de período estável correspondente à situação atual.

7 Considerações finais

O presente trabalho propôs avaliar a evolução do aporte de metais no sistema estuarino Caeté, no estado do Pará, Brasil, durante os últimos 150 anos, com foco na compreensão da variação do ciclo hidrológico no continente e na dinâmica sedimentar da região. Adicionalmente, foi possível comparar resultados dos conteúdos de metais obtidos por fluorescência de raios-X portátil e digestão total e ICP/OES; identificar um conjunto de elementos metálicos indicadores de períodos úmidos e/ou secos na área de estudo; constatar mudança da dinâmica e fonte de sedimentos da região de estudo, além da aplicabilidade das razões Fe/Ca, Ti/Ca, Fe/Ti, Fe/K, Rb/Sr como *proxies* de influência marinha/continental, fonte de sedimento, e intemperismo em registros sedimentares de região costeira.

Na primeira parte do trabalho apresentou-se a comparação dos resultados do conteúdo de metais de amostras do testemunho TAI obtidos por diferentes métodos: digestão total assistido por ICP/OES e fluorescência de raios-X portátil. A comparação dos resultados obtidos pelos dois métodos para os elementos Cr, Ca, Fe, K, Mn, Pb, Sr, Ti, V e Zn exibiram equivalência em magnitude e amplitude, bem como variações similares ao longo do testemunho estudado (Figura 26, Figura 27, Tabela 6).

Desta forma, os resultados provenientes do método de fluorescência de raios-X portátil mostraram-se excelentes parâmetros para estudos de reconstruções ambientais em contextos paleoceanográficos e/ou paleoclimáticos. O método de digestão total e ICP/OES apresentou como desvantagem maior demanda de tempo para obtenção dos resultados, maior custo de insumos além da não preservação da amostra. Em contrapartida, a análise de fluorescência de raios-X portátil apresentou vantagens como: análise não destrutiva, não necessidade de tratamento prévio nas amostras além da rápida geração de resultados e menor custo de insumos para execução da análise.

Na segunda parte deste trabalho, a geocronologia estabelecida por níveis de ^{210}Pb e resultados das análises geoquímicas do testemunho TAI permitiram reconhecer variações de condições mais úmidas ou secas no continente, ao longo dos últimos 240 anos para a região de estudo.

Através da análise estatística dos metais determinados, análise de componentes principais e análise de agrupamento, foi possível reconhecer grupos de elementos indicadores de aporte de sedimentos de origem continental, CP1 (Al, Cr, Cu, Fe, K, Mg,

Pb, Sc e V), e marinha (CaCO_3 , Mg, Sr, Ba). Além desses dois grupos também foram identificados subgrupos de origem continental, indicando elementos relacionados a argilominerais (Cr, Cu, Pb, Sc e V) e elementos ligados a óxidos-hidróxidos de ferro e alumínio (Al, Fe, K). A identificação dos grupos e subgrupos sugere um procedimento laboratorial eficiente e metodologia adequada da análise geoquímica aplicada.

Após identificação do grupo de elementos indicadores de aporte de sedimentos de origem terrígena (CP1), as variações de CP1 foram contrapostas a dados observados de precipitação média anual e índice de evento ENOS do período entre 1973 e 2015. Foram observadas covariações semelhantes entre estes parâmetros com valores positivos de CP1, sincrônicos a períodos úmidos, e valores negativos de CP1, relativos a condições mais secas.

A partir da verificação da sincronia das variações de CP1 e precipitação, compararam-se os resultados de CP1 com o conjunto de dados do índice MEI.ext, de 1871 a 2005. Esta comparação também apresentou correspondência entre anos mais úmidos concomitantes a valores positivos de CP1 e anos mais secos a valores negativos de CP1. Constatação de divergências entre os parâmetros possivelmente estão relacionadas tanto pelo fato de a resolução de escala temporal do registro sedimentar estar diferente da escala de tempo de eventos ENOS, bem como com a existência de outros fatores remotos que podem interferir na região de estudo, como anomalias de TSM.

Assim, os resultados de CP1 denotaram indicadores consistentes, evidenciando períodos úmidos e secos na região de estudo. Os dados obtidos para o testemunho sedimentar TAI permitiram reconhecer, para o intervalo entre 1777 e 2015, períodos de condições de clima mais úmido no continente, evidenciados por períodos de valores positivos de CP1, e períodos de condições de clima mais seco, com valores negativos de CP1.

Adicionalmente, em um contexto regional, os resultados observados da CP1 poderiam ser adotados como indicadores da direção do fluxo de transporte de sedimento dominante, do estuário do Caeté ou Taperaçu, uma vez que o registro sedimentar é proveniente de um canal de maré que interconecta estes dois estuários. Valores positivos da CP1 seriam associados a fluxo de transporte de sedimento dominante proveniente do estuário do Caeté, que apresenta descarga fluvial, maior concentração de material sólido em suspensão e zona de turbidez definida. Valores negativos da CP1

seriam associados a fluxo de transporte de sedimento dominante proveniente do estuário de Taperaçu, com sedimentos de influência mais marinha.

Por último, foi tratada a evolução do aporte de metais na Península de Ajuruteua e a aplicação dos *proxies* Fe/Ca, Ti/Ca, Fe/Ti, Fe/K e Rb/Sr.

Através do uso de imagens históricas de satélite da região foi possível reconhecer e acompanhar a evolução de feições geomorfológicas, como progressão de bancos de areia e formação de ilhas com estabelecimento de vegetação, em períodos de tempo relativamente curtos, inferiores a cinco anos, retratando a complexa dinâmica geomorfológica da região. Verificou-se que mudanças e evolução das feições geomorfológicas, além de serem influenciadas pela hidrodinâmica local, contribuem para aumento ou diminuição da retenção de sedimentos refletidos nos valores de conteúdo de metais, taxa de sedimentação e acumulação de massa apresentados no presente trabalho.

Ainda, foi possível reconhecer que o desenvolvimento do município de Bragança através de atividades de uso e ocupação dos solos levou à alteração da dinâmica sedimentar da Península de Ajuruteua. Os resultados exibiram mudança no aporte de metais a partir do ano de 1890 com aumento dos teores de Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, Ti evidenciado primeiramente no testemunho CAT-S e posteriormente nos testemunhos CAT-N, CAT1 e CAT-F.

Para avaliação dos *proxies* foram utilizados gráficos de dispersão entre os elementos das razões propostas, cuja síntese dos resultados estão apresentados na Tabela 8:

Tabela 8: Síntese das relações observadas nos diagramas Fe x Ca, Ti x Ca, Fe x Ti, Fe x K, Rb x Sr, Ca x Sr, Ca x K, Fe x Rb, K x Rb para os testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F 1

		CAT-S	CAT-N	CAT1	CAT-F
Fe x Ca	Antes 1890:	não linear	não linear	linear	não linear
	1890 – presente:	linear	não linear	não linear	não linear
Ti x Ca	Antes 1890:	não linear	não linear	linear	não linear
	1890 – presente:	linear	não linear	não linear	não linear
Fe x Ti	Antes 1890:	não linear	não linear	linear	linear
	1890 – presente:	linear	não linear	linear	linear
Fe x K	Antes 1890:	não linear	linear	linear	linear
	1890 – presente:	linear	não linear	linear	linear
Rb x Sr	Antes 1890:	não linear	linear	linear	linear
	1890 – presente:	linear	não linear	linear	linear
Ca x Sr'	Antes 1890:	não linear	linear	não linear	não linear
	1890 – presente:	linear	não linear	não linear	linear
Ca x K	Antes 1890:	não linear	não linear	não linear	não linear
	1890 – presente:	linear	não linear	não linear	linear
Fe x Rb	Antes 1890:	não linear	não linear	linear	linear
	1890 – presente:	linear	não linear	linear	linear
K x Rb	Antes 1890:	não linear	não linear	linear	linear
	1890 – presente:	linear	não linear	linear	linear

A partir dos resultados dos teores de metais e relação dos diagramas das razões elementares analisados foi possível constatar que os *proxies* Fe/Ca e Ti/Ca mostraram que os sedimentos dos testemunhos CAT-S e CAT-N são predominantemente de influência continental, enquanto que os testemunhos CAT1 e CAT-F, além de receberem

sedimentos sob influência continental, também recebem sedimentos sob influência marinha.

O *proxy* Fe/Ti revelou proveniência distinta de sedimentos nos quatro testemunhos, a partir do ano de 1890. Adicionalmente, os resultados da análise de $\epsilon\text{Nd}(0)$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ exibiram assinaturas diferentes entre fontes de sedimentos em amostra de superfície de dentro e fora do estuário de Caeté. Esse resultado aponta que o estuário do Caeté não tem capacidade de exportar sedimento para a plataforma continental adjacente, e possivelmente os sedimentos provenientes do rio Caeté ficam retidos no próprio estuário até o processo de deposição. Entretanto, a análise de Sr e Nd em um maior número de amostras de sedimentos de superfície seria recomendado para confirmar o presente cenário sugerido.

Os *proxies* Fe/Ca, Ti/Ca, Fe/Ti, Fe/K e Rb/Sr, aplicados em registros sedimentares costeiros, mostraram-se indicadores de alta complexidade devendo ser aplicados com cautela, pois um mesmo elemento pode ter proveniências distintas.

Através da análise dos resultados dos *proxies* e relações entre os elementos Ca, Fe, K, Rb, Sr e Ti foi possível reconhecer que o elemento Ca no testemunho CAT-S é de origem continental, enquanto que nos demais testemunhos este elemento parece ser de origem marinha. No testemunho CAT-F, o elemento K tem origem tanto continental quanto marinha. Entretanto, possivelmente a fração de K precipitada em ambiente marinho na região é menor do que o K carregado e/ou lixiviado dos processos de intemperismo do continente.

O testemunho CAT-N difere-se dos demais testemunhos por não exibir linearidade entre os elementos Fe, Ti, K, Ca, Rb e Sr. Desta maneira, os resultados indicam que o testemunho CAT-N é composto por dois grandes blocos de sedimentos, antes e após 1980, com fontes distintas.

Todos os *proxies* exibiram mudanças importantes nos anos de 1840, 1890 e 1920 nos quatro testemunhos. Os *proxies* $\ln(\text{Fe}/\text{Ca})$, $\ln(\text{Ti}/\text{Ca})$, $\ln(\text{Fe}/\text{Ti})$, $\ln(\text{Fe}/\text{K})$ e $\ln(\text{Rb}/\text{Sr})$, para o período entre 1840 e 1890, revelaram um cenário de mudanças no balanço sedimentar da região concomitantemente a um período mais seco. Isso é corroborado pelo histórico de desenvolvimento urbano da região. No período entre 1890 e 1920, a tendência crescente dos *proxies* $\ln(\text{Fe}/\text{K})$ e $\ln(\text{Rb}/\text{Sr})$ sugere um cenário de intensificação dos processos de intemperismo, tendo-se atingido um novo equilíbrio a partir de 1920, com valores de ambos os *proxies* constantes e pouca variação em direção

ao presente. Assim, a partir de 1920 até o presente, os resultados sugerem um cenário de período estável correspondente à situação atual.

Os resultados obtidos e discutidos nas seções 6.2 e 6.3 dos cinco testemunhos (TAI, CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F) são complementares e corroboram cenários semelhantes com processo de intensificação de intemperismo e um novo equilíbrio a partir de 1920 na região.

Desta forma, os resultados do presente trabalho revelaram mudanças importantes e informações inéditas referentes à dinâmica sedimentar da região de Bragança, a partir de análises geoquímicas e estudo da evolução do aporte dos teores de metais ao longo dos últimos 150 anos.

8 Conclusão

Os dados geocronológicos obtidos a partir dos níveis de ^{210}Pb e os resultados das análises geoquímicas num contexto multi *proxy* dos testemunhos TAI, CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F permitiram reconhecer e avaliar a evolução do aporte do conteúdo de metais, com foco na variação do ciclo hidrológico e na dinâmica sedimentar do sistema estuarino de Caeté, Bragança-PA, para os últimos 150 anos.

Todos os objetivos específicos foram executados, tendo-se observado que:

- o método de fluorescência de raios-X portátil mostrou-se excelente ferramenta para estudos de reconstituição ambiental e dinâmica sedimentar em sedimentos costeiros;

- reconheceram-se grupos de elementos indicadores de aporte de sedimentos de origem terrígena, CP1 (Al, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Pb, Sc e V), e marinha (CaCO_3 , Mg, Sr, Ba). Adicionalmente, foram identificados subgrupos de origem continental, separados em elementos relacionados a argilominerais (Cr, Cu, Pb, Sc e V) e elementos ligados a óxidos-hidróxidos de ferro e alumínio (Al, Fe, K);

- a partir da variação observada em CP1 foi possível inferir períodos úmidos e secos na região de estudo no período entre 1973 e 2015;

- o uso combinado dos *proxies* Fe/Ca, Ti/Ca, Fe/Ti permitiu reconhecer a existência de diferentes fontes de sedimento nos testemunhos CAT-S, CAT-N, CAT1 e CAT-F;

- os resultados da análise de $\epsilon\text{Nd}(0)$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ exibiram assinaturas diferentes entre fontes de sedimentos em amostra de superfície de dentro (CAT1) e fora (P4) do estuário de Caeté, possivelmente indicando que o sistema estuarino não tem capacidade de exportar sedimento para a plataforma continental adjacente;

- os *proxies* Fe/K e Rb/Sr mostraram provável intensificação no processo de intemperismo na região a partir de 1890 e estabelecimento de novo equilíbrio do ciclo hidrológico na região.

REFERÊNCIAS

- Allègre, Claude J, Bernard Dupré, Philippe Négrel, and Jérôme Gaillardet. 1996. Sr-Nd-Pb isotope systematics in Amazon and Congo River systems : Constraints about erosion processes.
- Alves, B. A. 2018. PA-458 (Estrada Bragança-Ajuruteua): Turismo E Desenvolvimento De Bragança-Pa. *Revista Sociais e Humanas* 31: 48–65. doi:10.5902/2317175832515.
- Appleby, P. G., and F. Oldfield. 1978. The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported Pb-210 in the sediment. *Catena* 5, 1e8. *Catena* 5: 1–8.
- Appleby, P.G., and F. Oldfield. 1992. Application of lead-210 to sedimentation studies. In *Uranium-series disequilibrium. Applications to earth, marine and environmental sciences*.
- Araújo, Wilton Pires, and Nils E. Asp. 2013. Hydrodynamic connectivity between two macrotidal Amazonian estuaries. *Journal of Coastal Research* 165: 1086–1091. doi:10.2112/SI65-184.1.
- Arz, Helge W., S. Gerhardt, J. Pätzold, and U. Röhl. 2001. Millennial-scale changes of surface- and deep-water flow in the western tropical Atlantic linked to Northern Hemisphere high-latitude climate during the Holocene. *Geology* 29: 239. doi:10.1130/0091-7613(2001)029<0239:MSCOSA>2.0.CO;2.
- Arz, Helge W, Jürgen Pätzold, and Gerold Wefer. 1998. Correlated millennial-scale changes in surface hydrography and terrigenous sediment yield inferred from last-glacial marine deposits off northeastern Brazil. *Quaternary Research* 50. Elsevier: 157–166.
- Asp, N. E., V. J.C. Gomes, C. A.F. Schettini, P. W.M. Souza-Filho, E. Siegle, A. S. Ogston, C. A. Nittrouer, et al. 2018. Sediment dynamics of a tropical tide-dominated estuary: Turbidity maximum, mangroves and the role of the Amazon River sediment load. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 214: 10–24. doi:10.1016/j.ecss.2018.09.004.
- Asp, Nils Edvin, Vando J. C. Gomes, A. Ogston, José C. C. Borges, and Charles A. Nittrouer. 2016. Sediment source, turbidity maximum, and implications for mud exchange between channel and mangroves in an Amazonian estuary. *Ocean Dynamics* 66: 285–297. doi:10.1007/s10236-015-0910-2.
- Asp, Nils Edvin, Carlos Augusto França Schettini, Eduardo Siegle, Marcio Sousa da Silva, and Roney Nonato Reis de Brito. 2012. The dynamics of a frictionally-dominated amazonian estuary. *Brazilian Journal of Oceanography* 60: 391–403. doi:10.1590/S1679-87592012000300011.
- Basu, Asish R, Mukul Sharma, Peter G Decelles, and Geological Sciences. 1990. Nd , Sr-isotopic provenance and trace element geochemistry of Amazonian foreland basin fluvial sands , Bolivia and Peru : implications for ensialic Andean orogeny 100: 1–17.
- Behling, H., M. C.L. Cohen, and R. J. Lara. 2001. Studies on Holocene mangrove ecosystem dynamics of the Bragança Peninsula in north-eastern Pará, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 167: 225–242. doi:10.1016/S0031-0182(00)00239-X.
- Behling, Hermann, Helge W Arz, Jürgen Pätzold, and Gerold Wefer. 2000. Late Quaternary vegetational and climate dynamics in northeastern Brazil, inferences

- from marine core GeoB 3104-1. *Quaternary Science Reviews* 19. Elsevier: 981–994.
- Bouchez, Julien, Jéörme Gaillardet, Christian France-Lanord, Laurence Maurice, and Poliana Dutra-Maia. 2011. Grain size control of river suspended sediment geochemistry: Clues from Amazon River depth profiles. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 12: 1–24. doi:10.1029/2010GC003380.
- Calvert, S. E., and T. F. Pedersen. 2007. Chapter Fourteen Elemental Proxies for Palaeoclimatic and Palaeoceanographic Variability in Marine Sediments: Interpretation and Application. In *Developments in Marine Geology*, 1:567–644. doi:10.1016/S1572-5480(07)01019-6.
- Cavalcanti, Iracema Fonseca Albuquerque. 2012. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century. *Atmospheric Research* 118. Elsevier B.V.: 27–40. doi:10.1016/j.atmosres.2012.06.012.
- Chiessi, Cristiano M., Stefan Mulitza, Jürgen Pätzold, Gerold Wefer, and José a. Marengo. 2009. Possible impact of the Atlantic Multidecadal Oscillation on the South American summer monsoon. *Geophysical Research Letters* 36: L21707. doi:10.1029/2009GL039914.
- Cohen, M. C.L., H. Behling, and R. J. Lara. 2005. Amazonian mangrove dynamics during the last millennium: The relative sea-level and the Little Ice Age. *Review of Palaeobotany and Palynology* 136: 93–108. doi:10.1016/j.revpalbo.2005.05.002.
- Cohen, M C L, R J Lara, C B Smith, R S Angélica, B S Dias, and T Pequeno. 2008. Catena Wetland dynamics of Marajó Island , northern Brazil , during the last 1000 years. *Catena* 76. Elsevier B.V.: 70–77. doi:10.1016/j.catena.2008.09.009.
- Cohen, Marcelo C.L., Pedro W.M. Souza Filho, Rubén J. Lara, Hermann Behling, and Rodolfo J. Angulo. 2005. A model of Holocene mangrove development and relative sea-level changes on the Bragança Peninsula (northern Brazil). *Wetlands Ecology and Management* 13: 433–443. doi:10.1007/s11273-004-0413-2.
- Cohen, Marcelo Cancela Lisboa, Igor Charles Castor Alves, Marlon Carlos França, Luiz Carlos Ruiz Pessenda, and Dilce de Fátima Rossetti. 2015a. Relative sea-level and climatic changes in the Amazon littoral during the last 500years. *Catena* 133. Elsevier B.V.: 441–451. doi:10.1016/j.catena.2015.06.012.
- Cohen, Marcelo Cancela Lisboa, Luiz Carlos Ruiz Pessenda, Hermann Behling, Dilce de Fátima Rossetti, Marlon Carlos França, José Tasso Felix Guimarães, Yuri Friaes, and Clarisse Beltrão Smith. 2012. Holocene palaeoenvironmental history of the Amazonian mangrove belt. *Quaternary Science Reviews* 55. Elsevier Ltd: 50–58. doi:10.1016/j.quascirev.2012.08.019.
- Costa, João Batista Sena, Ruth Léa Bemerguy, Yociteru Hasui, Maurício da Silva Borges, Carlos Roberto Paranhos Ferreira Júnior, Pedro Édson Leal Bezerra, Marcondes Lima da Costa, and Jane Maria Garrafielo Fernandes. 1996. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *Geonomos*.
- da Costa, Marcondes Lima, Hermann Behling, José F. Berrêdo, Marciléia Silva do Carmo, and Natalino Valente Moreira de Siqueira. 2004. Mineralogical, Geochemical and Palynological Studies of Late Holocene Mangrove Sediments From Northeastern Para State, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências* 34: 479–488. doi:10.25249/0375-7536.2004344479488.
- Depaolo, Donald J. 1981. Neodymium isotopes in the Colorado Front Range and crust-mantle evolution in the Proterozoic. *Nature* 291: 193–196. doi:10.1038/291193a0.
- De Fátima Rossetti, Dilce. 2006. Evolução sedimentar miocênica nos estados do pará e

