

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS – CTG

PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**Geoquímica Ambiental dos Sedimentos Estuarinos da
Baia de Suape e da Ilha de Itapessoca, Pernambuco**

TESE DE DOUTORADO

RICARDO FERREIRA DA SILVA

**Recife
2016**

RICARDO FERREIRA DA SILVA

Geógrafo, Universidade Federal de Pernambuco, 2009

Mestre em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2012

TESE DE DOUTORADO:

**Geoquímica Ambiental dos Sedimentos Estuarinos da
Baia de Suape e da Ilha de Itapessoca, Pernambuco**

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como pré-requisito para obtenção do título de doutor.

Orientação:

Prof. Dr. Edmilson Santos de Lima – Orientador

**Recife
2016**

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicêa Alves, CRB-4 / 1260

S586g Silva, Ricardo Ferreira da.

Geoquímica ambiental dos sedimentos estuarinos da Baía de Suape
e da Ilha de Itapessoca, Pernambuco / Ricardo Ferreira da Silva. - 2016.

206folhas, Il.; Tabs.; e Graf.

Orientador: Prof. Dr. Edmilson Santos de Lima.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação Geociências, 2016.

Inclui Referências, e Anexos.

1. Geociências. 2. Sedimentos. 3. Perfis testemunhados.
4. Geoquímica ambiental. 5. Sistema estuarino de Itapessoca. 6.
Baía de Suape. I. Lima. Edmilson Santos de (Orientador). II. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-04

Geoquímica Ambiental dos Sedimentos Estuarinos da Baía de suape e da Ilha de Itapessoca, Pernambuco

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geociências da universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de doutor em Geociências

Aprovada em 27/06/2016

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Edmilson Santos de Lima (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Virgínio Henrique de Miranda Lopes Neumann (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. João Aduino de Souza Neto (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr Déborah Inês Teixeira Fávaro (Examinador Externo)
Comissão Nacional de Energia Nuclear – IPEN – SP

Prof. Dr. Enjôlras de Albuquerque Medeiros Lima (Examinador Externo)
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – SUREG/RE

**“Nada temos que recear
quanto ao futuro, a menos que
esqueçamos a maneira em que o
Senhor nos tem guiado e os
ensinos que nos ministrou no
passado.”**

Ellen G. White

À DEUS, pois por maior
que seja o meu sonho, o sonho de
DEUS é maior.

Ofereço

Aos meus pais, que com
amor e carinho me educaram,
transmitindo as suas virtudes a
mim.

A minha esposa, pois
roubaste o meu coração com
apenas um olhar.

Dedico

Agradecimentos

É chegada a seção mais difícil de ser redigida, uma vez que de forma direta e indireta inúmeras pessoas contribuíram para a minha formação. Não quero ser injusto em deixar de citar algum nome em meus agradecimentos, mas caso ocorra desde já peço perdão por tal indelicadeza.

Inicialmente agradeço à Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Programa de Pós – Graduação em Geociências e ao Departamento de Geologia pela oportunidade de cursar o Doutorado e de usufruir de seus laboratórios e dependências.

À CNPq, pela bolsa de estudos vigente durante todo o doutorado.

Ao Professor Doutor Edmilson Santos de Lima pela orientação e atenção dada em todos os momentos necessários para a elaboração do manuscrito do doutorado.

Ao Dr. Enjôlras de A. Medeiros Lima, pelos ensinamentos na área da geoquímica a respeito da tese e principalmente pela orientação dada na escola da vida, a qual é um verdadeiro professor, onde seus ensinamentos e conselhos serão levados por toda a minha vida e também deixados para a posteridade.

A Dr^a Déborah Inês Teixeira Fávaro, pela honra que é receber os seus ensinamentos e atenção nos momentos que mais precisei para a conclusão da tese.

À Banca examinadora representada pelos professores João Adauto de Souza Neto, Virgínio Henrique de Miranda Lopes Neumann, Marcelo Reis Rodrigues da Silva, Enjôlras de A. Medeiros Lima e Eugenia Cristina Gonçalves Pereira pela atenção, críticas construtivas, observações e tempo gasto com a correção da presente tese de doutorado.

A todos os colegas da Pós – Graduação de Geociências pela solidariedade demonstrada em vibrar com as minhas vitórias e torcendo para realização dos meus sonhos, preferindo não nominá-los para evitar ser injusto em eventuais esquecimentos.

A meus amigos de trabalho que durante o doutorado tem me dado apoio e me estimulam a prosseguir caminhando na vida acadêmica. De forma especial à Romilda e Joelson pela amizade e conselhos dados. E a Nielson Guedes, o historiador mais louco que já conheci, obrigado negão por ser tão tagarela e não me deixar dormir no volante nas idas e vindas ao Instituto Adventista Pernambucano de Ensino – IAPE.

Aos diretores e coordenadores (Fabio, Israel, Lucy, Elgislene, Celi, Dayla e Wadson) da rede Adventista de Educação (Colégio Adventista do Recife – CAR e Instituto Adventista Pernambucano de Ensino - IAPE), por terem paciência todas as vezes que tenho falhado nos prazos de entrega do SAD e provas por estar me dedicando ao doutorado

Ao Gestor da escola Lagoa Encantada Eduardo Generoso, que nunca se opôs a me apoiar, fazendo horários maleáveis para me propiciar mais tempo vago a fim de ter mais tempo para a minha qualificação profissional. E. Generoso você foi muito generoso comigo durante o doutorado (o nome já diz).

Aos meus pais acadêmicos professores Doutores Fernando de Oliveira Mota Filho e Eugenia Cristina Gonçalves Pereira pelos conselhos e apoio dado nos momentos indispensáveis para a minha formação acadêmica.

Ao o Sr. Zezito Leitão e a Sra. Margarida Leitão, que tem orado por meus sonhos e vibrado por minhas vitórias. E principalmente por ter me dado a joia mais preciosa que eles possuíam, meu eterno amor (Daniela Ferreira).

Ao Ser Humaninho Bento (vulgo Bentinho) que todos os dias quando chego em casa cansado após um longo dia exaustivo de trabalho e estudos não me deixa descansar querendo brincar, pense no ser humaninho chato, mas ao final me proporciona momentos de descontração dando-me forças para continuar a quarta jornada, estudos pela madrugada.

Aos meus irmãos, Rogério, Ronaldo e Robson Ferreira pelo apoio incondicional dado em todas as etapas do trabalho. Aos meus sobrinhos, Rodrigo, Rafaela, Rayssa e Raysson aos quais tanto amo.

Um agradecimento especialíssimo é devido aos queridos Sr. Querino Ferreira e a Sr^a. Aldenice Maria por terem sido pais exemplares ao permanecer o tempo todo torcendo pelo meu sucesso profissional e pessoal.

Por não ser bom em me expressar em palavras gostaria de agradecer à minha amada esposa Daniela Ferreira através de um trecho do poema de Vinícius de Moraes que diz: “Amo-te afim, de um calmo amor prestante, E te amo além, presente na saudade. Amo-te, enfim, com grande liberdade dentro da eternidade e a cada instante”. Daniela, você é um presente de DEUS em minha vida. Juntos temos superado desafios impostos pela vida e a cada dia festejamos as vitórias dadas pelo SENHOR.

Ao Grande Arquiteto do Universo, pois os sonhos vêm do homem mais o executar provém do grande mestre celestial, DEUS.

À TODOS, o meu muito OBRIGADO.

RESUMO

Ricardo Ferreira da Silva: Geoquímica Ambiental dos Sedimentos Estuarinos da Baía de Suape e da Ilha de Itapessoca, Pernambuco. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências – PPGEOC, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Junho de 2016.

O Sistema estuarino dos rios Massangana e Tatuoca está localizado no Complexo Industrial Portuário de Suape, área de maior desenvolvimento econômico do estado de Pernambuco. O Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca, está situado próximo ao polo industrial do município de Goiana. Foram testemunhados perfis sedimentares indeformados em nove pontos de amostragem, cada um com três repetições, sendo quatro pontos de amostragem no estuário dos rios Massangana/Tatuoca e cinco no estuário do rio Itapessoca. Os perfis foram levados a laboratório, seccionados a cada cinco centímetros, em seguida as amostras foram postas para secar em estufa a 30°C, e em posteriormente desagregadas e maceradas até chegar a uma granulometria homogeneia do tamanho silte. Posteriormente foram realizadas análises geoquímicas em Espectrômetro de Emissão Atômica, onde foi aferida a concentração de 46 elementos químicos. Destes, 14 elementos (Ag, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr e Zn), por apresentarem maior relevância comportamental que os demais elementos foram selecionados para análise geoquímica e estatística. Devido ao comportamento geoquímico encontrado nos perfis testemunhados no estuário do rio Itapessoca e Massangana, apenas quatro testemunhos coletados foram interpretados em detalhe, sendo dois perfis coletado na baía de Suape e os outros dois no estuarino do rio Itapessoca. Os parâmetros obtidos a partir das amostras dos perfis foram submetidos às análises estatísticas de Matriz de Correlação e Análise de Componentes Principais, como também foram elaborados gráficos evolutivos univariados. Para o estuário do rio Massangana/Tatuoca, merecem destaque os elementos químicos: Ag, As, Cu, Hg, Ni e Sb, sendo que os quatro primeiros apresentaram concentrações entre os limiares de toxicidade *Effect Range Low* - ERL e *Effect Range Medium* - ERM. As concentrações destes elementos estão acima das que são encontrados em outros estuários pernambucanos. Com relação ao estuário do rio Itapessoca, destacam-se o As, Cu, Ni e Hg, onde os três primeiros elementos apresentaram concentração entre o ERL e ERM. O mercúrio foi o elemento que apresentou o maior risco ambiental por apresentar concentração acima do ERM. Diversos trabalhos mostram que os altos valores de Hg encontrados no rio Botafogo e no Canal de Santa Cruz são oriundos do lançamento de efluentes industriais. Devido à ligação hídrica entre o canal de Santa Cruz e o estuário do rio Itapessoca os sedimentos com valores de Hg acima dos níveis de qualidade ambiental estabelecidos pela USEPA, devem estar relacionados com as anomalias identificadas no rio Botafogo e Canal de Santa Cruz. Suape, por se tratar de uma área industrial consolidada, já se esperava que alguns elementos geoquímicos apresentassem anomalias em sua concentração, no entanto o estuário do rio Itapessoca por se tratar de uma área de baixa atividade industrial esperava-se que as concentrações dos elementos químicos estivessem dentro dos níveis de base, e não apresentassem contaminações antropogênicas, porém as altas concentração de Hg neste ambiente é devida a atividade tecnogênica. Desta forma faz-se necessário a realização de monitoramento e fiscalização ambiental dos estuários dos rios Massangana e Itapessoca por parte dos órgãos governamentais responsáveis.

Palavras-Chaves: Sedimentos, perfis testemunhados, Geoquímica ambiental, Sistema Estuarino de Itapessoca, Baía de Suape.

ABSTRACT

Ricardo Ferreira da Silva: Environmental Geochemistry Estuarine Sediments of the Bay of Suape and Itapessoca Island, Pernambuco. Doctoral thesis. Geosciences Post Graduate Program - PPGEOC, Pernambuco Federal University - UFPE. June 2016.

The Massangana and Tatuoca rivers estuarine system of Suape is located in the Suape Industrial Port Complex, the largest area of economic development of the state of Pernambuco. The Itapessoca Island estuarine system, is located near the industrial district of the city of Goiana. In these two areas nine sedimentary core samples, each with three replicates, were collected. Four sample points were in the Massangana/Tatuoca rivers estuarine area and five in the Itapessoca river estuary. The core samples sectioned every five centimeters, and then the subsamples were oven dried at 30°C, and subsequently disaggregated and macerated to reach a homogeneous silt particle size. Afterwards geochemical analyzes were performed on Atomic Emission Spectrometer to determine the concentration of 46 chemical elements. Fourteen of these elements (Ag, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr and Zn), due to their relevance, were selected to conduct the geochemical and statistical analysis. Only four cores, among the nine collected, were interpreted in detail, being two from each estuarine area. The parameters obtained from the core samples were subjected to statistical analysis (Correlation Matrix, Principal Component Analysis,). Individual element evolutionary graphics were also produced. From the Massangana/Tatuoca river estuary are worth mentioning the following chemical elements: Ag, As, Cu, Hg, Ni and Sb, and the first four showed concentrations between the thresholds of toxicity Effect Range Low-ERL and Effect Range Medium-ERM. The concentrations of these elements are above that are found in other estuarine areas in Pernambucano. Regarding the Itapessoca river estuary, we highlight As, Cu, Ni and Hg, where the first three elements presented concentration between ERL and ERM. Mercury was the element that presented the greatest environmental risk because its concentrations in were above the ERM threshold. Several studies show that high Hg values found in the river Botafogo and Santa Cruz Channel come from the release of industrial effluents. The sediments which presented Hg values above environmental quality standards set by the USEPA should be related to the anomalies identified in the river Botafogo and Santa Cruz Channel, due to the water connection between the channel of Santa Cruz and the Itapessoca river estuary. Suape, because it is a consolidated industrial area, it was expected that some elements presented geochemical anomalies in its concentration, however in the Itapessoca river estuary, an area of low industrial activity, it was expected that the concentrations of the chemical elements were within the base levels, and did not present anthropogenic contamination. Therefore, the high concentration of mercury in the environment in the Itapessoca area is due to anthropogenic activity. Thus it is necessary to carry out environmental monitoring and supervision by the responsible government agency of the estuary areas of the rivers Itapessoca and Tatuoca/Massangana.

Key Words: Sediment, core profiles, environmental geochemistry, Itapessoca Estuarine System, Bay of Suape.

SUMÁRIO

Capítulo I: Introdução	21
1.1 METAIS PESADOS	23
1.2 CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DO ANTIMÔNIO, ARSÊNIO, CHUMBO E MERCÚRIO	24
1.2.1 Propriedades	24
1.2.2 Geoquímica	25
1.2.3 Aspectos da Geologia Médica	26
1.3 BIOQUÍMICA VS. TOXICOLOGIA	28
1.4 ESTUÁRIOS	33
1.4.1 Hidrodinâmica estuarina	33
1.4.2 Sedimento Estuarino	34
1.5 OBJETIVOS	35
1.5.1 Objetivos Gerais	35
1.5.2 Objetivos Específicos	36
 Capítulo II: Descrição da Área de Estudo	37
2.1 LOCALIZAÇÃO	38
2.2 GEOLOGIA	38
2.2.1 Bacia Paraíba	40
2.2.1.1 Formação Beberibe	40
2.2.1.2 Formação Itamaracá	41
2.2.1.3 Formação Gramame	41
2.2.1.4 Formação Maria Farinha	41
2.2.1.5 Formação Barreiras	41
2.2.1.6 Sedimentos recentes	42
2.2.2 Bacia Pernambuco	42
2.2.2.1 Formação Cabo	42
2.2.2.2 Suíte Magmática de Ipojuca	42
2.2.2.3 Formação Estiva	43
2.2.2.4 Formação Algoduais	43
2.2.2.5. Formação Barreiras	43
2.2.2.6 Sedimentos recentes	43
2.3 CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS	43
2.3.1 Clima	43
2.3.2 Geomorfologia	45
2.3.3. Vegetação	48
 Capítulo III: Materiais e Métodos	50
3.1. COLETA DE PERFIS SEDIMENTARES NÃO DEFORMADOS	51
3.2. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS E ANÁLISE GEOQUÍMICA	52
3.2.1. Seccionamento dos Perfis	52
3.2.2 Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente - ICP-OES	53
3.3 ÍNDICES DE QUALIDADE AMBIENTAL	53
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	56
3.4.1 Matriz de Correlação	56
3.4.2 Análise de Componentes Principais – ACP	56

Resultados e Discussão	58
Capítulo IV: Avaliação geoquímica dos sedimentos sobre a influência tecnogênica da zona estuarina da Baía de Suape: Rio Massangana/Tatuoca (Complexo Industrial Portuário de Suape)	59
4.1 AVALIAÇÃO GERAL DOS DADOS GEOQUÍMICOS DOS SEDIMENTOS ESTUARINOS DA BAIÁ DE SUAPE, RIOS MASSANGANA E TATUOCA	60
Capítulo V: Avaliação geoquímica dos sedimentos do Antropoceno, testemunhado no ponto de amostragem S6, da Baía de Suape sobre a influência dos estuário dos rios Massangana e Tatuoca	69
5.1 CARACTERIZAÇÃO E DISCUSSÃO GEOQUÍMICA DO PERFIL S6	70
5.2 ANALISE GEOQUÍMICA (MATRIZ DE CORRELAÇÃO - MC E ANALISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS - ACP) DO PERFIL TESTEMUNHADO NO PONTO DE AMOSTRAGEM S6	96
Capítulo VI: Avaliação geoquímica dos sedimentos do Antropoceno, testemunhado no ponto de amostragem S7, localizado na Baía de Suape	100
6.1 CARACTERIZAÇÃO E DISCUSSÃO GEOQUÍMICA DO PERFIL S7	101
6.2 ANALISE GEOQUÍMICA (MATRIZ DE CORRELAÇÃO - MC E ANALISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS - ACP) DO PERFIL TESTEMUNHADO NO PONTO DE AMOSTRAGEM S7	127
Capítulo VII: Avaliação geoquímica dos sedimentos Antropoceno do Complexo Estuarino do rio Itapessoca (Complexo Industrial de Goiana)	131
7.1 AVALIAÇÃO GERAL DOS DADOS GEOQUÍMICOS DO ESTUÁRIO DO RIO ITAPESSOCA	132
Capítulo VIII: Avaliação geoquímica dos sedimentos sobre influência da ação antrópica, testemunhado no ponto de amostragem I2, estuário do rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	139
8.1 CARACTERIZAÇÃO E DISCUSSÃO GEOQUÍMICA DO PERFIL I2	140
8.2 ANALISE GEOQUÍMICA (MATRIZ DE CORRELAÇÃO - MC E ANALISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS - ACP) DO PERFIL TESTEMUNHADO NO PONTO DE AMOSTRAGEM I2	159
Capítulo IX: Avaliação geoquímica do perfil sedimentar I3 coletado no estuário do rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	163
9.1 CARACTERIZAÇÃO E DISCUSSÃO GEOQUÍMICA DO PERFIL I3	164
9.2 ANALISE GEOQUÍMICA (MATRIZ DE CORRELAÇÃO - MC E ANALISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS - ACP) DO PERFIL TESTEMUNHADO NO PONTO DE AMOSTRAGEM I3	179
Capítulo X: Conclusões	183
Referências Bibliográficas	187
Anexos	197

