

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

João Allyson Ribeiro de Carvalho

**COMPORTAMENTO GEOQUÍMICO
SEDIMENTAR EM PERFIL DE FUNDO
ESTUARINO DO RIO TIMBÓ, MUNICÍPIO
DO PAULISTA (PERNAMBUCO – NE DO
BRASIL)**

Dissertação de Mestrado
2009

JOÃO ALLYSON RIBEIRO DE CARVALHO

Licenciado em Geografia, Universidade de Pernambuco, 2001
Especialista em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, 2003

**COMPORTAMENTO GEOQUÍMICO SEDIMENTAR EM PERFIL DE FUNDO
ESTUARINO DO RIO TIMBÓ, MUNICÍPIO DO PAULISTA (PERNAMBUCO – NE
DO BRASIL).**

Dissertação que apresentou ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelo Prof^o Dr. Eldemar de Albuquerque Menor, em preenchimento parcial para obter o grau de Mestre em Geociências, área de concentração em Geologia Sedimentar e Ambiental, defendida e aprovada em 22 de dezembro de 2009.

RECIFE, PE
2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

João Allyson Ribeiro de Carvalho

**COMPORTAMENTO GEOQUÍMICO SEDIMENTAR EM PERFIL DE FUNDO
ESTUARINO DO RIO TIMBÓ, MUNICÍPIO DO PAULISTA (PERNAMBUCO – NE
DO BRASIL).**

Dissertação de Mestrado
2009

C331c

Carvalho, João Allyson Ribeiro de

Comportamento geoquímico sedimentar em perfil de fundo estuarino do Rio Timbó, município do Paulista (Pernambuco – NE do Brasil) / João Allyson Ribeiro de Carvalho. – Recife: O Autor, 2009.

63 f.; il., gráfs., tabs., mapas.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2009.

Inclui Referências bibliográficas e Anexos.

1. Geociências. 2. Geoquímica Sedimentar. 3. Sedimentação Estuarina. 4. Contaminação Antrópica. 5. Rio Timbó. I. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.)

BCTG/2010-061

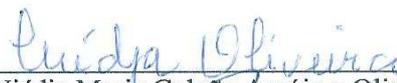
**COMPORTAMENTO GEOQUÍMICO SEDIMENTAR EM PERFIL DE FUNDO
ESTUARINO DO RIO TIMBÓ, MUNICÍPIO DO PAULISTA (PERNAMBUCO – NE
DO BRASIL).**

JOÃO ALLYSON RIBEIRO DE CARVALHO

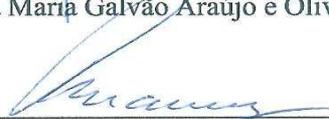
Aprovado:



Prof. Dr. Eldemar de Albuquerque Menor



Profª Dra. Niédja Maria Galvão Araújo e Oliveira



Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso

A humanidade socializada, em aliança com uma natureza mediatizada, transforma o mundo em lar.
Ernst Bloch

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, é importante estender os sinceros agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram diretamente e indiretamente para a confecção desse Trabalho.

Ao Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo auxílio indispensável ao pagamento de parte das análises realizadas.

A Pós-Graduação em Geociências (PPGEOC) da Universidade Federal de Pernambuco, através dos subsídios técnicos e acadêmicos disponibilizados durante o período do Curso.

Ao amigo e Professor Eldemar de Albuquerque Menor pelos incentivos e imprescindíveis aulas e conversas informais acerca da Geoquímica Ambiental aplicada, além de uma disponibilidade que ultrapassava os dias úteis.

A primeira Professora que acreditou em mim e sempre depositou confiança competência e carinho, minha orientadora de Iniciação Científica Professora Niédja Oliveira.

A todos os professores do Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Geociências que tive oportunidade de aprender com a efetivação dos créditos e disciplinas.

Ao Professor Valdir Vaz Manso pela disponibilização do Laboratório de Geologia e Geofísica Física Marinha – LGGM para os procedimentos de preparação das amostras a serem enviadas para análises laboratoriais.

Aos amigos companheiros de Curso pela presença e ajuda constante dentro e fora da Universidade. Cecília Barros, Cinthia Danielle, Luciana Freitas, Luiz Krauss. A todos os citados e os não citados o meu muito obrigado.

A secretária da Pós-Graduação em Geociências Elizabeth Galdino, que sempre demonstrou extremo profissionalismo e disposição incessante a ajudar.

Ao secretário de Pós-Graduação Moisés Marcelino (*in memoriam*), pela presteza e disponibilidade desde o primeiro momento no Departamento com a inscrição de matrícula para o processo seletivo do Mestrado.

A minha família pelo incentivo direto e indireto demonstrado nas diversas etapas de construção acadêmica. Enfim, a todos que numa esfera acadêmica, técnica e pessoal contribuíram concretamente para a finalização do presente Trabalho.

RESUMO

A evolução geoquímica de sedimentos estuarinos do rio Timbó é abordada a partir de perfil de sedimentos de fundo. O perfil de amostragem, com 35 cm a partir do assoalho sedimentar, foi executado em 2008, a 3 km da foz deste rio, e genericamente fatiado em segmentos de 3 cm para estudos analíticos. A investigação cobre um período estimado em 90 anos com base em taxa linear média de sedimentação de 3,6 mm/ano, determinada em sistema estuarino vicinal. A pesquisa laboratorial compreende análises químicas (9 óxidos e 34 elementos-traço) sobre sedimentos totais (ST), análises DRX (ST e fração < 2 μ m), e análises C-N-H-S, cujos resultados foram submetidos a tratamento estatístico.

Os resultados colocaram em evidência um aumento genérico nos teores de metais pesados (MP) em ST nas últimas décadas, principalmente a partir do *boom* demográfico (anos 70 do século XX). Evidências de degradação ambiental ratificadas em décadas recentes, através de dados físico-químicos das águas estuarinas (oxigênio dissolvido, transparência), mostraram consequências coerentes em relação aos índices C/N, teores de Enxofre, e fração carbonática, nos ST coetâneos. O estuário do rio Timbó revelou níveis de comprometimento em poluição em Cr, Ni, Cu e As, conforme padrões de avaliação utilizados.

Palavras-chave: geoquímica sedimentar, sedimentação estuarina, contaminação antrópica, Rio Timbó.

ABSTRACT

A study on the geochemical evolution of estuarine sediments from Timbó River is presented from sedimentary core drill performed in the fluvial floor. The profile measuring 35 cm was produced 3 km far from the fluvial mouth. Sampling was sliced each 3cm for laboratorial analyses. This study covers about 90 years considering a linear sedimentary rate of 3.6 mm/year, measured in a vicinal estuarine system. Laboratorial determinations include chemical analyses (9 oxides and 34 oligoelements) on whole sediments (WS), XRD (WS and fraction < 2 μ m) and C-N-H-S analysis, whose results were submitted to statistical treatments.

The results highlight a generic growing on heavy metals contents in the sediments since the last decades in agreement with the demographic boom occurring in the 70's. Environmental degradation evidences in the last decades on basis of physic-chemical data of estuarine waters (dissolved oxygen, transparence) shows coherent answer thru the C/N indexes, Sulfur contents, and carbonate fraction, in the coetaneous WS. Estuary sediments of the Timbó River showed preliminary levels in heavy metals contamination (Cr, Ni, Cu and As) according the reference patterns adopted in this study.

Key words: sedimentary geochemistry, estuarine sedimentation; Anthropic contamination, Timbó River.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	12
1.1 – Objetivos	13
CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	15
2.1 – Localização	15
2.2 – Aspectos Fisiográficos	19
2.3 – Aspectos Geológicos Regionais.....	21
2.4 – Evolução Demográfica	24
CAPÍTULO 3 – AMOSTRAGEM E MÉTODOS	27
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 – Composição Mineralógica ST	31
4.2 – Resultados C-N-H-S e variações de Na ₂ O	36
4.3 – Análise Estatística	38
4.4 – Metais Pesados	41
4.5 – Relações entre Hidrogeoquímica e Registros Sedimentares	53
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
ANEXOS	63
Resultados das análises laboratoriais realizadas	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 01:	Mapa da área de pesquisa mostrando a estação de amostragem	15
Figura 02:	Margem do Timbó em bom estado de conservação	16
Figura 03:	Chaminés da Indústria de Cimento Poty (segundo plano), vistas desde a área estuarina do rio Timbó, emoldurada pela vegetação de mangue.	17
Figura 04:	Evolução da ocupação urbana em 1970 (imagem Google Earth tratada segundo dados contidos em cartas SUDENE) e 2009 (imagem Google Earth original), na área estuarina do rio Timbó Índice de crescimento populacional de acordo com IBGE.....	18
Figura 05:	Cordão litorâneo de coqueiros e construções modernas (plano ao fundo), observados desde a área estuarina do rio Timbó, próximo à sua foz	18
Figura 06:	Vista parcial do complexo hoteleiro Amoaras, com instalações da marina, na margem do estuário do rio Timbó.....	17
Figura 07:	Domínio da Formação Barreiras no estuário do rio Timbó com desestabilização do talude, voçorocamento, formação de coluvião e sua erosão laminar	20
Figura 08:	Mapa Geológico regional e indicação da área estudada	22
Figura 09:	Taxas de crescimento populacional do Paulista desde 1950 a 2007	25
Figura 10:	Perfil de fundo do assoalho estuarino JART, rio Timbó	27
Figura 11:	Descrição macroscópica dos sedimentos do perfil de fundo JART	28
Figura 12:	DRX sobre ST (perfil de fundo; horizonte JART - 06)	31
Figura 13:	Diagrama da taxa de sedimentação de perfil do fundo estuarino do rio Botafogo (Lima, 2008), com interpretação por intervalos de tempo (Intervalo 3 = taxa de sedimentação média de 3.6 mm/ano)	33
Figura 14:	Log das frações mineralógicas principais em ST do perfil JART, estuário do rio Timbó	35
Figura 15:	Variações C/N e dos valores em Na ₂ O e Enxofre (S), em amostragem Do perfil de fundo realizado no estuário do rio Timbó	37

Figura 16:	Matriz de Correlação (análises químicas dos sedimentos de fundo do perfil do rio Timbó	39
Figura 17:	Gráfico de correlação entre os valores de Hg e de Al_2O_3 , a partir de amostras (n=3) do perfil de fundo do estuário do rio Timbó, PE	43
Figura 18:	Gráfico das variações de As, Pb e Cr, no perfil JART, estuário do rio Timbó	44
Figura 19:	Gráfico de correlação linear entre os valores de Pb e de Al_2O_3 , a partir de amostras (n = 11) do perfil de fundo do estuário do rio Timbó, PE...	46
Figura 20:	Gráficos das variações de Cu, Ni e Zn, no perfil JART, estuário do rio Timbó.....	47
Figura 21:	Gráfico de correlação linear entre os valores de Ni e de Al_2O_3 , a partir de amostras (n = 11) do perfil de fundo do estuário do rio Timbó, PE...	48
Figura 22:	Variação em As e Cr nas últimas décadas (cerca de um século) nos estuários do rio Manguaba (LIMA, 2007) e do rio Timbó (este estudo).	52
Figura 23:	Variação em Ni nas últimas décadas (cerca de um século) nos estuários do rio Manguaba (LIMA, 2007) e do rio Timbó (este estudo).....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 01:	Coluna Estratigráfica da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba	21
Tabela 02:	Dados da população absoluta do Município de Paulista.....	25
Tabela 03:	Composição ST de amostras do perfil JART, estuário do rio Timbó.....	32
Tabela 04:	Valores de C/N	36
Tabela 05:	Concentrações de espécies metálicas nos ST do perfil JART, no estuário do rio Timbó (espectrometria de Absorção Atômica -Actlab's).	42
Tabela 06:	Protocolo de Thomas: parâmetros de grau de poluição dos sedimentos conforme concentração de espécies metálicas (ppm). Comparação com os sedimentos do estuário do rio Timbó.....	50
Tabela 07:	Concentrações (ppm) de algumas espécies metálicas em sedimentos de diferentes regiões estuarinas/lacustres do Brasil.....	51
Tabela 08:	Relações de parâmetros hidrogeoquímicos e aspectos geoquímicos ST do perfil de fundo JART, estuário do rio Timbó.....	54

CAPÍTULO 01 – INTRODUÇÃO

Estuários são ambientes costeiros semi-fechados com livre conexão ao oceano, nos quais a água do mar se dilui com águas oriundas da drenagem continental (Cameron & Pritchard, 1963). Estes ambientes são particularmente concentradores de nutrientes lixiviados a partir da bacia de drenagem dos sistemas fluviais e, em função de sua complexa trama trófica, formam ecossistemas com uma diversidade de ambientes potencialmente favoráveis para colonização, refúgio e criadouro de espécies economicamente importantes para o Homem. Por essa razão, são considerados verdadeiros “berçários” e ambientes de notável concentração de proteínas comestíveis para os seres humanos.

No entanto, atividades antrópicas vêm alterando a magnitude e natureza dos aportes fluviais de bacias hidrográficas, assim como dos materiais em suspensão neles transportados, afetando a qualidade dos ambientes estuarinos (Hopkinson & Vallino, 1995). Desta forma, a notória importância ecológica e econômica das áreas estuarinas tem sido afetada progressivamente nas últimas décadas por atividades impactantes antropogênicas (Hu *et al.*, 2006) através do urbanismo, turismo, descarte de efluentes e alteração dos perfis costeiros. Nesse mesmo contexto, se inclui o desmatamento, a agricultura e a agropecuária, aumentando as taxas naturais de assoreamento e de nutrientes o que, lentamente, vem provocando a eutrofização ambiental e a perda da capacidade geradora de proteínas comestíveis dos estuários em todos os continentes do planeta.

Efetivamente, a eutrofização de águas costeiras e de mares confinados é fato reconhecido em grande parte do mundo (Souza *et al.*, 2003). Uma evidência do avanço deste processo em bacias hidrográficas brasileiras é exemplificado por Figueiredo *et al.* (2007) no caso do rio Timbó, com evidências relacionadas à físico-química de suas águas estuarinas, através de monitoramentos espaçados em um intervalo de tempo de 18 anos.

A evolução da Humanidade, se por um lado imprime sérios comprometimentos ambientais com vários exemplos de degradação ambiental, vem permitindo também criar novos paradigmas de gerenciamento e reversão de atividades de natureza degradante. Como exemplo, pode-se considerar que intensos padrões de comprometimento dos recursos hídricos

acompanham proporcionalmente o aumento do urbanismo, ou o fato de insuficiência muito generalizada de unidades para tratamento de efluentes domésticos, no âmbito das cidades brasileiras. Estes fatos acarretam, sobretudo, o aporte de níveis elevados de nitrogênio e fósforo para os sistemas hídricos. Estas espécies químicas, particularmente, são fortes agentes de eutrofização dos ambientes aquáticos.

Ecossistemas estuarinos do setor Norte do Estado de Pernambuco representam um complexo de recursos ainda em bom estágio de conservação. Em contraposição, estes sistemas vêm sendo ameaçados face à especulação imobiliária típica das áreas litorâneas do país, em função de suas potencialidades balneárias em consórcio com atividades turísticas.

No estuário do rio Timbó –área objeto de estudo- o atual processo de degradação ambiental compromete seriamente tais ecossistemas, por receber efluentes domésticos em escalas crescentes em consórcio com efluentes industriais. A bacia do Rio Timbó abrange uma área 9.296,4 ha incluindo partes dos municípios de Abreu e Lima, Paulista e Igarassu. Seu estuário ocupa uma área 1.397 ha até alcançar sua foz na praia de Marinha Farinha, atravessando vários domínios municipais. Por isto mesmo, em caráter cumulativo, depreende-se que sua área estuarina já sugeriria a possibilidade de sérios níveis de comprometimento ambiental. Com o passar das décadas e do adensamento populacional ao longo do curso fluvial, seria previsível que uma degradação ambiental na área estuarina pudesse ocorrer, apesar da diuturna influência regeneradora das águas marinhas, durante as marés altas.

1.1 - OBJETIVOS

É com a formulação de quantificar e interpretar o comportamento geoquímico do estuário do Rio Timbó, através de sondagem de sedimentos de fundo, que o presente trabalho se baseia. Este objetivo, sobretudo, inclui a visão temporal deste comportamento, cobrindo as últimas décadas da história do processo sedimentar em um ponto específico da área estuarina.

Com base no exposto, em caráter geral, objetivou-se estabelecer a evolução geoquímica das águas estuarinas através dos tempos recentes como subsídio para gerenciamento hídrico interessando a bacia do rio Timbó. Esta evolução concerne um ponto específico referencial deste espaço estuarino, representado por um perfil sedimentar de fundo, situado a 2 km da foz (Figura 01). Adicionalmente, pretende-se:

- Realizar a reconstituição da evolução histórica do status geoquímico do sistema estuarino do Timbó, em período histórico do Holoceno (até cerca de 100 anos AP).
- Investigar a possibilidade de se estabelecer relações entre a qualificação físico-química de águas de um sistema estuarino em um determinado período de tempo (dados *in* Figueiredo *et al.*, 2007), e o correspondente registro sedimentar contemporâneo.

CAPÍTULO 02 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 - LOCALIZAÇÃO

A área objeto de estudo encontra-se localizada no setor Norte do Estado de Pernambuco, mais especificamente no domínio estuarino do município de Paulista no trecho que compreende o baixo curso do rio Timbó (Figura 01). A calha principal da bacia deste rio se estende por 15 Km até atingir sua desembocadura, no Pontal de Maria Farinha, que limita a praia homônima.