- Maranhão. *Geologia USP - Serie Científica* 6: 7–18. doi:10.5327/S1519-874X2006000300003.
- Faure, Gunter, and James L Powell. 2012. *Strontium isotope geology*. Vol. 5. Springer Science & Business Media.
- Fernández, Marilén, Svante Björck, Barbara Wohlfarth, Nora I. Maidana, Ingmar Unkel, and Nathalie Van der Putten. 2013. Diatom assemblage changes in lacustrine sediments from Isla de los Estados, southernmost South America, in response to shifts in the southwesterly wind belt during the last deglaciation. *Journal of Paleolimnology* 50: 433–446. doi:10.1007/s10933-013-9736-4.
- Ferreira, Paulo Alves de Lima, Rubens Cesar Lopes Figueira, Eduardo Siegle, Nils Edvin Asp Neto, César de Castro Martins, Carlos Augusto França Schettini, Pablo Muniz Maciel, Felipe García-Rodríguez, and Michel Michaelovitch de Mahiques. 2016. Using a cesium-137 (¹³⁷Cs) sedimentary fallout record in the South Atlantic Ocean as a supporting tool for defining the Anthropocene. *Anthropocene* 14. Elsevier B.V.: 34–45. doi:10.1016/j.ancene.2016.06.002.
- Ferreira, Paulo Alves de Lima, Andreza Portella Ribeiro, Mylene Giseli do Nascimento, Cesar de Castro Martins, Michel Michaelovitch de Mahiques, Rosalinda Carmelo Montone, and Rubens Cesar Lopes Figueira. 2013. ¹³⁷Cs in marine sediments of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Science of the Total Environment* 443. Elsevier B.V.: 505–510. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.11.032.
- Figueira, Rubens Cesar Lopes, Moyses Gonsalez Tessler, Michel Michaelovitch De Mahiques, and Marina M. Fukumoto. 2007. Is there a technique for the determination of sedimentation rates based on calcium carbonate content? A comparative study on the Southeastern Brazilian shelf. *Soils and Foundations* 47: 649–656. doi:10.3208/sandf.47.649.
- Filho, P W M Souza, M C L Cohen, R J Lara, G C Lessa, B Koch, and H Behling. 2006. Holocene coastal evolution and facies model of the Braganca macrotidal flat on the Amazon Mangrove Coast, Northern Brazil. *Journal of Coastal Research*: 306–310.
- Garreaud, René D., Mathias Vuille, Rosa Compagnucci, and José Marengo. 2009. Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281. Elsevier B.V.: 180–195. doi:10.1016/j.palaeo.2007.10.032.
- Ge, Liangquan, Wanchang Lai, and Yanchang Lin. 2005. Influence of and correction for moisture in rocks, soils and sediments on in situ XRF analysis. *X-Ray Spectrometry*. doi:10.1002/xrs.782.
- Goldstein, Steven L. 1988. Decoupled evolution of Nd and Sr isotopes in the continental crust and the mantle. *Nature* 336: 733–738. doi:10.1038/336733a0.
- Gomes, Vando J. C., Paulo T. A. Freitas, and Nils E. Asp. 2013. Dynamics and seasonality of the middle sector of a macrotidal estuary. *Journal of Coastal Research* 165: 1140–1145. doi:10.2112/si65-193.1.
- Gomes, Vando J C, Nils E Asp, Eduardo Siegle, Robin L Mclachlan, S Ogston, Ariane M M Silva, Charles A Nittrouer, and Denise F Souza. 2020. Estuarine , Coastal and Shelf Science Connection between macrotidal estuaries along the southeastern Amazon coast and its role in coastal progradation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 240. Elsevier Ltd: 106794. doi:10.1016/j.ecss.2020.106794.
- Gonneea, Meagan Eagle, and Adina Paytan. 2006. Phase associations of barium in marine sediments. *Marine Chemistry* 100: 124–135. doi:10.1016/j.marchem.2005.12.003.
- Govin, Aline, Ulrike Holzwarth, David Heslop, Lara Ford Keeling, Matthias Zabel, Stefan Mulitza, James a. Collins, and Cristiano M. Chiessi. 2012. Distribution of major elements in Atlantic surface sediments (36°N-49°S): Imprint of terrigenous

- input and continental weathering. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 13: n/a-n/a. doi:10.1029/2011GC003785.
- Grimm, Alice M., and Renata G. Tedeschi. 2009. ENSO and extreme rainfall events in South America. *Journal of Climate* 22: 1589–1609. doi:10.1175/2008JCLI2429.1.
- Hamilton, P. J., R. K. O’Nions, D. Bridgewater, and A. Nutman. 1983. Sm-Nd studies of Archaean metasediments and metavolcanics from West Greenland and their implications for the Earth’s early history. *Earth and Planetary Science Letters* 62: 263–272. doi:10.1016/0012-821X(83)90089-4.
- Hammer, Ø., D.A.T. a. T. Harper, and P. D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*. doi:10.1016/j.bcp.2008.05.025.
- Haug, G. H., K. A. Hughen, D. M. Sigman, L. C. Peterson, and U. Röhl. 2001. Southward migration of the intertropical convergence zone through the holocene. *Science* 293. American Association for the Advancement of Science: 1304–1308. doi:10.1126/science.1059725.
- Hongyu, Kuang, Gilmar Jorge, and De Oliveira Junior. 2016. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação Principal Component Analysis: theory, interpretations and applications 1: 83–90. doi:10.18607/ES20165053.
- IBGE-EMBRAPA. 2001. *Mapa de Solos IBGE.pdf*. Rio de Janeiro: IBGE/EMBRAPA.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. 2018. Banco de Dados para Pesquisa e Ensino (BDMEP). Available: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>> Date accessed: 28 August 2018.
- Jansen, J. H.F., S. J. Van Der Gaast, B. Koster, and A. J. Vaars. 1998. CORTEX, a shipboard XRF-scanner for element analyses in split sediment cores. *Marine Geology*. doi:10.1016/S0025-3227(98)00074-7.
- João, Xafi da Silva Jorge, Sheila Gatinho Teixeira, and Dianne Danielle Farias Fonseca. 2013. *Geodiversidade do Estado Do Pará. Geodiversidade do estado do Pará*. Belém, Brasil.
- Klein, Evandro L, Rômulo S Angélica, Chris Harris, Fred Jourdan, and Marly Babinski. 2013. Lithos Ma fí c dykes intrusive into Pre-Cambrian rocks of the São Luís cratonic fragment and Gurupi Belt (Parnaíba Province), north – northeastern Brazil : Geochemistry , Sr – Nd – Pb – O isotopes , Ar / Ar geochronology , and relationships to CAMP magm. *LITHOS* 172–173. Elsevier B.V.: 222–242. doi:10.1016/j.lithos.2013.04.015.
- Krause, Gesche. 2010. The Geography of the Bragança Coastal Region. In *Mangrove Dynamics and Management in North Brazil*, 19–34. Springer, Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-13457-9_3.
- Kujau, Ariane, Dirk Nürnberg, Christoph Zielhofer, André Bahr, and Ursula Röhl. 2010. Mississippi River discharge over the last ~560,000years - Indications from X-ray fluorescence core-scanning. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 298. Elsevier B.V.: 311–318. doi:10.1016/j.palaeo.2010.10.005.
- Lacerda, Franciane Gama. 2018. Uma “ artéria necessária ” para o progresso : a Estrada de Ferro de Bragança (Pará , 1883-1908). 10: 226–248.
- Landim, Paulo M Barbosa. 2010. *Introdução à análise estatística de dados geológicos multivariados. DGA,IGCE,UNESP, Rio Claro, Texto didático*.
- Leandro, Leonardo Milanez de Lima, and Fábio Carlos da Silva. 2013. A estrada de ferro de Bragança e a colonização da zona bragantina no estado do Pará. *Novos Cadernos NAEA* 15: 143–174. doi:10.5801/ncn.v15i2.578.
- de Lima Ferreira, Paulo Alves, Eduardo Siegle, Carlos Augusto França Schettini,

- Michel Michaelovitch de Mahiques, and Rubens Cesar Lopes Figueira. 2015. Statistical validation of the model of diffusion-convection (MDC) of ¹³⁷Cs for the assessment of recent sedimentation rates in coastal systems. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 303: 2059–2071. doi:10.1007/s10967-014-3622-z.
- Lü, Xiaoxia, Gerard J.M. Versteegh, Jinming Song, Xuegang Li, Huamao Yuan, and Ning Li. 2016. Geochemistry of Middle Holocene sediments from south Yellow Sea: Implications to provenance and climate change. *Journal of Earth Science* 27: 751–762. doi:10.1007/s12583-015-0577-0.
- Lubis, Ali Arman. 2006. Constant Rate of Supply (CRS) Model for Determining the Sediment Accumulation Rates in the Coastal Area Using ²¹⁰Pb. *Journal of Coastal Development* 10: 1410–5217. doi:10.1.1.1032.3190.
- de Mahiques, Michel Michaelovitch, Leticia Burone, Rubens Cesar Lopes Figueira, Ana Amélia de Oliveira Lavenère-Wanderley, Benjamim Capellari, Carlos Eduardo Rogacheski, Cassia Pianca Barroso, Leonardo Augusto Samaritano dos Santos, Luisa Mariutti Cordero, and Mariana Coppede Cussioli. 2009. Anthropogenic influences in a lagoonal environment: A multiproxy approach at the valo grande mouth, Cananéia-Iguape system (SE Brazil). *Brazilian Journal of Oceanography* 57: 325–337.
- Marengo, J. A., and J. C. Espinoza. 2016. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: Causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology* 36: 1033–1050. doi:10.1002/joc.4420.
- Marengo, José A., Leonard M. Druyan, and Stefan Hastenrath. 1993. Observational and modelling studies of Amazonia interannual climate variability. *Climatic Change*. doi:10.1007/BF01091619.
- Marengo, José A., and Stefan Hastenrath. 1993. Case studies of extreme climatic events in the Amazon Basin. *Journal of Climate*. doi:10.1175/1520-0442(1993)006<0617:CSOECE>2.0.CO;2.
- Maria, Adriana, Coimbra Horbe,IVALDO RODRIGUES, Elton Luiz, Roberto Ventura, and Martin Roddaz. 2014. Provenance of quaternary and modern alluvial deposits of the Amazonian floodplain (Brazil) inferred from major and trace elements and Pb – Nd – Sr isotopes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 411. Elsevier B.V.: 144–154. doi:10.1016/j.palaeo.2014.06.019.
- Martins, E. S. F., P. W. M. Sousa e Filho, F. R. Costa, and P. J. de O. Alves. 2007. Extração automatizada e caracterização da rede de drenagem e das bacias hidrográficas do nordeste do Pará ao noroeste do Maranhão a partir de imagens SRTM: 6827–6834.
- Martins e Souza Filho, Pedro Walfir, and Maamar El-Robrini. 2000. <Pedro walfir.pdf>. *Revista Brasileira de Geociências* 30: 522–526.
- McLachlan, R. L., A. S. Ogston, N. E. Asp, A. T. Fricke, C. A. Nittrouer, and V. J.C. Gomes. 2020. Impacts of tidal-channel connectivity on transport asymmetry and sediment exchange with mangrove forests. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 233. Elsevier Ltd: 106524. doi:10.1016/j.ecss.2019.106524.
- Miranda, Luiz Bruner de, Belmiro Mendes de Castro Filho, and Bjorn Kjerfve. 2002. *Princípios de oceanografia física de estuários*. Edusp.
- Miriyala, Pavan, N. P. Sukumaran, B. Nagender Nath, P. B. Ramamurty, A. V. Sijinkumar, B. Vijayagopal, V. Ramaswamy, and Tyson Sebastian. 2017. Increased chemical weathering during the deglacial to mid-Holocene summer monsoon intensification. *Scientific Reports* 7. Nature Publishing Group: 1–11. doi:10.1038/srep44310.

- Moraes, Bergson Cavalcanti de, José Maria Nogueira da Costa, Antonio Carlos Lôla da Costa, and Marcos Heil Costa. 2005a. Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. *Acta Amazonica* 35: 207–214. doi:10.1590/s0044-59672005000200010.
- Moraes, Bergson Cavalcanti De, José Maria Nogueira da Costa, Antonio Carlos Lôla da Costa, and Marcos Heil Costa. 2005b. Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. *Acta Amazonica* 35: 207–214. doi:10.1590/S0044-59672005000200010.
- Moreno, Ana, Isabel Cacho, Miquel Canals, Joan O Grimalt, and Anna Sanchez-Vidal. 2004. Millennial-scale variability in the productivity signal from the Alboran Sea record, Western Mediterranean Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 211. Elsevier: 205–219.
- Mörner, Nils-axel. 1999. Sea level and climate : rapid regressions at local warm phases. *Quaternary International* 60: 75–82.
- Mulitza, Stefan, Matthias Prange, Jan Berend Stuut, Matthias Zabel, Tilo Von Dobeneck, Achakie C. Itambi, Jean Nizou, Michael Schulz, and Gerold Wefer. 2008. Sahel megadroughts triggered by glacial slowdowns of Atlantic meridional overturning. *Paleoceanography* 23: 1–11. doi:10.1029/2008PA001637.
- Nace, Trevor E, Paul A Baker, Gary S Dwyer, Cleverson G Silva, Catherine A Rigsby, Stephen J Burns, Liviu Giosan, Bette Otto-Bliesner, Zhengyu Liu, and Jiang Zhu. 2014. The role of North Brazil Current transport in the paleoclimate of the Brazilian Nordeste margin and paleoceanography of the western tropical Atlantic during the late Quaternary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 415. Elsevier: 3–13.
- Nittrouer, C. A., R. W. Sternberg, R. Carpenter, and J. T. Bennett. 1979. The use of Pb-210 geochronology as a sedimentological tool: Application to the Washington continental shelf. *Marine Geology* 31: 297–316. doi:10.1016/0025-3227(79)90039-2.
- Nobre, Paulo, and J. Shukla. 1996. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate* 9: 2464–2479. doi:10.1175/1520-0442(1996)009<2464:VOSSTW>2.0.CO;2.
- Noller, Jay Stratton. 2000. Lead-210 Geochronology OF DATING (X , Decay $\cdot t = \cdot k$, 210: 115–120.
- Oliveira, Elma Costa. 2016a. Geoquímica Elemental e isotópica Pb-Sr-Nd dos sedimentos de fundo do sistema estuarino de Belém e do litoral Paraense. Universidade Federal do Pará.
- Parra, Mario, Jean-claude Faugkes, Francis Grousset, and Claude Pujol. 1997. Sr-Nd isotopes as tracers of fine-grained detrital sediments: the South-Barbados accretionary prism during the last 150 kyr 136: 225–243.
- Paytan, Adina. 2009. Ocean Paleoproductivity. In *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments*, ed. Vivien Gornitz, 644–651. Dordrecht: Springer Netherlands. doi:10.1007/978-1-4020-4411-3_158.
- Pereira, L C C, C M Mendes, C Monteiro, and N E Asp. 2009. Morphological and Sedimentological Changes in a Macrotidal Sand Beach in the Amazon Littoral (Vila Dos Pescadores, Pará, Brazil). *Journal of Coastal Research Journal of Coastal Research SI Proceedings* 56: 113–117.
- Peterson, Larry C., and Gerald H. Haug. 2006. Variability in the mean latitude of the Atlantic Intertropical Convergence Zone as recorded by riverine input of sediments to the Cariaco Basin (Venezuela). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 234: 97–113. doi:10.1016/j.palaeo.2005.10.021.

- Pivel, M A G, A C A Santarosa, F A L Toledo, and K B Costa. 2013. The Holocene onset in the southwestern South Atlantic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 374. Elsevier: 164–172.
- Poveda, Germán, and Oscar J. Mesa. 1997. Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large-scale ocean-atmospheric phenomena. *Journal of Climate* 10: 2690–2702. doi:10.1175/1520-0442(1997)010<2690:FBHPIT>2.0.CO;2.
- Reboita, M. S., M. A. Gan, R. P. Rocha, and T. Ambrizzi. 2010. Regimes De Precipitação Na América Do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia* 25: 185–204.
- Richter, T. O., S. van der Gaast, B. Koster, a. Vaars, R. Gieles, H. C. de Stigter, H. De Haas, and T. C. E. van Weering. 2006. The Avaatech XRF Core Scanner: technical description and applications to NE Atlantic sediments. *Geological Society, London, Special Publications* 267: 39–50. doi:10.1144/GSL.SP.2006.267.01.03.
- Robbins, John A., and D. N. Edgington. 1975. Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using Pb-210 and Cs-137. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 39: 285–304. doi:10.1016/0016-7037(75)90198-2.
- Rossetti, D.F. (INPE). 2006. Evolução Sedimentar Miocênica nos Estados do Pará e Maranhão. *Geologia USP - Serie Científica* v. 6: 7–18.
- Rossetti, D.F. (INPE), and AM Gões. 2004. O neógeno da Amazônia oriental. *Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi*: 223p.
- Rossetti, Dilce F., Francisco H.R. Bezerra, and José M.L. Dominguez. 2013. Late oligocene-miocene transgressions along the equatorial and eastern margins of Brazil. *Earth-Science Reviews* 123. Elsevier B.V.: 87–112. doi:10.1016/j.earscirev.2013.04.005.
- Rossetti, Dilce F, Ana M Gões, and Lena S B Souza. 2001. Estratigrafia da sucessão sedimentar Pós-Barreiras (Zona Bragantina, Pará) com base em radar de penetração no solo. *Revista Brasileira de Geofísica* 19. SciELO Brasil: 113–130.
- Rothwell, R. Guy, and Ian W. Croudace. 2015. Twenty Years of XRF Core Scanning Marine Sediments: What Do Geochemical Proxies Tell Us? In *Developments in Paleoenvironmental Research*, 17:25–102. doi:https://doi.org/10.1007/978-94-017-9849-5_2.
- Ruiz, Itxaso, and Leopoldo Pena. 2018. Neodymium and Strontium isotopes as source indicators for terrigenous sediments deposited in NE Brazil 129: 633–646. doi:10.21701/bolgeomin.129.4.003.
- Santos, Isaac R., William C. Burnett, and José M. Godoy. 2008. Radionuclides as tracers of coastal processes in Brazil: Review, synthesis, and perspectives. *Brazilian Journal of Oceanography* 56: 115–131. doi:10.1590/s1679-87592008000200004.
- Schaeffer-Novelli, Yara, Sgo Paulo, Gilberto Cintron-molero, T N I A Maria D E Camargo, and Seo Paulo. 1990. Variability of Mangrove Ecosystems Along the Brazilian Coast 13: 204–218.
- Schettini, Carlos A.F., Nils E. Asp, Andrea S. Ogston, Vando J.C. Gomes, Robin L. McLachlan, Marcus E.B. Fernandes, Charles A. Nittrouer, Eliane C. Truccolo, and Danilo C.L. Gardunho. 2020. Circulation and fine-sediment dynamics in the Amazon Macrotidal Mangrove Coast. *Earth Surface Processes and Landforms* 45. Wiley Online Library: 574–589. doi:10.1002/esp.4756.
- Schneider, Ralph R., Horst D. Schulz, and Christian Hensen. 2006a. Marine carbonates: Their formation and destruction. *Marine Geochemistry*: 311–337. doi:10.1007/3-

- 540-32144-6_9.
- Schneider, Ralph R, Horst D Schulz, and Christian Hensen. 2006b. Marine carbonates: their formation and destruction. In *Marine geochemistry*, 311–337. Springer.
- Shimizu, Marília Harumi, and Brant Liebmann. 2017. Extreme precipitation events and their relationship with ENSO and MJO phases over northern South America 2989: 2977–2989. doi:10.1002/joc.4893.
- Sommerfield, Christopher K., Charles A. Nittrouer, and Alberto G. Figueiredo. 1995. Stratigraphic evidence of changes in Amazon shelf sedimentation during the late Holocene. *Marine Geology* 125: 351–371. doi:10.1016/0025-3227(95)00019-U.
- Souza-Filho, Pedro W.M., Guilherme C. Lessa, Marcelo C.L. Cohen, Francisco R. Costa, and Ruben J. Lara. 2009. The subsiding macrotidal barrier estuarine system of the Eastern Amazon Coast, Northern Brazil. In *Lecture Notes in Earth Sciences*, 107:347–375. doi:10.1007/978-3-540-44771-9_11.
- Souza Filho, Pedro Walfir M., Elaine do Socorro Farias Martins, and Francisco Ribeiro da Costa. 2006. Using mangroves as a geological indicator of coastal changes in the Bragança macrotidal flat, Brazilian Amazon: A remote sensing data approach. *Ocean and Coastal Management* 49: 462–475. doi:10.1016/j.ocecoaman.2006.04.005.
- Souza Filho, Pedro Walfir Martins, and Maamar El-Robrini. 2000. Geomorphology of the Braganca coastal zone, northeastern Para State. *Revista Brasileira de Geociencias* 30: 522–526.
- Souza, P, M Cohen, R Lara, G Lessa, B Koch, and H Behling. 2006. Holocene Coastal Evolution and Facies Model of the Bragança Macrotidal Flat on the Amazon Mangrove Coast, Northern Brazil. *Journal of Coastal Research* 2004: 306–310. doi:10.2307/25741585.
- USEPA, E P A. 1995. Method 3052: Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. *Test Methods for Evaluating Solid Waste*.
- Uvo, Cintia Bertacchi, Carlos A. Repelli, Stephen E. Zebiak, and Yochanan Kushnir. 1998. The relationships between tropical Pacific and Atlantic SST and northeast Brazil monthly precipitation. *Journal of Climate* 11: 551–562. doi:10.1175/1520-0442(1998)011<0551:TRBTPA>2.0.CO;2.
- Viers, Jérôme, Martin Roddaz, Naziano Filizola, Jean-loup Guyot, Francis Sondag, Pierre Brunet, Cyril Zouiten, Carole Boucayrand, François Martin, and Géraldo Resende. 2008. Seasonal and provenance controls on Nd – Sr isotopic compositions of Amazon rivers suspended sediments and implications for Nd and Sr fluxes exported to the Atlantic Ocean 274: 511–523. doi:10.1016/j.epsl.2008.08.011.
- Walker, Mike. 2006. *Quaternary Dating Methods*. Mike J.C. Walker, Wiley, Chichester, West Sussex, England (2005) (286p.). *Quaternary Geochronology*. Vol. 1. doi:10.1016/j.quageo.2006.08.004.
- Wien, Katharina, Dirk Wissmann, Martin Kölling, and Horst D. Schulz. 2005. Fast application of X-ray fluorescence spectrometry aboard ship: How good is the new portable Spectro Xepos analyser? *Geo-Marine Letters*. doi:10.1007/s00367-004-0206-x.
- Wolter, Klaus, and Michael S. Timlin. 2011. El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *International Journal of Climatology* 31: 1074–1087. doi:10.1002/joc.2336.
- Yang, Shouye, Hoi Soo Jung, and Congxian Li. 2004. Two unique weathering regimes in the Changjiang and Huanghe drainage basins: Geochemical evidence from river sediments. *Sedimentary Geology* 164: 19–34. doi:10.1016/j.sedgeo.2003.08.001.