LISTA DE TABELAS

Capítulo I: Introdução

1.1: Conceituação de Metais Pesados	23
1.2: Descrição das propriedades físico-químicas do Antimônio, Arsênio, Chumbo e Mercúrio	24
1.3: Concentração média (em ppb) do antimônio, Arsênio, Chumbo e Mercúrio em diferentes ambientes	25
1.4: Efeito da concentração de Chumbo na Corrente Sanguínea (Pb – S) em crianças e adultos	27
1.5: Principais patologias causadas pela intoxicação de Mercúrio	28
1.6: Os Elementos mais abundantes do corpo humano (a partir do peso seco)	29
1.7: Valores padrões de ERL e ERM para os nove metais pesados descritos pela USEPA	33

Capítulo II: Descrição da Área de Estudo

Capítulo III: Materiais e Métodos

3.1: Descrição da localização do perfis coletados no rio Massangana/Tatuocagana e Itapessoca	52
3.2: Valores <i>Backgrounds</i> da Crosta, <i>Shale</i> , Solos de Suape e Estuários de Pernambucano, adotados para a realização dos cálculos do Fator de Enriquecimento e Índice de Geoacumulação	55

Resultados e Discussão

Capítulo IV: Avaliação geoquímica dos sedimentos sobre a influência tecnogênica da zona estuarina da Baía de Suape: Rio Massangana/Tatuoca – Complexo Industrial Portuário de Suape

4.1: Concentração dos elementos químicos em Perfis da Baía de Suape – PE (Complexo portuário de Suape)	61
4.2: A possível idade de cada secção dos perfis S6, S7, S8 e S9 (Marins <i>et al.</i> , 2004; Souza 2013)	67

Capítulo V: Avaliação geoquímica dos sedimentos do Antropoceno, testemunhado no ponto de amostragem S6, da Baía de Suape sobre a influência dos estuário dos rios Massangana e Tatuoca

5.1: Valores padrões de ERL (<i>Effect Ranger Low</i>) e ERM (<i>Effect Ranger Medium</i>) para os nove metais pesados descritos pela USEPA.	71
5.2: Valores de referência para Mo e Sb (CETESB, 2001)	72
5.3: Faixas de concentração média de S, Fe, Cu e Sb de uma garrafa Pet produzida no Brasil (Shimamoto, 2011).	94

Capítulo VI: Avaliação geoquímica dos sedimentos do Antropoceno, testemunhado no ponto de amostragem S7, localizado na Baía de Suape

Capítulo VII: Avaliação geoquímica dos sedimentos antropogênicos do Complexo Estuarina do rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana

7.1: Concentração dos elementos químicos em perfil do rio Itapessoca – PE (Complexo Industrial de Goiana)	133
---	-----

7.2: A possível idade de cada secção dos perfis I2, I3, I4 e I5 (Marins *et al.*, 2004; Lima 2008; Souza 2013) 137

Capítulo VIII: Avaliação geoquímica dos sedimentos sobre influência da ação antrópica, testemunhado no ponto de amostragem I2, estuário do rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana

Capítulo IX: Avaliação geoquímica do perfil sedimentar I3 coletado no estuário do rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana

Capítulo X: Conclusões

Referências Bibliográficas

Anexos

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I: Introdução

- 1.1: Rota metabólica dos elementos ou compostos químicos com elevada toxicidade intrínseca 31
- 1.2: Tabela periódica contendo os Elementos essenciais e tóxicos para os seres humanos 32
- 1.3: Ilustração de uma cunha salina e sua interação com o fluxo estratigráfico de um estuário 34

Capítulo II: Descrição da Área de Estudo

- 2.1: Mapa de localização dos estuários dos rios Itapessoca e Massangana/Tatuoca 38
- 2.2: Mapas de delimitação das bacias Paraíba e Pernambuco (Barbosa & Lima Filho, 2006) 39
- 2.3: Coluna estratigráfica das bacias Paraíba e Pernambuco (Barbosa, 2007 e modificado por Moraes, 2008) 40
- 2.4: Mecanismos de instabilidade climática que atuam no litoral pernambucano 45
- 2.5: Imagem do estuário do rio Itapessoca, exemplo de Estuário do tipo *ria* 47
- 2.6: Imagem do estuário do rio Massangana/Tatuoca, exemplo de Estuário do tipo laguna costeira estuarina 47

Capítulo III: Materiais e Métodos

- 3.1: Mapa dos pontos de amostragem dos perfis coletados nos pontos de amostragens S6, S7, S8 e S9 localizados nos rios Massangana/Tatuoca - Complexo Industrial Portuário de Suape 51
- 3.2: Mapa dos pontos de amostragem dos perfis coletados nos pontos de amostragens I1, I2, I3, I4 e I5 localizados no Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca - município de Goiana 52
- 3.3: coletor cilíndrico de policloreto de polivinila broca inox com revestimento interno de polímero sintético 53
- 3.4: Seccionamento dos testemunhos para a realização de análises geoquímicas 53

Resultados e Discussão

Capítulo IV: Avaliação geoquímica dos sedimentos sobre a influência tecnogênica da zona estuarina da Baía de Suape: Rio Massangana/Tatuoca – Complexo Industrial Portuário de Suape

- 4.1: Gráficos da Matriz de Correlação da Baía de Suape (Complexo Portuário de Suape) – Todos os Perfis 62
- 4.2: Análise dos Componentes Principais – Gráfico dos *Loadings* de todos os perfis do rio Massangana/Tatuoca (Suape) 63
- Análise dos Componentes Principais – Gráfico das *Scores* de todos os perfis do rio Massangana/Tatuoca (Suape) 66

Capítulo V: Avaliação geoquímica dos sedimentos do Antropoceno, testemunhado no ponto de amostragem S6, da Baía de Suape sobre a influência dos estuário dos rios Massangana e Tatuoca

- 5.1: Razão Zr/Al do testemunho S6 coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca (CIPS) 70

5.2: Gráficos univariados da concentração de Ag, Cd, Cr, Mo e Sr do Testemunho S6, coletado na baia de Suape, em área de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca (CIPS)	72
5.3: Gráfico do FE e Igeo da Ag do Perfil S6 testemunhado na Baia de Suape área de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca (CIPS)	74
5.4: Gráfico do FE e Igeo da Cd do Perfil S6 Testemunhado na baia de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	76
5.5: Gráfico do FE e Igeo da Cr do Perfil S6 Testemunhado na baia de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	77
5.6: Gráfico do FE e Igeo da Mo do Perfil S6 coletado do Testemunho na baia de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	79
5.7: Gráfico do FE e Igeo da Sr do Perfil S6 coletado Testemunho na baia de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	80
5.8: Gráficos univariados das concentrações brutas de As e Hg do Testemunho S6 – Coletado na baia de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	82
5.9: Gráfico do FE e Igeo do As do Perfil S6 coletado do Testemunho no rio Massangana/Tatuoca - CIPS	83
5.10: Gráfico do FE e Igeo do Hg do Perfil S6 Coletado na baia de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	85
5.11: Gráficos univariados das concentrações brutas de Cu, Ni, Pb, Sc, Sn, Zn do Coletado na baia de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	86
5.12: Gráfico do FE e Igeo do Cu do Perfil S6 Coletado na baia de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	87
5.13: Gráfico do FE e Igeo do Ni do Perfil S6 - Coletado na baia de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	88
5.14: Gráfico do FE e Igeo do Pb do Perfil S6 Coletado na baia de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	90
5.15: Gráfico do FE e Igeo do Zn do Perfil S6 Coletado na baia de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	91
5.16: Gráfico do FE e Igeo do Sc do Perfil S6 - Coletado na baia de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	92
5.17: Gráfico do FE e Igeo do Sn do Perfil S6 - Coletado na baia de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	93
5.18: Gráficos univariado e Fator de Enriquecimento e Índice de Geoacumulação do Sb	95
5.19: Matriz de Correlação do perfil S6, coletado no estuário do rio Massangana/Tatuoca – Situado no Complexo Portuário de Suape–PE	98
5.20: Gráfico ACP – <i>Loadings</i> perfil S6, coletado no estuário do rio Massangana/Tatuoca – Complexo Portuário de Suape – PE	99
5.21: Gráfico ACP – <i>Scores</i> do perfil S6, coletado no estuário do rio Massangana/Tatuoca – Situado no Complexo Portuário de Suape – PE	99

Capítulo VI: Avaliação geoquímica dos sedimentos do Antropoceno, testemunhado no ponto de amostragem S7, localizado na Baia de Suape

6.1: Gráficos univariados das concentrações brutas de Cd, Cr, Hg, Mo, Ni e Zn do Testemunho S7 – Coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	102
6.2: Gráficos univariados das concentrações brutas de Ag, Pb, Sc e Sn do Testemunho S7 – Coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	103
6.3: Gráficos univariados das concentrações brutas de Cu e Sr do Testemunho S7 – Coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	104
6.4: Gráficos univariados das concentrações brutas de As e Sb do Testemunho S7 – Coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	105
6.5: Razão Zr/Al do testemunho S7 Coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	106
6.6: Gráfico do FE e Igeo do Cr do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	107
6.7: Gráfico do FE e Igeo do Ni do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	108
6.8: Gráfico do FE e Igeo do Zn do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	109
6.9: Gráfico do FE e Igeo do Hg do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	111
6.10: Gráfico do FE e Igeo do Cd do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	112
6.11: Gráfico do FE e Igeo do Mo do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	113
6.12: Gráfico do FE e Igeo da Ag do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	116
6.13: Gráfico do FE e Igeo do Pb do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	117
6.14: Gráfico do FE e Igeo do Sc do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	118
6.15: Gráfico do FE e Igeo do Sn do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	119
6.16: Gráfico do FE e Igeo do Cu do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	122
6.17: Gráfico do FE e Igeo do Sr do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	123
6.18: Gráfico do FE e Igeo do As do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	125
6.19: Gráfico do FE e Igeo do Sb do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS	126
6.20: Matriz de Correlação do perfil S7, coletado no sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca – Situado no Complexo Portuário de Suape – PE	128
6.21: Gráfico ACP – <i>Loadings</i> do perfil S7, coletado no sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca – Situado no Complexo Portuário de Suape – PE	129
6.22: Gráfico ACP – <i>Scores</i> do perfil S7, coletado no sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca – Situado no Complexo Portuário de Suape – PE.	130

Capítulo VII: Avaliação geoquímica dos sedimentos antropogênicos do Complexo Estuarina do rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana

7.1: Gráficos da Matriz de Correlação do rio Itapessoca (Complexo Industrial de Goiana) – Todos os Perfis	134
7.2: Análise dos Componentes Principais – Gráfico dos <i>Loadings</i> de todos os perfis do rio Itapessoca - PE (Goiana)	135
7.3: Análise dos Componentes Principais – Gráfico dos <i>Scores</i> de todos os perfis do rio Itapessoca - PE (Goiana)	136

Capítulo VIII: Avaliação geoquímica dos sedimentos sobre influência da ação antrópica, testemunhado no ponto de amostragem I2, estuário do rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana

8.1: Gráficos univariados das concentrações de Ag, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sn, Sr e Zn nas amostras de sedimentos do Testemunho I2, Coletado no estuário do rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana	141
8.2: Gráfico do FE e Igeo da Ag do Perfil I2 Testemunhado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	142
8.3: Gráfico do FE e Igeo do As do Perfil I2 Testemunhado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	143
8.4: Gráfico do FE e Igeo do Cd do Perfil I2 Testemunhado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	145
8.5: Gráfico do FE e Igeo do Cr do Perfil I2 Testemunhado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	147
8.6: Gráfico do FE e Igeo do Sn do Perfil I2 Testemunhado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	148
8.7: Gráfico do FE e Igeo do Sr do Perfil I2 coletado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	149
8.8: Gráfico do FE e Igeo do Zn do Perfil I2 Testemunhado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	150
8.9: Gráfico univariado da concentração bruta do Hg do Testemunho I2 – Coletado no estuário do rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana	151
8.10: Gráfico do FE e Igeo do Hg do Perfil I2 Testemunhado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	153
8.11: Gráfico univariado da concentração bruta do Mo do Testemunho I2 – Coletado no estuário do rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana	154
8.12: Gráfico do FE e Igeo do Mo do Perfil I2 Testemunhado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	155
8.13: Gráficos univariados das concentrações brutas do Sb e Sc do Testemunho I2 – Coletado no estuário do rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana	156
8.14: Gráfico do FE e Igeo do Sb do Perfil I2 Testemunhado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	158
8.15: Gráfico ACP – <i>Loadings</i> perfil I2, coletado no estuário do rio Itapessoca – Situado no Complexo Industrial de Goiana	160
8.16: Matriz de Correlação do perfil I2, coletado no estuário do rio Massangana – Situado no Complexo Portuário de Suape-PE	161
8.17: Gráfico ACP – <i>Scores</i> do perfil I2, coletado no estuário do rio Itapessoca – Situado no Complexo Industrial de Goiana	162

Capítulo IX: Avaliação geoquímica do perfil sedimentar I3 coletado no estuário do rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana

9.1: Gráficos univariados das concentrações de Ag, As, Cd, Cr, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr e Zn do Testemunho I3 – Coletado no Sistema Estuário da Ilha de Itapessoca – Polo Industrial de Goiana	165
9.2: Gráfico do FE e Igeo da Ag do Perfil I3 Testemunhado no Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	166
9.3: Gráfico do FE e Igeo do As do Perfil I3 Testemunhado no Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	167
9.4: Gráfico do FE e Igeo do Cd do Perfil I3 Testemunhado no Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	169
9.5: Gráfico do FE e Igeo do Sb do Perfil I3 Testemunhado no Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	170
9.6: Gráfico do FE e Igeo do Sr do Perfil I3 Testemunhado no Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	171
9.7: Gráfico do FE e Igeo do Zn do Perfil I3 Testemunhado no Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	173
9.8: Gráfico univariado da concentração bruta do Cu do Testemunho I3 – Coletado no Sistema Estuário da Ilha de Itapessoca – Polo Industrial de Goiana	174
9.9: Gráfico do FE e Igeo do Cu do Perfil I3 Testemunhado no Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	175
9.10: Gráfico univariado da concentração bruta do Hg do Testemunho I3 – Coletado no Sistema Estuário da Ilha de Itapessoca – Polo Industrial de Goiana	176
9.11: Gráfico do FE e Igeo do Hg do Perfil I3 Testemunhado no Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana	178
9.12: Matriz de Correlação do perfil I3, coletado no estuário do rio Massangana – Complexo Estuarino do Rio Itapessoca – PE	180
9.13: Gráfico ACP – <i>Loadings</i> perfil I3, coletado no estuário do rio Itapessoca – Situado no Complexo Industrial de Goiana	181
9.14: Gráfico ACP – <i>Scores</i> perfil I3, coletado no estuário do rio Itapessoca – Situado no Complexo Industrial de Goiana	182

Capítulo X: Conclusões

Referências Bibliográficas

Anexos

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAN	Analítica por Ativação Neutrônica
ABIQUM	Associação Brasileira da Indústria Química
ACP	Análise de Componentes Principais
ANVISA	Agência nacional de vigilância Sanitária
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CP	Componente Principal
CIPS	Complexo Industrial Portuário de Suape
ERL	<i>Effect Ranger Low</i>
ERM	<i>Effect Ranger Medium</i>
FPA	Frente Polar Atlântica
ICP-AES	Espectrometria de Emissão Atômica
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LPA	Laboratório de Preparação de Amostras
MC	Matriz de Correlações
MP	Metais Pesados
OHSAS	<i>Occupational Health & Safety Advisory Services</i>
Pb – S	Chumbo na Corrente Sanguínea
PVC	Policloreto de Polivinila
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCPA	Zona de Cisalhamento Patos
ZCPE	Zona de Cisalhamento Pernambuco

LISTA DE ANEXOS

VIII.I: Gráfico do FE e Igeo do Cu do Perfil I2 coletado Testemunhado no rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana	198
VIII.II: Gráfico do FE e Igeo do Ni do Perfil I2 coletado Testemunhado no rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana	199
VIII.III: Gráfico do FE e Igeo do Pb do Perfil I2 coletado Testemunhado no rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana	200
VIII.IV: Gráfico do FE e Igeo do Sc do Perfil I2 coletado Testemunhado no rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana	201
IX.I: Gráfico do FE e Igeo do Cr do Perfil I3 coletado Testemunhado no rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana	202
IX.II: Gráfico do FE e Igeo do Ni do Perfil I3 coletado Testemunhado no rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana	203
IX.III: Gráfico do FE e Igeo do Sc do Perfil I3 coletado Testemunhado no rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana	204
IX.IV: Gráfico do FE e Igeo do Sn do Perfil I3 coletado Testemunhado no rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana	205
IX.V: Gráfico do FE e Igeo do Mo do Perfil I3 coletado Testemunhado no rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana	206

Capítulo I: Introdução

Ainda na década de 60 houve um crescente aumento na conscientização da importância da preservação ambiental. A partir de então vários estudos vem sendo realizados em prol da preservação de vários ecossistemas. Entre estes estudos podem-se destacar os realizados em ambientes costeiros, principalmente em manguezais por se tratar de um ecossistema rico em nutrientes que são verdadeiros berçários para organismos que vivem em ambientes marinhos e vão a este ambiente para se reproduzirem (Abdallah, 2014; Krauss, 2011, Lima, 2008).