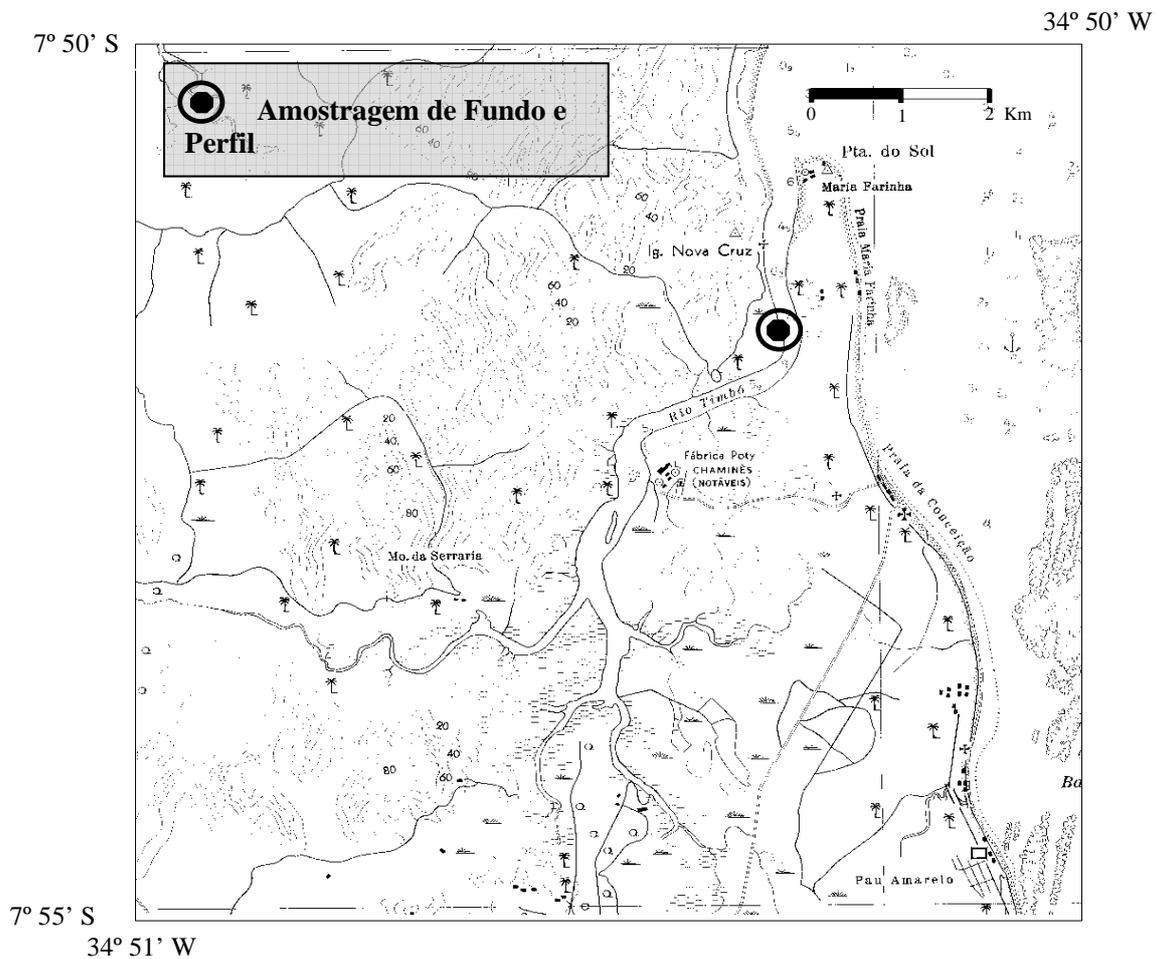


Figura 01: Mapa da área de pesquisa mostrando a estação de amostragem.
Fonte: SUDENE, 1970.

Dados da CPRH (2003) indicavam que o estuário do rio Timbó exibia altos índices de produtividade primária, abrigando expressiva vegetação de mangue (Figura 02). Com base em investigações conduzidas durante o período 1984-1985, Costa & Macedo (1987/1989) consideraram o sistema fluvial como “um dos mais férteis da região”, e seu estuário como “não poluído”.



Figura 02: Margem estuarina do rio Timbó, com típica vegetação de mangue.
Fonte: o Autor.

Ainda na área estuarina podem ser observados os avanços da ocupação industrial (Figura 03) e, sobretudo, a extensa ocupação urbana, que apresentou um notório “boom” imobiliário (Figura 04) a partir dos anos 70 do século XX. Com efeito, o ambiente em estudo, como parte integrante da área litorânea norte do Estado de Pernambuco, tem sido foco de intensas atividades antrópicas ao longo das últimas décadas. O crescimento urbano na faixa litorânea experimentou um crescimento simplesmente vertiginoso nos últimos 40 anos, principalmente a partir da década de 70 (Figura 04). Inicialmente, esta região era ocupada por coqueirais, alguns casarios de veraneio, passando ao domínio da monocultura de cana-de-açúcar no sentido do interior do continente. Esta monocultura, bem mais antiga, compreende um processo de ocupação territorial que se desenvolveu desde os tempos de Brasil colônia. Em poucas décadas, a faixa litorânea sofreu uma completa reconfiguração, hoje caracterizada por extensas áreas completamente urbanizadas e inclusive com a construção de edifícios (Figura 05). No rastro deste processo, vieram os complexos hoteleiros e marinas (Figura 06).



Figura 03: Chaminés da Indústria de Cimentos Portland Poty (segundo plano), vistas desde a área estuarina do rio Timbó, emoldurada pela vegetação de mangue.
Fonte: o Autor.



Figura 04. Evolução da ocupação urbana em 1970 (imagem Google Earth tratada segundo dados contidos em cartas SUDENE) e 2009 (imagem Google Earth original), na área estuarina do rio Timbó.



Figura 05: Cordão litorâneo de coqueiros e construções modernas (plano de fundo), observados desde a área estuarina do rio Timbó, próximo à sua foz. Fonte: o Autor.



Figura 06: Vista parcial do complexo hoteleiro Amoaras, com instalações da marina, na margem direita do estuário do rio Timbó. Fonte: o Autor.

Este modelo de ocupação territorial não é exclusivo da região em estudo, mas de grande parte da extensa faixa litorânea brasileira, notadamente nas proximidades de grandes centros urbanos. Trata-se de um modelo que vem evoluindo desde a segunda metade do século XX, associado ao empreendedorismo do turismo e a atração do cidadão por áreas litorâneas, suas paisagens, e seus potenciais de lazer.

2.2 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

Conforme classificação dos “domínios morfoclimáticos brasileiros” (Ab’Saber, 1970), a geomorfologia das faixas costeiras do Nordeste do Brasil configura um “domínio de mares de morros”, caracterizado por relevos mamelonares, curtos em sua convexidade. Estas morfologias são referidas como “superfície das chãs” quando esculpidas no embasamento cristalino, e como “planícies e tabuleiros litorâneos” quando definidas em depósitos sedimentares (Mabesoone & Castro, 1975). Alternativamente, o relevo regional pode ser classificado como de “planícies e tabuleiros litorâneos”, conforme classificação mais recente, proposta por Ross (1990).

Geomorfologicamente, o estuário do rio Timbó se enquadra na condição dos ambientes costeiros definidos por Ross (*op. cit.*) caracterizados, sobretudo, pela interação de influências marinhas e continentais. Neste domínio de interface ambiental, o comportamento sedimentar depende diretamente do balanço da interação daquelas influências. No caso estudado, a interferência antrópica constitui mais um vetor que interfere de forma conspícua nos processos naturais.

Ao longo do domínio estuarino, o relevo dominante é o de planície costeira rasa holocênica, com níveis próximos ao NMM (nível médio dos mares). Manso *et al.* (1992) assinam, nesta unidade, que podem ser distintos vários sub-compartimentos geomorfológicos, representados por diferentes níveis de terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos. Os terraços marinhos pleistocênicos formam domínios com altitudes até 4m acima da preamar atual, ocupados por cobertura de típica Floresta Tropical Atlântica ou de mata de restinga. Geralmente, apresentam topografia plana, distribuição areal descontínua e *grosso modo* paralela à costa, e disposição geográfica mais interna na planície estuarina.

Os terraços marinhos holocênicos apresentam altitudes entre 1 a 3m, são vicinais à orla marítima, e são passíveis de serem afetados pela ação erosiva costeira. Tais terraços representam provavelmente antigas planícies de cordões litorâneos, formados a partir da variação do NMM durante o Quaternário (Domingues *et al.*, 1983),

No interior da planície quaternária ocorrem resíduos erosivos da antiga cobertura de sedimentos continentais plio-pleistocênicos da Formação Barreiras. Estes registros se expressam sob a forma de colinas onduladas ou aplainadas, atingindo altitudes de algumas

dezenas de metros acima do NMM. Nos trechos em que o curso fluvial sulca tais domínios existem evidências de desestabilização de taludes, formação de voçorocas, ocorrência de *landslides*, formação de coluviões próximas às margens, e evidências de processos ativos de erosão laminar destas coluviões (Figura 07).

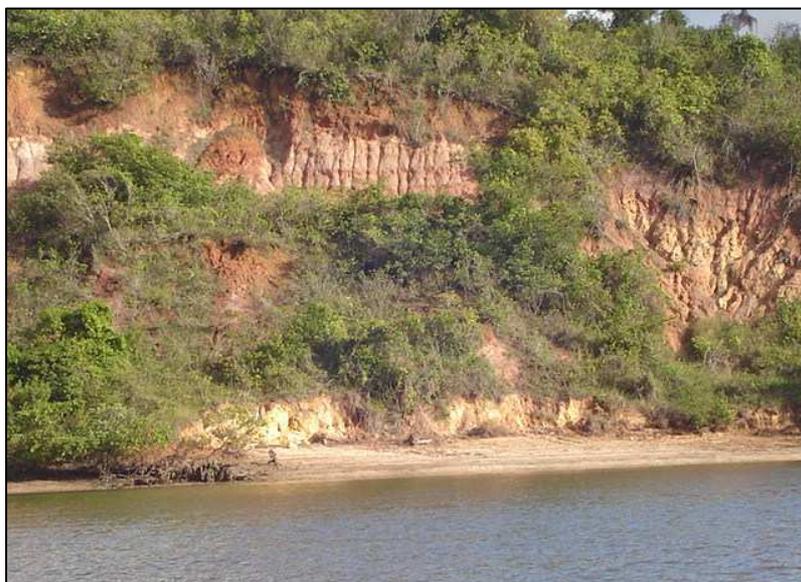


Figura 07: Domínio da Formação Barreiras no estuário do rio Timbó. Notar a desestabilização do talude, voçorocamento, e formação de coluvião com erosão laminar. Fonte: o Autor.

Em áreas específicas, no interior do complexo estuarino, podem ser identificados depósitos flúvio-lagunares. Estes domínios, que ocupam cotas próximas ao NMM, são considerados registros sedimentares residuais do afogamento da região no decorrer da última transgressão (Bittencourt *et al.*, 1979).

O clima regional é do tipo As' conforme classificação de Köppen, caracterizado por condições tropicais quentes e úmidas, com chuvas de outono-inverno, sobretudo de março a agosto. A temperatura média anual é de 26°C. Devido à relativa proximidade equatorial e da influência marinha a amplitude térmica é baixa, em torno de 3°C. O regime pluviométrico anual é de aproximadamente 1.500 mm (Nimer, 1979).

Conforme dados da CPRM (2003), a região costeira ao Norte do Recife inclui diversas categorias de solos, geralmente relacionados com as litologias das formações geológicas dos quais derivam. Assim, os latossolos são sobretudo encontrados em domínios da Formação Barreiras. Argissolos, Cambissolos e Gleissolos háplicos, são encontrados em domínios

holocênicos, sobretudo em áreas de mangue. De uma forma geral, devido às condicionantes climáticas, são solos profundos, hidromórficos, e caulínicos do ponto de vista mineralógico.

O clima e o solo contribuem para a fitofisionomia da região ser característica de formações litorâneas derivadas da Mata Atlântica intermediando-se com vegetação de mangue, representada por espécies de *Conocarpus* (mangue de botão), *Avicennia* (mangue canoé), *Laguncularia* (mangue branco) e, em maior representatividade, a *Rhizophora* (mangue vermelho).

2.3 – ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS.

Do amplo contexto geológico regional será considerada apenas a Estratigrafia que contempla formações aflorantes na área de estudo, ou seja: região estuarina do rio Timbó (Tabela 01; Figura 08).

TABELA 01: Coluna estratigráfica da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba (Mabesoone & Alheiros, 1988)

IDADES	LITOSTRATIGRAFIA DA BACIA SEDIMENTAR PERNAMBUCO-PARAÍBA			
	SUB-BACIAS NATAL - CANGUARETAMA	SUB-BACIAS ALHANDRA - OLINDA	SUB-BACIA CABO	PLATÔ DE PERNAMBUCO
QUATERNÁRIO	Fm. BARREIRAS			Sedimentos Pelágicos
TERCIÁRIO	PLIOCENO			
	MIOCENO			
	OLIGOCENO			Turbiditos
	EOCENO			
CRETÁCEO	PALEOCENO		Fm. MARIA FARINHA	Seqüência Carbonática Contínua
	MAASTRICHTIANO	Fm. GUAMARÉ	Fm. GRAMAME	
	CAMPANIANO	Arenitos ?	Fm. BEBERIBE	
	SANTONIANO			
	CONIACIANO	?		
	TURONIANO			Fm. ESTIVA
	CENOMANIANO			Fm. IPOJUCA
	ALBIANO			Fm. CABO
	APTIANO (ALAGOAS)			
	PRÉ-CAMBRIANO	EMBASAMENTO CRISTALINO		

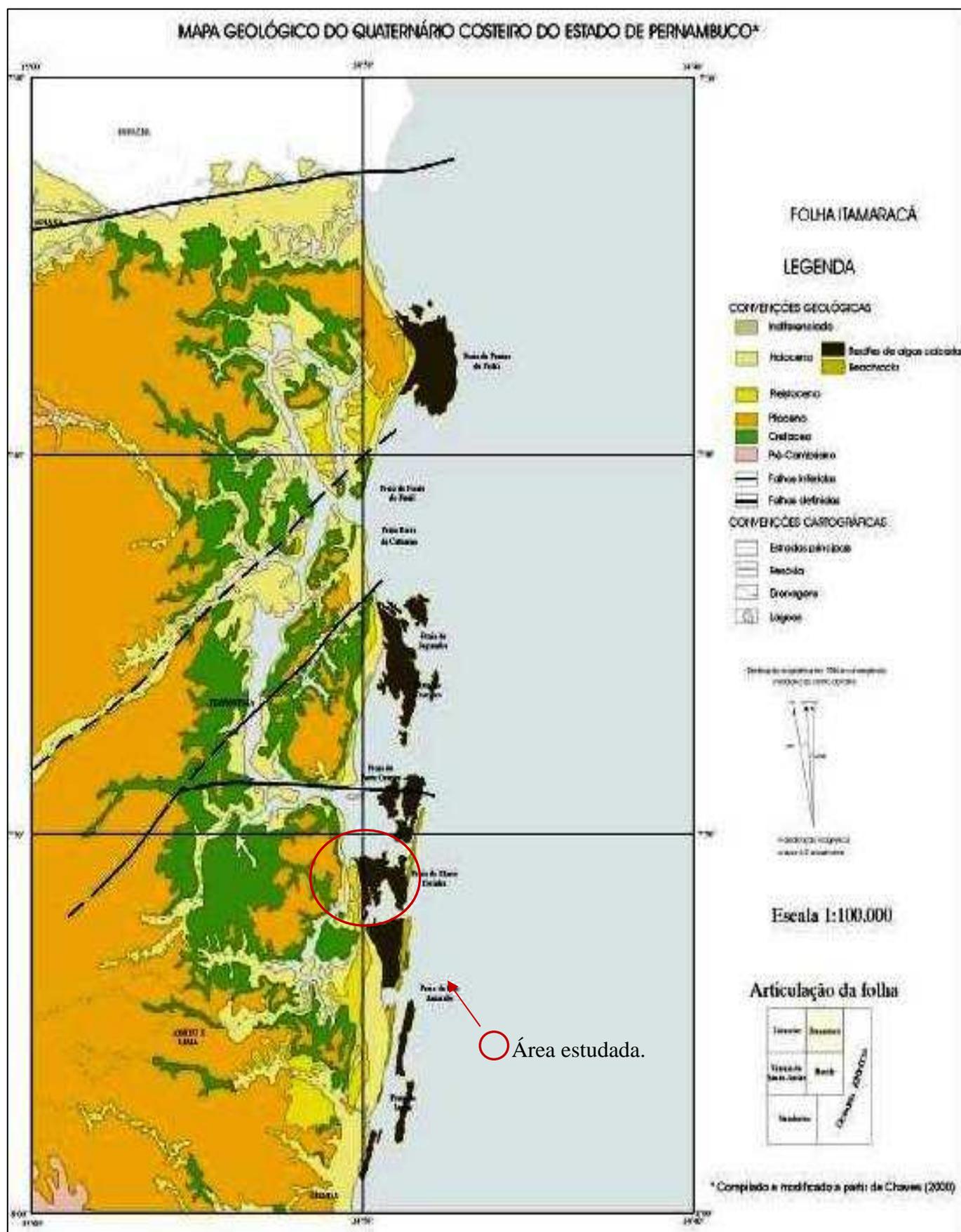


Figura 08: Mapa Geológico Regional e indicação da área estudada. Modificado de Chaves (2000).

Ao longo da região costeira Norte do Estado de Pernambuco ocorrem rochas cretáceas e paleocênicas que compõem a Bacia Pernambuco-Paraíba. Estas rochas incluem arenitos e outras litologias siliciclásticas da Formação Beberibe, em parte aflorantes na parte distal do estuário do rio Timbó. Calcários e margas são relacionados como litologias dominantes nas Formações Gramame (Maastrichtiano) e Maria Farinha (Paleoceno), porém não afloram na área estuarina deste rio. De uma forma geral, os leitos maastrichtianos e paleocênicos apresentam comportamento homoclinal, mergulhando suavemente em direção ao oceano, sendo entrecortados por falhamentos e estruturas tectônicas de pequeno rejeito (CPRM, 2003).