Zhang, Yancheng, Cristiano M. Chiessi, Stefan Mulitza, Matthias Zabel, Ricardo I.F. Trindade, Maria Helena B.M. Hollanda, Elton L. Dantas, Aline Govin, Ralf Tiedemann, and Gerold Wefer. 2015. Origin of increased terrigenous supply to the NE South American continental margin during Heinrich Stadial 1 and the Younger Dryas. *Earth and Planetary Science Letters* 432. Elsevier B.V.: 493–500. doi:10.1016/j.epsl.2015.09.054.

ANEXO 1 – Dados Digestão total e ICP/OES CAT1 e TAI

Tabela de resultados dos elementos Al, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Ni, Pb, Rb, Sc, Sr e Ti do testemunho CAT1 obtido por digestão total e ICP/OES expressos em mg kg⁻¹

	cm	Ano	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Ni	Pb	Rb	Sc	Sr	Ti
CAT 1 0-2	0	2014	24732,50	170,55	2170,80	27,13	12,00	13052,90	4700,20	23,11	5277,72	156,73	6,82	8,78	23430,40	4,03	48,83	1967,65
CAT 1 2-4	2	2011	39066,70	185,90	2111,16	53,53	16,18	21427,70	6101,35	39,06	7907,02	174,39	14,66	12,26	31145,40	5,72	65,02	2663,16
CAT 1 4-6	4	2007	18327,00	176,01	1850,03	21,93	12,11	10869,90	4170,48	17,09	4157,69	129,69	4,98	7,19	19394,40	3,07	44,48	1566,75
CAT 1 6-8	6	2004	17503,80	165,98	2208,21	20,65	11,70	10577,30	4046,72	16,33	4066,04	110,69	4,85	7,98	18566,20	2,94	42,87	1438,55
CAT 1 8-10	8	2000	13109,30	63,14	1894,69	19,41	11,60	9101,64	3057,71	15,09	2503,26	97,76	4,78	7,58	5027,86	1,16	17,59	1422,63
CAT 1 10-12	10	1997	12289,70	147,55	2283,72	16,17	10,48	7408,10	3258,21	12,18	2928,03	81,16	3,54	6,55	14279,90	2,33	35,50	1344,97
CAT 1 12-14	12	1993	14494,90	154,94	2473,18	17,07	11,32	8638,52	3559,07	14,25	3461,33	98,73	4,29	7,08	16323,50	2,59	39,39	1409,29
CAT 1 14-16	14	1990	15930,50	152,64	2184,19	18,39	11,10	9741,68	3723,99	14,42	3844,74	121,05	4,34	6,83	16298,60	2,61	40,99	1427,87
CAT 1 16-18	16	1987	15345,10	155,21	1844,50	18,72	11,74	8835,23	3607,73	15,15	3638,65	124,52	4,35	7,52	16874,80	2,83	40,78	1416,13
CAT 1 18-20	18	1983	18059,10	146,08	1629,90	21,54	12,14	10097,00	3701,89	17,33	4560,80	140,47	5,06	7,27	17433,30	3,08	42,15	1681,57
CAT 1 20-22	20	1980	12921,20	136,60	1932,87	14,22	10,41	7369,11	3252,26	12,09	3174,62	115,65	4,26	5,94	13397,70	2,06	34,95	1226,40
CAT 1 22-24	22	1976	16541,50	138,27	1957,30	18,23	11,45	9278,94	3497,69	15,68	4110,49	139,25	5,16	7,18	16452,30	2,82	39,14	1602,95

	cm	Ano	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Ni	Pb	Rb	Sc	Sr	Ti
CAT 1 24-26	24	1973	15592,10	150,51	2209,44	20,87	13,69	9155,88	3380,41	16,07	3742,30	142,22	5,03	8,06	16825,30	2,93	41,89	1536,82
CAT 1 26-28	26	1970	17328,60	155,49	2260,93	21,31	14,47	11299,80	3870,15	17,31	4669,59	155,10	5,54	8,08	19117,20	2,99	48,77	1554,58
CAT 1 28-30	28	1966	16562,30	149,74	2496,08	21,46	21,96	11066,90	3681,68	17,35	4322,80	155,22	5,78	8,70	18043,20	2,95	46,41	1482,77
CAT 1 30-32	30	1963	17960,40	158,49	1629,90	26,65	15,94	12681,20	3861,97	19,16	5062,85	144,64	6,36	7,87	20198,50	3,30	53,03	1588,38
CAT 1 32-34	32	1959	15339,20	149,29	2471,88	21,59	17,16	11067,00	3431,53	17,53	4427,47	136,59	5,60	8,53	18261,30	2,97	46,74	1478,41
CAT 1 34-36	34	1956	17051,30	152,44	2440,16	23,20	20,47	12115,50	3766,23	20,21	4850,26	178,71	5,39	8,04	19519,80	3,38	52,45	1632,47
CAT 1 36-38	36	1952	22942,20	181,47	3029,26	29,83	16,71	13190,40	4486,20	28,53	5911,92	257,06	7,37	9,96	27844,40	4,36	61,74	1857,57
CAT 1 38-40	38	1949	21711,90	175,91	2551,66	25,44	16,93	12347,90	4321,54	25,91	5144,25	185,04	6,47	8,20	25960,00	4,08	53,67	1751,13
CAT 1 40-42	40	1946	23070,50	183,14	2088,93	28,15	16,89	13582,40	4531,64	27,70	5484,15	157,67	7,12	9,81	26625,40	4,22	57,71	1871,43
CAT 1 42-44	42	1942	25210,50	191,06	2333,50	31,62	16,91	15494,70	4822,68	31,70	6287,36	186,44	7,76	9,84	31623,30	4,80	64,37	1880,68
CAT 1 44-46	44	1939	22227,00	182,62	2584,66	31,23	17,14	13454,00	4442,52	26,85	5421,22	174,13	6,96	8,59	26761,60	4,32	58,45	1903,91
CAT 1 46-48	46	1935	21049,00	184,75	2057,47	26,67	18,43	12946,10	4244,52	25,84	4887,20	175,44	6,66	9,51	24787,40	4,15	56,12	1959,21
CAT 1 48-50	48	1932	17134,40	177,11	1829,97	25,15	15,13	10137,50	3767,64	21,30	4063,72	141,13	5,10	8,51	22215,40	3,47	48,90	1822,93
CAT 1 50-52	50	1928	26417,00	198,17	2280,12	33,69	17,80	14927,40	4896,73	33,57	6274,24	208,00	8,27	9,99	33044,50	5,20	63,49	2128,02
CAT 1 52-54	52	1925	10984,10	13,22	1695,10	38,65	16,56	13647,80	3693,58	28,63	5312,80	132,62	6,79	4,78	11395,90	0,79	40,29	2473,27
CAT 1 54-56	54	1922	33272,70	188,56	2065,42	44,64	18,79	18298,60	5162,14	44,42	7201,46	226,92	10,64	12,98	34671,00	6,24	70,76	2380,52

	cm	Ano	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Ni	Pb	Rb	Sc	Sr	Ti
CAT 1 56-58	56	1918	14269,80	154,17	2211,32	17,72	14,88	8288,61	3096,15	17,18	3215,19	153,62	5,77	9,94	17986,30	2,81	40,28	1516,43
CAT 1 58-60	58	1915	26781,80	191,42	1755,15	34,57	18,21	14571,60	4697,39	34,53	5893,15	149,80	8,92	10,14	32312,00	5,29	60,35	2298,92
CAT 1 60-62	60	1911	21351,60	200,36	1619,79	26,63	17,53	12148,90	4342,71	26,41	4804,56	198,92	6,90	9,14	27203,80	4,26	54,60	1993,50
CAT 1 62-64	62	1908	31842,90	217,96	2341,45	38,68	19,16	17684,30	5625,68	38,16	7297,02	185,11	9,28	11,30	37969,50	5,81	70,42	2315,47
CAT 1 64-66	64	1905	26219,70	150,75	1781,53	36,73	15,12	15923,20	4718,41	33,44	6244,83	186,81	9,26	12,67	27646,90	4,34	48,43	2238,85
CAT 1 66-68	66	1901	41283,40	158,82	2418,15	53,30	17,03	22371,00	5636,45	52,98	8429,38	254,60	13,81	15,85	37029,80	6,01	62,52	2831,67
CAT 1 68-70	68	1898	22675,40	131,83	1948,60	29,56	13,11	12100,70	3793,27	28,75	5029,32	134,22	7,68	10,85	22539,20	3,63	39,59	1960,06
CAT 1 70-72	70	1894	24335,70	134,50	1747,12	31,66	13,27	12974,50	4086,78	30,16	5322,38	187,14	8,00	9,50	23759,40	3,74	40,89	2109,06
CAT 1 72-74	72	1891	15110,40	140,51	1534,25	18,49	12,00	8407,53	3542,44	17,80	3267,84	126,63	5,34	9,10	17547,30	2,54	33,60	1674,12
CAT 1 74-76	74	1887	21796,60	152,06	1305,05	26,58	15,08	12675,60	4407,72	25,92	4573,39	168,51	6,89	10,80	23246,80	3,27	39,93	1958,83
CAT 1 76-78	76	1884	35454,40	171,42	2190,11	43,28	17,23	19757,70	5753,44	42,14	7523,86	197,95	11,30	15,32	35261,40	5,24	56,32	2655,18
CAT 1 78-80	78	1881	34197,60	176,85	1687,53	40,27	16,23	18168,80	5766,91	40,69	7135,46	171,76	10,00	13,49	31764,50	5,09	54,61	2661,24
CAT 1 80-82	80	1877	37036,50	181,61	1966,09	41,01	15,82	19514,70	6375,12	41,96	7670,27	157,92	10,67	14,55	35642,60	5,20	55,87	2527,54
CAT 1 82-84	82	1874	34568,30	191,91	1712,54	40,55	17,02	18879,60	6210,62	39,83	7244,31	156,70	10,22	14,21	35265,90	4,99	56,70	2659,30
CAT 1 84-86	84	1870	46595,10	195,79	1778,08	59,02	18,81	25492,50	7316,88	55,55	9332,95	199,39	14,40	17,11	37962,00	6,90	71,61	3478,05

	cm	Ano	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Ni	Pb	Rb	Sc	Sr	Ti
CAT 1 86-88	86	1867	22069,80	144,88	1387,02	17,14	13,52	12467,00	4306,13	27,31	4815,57	136,88	6,80	10,52	22424,80	3,25	39,87	1651,97
CAT 1 88-90	88	1864	17536,30	122,09	1629,90	31,89	10,53	8186,60	3197,04	11,48	3437,07	94,72	4,53	6,72	18249,40	2,50	25,85	1325,90
CAT 1 90-92	90	1860	33461,50	143,53	1629,90	34,16	12,77	14036,10	4713,72	21,50	6661,82	147,85	7,87	9,89	31384,50	4,31	38,16	2103,34
CAT 1 92-94	92	1857	37651,20	150,97	197,85	41,30	13,41	15528,90	5301,00	23,38	7665,94	160,66	8,77	10,67	34935,80	4,85	41,15	2395,68
CAT 1 94-96	94	1853	39950,80	71,04	951,20	47,28	14,39	17276,30	5435,62	27,00	7177,14	174,58	10,68	12,07	23260,90	2,21	45,06	2902,89
CAT 1 96-98	96	1850	48265,10	160,72	120,09	69,50	15,26	19843,20	6315,34	30,78	8591,85	178,00	12,10	13,09	31511,60	5,42	48,77	3020,49
CAT 1 98-100	98	1846	74356,90	137,25	741,03	65,10	18,91	27591,40	8280,33	46,03	6871,60	157,56	16,93	17,11	28200,10	6,55	66,71	4186,28
CAT 1 100-102	100	1843	72278,20	172,79	956,54	65,62	17,36	27141,30	8504,07	42,90	12433,10	145,91	16,25	17,69	39197,10	7,44	63,07	4047,36
CAT 1 102-104	102	1840	67566,10	184,49	602,43	62,90	17,83	26155,40	8010,89	43,02	11797,60	156,49	15,99	17,85	60207,60	8,09	66,36	3916,42
CAT 1 104-106	104	1836	72316,50	183,32	559,80	61,44	17,07	27592,00	8559,57	42,21	7416,18	147,29	16,31	15,96	54672,20	8,20	63,32	3908,55
CAT 1 106-108	106	1833	66127,80	170,63	695,54	76,41	17,96	27286,00	7799,48	40,83	11966,90	140,07	15,88	16,43	43632,20	7,35	58,99	3663,03
CAT 1 108-110	108	1829	82713,70	190,90	506,83	66,48	19,29	31837,80	9618,59	50,37	7888,59	174,05	19,48	19,54	61400,00	9,33	65,48	4351,80
CAT 1 110-112	110	1826	65693,50	162,51	907,18	55,08	18,57	30173,20	7684,37	39,77	10844,00	154,06	17,37	18,06	38960,70	6,79	54,40	3830,60
CAT 1 112-114	112	1822	58627,90	176,69	241,41	63,49	17,94	25869,10	7455,15	35,85	10651,00	135,38	14,32	15,84	46311,00	6,91	54,92	3598,30
CAT 1 114-116	114	1819	33371,40	5,81	111,31	59,24	17,66	24963,80	4510,96	39,93	6613,05	120,95	14,86	14,98	6885,22	0,86	40,32	3784,63

	cm	Ano	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Ni	Pb	Rb	Sc	Sr	Ti
CAT 1 116-118	116	1816	63791,10	189,74	621,60	60,89	18,18	26664,20	8018,97	39,37	11670,70	164,38	15,62	15,58	63143,70	7,86	61,86	3805,73
CAT 1 118-120	118	1812	68736,10	182,90	902,08	56,38	17,01	28009,00	8399,35	40,95	7405,15	169,37	16,01	15,96	61646,90	7,98	60,78	3889,76
CAT 1 120-122	120	1809	58907,10	142,41	759,97	65,72	16,34	25310,20	7026,63	37,90	9888,94	160,16	14,77	14,29	31224,80	5,49	57,82	3683,90
CAT 1 122-124	122	1805	71750,40	168,26	584,81	69,31	17,38	30993,40	8307,82	43,92	7361,56	186,14	17,27	16,82	53824,30	7,74	63,33	3952,91
CAT 1 124-126	124	1802	77371,40	176,23	564,94	79,87	18,40	32450,80	8993,79	46,60	7293,32	178,11	18,17	16,59	57354,40	8,39	57,90	4084,45
CAT 1 126-128	126	1799	90062,70	200,28	730,63	69,82	19,81	34562,40	10039,50	54,29	9903,63	196,32	20,37	20,04	75282,30	10,73	76,01	4532,85
CAT 1 128-130	128	1795	77005,90	191,49	1326,12	64,48	18,36	30661,50	9242,84	45,97	8385,52	171,95	18,02	18,43	68456,40	9,40	66,25	4251,99
CAT 1 130-132	130	1792	72592,70	186,70	673,39	63,94	18,02	30338,10	8745,09	43,61	7765,00	170,97	16,50	16,07	53011,20	8,62	63,99	4053,77
CAT 1 132-134	132	1788	71793,20	180,21	621,64	78,64	17,79	29742,20	8699,80	42,90	7752,57	182,17	16,73	17,13	53024,50	8,20	61,74	3928,95
CAT 1 134-136	134	1785	95284,80	187,36	955,41	78,69	19,65	35867,80	10484,10	56,40	10035,10	211,27	21,41	19,22	59943,20	10,63	71,74	4391,53
CAT 1 136-138	136	1781	70107,60	39,94	836,97	75,29	19,45	33863,60	7865,86	53,01	7377,08	181,07	20,00	17,60	21359,10	3,38	67,85	4411,14
CAT 1 138-140	138	1778	86603,60	177,15	821,98	71,53	19,23	33751,10	9542,21	50,95	8823,20	202,98	19,29	18,81	68375,60	9,27	72,33	4637,90
CAT 1 140-142	140	1775	83934,00	189,56	1186,78	69,57	18,60	31984,20	9720,56	49,19	9187,26	202,23	18,86	18,65	70639,80	9,58	70,26	4362,76
CAT 1 142-144	142	1771	80391,10	197,39	673,95	72,51	18,40	31472,20	9512,05	47,09	8722,91	192,62	17,88	18,51	70134,50	9,41	68,70	4359,73
CAT 1 144-146	144	1768	85010,60	177,98	716,15	63,75	18,33	34094,50	9792,20	49,69	8557,62	193,40	19,27	16,24	63807,90	9,45	59,13	4325,76
CAT 1 146-148	146	1764	71349,70	162,57	724,19	63,75	17,30	28823,80	8463,38	43,33	11396,40	174,96	16,90	17,02	55436,20	6,60	58,85	3866,58

Tabela de resultados dos elementos Al, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Ni, Pb, Rb, Sc, Sr e Ti do testemunho TAI obtido por digestão total e ICP/OES expressos em mg kg⁻¹.

	cm	Idade	Ano	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Pb	Sc	Sr	Ti	V	Zn
TAI 00 - 02	0	0,00	2015	17762,20	108,05	1740,50	22,78	5,13	10842,40	4009,87	5083,18	111,13	6,99	2,47	35,51	2203,40	24,81	27,24
TAI 02 - 04	2	0,71	2014	18721,00	114,70	1786,97	19,99	4,72	11147,00	4239,48	6228,56	100,13	6,49	3,19	25,36	2139,45	22,90	32,69
TAI 04 - 06	4	1,67	2013	17313,70	134,63	594,93	22,59	5,18	9978,03	3692,46	4508,36	89,41	7,37	4,17	36,81	2073,50	24,63	17,80
TAI 06 - 08	6	2,87	2012	20556,30	117,05	2999,64	23,82	5,20	13780,60	4962,37	5666,57	74,96	7,46	2,79	22,11	2255,20	25,88	32,69
TAI 08 - 10	8	4,33	2011	19998,40	103,84	657,82	29,02	6,85	12563,80	4359,96	5177,36	90,74	7,37	2,60	36,94	2217,81	30,53	22,85
TAI 10 - 12	10	6,03	2009	29790,10	128,23	3098,47	32,79	6,70	20213,60	6654,47	8482,98	101,26	9,02	4,31	26,62	2797,21	35,32	47,78
TAI 12 - 14	12	7,98	2007	27026,10	122,95	1172,34	34,75	6,95	15753,40	5188,02	7704,09	129,95	8,88	4,14	41,80	2390,87	37,62	27,44
TAI 14 - 16	14	10,19	2005	21345,10	116,63	3125,24	23,34	5,29	13977,30	5098,70	6297,07	95,96	7,22	3,22	25,44	2337,54	26,10	29,65
TAI 18 - 20	18	12,70	2002	15483,80	152,63	946,29	34,14	10,85	10943,30	3601,71	4235,34	109,22	6,89	4,53	44,64	2165,98	27,62	21,21
TAI 20 - 22	20	13,70	2001	25589,50	133,55	942,90	31,41	6,27	14989,00	5059,36	7266,53	127,81	8,31	4,03	43,49	2266,54	33,68	23,92
TAI 22 - 24	22	14,76	2000	30875,30	136,41	2607,69	34,97	7,20	21265,10	6948,73	8671,48	114,72	9,50	4,61	27,73	2925,81	38,72	37,12
TAI 24 - 26	24	16,07	1999	36247,60	148,61	1186,20	45,18	8,39	20939,10	6979,64	10091,20	138,32	11,58	5,92	59,95	3094,10	48,73	42,73

	cm	Idade	Ano	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Pb	Sc	Sr	Ti	V	Zn
TAI 26 - 28	26	17,77	1997	54432,30	158,94	2548,68	55,08	10,08	31739,10	10141,50	8016,50	149,31	14,03	7,67	43,88	3717,39	60,61	32,69
TAI 28 - 30	28	19,97	1995	47379,80	145,86	1107,43	55,00	9,43	26551,10	7583,94	8855,12	178,56	12,34	6,67	55,39	3167,24	58,69	43,08
TAI 30 - 32	30	22,69	1992	38406,10	144,13	2829,23	43,31	8,12	24355,00	7845,44	10680,10	133,07	10,99	5,67	32,28	3124,09	46,42	38,05
TAI 32 - 34	32	25,94	1989	38729,40	138,02	572,32	44,94	8,55	20485,00	6343,86	10049,80	150,71	11,83	5,17	47,97	2675,85	48,06	37,20
TAI 34 - 36	34	29,65	1985	49364,70	144,55	2465,14	49,38	9,37	25713,10	9179,22	11178,30	128,12	11,76	6,75	38,74	3361,97	50,40	49,71
TAI 36 - 38	36	33,72	1981	35448,70	144,25	1152,96	42,37	8,26	18509,40	6247,13	9905,78	131,17	11,31	6,08	56,54	2626,12	45,25	35,36
TAI 38 - 40	38	37,98	1977	29397,90	121,69	2756,77	31,06	6,15	17226,20	6198,47	8189,83	113,58	8,41	4,34	27,81	2491,96	33,33	28,80
TAI 40 - 42	40	42,23	1973	22629,70	127,76	856,73	30,37	6,09	13267,50	4815,95	6986,28	112,96	8,70	4,11	45,21	2172,76	32,15	27,27
TAI 42 - 44	42	46,19	1969	26978,90	129,33	2168,84	29,72	5,77	16943,90	6109,81	7920,29	118,12	7,92	4,01	28,90	2370,71	30,97	25,49
TAI 44 - 46	44	49,57	1965	24998,60	138,64	784,91	30,65	6,23	14879,90	5104,07	7575,03	132,65	8,38	4,22	49,37	2184,95	32,43	24,60
TAI 46 - 48	46	51,99	1963	33438,30	138,77	2427,87	35,35	6,88	21333,40	7282,04	10025,60	143,56	9,96	4,73	33,41	2810,65	38,05	32,02
TAI 48 - 50	48	53,04	1962	37752,80	153,71	850,00	43,36	8,23	21390,90	6988,87	11620,90	181,93	11,18	6,09	61,38	2863,75	46,40	34,46
TAI 50 - 52	50	59,25	1956	33594,10	132,48	2296,38	40,22	8,31	23205,60	7662,96	9793,96	128,32	11,40	4,94	34,43	2913,97	42,27	37,13
TAI 52 - 54	52	63,71	1951	51204,30	173,95	1676,28	58,82	10,98	27068,10	8606,03	9153,70	216,69	14,69	8,41	86,26	3153,72	61,70	46,33
TAI 54 - 56	54	67,13	1948	41470,50	141,74	3517,93	45,39	8,62	25843,10	8596,05	11680,00	131,98	10,89	5,85	39,50	3209,70	48,04	38,34
TAI 56 - 58	56	69,72	1945	52130,50	157,02	1609,17	58,31	10,24	29686,30	9507,53	8802,12	200,65	13,56	6,94	58,77	3848,42	59,93	43,64