São de grande relevância os estudos que objetivam investigar a qualidade geoquímica dos sedimentos estuarinos, já que estes podem ser depositórios de contaminantes que posteriormente podem ser assimilados por vegetais e animais que vivem neste ecossistema, e consequente entrada na cadeia trófica e com potencial para causar efeitos adversos à saúde ambiental e humana.

O presente estudo visa avaliar a qualidade geoquímica de dois Sistemas estuarinos: O primeiro é o sistema estuarino da Baía de Suape, que é composto pelos rios Massangana e Tatuoca, localizado no Complexo Industrial Portuário de Suape – CIPS, e o segundo sistema estuarino é o da ilha de Itapessoca – SEI, que é composta por dois rios principais: rio Itapessoca, localizado no Canal Oeste - #CO, e rio Catuama, situado no Canal Leste #CL. Além dos afluentes do rio Itapessoca, que desaguam no SEI. Este estuário está localizado no município de Goiana. O primeiro encontra-se em uma área industrial-portuária, enquanto o segundo vem recebendo investimentos Estaduais e Federais, principalmente nos últimos 13 anos, para a implantação de um Polo Industrial.

No estuário do rio Itapessoca está prevista a instalação de um Complexo Industrial Portuário, cujas instalações já foram iniciadas pelo Governo do Estado. Na região já está em funcionamento uma montadora de automóveis e um complexo farmacológico de hemoderivados, além da existência de uma indústria de extração e beneficiamento de calcário para a produção de cimento, indústria esta que está em atividade há várias décadas. Devido aos novos investimentos para industrialização e futura implantação de um Porto, o presente estudo pretende contribuir para a avaliação geoquímica ambiental da área antes da instalação de mais indústrias. Os dados geoquímicos obtidos poderão compor um banco de dados anterior ao período de início das atividades da maioria das indústrias que estão se instalando na área e poderá servir como nível de base (*background*) para estudos futuros. Vale salientar que as coletas dos testemunhos no estuário do rio Itapessoca foram realizadas durante o período de terraplenagem da montadora de automóveis situada no Polo Industrial de Goiana, em 2013.

No caso do estuário da Baía de Suape, o presente estudo visa avaliar a evolução da qualidade ambiental, registrado através do histórico sedimentar recente dos sedimentos dos rios Massangana e Tatuoca que receberam a influência das obras de terraplanagem e atividades tecnogênicas, que tiveram início na década de 70..

1.1 METAIS PESADOS

O termo Metal Pesado (MP) tem sido empregado para elementos que são bons condutores de eletricidade e apresentam alta densidade, maleabilidade, brilho característico (metálico) e ductilidade. Atualmente há vários conceitos para os MPs, onde vários autores os definem através de características diferentes. No presente estudo será usada a classificação de Duffus (2002) descrita na Tabela 1.1.

Tabela 1.1: Conceituação de Metais Pesados

CONCEITUAÇÃO	CARACTERÍSTICA
Quanto ao peso Atômico	Elementos com alto peso atômico Elementos com peso atômico maior que o do sódio Elemento que possui alta massa atômica Metais pesados é um termo usado para metais que possuem alta massa atômica, principalmente os metais em transição que possuem toxicidade intrínseca, como o Pb, Hg e Cd, em pequena concentração Os Metais Pesados podem ser incorporados facilmente na cadeia alimentar. Quando absorvidos pelos seres vivos (seja pela alimentação, inalação ou absorção cutânea) podem apresentar riscos à saúde humana mesmo em baixas concentrações
Quanto ao número Atômico	Qualquer elemento químico que possui número atômico maior que 20, entre 21 (Sc) e 92 (U) Elementos situados entre Ti, Hf, As e Bi inclui-se também Se e Te, cuja a faixa de densidade variando entre $4,5\text{g/cm}^{-3}$ e $22,5\text{g/cm}^{-3}$
Quanto à densidade	São elementos Metálicos com peso molecular relativamente alto (Os metais são elementos divididos em dois grupos: Os leves com densidades abaixo de 4g/cm^{-3} e os pesados com densidade acima de $4,5\text{g/cm}^{-3}$ (sendo este o conceito mais aceito).

FONTE: Duffus (2002).

Normalmente o conceito de MP também está associado à sua alta toxicidade, portanto os principais metais pesados mais tóxicos são: As, Cd, Cr, Hg, Mn, Pb, Sb e Sn.

Os metais são os elementos mais comuns da crosta terrestre, sendo encontrados em diversos minerais. Segundo Silva (2012) há duas formas através da qual um metal pesado pode ser liberado no ambiente: a primeira através do processo de intemperismo das rochas, e a segunda através de atividades antropogênicas.

A liberação de MP nos ecossistemas teve maior intensificação a partir da revolução industrial, mas na atualidade estes elementos vêm sendo liberado com maior intensidade. A presença de MPs em solos vem trazendo preocupação aos ambientalistas devido aos seus efeitos adversos em plantas, animais e seres humanos (Rayner *et al.*, 2007; Doumet *et al.*, 2008; Lim *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2013)

Os ambientes costeiros por se tratar de áreas em transição entre os ambientes continentais e oceânicos são o destino de metais, que modificam a qualidade dos sedimentos (Cenci e Martin 2004; Laing *et al.*, 2009; Turner 2003; Melo *et al.*, 2014).

1.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO ANTIMÔNIO, ARSÊNIO, CHUMBO E MERCÚRIO

Foram escolhido o antimônio, arsênio, chumbo e mercúrio para a realização do detalhamento das características químicas por se tratar de elementos de alta toxicidade e apresentarem altos valores em suas concentrações nas amostras dos perfis coletados na Baía de Suape e no complexo estuarino do rio Itapessoca.

1.2.1 Propriedades

Na Tabela 1.2 destaca-se algumas das propriedades do Antimônio, Arsênio, Chumbo e Mercúrio.

Tabela 1.2: Descrição das propriedades físico-químicas do Antimônio, Arsênio, Chumbo e Mercúrio

Elemento	Símbolo	Número Atômico	Peso Atômico	Estado Físico	Densidade (g/cm ³)	Ponto de Fusão – PF (K)	Ponto de Ebulição – PE (K)
<i>Antimônio</i>	<i>Sb</i>	51	121,76	Sólido	6,697	903,78	1860,0
<i>Arsênio</i>	<i>As</i>	33	74,92160	Sólido	5,727	1090	887
<i>Chumbo</i>	<i>Pb</i>	83	207,2	Sólido	11,340	600,61	2022
<i>Mercúrio</i>	<i>Hg</i>	80	200,59	Líquido	13,579	234,32	629,88

Fonte: UNESP (2015) http://www2.fc.unesp.br/lvq/LVQ_tabela

Embora o As e o Sb sejam semi-metais, serão tratados como MP devido à Elevada toxicidade que possuem.

1.2.2 Geoquímica

O Antimônio pode ser encontrado como elemento livre, no entanto é normal encontrá-lo na forma de sulfeto (Sb_2S_3). Também é possível verificar a sua ocorrência como óxido (Sb_2O_3).

As atividades antrópicas têm elevado a concentração de Sb no solo, em consequência, ocorre a maior da exposição da biota a esse contaminante (Butterman & Carlin, 2004; Hockmann *et al.*, 2014). Na Tabela 1.3 estão descritos a média da concentração do antimônio em diferentes ambientes.

Tabela 1.3: Concentração média (em ppb) de Antimônio, Arsênio, Chumbo e Mercúrio em diferentes ambientes

Elemento Químico	AMBIENTES						
	Universo	Sol	Meteorito	Rochas da Crosta Terrestre	Água do Mar	Água dos Rios	Humanos
Antimônio	0,4	1,0	120	200	0,2	2	-
Arsênio	8,0	-	1.800	2.100	2,3	1,0	5,0
Chumbo	10	10	1.400	10.000	0,03	3	1.700
Mercurio	1,0	20	250	67	0,05	0,07	-

Fonte: Webelements (2015) <https://www.webelements.com>

Raramente o As é encontrado na forma livre. Normalmente ele é encontrado em minerais, sobretudo no arsenopirita (FeAsS). Na Tabela 1.3 estão descritos a média da concentração do arsênio em diferentes ambientes.

A principal fonte do Chumbo é o mineral galena, onde este metal é encontrado na forma de sulfeto (PbS). Além da galena o chumbo pode ser encontrado na Anglesita (na forma de sulfato PbSO_4) e na Cerussita (na forma de carbonato de Chumbo – PbCO_3). A Tabela 1.3 apresentação a concentração média de Pb em diversos ambientes.

O mercúrio é um elemento raro, dificilmente encontrado na forma livre, sua principal fonte é o mineral-minério de cinábrio (HgS). A Tabela 1.3 possui a concentração média de Hg em diversos ambientes. Concentrações elevadas de mercúrio em ecossistema aquático é preocupante, devido aos impactos causados ao bem estar humano e ecológico (Groos *et al.*, 2014).

1.2.3 Aspectos da Geologia Médica

Em casos de contaminação industrial, o antimônio encontra-se normalmente associado ao chumbo. A intoxicação por antimônio é semelhante a do arsênio. Em geral os indivíduos intoxicados por este metal apresentam alteração pulmonar, cardíaca, renal e hepática (Rafel *et al.*, 1985).

O As ocorre naturalmente como constituinte de minerais (Smedley & Kinniburgh, 2002) e possui efeito adverso à saúde humana devido a sua alta toxicidade (Kim & Baek, 2015). Este MP é de fácil absorção pelos seres humanos uma vez que ele é conhecido como um contaminante do vinho e é encontrado em uma variedade de alimentos (carne e aves) e na água potável. Além de estar presente em outras fontes de contaminação, tais como: inseticidas, fungicidas e uma série de produtos comerciais usados como conservantes alimentares (IARC, 1975). A presença deste metal em alimentos, bebidas e fungicidas facilita a intoxicação.

Quando bioacumulado em seres humanos o As está relacionado à ocorrência do câncer cutâneo. A exposição ao arsênio pode relacionar-se também ao aparecimento de carcinoma pulmonar, linfomas e leucemias nos operários das usinas de cobre, de indústrias químicas de arsênico e em trabalhadores rurais expostos a pesticidas que contenham este elemento (Searle, 1976).

Quanto ao chumbo durante longo período da história foi um dos metais mais utilizados pela humanidade. Há registros que na Roma Antiga este metal era utilizado na produção tubos hidráulicos, taças e em garrafas. No passado mais recente o Pb teve seu uso empregado em cosméticos (tinturas de cabelo), no combustível (misturado à gasolina), na construção civil (tintas e tubos hidráulicos), indústria automobilística (baterias), entre outras formas de utilização (Silva, 2012; Mota-Filho, 2006; Paiva, 2005).

Na atualidade o emprego do Pb como matéria prima industrial vem diminuindo gradativamente devido aos danos que este metal pesado traz à biota e à saúde humana. A Tabela 1.4 expressa o efeito de diversas concentrações de Chumbo na Corrente Sanguínea (Pb-S) de adultos e crianças.

Tabela 1.4: Efeito da concentração de Chumbo na Corrente Sanguínea (Pb – S) em crianças e adultos

Crianças	Pb - S*	Adultos
	150	
Morte		Encefalopatia
	100	
Encefalopatia Nefropatia Anemia Fraca Cólica		Anemia Redução da longevidade Diminuição da síntese da hemoglobina
	50	
Diminuição da síntese de Hemoglobina	40	Neuropatia periférica Infertilidade em homens Nefropatia Cólica abdominal
Diminuição do metabolismo da vitamina D		
	30	Aumento da pressão sistólica Diminuição da acuidade auditiva
Diminuição da velocidade de condução nervosa		Aumento protoporfirina eritrocitária (homens)
	20	
Aumento da protoporfirina eritrocitária Comprometimento do desenvolvimento Diminuição do consciente de inteligência Diminuição da audição Diminuição do crescimento		Aumento da protoporfirina eritrocitária (mulheres)
	10	Hipertensão arterial (?)
Transferência placentária		

*Concentração de Pb - S - µg/L Micrograma por litro. Fonte: Adaptado de Staudinger & Roth (1998).

O mercúrio na forma inorgânica pode ser assimilado por inalação de vapor ou aerossóis de sais de mercúrio, ou através da ingestão de alimentos ou água contaminada (Airey, 1983; Siblingus, 1994; Weiss, 1996).

Por se tratar de um elemento químico altamente tóxico, sua ingestão, mesmo em pequena concentração, pode desencadear uma série de patologias. A Tabela 1.5 descreve as principais sintomatologias decorrentes da assimilação de mercúrio por seres humanos.

TABELA 1.5: Principais patologias causadas pela intoxicação de Mercúrio

Patologias	Sintomas
Perturbações Psicológicas	Irritabilidade, nervosismo, timidez e depressão
Desordem da cavidade oral	Sangramento gengival, salivação, mau hálito e estomatite
Efeitos gastrointestinais	Câimbra abdominal, diarreia
Efeito cardiovascular	Taquicardia, pulso irregular, alteração na pressão arterial, dor e pressão peito
Efeitos neurológicos	Cefaléia, tontura, tremores leves
Efeitos respiratórios	Tosse persistente, enfisema, respiração irregular e superficial
Efeitos no sistema imunológico	Alergia, asma, rinite, sinusite, adenopatia linfática
Efeitos endócrinos	Transpiração excessiva, fadiga, anemia, edema, anorexia

Fonte: Shahrstani (1976); Suzuki(1982).

Baixas concentrações de mercúrio podem ocasionar vários efeitos patológicos. Os sintomas de envenenamento provocados por Hg são: degeneração do sistema nervoso com perda da visão, audição, fala, controle motor, fraqueza muscular e comportamento anormal. A neurotoxicidade deste composto tem sido a principal preocupação em relação ao desenvolvimento dos fetos expostos durante a gravidez. Em muitos casos, crianças nascidas de mães expostas, principalmente durante o segundo trimestre da gravidez, mostraram danos neurológicos: demora em andar, falar, crescer e no desenvolvimento mental normal (WHO, 2002).

1.3 BIOQUÍMICA VS. TOXICOLOGIA

A palavra bioquímica significa literalmente o estudo da química da vida, e sobrepõe-se a outras áreas do conhecimento, como a biologia celular, a genética, a imunologia, a microbiologia, a farmacologia e a fisiologia (Voet, Voet & Pratt, 2014). Em outras palavras a bioquímica é área do conhecimento que estuda os processos metabolitos, a nível molecular, das diversas substancias essenciais para a sobrevivência dos diversos seres vivos.

A matéria viva consiste em um número relativamente pequeno de elementos (Tabela 1.6). Por exemplo, C, H, O, N, P, Ca e S respondem por aproximadamente 97% do peso seco do corpo humano (os seres humanos e a maioria dos outros organismos vivos são formados por cerca de 70% de água). Os organismos vivos também podem conter outros elementos, incluindo B, F, Al, Si, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Mo, Cd, I e W, embora nem todos os organismos utilizem todas essas substâncias (Voet *et al.*, 2014).

A toxicologia é a ciência que estuda a detecção, os efeitos e o mecanismo de ação de venenos e de substâncias química tóxicas. A toxicidade de uma substância é um fenômeno relativo que depende da estrutura inerente da substância em questão, de sua propriedade e de sua dosagem (Robbins *et al.*, 2010).

Tabela 1.6: Os Elementos mais abundantes do corpo humano (a partir do peso seco)

Elementos	Concentração (%)
C	61,7
N	11,0
O	9,3
H	5,7
Ca	5,0
P	3,3
K	1,3
S	1,0
Cl	0,7
Na	0,7
Mg	0,3

Fonte: (Voet *et al.*, 2014).

O homem ao alimentar-se e ao beber água está ingerindo vários elementos químicos essenciais: macronutrientes (Ca, Cl, Mg, P, K, Na, S, O, H, S) e micronutrientes (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, V, Zn, F, I, Si), onde a carência e/ou o excesso desses elementos acarretam prejuízos à saúde. Pode também ocorrer a ingestão de elementos considerados tóxicos como é o caso do Al, Cd, Hg, Tl, Pb, Sn, As, Sb e elementos radioativos (Silva *et al.*, 2012; Silva, 2012).

Além da alimentação e ingestão de água o homem pode absorver substâncias exógenas a partir da inalação ou contato cutâneo, tais como os MPs.