A bacia Pernambuco-Paraíba, também denominada de Bacia Paraíba (Lima Filho *et al.*, 2005), foi subdividida em cinco sub-bacias, se Sul para O Norte: Olinda, Alhandra, Miriri, Canguaretama e Natal (Mabesoone & Alheiros, 1988). A área estuarina do rio Timbó está inserida na Sub-bacia Olinda.

A Formação Beberibe é composta por uma seqüência arenosa basal formada por arenitos de granulometria predominantemente grosseira, continentais, por vezes com aspecto conglomerático, com intercalações subordinadas de siltitos e folhelhos. Na seção superior ocorrem arenitos médios a finos, por vezes com cimento dolomítico, ou com cimento calcítico e documentação fóssil (transições para facies marinhas).

Na área estuarina do rio Timbó, as Formações Gramame e Maria Farinha foram amplamente expostas no setor relativo à lavra de calcários para cimento, iniciado nos anos 40 pelo Grupo Votorantim, e que perdurou intensivamente até a década de 80. A litologia inclui bancos de calcários e margas, decimétricos a métricos, cinzentos, passando a beges na Formação Maria Farinha. Este único ponto aflorante situa-se na parte mais próxima à foz do estuário, na margem direita do rio Timbó (ver Figura 01).

Em discordância erosiva, sobrepõem-se indistintamente às formações cretácico-paleogênicas os sedimentos continentais, terrígenos e incoerentes, da Formação Barreiras (plio-pleistocênica). Sua litologia, complexa e movimentada, inclui areias grossas a finas, esbranquiçadas, e depósitos sílticos a argilosos, predominantemente avermelhados. Formam freqüentemente estratos descontínuos, dissecados, e, geomorfologicamente, relevos colinosos de topos aplainados e mais isolados no âmbito da área estuarina do rio Timbó.

A presença de pavimentos com seixos de diversos calibres, centimétricos, angulosos a arredondados, além da presença de leitos com estratificações cruzadas de grande porte, suscitaram a interpretação que esta formação continental é constituída de depósitos sedimentares de curta distância, provavelmente leques aluviais submetidos a regimes de forte energia.

Os sedimentos holocênicos ocupam, sobretudo, a planície fluvial e a área litorânea, com complexas imbricações entre si. Ao longo do leito fluvial predominam os sedimentos fluviais e flúvio-estuarinos, comportando níveis arenosos, silticos, argilosos, orgânicos ou não, inclusive ocasionais turfeiras. Recifes de arenito estendem-se desde o litoral até a plataforma marinha rasa adjacente. Terraços arenosos de origem marinha têm sido classificados na planície costeira, como representantes de oscilações marinhas pretéritas, recentes (holocênicas).

2.4 - EVOLUÇÃO DEMOGRÁFICA

O processo de uso e ocupação do solo no Brasil sempre seguiu padrões históricos tendo como principal eixo de concentração as zonas costeiras, sobretudo por motivos pautados na possibilidade de se reconhecer o interior do continente a partir da costa já conhecida. A estes aspectos se adiciona a facilidade de escoamento de recursos naturais, com a exportação de Pau Brasil do Brasil Colônia para Portugal e outros países europeus a partir do século XVI. No entanto, a formação da rede urbana brasileira deve ser entendida como um processo ainda em evolução (Andrade, 1987), não sendo, portanto, um fenômeno acabado.

O processo da ocupação regional se deve, sobretudo, ao desenvolvimento das cidades de Olinda e Recife. De acordo com Andrade (1987, p. 259):

“O século XX assistiu ao grande crescimento do Recife e sua expansão pelos municípios vizinhos. No terceiro Recenseamento Geral do Brasil de 1900, possuía o Recife cerca de 115 mil habitantes, população que foi duplicada em vinte anos, ultrapassando os 232 mil em 1920, atingindo os 350 mil em 1940, os 535 mil em 1950, para ultrapassar os 700 mil em 1960, e um milhão de habitantes em 1970.”

O significativo padrão de crescimento demográfico acima expresso está vinculado a um aumento populacional que se propagou nas áreas vizinhas para abrigar o contingente populacional predominantemente de menor poder aquisitivo. O município de Paulista apresenta

um crescimento demográfico similar, porém desencadeado em intervalo de tempo mais tardio, especificamente no final do século XX, no interstício entre as décadas de 70 e 80. Neste período, o índice de ascendência populacional ultrapassou o patamar de 100% (Tabela 02; Figura 09).

Tabela 02: Dados da população absoluta do Município de Paulista-PE.

Ano	1950	1960	1970	1980	1991	2000	2007
Total	48.103	51.897	70.059	165.743	211.491	262.237	307.284
Índice de crescimento no Período		7,89%	35%	136,58%	27,60%	23,99%	17,18%

Fonte: IBGE, 2009.

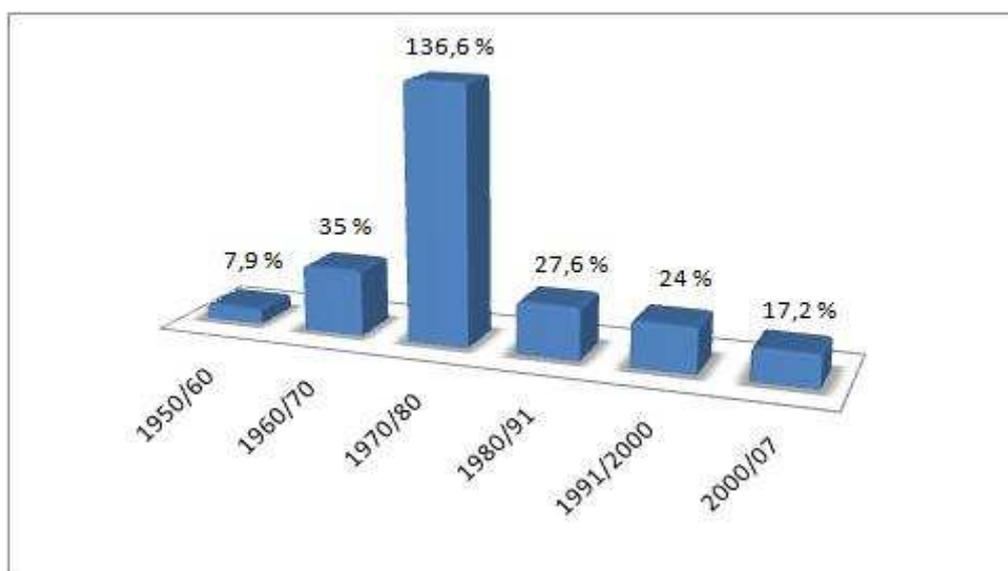


Figura 09: Taxas de crescimento populacional do Paulista desde 1950 a 2007.

Fonte: IBGE, 2009.

O forte crescimento populacional, sobretudo tendo ocupado de forma desordenada a faixa litorânea, aumentou a pressão sobre os recursos naturais costeiros, levando à degradação destes e dos demais ecossistemas litorâneos interligados (Carvalho, 2003). Convém destacar que o padrão de crescimento populacional de Paulista apresenta uma peculiaridade: até meados da década de 60: a ascensão demográfica do município nucleava-se no centro.

Contudo, a partir da década de 70, o processo de uso e ocupação do solo migra para as áreas costeiras, em função de seu potencial de balneabilidade natural.

CAPÍTULO 03 – AMOSTRAGEM E MÉTODOS

A abordagem para um estudo preliminar do status geoquímico atual e sub-recente do estuário do rio Timbó foi programada através de uma amostragem de fundo de leito sedimentar (Figura 01). Este perfil foi realizado em um ponto próximo à margem esquerda deste rio (coordenadas: 34° 50' 26,9" W e 7° 51' 36,1" S) com equipamento específico, em agosto/2008, a partir do assoalho sedimentar, sob uma lâmina d'água de 0.6 metro, em horário do nível mínimo de maré baixa. Convencionou-se adotar como nomenclatura do referido perfil a sigla correspondente as iniciais de: João Allyson Rio Timbó – J.A.R.T. O perfil ora identificado como “JART” (Figura 10) foi coletado no interior de um tubo de PVC com 50 mm de diâmetro, introduzido no interior da vaza apenas por efeito de pressão exercida no topo do amostrador. A amostragem atingiu 35 cm de profundidade abaixo do assoalho fluvial.



Figura 10: Perfil de fundo do assoalho estuarino JART, rio Timbó.

Fonte: o Autor.

Do ponto de vista litológico, o perfil JART é relativamente homogêneo desde o topo até quase sua base, sendo formado por pelitos orgânicos carbonáticos (reativos ao ataque com HCl 10%), de tonalidades cinzentas (Figura 11). Do ponto de vista sedimentológico estes sedimentos são siltico-argilosos, com grãos de quartzo sub-arredondados a sub-angulosos, brilhantes e predominantemente hialinos. Pontuações esbranquiçadas de dimensões silte, com aspecto amorfo, reativas ao ataque ácido, apresentam-se de forma dispersa. Acessoriamente

podem ser observadas palhetas de micromicáceos. A base do perfil (3 cm finais) é constituída de um sedimento arenoso pouco argiloso, pouco orgânico, de tonalidade cinza mais clara.

Profundidade	Descrição macroscópica
0 – 2 cm	Sedimentos argilo-silticos carbonáticos, cinza escuro.
2 – 32 cm	Sedimentos argilo-silticos carbonáticos cinzentos.
32 – 35 cm	Sedimentos siltico-arenosos, cinza claro.

Figura 11: Descrição macroscópica dos sedimentos do perfil de fundo JART.
Fonte: o Autor.

O perfil foi seccionado por intervalos de 3 cm (salvo o segmento de topo, com 2 cm), com base na expectativa de uma taxa de sedimentação linear de aproximadamente 3,6 mm/ano, já definida em sistema estuarino vicinal do rio Botafogo por Lima (2008), válida para as últimas décadas do século XX. Neste sentido, a expectativa de representatividade de cada intervalo de 3 cm seria válida para um recobrimento médio temporal da ordem de 8.5 anos, pontualmente representado no ponto médio do intervalo sedimentar seccionado. Assim sendo, a amostragem deve cobrir um período total de tempo estimado em 102 anos, significando que a seção basal, em seu nível médio, deve reportar as condições geoquímicas sedimentares em torno do ano de 1910.

Parte de cada segmento sedimentar do perfil foi seca em estufa a 40° C, durante 48 horas, e divididas em duas alíquotas. Uma delas foi submetida a tratamento acidificante (HCl 5%) para eliminação da fração carbonática, seguindo-se centrifugação, recuperação da polpa sedimentada, nova secagem, cominuição 100% < 100 mesh, e expedição para análises C-N-H-S em Analisador Elementar CHNS-O Carlo Erba EA 1110, do Departamento de Química Fundamental - DQF/UFPE. A parte restante, não submetida a tratamento acidificante, foi

cominuída 100% passante em 100 mesh, e destinada a análises DRX e análises químicas. A amostragem não utilizada em processos analíticos destrutivos foi reservada como contraprova.

As análises difratométricas foram realizadas sobre sedimento total (ST) e, especificamente, a partir da fração < 2 μ m extraída a partir da queda livre de particulados em meio aquoso de água destilada, segundo a Lei de Stokes. Os difratogramas RX (DRX) foram produzidos por um difratômetro Siemens do Instituto de Física UFPE, com varredura de $KCu\alpha$ a 1 θ /min. No caso de análise sobre ST, os particulados foram distribuídos de forma randômica em uma placa untada com produto aderente, para produção de difrações previstas pela Lei de Bragg. No caso da fração < 2 μ m, utilizou-se uma placa de vidro com “lama orientada”, com interpretações dos DRX conforme critérios explicitados por Millot (1971).

Análises químicas foram realizadas nos laboratórios Actlab's (Ontario, Canadá), incluindo um elenco de metodologias: Análise instrumental por Ativação de Nêutrons I (INAA) e Inductively Coupled Plasma (ICP), utilizando-se ácidos (HF, HClO₄, HNO₃ e HCl) e água régia, como técnicas de digestão. Os intervalos de perfil que foram analisados foram os mesmos submetidos às análises elementares de C-N-H-S, cobrindo a extensão útil do perfil (litologias pelítico-orgânicas). Essas análises incluem os óxidos fundamentais (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, K₂O, Na₂O, TiO₂, P₂O₅, MnO), a Perda ao Fogo (LOI), expressos em valores percentuais, e um número de 34 elementos-traços, expressos em ppm ou ppb. Nesses elementos traços se incluem as principais espécies químicas tóxicas: Hg (ppb), Cd, Pb, Cr, As, Cu, Co, Ni, etc.

A partir dos resultados analíticos foi estabelecida uma metodologia de cálculo da composição sedimentar total de cada segmento do perfil, seguindo-se princípios da estequiometria, principalmente com base nas premissas de composições mineralógicas obtidas a partir de dados DRX e na observação macroscópica das amostras. Essa metodologia considerou formulações ideais para várias das frações minerais componentes dos ST, dentre elas: quartzo, caulinita, hematita, rutilo (os teores em TiO₂ foram ajustados para este mineral), halita e apatita. O teor em carbonatos considerou uma média entre *high-Mg* calcitas, calcitas *sensu strictu* e aragonitas. Os teores em matéria orgânica (MO) foram calculados com base nos teores residuais de perda ao fogo (Loi), depois de deduzidas por cálculo estequiométrico os teores vinculados aos percentuais de carbonatos, apatita e caulinita. As condições de

fiabilidade metodológica exigiram que a soma das frações minerais componentes dos ST ficasse no interior de um intervalo de $100 \pm 1.5\%$.

Adicionalmente, os resultados obtidos nas análises químicas totais dos sedimentos foram estatisticamente processados, para interpretação das relações geoquímicas entre espécies químicas e entre estas e as frações constituintes dos sedimentos do perfil. Basicamente, o estudo utiliza os princípios da análise regressiva, através da interpretação da matriz de correlação.

Diagramas a duas variáveis (*scatterplot*) entre espécies químicas e/ou frações minerais foram realizadas, visando o entendimento de especiações dos principais elementos químicos com os processos de sedimentação geoquímica e com a potencialidade tóxica para o ecossistema e para o Homem.

Finalmente, realizou-se um estudo estimativo de relacionamento entre os resultados geoquímicos envolvendo os segmentos de amostragem do perfil e os aspectos históricos de desenvolvimento demográfico regional. Igualmente, realizou-se um estudo similar, verificando-se a exequibilidade de relacionamento entre os aspectos geoquímicos do meio aquático estuarino, em sincronia com o registro sedimentar contemporâneo.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA ST

A composição mineralógica dos sedimentos amostrados pode ser basicamente apoiada por observação macroscópica, e por indicações confirmadas através de análises DRX. Assim, a presença de minerais carbonáticos (*high-Mg* calcita, calcita, aragonita) assim como quartzo e halita, foram qualificadamente bem definidas através de DRX sobre ST pulverizado (Figura 12), e a de caulinita através de DRX sobre lama orientada extraída destes ST. Outras frações minerais como rutilo, hematita e apatita, dificilmente detectáveis em função da presença apenas acessória nos ST, foram empiricamente admitidas como presentes considerados os resultados das análises químicas. A MO foi macroscopicamente observada, e calculada por cálculos estequiométricos, uma vez que este produto, amorfo, não é detectável em DRX.

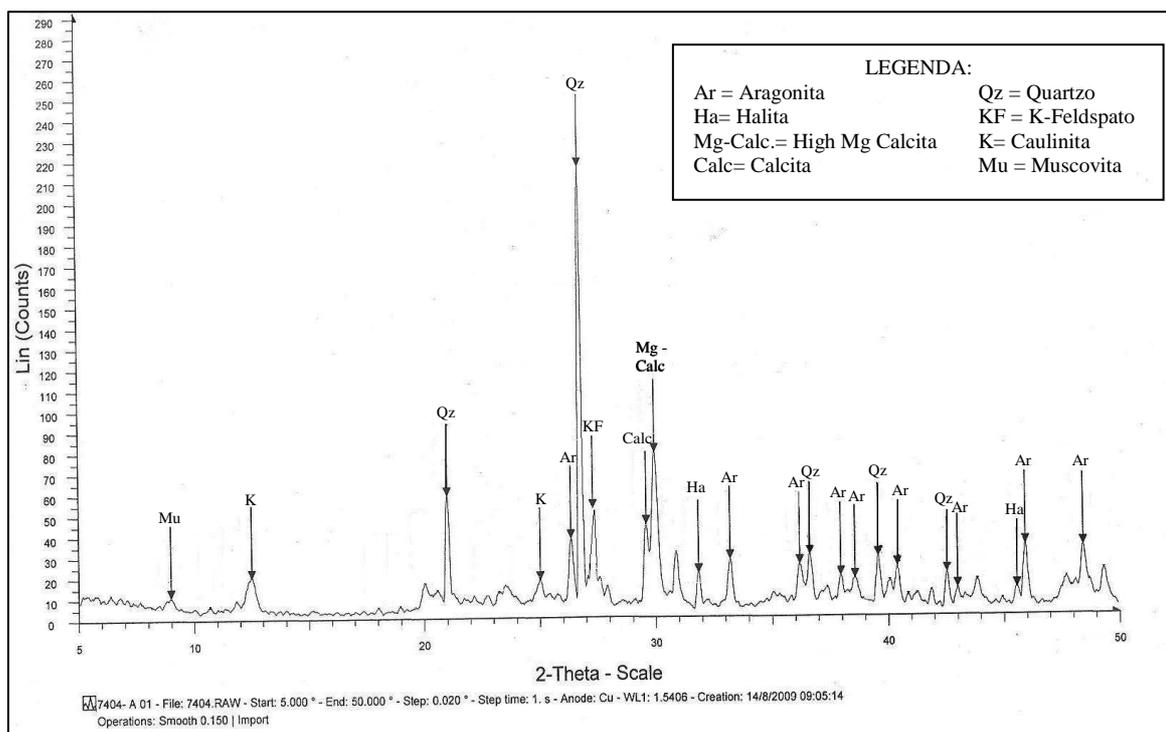


Figura 12: DRX sobre ST (perfil de fundo; horizonte JART – 06).