	cm	Idade	Ano	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Pb	Sc	Sr	Ti	V	Zn
TAI 58 - 60	58	71,67	1943	38307,30	134,18	3410,18	43,27	8,08	25037,20	8213,73	11356,90	130,54	12,71	5,42	39,76	3054,95	45,84	35,80
TAI 60 - 62	60	73,15	1942	48812,20	167,92	1947,32	59,33	10,77	26132,90	8345,73	8932,06	228,99	14,16	8,20	87,64	3139,58	61,60	32,69
TAI 62 - 64	62	74,31	1941	22217,60	117,14	3063,73	26,89	7,50	15815,50	5561,74	6845,16	90,83	7,83	3,11	30,67	2188,15	28,43	24,62
TAI 64 - 66	64	75,28	1940	31398,70	138,86	1148,19	41,54	7,37	20012,00	5924,73	9430,06	156,51	9,62	5,18	63,75	2514,29	41,45	30,67
TAI 66 - 68	66	76,17	1939	30950,00	128,95	2734,09	34,64	6,45	19845,30	6955,40	10061,60	119,95	9,53	4,35	31,54	2690,39	36,33	28,09
TAI 68 - 70	68	77,05	1938	20989,00	152,29	995,17	27,20	7,19	12575,10	4522,20	6133,60	84,04	7,35	4,76	49,96	2119,35	29,85	23,90
TAI 70 - 72	70	79,19	1936	25711,20	123,76	3705,12	29,16	5,87	17766,80	6248,88	8945,44	118,53	8,28	3,77	29,39	2338,94	31,18	25,78
TAI 72 - 74	72	81,50	1933	35096,40	152,87	1345,04	40,15	7,56	19485,30	6689,03	11732,60	171,48	10,18	5,69	69,07	2582,53	42,57	32,15
TAI 74 - 76	74	83,81	1931	29783,40	130,94	3916,80	32,15	7,63	18051,00	6145,98	8632,90	102,43	9,44	4,58	38,06	2297,30	34,56	41,75
TAI 76 - 78	76	86,11	1929	45166,10	166,90	1497,31	54,06	9,74	23968,50	8062,89	8323,53	178,06	12,51	7,60	78,22	3144,01	56,88	41,97
TAI 78 - 80	78	88,42	1927	37075,50	148,78	3015,99	42,33	8,07	22208,00	7892,50	10498,10	121,54	10,31	5,55	32,39	3331,73	45,57	37,12
TAI 80 - 82	80	90,72	1924	40895,30	149,48	920,38	51,24	9,40	22633,50	7769,40	12328,50	144,40	12,46	6,49	51,51	3127,19	54,58	40,72
TAI 82 - 84	82	93,03	1922	30892,90	137,30	1786,97	37,78	7,63	18595,80	6307,16	8855,12	136,30	9,94	4,91	45,53	2886,60	40,35	32,69
TAI 84 - 86	84	95,34	1920	44934,60	169,96	900,20	50,32	8,92	23972,80	8333,47	12546,60	154,78	11,90	6,54	62,92	3348,52	52,80	37,44
TAI 86-88	86	97,64	1917	34415,30	147,52	2284,01	40,76	7,66	23903,70	8549,92	11206,70	116,49	11,49	4,92	31,45	3225,30	43,98	35,37
TAI 88 - 90	88	99,95	1915	30788,40	156,14	991,75	38,80	8,49	17671,80	6205,85	9090,59	141,27	9,77	5,08	54,56	2623,97	39,92	31,03

	cm	Idade	Ano	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Pb	Sc	Sr	Ti	V	Zn
TAI 90 - 92	90	102,25	1913	26116,60	134,86	2161,97	35,42	6,86	19157,70	6799,77	7996,86	103,96	10,03	3,92	24,03	2935,24	36,26	30,36
TAI 92 - 94	92	104,56	1910	38558,70	151,32	1015,68	48,09	9,08	22806,70	7446,04	11592,10	127,08	11,88	5,77	42,00	3167,53	51,76	37,63
TAI 94 - 96	94	106,86	1908	39353,40	156,77	2334,79	41,85	7,68	24052,70	8308,00	11513,10	142,42	11,66	6,03	37,65	3217,33	44,95	34,75
TAI 96 - 98	96	109,17	1906	54036,40	151,86	1125,57	66,32	11,48	29264,90	9457,46	9228,86	151,56	15,27	6,35	49,14	3847,83	70,18	47,76
TAI 98 - 100	98	111,48	1904	45696,30	123,09	2538,47	44,94	8,06	24569,30	8083,20	11168,40	121,32	10,02	6,42	38,22	2869,54	47,55	38,10
TAI 100 - 102	100	113,78	1901	49005,70	138,60	1050,39	64,43	11,04	28350,50	8418,03	8927,32	163,59	13,53	6,88	61,92	3510,28	64,90	46,30
TAI 102 - 104	102	116,09	1899	23368,80	116,21	3162,75	29,62	6,33	17390,90	5635,79	7394,93	94,12	8,36	3,57	26,04	2774,14	32,51	25,40
TAI 104 - 106	104	118,39	1897	19888,80	116,12	1181,95	25,71	5,67	12134,00	4171,22	7579,64	112,97	7,23	3,90	43,89	2388,71	28,33	20,79
TAI 106 - 108	106	120,70	1894	39468,30	127,64	2647,61	47,07	8,35	26045,30	8744,19	8752,37	128,18	11,83	5,45	37,86	3371,15	50,71	36,92
TAI 108 - 110	108	123,00	1892	18305,50	134,08	845,91	24,97	5,72	11422,70	4181,71	5628,88	82,43	6,93	3,55	43,35	1975,83	27,48	19,73
TAI 110 - 112	110	125,31	1890	21056,50	110,54	2546,39	25,83	5,38	15797,80	5223,73	7117,71	91,62	7,46	3,14	24,05	2421,29	27,57	22,36
TAI 112 - 114	112	127,62	1887	16709,40	126,39	1074,96	24,63	5,02	10697,30	4104,01	5563,75	89,02	6,21	3,02	40,23	2065,50	24,32	18,85
TAI 114 - 116	114	129,92	1885	23165,70	125,00	2396,01	29,68	6,03	16888,80	5895,23	7806,59	94,50	8,24	3,57	26,09	2785,33	32,84	24,73
TAI 116 - 118	116	132,23	1883	38364,90	140,48	793,89	46,79	8,81	22773,40	7135,23	12977,10	124,09	11,61	5,61	50,72	3086,22	50,84	37,87
TAI 118 - 120	118	134,53	1880	30839,00	149,09	2750,98	36,24	7,21	20168,30	7353,36	8921,95	105,56	10,73	4,57	28,04	3257,29	38,89	31,15
TAI 120 - 122	120	136,84	1878	25442,30	142,71	1063,01	30,94	6,44	14026,80	5490,32	7627,32	101,85	8,99	4,14	43,96	2801,92	33,95	25,36

	cm	Idade	Ano	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Pb	Sc	Sr	Ti	V	Zn
TAI 122 - 124	122	139,15	1876	26642,40	133,26	2006,22	34,99	8,09	18560,70	6930,05	8513,23	93,49	9,90	4,38	23,99	3472,92	37,31	32,69
TAI 126 - 128	126	143,76	1871	30556,80	148,11	1133,80	40,00	7,68	16719,90	6453,62	9750,63	99,84	9,92	5,23	53,02	2832,63	43,06	31,57
TAI 128 - 130	128	146,06	1869	36972,60	145,11	1786,97	40,24	7,54	23359,30	7954,85	11449,20	114,77	11,26	5,41	36,34	3061,98	41,04	35,84
TAI 130 - 132	130	148,37	1867	21351,00	137,35	898,35	32,14	6,44	13412,30	4679,00	7099,10	94,24	8,83	4,01	53,23	2203,26	33,66	27,45
TAI 132 - 134	132	150,67	1864	16387,70	118,82	2990,82	18,77	4,54	11394,20	4563,33	5248,61	95,18	6,46	2,99	22,76	2705,64	21,25	16,48
TAI 134 - 136	134	152,98	1862	21631,90	134,21	1795,07	28,46	6,23	14444,10	4655,32	7862,12	129,03	7,81	4,06	49,49	2192,36	31,10	37,20
TAI 136 - 138	136	155,29	1860	25291,90	126,23	4180,01	28,35	7,63	17968,30	5796,38	8038,96	108,46	9,93	3,88	32,77	2533,65	31,02	36,14
TAI 138 - 140	138	157,59	1857	19362,60	162,19	924,87	25,74	5,69	13230,30	4616,24	5752,73	131,99	7,85	4,34	44,85	2307,40	27,30	23,55
TAI 140 - 142	140	159,90	1855	25234,40	127,02	2231,20	26,91	5,81	16692,20	5725,00	8249,52	132,82	9,42	3,89	30,53	2585,73	29,61	25,14
TAI 142 - 144	142	162,20	1853	33932,40	120,84	592,69	47,59	8,64	20097,00	6769,01	11337,20	131,71	11,33	4,31	39,92	3202,09	50,29	36,76
TAI 144 - 146	144	164,51	1850	29992,30	136,86	2959,43	31,96	7,63	17427,40	6493,79	9319,70	119,42	9,12	4,73	31,54	2879,53	34,73	40,87
TAI 146 - 148	146	166,82	1848	28528,10	119,70	553,80	37,18	7,47	16480,40	5453,84	9064,00	151,32	10,22	4,38	49,93	3132,28	41,40	28,44
TAI 148 -150	148	169,12	1846	27674,40	120,52	2707,64	36,41	7,02	20011,50	6575,99	10046,40	133,99	10,11	4,40	28,47	3405,21	38,74	28,69
TAI 150 - 152	150	171,43	1844	35488,00	132,56	901,59	48,67	10,04	19613,70	6439,66	10772,00	145,36	12,09	5,65	60,29	3193,39	50,98	35,79
TAI 152 - 154	152	173,73	1841	30892,90	136,71	1786,97	36,01	7,14	18595,80	6307,16	8855,12	150,40	10,19	4,93	43,77	2886,60	40,79	35,01
TAI 154 - 156	154	176,04	1839	29114,20	142,70	1262,65	35,95	7,15	15581,90	5808,31	11506,00	151,97	9,63	5,51	66,05	2681,87	39,37	28,87

	cm	Idade	Ano	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Pb	Sc	Sr	Ti	V	Zn
TAI 156 - 158	156	178,34	1837	30892,90	156,23	1786,97	40,38	7,50	18595,80	6307,16	8855,12	159,44	11,68	5,21	40,06	2886,60	43,37	34,43
TAI 158 - 160	158	180,65	1834	32174,90	161,23	1547,42	40,61	7,92	18807,50	6606,66	9772,62	146,40	10,43	5,46	67,56	2852,54	44,35	31,12
TAI 160 - 162	160	182,96	1832	23660,30	158,07	1201,53	31,12	6,44	13459,80	5328,76	7265,51	127,42	8,97	3,88	54,14	2316,09	32,78	24,31
TAI 162 - 164	162	185,26	1830	30892,90	147,24	1786,97	29,74	6,43	18595,80	6307,16	8855,12	128,16	9,35	3,90	33,89	2886,60	32,70	26,50
TAI 164 - 166	164	187,57	1827	21521,00	123,86	889,45	32,40	7,21	14445,40	4816,31	7487,61	145,39	8,28	3,85	46,98	3397,79	35,03	24,96
TAI 166 - 168	166	189,87	1825	35855,60	164,91	2852,13	45,53	8,82	20069,50	6948,69	11762,70	200,06	10,81	6,96	81,90	3161,26	49,78	36,35
TAI 168 - 170	168	192,18	1823	28393,30	128,55	1470,53	40,14	8,16	17174,60	5637,49	9357,09	206,15	9,96	5,51	54,73	4161,23	42,27	28,59
TAI 170 - 172	170	194,48	1821	19713,90	115,93	1108,54	34,84	7,30	14220,10	4321,94	6020,44	188,41	8,75	4,31	48,17	3710,61	36,97	25,56
TAI 172 - 174	172	196,79	1818	27161,60	144,10	1806,51	37,94	7,72	16309,90	5411,93	8780,33	183,01	10,42	5,61	68,66	2655,01	41,24	32,24
TAI 174 - 176	174	199,10	1816	29419,70	150,04	1959,20	34,26	7,03	16147,60	6078,86	9869,73	176,15	9,36	4,92	64,52	2723,16	36,71	29,53
TAI 176 - 178	176	201,40	1814	35812,00	107,58	1648,83	49,48	9,01	20630,60	6306,52	10771,80	186,73	11,34	4,05	41,28	3371,56	51,93	36,61
TAI 178 - 180	178	203,71	1811	21534,60	141,50	1587,56	31,97	7,20	13665,20	4873,64	7683,20	202,83	8,30	5,21	52,02	4134,41	35,54	23,37
TAI 180 - 182	180	206,01	1809	23226,90	140,91	1275,25	31,08	6,74	14191,70	5284,15	8210,20	139,73	8,77	3,72	51,51	2690,80	34,22	25,29
TAI 182 - 184	182	208,32	1807	25854,20	132,57	1416,63	36,55	7,86	15805,10	5231,88	8787,13	205,65	9,98	5,71	57,02	4187,89	39,24	26,12
TAI 184 - 186	184	210,63	1804	32034,10	138,93	1811,25	39,01	8,18	18651,90	6144,85	9826,97	208,17	10,51	5,28	55,43	3695,81	43,37	30,69
TAI 186 - 188	186	212,93	1802	20258,80	131,51	1361,46	33,40	6,65	13069,20	4780,12	6011,27	141,44	8,62	4,12	50,00	3050,53	33,96	24,12

	cm	Idade	Ano	Al	Ba	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Pb	Sc	Sr	Ti	V	Zn
TAI 188 - 190	188	215,24	1800	21688,20	142,03	1072,45	26,84	6,37	12538,20	4748,12	6900,76	143,72	8,04	4,55	52,68	2800,41	30,86	21,98
TAI 190 - 192	190	217,54	1797	28135,20	138,37	1519,01	38,34	7,71	17855,60	5693,44	8892,74	144,61	9,57	4,60	55,01	3079,13	40,98	30,67
TAI 192 - 194	192	219,85	1795	32742,80	153,48	1755,10	39,82	7,89	18445,00	6450,46	10322,30	160,94	10,85	5,44	64,54	2866,14	42,77	31,46
TAI 196 - 198	196	224,46	1791	40521,90	114,51	1794,91	44,69	8,14	20170,10	6794,53	11206,80	155,84	11,05	4,27	45,29	2846,23	47,87	33,45
TAI 198 - 200	198	226,77	1788	41745,20	140,66	1877,96	46,17	8,84	21205,40	7033,47	12011,50	179,60	11,65	5,92	58,14	3153,63	50,19	35,54
TAI 202 - 204	202	231,38	1784	40516,10	142,91	1823,63	44,67	8,48	20417,20	6703,35	11073,70	149,30	11,68	6,70	69,60	2914,70	48,52	40,74
TAI 204 - 206	204	233,68	1781	24713,10	117,36	924,63	34,17	7,17	15146,60	4792,14	8984,48	156,08	9,09	4,68	50,84	3037,03	36,89	25,66
TAI 206 - 208	206	235,99	1779	26540,80	123,67	875,19	35,42	7,30	16149,40	5126,14	8205,59	147,55	8,40	5,17	47,71	3320,76	39,04	26,79
TAI 208 - 210	208	238,29	1777	31243,30	133,42	1786,97	47,96	9,27	21007,50	6890,09	10025,70	133,89	12,41	5,18	40,33	3721,84	52,44	36,91

ANEXO 2 – DADOS XRF-p CAT-S, CAT-N, CAT1, CAT-F e TAI

Tabela de resultados dos elementos Ca, Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, Sr, Ti, V, Zn e Zr do testemunho CAT-S obtidos por fluorescência de raios – X portátil expressos em mg kg⁻¹.

CAT-S	Ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
CAT-S 0-2	2017	0	1631,80	66,43	28934,65	10338,37	282,55	17,60	59,48	76,05	4430,72	58,66	38,27	440,70
CAT-S 02-04	2014	2	1724,15	63,41	31366,58	9925,55	282,55	20,71	65,02	82,67	4299,59	59,94	44,24	463,66
CAT-S 04-06	2011	4	1723,10	67,43	30790,46	10105,03	314,94	18,64	62,58	74,95	4238,64	58,66	41,85	442,88
CAT-S 06-08	2009	6	1725,20	76,49	33849,50	10819,39	310,48	19,67	67,45	79,36	4628,34	68,86	51,42	412,26
CAT-S 08-10	2006	8	1772,42	70,45	33069,45	10474,78	359,62	17,60	66,13	84,87	4569,24	61,21	45,44	442,88
CAT-S 10-12	2004	10	1472,30	59,38	23929,30	9092,74	204,38	13,46	53,06	67,24	3867,42	54,84	41,85	454,91
CAT-S 12-14	2002	12	1428,22	57,37	23392,70	9125,04	186,51	16,57	59,59	63,93	4026,25	53,56	41,85	476,78
CAT-S 14-16	2001	14	1504,83	64,41	25718,84	9422,99	199,91	16,57	61,92	68,34	4314,37	59,94	50,22	481,16
CAT-S 16-18	1999	16	1597,17	49,32	23634,87	8823,51	201,03	12,43	54,05	60,62	3878,50	51,01	35,87	471,32
CAT-S 18-20	1996	18	1652,79	64,41	26005,62	9652,73	222,25	14,50	58,59	72,75	3970,84	56,11	41,85	459,29
CAT-S 20-22	1994	20	1559,40	50,32	21422,17	8550,69	190,98	15,53	50,95	62,83	3675,34	51,01	37,07	580,67
CAT-S 22-24	1991	22	1521,62	44,28	18173,22	8116,34	168,64	11,39	44,42	56,21	3132,35	39,53	29,89	519,43
CAT-S 24-26	1988	24	1522,67	45,29	20179,44	8579,41	197,68	12,43	46,41	62,83	3407,54	44,63	31,09	482,25
CAT-S 26-28	1985	26	1598,22	56,36	23562,22	8586,59	206,61	15,53	52,28	61,72	3523,89	49,74	37,07	446,16

CAT-S	Ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
CAT-S 28-30	1980	28	1363,16	47,30	19449,09	7750,18	163,06	12,43	47,96	51,80	3089,87	43,36	28,70	441,79
CAT-S 30-32	1978	30	1336,93	50,32	19175,05	7427,11	146,30	12,43	48,51	52,91	3148,97	44,63	32,29	616,76
CAT-S 32-34	1974	32	1250,87	50,32	19224,76	7904,54	145,19	15,53	47,07	48,50	3429,70	44,63	34,68	550,05
CAT-S 36-38	1963	36	1570,94	59,38	20856,25	8719,41	225,60	14,50	53,72	61,72	4031,79	49,74	43,05	547,86
CAT-S 38-40	1958	38	1543,66	50,32	19574,00	8593,77	231,18	13,46	53,94	61,72	3357,67	45,91	33,48	513,96
CAT-S 40-42	1954	40	1580,38	48,31	19428,70	8518,38	242,35	14,50	53,50	62,83	3658,72	52,29	39,46	493,19
CAT-S 42-44	1951	42	1509,03	48,31	18490,59	7865,06	228,95	14,50	47,85	58,42	3137,89	39,53	34,68	463,66
CAT-S 44-46	1949	44	1589,83	58,37	20612,80	9408,63	247,93	11,39	52,17	65,03	3619,93	54,84	38,27	475,69
CAT-S 46-48	1950	46	1514,27	54,35	21721,70	9369,14	235,65	14,50	55,05	65,03	3732,59	52,29	39,46	481,16
CAT-S 48-50	1946	48	1564,64	54,35	20439,45	8841,46	230,06	14,50	53,28	63,93	3880,34	49,74	33,48	471,32
CAT-S 50-52	1944	50	1455,51	44,28	17209,62	7850,70	190,98	10,35	42,09	52,91	3143,43	40,81	26,31	482,25
CAT-S 52-54	1941	52	1485,94	47,30	17439,05	7750,18	199,91	9,32	41,54	52,91	3237,62	42,08	28,70	498,65
CAT-S 54-56	1939	54	1493,28	43,28	18240,77	8148,64	211,08	14,50	45,52	57,32	3505,42	44,63	28,70	480,06
CAT-S 56-58	1937	56	1564,64	55,35	20326,01	8101,98	221,13	12,43	48,96	61,72	3564,52	44,63	34,68	510,68
CAT-S 58-60	1935	58	1481,74	47,30	17706,72	7904,54	190,98	12,43	44,42	52,91	3459,25	42,08	31,09	499,75
CAT-S 60-62	1932	60	1496,43	45,29	16211,61	7118,40	175,34	13,46	39,76	50,70	3137,89	39,53	29,89	492,09
CAT-S 62-64	1930	62	1395,69	37,24	14051,17	6594,30	147,42	9,32	36,22	46,29	2969,82	36,98	22,72	542,40
CAT-S 64-66	1928	64	1424,02	36,23	14177,35	6630,20	148,54	11,39	34,89	47,40	3069,55	35,71	22,72	530,37
CAT-S 66-68	1926	66	1438,72	44,28	15454,50	6770,19	148,54	13,46	36,44	44,09	3067,71	34,43	28,70	541,30
CAT-S 68-70	1924	68	1462,85	43,28	16427,02	7516,85	145,19	10,35	39,99	48,50	2999,37	39,53	27,50	548,96
CAT-S 70-72	1921	70	1400,94	41,26	14838,87	6407,63	131,78	9,32	31,01	38,58	2740,80	35,71	25,11	505,21