Os MPs são freqüentemente metabolizados, muitas vezes, por múltiplas vias ou sistemas enzimáticos transformando-se em produtos que podem ser mais tóxicos ou menos tóxicos do que a substância inicial (Robbins *et al.*, 2010). A ingestão de um ou de

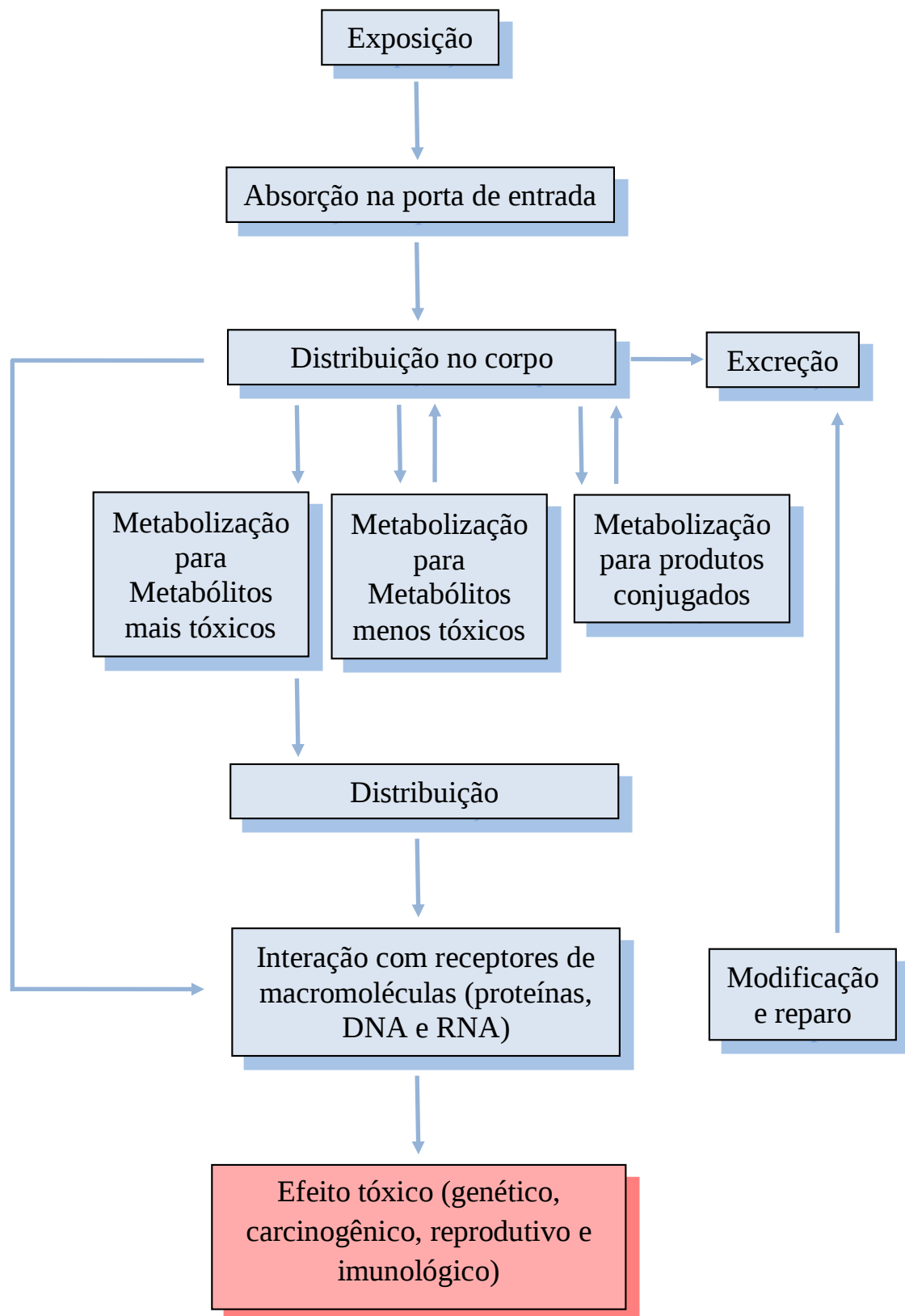
vários MP pode interagir com uma macromolécula-alvo, resultando daí o efeito tóxico (Hodgson & Levi, 1997).

Hodgson e Levi (1997) sugerem a rota metabólica pela qual um elemento ou composto químico com alta toxicidade intrínseca faz. Os referidos autores salientam ainda que o local de intoxicação coincide, freqüentemente, com o local onde ocorre o seu metabolismo ou sua excreção.

A Figura 1.1 descreve a rota que os elementos ou compostos tóxicos fazem nos seres humanos (Hodgson e Levi, 1997) desde a exposição/absorção até excreção e/ou efeito tóxico.

A Figura 1.2 descreve os elementos da tabela periódica que possuem função essencial para o organismo humano, que em concentrações elevadas podem causar danos, e os elementos com toxicidade intrínseca, que mesmo em pequena concentração podem desencadear patologias (Hodgson e Levi, 1997).

Figura 1.1: Rota metabólica dos elementos ou compostos químicos com elevada toxicidade intrínseca.



Fonte: Hodgson e Levi (1997).

Figura 1.2: Tabela periódica contendo os Elementos essenciais e tóxicos para os seres humanos

Essencial para a maioria dos organismos (em excesso por ser tóxico) Essencial para algumas espécies, podendo ser tóxico para outras Geralmente tóxico para a maioria dos organismos Função biológica suspeita Radioativos																	
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															
				Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
				Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Fonte Plant *et al.*, (2001).

Enquanto a bioquímica trata dos processos metabólicos das substâncias essenciais para os seres vivos a toxicologia estuda as substâncias que ocasionam danos aos seres vivos.

A Agência de Proteção Ambiental Norte Americana, *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), a partir dos estudos realizados por Long *et al.* (1995; 1998) definiu dois padrões de toxicidade, ERL (*Effect Range Low*) e ERM (*Effect Range Medium*), para nove MPs mais usados em atividades antropogênicas (Tabela 1.7).

A partir dos padrões criados por Long *et al.* (1995; 1998) e adotados pela USEPA é possível classificar os sedimentos em:

1° Bons – quando todos os seus valores de concentração estão abaixo do ERL

2° Intermediários – quando alguns de seus valores de concentração estão entre o ERL e ERM

3° Pobres – Quando alguns de seus valores de concentração excedem o ERM

Tabela 1.7: Valores padrões de ERL e ERM para os nove metais pesados descritos pela USEPA.

METAL PESADO	ERL (mg kg ⁻¹)	ERM (mg kg ⁻¹)
<i>Arsênio (As)</i>	8,2	70
<i>Cádmio (Cd)</i>	1,2	9,6
<i>Cromo (Cr)</i>	81	370
<i>Cobre (Cu)</i>	34	270
<i>Chumbo (Pb)</i>	47	220
<i>Mercúrio (Hg)</i>	0,15	0,71
<i>Níquel (Ni)</i>	21	52
<i>Prata (Ag)</i>	1	3,7
<i>Zinco (Zn)</i>	150	410

Fonte: USEPA (1998)

1.4 ESTUÁRIOS

Na literatura científica há vários conceitos a respeito dos estuários, existindo consenso a respeito de ser uma região litorânea influenciada pela água doce dos rios e água salgada do mar, formando assim uma mistura em que a água do oceano é diluída pela continental, dando origem a um ambiente formado por água salobra.

Segundo Tommasi (2008) os estuários são as áreas em que a água salgada dos oceanos se mistura com a água doce proveniente dos rios. Isso ocorre tipicamente na desembocadura desses rios na região costeira. Os estuários são regiões semifechadas para onde são drenados um ou mais rios, ou melhor, uma ou mais bacias hidrográficas.

Já Suguio (2003) conceitua o estuário como um corpo aquoso raso e geralmente salobro com circulação mais ou menos restrita, que mantém comunicação constante com o oceano aberto. Suguio (2003) sobre um olhar da geomorfologia compara os estuários com as *rias* e afirma que os dois termos são praticamente sinônimos.

1.4.1 Hidrodinâmica estuarina

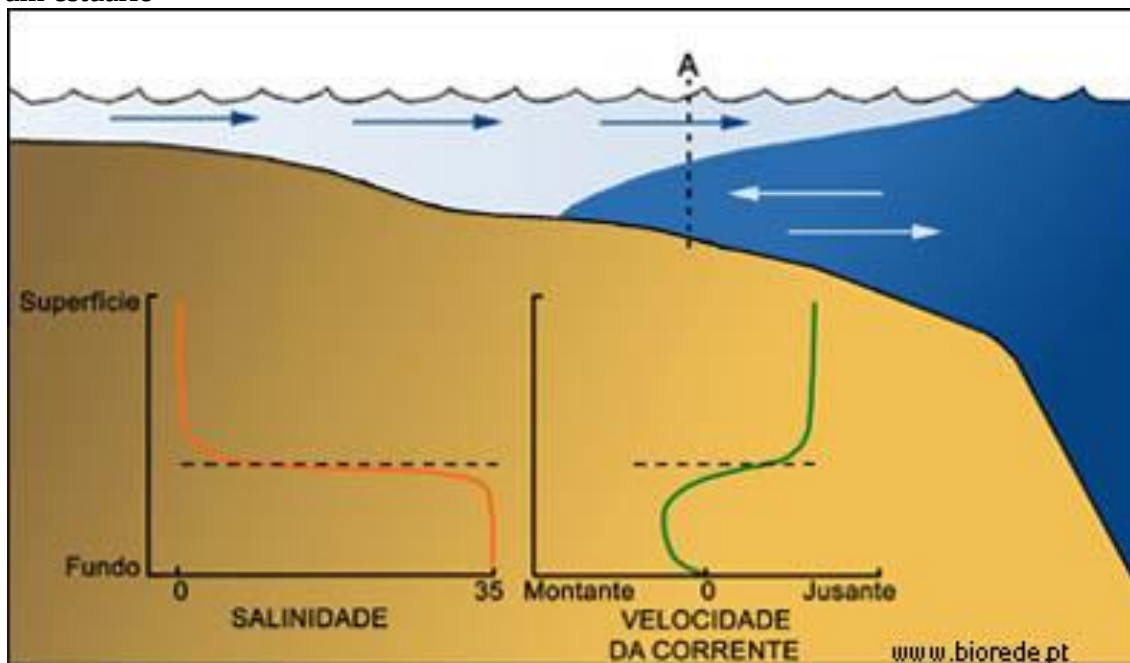
Para o presente estudo será adotado o modelo de hidrodinâmica estuarina baseada no modelo proposto por Curray (1969) denominado de *Salt Wedge* (Cunha Salina).

No contato entre a água fluvial e oceânica, desembocadura do rio, há um limite da média do fluxo fluviais máximos. Quando o fluxo de água doce for inferior a esta média, deverá ocorrer a penetração de água oceânica, cunha salina, desembocadura fluvial a dentro.

Já Morton (1972) traz o conceito de fluxos estratificados em estuários, onde este outro paradigma vem complementar a concepção de cunha salina.

Na concepção do fluxo estratigráfico dos estuários as águas oceânicas por serem mais densas, devido à salinidade, fluem rio à dentro por baixo das águas fluviais, menos densa, desta forma é produzido uma estratificação da coluna de água. Portanto, a água da cunha salina decresce de salinidade com a mistura vertical, sendo gradualmente reciclada e encaminhada rumo ao mar, fazendo com que mais água do mar seja dirigida ao estuário. A Figura 1.3 Exemplifica a interação existente entre a teoria *Salt Wedge* proposta por Curaray (1969) a de fluxo estratigráfico proposta por Morton (1972).

Figura 1.3: Ilustração de uma cunha salina e sua interação com o fluxo estratigráfico de um estuário



Fonte: biorede - <http://www.biorede.pt/page.asp?id=299>

1.4.2 Sedimento Estuarino

Nas margens, onde é encontrado o manguezal a percentagem de areia é ínfima; a maior parte do sedimento é fino (silte e argila), de proveniência continental sendo ali depositada. Mesmo por ocasião das enchentes, embora a quantidade de areia transportada seja relevante, as partículas depositadas nas margens dos estuários são formadas, sobretudo, por argilas (Leça, Leitão & Costa, 2004).

A qualidade dos sedimentos estuarinos é vital para a sobrevivência e bem-estar dos seres vivos que dependem deste ambiente. Entre os fatores que interferem na qualidade dos sedimentos dos estuários estão os MPs (Pizarro *et al.*, 2010; Sundaray *et al.*, 2014).

Os sedimentos estuarinos têm a capacidade de adsorver espécies químicas, entre elas os MPs, que foram transportados até o estuário dissolvidos na água, e dependendo das condições físico-químicas, estes contaminantes podem ser remobilizados e liberados para coluna de água (Harikumar, Nasir & Mujeebu Ramhman, 2009).

Testemunhos sedimentares tem sido utilizados como ferramenta eficaz, nos estudos geoquímicos, para demonstrar a evolução temporal de contaminantes (Callender *et al.*, 2001).

Os estuários pernambucanos vêm sendo alvo de vários estudos geoquímicos realizados a partir da coleta de perfis sedimentares não deformados com a finalidade de avaliar evolução geoquímica temporal. Entre os estuários estudados merecem destaque os realizados no rio Botafogo (Lima, 2008); no rio Jaboatão (Lima, 2011); e dos rios Massagana e Tatuoca no Complexo Industrial Portuário de Suape (Barros, 2010; Moraes, 2013; Gomes, 2013; Mendes, 2015).

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivos Gerais:

De forma secular os latifundiários do estado de Pernambuco tem realizado o plantio da cana-de-açúcar as margens dos rios localizados na região litorânea. Com o processo de urbanização associado a industrialização estas áreas tem dado espaço para polos urbanos e industriais. Desta forma os rios que chegam ao litoral pernambucano para desaguar no oceano atlântico recebem diversas assinaturas geoquímicas, principalmente antrópica.

O presente estudo terá com alvo de pesquisa os Sistemas Estuarinos da Ilha de Itapessoca e Baía de Suape, áreas com características ambientais distintas.

O Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca - SEI localiza-se no Município de Goiana, áreas que a séculos se dedica ao cultivo da cana-de-açúcar. Nas últimas décadas esta área passou por um lento processo industrial que tem se intensificado nos últimos anos com a fixação de indústrias de grande porte (Hemoderivados e uma Montadora de Automóveis).

O SEI é composto por dois rios principais, rios Itapessoca e Catuama, que possuem ligação hídrica com o canal de Santa Cruz além de afluentes de menor porte.

Será realização de forma acurada pioneira da avaliação da qualidade dos sedimentos do Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca, antes da intensificação das atividades tecnogênicas. Além de identificando as diversas assinaturas geoquímicas

existente neste ambiente, ocorridos historicamente desde o período canavieiro até o presente.

O Sistema Estuarino da Baía de Suape é composto principalmente pelos rios Massangana e Tatuoca, localizado no Complexo Industrial Portuário de Suape – CIPS, áreas que também abrigava um canavial, mas que possui um processo industrial mais intensificado que o SEI. O CIPS é considerado um dos principais polos industriais do estado de Pernambuco, abrigando diversas multinacionais que atuam nas mais diversas áreas da economia.

No caso do Sistema Estuarino da Baía de Suape será avaliar a evolução da qualidade ambiental, registrado através do histórico sedimentar recente dos sedimentos dos rios Massangana e Tatuoca que receberam a influência das obras de terraplanagem e atividades tecnológicas.

1.5.2 Objetivos Específicos:

A partir das Análises Geoquímicas realizar a quantificação de quarenta e seis elementos químicos (Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Hg, In, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Sn, Sr, Tb, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Yb, Zn e Zr) coletados em pontos de amostragens localizados nos Sistemas Estuarinos da Ilha de Itapessoca e na Baía de Suape;

Devido a elevada toxicidade e/ou por serem lançados como efluentes por indústria, na Baía de Suape e/ou no Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca, a Ag, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr e Zn, apresentará maior grau de detalhamento nas discussões realizadas;

Será realizado os cálculos do Fator de Enriquecimento, onde este será normalizado com o Alumínio com a finalidade para minimizar o efeito matriz dos argilominerais, que adsorvem parte dos metais pesados presentes no ambiente;

O Índice de Geoacumulação (Igeo) será utilizado para avaliar a intensidade da contaminação nos sedimentos. O Igeo estabelece uma razão entre a concentração dos contaminantes adsorvidos nos sedimentos e um valor referência;

Serão feitas análises estatísticas objetivando a avaliação tanto da correlação par a par de cada elemento, com o uso da Matriz de Correlação. Também será avaliado a correlação entre os elementos e grupos de elementos, utilizando-se da Análise de Componentes Principais. A partir da Geoestatística será possível observar fenômenos muitas vezes imperceptível sem o uso destas ferramentas.