A partir dos cálculos estequiométricos confirma-se que o processo sedimentar, ao longo dos 35 cm amostrados, mantém um padrão mineralógico de composição ST pouco variável (Tabela 03). A base do perfil, contudo, sugere constituir a fase final de um regime com hidrodinâmica mais marcante, representada por um siltito arenoso pouco argiloso e pouco orgânico. Portanto, esta situação única, na parte mais inferior do perfil, deve

representar uma condição marcadamente diferente no processo sedimentar do estuário, que precede um regime que *grosso modo* não variou significativamente até a atualidade. Consideradas as estimativas de taxa linear de sedimentação adotada (3.6 mm/ano), tal condição pretérita terá culminado seus efeitos por volta de 1915, um pouco após a primeira década do século XX. Neste sentido, aproxima-se significativamente, tanto cronologicamente quanto do ponto de vista do nível de profundidade, do registro sedimentar assinalado no perfil de fundo realizado por Lima (2008) no estuário do rio Botafogo (Figura 13), 15 km mais ao norte.

Tabela 03: Composição ST de amostras do perfil JART, estuário do rio Timbó.

Frações Amostras	Fração Quartzo	Fração Argilomineral	Fração M.O.	Fração Carbonática
JART- 01	26,6	26,3	4,1	43,0
JART-02	27,2	23,9	3,2	45,6
JART-03	27,4	21,3	3,5	47,7
JART-04	30,0	19,7	3,2	47,1
JART-05	30,3	20,4	2,1	47,1
JART-06	29,3	18,6	2,2	49,9
JART-07	29,8	17,8	2,0	50,3
JART-08	28,5	19,6	2,7	49,1
JART-09	28,0	19,7	4,5	47,8
JART-10	28,9	19,1	4,1	47,8
JART-11	27,3	19,8	4,7	48,1

Diagramação: o Autor.

Os resultados composicionais dos ST podem ser agrupados como frações representativas do processo sedimentar geoquímico, ou seja:

- Fração terrígena oriunda de média/baixa hidrodinâmica: quartzo
- Fração terrígena oriunda de baixa hidrodinâmica: caulinita + hematita (*) + rutilo (**)

(*) e (**) = A hematita e o rutilo são considerados como grânulos coloidais ou como espécies químicas (Fe, Ti) adsorvidas em argilominerais.

- Fração carbonática (componentes bioquímicos): calcita, *high*-Mg calcita, aragonita
- Fração de componentes biogênicos: MO

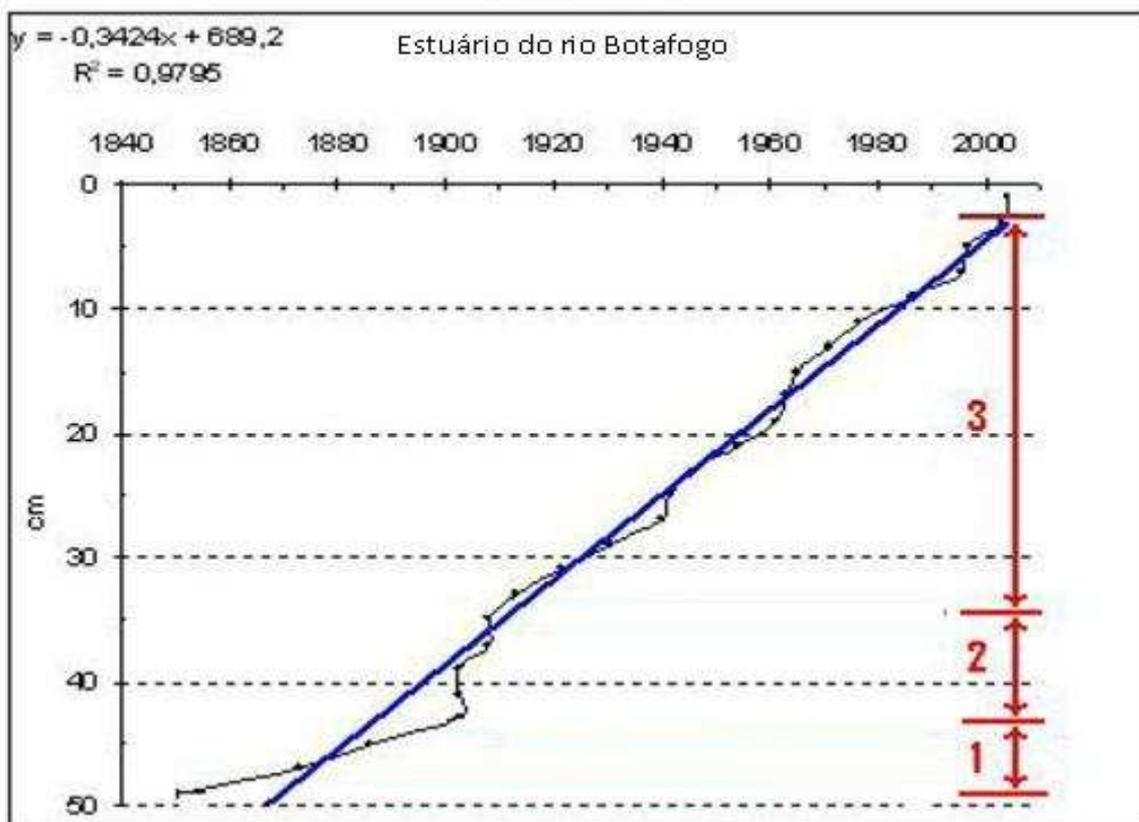


Figura 13: Diagrama da taxa de sedimentação de perfil do fundo estuarino do rio Botafogo (Lima, 2008), com interpretação por intervalos de tempo. (Intervalo 3 = taxa de sedimentação média de 3.6 mm/ano). Fonte: Lima, 2008.

Descarta-se a halita, uma vez que sua precipitação sinsedimentar não se coaduna com condições estuarinas, cujas características físico-químicas, habitualmente, não atingem níveis hipersalinos. Conforme vários autores (Braitsch, 1971; Warren, 1989), estes ambientes não comportam a formação de depósitos salinos, ou a precipitação de halogenetos. Com efeito, já para a precipitação de sulfatos faz-se necessário evaporar cerca de 65% do solvente água do mar ($\approx 200 \text{ ‰}$), condição não alcançável em estuários por conta da ingressão de águas marinhas (35 ‰) durante as marés altas. Conseqüentemente, a presença de halita nos sedimentos deve resultar de águas conatas hipersalinizadas, com precipitação diagenética, ou foi produzida durante a secagem da amostragem a 100 °C , por total evaporação da umidade. Também foi ignorada a participação de apatita, uma vez que P_2O_5 , como será assinalado no estudo geoestatístico, não apresenta correlações expressivas com o SiO_2 nem como o Al_2O_3 .

O procedimento de preparação do log de variação dos vetores fundamentais que comandam um regime sedimentar e deixam seus registros nos sedimentos preservados, permite visualizar a dinâmica deposicional, no ponto do perfil JART, através décadas, desde primórdios do século XX (Figura 14).

As condições hidrodinâmicas mais marcantes estão vinculadas à fração mineralógica quartzo, pouco variável ao longo do perfil estudado. A constituição granulométrica síltica indica uma energia moderada, que se coaduna com o trecho fluvial do estuário, com gradiente inferior ao metro/km.

A fração argilomineral, em parte coloidal ou relacionada com colóides de Ferro e de Titânio, ou mesmo contendo estas espécies químicas sob condição de adsorção, parece de natureza eminentemente pedogênica. Sua sedimentação ocorre em condições hidrodinâmicas mais fracas, possivelmente também sob influência de pH alcalinos, quando floccula. Assim, do ponto de vista físico-químico, a sedimentação estuarina é principalmente dependente de hidrodinâmica fraca e advento de condições alcalinas, observáveis naturalmente em um estuário. A diminuição gradual do regime de baixa hidrodinâmica parece favorecer a fração carbonática, em detrimento da fração MO, notadamente na parte superior do perfil (Figura 14).

A fração carbonática, apesar de elevada (40% a 50% nos ST), não é observável a olho nu, sendo constituída de microorganismos com carapaça carbonática: ostracodes e foraminíferos bentônicos (conforme dados de Barbosa, 2006). São, portanto, resíduos de exoesqueletos carbonáticos de mineralogia variável que ingressam no estuário durante as marés altas, ou espécies bentônicas que vivem *in situ*, ou ainda fragmentos micronizados de bivalves, gastrópodes, etc. Desta forma, não chega a ser surpreendente que este ambiente sedimentar, apesar da agressão antrópica relacionada com o crescimento demográfico vertiginoso apresentasse --- e ainda ostente --- condições de expressiva fertilidade. Com efeito, a FIDEM (1987) registrou excelentes condições de fertilidade há algumas décadas. Com efeito, neste período, o log das frações mineralógicas ST exibe elevada participação da fração carbonática (Figura 14).

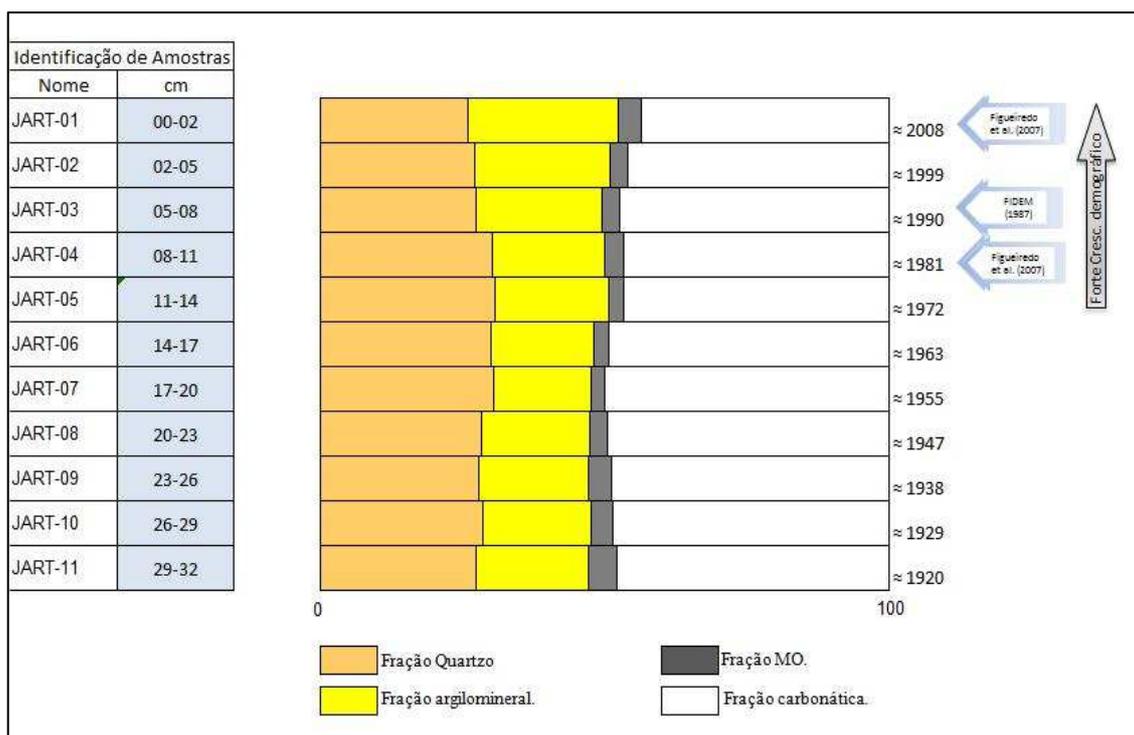


Figura 14: Log das frações mineralógicas principais ST do perfil JART, estuário do rio Timbó. Diagramação: o Autor.

A fração carbonática cresce gradualmente da base do perfil até o horizonte JART-06 sofrendo daí uma pequena, porém nítida, diminuição, coincidente com o início do “boom” demográfico regional (ver Figura 14). Esta tendência decrescente continua até o presente. Desta forma, os resultados demonstram que o forte crescimento demográfico vertiginoso, iniciado na década de 70, é marcado pelo aumento da fração argilomineral e concomitante diminuição da fração carbonática no regime sedimentar.

A fração MO reúne compostos orgânicos vegetais e animais, tanto de origem continental quanto marinha. Notadamente na parte superior do perfil, esta fração diminui quando a participação carbonática aumenta, podendo-se inferir que sua constituição, nas últimas décadas, é fundamentalmente de origem terrestre. Sua diminuição coincide com dados hidrogeoquímicos colocados em evidência por Figueiredo *et al.* (2007) em relação às últimas décadas (Figura 14), indicando decréscimo de qualidade ambiental do meio aquático. Tais resultados parecem trazer novas indicações ao conceito de fertilidade de um estuário. Em geral, a literatura atribui aos aportes de fosfatos, nitratos e sílica, ordinariamente veiculados por influxos terrestres, a importância fundamental para a fertilidade ou eutrofização de

estuários (Kaul & Froelich, 1984; Chester, 2000). Entretanto, no caso do estuário do rio Timbó, influxos marinhos podem estar contribuindo para a fertilidade deste ambiente, com aportes ricos em fitoplâncton, especialmente do tipo que desenvolve exoesqueletos carbonáticos.

4.2. RESULTADOS C-N-H-S E VARIAÇÕES Na₂O

Os resultados de C-N-H-S sobre ST já vêm sendo explorados na literatura desde os trabalhos precursores de Lerman (1979). Reconstruções ambientais baseados nestes registros têm sido desenvolvidas com reconhecida fiabilidade por Meyers (1993), Meyers & Ishiwatari (1993), Meyers (1997), Dean (1999), Meyers & Terane (2001), Menor *et al.* (2001), dentre outros. Apesar destes conhecimentos se reportarem a condições lacustres, a transposição destes conceitos pode ser aproveitada para interpretação da evolução sedimentar em ambientes estuarinos, com algumas reservas.

No caso do estuário do rio Timbó, a relação C/N revela dois estágios principais durante o desenvolvimento do seu regime sedimentar (Tabela 04; figura 15). O estágio mais antigo é caracterizado por valores pouco variáveis, em torno de $C/N = 8 \pm 1.3$, indicativo de forte influência marinha considerando-se como ponto de referência o perfil JART. Estas condições mudam radicalmente a partir do horizonte JART-05 (profundidade de 11-14 cm), coincidentemente com o *boom* da expansão urbana regional (a partir da década de 70), tomando uma tendência ascendente quase perfeitamente linear até o nível atual de $C/N = 14$, valor este ainda tipicamente estuarino, porém com uma maior influência de aportes orgânicos continentais.

Tabela 04: Valores de C/N.

AMOSTR	JART										
A	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11
C/N	14.0	20.9	14.4	13.6	10.7	8.3	8.7	9.3	9.5	8.5	6.7

Diagramação: o Autor.

O comportamento gradualmente ascendente de C/N a partir da década de 70 pode oferecer duas vias de interpretação. Na primeira, o índice expressaria a influência de aportes

crecentes de efluentes de procedência urbana, de uma forma geral. Na segunda, expressaria um discreto, porém gradual, processo de desequilíbrio morfológico regional, ocasionando influxos com crescente participação de MO continental. Embora não se possa descartar totalmente uma destas interpretações, o vetor principal é aparentemente o do crescimento de efluentes orgânicos urbanos, pelas evidências de que o crescimento demográfico não foi acompanhado por medidas sanitárias proporcionais.

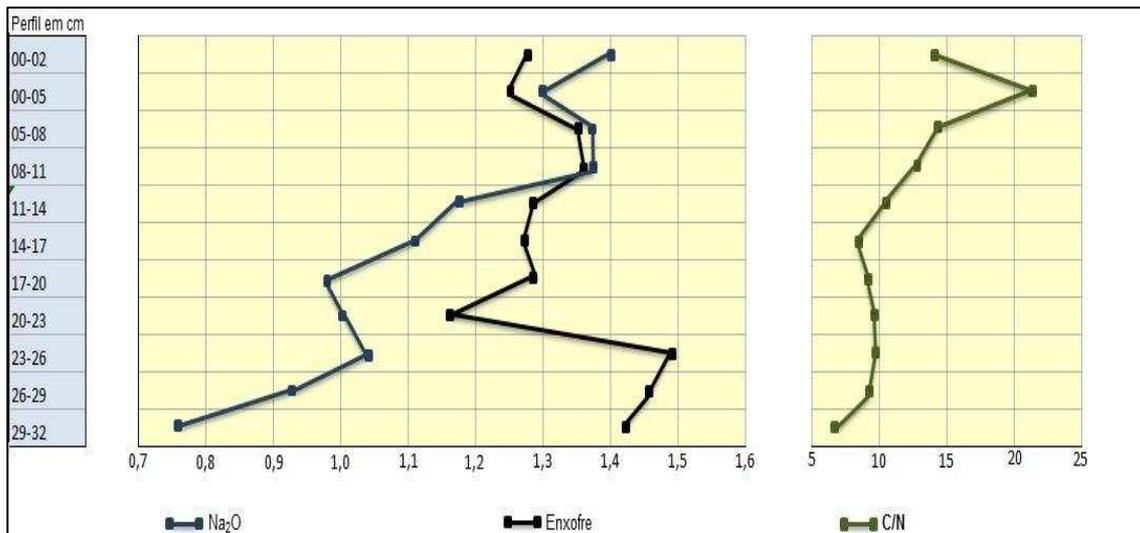


Figura 15: Variações C/N e dos valores em Na₂O e Enxofre (S), em amostragem do perfil de fundo realizado no estuário do rio Timbó. Diagramação: o Autor.