CAT-S	Ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
CAT-S 72-74	1919	72	1409,33	33,21	14920,44	6109,69	118,38	8,28	28,91	35,82	2809,14	39,53	22,72	448,35
CAT-S 74-76	1917	74	1335,88	39,25	13365,43	6235,33	123,97	8,28	28,13	37,81	3080,64	36,98	19,13	494,28
CAT-S 76-78	1915	76	1307,54	42,27	11573,35	6145,58	112,80	8,28	31,90	37,81	2932,88	34,43	38,27	483,34
CAT-S 78-80	1912	78	1179,52	40,26	8467,15	4792,26	97,16	9,32	22,82	31,85	3069,55	36,98	17,94	457,10
CAT-S 84-86	1906	84	1171,12	46,30	6811,45	3683,04	87,11	10,35	13,85	25,90	3243,16	36,98	13,15	282,13
CAT-S 86-88	1904	86	1136,49	41,26	6870,08	3456,89	85,99	10,35	16,06	26,78	3113,88	35,71	11,96	286,51
CAT-S 88-90	1901	88	1073,53	40,26	6370,44	3424,58	80,41	7,56	16,50	30,31	2894,10	33,16	11,96	355,40
CAT-S 90-92	1899	90	1096,61	35,23	5005,35	3191,25	79,29	9,01	13,29	25,24	2886,71	30,61	11,96	283,23
CAT-S 92-94	1897	92	1113,40	39,25	4266,08	3162,53	72,59	6,94	13,62	26,67	2685,40	28,06		274,48
CAT-S 94-96	1895	94	1116,55	39,25	4346,38	3600,48	87,11	8,49	10,08	22,49	2899,64	33,16	8,37	192,46
CAT-S 96-98	1892	96	1102,91	40,26	3489,85	3819,45	72,59	6,83	13,85	29,54	2602,29	31,88		170,59
CAT-S 98-100	1890	98	1134,39	40,26	4184,51	3575,35	121,73	10,35	11,74	28,22	4744,70	44,63	11,96	194,65
CAT-S 100-102	1888	100	1057,79	54,35	3508,97	4598,42	89,35	11,39	14,51	61,72	3590,38	40,81		124,66
CAT-S 102-104	1886	102	1073,53	58,37	3914,29	4946,62	87,11	14,50	15,84	67,24	3954,22	52,29	11,96	141,07
CAT-S 104-106	1884	104	1059,89	58,37	3691,24	4390,22	69,24	14,50	14,07	61,72	3941,29	48,46		133,41
CAT-S 106-108	1881	106	1076,68	45,29	3143,16	3959,45	83,76	11,39	12,18	58,42	3318,89	42,08		122,48
CAT-S 108-110	1879	108	1106,06	51,33	3377,68	3970,22	83,76	12,43	12,85	60,62	3486,95	45,91		130,13
CAT-S 110-112	1877	110	1096,61	41,26	2824,51	3557,40	82,64	11,39	10,52	50,70	3527,59	39,53		96,23
CAT-S 112-114	1875	112	1057,79	42,27	3525,54	4426,11	96,05	9,42	11,41	55,11	3695,65	43,36	9,57	117,01
CAT-S 114-116	1872	114	1105,01	37,24	3577,80	3428,17	94,93	10,35	11,52	51,80	4752,08	49,74	8,37	131,22
CAT-S 116-118	1870	116	1034,70	40,26	2977,46	3507,15	96,05	11,18	11,85	55,11	4916,46	40,81		149,81

CAT-S	Ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
CAT-S 118-120	1868	118	1058,84	37,24	3492,40	3359,97	129,55	9,63	9,64	51,80	3785,10	51,01	8,37	192,46
CAT-S 120-122	1866	120	1047,29	37,24	2640,97	3352,79	87,11	6,63	9,19	42,44	3972,69	39,53		158,56
CAT-S 122-124	1864	122	1079,82	38,24	3208,16	3302,53	84,88	7,14	9,19	44,31	3045,54	35,71	9,57	115,92
CAT-S 124-126	1861	124	1131,24	51,33	3320,33	3589,71	130,67	12,43	12,74	62,83	3785,10	56,11	11,96	177,15
CAT-S 126-128	1859	126	1073,53	46,30	3256,60	3349,20	85,99		9,53	35,38	3773,22	38,26	10,76	124,66
CAT-S 128-130	1857	128	1135,44	49,32	2476,54	3546,63	81,53		7,42	44,86	4111,21	38,26	8,37	102,79
CAT-S 130-132	1855	130	1140,69	48,31	3776,63	3998,94	91,58	8,39	9,30	72,75	3662,41	44,63	17,94	94,04
CAT-S 132-134	1852	132	1082,97	61,39	3223,46	4960,98	81,53	10,35	16,06	105,81	3882,19	44,63		127,94
CAT-S 134-136	1850	134	1112,36	56,36	3303,76	5183,54	88,23	10,35	19,05	121,24	3778,76	49,74	7,17	160,75
CAT-S 136-138	1848	136	1064,08	60,39	3197,97	5564,05	89,35	14,50	21,16	160,92	4427,03	53,56		196,84
CAT-S 138-140	1846	138	1089,27	64,41	3022,07	5467,13	77,06	17,60	22,48	193,99	4129,68	52,29	7,17	195,74
CAT-S 140-142	1844	140	1043,10	59,38	2927,75	4447,65	71,48	15,53	26,92	199,50	3978,23	44,63		215,43
CAT-S 142-144	1841	142	1061,98	67,43	4036,65	2886,13	71,48	14,50	17,50	176,36	4491,67	47,19		234,02
CAT-S 144-146	1839	144	1031,55	78,50	7006,47	3202,02	77,06	15,53	12,74	181,87	5008,80	62,49		284,32
CAT-S 146-148	1837	146	1087,17	86,55	7256,29	4497,91	79,29	19,67	19,38	219,34	4325,45	65,04	23,92	228,55
CAT-S 148-150	1835	148	1101,86	92,59	7869,37	5564,05	78,18	16,57	23,92	214,93	4264,50	63,76		242,77
CAT-S 150-152	1832	150	1065,13	88,57	7303,45	5223,03	80,41	17,60	23,59	239,18	4066,88	61,21		236,20
CAT-S 152-154	1830	152	1103,96	88,57	5775,20	5632,26	83,76	26,92	25,25	346,10	4447,34	68,86		232,92
CAT-S 154-156	1828	154	1069,33	93,60	5485,87	5987,64	81,53	27,96	28,24	414,44	4613,57	71,42		348,84
CAT-S 156-158	1826	156	1136,49	90,58	5329,09	5345,08	84,88	25,89	23,48	411,13	4746,54	68,86		307,28
CAT-S 158-160	1824	158	1088,22	89,57	5464,20	3808,68	85,99	24,85	17,28	362,63	4668,97	66,31		323,69

CAT-S	Ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
CAT-S 160-162	1821	160	1079,82	83,53	5929,43	3912,78	87,11	25,89	17,94	369,25	4537,84	68,86		322,59
CAT-S 162-164	1819	162	1118,65	75,48	4787,39	4013,30	84,88	23,82	17,72	342,79	4569,24	62,49	14,35	283,23

Tabela de resultados dos elementos Ca, Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, Sr, Ti, V, Zn e Zr do testemunho CAT-N obtidos por fluorescência de raios – X portátil expressos em mg kg⁻¹.

CAT-N	ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
CAT-N 0-2	2017,0	0	1701,06	82,53	45252,05	11993,22	431,09	21,75	79,75	92,59	5603,51	79,07	52,61	375,08
CAT-N 2-4	2016,6	2	1600,32	76,49	41722,69	11960,92	379,72	22,78	84,18	87,08	5326,47	75,24	58,59	387,11
CAT-N 4-6	2015,4	4	1586,68	90,58	42764,04	13120,39	328,34	19,67	85,29	95,89	5461,29	77,79	52,61	335,72
CAT-N 6-8	2013,6	6	1686,37	83,53	41851,43	13077,32	326,11	21,75	84,18	93,69	5477,92	77,79	55,01	358,68
CAT-N 8-10	2011,2	8	1741,99	74,48	43097,98	12208,61	321,64	21,75	87,50	93,69	5136,24	81,62	56,20	347,75
CAT-N 10-12	2008,5	10	1725,20	83,53	49189,29	12790,14	314,94	22,78	86,39	97,00	5524,09	81,62	59,79	330,25
CAT-N 12-14	2005,5	12	1735,69	86,55	45591,10	13167,06	302,66	18,64	88,61	101,40	5433,59	76,52	62,18	325,87
CAT-N 14-16	2002,6	14	1884,71	82,53	47222,58	12912,19	352,91	22,78	89,72	108,02	5376,34	80,34	57,40	320,41
CAT-N 16-18	1999,8	16	1797,61	81,52	43346,53	13342,95	253,52	20,71	90,83	108,02	5272,91	72,69	59,79	331,34
CAT-N 18-20	1997,3	18	2205,82	88,57	44384,05	12797,32	257,98	18,64	85,29	103,61	5115,92	73,97	53,81	348,84
CAT-N 20-22	1995,3	20	1421,93	89,57	40421,33	11820,92	192,09	21,75	86,39	84,87	5271,06	73,97	57,40	343,37
CAT-N 22-24	1992,5	22	1313,84	84,54	47440,54	11745,53	189,86	22,78	81,96	72,75	5093,76	75,24	57,40	340,09
CAT-N 24-26	1988,8	24	1267,67	75,48	41802,99	11156,82	198,79	20,71	86,39	77,16	5101,15	72,69	60,98	321,50
CAT-N 26-28	1985,3	26	1287,60	88,57	44547,20	11896,30	226,71	21,75	91,93	74,95	5272,91	79,07	62,18	300,72
CAT-N 28-30	1982,0	28	1467,05	83,53	41225,60	11788,61	216,66	18,64	91,93	87,08	5197,19	75,24	63,38	306,19
CAT-N 30-32	1978,9	30	1756,68	77,50	34838,59	12345,01	198,79	23,82	85,29	95,89	5280,30	76,52	51,42	372,90
CAT-N 32-34	1975,9	32	1778,72	88,57	40042,77	12797,32	202,14	17,60	88,61	97,00	5162,10	70,14	56,20	320,41

CAT-N	ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
CAT-N 32-34	1973,1	34	1734,64	82,53	38909,65	13141,93	206,61	21,75	87,50	97,00	5219,35	76,52	59,79	325,87
CAT-N 36-38	1972,2	36	1740,94	79,51	37477,01	13120,39	208,84	21,75	85,29	91,48	5243,36	79,07	68,16	330,25
CAT-N 38-40	1968,0	38	1709,46	83,53	39620,88	13185,01	217,78	22,78	93,04	95,89	5169,48	73,97	62,18	325,87
CAT-N 40-42	1965,6	40	1754,58	81,52	40912,05	12879,88	222,25	13,46	89,72	91,48	5180,56	73,97	55,01	312,75
CAT-N 42-44	1964,3	42	1776,62	84,54	41857,80	12721,93	223,36	21,75	88,61	99,20	4994,03	77,79	62,18	312,75
CAT-N 44-46	1963,4	44	1783,97	88,57	42498,92	12416,81	235,65	26,92	86,39	94,79	5211,96	73,97	62,18	313,85
CAT-N 46-48	1962,5	46	1771,37	80,52	41874,37	12944,50	252,40	19,67	89,72	95,89	5175,02	76,52	60,98	323,69
CAT-N 45-50	1961,2	48	1802,85	85,55	40309,16	12854,75	263,57	26,92	85,29	92,59	5248,90	80,34	58,59	318,22
CAT-N 50-52	1959,4	50	1746,19	80,52	36399,97	12826,04	283,67	21,75	90,83	94,79	5043,89	72,69	63,38	343,37
CAT-N 52-54	1956,9	52	1701,06	85,55	37636,33	12707,57	283,67	18,64	90,83	97,00	5104,84	75,24	62,18	311,66
CAT-N 54-56	1953,6	54	1725,20	76,49	37592,99	11950,15	262,45	20,71	89,72	91,48	5003,26	75,24	65,77	287,60
CAT-N 56-58	1949,7	56	1675,88	85,55	45657,38	12294,76	276,97	20,71	87,50	90,38	5141,78	75,24	62,18	295,26
CAT-N 58-60	1945,4	58	1740,94	80,52	39550,78	12079,38	298,19	20,71	87,50	84,87	5042,05	73,97	60,98	346,65
CAT-N 60-62	1941,1	60	1801,81	75,48	39341,74	12520,91	349,56	19,67	88,61	95,89	5219,35	72,69	60,98	354,31
CAT-N 62-64	1939,2	62	1840,63	82,53	40599,77	12172,71	368,55	20,71	88,61	98,10	5064,21	76,52	62,18	297,44
CAT-N 64-66	1938,9	64	1779,77	82,53	38492,86	12111,68	380,83	21,75	90,83	97,00	5178,72	79,07	57,40	325,87
CAT-N 66-68	1938,8	66	1798,66	83,53	39729,22	12714,75	374,13	16,57	86,39	102,51	5215,66	73,97	57,40	367,43
CAT-N 68-70	1938,5	68	1976,00	86,55	40437,90	12416,81	373,02	19,67	86,39	100,30	5211,96	73,97	58,59	351,03
CAT-N 70-72	1937,9	70	1960,26	84,54	41372,18	12732,70	358,50	16,57	85,29	100,30	5302,46	70,14	63,38	335,72
CAT-N 72-74	1936,1	72	2716,88	81,52	42723,25	12840,39	397,59	23,82	88,61	103,61	5228,58	75,24	59,79	337,90
CAT-N 74-76	1933,5	74	2770,39	81,52	41105,79	12549,63	429,97	19,67	86,39	128,96	5173,18	75,24	60,98	301,82
CAT-N 76-78	1930,4	76	2173,29	89,57	40759,10	12510,14	390,89	19,67	88,61	104,71	5320,93	80,34	63,38	309,47
CAT-N 78-80	1926,7	78	1856,37	88,57	40324,46	12592,70	351,80	20,71	89,72	97,00	5317,24	75,24	64,57	299,63

CAT-N	ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
CAT-N 80-82	1922,4	80	3811,39	86,55	40966,86	12958,85	379,72	22,78	88,61	109,12	5324,62	79,07	63,38	305,10
CAT-N 82-84	1919,2	82	1937,18	83,53	41414,24	12567,58	336,16	17,60	87,50	99,20	5300,61	80,34	64,57	328,06
CAT-N 84-86	1916,4	84	1893,10	83,53	40496,53	12298,35	299,31	22,78	87,50	102,51	5391,11	77,79	62,18	345,56
CAT-N 86-88	1913,6	86	1868,97	89,57	41870,55	13084,49	316,06	23,82	88,61	101,40	5490,84	77,79	58,59	316,03
CAT-N 88-90	1910,8	88	1928,78	80,52	45067,24	12610,65	320,53	18,64	87,50	97,00	5429,90	77,79	60,98	326,97
CAT-N 90-92	1908,0	90	1940,33	93,60	44191,59	13012,70	298,19	18,64	85,29	101,40	5413,27	76,52	62,18	336,81
CAT-N 92-94	1905,2	92	1880,51	83,53	39130,16	12761,42	284,79	21,75	84,18	102,51	5551,79	81,62	60,98	435,23
CAT-N 94-96	1902,4	94	1914,09	81,52	41490,71	12492,19	284,79	18,64	85,29	102,51	5485,30	81,62	62,18	375,08
CAT-N 96-98	1899,6	96	1891,00	88,57	41713,77	12754,24	282,55	18,64	86,39	101,40	5490,84	82,89	60,98	357,59
CAT-N 98-100	1896,9	98	1905,70	71,46	34646,12	11713,23	269,15	18,64	79,75	92,59	5134,39	76,52	63,38	323,69
CAT-N 100-102	1894,1	100	1769,27	76,49	30650,26	10693,75	223,36	17,60	67,90	78,26	4537,84	67,59	53,81	359,77
CAT-N 102-104	1891,3	102	1471,25	70,45	20062,17	8963,51	153,00	12,43	46,08	51,80	4613,57	65,04	31,09	263,54
CAT-N 104-106	1888,5	104	1542,61	61,39	22016,13	8346,08	157,47	12,43	40,21	47,40	4002,24	58,66	34,68	254,79
CAT-N 106-108	1885,7	106	1453,41	68,44	30121,30	7897,36	144,07		30,24	37,81	3854,49	61,21	35,87	167,31
CAT-N 108-110	1882,9	108	1233,04	73,47	25257,43	8023,00	129,55	8,28	29,24	28,99	3261,63	54,84	19,13	152,00
CAT-N 110-112	1880,1	110	1211,00	71,46	23043,46	7883,00	121,73		27,58	25,90	3243,16	58,66	25,11	143,25
CAT-N 112-114	1877,3	112	1246,68	73,47	20635,74	8148,64	127,32	7,25	22,48	22,71	4484,28	59,94	22,72	125,76
CAT-N 114-116	1874,5	114	1195,26	76,49	19301,24	7046,60	121,73		23,15	24,25	4138,91	53,56	22,72	144,35
CAT-N 116-118	1871,7	116	1141,74	78,50	17055,40	6730,71	123,97	7,25	21,27	21,38	4065,03	62,49	27,50	122,48
CAT-N 118-120	1868,9	118	1203,65	79,51	19214,57	6436,35	134,02	6,21	20,71	21,60	3773,22	67,59	20,33	153,10
CAT-N 120-122	1866,1	120	1234,08	81,52	19387,91	5585,59	166,41		19,38	20,28	3394,61	75,24	40,66	109,35
CAT-N 122-124	1863,3	122	1180,57	72,46	19751,17	5826,10	144,07	7,25	18,28	20,17	3806,47	59,94	13,15	120,29
CAT-N 124-126	1860,5	124	1185,81	76,49	20578,39	6917,37	142,95		20,93	17,64	3396,46	65,04	14,35	172,78

CAT-N	ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
CAT-N 126-128	1857,7	126	1131,24	68,44	14512,57	6206,61	123,97	6,73	20,05	18,30	5221,20	71,42	16,74	201,21
CAT-N 128-130	1854,9	128	1164,82	58,37	12390,37	5610,72	108,33		19,49	16,09	4098,28	58,66	13,15	127,94
CAT-N 130-132	1852,1	130	1102,91	60,39	11365,59	5467,13	109,45		16,95	15,87	3536,82	49,74	10,76	131,22
CAT-N 132-134	1849,3	132	1166,92	62,40	9273,98	5129,70	97,16	6,11	17,06	16,64	3880,34	49,74	15,55	127,94
CAT-N 134-136	1846,6	134	1116,55	64,41	11855,04	5696,87	113,92		17,39	14,77	3834,17	61,21	16,74	159,66
CAT-N 136-138	1843,8	136	1092,42	60,39	8278,51	5380,98	84,88		17,61	13,89	3222,85	45,91	14,35	106,07
CAT-N 138-140	1841,0	138	1097,66	57,37	7093,14	5384,57	80,41	7,56	16,39	15,54	3479,57	43,36	11,96	120,29
CAT-N 140-142	1838,2	140	1090,32	46,30	6118,07	5571,23	82,64	7,04	17,17	16,97	3991,16	44,63	13,15	164,03
CAT-N 142-144	1835,4	142	1177,42	54,35	6360,24	5675,33	90,46	8,39	19,49	17,86	4391,94	43,36	20,33	225,27
CAT-N 144-146	1832,6	144	1142,79	44,28	7141,57	5553,28	94,93	6,11	16,28	17,86	3926,52	45,91	22,72	146,53
CAT-N 146-148	1829,8	146	1115,50	52,33	8372,83	6102,51	103,86	9,32	19,94	21,16	5740,18	56,11	23,92	182,62
CAT-N 148-150	1827,0	148	1128,10	53,34	6002,08	5388,16	75,94		17,39	17,86	3136,04	35,71	15,55	126,85
CAT-N 150-152	1824,2	150	1139,64	56,36	6482,61	6120,46	87,11	7,77	19,94	19,29	3847,10	47,19	22,72	120,29
CAT-N 152-154	1821,4	152	1112,36	45,29	6611,34	6034,30	77,06	7,97	19,49	19,62	3010,45	40,81	25,11	120,29

Tabela de resultados dos elementos Ca, Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, Sr, Ti, V, Zn e Zr do testemunho CAT1 obtidos por fluorescência de raios – X portátil expressos em mg kg⁻¹.