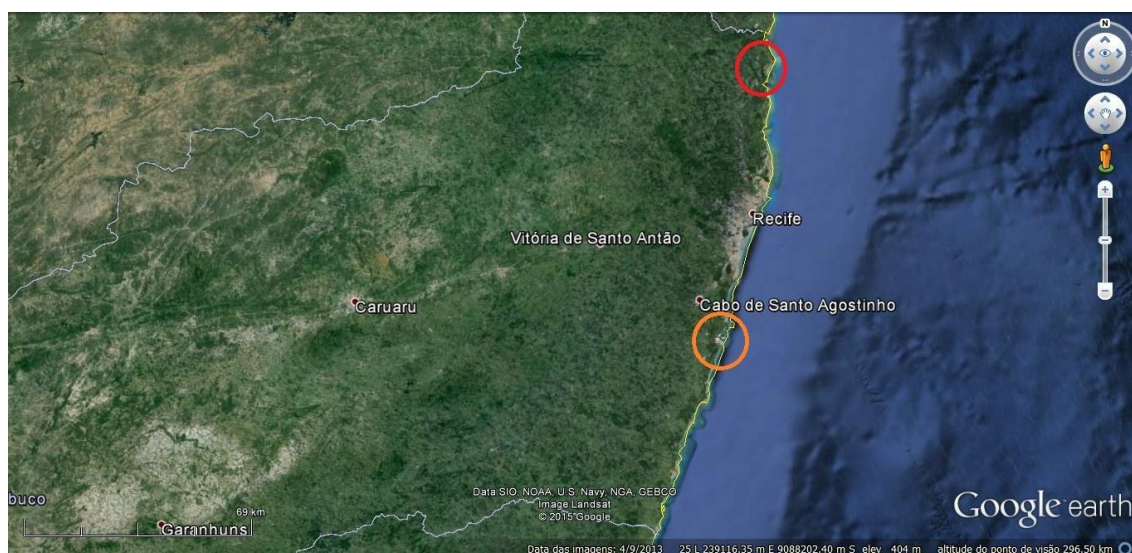
Capítulo II:

Descrição das Áreas de Estudo

2.1 LOCALIZAÇÃO

O presente trabalho abrange as áreas dos estuários dos Sistemas Estuarinos da Ilha de Itapessoca, localizado no município de Goiana – PE, e da Baía de Suape, localizado no Complexo Portuário de Suape, o rio Massangana faz parte do Siatema Estuarino da Baía de Suape, é o limite entre o município do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca (Figura 2.1).

Figura 2.1: Mapa de localização dos estuários dos rios Itapessoca e Massangana/Tatuoca



○ Estuário do Rio Itapessoca - Complexo Industrial de Goiana

○ Estuário do Rio Massangana - Baía de Suape

2.2 GEOLOGIA

O rio Itapessoca está inserido na bacia sedimentar Paraíba, que situa-se entre a Zona de Cisalhamento Patos - ZCPA e a Zona de Cisalhamento Pernambuco - ZCPE, a qual corresponde à zona transversal do nordeste brasileiro (Souza, 1999; Barbosa *et al.*, 2003; Barbosa, 2004).

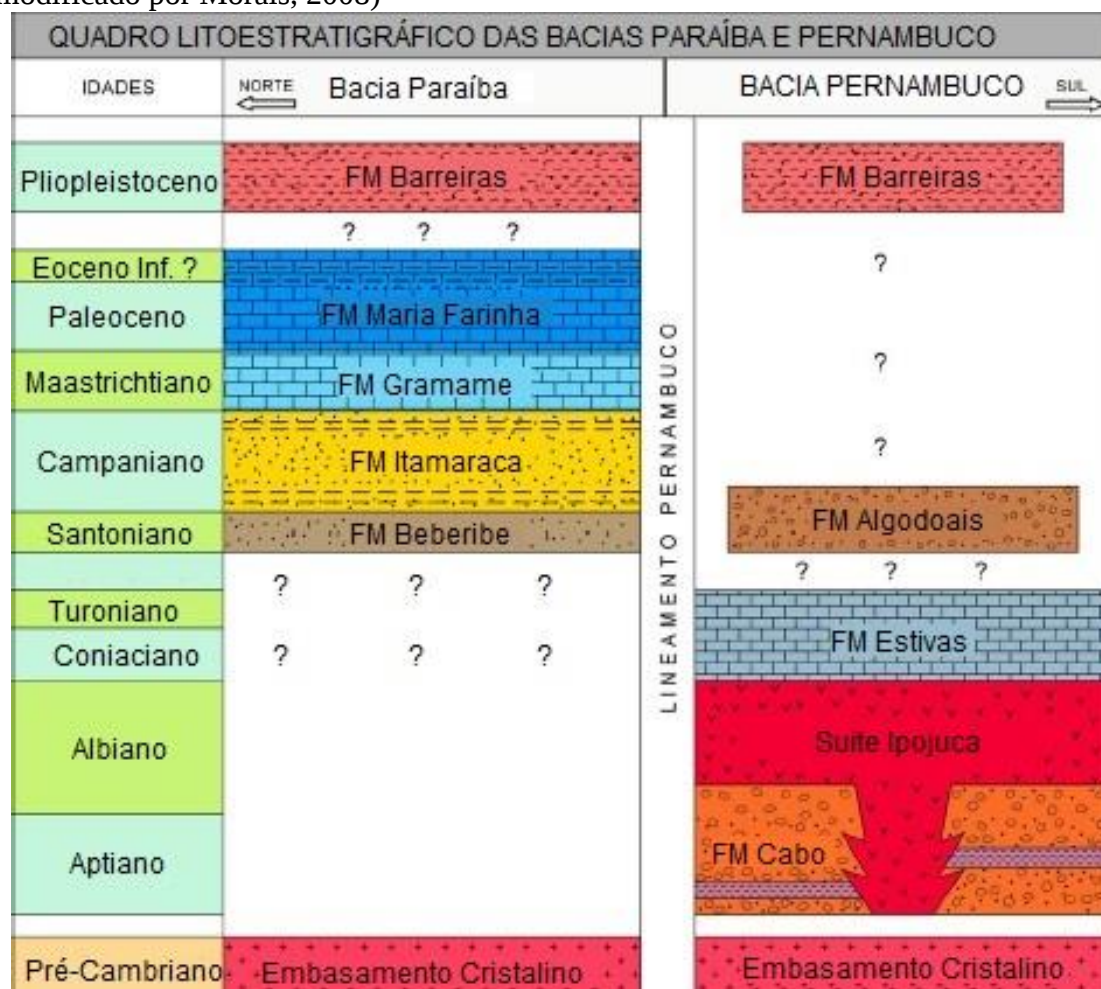
Já o rio Massangana/Tatuoca está localizado na Bacia Pernambuco que é limitada geologicamente ao sul pelo Alto de Maragogi e a norte pela ZCPE (Lima Filho 1998; Figura 2.2).

Figura 2.2: Mapas de delimitação das bacias Paraíba e Pernambuco (Barbosa & Lima Filho, 2006)



As bacias Paraíba e Pernambuco apresentam formações geológicas distintas, com exceção da Formação Barreiras, como mostra a carta estratigráfica representada na Figura 2.3.

Figura 2.3: Coluna estratigráfica das bacias Paraíba e Pernambuco (Barbosa, 2007 e modificado por Moraes, 2008)



2.2.1 Bacia Sedimentar Paraíba

Como base para a descrição da bacia Paraíba será tomado como base à coluna estratigráfica proposta por Barbosa *et.al.* (2003), na qual são descritas as formações: Beberibe, Itamaracá, Gramame, Maria Farinha e Barreiras.

2.2.1.1 Formação Beberibe

A Formação Beberibe é composta por arenitos continentais, de origem fluvial a fluvio-lacustre do Santoniano. Os arenitos desta formação apresentam granulometria de areia média à grossa, podendo ser encontrado em alguns níveis a presença de conglomerados. Estes sedimentos foram depositados sobre rochas do embasamento cristalino (Mabesoone & Alheiros, 1988; Souza, 1998; Souza, 1999; Barbosa *et al.*, 2003; Barbosa, 2004; Souza, 2006).

2.2.1.2 Formação Itamaracá

A Formação Itamaracá corresponde à deposição de sedimentos de ambientes transicionais de idade campaniana. Ocorre sobre a Formação Beberibe, e é constituída por folhelhos, arenitos calcíferos, creme ou acinzentados, com granulação de média à grossa, estratificação indistinta e abundantes moldes de moluscos marinhos, e níveis de fosfato no topo (Morais, 2008).

2.2.1.3 Formação Gramame

Caracteriza-se por se tratar da primeira unidade carbonática marinha da Bacia Paraíba (Tinoco, 1971). Apresentando alternância bem desenvolvida de ciclos de calcilutitos-margas. É caracterizada por níveis ricamente fossilíferos, calcilutitos ricos em pirita, e com intensa bioturbação do grupo dos Thalassinoides nas margas (Schlicht *et. al.*, 1999).

Os sedimentos desta formação foram depositados em um período que o regime de mar alto na bacia (Barbosa *et. al.*, 2003, Barbosa *et. al.*, 2006; Barbosa, 2004). Esta formação foi identificada como sendo do Maastrichtiano (Beurlen, 1967a, 1967b; Tinoco, 1971; Muniz, 1993; Lima & Koutsoukos, 2002).

2.2.1.4 Formação Maria Farinha

Na Formação Maria Farinha há a presença de duas fácies: Uma inferior, composta por calcários detríticos de origem litorânea, sedimentologicamente muito similar à Formação Gramame; e a porção superior, marcada pela alternância de calcários detríticos puros, calcários argilosos, margosos e argilas. Mostra feições recifais a lagunares de alta energia com colônias de algas, corais e moluscos perfuradores e incrustantes (Oliveira 1978; Almeida, 2000).

2.2.1.5 Formação Barreiras

A deposição dos sedimentos da Formação Barreiras teve início a partir da erosão das áreas subjacentes à bacia, devido ao soerguimento do maciço da Borborema no Neógeno (Mabesoone & Alheiros 1988). Desta forma o regime deposicional foi regido pela influência climática e/ou tectônica, ocasionando um extenso recobrimento discordante da superfícies do embasamento e das bacias marginais do leste brasileiro (Alheiros, 1998). Sedimentologicamente esta Formação apresenta arenitos argilosos, com baixo grau de consolidação. Faciologicamente é possível notar a presença de diferentes fácies, tais

como: leques aluviais, canais fluviais e planícies de inundação (Mabesoone & Alheiros, 1988).

2.2.1.6 Sedimentos recentes

Na faixa litorânea ocorrem sedimentos recentes do Neógeno, Terraços Marinhos, Pleistocênicos, Terraços Marinhos Holocênicos, Sedimentos Flúvio-Lagunares, Sedimentos Aluviais, sedimentos conspicuamente representados na área pelos Sedimentos de Planície Flúvio-Marinha, incluindo argilas escuras, silte, areias finas, carapaças de diatomáceas, espículas de espongiários, restos orgânicos e conchas. Os depósitos aluvionares distribuem-se ao do canal de drenagem e nas planícies de inundação do rio Itapessoca. São depósitos formados por materiais arenosos e areno-argilosos em áreas propensas a inundações periódicas (Lima, 2008).

2.2.2 Bacia Sedimentar Pernambuco

Como forma de caracterização geológica da Bacia Pernambuco será adotada a sequência estratigráfica e características descritas por Barbosa (2007) e modificada por Moraes (2008), que estão representadas na Figura 2.3.

A Bacia Pernambuco é formada por rochas vulcânicas, Suíte Magmáticas de Ipojuca e sedimentares (Formações Cabo, Estiva, Algodoads e Barreiras).

2.2.2.1 Formação Cabo

É a primeira sequência sedimentar depositada na bacia, datada do Aptiano superior ao Albiano inferior (Feijó, 1994). A Formação Cabo é composta por conglomerados, arenitos, arcósios, siltitos, e argilitos. As fácies desta bacia vão de leques aluvionais que até chegar no interior da bacia passando para um sistema fluvial (Cruz *et al.*, 2003).

2.2.2.2 Suíte Magmática de Ipojuca

A Suíte Magmática de Ipojuca é composta pelos litotipos: riolitos, traquitos, basaltos e o granito do Cabo de Santo Agostinho (Lima Filho, 1998).

2.2.2.3 Formação Estiva

Formada por rochas calcárias recristalizados e calcários margosos. A ocorrência de ciclos transgressivo-regressivos provocou a existência de intercalações de carbonatos com a parte superior da Formação Cabo.

2.2.2.4 Formação Algoduais

É provável que o ambiente deposicional desta formação tenha sido leques aluviais continentais. Os sedimentos presentes nesta Formação são: clastos basálticos e riolíticos.

2.2.2.5. Formação Barreiras

A Formação Barreiras é constituída por arenitos de granulação grossa gradando até chegar aos argilitos de origem fluvial.

Esta formação se repete na Bacia Paraíba, recobrando todas as formações, inclusive rochas do embasamento cristalino.

2.2.2.6 Sedimentos recentes

Segundo Lima (2011) as unidades mais antigas são recobertas na faixa continental por sedimentos mais recentes do Néogeno, Terraços Marinhos Pleistocênicos (Qtp), Terraços Marinhos Holocênicos (Qth), Sedimentos Flúvio Lagunares (Qdfl), Sedimentos Aluvionates (Qal), sendo conspicuamente representados na área pelos Sedimentos de Manguezal (Qm).

2.3 CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DAS ÁREAS DE ESTUDO

Os estuários dos rios Itapessoca e Massagana/Tatuoca estão inseridos na mesma região morfoclimática, planície fluviomarinha (região costeira de Pernambuco). De forma geral os dois estuários possuem as mesmas características geoambientais, apresentando apenas pequenas singularidades.

As características geoambientais dos dois estuários serão apresentadas de forma conjunta, sendo destacado apenas as singularidades quando necessário.

2.3.1 Clima

Segundo Ferreira (2008) os estuários dos rios Itapessoca e Massangana/Tatuoca estão sobre a influência do clima As' (classificação climática de Köppen), descrito como quente e úmido com chuvas de inverno, antecipadas no outono, onde as médias de

precipitações são em torno de 1.800 mm. Em compensação a esse alto índice pluviométrico a radiação solar é intensa, típica da faixa tropical, cuja brisa marinha contribui para um alto índice de evaporação.

A região litorânea do estado de Pernambuco está sob o domínio de três mecanismos de instabilidade atmosféricas: Zona de Convergência Intertropical - ZCIT; Frente Polar Atlântica - FPA; Ondas de Leste - OL (Figura 2.4).

Os sistemas atmosféricos que exercem influência na região litorânea de Pernambuco possuem por características:

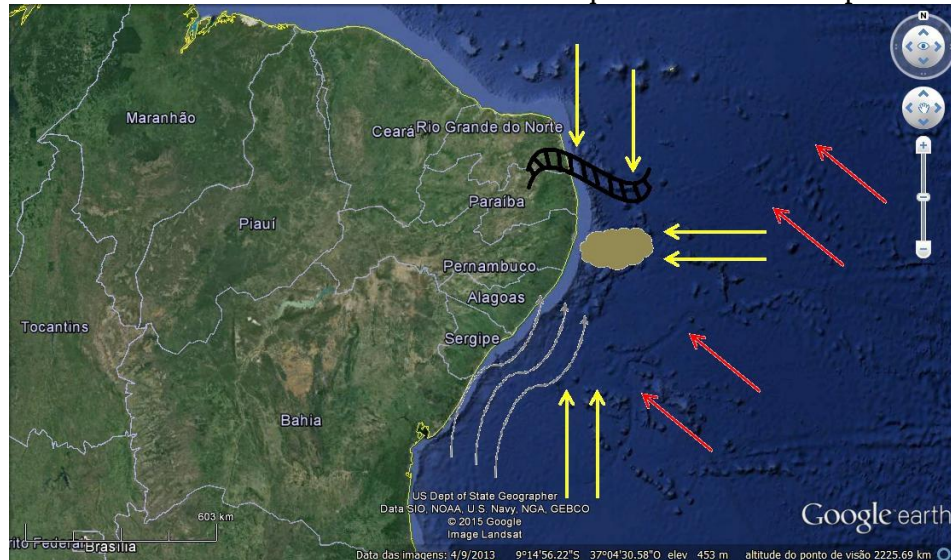
Zona de Convergência Intertropical (ZCIT): é um sistema meteorológico formado a partir da dinâmica de encontro entre os ventos alísios, ventos gerados através da rotação da terra. Na região litorânea pernambucana este sistema atmosférico exerce influência normalmente nos meses de março e abril, ocasionando instabilidade climática (chuva).

Frente Polar Atlântica (FPA): origina-se no oceano Atlântico, próximas à Patagônia (sul da Argentina). É caracterizada por ser fria e úmida. Sua atuação no litoral pernambucano é no inverno (sob a forma de frente fria), provocando chuvas (frontais) e declínio da temperatura.

Ondas de Leste (OL): Possui atuação na Zona Intertropical, nas áreas de influência dos ventos alísios. Deslocam-se de Leste para Oeste (do oceano para o continente) provocando chuvas torrenciais no litoral de Pernambuco, principalmente no inverno, com menor frequência no outono, e quase sem interferência no verão e primavera.

O sistema de instabilidade atmosférico ondas de leste ficam restritos ao litoral, raramente ultrapassam as escarpas do Planalto da Borborema. Embora esse sistema seja um dos responsáveis pelas chuvas torrenciais ele não exerce influência sobre o semiárido pernambucano.

Figura 2.4: Mecanismos de instabilidade climática que atuam no litoral pernambucano



LEGENDA

-  Zona de Convergência Intertropical - ZCIT
-  Ondas de Leste - OL
-  Frente Polar Atlântica - FPA
-  Direção Predominante dos Ventos
-  Direção Sistema Atmosférico de instabilidade

2.3.2 Geomorfologia

O litoral pernambucano possui 13 bacias hidrográficas que deságuam no Oceano Atlântico e possuem as características ideais para o estabelecimento de manguezais. Os estuários pernambucanos possuem características geomorfológicas/geológicas distintas. Para esta tese será adotada a classificação geomorfológica estuarina proposta por Pritchard (1952) que agrupa os estuários em três classes geomorfológicas: Planície costeira, formado por barras e outros processos geológicos/geomorfológicos.