O comportamento de Na₂O apresenta uma tendência crescente desde a base do perfil (Figura 15). Sua presença reportada à de halita, implica em sua evidente origem marinha. Seu crescimento se coaduna com a tendência transgressiva dos oceanos na atualidade, em plena evolução de uma fase interglacial do planeta. Com efeito, vários autores já vêm diagnosticando a evolução do nível médio dos mares (NMM) nos últimos 130 anos, relacionando-a também ao aumento nas taxas de CO₂ da atmosfera, e conseqüente efeito estufa. Gornitz *et al.* (1982) indicaram um aumento de 9 cm no NMM para o período 1880-1980. O relatório IPCC (2007) indica uma progressão mais drástica nas décadas mais recentes, com cerca de 20 cm apenas para o período 1961-1990. Valores crescentes de Na₂O, neste sentido, seriam concordantes com o “afogamento” do estuário pelo avanço do NMM. Uma aparente contradição seria a diminuição da fração carbonática e o concordante aumento na relação C/N. A explicação se torna lógica se considerarmos que, apesar da expectativa de uma influência marinha gradualmente maior, seus efeitos estariam sendo contrapostos pelas evidências de crescente poluição antrópica que vem caracterizando as últimas décadas.

Esta poluição, aparentemente, tem contribuído para diminuir a preservação da fração carbonática marinha que se adentra no meio aquático estuarino, em períodos de preamar. As francas diminuições de transparência e de OD em torno do ponto da amostragem em estudo (estações E3 e E4, em Figueiredo *et al.*, 2007), apesar de reportarem apenas as condições em algumas décadas, sugerem o aumento de carga orgânica no meio aquático estuarino o que, conseqüentemente, traria acentuada diminuição nas condições de pH durante baixa-mar.

Os valores de enxofre (S), em um regime estuarino, são geralmente reportados a influxos de compostos orgânicos ou a SO_4 solúvel (Berner, 1971). Em oposição às condições aeróbias, as anaeróbias são favoráveis à sua fixação (Lerman, 1979). Na maior parte do perfil, particularmente nas últimas décadas, os valores de S mostram-se crescentes (vide Figura 15) e, de certa forma, corroboram as interpretações de evolução das condições anaeróbias desde meados do século passado, mesmo antecedendo o *boom* da ocupação demográfica regional.

4.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise das correlações entre óxidos fundamentais e elementos traços (Figura 16) estabelece os principais grupamentos de covariâncias que refletem o comportamento do processo sedimentar estuarino, na altura do perfil JART. Estas covariâncias ($R^2 \geq 0,9$) interdependentes são:

- A. $Al_2O_3 - Fe_2O_3 - Sc - V - La - Sm...$ (TiO₂, Ni, Cr) *
- B. Cr - Ni - Sc ... (Fe₂O₃, V, La, Sm) *
- C. Ca - (Sr) *
- D. Br, (Loi) *... [Na₂O] *

()* = condições de R^2 entre 0.80 a 0.89;

[] * = condições de R^2 entre 0.70 a 0.79.

As covariâncias relacionadas ao Al_2O_3 indicam que o ambiente sedimentar, embora comportando importante fração terrígena fina (quartzo e argilominerais), tem um atrelamento importante de espécies químicas relacionadas à componente de argilominerais.

A indiferença correlativa entre SiO_2 - Al_2O_3 ($R^2 = 0,08$) exprime que estas variáveis não estão coligadas, o que traz como conclusão que as condições de menor hidrodinâmica somente transportam grãos muito finos, próximos à dimensão coloidal ou francamente coloidais ($< 1 \mu\text{m}$), com ausência ou presença inexpressiva de particulados de quartzo. Desta forma, Fe_2O_3 , TiO_2 , assim como Ni e Cr, podem corresponder a colóides metálicos, ou podem estar adsorvidos em argilominerais.

A covariância interdependente que envolve Al_2O_3 - Fe_2O_3 - Sc - V - La - Sm também se reporta, em segundo plano, ao conjunto interdependente (B) = Cr - Ni - Sc (Fe_2O_3 , V, La, Sm). Tal circunstância confirmaria que em hidrodinâmica mais baixa os argilominerais são acompanhados por fração metálica terrígena muito fina envolvendo goethita/hematita (óxidos/hidróxidos de Fe), ilmenita/rutilo (minerais de Fe-Ti, ou de Ti), além de outros minerais resistentes à alteração (cromita).

O grupamento de correlações (C), que envolve unicamente Ca - Sr, reporta-se à interdependência bastante conhecida e preferencial destas duas espécies químicas, quando da existência de fração carbonática em ST (Tucker & Wright, 1990). As frações carbonática (C) e terrígenas (A, B) mostram entre si flagrante antagonismo, confirmando que os valores de CaO são de procedência marinha, e que os conjuntos de intercorrelação A e B, são de origem continental.

O grupamento de correlações (D) relaciona Br a Na_2O , confirmando a presença do halogeneto halita, e sua independência em relação às frações terrígena e carbonática dos ST. Com efeito, como discutido anteriormente (item 4.1, página 31).

4.4. METAIS PESADOS

Para avaliação das concentrações relativas de espécies químicas em sedimentos recentes, particularmente metais pesados (MP) patogênicos, leva-se em conta os padrões médios de folhelhos, principalmente aqueles divulgados por Turekian & Wedepohl (1961) ou por Bowen (1979). Do ponto de vista do potencial de toxicidade são considerados também sedimentos argilosos, e existem vários padrões referenciais. Serão considerados, neste trabalho, os padrões ERL e ERM da USEPA (Long *et al.*, 1995), pela sua larga adoção em todo o Mundo. São igualmente destacados, mais especificamente, os teores de Mercúrio (Hg), Arsênio (As) e Cádmio (Cd), que figuram entre as espécies químicas mais tóxicas e de mais alto potencial patogênico para o Homem (Andrews *et al.*, 1996).

As concentrações dos principais MP ao longo do perfil JART (Tabela 05), considerados como tóxicos ou de potencialidade patogênica, colocam em evidência as seguintes observações:

No perfil JART, de uma forma geral, os valores de Hg estão muito abaixo do padrão litogênico para folhelho de Turekian & Wedepohl (1961) ou de Bowen (1979). Embora cobrindo apenas três intervalos do perfil, depreende-se que efeitos tóxicos a partir deste metal pesado podem ser considerados em princípio fora de expectativa, uma vez que estão também abaixo do limiar mínimo de riscos (valor ERL ou “effects range low”). Tal consideração, envolvendo todo o perfil, indica que as condições de contaminação em Hg permanecem aceitáveis considerando-se cerca de um século de registros.

A complexação do Hg parece relacionada à fração argilomineral (Figura 17), algo seguramente confirmado nos dados de Lima (2007) em sedimentos de perfil de fundo realizado no estuário do rio Manguaba (Estado de Alagoas), onde a correlação $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Hg} = 0.98$. Entretanto, os resultados produzidos por Lima (2008), a partir de perfil semelhante realizado no estuário do rio Botafogo (Estado de Pernambuco), mostraram comportamento algo diferenciado, ou seja, fatores de correlação $\text{Al} - \text{Hg} = 0.79$ e $\text{P} - \text{Hg} = 0.96$.

Tabela 05: Concentrações de espécies metálicas nos ST do perfil JART, no estuário do rio Timbó (Espectrometria de Absorção Atômica – Actlab's).

AMOSTRA	PROFUNDIDADE	Hg	As	Cd	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn	OBS.
	Cm	ppb	Ppm	Ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm	
JART-01	00 – 02	nd	11	< 0,5	21	49	6	11	39	↑
JART-02	02 – 05	58	13	< 0,5	19	43	5	10	39	
JART-03	05 – 08	nd	13	< 0,5	18	41	5	10	39	
JART-04	08 – 11	nd	10	< 0,5	19	32	4	8	40	
JART-05	11 – 14	nd	10	< 0,5	17	32	4	8	35	HC ↑
JART-06	14 – 17	49	11	< 0,5	16	36	4	7	35	Frações carbonáticas máximas.
JART-07	17 – 20	nd	8	< 0,5	16	31	4	7	29	
JART-08	20 – 23	nd	11	< 0,5	16	24	4	7	30	
JART-09	23 – 26	nd	10	< 0,5	21	35	6	8	32	
JART-10	26 – 29	nd	10	< 0,5	18	34	5	8	31	
JART-11	29 – 32	47	13	< 0,5	18	31	5	7	30	
Turekian & Wedepohl (1961)		400	13	0.3	20	90	45	68	95	Padrões de Referência
Bowen (1979)		180	13	0.22	23	90	39	68	120	
ERL (Long <i>et al.</i> , 1995)		150	8.2	1.2	47	81	34	21	150	
ERM (Long <i>et al.</i> , 1995)		710	70	9.6	220	370	270	52	410	

HC = horizonte crítico do início do boom demográfico;

↑ = crescimento demográfico acelerado;

nd = não determinado;

ERL = *Effects Range Low* (faixa de efeitos de baixo impacto);

ERM = *Effects Range Medium* (faixa de efeitos de médio impacto).

Desta forma, estas evidências geoestatísticas apontam para a existência de fração fosfática associada com Hg, procedente de influxos agrícolas contendo material fosfático de dimensões muito finas, resultantes da aplicação de fosfatos concentrados *in natura*. Com efeito, durante muito tempo o Grupo Votorantim produziu este tipo de fertilizante, que foi extensivamente aplicado em cultivos regionais de cana-de-açúcar durante algumas décadas. A unidade industrial era localizada a montante do ponto de perfil de fundo realizado por Lima (2008). A presença de Hg como elemento traço abundante em fosfatos sedimentares já foi reportada por Altschuler (1980), Prevôt & Lucas (1980), e outros autores.

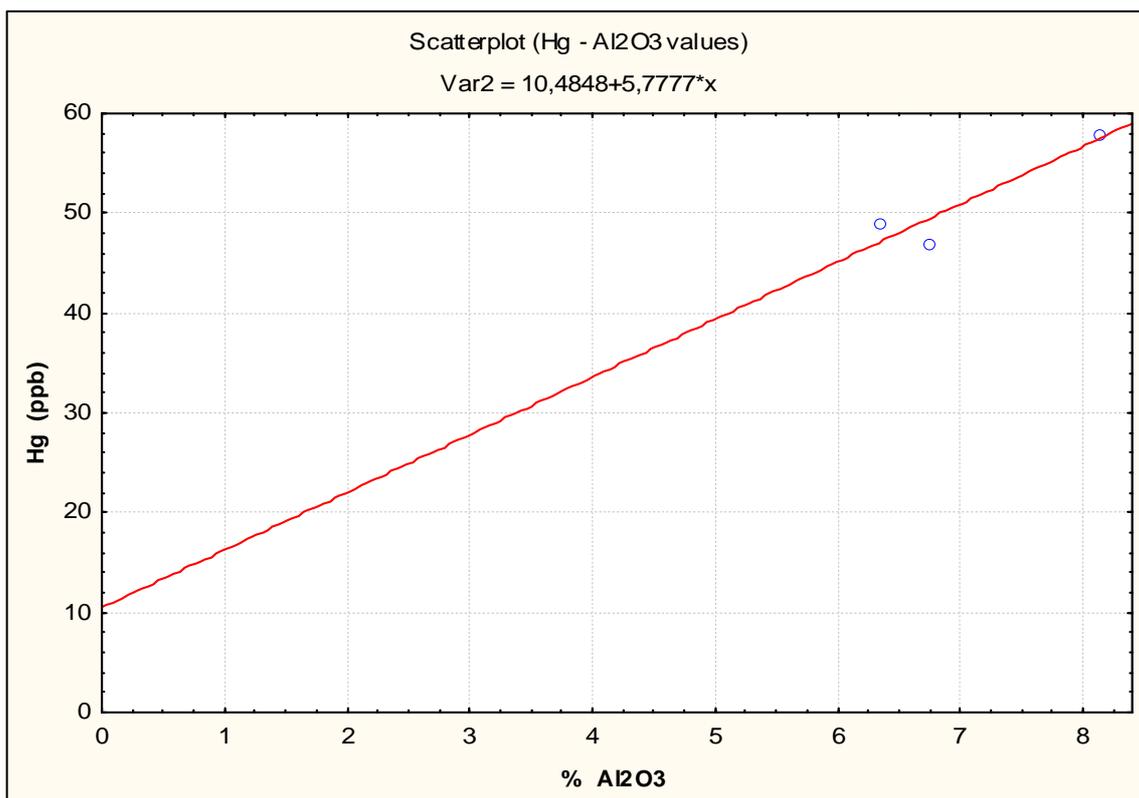


Figura 17: Gráfico de correlação linear entre os valores de Hg e de Al₂O₃, a partir de amostras (n = 3) do perfil de fundo do estuário do rio Timbó, Pernambuco.

Se considerarmos uma forte correlação Al₂O₃ - Hg, ou seja, a hipótese de predominância de adsorção do fósforo em argilominerais, significaria que estes últimos seriam os complexadores preferenciais de Hg nos regimes estuarinos tropicais do Nordeste brasileiro. Os padrões referenciais da litologia “folhelho” referem-se a sedimentos comportando pelo menos 35% em argilominerais ou particulados < 2µm (Bates & Jackson, 1980). Sedimentos pelíticos em estuários do Nordeste do Brasil, conforme dados de Lima (2007) e Lima (2008), chegam a ultrapassar 40% em argilominerais. Aparentemente, 50% em argilominerais poderia ser considerado um valor máximo natural em sedimentos estuarinos e lacustres recentes.

Nos sedimentos estuarinos do rio Timbó a fração argilomineral é caulínica. Assim sendo, 50% de caulinita em ST corresponderiam a 19.5% em Al₂O₃^(*).

(*) = Fator de conversão para cálculo de caulinita a partir de Al₂O₃ ≈ 2.56.

Aplicando-se a equação de correlação (ver figura 17), este valor em Al_2O_3 indicaria uma capacidade de complexação até aproximadamente 123 ppb em Hg. Desta forma, pode-se interpretar que o nível de comprometimento tóxico deste MP, no ambiente estuarino, é certamente maior que aquele indicado analiticamente, uma vez que a fração argilomineral, ao longo do perfil, não alcança 25% em ST (vide tabela 03). Dentro desta consideração, o valor atual de *background* de Hg, em sedimentos pelíticos deste estuário, se situaria em torno de 120 ppb.

O *background* de Hg calculado (120 ppb) para pelitos estuarinos do rio Timbó é relativamente próximo daquele efetivamente citado por Lima (2007) em sedimentos similares do rio Manguaba (94 ppb), contendo quase 50% em argilominerais caulínicos. Em ambos os casos as bacias hidrográficas drenam extensas áreas de cultivos de cana-de-açúcar havendo, entretanto, uma ocupação urbana muito mais significativa na bacia do rio Timbó.

As concentrações em Arsênio (As) variam entre 8-13 ppm (Figura 18), situam-se bem abaixo dos padrões de folhelho, porém ultrapassam quase sistematicamente, ao longo do perfil, o limiar ERL, com tendência ascendente nas últimas décadas. A correlação As - V ($R^2 = 0.61$), interdependente com a de V - Al_2O_3 ($R^2 = 0.91$), sugere que parte do As estaria em covalência com MO, porém também combinações de adsorção com argilominerais (correlação $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{As} = 0.46$).

A presença de As nos sedimentos estuarinos do rio Timbó pode ser imputada aos efluentes agrícolas. Efetivamente, compostos contendo As são utilizados em herbicidas, inseticidas e desfolhantes (Barra *et al.*, 2000). Fosfatos sedimentares contêm em média 23 ppm de As (Altschuler, 1980), e boa parte desta espécie química continua presente quando da produção industrial de fertilizantes fosfáticos solúveis. De toda forma, os níveis de contaminação desta espécie química, no estuário do Timbó, podem ser considerados negligenciáveis. Em ambientes estuarinos contaminados, vicinais a setores de forte industrialização, Siqueira *et al.* (2004) registraram valores em torno de 27 ppm.

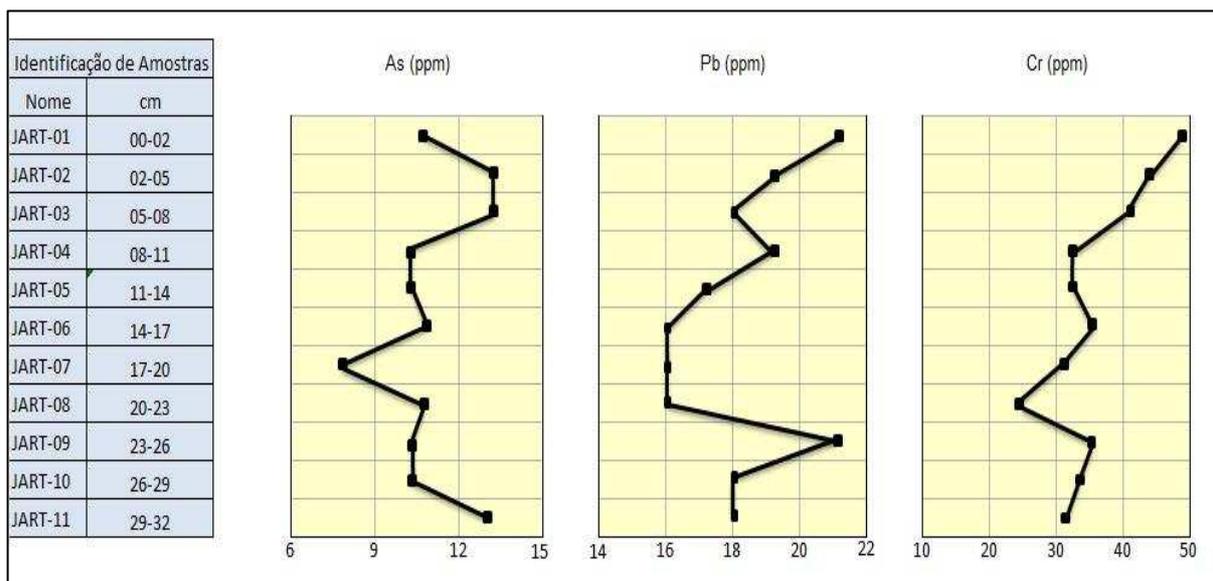


Figura 18: Gráficos das variações de As, Pb e Cr, no perfil JART, estuário do rio Timbó. Diagramação: o Autor.