CAT1	ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
CAT1 0-2	2014	0	1512,17	37,24	16149,16	6565,58	233,41	10,35	36,88	48,50	2402,82	31,88	31,09	321,50
CAT1 2-4	2011	2	1518,47	37,24	18374,61	6605,07	272,50	10,35	41,43	55,11	2840,54	38,26	31,09	357,59
CAT1 4-6	2007	4	1414,58	23,15	11501,97	5524,56	171,99	8,28	25,70	37,59	1577,26	24,23	16,74	322,59
CAT1 6-8	2004	6	1328,53	20,13	9335,16	5097,39	131,78		25,14	35,27	1647,44	24,23	15,55	274,48
CAT1 8-10	2000	8	1109,21		14461,59	3772,79	173,11	7,25	27,36	37,92	1880,15		22,72	299,63
CAT1 10-12	1997	10	1324,33	20,13	8274,69	4436,88	122,85		21,60	31,41	1505,23	19,89	13,15	308,38
CAT1 12-14	1993	12	1374,70	22,14	10093,54	4964,57	142,95	7,14	25,59	35,27	1695,46	21,68	13,15	274,48
CAT1 14-16	1990	14	1443,96	27,17	10544,75	4932,26	160,82	6,94	25,48	37,14	1880,15	25,51	14,35	321,50
CAT1 16-18	1987	16	1366,31		7650,14	4167,65	129,55		22,60	35,38	1817,35	19,13	10,76	304,00
CAT1 18-20	1983	18	1395,69	22,14	9847,54	4634,32	216,66	9,32	27,47	36,04	1989,12	26,78	16,74	471,32
CAT1 20-22	1980	20	1464,95	28,18	8241,55	4727,65	163,06		22,15	31,96	1505,23	20,02	14,35	264,64
CAT1 22-24	1976	22	1376,80	22,14	7163,24	3729,71	140,72		20,16	30,31	1686,22	20,40	15,55	434,13
CAT1 24-26	1973	24	1439,77	28,18	9447,32	4203,55	167,52		26,58	36,37	1647,44	24,23	16,74	371,80
CAT1 26-28	1970	26	1727,30	35,23	15268,41	5111,75	280,32	7,25	28,36	42,99	2057,45	25,51	22,72	323,69
CAT1 28-30	1966	28	1461,80	22,14	10061,68	4928,67	171,99	7,25	24,15	36,70	1732,40	21,68	17,94	342,28
CAT1 30-32	1963	30	1802,85	30,19	15601,08	5190,72	302,66	7,25	32,34	44,09	2188,58	28,06	20,33	347,75
CAT1 32-34	1959	32	1523,72	28,18	10814,96	4799,44	198,79		26,80	39,35	1756,41	22,95	13,15	319,31
CAT1 34-36	1956	34	1415,63	27,17	8815,12	4103,04	189,86	7,25	26,25	39,57	2038,98	21,68	13,15	329,16

CAT1	ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
CAT1 36-38	1952	36	1496,43	27,17	10517,98	4444,06	265,80	8,28	28,80	40,89	1939,25	21,68	10,76	414,45
CAT1 38-40	1949	38	1701,06	39,25	18944,35	7050,19	416,57	11,39	45,75	59,52	2539,49	35,71	27,50	377,27
CAT1 40-42	1946	40	1492,23	31,20	14840,14	6009,18	266,92	7,25	37,55	50,70	2360,34	30,61	23,92	347,75
CAT1 42-44	1942	42	1539,46	28,18	13505,64	5689,69	249,05	11,39	34,89	50,70	2587,51	29,33	21,52	365,24
CAT1 44-46	1939	44	1561,49	28,18	12102,31	5172,77	285,91	7,25	28,69	40,23	2068,53	29,33	15,55	321,50
CAT1 46-48	1935	46	1476,49	33,21	13622,90	5090,21	281,44	8,28	34,23	47,40	2292,01	28,06	19,13	366,34
CAT1 48-50	1932	48	1362,11	26,17	8687,66	4519,45	185,39	9,32	26,58	37,81	1623,43	24,23	11,96	413,36
CAT1 50-52	1928	50	1583,53	33,21	15250,57	6411,22	279,20	7,25	37,11	45,19	2580,12	31,88	23,92	399,14
CAT1 52-54	1925	52	1451,31	35,23	14601,79	5991,23	272,50	8,28	36,88	48,50	2709,41	36,98	22,72	466,94
CAT1 54-56	1922	54	1623,41	43,28	24189,32	7484,55	400,94	11,39	48,74	60,62	3019,69	43,36	33,48	358,68
CAT1 56-58	1918	56	1299,15	22,14	8965,52	4099,45	194,33		21,27	31,85	1776,72	22,95	11,96	410,08
CAT1 58-60	1915	58	1437,67	35,23	15281,16	5434,82	254,63	9,32	38,88	46,29	2432,37	30,61	22,72	426,48
CAT1 60-62	1911	60	1416,68	30,19	13503,09	5940,97	225,60		31,68	44,09	2162,72	30,61	20,33	392,58
CAT1 62-64	1908	62	1554,15	38,24	18245,87	6867,12	301,54	10,35	39,54	52,91	2702,02	38,26	27,50	373,99
CAT1 64-66	1905	64	1650,69	45,29	20934,00	6838,40	403,17	9,32	40,98	52,91	2908,87	39,53	28,70	375,08
CAT1 66-68	1901	66	1476,49	46,30	19339,48	6791,73	307,12	10,35	41,20	51,80	2840,54	39,53	28,70	404,61
CAT1 68-70	1898	68	1248,78		9750,67	3945,09	178,69	10,35	25,25	35,49	2373,27	26,78	15,55	471,32
CAT1 70-72	1894	70	1393,59	34,22	16735,47	6019,94	249,05	8,28	40,32	45,19	2999,37	35,71	26,31	388,21
CAT1 72-74	1891	72	1226,74	20,13	9448,60	4756,37	151,89		24,59	32,18	1920,78	21,68	13,15	326,97
CAT1 74-76	1887	74	1396,74	27,17	14309,91	6023,53	216,66	10,35	35,00	46,29	2471,16	30,61	19,13	369,62
CAT1 76-78	1884	76	1697,92	45,29	25309,69	7825,57	373,02	12,43	48,40	60,62	3370,60	47,19	34,68	407,89
CAT1 78-80	1881	78	1411,43	40,26	17114,03	6554,81	249,05	9,32	38,66	49,60	3110,19	39,53	26,31	454,91
CAT1 80-82	1877	80	1537,36	46,30	21860,63	7969,16	284,79	12,43	50,84	63,93	3518,35	47,19	37,07	483,34

CAT1	ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
CAT1 82-84	1874	82	1571,99		23147,97	8769,66	302,66	14,50	50,51	59,52	3703,04		31,09	395,86
CAT1 84-86	1870	84	1723,10	58,37	31223,83	9135,81	364,08	16,57	64,13	72,75	4539,69	53,56	45,44	522,71
CAT1 86-88	1867	86	1356,86	31,20	11291,66	5219,44	159,70	9,32	31,01	39,68	1850,60	21,68	15,55	308,38
CAT1 88-90	1864	88	1268,71	22,14	8764,14	4131,76	134,02		25,03	35,16	1676,99	21,68	14,35	242,77
CAT1 90-92	1860	90	1532,11	42,27	20747,91	7272,75	223,36	12,43	47,52	58,42	3006,76	35,71	28,70	357,59
CAT1 92-94	1857	92	1472,30	38,24	15757,86	6759,42	207,73	10,35	39,21	48,50	2580,12	34,43	22,72	422,11
CAT1 94-96	1853	94	1336,93	36,23	15394,59	7193,78	168,64	10,35	41,87	51,80	2951,35	36,98	26,31	536,93
CAT1 96-98	1850	96	1524,77	40,26	19688,72	7908,13	202,14	17,60	52,83	61,72	3215,46	44,63	34,68	579,58
CAT1 98-100	1846	98	1628,66	58,37	29856,18	10234,26	253,52	19,67	70,45	79,36	4360,54	63,76	50,22	531,46
CAT1 100-102	1843	100	1716,80	68,44	30538,09	10593,24	268,04	17,60	72,22	83,77	4617,26	65,04	51,42	497,56
CAT1 102-104	1840	102	1665,38	63,41	30641,34	9939,91	281,44	16,57	68,89	81,56	4752,08	63,76	51,42	470,22
CAT1 104-106	1836	104	1553,10	55,35	26960,30	9494,78	236,77	14,50	64,91	74,95	3980,08	56,11	43,05	488,81
CAT1 106-108	1833	106	1686,37	63,41	32006,43	10582,47	260,22	17,60	71,11	81,56	4301,44	57,39	46,64	450,54
CAT1 108-110	1829	108	1739,89	72,46	31745,14	10417,34	282,55	17,60	79,75	89,28	4781,63	62,49	52,61	418,83
CAT1 110-112	1826	110	1718,90	65,42	33027,38	10431,70	279,20	18,64	74,21	84,87	4761,32	67,59	46,64	460,38
CAT1 112-114	1822	112	1663,29	63,41	33641,74	9728,12	263,57	13,46	65,79	83,77	4637,57	61,21	46,64	487,72
CAT1 114-116	1819	114	1755,63	62,40	33855,87	10191,19	273,62	16,57	73,10	80,46	4541,54	65,04	52,61	488,81
CAT1 116-118	1816	116	1733,60	61,39	29619,11	9469,66	278,09	16,57	65,24	79,36	4299,59	57,39	44,24	557,70
CAT1 118-120	1812	118	1723,10	59,38	31074,70	9943,50	290,37	14,50	65,24	77,16	4279,28	62,49	47,83	595,98
CAT1 120-122	1809	120	1636,00	59,38	31133,33	9677,86	300,42	17,60	68,23	79,36	4460,27	58,66	49,03	597,07
CAT1 122-124	1805	122	1761,93	66,43	34330,02	10402,98	310,48	15,53	71,66	83,77	4367,93	58,66	49,03	507,40
CAT1 124-126	1802	124	1750,39	66,43	36572,04	10973,74	327,23	17,60	77,53	85,97	4790,87	67,59	47,83	457,10
CAT1 126-128	1799	126	1664,34	76,49	38500,51	11580,41	322,76	21,75	79,75	89,28	4992,18	66,31	56,20	428,67

CAT1	ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
CAT1 128-130	1795	128	1597,17	62,40	32879,53	10446,06	292,61	18,64	74,21	84,87	4687,44	65,04	45,44	554,42
CAT1 130-132	1792	130	1721,00	65,42	33860,97	10173,24	298,19	17,60	70,22	80,46	4388,24	58,66	51,42	563,17
CAT1 132-134	1788	132	1726,25	62,40	32871,88	10255,80	317,18	13,46	68,23	82,67	4476,89	66,31	45,44	520,52
CAT1 134-136	1785	134	1858,47	76,49	37562,40	10822,98	343,98	18,64	80,86	92,59	4875,83	65,04	53,81	383,83
CAT1 136-138	1781	136	1774,52	71,46	37232,28	10815,80	342,86	20,71	76,43	89,28	4681,90	65,04	46,64	426,48
CAT1 138-140	1778	138	1749,34	74,48	37242,48	11461,95	350,68	19,67	80,86	91,48	4988,49	71,42	53,81	436,32
CAT1 140-142	1775	140	1798,66	65,42	33807,44	10568,11	343,98	21,75	77,42	89,28	4787,17	66,31	55,01	523,81
CAT1 142-144	1771	142	1682,17	63,41	33858,42	10851,69	319,41	19,67	72,77	81,56	4582,17	62,49	47,83	535,83
CAT1 144-146	1768	144	1755,63	65,42	36939,13	11077,85	335,05	21,75	79,75	91,48	4861,05	67,59	56,20	433,04
CAT1 146-148	1764	146	1725,20	64,41	33108,96	9993,75	329,46	16,57	70,67	81,56	4288,51	62,49	49,03	404,61

Tabela de resultados dos elementos Ca, Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, Sr, Ti, V, Zn e Zr do testemunho CAT-F obtidos por fluorescência de raios – X portátil expressos em mg kg⁻¹.

CAT-F	ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
CAT-F 0-10	2012	0	1267,67	14,09	2266,24	1015,89	59,19		7,31	12,01	1451,67	10,46	8,37	842,02
CAT-F 10-12	2011	10	1370,51	20,13	6545,06	3636,38	83,76		20,05	24,80	2111,01	24,23	13,15	854,05
CAT-F 12-14	2010	12	1384,15	18,12	5728,04	2699,46	88,23	6,42	16,95	22,93	1617,89	17,09	10,76	595,98
CAT-F 14-16	2008	14	1354,76	18,12	4468,74	2620,49	80,41		12,18	21,93	1878,30	15,69	11,96	728,30
CAT-F 16-18	2006	16	1606,62	35,23	11731,40	5406,10	107,21	6,21	27,14	36,48	2399,13	29,33	16,74	624,41
CAT-F 18-20	2004	18	2121,87	63,41	25304,59	9458,89	175,34	15,53	62,80	74,95	3909,89	52,29	34,68	380,55
CAT-F 20-22	2005	20	2221,56	62,40	30550,84	10593,24	202,14	17,60	76,43	88,18	4042,87	59,94	49,03	348,84
CAT-F 22-24	2004	22	2223,66	66,43	30312,49	10051,19	204,38	12,43	72,88	89,28	3771,38	58,66	46,64	418,83
CAT-F 24-26	2002	24	1369,46	33,21	12863,24	5510,21	115,03	9,32	33,34	39,46	2509,94	31,88	23,92	677,99
CAT-F 26-28	2001	26	1666,43	45,29	17126,77	6723,53	138,49	8,28	45,52	52,91	2883,02	36,98	29,89	538,02
CAT-F 28-30	1998	28	1630,75	54,35	22970,81	8518,38	171,99	13,46	54,27	60,62	3400,15	47,19	37,07	491,00
CAT-F 30-32	1996	30	1802,85	56,36	25068,79	8310,18	171,99	13,46	58,04	67,24	3440,78	49,74	38,27	461,47
CAT-F 32-34	1992	32	845,81		3315,23	2060,49	31,27		8,20	13,12	997,33	5,99		177,15
CAT-F 34-36	1989	34	1864,77	36,23	14708,86	6335,84	138,49	7,25	36,22	42,99	3213,61	31,88	17,94	664,87
CAT-F 36-38	1987	36	1553,10	44,28	21204,21	6691,22	161,94	10,35	45,30	52,91	2266,15	40,81	28,70	266,82
CAT-F 38-40	1983	38	1420,88	40,26	18531,38	6134,82	149,65	9,32	42,98	50,70	2519,18	35,71	27,50	418,83
CAT-F 40-42	1978	40	1192,11	21,14	5738,24	2861,00	82,64		12,41	16,64	1470,14	18,49	9,57	525,99
CAT-F 42-44	1975	42	1698,97	46,30	18313,42	6461,48	139,60	11,39	41,31	48,50	2574,58	36,98	29,89	390,39

CAT-F	ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
CAT-F 44-46	1973	44	1462,85	44,28	20167,96	7362,50	151,89	10,35	50,73	56,21	2768,51	36,98	32,29	366,34
CAT-F 46-48	1969	46	1392,54	39,25	14253,83	5431,23	122,85	7,25	35,33	40,78	2317,86	28,06	25,11	364,15
CAT-F 48-50	1966	48	1436,62	46,30	22550,19	7340,96	149,65	10,35	52,94	57,32	3256,09	48,46	37,07	507,40
CAT-F 50-52	1964	50	1407,23	28,18	10075,70	4300,47	115,03	7,97	24,15	29,65	2081,46	22,95	17,94	669,25
CAT-F 52-54	1961	52	1124,95	13,08	2096,71	1769,73	72,59		5,76	10,14	1379,64	11,73		450,54
CAT-F 54-56	1958	54	827,97		3836,54	2408,70	34,62		8,31	11,46	1013,95	7,52		205,59
CAT-F 56-58	1955	56	1483,84	45,29	17548,67	7301,47	144,07	10,35	48,18	51,80	3064,01	43,36	25,11	611,29
CAT-F 58-60	1953	58	2094,59	50,32	20403,77	7883,00	183,16	10,35	50,06	60,62	3209,92	44,63	32,29	565,36
CAT-F 60-62	1950	60	2359,03	79,51	34486,80	13091,67	216,66	22,78	89,72	99,20	5014,34	67,59	59,79	305,10
CAT-F 62-64	1947	62	1666,43	40,26	16559,58	7811,21	158,59	12,43	47,07	58,42	4068,73	42,08	35,87	1050,89
CAT-F 64-66	1944	64	1952,92	65,42	27494,35	10381,44	209,96	16,57	76,43	82,67	4168,46	53,56	46,64	482,25
CAT-F 66-68	1942	66	1443,96	38,24	16036,99	7100,45	155,24	9,32	41,98	46,29	3544,21	39,53	28,70	1071,67
CAT-F 68-70	1939	68	1308,59	22,14	8408,52	4056,37	94,93	7,25	20,93	28,22	2650,31	28,06	14,35	1187,58
CAT-F 70-72	1936	70	1270,81	18,12	6487,70	3855,35	87,11	8,28	19,38	23,15	2005,74	22,95	9,57	906,54
CAT-F 72-74	1933	72	1278,16	37,24	6180,53	4092,27	92,70		18,50	26,23	2509,94	22,95	15,55	926,23
CAT-F 74-76	1930	74	1414,58	39,25	15453,23	6371,74	150,77	9,32	37,11	40,78	3906,20	38,26	21,52	2052,57
CAT-F 76-78	1928	76	1289,70	24,15	9837,35	5431,23	125,08		30,57	39,68	3466,64	34,43	17,94	1945,41
CAT-F 78-80	1925	78	1303,34	26,17	5400,47	3144,59	107,21		16,39	22,60	3836,02	30,61	9,57	1954,15
CAT-F 80-82	1922	80	1264,52	20,13	5942,18	3672,27	108,33	7,25	17,61	24,91	3082,48	25,51	11,96	2110,53
CAT-F 82-84	1919	82	1318,04	28,18	7632,29	4304,06	103,86		19,16	29,21	2194,12	24,23	9,57	874,83
CAT-F 84-86	1917	84	1495,38	28,18	8764,14	4512,27	106,10	7,25	27,47	35,49	2775,90	26,78	13,15	1284,91
CAT-F 86-88	1914	86	1286,55	21,14	7708,77	3679,45	97,16		20,71	24,14	3442,63	28,06	13,15	1856,83
CAT-F 88-90	1911	88	1246,68	27,17	8502,84	4856,88	88,23	9,32	27,69	34,83	2212,59	25,51	14,35	744,70

CAT-F	ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
CAT-F 90-92	1908	90	1346,37	29,19	8881,40	4759,96	99,40	7,25	27,58	31,63	2825,76	26,78	14,35	1056,36
CAT-F 92-94	1906	92	1331,68	25,16	9828,43	4605,60	109,45		25,48	30,31	2822,07	26,78	15,55	1090,26
CAT-F 94-96	1903	94	1363,16	33,21	10472,10	4411,75	122,85	7,25	27,80	32,74	3887,73	31,88	17,94	2020,86
CAT-F 96-98	1900	96	1454,46	41,26	9057,29	4059,96	168,64	9,32	24,48	30,86	7949,07	52,29	15,55	5112,29
CAT-F 98-100	1897	98	1539,46	38,24	10924,58	5901,48	169,76	7,25	31,68	39,68	4323,60	35,71	17,94	1980,40
CAT-F 100-102	1894	100	1817,55	26,17	8681,29	5205,08	108,33		24,37	40,78	3280,10	29,33	13,15	1844,80
CAT-F 102-104	1892	102	1775,57	30,19	9903,63	5118,93	137,37	8,28	24,81	35,71	3701,19	35,71	19,13	2043,82
CAT-F 104-106	1889	104	1665,38	37,24	17510,43	7384,03	168,64	11,39	44,53	55,11	4179,54	40,81	32,29	2005,55
CAT-F 106-108	1886	106	1755,63	43,28	17348,55	8084,03	151,89	11,39	46,08	56,21	4342,07	40,81	26,31	1652,34
CAT-F 108-110	1883	108	1746,19	34,22	15644,42	7466,60	139,60	11,39	44,86	54,01	3769,53	40,81	26,31	1308,97
CAT-F 110-112	1881	110	1840,63	41,26	17347,28	7631,72	145,19	12,43	50,73	62,83	4009,63	42,08	31,09	1057,45
CAT-F 112-114	1878	112	1786,06	34,22	13240,52	6960,45	155,24	11,39	42,42	57,32	3052,93	35,71	19,13	825,62
CAT-F 114-116	1875	114	2022,18	35,23	13248,17	7581,47	155,24	10,35	40,54	60,62	2849,77	35,71	23,92	566,45
CAT-F 116-118	1872	116	2611,94	44,28	17349,83	8884,53	223,36	10,35	52,50	80,46	3564,52	38,26	26,31	559,89
CAT-F 118-120	1870	118	2834,41	55,35	24713,18	9609,65	339,51	13,46	59,81	91,48	3889,58	52,29	37,07	552,24
CAT-F 120-122	1867	120	2131,31	35,23	11138,71	6587,12	164,17	7,25	35,00	49,60	2509,94	29,33	16,74	601,45
CAT-F 122-124	1864	122	2378,97	45,29	20597,50	8188,13	224,48	11,39	52,94	73,85	3385,37	44,63	29,89	511,78
CAT-F 126-128	1859	126	2420,95	44,28	23850,28	8658,38	240,12	12,43	54,94	76,05	3239,47	49,74	34,68	503,03
CAT-F 128-130	1856	128	2110,33	33,21	17551,21	6824,04	221,13	12,43	40,87	59,52	3052,93	33,16	22,72	601,45
CAT-F 130-132	1853	130	1667,48	56,36	22988,65	8417,87	212,20	13,46	52,94	65,03	3206,22	44,63	32,29	614,57
CAT-F 132-134	1850	132	1961,31	69,44	31246,77	10557,34	266,92	16,57	72,44	78,26	4138,91	61,21	46,64	449,44
CAT-F 134-136	1847	134	1509,03	48,31	23010,32	8809,15	207,73	14,50	60,59	68,34	3660,56	53,56	40,66	547,86
CAT-F 136-138	1845	136	1428,22	37,24	17085,99	7405,57	185,39	11,39	48,51	54,01	3130,50	39,53	28,70	525,99

CAT-F	ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
CAT-F 138-140	1842	138	1606,62	73,47	30778,99	11085,03	239,00	18,64	83,07	78,26	4451,04	65,04	52,61	330,25
CAT-F 140-142	1839	140	1577,24	66,43	29769,51	10528,62	232,30	15,53	73,10	72,75	4255,27	57,39	46,64	389,30
CAT-F 142-144	1836	142	1546,80	56,36	28743,46	9914,78	179,81	14,50	70,56	72,75	3852,64	53,56	39,46	410,08
CAT-F 144-146	1834	144	1458,65	54,35	22931,29	8371,20	165,29	12,43	55,71	63,93	3655,02	42,08	34,68	450,54
CAT-F 146-148	1831	146	1426,12	43,28	17688,87	7814,80	142,95	12,43	51,95	61,72	2552,42	38,26	28,70	427,57
CAT-F 148-150	1828	148	1467,05	40,26	17419,93	6802,50	137,37	8,28	40,54	49,60	2761,12	35,71	22,72	509,59
CAT-F 150-152	1825	150	1638,10	64,41	31240,40	10331,19	208,84	16,57	68,78	79,36	3928,36	54,84	46,64	427,57
CAT-F 152-154	1823	152	1491,19	58,37	26535,86	8909,66	182,04	13,46	61,47	72,75	3693,81	52,29	40,66	402,42
CAT-F 154-156	1820	154	1875,26	69,44	33602,23	10708,11	206,61	16,57	65,02	83,77	3898,81	56,11	40,66	379,46
CAT-F 156-158	1817	156	1513,22	59,38	24290,01	9322,48	187,63	15,53	64,91	79,36	3841,56	51,01	40,66	416,64
CAT-F 158-160	1814	158	1716,80	42,27	19047,59	8830,69	157,47	12,43	50,06	67,24	2929,19	42,08	28,70	646,28
CAT-F 160-162	1812	160	1356,86	31,20	11728,85	6680,45	113,92	8,28	36,00	51,80	2838,69	30,61	16,74	780,79
CAT-F 162-164	1809	162	1502,73	46,30	22244,28	9060,43	174,22	11,39	56,27	68,34	3222,85	40,81	33,48	485,53
CAT-F 164-166	1806	164	1426,12	38,24	17834,18	8661,97	163,06	11,39	48,74	60,62	3163,75	40,81	25,11	517,24
CAT-F 166-168	1803	166	2459,77	34,22	14898,78	7646,08	140,72	9,32	37,88	54,01	2833,15	31,88	23,92	586,14
CAT-F 168-170	1800	168	1511,12	33,21	16344,17	7581,47	158,59	11,39	43,20	55,11	2578,28	39,53	25,11	528,18
CAT-F 170-172	1798	170	1555,20	40,26	14499,83	7502,49	151,89	9,32	41,98	56,21	3023,38	35,71	20,33	778,60
CAT-F 172-174	1795	172	1456,56	31,20	11806,60	6734,30	141,84	10,35	35,11	45,19	3342,90	36,98	19,13	813,59
CAT-F 174-176	1792	174	2135,51	30,19	12117,60	6978,40	142,95	9,32	34,34	49,60	3043,70	35,71	19,13	849,68
CAT-F 176-178	1789	176	1471,25	36,23	11298,04	6910,19	134,02	8,28	34,00	46,29	3017,84	34,43	16,74	940,44
CAT-F 178-180	1787	178	1642,30	32,21	13032,76	6529,68	154,12	10,35	35,78	47,40	3366,91	34,43	21,52	1165,71
CAT-F 180-182	1784	180	1613,96	29,19	12521,65	6931,73	147,42	9,32	35,11	49,60	3128,65	31,88	17,94	994,03
CAT-F 182-184	1781	182	1694,77	36,23	13486,52	7265,57	176,46	9,32	36,33	47,40	3590,38	39,53	20,33	1064,01

CAT-F	ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
CAT-F 184-186	1778	184	1386,25	44,28	17488,76	8748,12	203,26	8,28	46,63	60,62	3610,70	43,36	28,70	1151,50
CAT-F 186-188	1776	186	1422,98	35,23	14948,49	7315,83	184,27	10,35	38,10	51,80	3981,92	42,08	22,72	1466,44
CAT-F 188-190	1773	188	1293,90	40,26	16884,60	7778,90	140,72	11,39	43,86	47,40	3547,90	39,53	21,52	1081,51
CAT-F 190-192	1770	190	1347,42	46,30	17590,73	8374,79	153,00	12,43	48,74	56,21	4244,18	47,19	29,89	1144,94

Tabela de resultados dos elementos Ca, Cr, Fe, K, Mn, Pb, Rb, Sr, Ti, V, Zn e Zr do testemunho TAI obtidos por fluorescência de raios – X portátil expressos em mg kg⁻¹.