Principais características de cada estuário:

Planície Costeira: Este tipo de estuário encontra-se nas planícies costeiras que se formaram durante a transgressão marinha (no Holoceno), inundando os vales dos rios. O processo de inundação foi mais acentuado que o de sedimentação, tornando a topografia atual dos estuários semelhantes ao vale do rio.

Formado por Barra: Estes estuários tiveram a sua gênese a partir da inundação de vales primitivos. Os processos sedimentares recentes ocasionaram a formação de

barras em sua foz. Devido aos processos erosivos, parte dos sedimentos é retrabalhados pelas ondas e transportados pelas correntes litorâneas formando canais e lagunas.

Outros processos geológicos/geomorfológicos: Os estuários que não são classificados como Planície Costeira, ou Construídos por Barra, são classificados como outros processos geológicos/geomorfológicos. Vários processos costeiros podem gerar estes estuários (Falhas tectônicas, erupção vulcânica, tremores e deslizamento de terras). Além dos que tiveram a sua morfologia modificada por processos sedimentares recentes (como rias e deltas).

O estuário do rio Itapessoca é um estuário que se enquadra no três tipo de estuário, outros processos geológico/geomorfológico. Possuindo feições de uma *ria* (Figura 2.5). Sua gênese foi marcada pela elevação de blocos tectônicos onde se localizava o vale interior de seu rio, dando origem uma *ria*.

Segundo Guerra e Guerra (2011) A *ria* é um tipo de costa de submersão, caracterizada por apresentar vales muito largos com uma foz em forma de trombeta. O nome *ria* foi introduzido por M. de Richthofen para designar os golfos digitados, com litoral escarpado, como os da costa da Galícia, no Nordeste da Espanha (de onde se origina o termo), onde se instalaram importantes portos como os de *Pontevedra* e *Vigo*. Mais tarde este conceito foi estendido, adquirindo um sentido mais genérico, isto é, todo vale afogado, sem levar em conta a altitude. Quanto aos golfos digitados, estes caracterizam-se como foz do tipo trombeta.

Figura 2.5: Imagem do estuário do rio Itapessoca, exemplo de Estuário do tipo *ria*



O estuário do rio Massangana/Tatuoca assim como o estuário do rio Itapessoca se enquadram no tipo outros processos geológicos/geomorfológicos. Sendo caracterizado como um estuário do tipo laguna costeira estuarina (Figura 2.6).

Figura 2.6: Imagem do estuário do rio Massangana/Tatuoca, exemplo de Estuário do tipo laguna costeira estuarina



Segundo Leça *et al.* (2004) conceituam uma laguna como um sistema marinho raso, geralmente orientado paralelamente à costa, separado do oceano por uma barreira, interligado pelo menos intermitentemente ao oceano por um ou mais canais.

As lagunas não possuem aporte hídrico que a alimente, no entanto, para classificar um estuário como sendo uma laguna costeira estuarina foi acrescentado o termo estuário para que a formação geomorfológica fosse aceita, mas sem desprezar o aporte de água doce dos rios que drenam a área. Ao acrescentar o termo estuarino pressupõe que há rios que deságua no mar.

2.3.3. Vegetação

As áreas de estudo estão inseridas na zona fisiográfica da Mata - Litoral de Pernambuco, onde a cobertura vegetal originária era a Mata Atlântica (vegetação do tipo umbrófila densa) e por seus ecossistemas associados (manguezal e restinga). Atualmente a Mata Atlântica encontra-se bastante reduzida, devido à retirada da floresta para dar lugar inicialmente aos canaviais (ainda no período pré-colônia da história do Brasil). Posteriormente alguns canaviais foram destruídos para dar lugar aos centros urbanos do litoral pernambucano, área conhecida como Região Metropolitana de Recife – RMR (Andrade, 2001).

A literatura descreve vários fatores biogeográficos necessários para a ocorrência de um Manguezal (Schaeffer-Novelli *et. al.*, 2001; Silva, 2006; Spalding *et. al.*, 1997; Silva, 2012):

Está situado em ambiente costeiro;

Normalmente está localizado em áreas tropicais (30° Norte e Sul) – podendo ocorrer algumas exceções, como é o caso do Japão e Austrália;

A temperatura da água está acima da isoterma de mais ou menos 20°C;

Solo Lamoso (composto predominantemente por sedimentos do tamanho silte e argila);

Predomínio da Vegetação de Mangue, que também se associa a outras espécies da flora e fauna adaptadas a este ambiente.

Sobre o complexo estuarino dos rios Itapessoca e Massangana/Tatuoca sobrepõe-se um exuberante manguezal. As espécies de mangue mais comuns nos estuários em estudo são: Mangue Vermelho (*Rhizophora mangle*), mangue branco (*Laguncularia racemosa*), mangue siriúba ou mangue preto (*Avicennia schaueriana*) e mangue de botão (*Conocarpus erectus*). Além das espécies de mangue este bioma apresenta vários vegetais

associados, a exemplo: Algodão do Manguê (ou da praia), Espartina (ou Praturá), Samambaia do Manguê e Líquens (Leça *et al.*, 2004; Santos 2007).

É importante notar que os termos Estuário e Manguezal não representam sinônimos. Como visto anteriormente o manguezal é um ecossistema com características biogeográficas específicas. Já os estuários são as formas de desagudouro de um rio no oceano (região costeira), oposta a um delta, sujeitas aos efeitos sensíveis das marés, correntes e vagas (Guerra & Guerra, 2011). Os Manguezais normalmente se instalam em estuários que possuem as características biogeográficas necessárias para a ocorrência deste bioma, este fato faz com que despercebidamente sejam confundidos estes dois conceitos.

Capítulo III:

Materiais e Métodos

Em gabinete foi realizada uma contínua revisão literária, com a finalidade de obter informações a respeito de trabalhos acadêmicos realizados anteriormente na área de estudo e metodologias que viessem a contribuir para a análise da qualidade dos sedimentos dos Sistemas Estuarinos da Ilha de Itapessoca e Baía de Suape. Também foi estudado artigos a respeito dos efeitos adversos a saúde ambiental e humana dos contaminantes encontrados a partir das análises geoquímicas.

A partir da leitura de artigos, trabalhos acadêmicos e técnicos, realizados por órgãos de pesquisa ambiental, foi composta a presente.

3.1 COLETA DE PERFIS SEDIMENTARES NÃO DEFORMADOS

Ao total foram coletados nove perfis sedimentares testemunhados e não deformados sendo, cada um com três replicatas. Quatro pontos de coleta foram estabelecidos na Baía de Suape, estuário dos rios Massagana e Tatuoca, localizado no Complexo Industrial Portuário de Suape – CIPS (Figura 3.1). Cinco pontos de amostragem foram estabelecidos no Complexo Estuarino do Rio Itapessoca - CERI, localizado no município de Goiana (Figura 3.2 e Tabela 3.2). um perfil por ponto de amostragem foi seccionado para submissão à análise geoquímica por Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES), onde foram avaliadas as concentrações de alguns elementos maiores e elementos traços.

Figura 3.1: Mapa dos pontos de amostragem dos perfis coletados nos pontos de amostragens S6, S7, S8 e S9 localizados nos rios Massangana/Tatuoca - Complexo Industrial Portuário de Suape

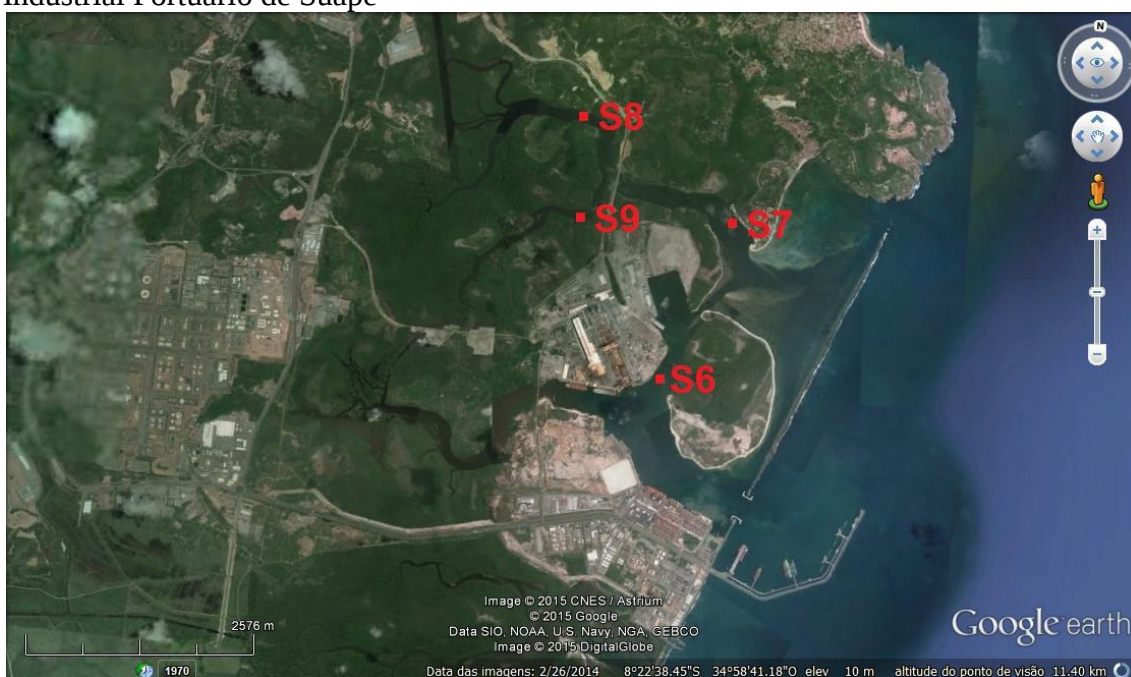


Figura 3.2: Mapa dos pontos de amostragem dos perfis coletados nos pontos de amostragens I1, I2, I3, I4 e I5 localizados no Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca - município de Goiana

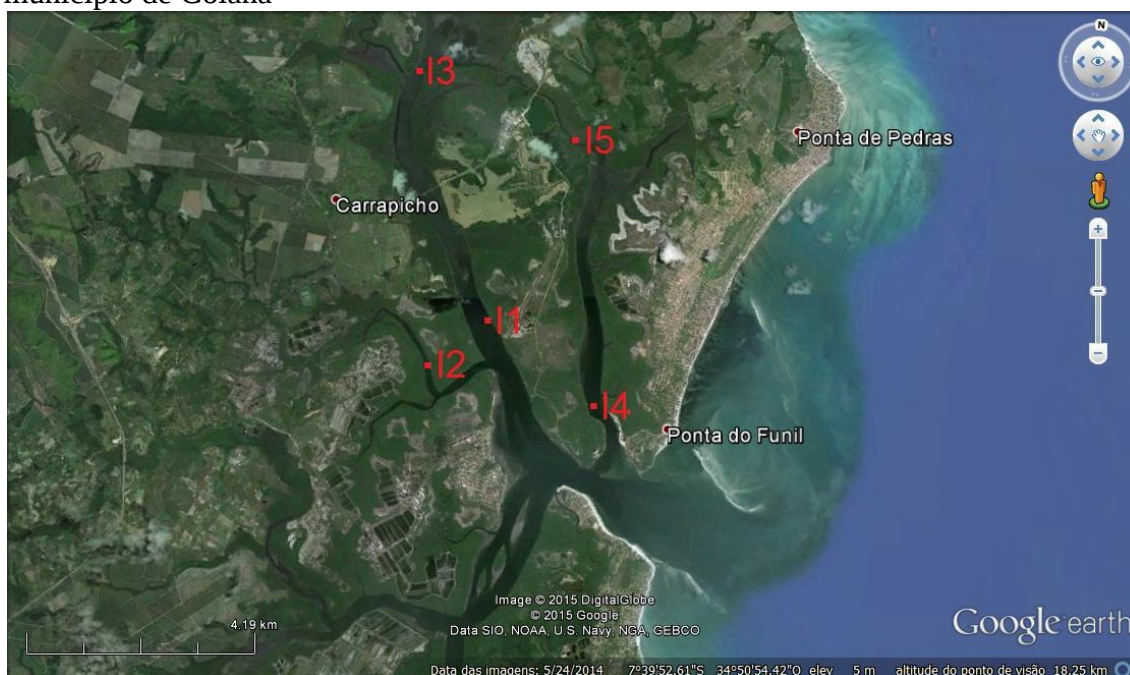


Tabela 3.1: Descrição da localização do perfis coletados no rio Massangana/Tatuoca e Itapessoca.

PERFIL	Localização do ponto de coleta		Rio em que foi coletado	Tamanho do Perfil (cm)	Número de amostras*
I1	0294156	9153298	CERI	44	22
I2	0293366	9151581	CERI	60	12
I3	0292895	9157134	CERI	65	13
I4	0296382	9151348	CERI	70	14
I5	0295874	9155984	CERI	55	11
S6	0283204	9073190	Massangana/Tatuoca	65	13
S7	0283938	9075050	Massangana/Tatuoca	60	12
S8	0281934	9076147	Massangana/Tatuoca	55	11
S9	0281976	9074954	Massangana/Tatuoca	35	7

Para a obtenção dos testemunhos nos perfis foi utilizado um coletor cilíndrico de Policloreto de Polivinila (PVC) com a lança em metal inox, sendo este revestido internamente por um cilindro de polietileno para encapsular o sedimento lamoso (Figura 3.3). Cada perfil teve o tamanho médio de 60 cm. Durante a coleta os perfis foram enumerados e posteriormente armazenados em caixas térmicas com temperatura constante (4°C) e em seguida levados ao Laboratório de Preparação de Amostras (LPA) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Figura 3.3: coletor cilíndrico de policloreto de polivinila broca inox com revestimento interno de polímero sintético



3.2. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS E ANÁLISE GEOQUÍMICA

3.2.1. Seccionamento dos Perfis

No LPA os perfis foram armazenados em um *freezer* para serem seccionados posteriormente.

Os perfis foram fracionados a cada 5 cm com o auxílio de espátulas de plástico que foram utilizadas apenas uma vez e em seguida descartadas para não ocorrer a contaminação de outras secções do perfil (Figura 3.4). Em seguida todos os perfis foram postos para secar em estufa à 30°C.

Figura 3.4: Seccionamento dos testemunhos para a realização de análises geoquímicas



Após secagem, as amostras, na fração total, foram desagregadas e tiveram a granulometria homogeneizadas com o auxílio de um almofariz e pistilo de porcelana até ficarem reduzidas a uma granulometria do tamanho máximo de 200 mesh (74 μm).

Considerando-se a média da taxa de sedimentação linear de aproximadamente 3,0 mm/ano registrada nos estudos realizados por Souza (2013) e Marins *et al.* (2004) para a Costa Leste Brasileira, a expectativa é da representação temporal da ordem aproximada de 17 anos para cada fração dos perfis.

3.2.2 Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente - ICP-OES

A análise geoquímica foi realizada no laboratório SGS GEOSOL, em Minas Gerais. Foi utilizado a fração total dos sedimentos para a determinação dos Elementos Químicos: Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Hg, In, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Sn, Sr, Tb, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Yb, Zn e Zr (método ICM 14B).

A solubilização das amostras foram feitas através da adição de 8mL de água régia (3:1 HCl:HNO₃) e 2g de sedimento total, de cada secção do perfil. Posteriormente aqueceu-se por 30min a 90°C em Banho-Maria (modificado de HORTELLANI 2005). As soluções obtidas de cada fração foram filtradas e avolumadas a 25,0 mL com água ultrapura. Todas as extrações foram acompanhadas por análises em paralelo de brancos de amostras certificada e referenciada (TILL-3). Os limites de detecção (LD) para cada elemento estão descritos nas tabelas 4.1 e 7.1.

3.3 Índices de Qualidade Ambiental

Vários índices de qualidade ambiental são discutidos na literatura. Estes índices indicam quanto uma amostra está enriquecida quando comparada a um valor padrão ou de base. No presente trabalho foram utilizados o Fator de Enriquecimento (FE) e o Índice de Geoacumulação (Igeo) para avaliar a qualidade ambiental dos sedimentos estuarino.

A equação de FE utilizada para avaliar a qualidade ambiental das amostras foi a sugerida por Thomas e Meybeck (1996), que utiliza o Al como elemento normalizador.

$$FE = (MP \text{ da amostra} / Al \text{ da amostra}) / (MP \text{ do } Background / Al \text{ do } Background)$$

Onde:

FE – Fator de Enriquecimento

MP – Concentração do Metal Pesado

Al – Concentração do Alumínio

O Al deve ser utilizado como normalizador desde que o elemento químico analisado possua forte correlação linear com ele.

Foram adotados os seguintes intervalos de valores para avaliação do FE:

FE – Não Enriquecido - ≤ 1

FE – Pouco Enriquecido - 1 a 3

FE – Moderadamente Enriquecido - > 3 a 5

FE – Enriquecimento Moderadamente Severo - > 5 a 10

FE – Enriquecimento Severo - > 10 a 25

FE – Enriquecimento Moderadamente Severo - > 25 a 50

FE – Enriquecimento Muito Severo - > 50

Para os cálculos do Fator de Enriquecimento foram adotado os valores de *Backgrounds* estabelecidos para a Crosta, *Shale*, Solos de Suape e Sedimentos Estuarinos do estado de Pernambuco (Li, 2000; Krauskopf e Bird, 1995; Moraes, 2013; Mendes, 2015, respectivamente) Apresentados na tabela abaixo (Tabela 3.2).