A presença de Cádmio (Cd) nos sedimentos estudados, ao longo do perfil JART, pode ser sistematicamente considerada como negligenciável: < 0.5 ppm. Igualmente, podem ser considerados inexistentes os riscos de contaminação ambiental por esta espécie química, até o presente.

Os teores de Chumbo (16 a 21 ppm) acompanham *grosso modo* os padrões litogênicos de Turekian & Wedepohl (1961) e de Bowen (1979) permanecendo, contudo, nitidamente abaixo do limiar ERL (47 ppm). Seus influxos são pouco variáveis desde várias décadas, com tendência ascendente desde as últimas décadas (vide figura 18), a partir do *boom* do crescimento demográfico regional (horizonte JART-05). A boa correlação Pb-Cu ($R^2 = 0.86$) e razoável relacionamento Pb- Al_2O_3 ($R^2 = 0.62$) indicam que estes dois MP estão em parte adsorvidos na fração argilomineral ST, e explicaria a tendência ao crescimento dos valores de Pb, nas últimas décadas, acompanhando uma tendência similar de aumento na fração argilomineral (vide tabela 03; figura 14). Considerando-se que a fração argilomineral não atinge 25% nos ST do JART, depreende-se que, de uma forma geral, os níveis de concentração de Pb são maiores do que indicado analiticamente e, de certa forma, podem já estar aproximando-se do limiar ERL na atualidade. Isto é demonstrável no diagrama de duas variáveis: Pb (ppm) x % Al_2O_3 (Figura 19). Partindo-se da premissa de um sedimento caulínico com 50% de

participação em ST (aproximadamente $\text{Al}_2\text{O}_3 = 19.5\%$), o registro analítico de Pb ficaria em torno de 35 ppm. Apesar de níveis baixos, este tipo de contaminação parece crônico, antigo, e em evolução.

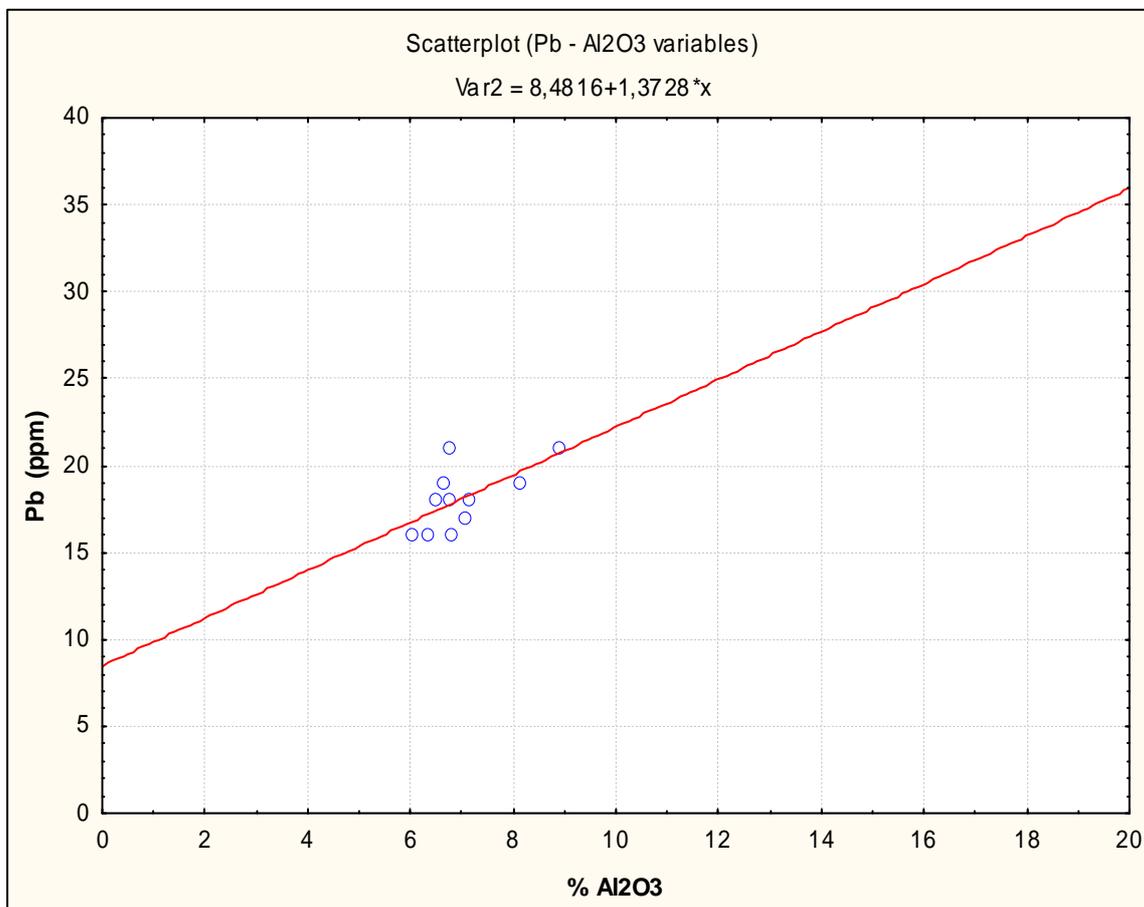


Figura 19: Gráfico de correlação linear entre os valores de Pb e de Al_2O_3 , a partir de amostras ($n = 11$) do perfil de fundo do estuário do rio Timbó, Pernambuco.

O Pb tem sido muito relacionado com a poluição atmosférica antrópica, cuja disseminação é considerada francamente global (Andrews *et al.*, 1966). A ascensão de seu *background* nas superfícies terrestres vem acompanhando o crescimento geométrico da utilização de combustíveis derivados do petróleo, desde meados do século XX. Contaminações em Pb são também reportadas a influxos de águas superficiais (*overland runoff*) sobre matéria orgânica vegetal dos solos (Liu *et al.*, 2008), que alimentam os sistemas de drenagem. A adição de insumos orgânicos e de carbonato de cálcio (Fernandes, 2006), assim como de resíduos sólidos urbanos (RSU), fertilizantes e corretivos agrícolas, também são reportados como agentes contaminadores de Pb para os solos (Azevedo *et al.*, 2004).

Os valores de Cromo (Cr) também não oferecem uma grande amplitude de teores, variando entre 24 e 49 ppm, com tendência ascendente nas últimas décadas (vide tabela 05; figura 18), acompanhando tendência similar de aumento da fração argilomineral em ST (vide tabela 03; figura 14). De uma forma geral, os valores de Cr são baixos e se situam bem abaixo do limiar ERL. A boa correlação Cr-Al₂O₃ indica que este MP deve estar preferencialmente adsorvido em argilominerais e, residualmente, presente como particulados muito finos, coloidais. O ambiente aquático estuarino não se encontra ameaçado por este MP, seguindo-se os critérios ERL-ERM de Long *et al.* (1995). As tendências ainda apontariam, sobretudo se guardadas as condições industriais atuais, para um crescimento discreto dos valores de Cr em futuro próximo.

Os valores de Cobre (Cu) são baixos (vide tabela 05) e relativamente estáveis, variando entre 4 a 6 ppm (Figura 20), muito abaixo do limiar ERL (46.7 ppm). Sua presença nos sedimentos estuarinos pode ser negligenciada.

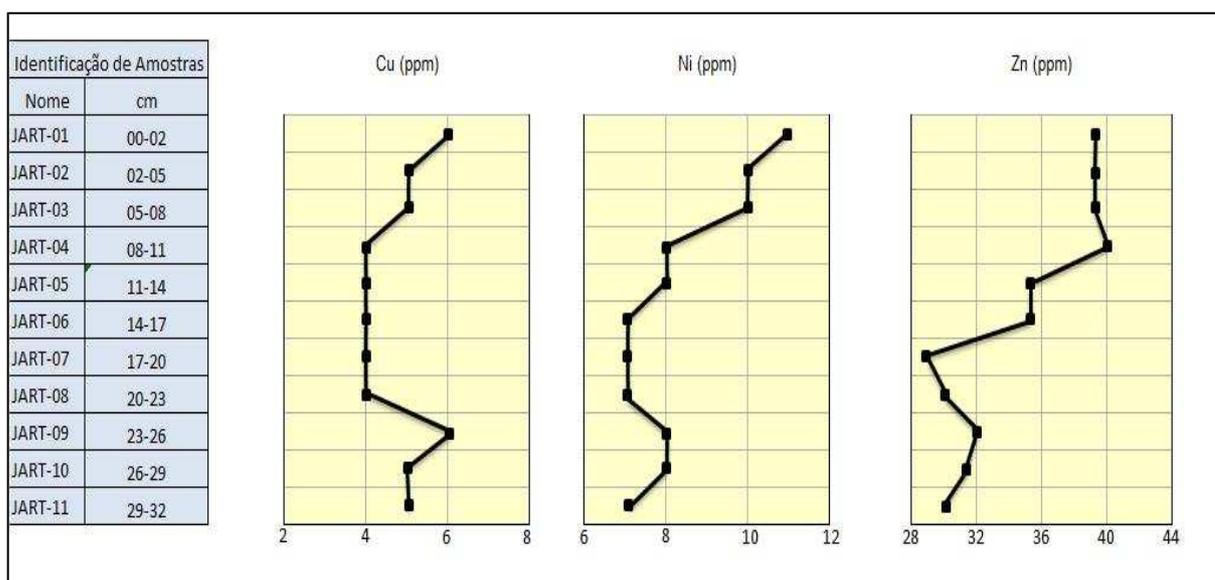


Figura 20: Gráficos das variações de Cu, Ni e Zn, no perfil JART, estuário do rio Timbó. Diagramação: o Autor.

Os valores de Ni constituem o outro MP com teores pouco variáveis (7 a 11 ppm) nos sedimentos do perfil JART (vide tabela 05), situando-se nitidamente abaixo do limiar ERL (21 ppm). Estes teores apresentam marcada tendência crescente nas últimas décadas (Figura 20), sobretudo a partir do *boom* de expansão demográfica (JART-05).

A forte correlação Ni-Al₂O₃ ($R^2 = 0.88$) indica que a principal complexação de Ni se faz por adsorção a argilominerais e, com isto, sugere que o comprometimento ambiental em relação a este MP pode ser mais acentuado que as indicações analíticas sugerem. De fato, se considerarmos que nos ST do JART a fração argilomineral é menor que 25%, a contaminação se situaria em torno de 27 ppm em pelitos com cerca de 50% em argilominerais caulínicos (Figura 21), ou seja: para Al₂O₃ $\approx 19.5\%$. Nestas circunstâncias, os teores de Ni estariam situados além do limiar ERL.

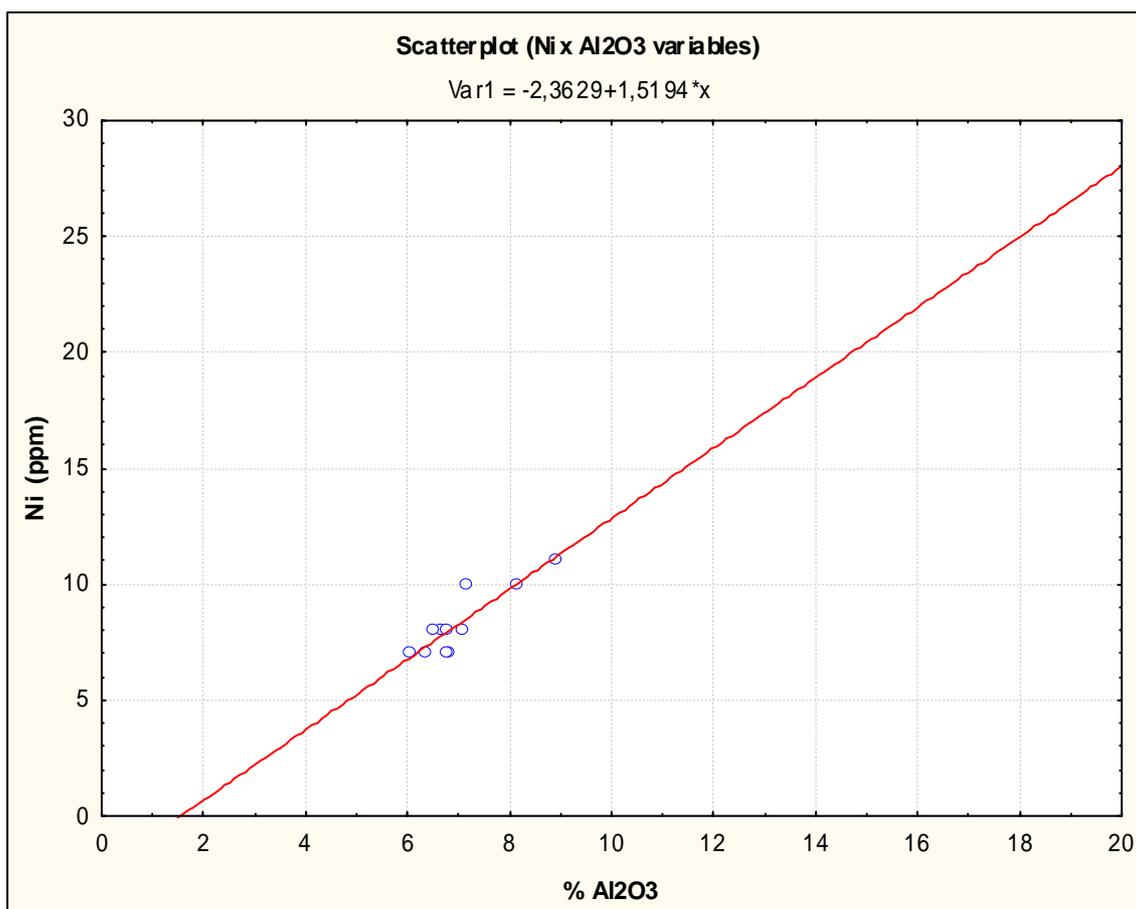


Figura 21: Gráfico de correlação linear entre os valores de Ni e de Al₂O₃, a partir de amostras (n = 11) do perfil de fundo do estuário do rio Timbó, Pernambuco.

As causas que podem explicar os riscos de teores anômalos em Ni nos sedimentos estuarinos do rio Timbó parecem estar associadas a vetores exclusivamente antrópicos. Este MP é utilizado em ligas metalúrgicas como agente antioxidante, na confecção de pilhas e em artefatos metálicos diversos. Suas boas correlações com Fe₂O₃ ($R^2 = 0.95$), com o Cr ($R^2 = 0.90$) e com o V ($R^2 = 0.93$) nos ST do perfil reforçam a hipótese de que parte dos aportes deste MP pode estar vinculada a RSU

insuficientemente tratados. Mesmo em aterros sanitários controlados, os teores em MP em lodos de sedimentação podem ser francamente elevados, a tal ponto que se torna não recomendável seu descarte em solos ou ambientes aquáticos. Em lodos de sedimentação da Unidade de Tratamento de Percolados do Aterro Sanitário da Muribeca, Ramos (2008) detectou teores em Ni variando de 19 a 55 ppm, ou seja, 60-180x o padrão litogênico para folhelhos de Turekian & Wedepohl (1961), chegando inclusive a ultrapassar o limiar do ERM.

Os teores de Zinco (Zn) nos ST do perfil JART são também relativamente baixos, variando entre 29-40 ppm (Tabela 05), muito abaixo do limiar ERL. Exibe tendência em geral ascendente ao longo de todo o perfil. Suas fortes correlações com o Enxofre ($Zn - S = 0.94$) e com o Ferro ($Zn - Fe_2O_3 = 0.85$) levantam a suspeita da presença residual de sulfetos de Zn (esfalerita) nos ST. A relativamente fraca correlação $Zn - Al_2O_3 = 0.62$ sugere muito mais a presença de particulados sulfetados muito finos (possivelmente coloidais), transportáveis em condições hidrodinâmicas de muito baixa energia, conjuntamente a particulados de argilominerais, do que propriamente uma tendência de adsorção a esta fração mineral. Alternativamente, estes compostos sulfetados de Zn podem ter se formado em condições de diagênese precoce, na vasa de fundo, constituindo núcleos micrométricos de precipitação, em caráter de acessório na composição ST não sendo, portanto, detectável em DRX. Nesta via de interpretação, convém ressaltar que os teores de Enxofre também acompanham a tendência crescente do Zn ao longo do perfil.

O status de comprometimento ambiental do estuário do rio Timbó pode ser avaliado pelo “Protocolo de Thomas” (1987), muito recomendado pelos seus rigorosos padrões de proteção ambiental (Tabela 06). De acordo com tais padrões, este status pode ser considerado como “não poluído” para a maioria dos MP referenciados, seguindo uma tendência geral dos sistemas estuarinos do Nordeste brasileiro. A restrição aponta um caráter “moderadamente poluído” para o Cr. O Protocolo de Thomas, entretanto, não referencia o As que, contudo, foi detectado como “poluição confirmada”, pelos critérios ERL-ERM de Long *et al.* (1995). Em ambos os casos, entretanto, o Ni ainda não é apontado como atingindo níveis inquietantes próximos aos limiares críticos de poluição.

Tabela 06: Protocolo de Thomas: parâmetros de grau de poluição dos sedimentos conforme concentração de espécies metálicas (ppm). Comparação com os sedimentos do estuário do rio Timbó.

Metal (ppm)	NÃO POLUÍDO	MODERADAMENTE POLUÍDO	ALTAMENTE POLUÍDO	Estuário rio Timbó (0-32 cm)
Cd	----	-----	6	< 0,5
Cr	< 25	25 – 50	> 50	24 – 49
Cu	< 25	25 – 70	> 70	4 – 6
Ni	< 20	20 – 50	> 50	7 – 11
Pb	< 90	90 – 200	> 200	16 – 21
Zn	< 90	90 – 200	> 200	29 – 40

Fonte: Thomas (1987), com adaptações.