TAI	ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
TAI 00-02	2015	0	1683,22	30,19	8984,64	4680,98	104,98	8,28	28,36	46,29	2077,77	22,95	16,74	464,75
TAI 02-04	2014	2	1606,62	21,14	9112,10	4472,78	103,86	6,83	27,14	35,05	1787,80	21,68	14,35	564,27
TAI 04-06	2013	4	1536,31	24,15	10034,91	4925,08	103,86		27,80	36,70	2112,86	25,51	14,35	486,62
TAI 06-08	2012	6	1464,95	24,15	9614,29	5025,59	94,93	8,28	28,02	38,14	1885,69	22,95	17,94	448,35
TAI 08-10	2011	8	1596,12	32,21	13809,00	6124,05	126,20	10,35	36,99	41,88	2269,84	31,88	27,50	497,56
TAI 10-12	2009	10	1587,73	31,20	14331,58	6041,48	122,85	7,25	38,10	49,60	2471,16	34,43	26,31	471,32
TAI 12-14	2007	12	1576,19	35,23	14290,79	5797,38	136,25	9,32	39,43	47,40	2352,96	28,06	23,92	465,85
TAI 14-16	2005	14	1761,93	24,15	11487,95	5039,95	121,73	10,35	33,23	46,29	2205,20	28,06	17,94	551,14
TAI 18-20	2002	18	1445,01	24,15	9758,32	4917,90	125,08		31,01	36,26	2275,39	24,23	19,13	560,99
TAI 20-22	2001	20	1654,89	35,23	11934,06	5129,70	115,03		33,45	39,24	2327,10	25,51	17,94	570,83
TAI 22-24	2000	22	1580,38	35,23	14782,79	6515,32	128,43	10,35	42,20	50,70	2498,86	29,33	26,31	511,78
TAI 24-26	1999	24	1773,47	39,25	16783,91	7139,93	135,13	13,46	47,52	61,72	2971,67	35,71	23,92	533,65
TAI 26-28	1997	26	1798,66	61,39	30443,77	9071,20	190,98	14,50	70,45	74,95	3895,12	53,56	47,83	392,58
TAI 28-30	1995	28	2210,02	54,35	28232,35	9067,61	194,33	13,46	62,80	77,16	3765,84	47,19	38,27	459,29
TAI 30-32	1992	30	1724,15	40,26	18319,80	6773,78	157,47	10,35	49,29	59,52	2764,81	35,71	26,31	491,00
TAI 32-34	1989	32	1709,46	41,26	18554,32	7082,50	159,70	8,28	48,40	56,21	3189,60	38,26	26,31	419,92
TAI 34-36	1985	34	1842,73	59,38	24490,13	9494,78	197,68	12,43	67,12	73,85	3701,19	51,01	39,46	365,24
TAI 36-38	1981	36	1584,58	34,22	14323,93	6292,76	132,90	9,32	43,09	49,60	2452,69	30,61	23,92	486,62

TAI	ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
TAI 38-40	1977	38	1557,30	27,17	11879,25	5262,52	130,67		38,66	46,29	2190,43	28,06	21,52	503,03
TAI 40-42	1973	40	1688,47	29,19	10558,77	5187,13	117,27	8,28	37,11	40,78	2011,28	24,23	19,13	375,08
TAI 42-44	1969	42	1756,68	30,19	13181,89	5822,51	132,90	8,28	42,53	49,60	2088,85	29,33	22,72	431,95
TAI 44-46	1965	44	1984,40	27,17	13666,24	5944,56	151,89	9,32	40,54	51,80	2229,21	25,51	22,72	463,66
TAI 46-48	1963	46	1882,61	37,24	18375,88	6727,12	173,11	10,35	48,29	60,62	2770,36	33,16	28,70	445,07
TAI 48-50	1962	48	1832,24	38,24	17447,97	7969,16	168,64	12,43	46,85	57,32	2818,37	34,43	26,31	501,93
TAI 50-52	1956	50	1831,19	41,26	19083,28	7401,98	160,82	10,35	46,96	62,83	2615,22	33,16	31,09	399,14
TAI 52-54	1951	52	2263,54	55,35	26845,58	9832,22	217,78	15,53	68,67	79,36	3510,96	47,19	38,27	383,83
TAI 54-56	1948	54	2432,49	48,31	21749,74	8188,13	180,92	14,50	56,82	76,05	3028,92	42,08	33,48	356,49
TAI 56-58	1945	56	2246,75	41,26	22235,36	8417,87	176,46	12,43	56,60	70,54	3104,64	42,08	34,68	393,67
TAI 58-60	1943	58	2024,28	39,25	17622,59	6992,76	141,84	11,39	49,62	74,95	2554,27	34,43	31,09	366,34
TAI 60-62	1942	60	2299,22	57,37	28048,80	9943,50	260,22	14,50	68,56	82,67	3560,83	51,01	50,22	382,74
TAI 62-64	1941	62	1990,70	35,23	14711,41	5944,56	128,43	8,28	38,43	61,72	2166,42	28,06	22,72	381,65
TAI 64-66	1940	64	2046,31	37,24	18481,67	6648,14	170,87	11,39	45,86	67,24	2268,00	34,43	28,70	369,62
TAI 66-68	1939	66	2002,24	43,28	14130,19	6063,02	160,82	10,35	46,19	56,21	2201,51	31,88	33,48	391,49
TAI 68-70	1938	68	1647,54	26,17	10774,18	5424,05	107,21	7,25	35,78	47,40	2002,04	24,23	17,94	365,24
TAI 70-72	1936	70	1780,82	27,17	11377,06	5585,59	129,55	7,25	32,12	46,29	2147,95	29,33	17,94	434,13
TAI 72-74	1933	72	1934,03	32,21	15527,15	6623,02	158,59	12,43	45,30	54,01	2371,42	31,88	26,31	352,12
TAI 74-76	1931	74	2022,18	51,33	21994,46	7936,85	160,82	12,43	61,92	76,05	3396,46	44,63	35,87	429,76
TAI 76-78	1929	76	1996,99	51,33	23248,67	8963,51	182,04	14,50	63,25	77,16	3664,26	48,46	35,87	451,63
TAI 78-80	1927	78	1708,41	46,30	20733,89	8109,16	174,22	13,46	57,04	63,93	3043,70	39,53	29,89	527,09
TAI 80-82	1924	80	1627,61	45,29	22060,74	8220,44	173,11	14,50	64,13	67,24	3080,64	47,19	38,27	381,65
TAI 82-84	1922	82	1722,05	47,30	20783,60	8837,87	166,41	11,39	60,25	67,24	3475,87	44,63	71,75	451,63

TAI	ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
TAI 84-86	1920	84	1692,67	44,28	21038,52	8134,28	160,82	15,53	58,15	65,03	2984,60	42,08	35,87	473,50
TAI 86-88	1917	86	1899,40	44,28	21262,84	8216,85	163,06	13,46	58,04	69,44	3078,79	44,63	38,27	481,16
TAI 88-90	1915	88	1878,41	37,24	15715,79	6490,20	154,12	8,28	41,54	54,01	2415,75	29,33	27,50	524,90
TAI 90-92	1913	90	1755,63	45,29	18191,06	7599,42	160,82	11,39	48,40	52,91	2919,95	36,98	28,70	525,99
TAI 92-94	1910	92	1776,62	42,27	17985,85	7301,47	147,42	11,39	49,18	57,32	2827,61	36,98	26,31	503,03
TAI 94-96	1908	94	1942,42	56,36	25392,54	9433,76	187,63	13,46	62,25	73,85	3788,00	51,01	40,66	480,06
TAI 96-98	1906	96	2069,40	61,39	29861,28	10679,39	193,21	16,57	75,32	83,77	3943,14	54,84	43,05	438,51
TAI 98-100	1904	98	2135,51	67,43	29444,49	10819,39	225,60	14,50	79,75	87,08	3920,98	58,66	43,05	368,52
TAI 100-102	1901	100	1795,51	55,35	28213,23	8945,56	188,74	11,39	66,90	71,64	3638,40	45,91	44,24	404,61
TAI 102-104	1899	102	1638,10	38,24	19644,10	7236,86	149,65	13,46	47,63	56,21	2960,59	34,43	26,31	568,64
TAI 104-106	1897	104	1639,15	41,26	19062,89	7699,93	149,65	11,39	49,40	62,83	2964,28	39,53	28,70	570,83
TAI 106-108	1894	106	1891,00	44,28	20968,41	8069,67	167,52	11,39	57,49	78,26	3217,31	45,91	35,87	430,85
TAI 108-110	1892	108	1528,96	38,24	16462,71	7075,32	129,55	9,32	47,07	56,21	2424,98	34,43	23,92	503,03
TAI 110-112	1890	110	1404,09	32,21	13093,95	5255,34	130,67	8,28	32,45	42,99	2168,26	24,23	19,13	544,58
TAI 112-114	1887	112	1441,86	21,14	7318,74	4404,57	89,35	7,87	26,25	35,60	2035,29	20,40	11,96	589,42
TAI 114-116	1885	114	1539,46	34,22	13731,24	5664,56	119,50	10,35	41,09	51,80	2284,62	30,61	25,11	598,17
TAI 116-118	1883	116	1505,88	43,28	21271,77	7017,88	139,60	11,39	56,05	66,13	3015,99	39,53	33,48	499,75
TAI 118-120	1880	118	1447,11	31,20	11388,53	6515,32	109,45	8,28	36,33	49,60	2421,29	30,61	19,13	637,53
TAI 120-122	1878	120	1484,89	30,19	12745,98	6048,66	103,86	8,28	44,53	54,01	2545,03	29,33	23,92	615,66
TAI 122-124	1876	122	1459,70	31,20	14884,76	6138,40	120,62	12,43	50,51	57,32	3003,07	34,43	65,77	676,90
TAI 126-128	1871	126	1651,74	44,28	17822,70	8543,51	139,60	12,43	53,94	66,13	3193,30	42,08	28,70	532,55
TAI 128-130	1869	128	1712,61	48,31	18498,24	7703,52	145,19	11,39	50,51	62,83	3027,08	38,26	35,87	558,80
TAI 130-132	1867	130	1659,09	26,17	9779,99	5233,80	92,70	7,35	32,68	49,60	2138,71	26,78	15,55	493,19

TAI	ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
TAI 132-134	1864	132	1659,09	26,17	11312,06	5090,21	116,15		31,12	45,19	2707,56	28,06	16,74	649,56
TAI 134-136	1862	134	1659,09	31,20	12855,60	5341,49	132,90	8,28	34,23	51,80	2316,02	26,78	21,52	486,62
TAI 136-138	1860	136	1757,73	36,23	16206,51	6095,33	135,13	9,32	40,10	54,01	2465,62	30,61	23,92	445,07
TAI 138-140	1857	138	1309,64	19,12	7801,81	4365,09	110,56	6,83	28,02	37,14	1686,22	21,68	15,55	449,44
TAI 140-142	1855	140	1624,46	33,21	13984,89	5815,33	158,59	10,35	42,09	55,11	2162,72	26,78	22,72	474,60
TAI 142-144	1853	142	1837,48	41,26	20970,96	8511,20	192,09	11,39	58,15	66,13	3597,77	48,46	33,48	621,13
TAI 144-146	1850	144	1583,53	57,37	22576,95	8787,61	190,98	14,50	61,58	71,64	3765,84	47,19	51,42	575,20
TAI 146-148	1848	146	1592,98	32,21	11853,76	5348,67	134,02	9,32	38,21	49,60	3235,78	30,61	19,13	820,15
TAI 148-150	1846	148	1590,88	46,30	14972,70	6551,22	156,35	9,32	43,42	55,11	3086,18	36,98	22,72	804,84
TAI 150-152	1844	150	1966,56	47,30	22956,79	8626,07	170,87	15,53	61,14	72,75	3549,75	43,36	33,48	643,00
TAI 152-154	1841	152	2300,27	41,26	14910,25	7229,68	164,17	10,35	47,18	78,26	3320,73	39,53	27,50	945,91
TAI 154-156	1839	154	1655,94	39,25	15692,85	6673,27	165,29	11,39	50,73	66,13	2644,77	35,71	23,92	576,30
TAI 156-158	1837	156	1849,03	41,26	16688,31	7480,96	169,76	9,32	52,39	74,95	2770,36	35,71	28,70	576,30
TAI 158-160	1834	158	1284,46		13904,59	4487,14	102,75	9,32	45,19	70,54	2707,56		31,09	574,11
TAI 160-162	1832	160	1618,16	28,18	10347,19	5284,05	121,73	9,32	37,55	51,80	2448,99	25,51	15,55	485,53
TAI 162-164	1830	162	2044,22	32,21	13119,44	6719,94	151,89	10,35	42,31	66,13	2714,95	28,06	21,52	742,51
TAI 164-166	1827	164	1828,04	44,28	13615,26	5869,18	163,06	10,35	42,20	60,62	3427,85	30,61	23,92	984,19
TAI 166-168	1825	166	2585,70	50,32	20318,37	8152,23	223,36	10,35	55,71	84,87	3317,04	42,08	31,09	717,36
TAI 168-170	1823	168	1838,53	26,17	12925,70	5865,59	163,06	8,28	39,54	55,11	3915,44	38,26	19,13	1537,52
TAI 170-172	1821	170	1751,43	31,20	11804,05	4749,19	148,54	10,35	33,34	51,80	3533,13	31,88	20,33	1573,60
TAI 172-174	1818	172	2360,08	29,19	12090,84	5592,77	131,78	11,39	36,55	67,24	2628,14	35,71	20,33	730,48
TAI 174-176	1816	174	2048,41	33,21	13835,76	6429,17	156,35	8,28	44,86	63,93	3010,45	36,98	22,72	706,43
TAI 176-178	1814	176	2171,19	44,28	21183,82	7247,63	186,51	15,53	51,95	72,75	3474,03	47,19	28,70	908,73

TAI	ano	cm	Ca	Cr	Fe	K	Mn	Pb	Rb	Sr	Ti	V	Zn	Zr
TAI 178-180	1811	178	1590,88	29,19	11459,91	5628,67	141,84	9,32	34,11	51,80	3403,84	33,16	17,94	1838,24
TAI 180-182	1809	180	1536,31	24,15	9244,66	5047,13	119,50	6,21	36,44	49,60	2081,46	25,51	17,94	681,27
TAI 182-184	1807	182	2009,59	37,24	14204,12	6152,76	165,29	9,32	38,55	55,11	4035,48	35,71	22,72	1427,07
TAI 184-186	1804	184	1676,93	31,20	12218,30	5944,56	158,59	8,28	35,89	51,80	3590,38	38,26	20,33	1359,27
TAI 186-188	1802	186	1966,56	32,21	12789,32	6457,89	140,72	9,32	41,31	59,52	3154,51	34,43	20,33	902,17
TAI 188-190	1800	188	2232,06	31,20	15492,74	6199,43	161,94	9,32	44,31	66,13	2581,97	30,61	26,31	796,10
TAI 190-192	1797	190	1841,68	30,19	12884,91	5520,97	135,13	8,28	40,54	59,52	3160,05	30,61	21,52	768,76
TAI 192-194	1795	192	2248,85	39,25	17203,25	7448,65	161,94	9,32	50,84	77,16	2969,82	36,98	28,70	520,52
TAI 196-198	1791	196	2142,86	46,30	23383,78	8543,51	193,21	13,46	61,92	81,56	3257,94	47,19	34,68	437,42
TAI 198-200	1788	198	1923,53	42,27	16806,85	8105,57	178,69	9,32	50,06	69,44	3529,43	35,71	29,89	575,20
TAI 202-204	1784	202	1783,97	49,32	23390,15	8407,10	186,51	15,53	61,92	74,95	3642,09	47,19	40,66	506,31
TAI 204-206	1781	204	1484,89	31,20	13889,29	4889,19	136,25	8,28	39,99	51,80	2829,46	30,61	21,52	753,45
TAI 206-208	1779	206	1446,06	36,23	12248,89	5442,00	132,90	11,39	40,76	59,52	2822,07	30,61	17,94	779,69
TAI 208-210	1777	208	1599,27	44,28	18957,10	7606,60	155,24	13,46	54,61	62,83	3566,37	40,81	32,29	879,21

ANEXO 3 – CaCO₃ (%) CAT1 e TAI

Tabela de resultados dos testemunhos CAT1 e TAI referente ao conteúdo de carbonato de cálcio (CaCO₃) expresso em porcentagem (%).