Tabela 3.2: Valores *Backgrounds* da Crosta, *Shale*, Solos de Suape e Estuários de Pernambucano, adotados para a realização dos cálculos do Fator de Enriquecimento e índice de Geoacumulação

<i>Backgrounds</i>	Al	Ag	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Sc	Sn	Sr	Zn
	%	mgkg ⁻¹													
Crosta ^a	7,83	0,06	1,6	0,1	69	39	80	1,6	55	17	0,2	14	3,3	350	67
<i>Shale</i> ^b	8,8	0,07	13	0,3	90	45	0,18	2,6	50	20	1,5	13	3	170	95
Solos de Suape ^c	2,09			0,75	42,54	5,17		0,86	4,48	5,64		5,24		3,76	26,67
Estuários Pernambucano ^d	2,21	0,06	10,01	0,15	34,2	11,64			9,19	15,83				68,31	29,99

^aLi, 2000; ^bKrauskopf e Bird, 1995; ^cMoraes, 2013; ^dMendes, 2015.

Para o presente estudo foi adotada a formula de Igeo sugerida por Muller (1979, *apud* Soares *et al.* 2004), que encontra-se expressa abaixo.

$$I_{geo} = \text{Log}_2 C_n / (1,5 C_b)$$

Onde:

Igeo – Índice de Geoacumulação

Cn – Concentração do Elemento

1,5 – Fator de Suavização das flutuações do *background* causadas pela variação litogênica

Cb – Concentração média de padrão do *background*

Para o Igeo será adotado os seguintes valores:

Igeo – Nível Basal - < 0

Igeo – Não Poluído - 0 a 1

Igeo- Moderadamente Poluído - 1 a 2

Igeo – Moderadamente a Poluído - 2 a 3

Igeo – Poluído a Muito poluído - 3 a 4

Igeo – Muito Poluído - 4 a 5

Igeo - Altamente Poluído - > 5

Para os cálculos do Igeo foram adotados os mesmos valores de *Backgrounds* utilizados nos cálculos do FE que foram estabelecidos para a Crosta, *Shele*, Solos de Suape e Sedimentos Estuarinos do estado de Pernambuco (Li, 2000; Krauskopf e Bird, 1995; Moraes, 2013; Mendes, 2015, respectivamente) Apresentados na tabela abaixo (Tabela 3.2).

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

3.4.1 Matriz de Correlação

O fator de correlação de Pearson é um método geoestatístico para avaliar a correlação linear entre duas variáveis α e β . A partir do conjunto desta análise é feita uma matriz, denominada de Matriz de Correlação (MC).

A MC fornece os dados numéricos que podem variar de -1 a 1, denominado de Índice de Correlação – IC, que demonstra a relação de dependência ou de independência entre os pares de variáveis analisados (Spingel, 1972; Magalhães e Lima, 2002). Vários estudos (Lima, 2007; Lima, 2008) interpretam os valores expressos na MC como:

$0,81 \leq IC \leq 1$ - Correlações Positivamente Forte

$0,6 \leq IC \leq 0,8$ - Correlações Positivamente Medianas

$-0,6 \leq IC \leq -0,8$ - Correlações Negativas medianas

$-0,81 \leq IC \leq -1$ – Correlações Negativas Fortes

3.4.2 Análise de Componentes Principais – ACP

A partir dos dados químicos dos elementos analisados geoquimicamente, foi elaborado gráficos univariados. Posteriormente foi realizada à Análise de Componentes Principais (ACP).

A ACP é uma técnica estatística multivariada que permite reduzir a representação de um grande número de variáveis para um novo conjunto com número mais reduzido destas, que devem representar uma grande fração da variabilidade contida nos dados originais.

Os elementos destes novos vetores são chamados de componentes principais. Desta forma, o método objetiva estabelecer um pequeno número de combinações lineares (componentes principais) de um conjunto de variáveis, que retenham um máximo possível da informação contida nas variáveis originais (Moita Neto & Moita, 1998).

Assim a ACP irá projetar todos os parâmetros analisados (informação) em apenas duas dimensões:

1º Dimensão: Componente Principal 1 - CP1

2º Dimensão: Componente Principal 2 - CP2

A CP1 encontra-se na abscissa, e nela encontra-se a maior parte da informação estatística (Jackson, 1991). A CP2 encontra-se na ordenada, possuindo uma menor parte da informação estatística. A CP1 e CP2 devem ser analisadas em conjunto, pois nelas espera-se encontrar as informações necessárias para realizar os agrupamentos geoquímicos.

Quando os dados são tratados utilizando o método da ACP são gerados dois gráficos:

1º Gráfico: *Loadings*

2º Gráfico: *Scores*

O Gráfico *loadings* é composto pelos grupos geoquímicos formados a partir dos parâmetros analisados (dimensões). Já o dos escores é composto pelo agrupamento dos pontos de coleta. O processamento da ACP pode ser efetuado a partir da matriz de correlação ou da matriz de variâncias e covariâncias (Moita Neto & Moita, 1998). Para interpretar o ACP é necessário observar os agrupamentos de amostras formados pelo gráfico dos escores, comparando-os com os grupos geoquímicos que são formados no gráfico de *loadings*.

Resultados e Discussão

Capítulo IV:
Avaliação geoquímica dos
sedimentos sobre a influência
tecnogênica da zona estuarina da
Baia de Suape: Rio
Massangana/Tatuoca (Complexo
Industrial Portuário de Suape)

4.1 AVALIAÇÃO GERAL DOS DADOS GEOQUÍMICOS DOS SEDIMENTOS ESTUARINOS DA BAIÁ DE SUAPE, RIOS MASSANGANA E TATUOCA

Como visto anteriormente o estuário dos rios Massangana e Tatuoca está localizado no Complexo Industrial e Portuário de Suape (CIPS). Devido às atividades antrópicas, o CIPS, é uma área vulnerável à degradação ambiental. Entre os vários impactos que o CIPS vem passando, a literatura destaca a presença de contaminação geoquímica dos sedimentos estuarinos desta região (Teódulo *et al.*, 2003, Moraes, 2009; Marques *et al.*, 2011; Moraes, 2013). Este tipo de problema não é exclusivo do CIPS, ocorre também, em portos como o de Cape Town, na África do Sul; de Santa Rosalio, México; porto ocidental (Mar Mediterrâneo) no Egito (Okoroet *et al.*, 2014; Huerta-Diaz *et al.*, 2014; Abdallah, 2014).

Neste capítulo serão discutidos de forma geral os dados geoquímicos obtidos a partir da análise das secções dos quatro perfis testemunhados no estuário do rio Massangana/Tatuoca (S6, S7, S8 e S9).

A Tabela 4.1 contém os dados geoquímicos e estes foram trabalhados estatisticamente através da Análise da Matriz de Correlação (MC), método estatístico (Figura 4.1) que avalia a correlação entre pares de elementos químicos.

Os dados também foram submetidos a análise estatística multivariada, Análise de Componentes Principais – ACP. A partir da ACP foram gerados dois gráficos: O primeiro é o de *Loadings* que mostra graficamente as associações geoquímicas entre os elementos tomando como base a variância de seus valores (Figura 4.2). Já o segundo gráfico é o dos *Scores* (Figura 4.3) que indica o comportamento das amostras com relação à variância da concentração dos elementos químicos.

TABELA 4.1: Concentração dos elementos químicos em Perfis da Baía de Suape – PE (Complexo portuário de Suape)

	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Hg	In	K	La	Li	Lu	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	S	Sb
	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	Ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm
S6 0-5	0,025	1,42	7	61	1,4	0,18	1,02	0,03	100,74	3,2	19	0,9	12,1	1,27	6	0,11	0,03	0,35	40,9	16	0,16	0,59	52	1,55	1,17	0,73	7,3	258	14,9	21,1	0,7	1,45
S6 5-10	0,05	1,2	9	43	1	0,11	1,58	0,04	69,96	2,1	22	0,79	9,7	1,39	5,3	0,13	0,03	0,23	29,1	16	0,1	0,55	45	1,61	0,9	0,37	6,4	246	13	14,3	0,75	0,69
S6 10-15	0,02	0,99	10	33	0,8	0,11	2,06	0,03	52,84	1,8	21	0,7	8,6	1,26	4,7	0,1	0,02	0,18	22,5	15	0,09	0,53	37	1,43	0,97	0,025	5,7	242	11,3	10,9	0,83	0,46
S6 15-20	0,06	1,08	10	32	0,8	0,07	2,54	0,03	49,67	1,7	24	0,75	8,9	1,35	5,1	0,1	0,02	0,16	21,2	17	0,09	0,57	42	1,48	0,86	0,025	6,2	272	12,5	10,3	1,04	0,39
S6 20-25	0,39	1,57	16	44	1,2	0,14	2,66	0,04	57,86	2,5	35	0,89	10,1	2,01	7,5	0,15	0,04	0,19	25,2	28	0,12	0,8	55	2,49	1,1	0,025	9,7	397	17,8	12,8	1,53	0,46
S6 25-30	0,13	1,13	11	44	0,9	0,09	2,06	0,05	40,47	1,9	26	0,7	8,8	1,42	5,3	0,12	0,03	0,14	17,8	20	0,1	0,58	42	2,22	0,98	0,025	7,6	267	13,2	8,6	1,18	0,36
S6 30-35	0,17	0,95	9	25	0,7	0,07	2,44	0,03	34,96	1,5	21	0,67	6,8	1,36	4,3	0,07	0,02	0,12	15,4	17	0,07	0,53	41	1,8	0,81	0,025	5,9	217	10,6	7,6	1,02	0,23
S6 35-40	0,09	1	10	27	0,8	0,08	2,82	0,04	38,6	1,7	22	0,8	7,6	1,33	4,6	0,06	0,02	0,13	17,3	17	0,07	0,52	44	1,84	0,75	0,025	5,9	237	10,7	9,2	1,26	0,22
S6 40-45	0,005	0,74	6	13	0,6	0,04	2,79	0,03	31,26	1,3	16	0,82	8,4	1,03	3,4	0,06	0,01	0,1	14,4	14	0,05	0,4	35	1,47	0,47	0,025	4,1	134	7,4	8,2	0,91	0,14
S6 45-50	0,03	0,75	6	17	0,6	0,05	3,55	0,02	31,03	1,4	15	0,82	5,4	1,05	3,5	0,04	0,01	0,1	14,4	13	0,05	0,43	40	1,27	0,48	0,025	4,2	167	7,4	8,3	0,9	0,14
S6 50-55	0,33	1,11	9	21	0,9	0,08	5,94	0,04	39,58	2,1	23	1,29	9,7	1,71	5,4	0,1	0,01	0,14	18,1	17	0,07	0,68	68	2,22	0,99	0,025	7	214	11,1	12,6	1,77	0,18
S6 55-60	0,26	1,08	8	19	0,9	0,08	4,88	0,04	36,91	2	21	1,28	10,5	1,7	5,2	0,05	0,01	0,14	17	15	0,07	0,61	56	2,53	0,88	0,025	8,9	224	10,9	12,2	1,79	0,17
S6 60-65	0,08	0,83	5	14	0,6	0,05	4,24	0,02	31,52	1,4	16	1	7,4	1,2	3,9	0,05	0,01	0,11	14,6	13	0,05	0,49	45	1,4	0,84	0,025	4,2	161	8,4	9,1	1,23	0,13
Média	0,13	1,07	8,92	30,23	0,86	0,09	2,97	0,03	47,34	1,89	21,62	0,88	8,77	1,39	4,94	0,09	0,02	0,16	20,61	16,77	0,08	0,56	46,31	1,79	0,86	0,11	6,39	233,54	11,48	11,17	1,15	0,39
DP S6	0,13	0,24	2,81	14,39	0,24	0,04	1,37	0,01	19,85	0,52	5,17	0,20	1,74	0,27	1,09	0,03	0,01	0,07	7,57	3,88	0,03	0,10	9,13	0,43	0,21	0,21	1,73	64,87	2,92	3,65	0,36	0,36
S7 0-5	0,025	0,54	5	13	0,4	0,04	0,27	0,03	34,52	1,1	13	0,49	6,8	0,83	2,9	0,05	0,01	0,1	14	9	0,05	0,21	25	2,75	0,55	0,67	3,2	149	6,8	5,8	0,81	0,19
S7 5-10	0,05	0,55	8	12	0,4	0,04	0,28	0,04	26,25	1,2	13	0,55	11,4	1,25	2,9	0,06	0,01	0,1	11,2	10	0,04	0,27	27	3,9	0,75	0,7	3,9	136	6,2	6,4	1,24	0,22
S7 10-15	0,33	0,9	11	16	0,8	0,07	0,49	0,05	38,42	1,8	22	0,87	8	1,91	5,1	0,08	0,03	0,14	17,1	16	0,07	0,4	45	6,75	1,14	0,95	6,9	198	10,4	10,4	1,76	0,32
S7 15-20	0,07	0,55	8	9	0,4	0,02	0,7	0,05	22,94	1,1	14	0,61	8,1	1,17	3	0,03	0,01	0,09	10,4	10	0,04	0,26	28	5,84	0,67	0,38	3,6	93	6,2	6,2	1,32	0,24
S7 20-25	0,68	0,99	20	18	1	0,07	0,64	0,08	39	2	26	0,79	8,8	2,79	5	0,12	0,03	0,17	17,3	17	0,09	0,55	47	10,19	1,39	0,61	7	195	10,6	9,9	2,74	0,39
S7 25-30	0,28	0,78	11	12	0,7	0,03	0,66	0,04	29,42	1,5	19	0,68	11,8	1,83	4,1	0,05	0,01	0,12	13,4	13	0,06	0,35	31	5,74	0,91	0,55	5	156	8	7,8	1,99	0,26
S7 30-35	0,51	0,98	16	20	0,9	0,05	0,69	0,08	38,12	1,8	24	0,77	8	2,36	4,9	0,09	0,03	0,15	16,8	17	0,08	0,47	44	8,78	1,32	0,58	6,5	175	10,4	9,3	2,46	0,36
S7 35-40	0,34	0,75	13	13	0,8	0,04	1,38	0,07	29,96	1,5	20	0,71	11,6	1,9	3,9	0,06	0,01	0,12	13,4	13	0,06	0,42	36	7,24	1,01	0,14	5,1	107	7,8	7,6	2,13	0,27
S7 40-45	0,78	1	18	18	1,2	0,05	0,92	0,08	39,89	2,1	27	0,86	9	2,78	5,3	0,08	0,02	0,17	17,9	17	0,09	0,59	46	14	1,69	0,55	7,2	172	10,3	9,9	2,88	0,43
S7 45-50	0,38	0,75	13	13	1	0,03	0,46	0,09	35,15	1,7	22	0,74	7,3	2,24	4,1	0,06	0,02	0,15	15,9	12	0,07	0,48	38	14,1	1,62	1,23	6,1	172	8,8	8,2	2,46	0,36
S7 50-55	0,28	0,61	10	10	0,7	0,03	0,49	0,05	27,97	1,3	17	0,62	13,4	1,7	3,2	0,04	0,01	0,12	12,7	11	0,06	0,36	27	7,1	1,08	0,47	4,6	115	6,7	6,9	1,94	0,26
S7 55-60	0,54	1,02	13	21	1,3	0,23	0,4	0,15	43,38	2,2	27	0,98	9,4	2,61	5,2	0,1	0,1	0,19	19,9	17	0,15	0,56	44	9,58	1,75	1,69	7,3	219	11	11,5	2,71	0,36
Média	0,36	0,79	12,17	14,58	0,80	0,06	0,62	0,07	33,75	1,61	20,33	0,72	9,47	1,95	4,13	0,07	0,02	0,14	15,00	13,50	0,07	0,41	36,50	8,00	1,16	0,71	5,53	157,25	8,60	8,33	2,04	0,31
DP S7	0,24	0,19	4,32	3,92	0,30	0,06	0,31	0,03	6,33	0,38	5,23	0,14	2,09	0,64	0,95	0,03	0,03	0,03	2,91	3,15	0,03	0,12	8,54	3,54	0,40	0,41	1,49	38,86	1,87	1,85	0,66	0,08
S8 0-5	0,1	0,79	6	25	0,6	0,05	0,17	0,03	43,18	1,8	15	0,71	9,8	1,42	3,9	0,06	0,02	0,15	17,7	10	0,08	0,29	40	1,78	0,72	0,86	4,3	247	8,5	9,6	0,85	0,66
S8 5-10	0,25	0,84	7	19	0,7	0,05	0,48	0,03	35,28	1,8	17	0,64	11,3	1,66	4,5	0,07	0,03	0,14	14,8	12	0,07	0,35	48	2,3	0,82	1,22	4,7	208	9	8,8	1,46	0,45
S8 10-15	0,5	1,19	11	26	1,1	0,07	0,29	0,06	46,88	3	26	0,87	15	2,37	6,1	0,07	0,04	0,19	20,1	17	0,1	0,49	63	2,97	1,12	1,33	7,9	240	12,4	12,2	2,15	0,37
S8 15-20	0,63	1,35	13	30	1,3	0,07	0,27	0,07	52,91	3,1	31	0,91	11,8	2,58	6,8	0,13	0,04	0,22	22,2	18	0,11	0,56	58	3,39	1,25	1,43	9,6	302	14,8	13,1	2,19	0,37
S8 20-25	0,54	1,28	12	29	1,1	0,07	0,27	0,05	47,21	2,8	27	0,9	10,7	2,5	6,3	0,07	0,03	0,2	20,1	18	0,1	0,55	62	3,11	1,28	1,23	8	274	13,3	12,2	2,07	0,33
S8 25-30	0,68	1,39	11	27	1,3	0,08	0,44	0,05	54,27	3,8	31	0,96	12	2,82	7,4	0,11	0,04	0,22	23,6	19	0,12	0,6	71	3,21	1,22	1,58	9,4	324	14	14,5	2,8	0,33
S8 30-35	0,79	1,48	11	32	1,3	0,09	0,41	0,08	54,57	4,6	36	1	17,5	3,16	8,3	0,11	0,05	0,23	23,4	20	0,12	0,62	92	3,53	1,35	2,23	10,8	333	15,6	15,1	2,99	0,28
S8 35-40	0,98	1,44	9	29	1,2	0,07	0,25	0,08	46,57	5	34	0,97	13,9	3,22	8,3	0,14	0,05	0,2	20	17	0,11	0,56	100	3,63	1,24	2,39	10,6	297	14,9	13,4	2,68	0,22
S8 40-45	0,94	1,6	8	33	1,5	0,08	0,24	0,07	52,16	5,3	33	1,23	12,8	3,37	8,8	0,14	0,05	0,24	22,7	18	0,12	0,53	121	4,9	1,37	2,29	11,4	295	16,4	15,3	2,71	0,25
S8 45-50	0,86	1,49	7	32	1,2	0,07	1,37	0,07	50,64	4,8	33	1,11	15,4	2,99	8,6	0,12	0,05	0,19	21,6	16	0,11	0,54	127	4,02	0,92	2,64	9,8	309	14,8	12,7	2,92	0,21
S8 50-55	1,27	1,9	8	42	1,4	0,07	0,27	0,07	51,12	6,1	40	1,04	16,6	4,01	10,9	0,09	0,06	0,22	21,6	17	0,13	0,55	133	4,16	1,09	3,57	13,5	385	16,5	13,3	3,08	0,22
0,05	1,18	1,81	7	46	1,6	0,07	0,2	0,07	50,67	6,6	43	0,88	21,7	4,02	11,2	0,09	0,06	0,21	21,5	15	0,13	0,51	121	4,51	1,11	3,02	13,5	425	16,6	11,8	2,44	0,19
0,03	0,73	1,38	9,17	30,83	1,19	0,07	0,39	0,06	48,79	4,06	3																					