Comparando-se de outra forma o status do estuário do rio Timbó com estuários e sistemas lacustres brasileiros (Tabela 07), com base nos critérios de avaliação sugeridos por Förster & Wittmann (1983), ainda podem ser ressaltadas outras evidências:

- De uma forma geral, os sistemas estuarinos nordestinos apresentam amplitudes mais baixas de contaminação por poluentes metálicos que seus equivalentes das regiões centro-sul do Brasil, mais desenvolvidas do ponto de vista industrial.
- Os sistemas estuarinos e lacustres brasileiros reportados (Tabela 07) estão todos comprometidos por contaminações expressivas de Cr, Ni e inclusive Cu.

Tabela 07: Concentrações (ppm) de algumas espécies metálicas em sedimentos de diferentes regiões estuarinas/lacustres do Brasil.

LOCALIZAÇÃO / REFERÊNCIA	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Estuário Sergipe, SE Passos (2005)	0,07 – 0,46	3,52 – 74,68	4,92 – 32,7	0,3 – 28,21	8,14 – 31,12	7,42 – 89,71
Lagoa dos Patos, RS Braisch <i>et al.</i> (1998)	0,1 - 20	8 – 3370	0,8 – 20	Nd	8 – 267	20 – 241
Sistema estuarino, Ilha Vitória, ES Jesus <i>et al.</i> (2004)	Nd	35 – 280	5 – 660	6 – 245	5 – 292	27 – 812
Baía de Sepetiba, RJ Lacerda <i>et al.</i> (1987) Marins <i>et al.</i> (1998)	0,017 – 0,16	23,9 – 121	2,1 – 166	Nd	6,5 – 85,7	18,1 – 795
Estuário Manguaba, AL Lima (2007)	< 0,5	21 – 51	8 – 14	6 – 13	20 – 30	31 – 65
Estuário Timbó, PE (este estudo)	< 0,5	24- 49	4 – 6	7 – 11	16 – 21	29 - 40
Estuários não impactados. Förster & Wittmann (1983)	0,2	0,3	0,2	0,2 – 0,5	7,4 – 53,8	47 – 50

Diagramação: o Autor.

Em síntese, se utilizarmos diferentes critérios de avaliação disponíveis na literatura, o estuário do rio Timbó apresenta os seguintes indicações confirmadas de contaminação restritiva em MP:

- Cr – Ni – Cu Cd (?)^(*) - Zn^(**) = conforme critérios de Förster & Wittmann
- Cr = conforme critérios de Thomas (1987)
- As (> ERL) Ni (> ERL ?)^(**) = conforme critérios de Long *et al.* (1995)

(*) = Limite de detecção para Cd (< 0.5 ppm), neste estudo, insuficiente para confirmação;
(**) = Estimado pela consideração de um sedimento com: argilominerais ≈ 50% ST.

De uma forma geral, o século XX é caracterizado por uma evolução crescente nos teores de MP no estuário do rio Timbó, e também em outros estuários nordestinos (Figuras 22 e 23). Esta característica parece ser ainda mais marcante a partir da década de 70, como conseqüência de notório crescimento demográfico e industrial, não disciplinados por um acompanhamento proporcional de instalações para tratamento de efluentes urbanos e industriais, e inclusive dos RSU.

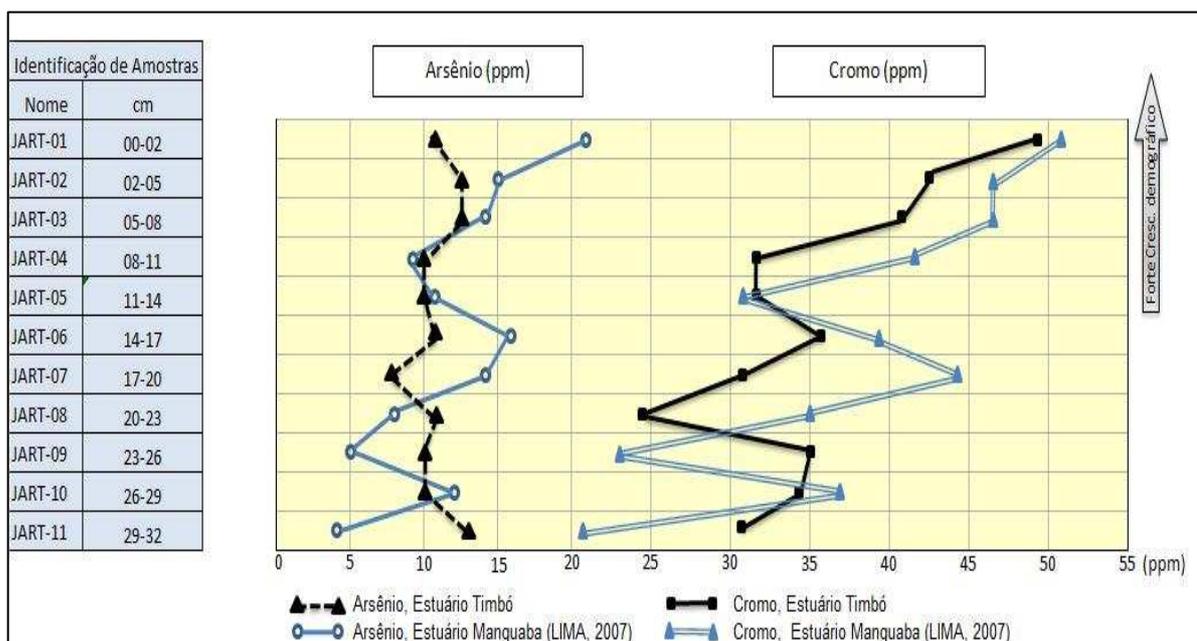


Figura 22: Variação em As e Cr nas últimas décadas (cerca de um século) nos estuários do rio Manguaba (LIMA, 2007) e do rio Timbó (este estudo).

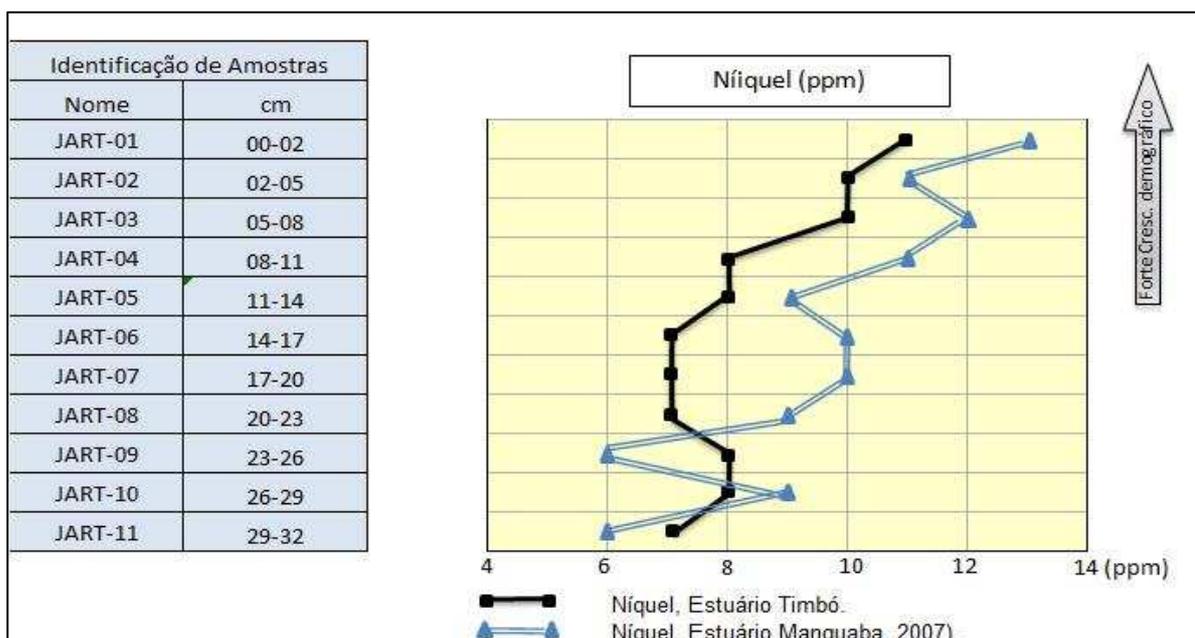


Figura 23: Variação em Ni nas últimas décadas (cerca de um século) nos estuários do rio Manguaba (LIMA, 2007) e do rio Timbó (este estudo).

O crescimento de teores em MP, notadamente nas últimas décadas, deve ser considerado um marcador geoquímico nos sedimentos estuarinos no Nordeste brasileiro, mesmo descontando-se o fato que sejam muito correlacionados à adsorção em argilominerais, fração mineral que, eventualmente, também tem sido crescente em ST, no mesmo período de tempo.

4.5. RELAÇÕES ENTRE HIDROGEOQUÍMICA E REGISTROS SEDIMENTARES

Os dados da literatura entre relações hidrogeoquímica das águas e respectivas assinaturas geoquímicas em sedimentos se reportam quase exclusivamente ao estudo de variações físico-químicas dos ambientes aquáticos (habitualmente, o solvente testado é apenas H₂O ionizada ou destilada) e as respectivas conseqüências do ponto de vista de formação de minerais em CNTP. Dentre os trabalhos abrangentes e precursores, se destacam Garrels & Christ (1967) e Berner (1971). Sobre o comportamento de MP em sistemas aquáticos, o também abrangente trabalho de Förstner & Wittmann (1983) tem sido muito referenciado.

Neste estudo, tentar-se-á um ensaio de correspondência entre registros pretéritos de condições físico-químicas do meio aquático estuarino do rio Timbó, com respectivas características sedimentares e geoquímicas dos sedimentos sincrônicos. As dificuldades de existência e recuperação de dados sistemáticos antigos, interessando hidrogeoquímica de sistemas aquáticos estuarinos, tem sido um óbice para a tentativa de se estudar este tipo de correlação. Neste caso, os dados provêm de Figueiredo *et al.* (2007), que comportam leituras anuais de 1984 e 2003, tomando-se como referencial análises correspondentes a amostragens realizadas no mês de outubro daqueles anos. O mês de outubro foi escolhido por se tratar de uma época de baixa pluviosidade, a fim de se evitar ou limitar significativamente os efeitos de “overland runoff”.

O perfil JART se situa entre as estações E2 e E3 (vide figura 01) monitoradas em Figueiredo *et al.* (2007). Para o estabelecimento de relações entre características hidrogeoquímicas do meio aquático e as correspondentes assinaturas geoquímicas nos sedimentos, são utilizados os seguintes parâmetros, abaixo indicados.

- Parâmetros hidrogeoquímicos: OD e transparência.
- Parâmetros da sedimentação/geoquímica dos sedimentos: Fração carbonática ST, teores em Enxofre e índices C/N.

Neste estudo, todos os parâmetros hidrogeoquímicos disponíveis consideram amostragem apenas de águas superficiais, em condições de baixa-mar, evitando-se as influências de ingressões de águas marinhas, durante as marés altas.

Considerando-se o intervalo de monitoramento hidrogeoquímico (1984-2003), um parâmetro demarcador da evolução da degradação ambiental na área estuarina é o da transparência das suas águas (Tabela 08). Como demonstrado por Figueiredo *et al.* (2007), e como se pode perceber nos valores deste parâmetro, a degradação ambiental não somente aumentou no intervalo de tempo monitorado quanto avançou no sentido da foz. Como a transparência tem relação direta com a turbidez, e esta com particulados orgânicos e/ou inorgânicos no meio aquoso, seria inevitável que, havendo um incremento de MO em suspensão, os reflexos seriam denunciáveis pela diminuição dos níveis de OD, no mesmo intervalo de tempo. De fato, em 2003, em ambas as estações de referência, os níveis de OD diminuíram (Tabela 08) a ponto de caracterizarem condições de hipoxia, conforme critérios da USEPA (Ohrel Jr & Register, 2006).

Tabela 08: Relações de parâmetros hidrogeoquímicos e aspectos geoquímicos ST do perfil de fundo JART, estuário do rio Timbó.

ANO	TRANSPARÊNCIA		OD		S	C/N	% CARBONATOS ST
	E-3*	E-2*	E-3*	E-2*			
					JART		
2003	2,85	1,50	2,85	2,61	1,40	14,0	41,6
1984	3,45	1,60	3,45	3,67	1,37	13,6	45,9
	FOZ ⇐⇒		FOZ ⇐⇒				

* = Estação de monitoramento hidrogeoquímico. In: Figueiredo *et al.* (2007).

Um incremento de hipoxia representa melhores de condições para fixação de Enxofre, através da formação de sulfetos em CNTP. A diminuição de OD, em consequência de carga orgânica nas águas contribuiria para diminuição do pH e, admitindo-se que atinja valores de acidez, a consequência seria uma diminuição nas

condições de preservação de cocólitos na vasa, refletindo-se finalmente em correspondente diminuição da fração carbonática em ST (vide tabela 08).

Figueiredo *et al.* (2007) concluíram que “ (...) os influxos continentais continuam sendo as fontes de nutrientes para o estuário, notadamente de N-P, seguindo tendências já assinaladas por Ohrel Jr & Register (2007) sob diferentes condições climáticas, e identificadas sobretudo como de origem antrópica”. De fato, o aumento destes influxos, considerando-se a procedência, se reflete no aumento de valor observado para o índice C/N (vide tabela 08).

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

A observação de perfis de sedimentos de fundo de alguns estuários do Nordeste brasileiro mostra um generalizado comprometimento dos respectivos status tróficos desde várias décadas. Esta tendência é perceptível nas características sedimentares e geoquímicas dos registros sedimentares coetâneos. A taxa de sedimentação média nos ambientes estuarinos pode ser considerada linear ao longo dos últimos 100 anos, desde a segunda década do século XX, conforme evolução controlada^(*) por Lima (2008) no estuário do rio Botafogo: 3.6 mm/ano. De uma forma geral, os primeiros 33 a 35 cm dos perfis, que cobrem mais ou menos os últimos 100 anos, é dominada por pelitos organo-argilosos, mais ou menos homogêneos, cinzentos a quase negros. Nos casos do rio Manguaba-AL (Lima, 2007), rio Botafogo (Lima, 2008) e rio Timbó, a profundidade a partir de 33 a 35 cm, nos perfis de fundo, é demarcada por uma passagem para areias silticas de cores claras. Esta passagem, *grosso modo* correspondente à primeira década do século XX, reflete a resposta dos processos de sedimentação nos estuários, quando a área cultivada de cana-de-açúcar experimentou forte expansão, em detrimento da supressão de extensas áreas virgens de Mata Atlântica nos tabuleiros regionais.

A segunda metade do século XX é caracterizada por forte expansão da ocupação urbana, particularmente a partir da década de 70 na bacia hidrográfica do rio Timbó. Este passo da história da ocupação territorial, de certa forma generalizada no Nordeste brasileiro, é claramente demarcado do ponto de vista geoquímico, nos sistemas estuarinos, por um progressivo aumento de MP nos sedimentos até a atualidade. Estas características se fazem acompanhar, paralelamente, pela degradação ambiental, perceptível e mensurável através de parâmetros físico-químicos das águas, assim como por características geoquímicas dos ST, tais como:

- Diminuição da transparência e dos níveis de OD das águas em regime de baixa-mar, aumento nos níveis dos nutrientes P-nitratos-Si e evolução de hipoxia de montante para jusante ao longo do estuário (Figueiredo *et al.* (2007);

(*) = datações sistemáticas por ²¹⁰Pb.

- Mudanças composicionais ST nas últimas décadas, com aumento da fração argilomineral, com maior fixação de MP, o que representa uma carga crescente de poluição passiva sob condições de complexação relativamente instável.
- Aumento genérico nas composições de alguns MP (principalmente Cr, Ni e As) a ponto de atingir limiares de risco patogênico, conforme os critérios de avaliação adotados neste estudo.

No caso do estuário do rio Timbó constata-se uma importante fração carbonática em ST, certamente formada por carapaças de micro-organismos, aqui considerados como de cocólitos. Esta fração está em declínio nas últimas décadas, acompanhando possivelmente o aumento de carga orgânica no ponto considerado do perfil de fundo, fato que, em princípio se ajusta com a diminuição dos níveis de OD, e possível incremento de pH significativamente ácidos durante a vazante das marés.

Apesar de um número restrito de dados e de medições, os resultados indicaram a possibilidade de se relacionar parâmetros físico-químicos de águas com as características sedimentares e geoquímicas de sedimentos coetâneos de fundo estuarino. Contudo, previsões quantitativas devem ser ainda consideradas precoces.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER A.N., 1970. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. *Geomorfologia*, **20**: 1-26.
- ALTSCHULER Z.S., 1980. The geochemistry of trace elements in marine phosphorites. Part 1. Characteristic abundances and enrichment. *In: Marine Phosphorites*; I.K. Bentor and Scripps Institution of Oceanography (Eds.). Tulsa, *Soc. Econ. Paleont. Mineral.- SEPM, Spec. Publ. 29*: 19-29.
- ANDRADE M.C., 1987. Formação da aglomeração recifense. *In: Estudos Nordestinos sobre crescimento urbano*; L. Jatobá (Ed.). Recife, *Ed. Massangana*, p. 257-291.
- ANDREWS J.E., BRIMBLECOMBE P., JICKELLS T.D. & LISS P.S., 1996. An Introduction to Environmental Chemistry. London, *Blackwell Sci. Publ.*, 198 p.
- AZEVEDO A.C., DALMOLIN R.S.D. & ARAÚJO PEDRON F., 2004 Solos e Ambiente. Santa Maria, *Univ. Santa Maria*, I Fórum, 167 p.
- BARBOSA M.J.O., 2006. Estudos sedimentológicos do estuário do Rio Timbó. Recife, *UFPE-PPGEOC*, Diss. Mestrado, 68 p.
- BARRA C.M., SANTELLI R.E. & ABRÃO J.J., 2000. Arsenic Speciation: A Review. *Quím. Nova*, **23**: 57-59.
- BATES R.L. & JACKSON J.A., 1980. Glossary of Geology. Falls Church, *American Geological Institute*, 713 p. (2nd Ed.).
- BERNER R.A., 1971. Principles of Chemical Sedimentology. New York, *McGraw-Hill*, 223 p.
- BITTENCOURT A.C.S.P., MARTINS V.B. & FLEXOR J.M., 1979. Quaternary Marine Formations of the Coast of the State of Bahia (Brazil). São Paulo, *Atlas do Simpósio Internacional sobre a Evolução Costeira no Quaternário*, p. 232-253.
- BOWEN H.J.M., 1979. Environmental Chemistry of the Elements. London, *Academic Press*, 273 p.
- BRAITSCH O., 1971. Salt deposits: their origin and composition. Berlin, *Springer Verlag*, 272 p.
- BRAISCH P.R., NIENCHESKI F. & LACERDA L.D., 1988. Trace metals distribution in sediments of the Patos Lagoon Estuary, Brazil. *In: U. Seeling L.D., Lacerda & S.R. Patchinerlam (eds.)*. Metals in coastal Environments of Latin America. Berlin, *Springer-Verlag*, 297 p.
- CAMERON W.M. & PRITCHARD D.W., (1963). Estuaries. *In M.N. Hill (ed.): The Sea (vol. 12)*. New York, *Wiley & Sons*, p. 306-324.