CAT1 (Tese Aline Correa)	cm	ano	CaCO ₃ (%)
CAT 1 0-2	0	2014	6,62
CAT 1 2-4	2	2011	4,83
CAT 1 4-6	4	2007	8,06
CAT 1 6-8	6	2004	6,88
CAT 1 8-10	8	2000	5,56
CAT 1 10-12	10	1997	5,12
CAT 1 12-14	12	1993	5,42
CAT 1 14-16	14	1990	5,69
CAT 1 16-18	16	1987	5,63
CAT 1 18-20	18	1983	6,24
CAT 1 20-22	20	1980	6,10
CAT 1 22-24	22	1976	5,42
CAT 1 24-26	24	1973	6,56
CAT 1 26-28	26	1970	7,62
CAT 1 28-30	28	1966	7,74
CAT 1 30-32	30	1963	6,69
CAT 1 32-34	32	1959	5,72

TAI	cm	ano	CaCO ₃ (%)
TAI 00 - 02	0	2015	7,29
TAI 02 - 04	2	2014	7,49
TAI 04 - 06	4	2013	7,61
TAI 06- 08	6	2012	8,86
TAI 08 - 10	8	2011	9,15
TAI 10 - 12	10	2009	11,71
TAI 12 - 14	12	2007	11,11
TAI 14 - 16	14	2005	7,41
TAI 18 - 20	18	2002	11,53
TAI 20 - 22	20	2001	13,79
TAI 22 - 24	22	2000	13,26
TAI 24 - 26	24	1999	19,46
TAI 26 - 28	26	1997	22,55
TAI 28 - 30	28	1995	21,75
TAI 30 - 32	30	1992	21,52
TAI 32 - 34	32	1989	18,20
TAI 34 - 36	34	1985	19,63

CAT1 (Tese Aline Correa)	cm	ano	CaCO ₃ (%)
CAT 1 34-36	34	1956	6,19
CAT 1 36-38	36	1952	5,00
CAT 1 38-40	38	1949	2,51
CAT 1 40-42	40	1946	3,32
CAT 1 42-44	42	1942	5,70
CAT 1 44-46	44	1939	4,31
CAT 1 46-48	46	1935	5,56
CAT 1 48-50	48	1932	4,11
CAT 1 50-52	50	1928	4,03
CAT 1 52-54	52	1925	4,68
CAT 1 54-56	54	1922	0,96
CAT 1 56-58	56	1918	3,47
CAT 1 58-60	58	1915	6,17
CAT 1 60-62	60	1911	9,88
CAT 1 62-64	62	1908	0,87
CAT 1 64-66	64	1905	8,56
CAT 1 66-68	66	1901	3,97
CAT 1 68-70	68	1898	1,57
CAT 1 70-72	70	1894	3,81
CAT 1 72-74	72	1891	3,42
CAT 1 74-76	74	1887	2,91
CAT 1 76-78	76	1884	4,45
CAT 1 78-80	78	1881	4,81

TAI	cm	ano	CaCO ₃ (%)
TAI 36 - 38	36	1981	14,61
TAI 38 - 40	38	1977	12,27
TAI 40 - 42	40	1973	13,26
TAI 42 - 44	42	1969	15,35
TAI 44 - 46	44	1965	13,84
TAI 46 - 48	46	1963	17,45
TAI 48 - 50	48	1962	15,42
TAI 50 - 52	50	1956	18,34
TAI 52 - 54	52	1951	24,13
TAI 54 - 56	54	1948	23,46
TAI 56 - 58	56	1945	16,88
TAI 58 - 60	58	1943	20,49
TAI 60 - 62	60	1942	24,23
TAI 62 - 64	62	1941	17,54
TAI 64 - 66	64	1940	9,39
TAI 66 - 68	66	1939	18,04
TAI 68 - 70	68	1938	14,74
TAI 70 - 72	70	1936	14,10
TAI 72 - 74	72	1933	20,70
TAI 74 - 76	74	1931	20,31
TAI 76 - 78	76	1929	16,97
TAI 78 - 80	78	1927	17,12
TAI 80 - 82	80	1924	16,21

CAT1 (Tese Aline Correa)	cm	ano	CaCO ₃ (%)
CAT 1 80-82	80	1877	4,67
CAT 1 82-84	82	1874	5,08
CAT 1 84-86	84	1870	0,72
CAT 1 86-88	86	1867	4,14
CAT 1 88-90	88	1864	2,69
CAT 1 90-92	90	1860	4,01
CAT 1 92-94	92	1857	3,23
CAT 1 94-96	94	1853	3,48
CAT 1 96-98	96	1850	3,84
CAT 1 98-100	98	1846	2,00
CAT 1 100-102	100	1843	3,53
CAT 1 102-104	102	1840	4,31
CAT 1 104-106	104	1836	2,24
CAT 1 106-108	106	1833	23,61
CAT 1 108-110	108	1829	3,41
CAT 1 110-112	110	1826	3,11
CAT 1 112-114	112	1822	3,45
CAT 1 114-116	114	1819	0,07

TAI	cm	ano	CaCO ₃ (%)
TAI 82 - 84	82	1922	22,04
TAI 84 - 86	84	1920	17,44
TAI 86-88	86	1917	16,54
TAI 88 - 90	88	1915	17,40
TAI 90 - 92	90	1913	14,55
TAI 92 - 94	92	1910	17,13
TAI 94 - 96	94	1908	16,14
TAI 96 - 98	96	1906	18,30
TAI 98 - 100	98	1904	19,41
TAI 100 - 102	100	1901	2,48
TAI 102 - 104	102	1899	12,85
TAI 104 - 106	104	1897	13,48
TAI 106 - 108	106	1894	20,23
TAI 108 - 110	108	1892	11,63
TAI 110 - 112	110	1890	12,76
TAI 112 - 114	112	1887	9,48
TAI 114 - 116	114	1885	11,49
TAI 116 - 118	116	1883	13,12

CAT1 (Tese Aline Correa)	cm	ano	CaCO ₃ (%)
CAT 1 116-118	116	1816	3,29
CAT 1 118-120	118	1812	0,82
CAT 1 120-122	120	1809	1,67
CAT 1 122-124	122	1805	2,29
CAT 1 124-126	124	1802	3,92
CAT 1 126-128	126	1799	2,02
CAT 1 128-130	128	1795	3,17
CAT 1 130-132	130	1792	4,40
CAT 1 132-134	132	1788	1,56
CAT 1 134-136	134	1785	1,41
CAT 1 136-138	136	1781	1,44
CAT 1 138-140	138	1778	1,90
CAT 1 140-142	140	1775	0,33
CAT 1 142-144	142	1771	2,81
CAT 1 144-146	144	1768	1,79
CAT 1 146-148	146	1764	0,09

TAI	cm	ano	CaCO ₃ (%)
TAI 118 - 120	118	1880	10,87
TAI 120 - 122	120	1878	10,46
TAI 122 - 124	122	1876	14,77
TAI 126 - 128	126	1871	14,77
TAI 128 - 130	128	1869	14,53
TAI 130 - 132	130	1867	11,83
TAI 132 - 134	132	1864	11,04
TAI 134 - 136	134	1862	14,94
TAI 136 - 138	136	1860	15,45
TAI 138 - 140	138	1857	8,03
TAI 140 - 142	140	1855	12,16
TAI 142 - 144	142	1853	14,77
TAI 144 - 146	144	1850	11,74
TAI 146 - 148	146	1848	14,77
TAI 148 - 150	148	1846	11,76
TAI 150 - 152	150	1844	14,77

TAI	cm	ano	CaCO ₃ (%)
TAI 152 - 154	152	1841	13,26
TAI 154 - 156	154	1839	13,80
TAI 156 - 158	156	1837	16,96
TAI 158 - 160	158	1834	16,52
TAI 160 - 162	160	1832	13,17
TAI 162 - 164	162	1830	15,46
TAI 164 - 166	164	1827	11,03
TAI 166 - 168	166	1825	15,08
TAI 168 - 170	168	1823	14,42
TAI 170 - 172	17	1821	11,47
TAI 172 - 174	70	1818	18,93
TAI 174 - 176	174	1816	16,88
TAI 176 - 178	176	1814	16,85
TAI 178 - 180	178	1811	12,58
TAI 180 - 182	180	1809	11,53
TAI 182 - 184	182	1807	14,69

TAI	cm	ano	CaCO ₃ (%)
TAI 184 - 186	184	1804	13,31
TAI 186 - 188	186	1802	14,02
TAI 188 - 190	188	1800	12,95
TAI 190 - 192	190	1797	14,39
TAI 192 - 194	192	1795	15,82
TAI 196 - 198	196	1791	16,70
TAI 198 - 200	198	1788	13,51
TAI 202 - 204	202	1784	15,72
TAI 204 - 206	204	1781	15,44
TAI 206 - 208	206	1779	11,83
TAI 208 - 210	208	1777	14,77

ANEXO 4 – Dados de $\epsilon\text{Nd}(0)$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ da região do Amazonas

Referência	região	amostra	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	\pm	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	\pm	$\epsilon\text{Nd}(0)$	$\pm 2\sigma \epsilon\text{Nd}(0)$
P4 (presente trabalho)	plataforma Bragança	P4	0,721749	0,000053	0,512072		-11,05	0,000005
CAT1 (0-2) (presente trabalho)	Caete	CAT1 (0-2)	0,742560	0,000005	0,511682		-18,65	0,000005
Basu et al. (1990)	Andes	1	0,721038	28	0,512057	12	-11,33	
Basu et al. (1990)	Andes	2	0,720808	28	0,512218	12	-8,19	
Basu et al. (1990)	Andes	4	0,721936	28	0,512227	12	-8,02	
Basu et al. (1990)	Andes	5	0,723389	28	0,512109	12	-10,32	
Basu et al. (1990)	Andes	6	0,714675	18	0,512266	12	-7,26	
Basu et al. (1990)	Andes	7	0,719327	28	0,512056	12	-11,35	
Basu et al. (1990)	Andes	8	0,723344	28	0,512085	12	-10,79	
Basu et al. (1990)	Andes	9	0,716938	28	0,512085	12	-10,79	
Basu et al. (1990)	Andes	10	0,722887	28	0,512048	12	-11,51	
Basu et al. (1990)	Andes	11	0,721792	28	0,512038	12	-11,70	
Basu et al. (1990)	Andes	12	0,722524	28	0,512068	12	-11,12	
Basu et al. (1990)	Andes	13	0,722161	28	0,512220	12	-8,15	
Basu et al. (1990)	Andes	14	0,719672	28	0,512078	12	-10,92	
Basu et al. (1990)	Andes	16	0,72336	28	0,512215	12	-8,25	
Basu et al. (1990)	Andes	20	0,722465	28	0,512051	12	-11,45	
Basu et al. (1990)	Andes	22	0,720425	28	0,512033	12	-11,80	
Basu et al. (1990)	Andes	23	0,720425	28	0,512179	12	-8,95	
Basu et al. (1990)	Andes	24	0,723225		0,512046	12	-11,55	
Basu et al. (1990)	Andes	25	0,716041	28	0,512144	12	-9,64	

Referência	região	amostra	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	\pm	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	\pm	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	$\pm 2\sigma \epsilon_{\text{Nd}}(0)$
Basu et al. (1990)	Andes	26	0,715695	28	0,512194	12	-8,66	
Allègre et al. (1996)	Rio Negro		0,7176	0,00003	0,511925	0,000027	-13,56	
Allègre et al. (1996)	Rio Solimões		0,7115	0,00002	0,512185	0,000017	-8,49	
Allègre et al. (1996)	Amazon 6		0,7108	0,00002	0,512235	0,000033	-7,51	
Allègre et al. (1996)	Rio Madeira		0,7258	0,00002	0,512027	0,000034	-11,57	
Allègre et al. (1996)	Rio Urucara		0,7311	0,00002	0,511732	0,000023	-17,32	
Allègre et al. (1996)	Rio Trombetas		0,73730	0,00002	0,511500	0,000028	-21,85	
Allègre et al. (1996)	Rio Tapajós		0,7383	0,00002	0,511606	0,000051	-19,78	
Allègre et al. (1996)	Amazon 20		0,7149	0,00001	0,512094	0,000027	-10,26	
Viers et al. (2008)	Rio Solimões	sol1	0,714897	11	0,512151	7	-9,50	0,1
Viers et al. (2008)	Rio Solimões	sol2	0,716859	10	0,512132	7	-9,90	0,1
Viers et al. (2008)	Rio Solimões	sol3	0,713991	8	0,512165	7	-9,20	0,1
Viers et al. (2008)	Rio Solimões	sol4	0,715403	8	0,512160	10	-9,30	0,2
Viers et al. (2008)	Rio Solimões	sol5	0,714984	11	0,512151	8	-9,50	0,2
Viers et al. (2008)	Rio Solimões	sol6	0,713612	7	0,512157	5	-9,30	0,1
Viers et al. (2008)	Rio Solimões	sol7	0,713944	10	0,512162	9	-9,40	0,2
Viers et al. (2008)	Rio Solimões	sol8	0,713314	9	0,51218	10	-8,90	0,2
Viers et al. (2008)	Rio Solimões	sol9	0,713586	9	0,51217	7	-9,10	0,1
Viers et al. (2008)	Rio Solimões	sol10	0,717439	7	0,512154	8	-9,40	0,2
Viers et al. (2008)	Rio Solimões	sol11	0,715432	9	0,512142	6	-9,70	0,1
Viers et al. (2008)	Rio Solimões	sol12	0,715204	8	0,512174	8	-9,10	0,2

Referência	região	amostra	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	\pm	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	\pm	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	$\pm 2\sigma \epsilon_{\text{Nd}}(0)$
Viers et al. (2008)	Rio Madeira	mad1	0,736348	7	0,512082	6	-10,80	0,1
Viers et al. (2008)	Rio Madeira	mad2	0,741082	8	0,512081	6	-10,90	0,1
Viers et al. (2008)	Rio Madeira	mad3	0,736110	9	0,512022	8	-12,00	0,2
Viers et al. (2008)	Rio Madeira	mad4	0,734639	8	0,512028	5	-11,90	0,1
Viers et al. (2008)	Rio Madeira	mad5	0,735254	9	0,512017	5	-12,10	0,1
Viers et al. (2008)	Rio Madeira	mad6	0,734132	12	0,512030	9	-11,90	0,2
Viers et al. (2008)	Rio Madeira	mad7	0,730758	8	0,512041	7	-11,60	0,1
Viers et al. (2008)	Rio Madeira	mad8	0,728733	8	0,512076	7	-11,00	0,1
Viers et al. (2008)	Rio Madeira	mad9	0,730039	9	0,512067	8	-11,10	0,2
Viers et al. (2008)	Rio Madeira	mad10	0,729939	11	0,512030	8	-11,90	0,2
Viers et al. (2008)	Rio Madeira	mad11	0,727688	7	0,512067	5	-11,10	0,1
Viers et al. (2008)	Rio Madeira	mad12	0,730516	11	0,512055	6	-11,40	0,1
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	QT1-1	0,7107	0,00001	0,512297	0,000021	-6,65	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	QT1-2	0,71682	0,00001	0,512023	0,000015	-11,99	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	QT1-3	0,72477	0,00001	0,512057	0,000031	-11,32	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	QT1-4	0,71971	0,00001	0,512143	0,000011	-9,66	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	QT2-1	0,71901	0,00001	0,512044	0,000012	-11,59	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	QT2-2	0,72165	0,00001	0,512071	0,000010	-11,07	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	QT2-3	0,72806	0,00001				
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	QT2-4	0,73063	0,00001	0,51205	0,000008	-11,48	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	QT3-1	0,72126	0,00001	0,512105	0,000004	-10,39	

Referência	região	amostra	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	\pm	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	\pm	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	$\pm 2\sigma \epsilon_{\text{Nd}}(0)$
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	QT3-2	0,72427	0,00001	0,511891	0,000013	-14,57	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	QT3-3	0,72321	0,00001	0,512113	0,000013	-10,25	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	QT3-4	0,72374	0,00001	0,512134	0,000012	-9,83	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	QT3-5	0,72068	0,00001	0,51192	0,000016	-14,00	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	QT4-1	0,71272	0,00001	0,512224	0,000005	-8,08	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	QT4-2	0,72420	0,00001	0,511871	0,000002	-14,97	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	QT4-3	0,72610	0,00001	0,512223	0,000001	-8,08	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	QT_mean	0,7217	0,0001	0,5121	0,00001	-10,93	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	MD1-1	0,71619	0,00001	0,512216	0,000003	-8,24	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	MD1-2	0,71561	0,00001	0,512153	0,000008	-9,46	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	MD1-3	0,71539	0,00001	0,512010	0,000014	-12,26	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	MD2-1	0,71940	0,00001	0,51218	0,000007	-8,94	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	MD2-2	0,711150	0,00001	0,512259	0,000006	-7,39	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	MD2-3	0,712500	0,00001	0,512237	0,000018	-7,82	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	MD3-1	0,71513	0,00001	0,512194	0,000009	-8,65	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	MD3-2	0,71436	0,00001	0,512237	0,000004	-7,83	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	MD4-1	0,71540	0,00001	0,512233	0,000015	-7,91	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	MD4-2	0,71307	0,00001	0,512282	0,000014	-6,95	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	MD4-3	0,71559	0,00001	0,512197	0,000014	-8,61	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	MD4-4	0,71455	0,00001	0,512312	0,000011	-6,36	
Maria et al. (2014)	Rio Solimões	MD_mean	0,7149	0,00001	0,5122	0,0001	-8,37	

Referência	região	amostra	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	\pm	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	\pm	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	$\pm 2\sigma \epsilon_{\text{Nd}}(0)$
Bouchez et al. (2011)	Rio Madeira	AM-05-18	0,73278	10 ppm	0,512198	10 ppm	-8,58	
Bouchez et al. (2011)	Rio Madeira	AM-05-19	0,732524	10 ppm	0,512098	10 ppm	-10,53	
Bouchez et al. (2011)	Rio Solimões	AM-06-05	0,709477	10 ppm	0,512534	10 ppm	-2,03	
Bouchez et al. (2011)	Rio Solimões	AM-06-07	0,713024	10 ppm	0,512206	10 ppm	-8,43	
Bouchez et al. (2011)	Rio Solimões	AM-06-10	0,713024	10 ppm	0,512193	10 ppm	-8,68	
Bouchez et al. (2011)	Rio Solimões	AM-06-11	0,714477	10 ppm	0,512210	10 ppm	-8,35	
Bouchez et al. (2011)	Rio Solimões	AM-06-13	0,714749	10 ppm	0,512199	10 ppm	-8,56	
Bouchez et al. (2011)	Rio Solimões	AM-06-14	0,715431	10 ppm	0,512101	10 ppm	-10,48	
Bouchez et al. (2011)	Rio Madeira	AM-06-36	0,732585	10 ppm	0,512054	10 ppm	-11,39	
Bouchez et al. (2011)	Rio Madeira	AM-06-38	0,733749	10 ppm	0,512018	10 ppm	-12,09	
Bouchez et al. (2011)	Rio Madeira	AM-06-39	0,732746	10 ppm	0,512027	10 ppm	-11,92	
Bouchez et al. (2011)	Rio Madeira	AM-06-43	0,732881	10 ppm	0,512083	10 ppm	-10,83	
Bouchez et al. (2011)	Rio Madeira	AM-06-44	0,721334	10 ppm	0,512078	10 ppm	-10,92	
Bouchez et al. (2011)	Amazon	AM-06-63	0,720738	10 ppm	0,512127	10 ppm	-9,97	
Bouchez et al. (2011)	Amazon	AM-06-64	0,722395	10 ppm	0,512141	10 ppm	-9,69	
Bouchez et al. (2011)	Amazon	AM-06-66	0,716047	10 ppm	0,512333	10 ppm	-5,95	
Parra et al. (1997)	Amazon Plateau	C.90105-0/2.5	0,726842	0,000023	0,512027	0,000010	-11,90	0,2
Parra et al. (1997)	Amazon Plateau	C.90115-0/2.5	0,725744	0,000011	0,510550	0,000015	-12,30	0,5
Parra et al. (1997)	Amazon Plateau	C.90119-0/2.5	0,726512	0,000016	0,512010	0,000014	-12,20	0,3
Parra et al. (1997)	Amazon Plateau	CUSN8706-0/5	0,724456	0,000010	0,512041	0,000004	-11,60	0,2
Parra et al. (1997)	Amazon Plateau	KS87106 0/5	0,716579	0,000019	0,512143	0,000026	-9,60	0,5
Parra et al. (1997)	Amazon Delta	B.8704-1	0,725343	0,000010	0,512022	0,000033	-12,00	0,7

Referência	região	amostra	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	\pm	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	\pm	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	$\pm 2\sigma \epsilon_{\text{Nd}}(0)$
Parra et al. (1997)	Amazon Delta	B.8704-2	0,726547	0,000012	0,512051	0,000004	-11,40	0,3
Zhang et al. (2015); Ruiz and Pena (2018)	Continental slope off French Guiana	GeoB16224-1	0,712422	0,000049	0,512042	0,000086	-11,62	
Oliveira et al. (2016)	Amazonas	Canal Sul Foz do rio Amazonas 8A(0-1)	0,717702	0,000009	0,512155	0,000014	-9,42	
Oliveira et al. (2016)	Golfão Marajoara	Baía do Guajará 4A-01 (0-10)	0,729206	0,00001	0,511714	0,000086	-17,50	
Oliveira et al. (2016)	Golfão Marajoara	Baía do Guajará 4A-01 (0-10)*	0,731208	0,000042	0,511737	0,000015	-17,58	
Oliveira et al. (2016)	Golfão Marajoara	Baía do Guajará 6A-01 (0-10)*	0,729287	0,000016	0,511859	0,00002	-15,20	
Oliveira et al. (2016)	Golfão Marajoara - Rio Canapijó B1-1 (0-10)		0,728003	0,000031	0,511877	0,00202	-14,84	
Oliveira et al. (2016)	Golfão Marajoara - Rio Canapijó B2-1 (0-10)		0,727989	0,000031	0,511942	0,000017	-13,58	
Oliveira et al. (2016)	Golfão Marajoara - Rio Guamá IC03T (0-5)		0,727732	0,000025	0,511894	0,000024	-14,51	
Oliveira et al. (2016)	Golfão Marajoara - Rio Guamá IG06T (0-5)		0,727004	0,000006	0,511917	0,000025	-14,06	
Oliveira et al. (2016)	Reentrâncias Paraense - Rio Maracanã M1-1 (0-10)		0,725050	0,000046	0,511737	0,000046	-17,58	
Oliveira et al. (2016)	Reentrâncias Paraense - Rio Maracanã M2-1 (0-10)		0,726434	0,000039	0,511642	0,000060	-19,43	
Oliveira et al. (2016)	Rio Caeté FDE (0-1)		0,723462	0,000024	0,511553	0,00009	-21,17	
Oliveira et al. (2016)	Rio Caeté FDO-2 (0-1)		0,724334	0,000027	0,511692	0,000032	-21,28	
Klein et al. (2013)	São Luís cratonic fragment	HTi-1	0,705214	0,000082	0,512865	0,000008	4,43	
Klein et al. (2013)	São Luís cratonic fragment	HTi-1	0,705154	0,000053	0,512875	0,000010	4,62	
Klein et al. (2013)	São Luís cratonic fragment	HTi-1	0,704615	0,000059	0,512869	0,000008	4,51	
Klein et al. (2013)	São Luís cratonic fragment	HTi-1	0,703599	0,000016	0,512863	0,000004	4,39	

Referência	região	amostra	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	\pm	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	\pm	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$	$\pm 2\sigma \epsilon_{\text{Nd}}(0)$
Klein et al. (2013)	São Luís cratonic fragment	EHTi	0,703897	0,000073	0,512778	0,000006	2,73	
Klein et al. (2013)	São Luís cratonic fragment	EHTi	0,703852	0,000032	0,512646	0,000008	0,16	
Klein et al. (2013)	São Luís cratonic fragment	HTi-2	0,704214	0,00005	0,512753	0,000006	2,24	
Klein et al. (2013)	São Luís cratonic fragment	HTi-2	0,704591	0,00003	0,512869	0,000008	4,51	
Klein et al. (2013)	São Luís cratonic fragment	HTi-2	0,703531	0,000033	0,512860	0,000007	4,33	
Klein et al. (2013)	Gurupi Belt	HTi-2	0,703782	0,00003	0,512823	0,000011	3,61	
Klein et al. (2013)	Gurupi Belt	HTi-2	0,703702	0,000033	0,512816	0,000009	3,47	
Klein et al. (2013)	Gurupi Belt	EHTi	0,703742	0,000038	0,512778	0,000007	2,73	
Klein et al. (2013)	Gurupi Belt	LSi	0,704156	0,000051	0,512895	0,000009	5,01	
Klein et al. (2013)	Gurupi Belt	LSi	0,703544	0,000057	0,512883	0,000010	4,78	
Klein et al. (2013)	Gurupi Belt	HTi-1	0,703918	0,000027	0,512866	0,000009	4,45	
Klein et al. (2013)	Gurupi Belt	HTi-1	0,704128	0,00005	0,512874	0,000013	4,60	