- CARVALHO, J.A.R., (2003) Caracterização da Tipologia Paisagística da Faixa Litorânea Sul do Município de Olinda – PE. Fortaleza, *I Seminário Intercontinental de Geociências*, p. 228-236.
- CHAVES M.S., 2000. Mecanismo de cimentação em sedimentos marinhos recentes. Exemplo: *beach rocks* do litoral pernambucano. Rio Claro, *UNESP*, Tese Dout., 236 p.
- CHESTER R., 2000. Marine Geochemistry. London, *Blackwell Sci.*, 491 p.
- COSTA K.M.P. E MACEDO S.J. (1987/1989). Estudo Hidrológico do Rio Timbó. Recife, UFPE/ Dep. Ocean., *Trab. Ocean.*, **20**: 7-34
- CPRH, 2003. Diagnóstico Sócio-ambiental do Litoral Norte de Pernambuco. Recife, CPRH, 214 pp. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/ctudo-secoes-sub.asp?idconteudo=366&idsecao=202>. Acesso em: 04 de dezembro 2008.
- CPRM, 2003. Sistemas de informações geoambientais da região metropolitana do Recife. Recife, *CPRM*, P.A. Pfaltzgraff (Coord.), 119 p. (em CD).
- DEAN W.E., 1999. The carbon cycle and biogeochemical dynamics in lake sediments. *Journal of Paleolimnology*, **21**: 375-393.
- DOMINGUES J.M.L., BITTENCOURT A.C.S.P. & MARTINS, L., 1983. O papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas às desembocaduras dos rios São Francisco (SE-AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). *Rev. Brasil. Geol.*, **11**:227-237.
- FERNANDES J.D., 2006. Adsorção e mobilidade de chumbo em solos, influenciadas pela adição de composto orgânico e carbonato de cálcio. Areia, UFPB/CCA, Diss. Mestrado, 57 p.
- FIGUEIREDO J.A., MENOR E.A., NORIEGA C.E.D., BRANCO E.S. & MONTES M.J.F., 2007. Evolução físico-química de águas do estuário do rio Timbó: um caso de reavaliação ambiental (1984-2003). Recife, UFPE, *Estudos Geol.*, **17(1)**: 85-104.
- FÖRSTNER U. & WITTMANN G.T.W., 1983. Metal pollution in the aquatic environments. Berlin, *Springer Verlag*, 486 p.
- GARRELS R.M. & CHRIST C.L., 1967. Equilibre des minéraux et de leurs solutions aqueuses. Paris, *Gauthier-Villars*, 322 p.
- GORNITZ V., LEBEDEFF S. & HANSEN J., 1982. Global sea level trend in the past century. *Science*, **215**: 1611.
- HOPKINSON C.S. & VALLINO J.J., 1995. The relationships among man's activities in watersheds and estuaries: a model of runoff effects on patterns of estuarine community metabolism. *Estuaries*, **18**: 598-621.

- HU J., PENG P., JIA G., MAI B. & ZHANG G., 2006. Distribution and sources of organic carbon, nitrogen and their isotopes in sediments of the subtropical Pearl River estuary and adjacent shelf, Southern China. *Marine Chemistry*, **98**: 274-285.
- IBGE, 2009. Taxa da população absoluta do município do Paulista-PE. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br>> Acesso em: 30/09/09.
- IPCC, 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Paris, *IPCC Secretariat*, 18 p.
- JESUS H.C., COSTA E.A., MENDONÇA A.S.F. & ZANDONADE E., 2004. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória-ES. *Química Nova*, **27**:378-386.
- KAUL L.W. & FROELICH P.N., 1984. Modelling estuarine nutrient geochemistry in a simple system. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **148**: 1417-1433.
- LACERDA L.D., PFEIFFER W.C. & FISZMAN M., 1987. Heavy metal distribution, availability and fate in Sepetiba Bay, S.E. Brazil. *Sci. Tot. Environ.* **65**:163-173.
- LERMAN A., 1979. Geochemical Process: Water and sedimentary environments. New York, *Wiley & Sons*, 459 p.
- LIMA M.M.R.B.F., 2007. Diagnóstico da evolução de algumas espécies químicas e matéria orgânica, em perfil sedimentar holocênico no estuário do rio Manguaba, Estado de Alagoas. Recife, *UFPE/PPGEOC*, Diss. Mestrado, 54 p.
- LIMA E.A.M., 2008. Avaliação da qualidade dos sedimentos e prognóstico geoquímico ambiental da zona estuarina do rio Botafogo, Pernambuco. Recife, *UFPE/PPGEOC*, Tese Dout., 172 p.
- LIU X., HUANG F. & WANG P., 2008. Plumbum contamination detection model for agricultural soil using hyperspectral data. *Proceedings of the SPIE*, **7145**: 71450P-71450P-11.
- LONG E.R., MacDONALD D.D., SMITH S.L. & CALDER F.D., 1995. Incidents of biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, **19**: 81-97.
- MABESOONE J.M. & ALHEIROS M.M., 1988. Origem da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba. S. Paulo, *Rev. Brasil. Geoc.*, **18(4)**: 476-482.
- MABESOONE J.M. & CASTRO C., 1975. Desenvolvimento Geomorfológico do Nordeste brasileiro. Recife, *Bol. Soc. Brasil. Geol.*, **3**: 5-36.

- MANSO V.A.V., LIMA FILHO A.T., MEDEIROS A.B., PEDROSA F.J., MARTINS, M.H.A., MENEZES M.O.B., CHAVES N.S., KATER K., COUTINHO P.N., LIRA A.R.A. & OLIVEIRA L. A., 1992. Macrozoneamento costeiro do litoral de Pernambuco – Folha Itamaracá (SB-25-Y-C-VII). Recife, LGGM-DEMI UFPE/CPRH. Relatório Técnico, 45 p.
- MARINS R.V., LACERDA L.D., PARAQUETTI H.H.M., PAIVA E.C. & VILLAS BOAS R.C., 1998. Geochemistry os Mercury e sediments of a sub-tropical coastal lagoon, Sepetiba Bay, South-eastern Brazil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **61**: 57-64.
- LIMA FILHO M., BARBOSA J.A., NEUMANN V.H. & SOUZA E.M., 2005. Evolução estrutural comparativa da Bacia de Pernambuco e da Bacia da Paraíba. *In*: V Simp. Nac. Estudos Tectônicos (SNET), SBG, Res. Exp., p. 45-47.
- MEYERS P.A., 2003. Applications of organic geochemistry to paleolimnologic reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. *Organic Geochem.*, **27**: 213-250.
- MEYERS P.A., ISHIWATARY R., 1993. Lacustrine organic geochemistry: a overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. *Organic Geochem.*, **20**: 867-900.
- MEYERS P.A. & TERANES J.L., 2001. Sediment organic matter. *In* W.M. Last & J.P. Small (Eds.): Tracking Environmental Changes Using Lake Sediments. Volume II: Physical and Chemical Techniques. Dordrecht, *Kluwer-Springer Verlag.*, p. 239-269.
- MILLOT G., 1971. Geology of Clays. Berlin, *Springer Verlag*, 388 p.
- NIMER E., 1979. Pluviometria e Recursos Hídricos dos Estados de Pernambuco e Paraíba. Rio de Janeiro, *IBGE*, 128p.
- OHREL Jr. R.L. & REGISTER K.M., 2006. Volunteer Estuary Monitoring: A Methods Manual (2nd Ed.). Washington, *USEPA*, Techn. Doc. EPA-842-B-06-003, 396 p.
- PASSOS E.A., 2005. Distribuição de Sulfeto volatilizado em meio ácido e metais pesados em sedimentos do estuário do Rio Sergipe. São Cristóvão, Univ. Fed. Sergipe, Núcleo Pós-Grad. Química, Dissertação de Mestrado. 141 p.
- PREVÔT L. & LUCAS J., 1980. Behavior of some trace elements in phosphatic sedimentary formations. *In*: Marine Phosphorites; I.K. Bentor and Scripps Institution of Oceanography (Eds.). Tulsa, *Soc. Econ. Paleont. Mineral.- SEPM*, Spec. Publ. **29**: 31-38.
- RAMOS J.B.E., 2008. Estudo da viabilidade técnica dos processos de georremediação e oxidação úmida para tratamento de percolados de aterros sanitários (chorume da ETP-Muribeca: um estudo de caso). Recife, *UFPE-PPGEOC*, Tese Dout., 138 p.

- SIQUEIRA G.W., LIMA W.N., MENDES A.S., APRILE F.M., BRAGA E.S. & MAHIQUESM.M., 2004. Evolução do impacto ambiental causado por matéria orgânica, mercúrio e arsênio nos sedimentos de fundo do sistema estuarino de Santos. *Geochim. Brasiliensis*, **18**: 54-63.
- SOUZA W.F.L., KNOPPERS B., BALZER W. & LEIPE T., 2003. Geoquímica e fluxo de nutrientes: Ferro e manganês para a costa leste do Brasil. SBCq, *Geochim. Brasil.*, **17(2)**:130-144.
- TUCKER M. & WRIGHT V.P., 1990. Carbonate Sedimentology. London, *Blackwell Sci. Publ.*, 421 p.
- TEREKIAN K.K. & WEDEPOHL K.H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the Earth crust. New York, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **72(2)**: 175-192.
- THOMAS R.L., 1987. A Protocol for the selection of process-oriented remedial options to control in situ sediment contaminants. *Hidrobiologia*, **149**:247-248.
- WARREN J.K., 1989. Evaporite sedimentology. New Jersey, *Prentice Hall*, 250 p.

ANEXOS

Resultado das Análises Laboratoriais Realizadas.

Analyte Symbol	Hg	SiO2	Al2O3	Fe2O3(T)	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	LOI	Total	Au	Ag	As
Unit Symbol	ppb	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppb	ppm	ppm
Detection Limit	5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.005	0.01		0.01	5	0.5	2
Analysis Method	Hg-FIMS	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	INAA	MULT INAA / TD-ICP	INAA
JART-01		36,16	8,88	2,49	0,02	2,02	19,78	1,28	1,52	0,401	0,14	25,45	98,14	< 5	< 0.5	11
JART-02	58	36,12	8,13	2,28	0,02	2,09	20,97	1,26	1,5	0,391	0,14	25,38	98,27	< 5	< 0.5	13
JART-03		34,93	7,14	2,15	0,02	2,16	21,97	1,35	1,55	0,341	0,14	26,26	98,03	< 5	< 0.5	13
JART-04		37,08	6,63	2,06	0,02	2,08	21,83	1,36	1,49	0,305	0,14	25,68	98,67	< 5	< 0.5	10
JART-05		38,01	7,05	1,94	0,02	2,06	21,9	1,28	1,5	0,326	0,13	24,79	99,01	< 5	< 0.5	10
JART-06	49	35,97	6,34	1,81	0,02	2,08	23,03	1,26	1,49	0,31	0,12	25,64	98,08	< 5	< 0.5	11
JART-07		36,15	6,04	1,7	0,02	2,04	23,21	1,28	1,54	0,305	0,12	25,62	98,03	< 5	< 0.5	8
JART-08		36,32	6,8	1,78	0,02	2,07	23,09	1,17	1,46	0,376	0,1	26,56	99,75	< 5	< 0.5	11
JART-09		35,23	6,76	1,82	0,02	2,05	22,16	1,49	1,46	0,324	0,11	26,58	98	< 5	< 0.5	10
JART-10		35,56	6,49	1,83	0,02	2,01	21,98	1,46	1,56	0,311	0,14	26,64	98	< 5	< 0.5	10
JART-11	47	34,45	6,74	1,8	0,02	2,04	22,15	1,42	1,59	0,328	0,14	27,48	98,16	< 5	< 0.5	13

Analyte Symbol	Ba	Be	Bi	Br	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	Hf	Hg	Ir	Mo	Ni	Pb	Rb	S	Sb	Sc	Se	Sr
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm	ppm	PPB	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	3	1	2	1	0.5	1	1	0.5	1	0.5	1	5	2	1	5	20	0.001	0.2	0.1	3	2
Analysis Method	MULT INAA/FUSICP	FUS-ICP	TD-ICP	INAA	TD-ICP	INAA	INAA	INAA	TD-ICP	INAA	INAA	INAA	TD-ICP	TD-ICP	TD-ICP	INAA	TD-ICP	INAA	INAA	INAA	FUS-ICP
JART-01	453	1	< 2	27	< 0.5	4	49	2,2	6	9	< 1	< 5	< 2	11	21	40	1,4	< 0.2	4,5	< 3	1476
JART-02	426	1	< 2	25	< 0.5	4	43	< 0.5	5	9,1	< 1	< 5	< 2	10	19	< 20	1,3	< 0.2	4,3	< 3	1564
JART-03	423	1	< 2	27	< 0.5	4	41	< 0.5	5	9	< 1	< 5	< 2	10	18	50	1,37	0,4	3,8	< 3	1669
JART-04	455	1	< 2	27	< 0.5	4	32	< 0.5	4	7,8	< 1	< 5	< 2	8	19	50	1,37	< 0.2	3,4	< 3	1716
JART-05	467	1	< 2	25	< 0.5	3	32	2,2	4	9	< 1	< 5	< 2	8	17	< 20	1,18	< 0.2	3,5	3	1747
JART-06	469	1	< 2	24	< 0.5	3	36	< 0.5	4	9	< 1	< 5	< 2	7	16	< 20	1,11	< 0.2	3,4	< 3	1773
JART-07	471	< 1	< 2	24	< 0.5	4	31	< 0.5	4	10,1	< 1	< 5	< 2	7	16	< 20	0,98	< 0.2	3,2	< 3	1815
JART-08	526	1	< 2	27	< 0.5	3	24	< 0.5	4	9,5	< 1	< 5	< 2	7	16	< 20	1	< 0.2	3,2	< 3	1695
JART-09	465	1	< 2	31	< 0.5	4	35	2	6	8,3	< 1	< 5	< 2	8	21	< 20	1,04	< 0.2	3,5	< 3	1745
JART-10	492	< 1	< 2	31	< 0.5	3	34	1,5	5	7,7	< 1	< 5	< 2	8	18	40	0,931	< 0.2	3,4	< 3	1737
JART-11	502	1	< 2	32	< 0.5	4	31	1,3	5	7,3	< 1	< 5	< 2	7	18	< 20	0,759	0,3	3,5	< 3	1771

Analyte Symbol Unit Symbol Detection Limit Analysis Method	Ta	Th	U	V	W	Y	Zn	Zr	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Mass
	ppm	ppm	ppm	Ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	G
	1	0.5	0.5	5	3	1	1	2	0.2	3	5	0.1	0.1	0.5	0.1	0.05	
	INAA	INAA	INAA	FUS- ICP	INAA	FUS- ICP	TD- ICP	FUS- ICP	INAA	INAA	INAA	INAA	INAA	INAA	INAA	INAA	INAA
JART-01	< 1	7,8	3,2	39	< 3	19	39	349	40,3	70	24	5	1,3	< 0.5	1,7	0,25	1,245
JART-02	< 1	8,1	4,6	35	< 3	16	39	392	39,1	71	29	4,9	1,3	< 0.5	2	0,29	1,446
JART-03	< 1	6,9	2,4	34	< 3	18	39	350	33,6	67	27	4,3	0,8	< 0.5	1,5	0,34	1,487
JART-04	< 1	6,9	2,6	27	< 3	14	40	320	29,7	56	25	3,9	0,7	< 0.5	1,4	0,22	1,407
JART-05	< 1	6,3	2,4	27	< 3	15	35	364	32,6	59	22	4,2	1	< 0.5	1,4	0,22	1,474
JART-06	< 1	7,4	4	27	< 3	20	35	375	32,9	56	27	4,3	1,1	< 0.5	1,4	0,24	1,547
JART-07	< 1	6,9	3,8	21	< 3	14	29	415	31,4	59	20	4,1	0,7	< 0.5	1,8	0,24	1,713
JART-08	1	7,3	4,8	24	< 3	17	30	422	32,1	64	29	4,2	1	< 0.5	1,5	0,31	1,506
JART-09	< 1	7,1	3,8	25	< 3	15	32	355	31,1	56	24	4,1	1	< 0.5	1,5	0,27	1,511
JART-10	< 1	6,6	2,4	25	< 3	14	31	347	30,8	63	27	4,2	1	< 0.5	1,5	0,2	1,532
JART-11	< 1	6,9	4,4	27	< 3	16	30	305	32,3	62	18	4,2	0,7	< 0.5	1,5	0,27	1,522