Figura 4.1: Gráficos da Matriz de Correlação da Baía de Suape (Complexo Portuário de Suape) – Todos os Perfis

	Ag																																		
Ag	1,00	Al																																	
Al	0,78	1,00	As																																
As	0,40	0,32	1,00	Ba																															
Ba	0,39	0,83	0,15	1,00	Be																														
Be	0,82	0,92	0,47	0,73	1,00	Bi																													
Bi	0,24	0,59	0,33	0,68	0,64	1,00	Ca																												
Ca	-0,25	0,08	-0,03	0,07	-0,06	0,19	1,00	Cd																											
Cd	0,67	0,38	0,57	0,10	0,61	0,41	-0,32	1,00	Ce																										
Ce	0,31	0,73	0,18	0,89	0,72	0,72	0,01	0,13	1,00	Co																									
Co	0,87	0,86	0,04	0,64	0,81	0,31	-0,22	0,41	0,54	1,00	Cr																								
Cr	0,58	0,50	0,06	0,40	0,47	0,17	-0,20	0,30	0,29	0,66	1,00	Cs																							
Cs	0,61	0,77	0,30	0,47	0,74	0,54	0,46	0,37	0,49	0,58	0,22	1,00	Cu																						
Cu	0,11	-0,02	-0,34	-0,05	-0,01	-0,22	-0,34	0,04	-0,06	0,23	0,20	-0,24	1,00	Fe																					
Fe	0,98	0,82	0,48	0,45	0,87	0,33	-0,22	0,70	0,38	0,85	0,50	0,66	0,03	1,00	Ga																				
Ga	0,87	0,97	0,28	0,73	0,91	0,47	-0,04	0,45	0,62	0,93	0,55	0,72	0,06	0,90	1,00	Hg																			
Hg	0,56	0,80	0,49	0,74	0,78	0,66	0,05	0,41	0,72	0,59	0,40	0,60	-0,15	0,61	0,73	1,00	In																		
In	0,73	0,73	0,31	0,56	0,79	0,70	-0,27	0,74	0,51	0,72	0,50	0,52	0,04	0,77	0,76	0,66	1,00	K																	
K	0,55	0,82	0,30	0,83	0,87	0,69	-0,15	0,37	0,93	0,70	0,35	0,58	0,02	0,62	0,75	0,76	0,66	1,00	La																
La	0,35	0,77	0,24	0,89	0,76	0,76	0,07	0,18	0,99	0,55	0,27	0,56	-0,11	0,43	0,65	0,75	0,54	0,94	1,00	Li															
Li	0,52	0,80	0,64	0,67	0,75	0,66	0,29	0,34	0,59	0,46	0,32	0,69	-0,27	0,59	0,70	0,81	0,57	0,62	0,65	1,00	Lu														
Lu	0,66	0,87	0,37	0,84	0,92	0,80	-0,13	0,54	0,84	0,74	0,46	0,61	0,02	0,72	0,82	0,80	0,85	0,92	0,86	0,72	1,00	Mg													
Mg	0,49	0,79	0,57	0,67	0,78	0,68	0,45	0,35	0,63	0,46	0,28	0,78	-0,18	0,57	0,69	0,77	0,51	0,66	0,69	0,91	0,72	1,00	Mn												
Mn	0,87	0,89	0,09	0,59	0,80	0,32	-0,01	0,40	0,49	0,94	0,53	0,74	0,09	0,86	0,94	0,62	0,69	0,63	0,51	0,53	0,69	0,55	1,00	Mo											
Mo	0,27	-0,21	0,49	-0,38	0,07	-0,16	-0,41	0,61	-0,28	-0,07	0,17	-0,15	0,04	0,25	-0,11	-0,11	0,09	-0,10	-0,26	-0,14	-0,05	-0,12	-0,13	1,00	Na										
Na	0,52	0,32	0,57	0,15	0,58	0,33	-0,34	0,74	0,25	0,32	0,27	0,25	0,26	0,55	0,35	0,39	0,51	0,49	0,28	0,34	0,52	0,43	0,25	0,62	1,00	Nb									
Nb	0,84	0,64	-0,01	0,36	0,65	0,16	-0,51	0,55	0,32	0,88	0,53	0,37	0,29	0,81	0,77	0,38	0,74	0,53	0,31	0,19	0,60	0,16	0,82	0,13	0,37	1,00	Ni								
Ni	0,21	0,10	-0,24	0,13	0,07	-0,06	-0,21	0,01	0,08	0,36	0,88	-0,09	0,29	0,10	0,15	0,04	0,16	0,08	0,04	-0,07	0,12	-0,08	0,18	0,16	0,06	0,28	1,00	P							
P	0,68	0,94	0,25	0,83	0,83	0,56	0,04	0,28	0,69	0,80	0,48	0,64	0,01	0,73	0,92	0,76	0,71	0,74	0,72	0,77	0,83	0,74	0,80	-0,31	0,25	0,60	0,10	1,00	Pb						
Pb	0,69	0,96	0,35	0,84	0,90	0,61	0,03	0,36	0,76	0,79	0,46	0,68	0,05	0,74	0,91	0,85	0,71	0,84	0,78	0,83	0,88	0,82	0,80	-0,22	0,42	0,56	0,07	0,94	1,00	Rb					
Rb	0,53	0,86	0,29	0,80	0,85	0,73	0,14	0,29	0,90	0,67	0,30	0,79	-0,14	0,61	0,77	0,77	0,61	0,93	0,93	0,72	0,86	0,76	0,68	-0,24	0,33	0,44	0,01	0,76	0,83	1,00	S				
S	0,90	0,60	0,58	0,14	0,73	0,20	-0,22	0,80	0,15	0,64	0,39	0,59	0,04	0,91	0,69	0,46	0,64	0,43	0,21	0,48	0,54	0,48	0,69	0,47	0,65	0,69	0,04	0,47	0,53	0,43	1,00	Sb			
Sb	-0,08	0,28	0,21	0,61	0,36	0,56	-0,11	0,00	0,79	0,07	-0,10	0,11	-0,15	0,02	0,15	0,39	0,18	0,68	0,76	0,26	0,54	0,29	0,00	-0,09	0,19	-0,03	-0,13	0,25	0,33	0,60	-0,12	1,00	Sc		
Sc	0,87	0,96	0,28	0,76	0,92	0,50	-0,12	0,49	0,66	0,94	0,56	0,67	0,09	0,89	0,99	0,74	0,79	0,79	0,68	0,67	0,86	0,66	0,92	-0,09	0,39	0,80	0,16	0,91	0,91	0,78	0,69	0,21	1,00	Se	
Sn	0,71	0,72	0,13	0,51	0,71	0,33	-0,23	0,44	0,43	0,79	0,48	0,45	0,44	0,71	0,77	0,53	0,66	0,62	0,44	0,45	0,69	0,50	0,73	-0,01	0,56	0,73	0,19	0,72	0,78	0,53	0,60	0,04	0,79	Si	
Sr	-0,18	0,15	0,05	0,12	0,02	0,25	0,99	-0,25	0,05	-0,16	-0,17	0,52	-0,37	-0,14	0,03	0,11	-0,19	-0,09	0,12	0,36	-0,06	0,52	0,04	-0,37	-0,28	-0,47	-0,22	0,11	0,10	0,19	-0,16	-0,09	-0,09	Te	
Tb	0,50	0,83	0,23	0,92	0,83	0,73	-0,10	0,29	0,97	0,69	0,38	0,52	0,00	0,56	0,75	0,76	0,66	0,96	0,97	0,62	0,92	0,64	0,63	-0,18	0,34	0,50	0,11	0,78	0,84	0,90	0,32	0,71	0,80	Ti	
Th	0,76	0,92	0,34	0,80	0,92	0,60	-0,23	0,47	0,81	0,84	0,48	0,61	0,05	0,81	0,91	0,80	0,79	0,92	0,82	0,68	0,92	0,65	0,80	-0,07	0,46	0,73	0,12	0,87	0,91	0,87	0,61	0,45	0,94	Tl	
Ti	0,89	0,79	0,14	0,44	0,73	0,19	-0,07	0,48	0,28	0,89	0,54	0,62	0,19	0,87	0,88	0,50	0,66	0,48	0,32	0,46	0,58	0,47	0,92	0,04	0,34	0,81	0,20	0,72	0,71	0,50	0,75	-0,17	0,80	Tm	
Tl	0,55	0,59	0,57	0,45	0,76	0,83	-0,04	0,80	0,52	0,41	0,23	0,61	-0,20	0,63	0,55	0,64	0,83	0,64	0,57	0,64	0,80	0,64	0,43	0,25	0,61	0,40	-0,09	0,51	0,58	0,64	0,62	0,36	0,58	U	
U	0,55	0,21	0,68	0,01	0,45	0,04	-0,40	0,68	0,04	0,24	0,24	0,09	0,02	0,56	0,28	0,24	0,32	0,24	0,07	0,22	0,30	0,24	0,20	0,85	0,75	0,33	0,02	0,11	0,23	0,08	0,67	0,08	0,33	V	
V	0,95	0,87	0,35	0,56	0,87	0,34	-0,25	0,59	0,47	0,92	0,55	0,60	0,13	0,97	0,95	0,61	0,77	0,67	0,50	0,56	0,76	0,55	0,90	0,12	0,47	0,86	0,16	0,81	0,80	0,63	0,81	0,06	0,99	W	
W	-0,07	0,23	0,20	0,45	0,34	0,85	0,05	0,31	0,57	-0,01	-0,04	0,21	-0,23	0,03	0,11	0,40	0,52	0,48	0,58	0,34	0,58	0,36	-0,03	-0,07	0,23	-0,02	-0,13	0,26	0,27	0,46	-0,04	0,63	0,11	Xe	
Y	0,64	0,91	0,30	0,92	0,90	0,66	-0,11	0,35	0,91	0,79	0,47	0,58	0,02	0,69	0,86	0,81	0,70	0,95	0,92	0,70	0,94	0,70	0,74	-0,14	0,39	0,59	0,13	0,87	0,91	0,90	0,45	0,58	0,83	Yb	
Yb	0,64	0,91	0,33	0,90	0,91	0,68	-0,09	0,39	0,90	0,78	0,49	0,59	0,01	0,69	0,85	0,81	0,72	0,95	0,91	0,72	0,95	0,74	0,72	-0,10	0,44	0,57	0,15	0,86	0,92	0,89	0,47	0,57	0,88	Zn	
Zn	0,90	0,88	0,28	0,61	0,88	0,38	-0,27	0,56	0,55	0,93	0,60	0,58	0,29	0,91	0,93	0,65	0,79	0,73	0,56	0,58	0,80	0,58	0,87	0,03	0,51	0,84	0,23	0,84	0,84	0,68	0,76	0,11	0,99	Zr	
Zr	0,92	0,82	0,16	0,56	0,79	0,26	-0,31	0,52	0,43	0,95	0,58	0,49	0,20	0,90	0,92	0,53	0,74	0,61	0,44	0,42	0,70	0,40	0,91	0,08	0,36	0,91	0,24	0,76	0,73	0,54	0,72	0,01	0,99	Br	

Onde:

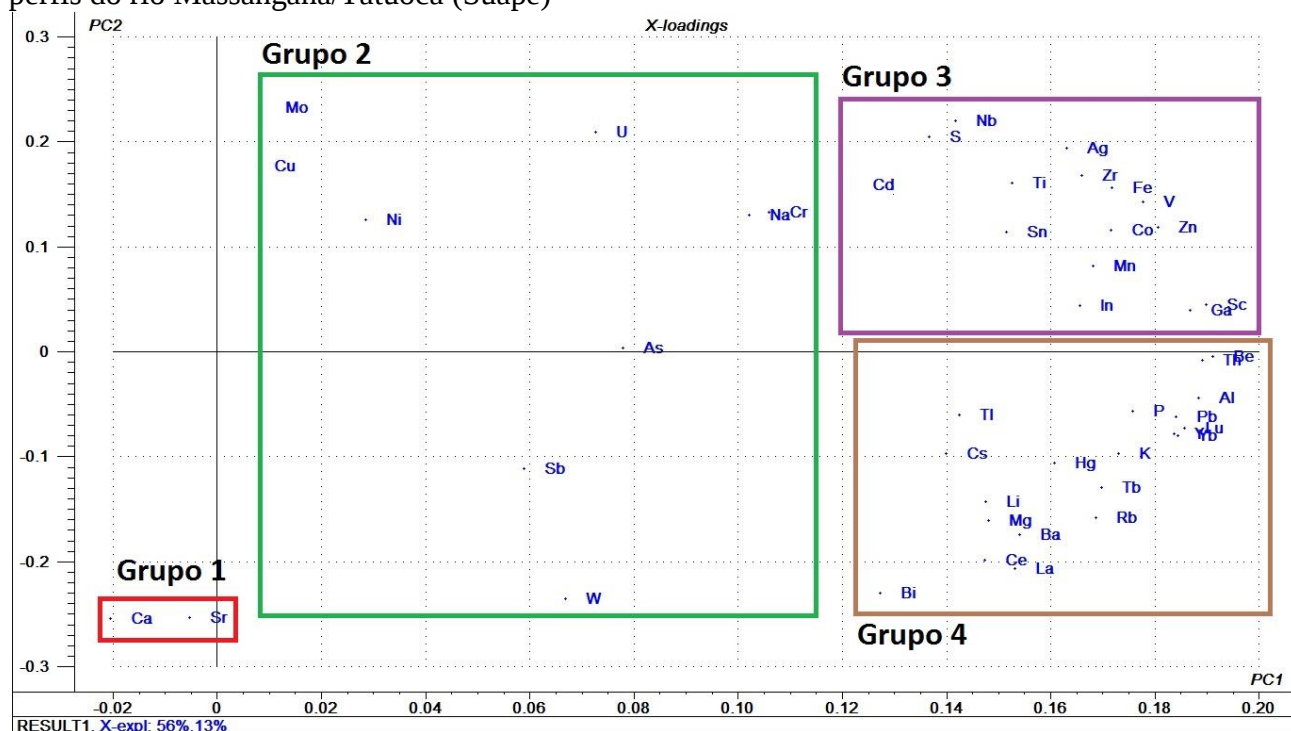
0,81 ≤ IC ≤ 1 - Correlações Positivamente Forte

0,6 ≤ IC ≤ 0,8 - Correlações Positivamente Medianas

Na figura 4.1, está expressa a matriz de correlação. Ao ser avaliado os quatro perfis em conjunto não ocorreram correlações dos tipos: Negativamente Mediana ($-0,6 \leq IC \leq -0,80$) e Negativamente Forte ($-0,81 \leq IC \leq -1$). Desta forma só foram encontradas as correlações dos tipos: Positivamente Mediana ($0,6 \leq IC \leq 0,80$) e positivamente Fortes ($0,81 \leq IC \leq 1$).

Os resultados da MC juntamente com os da ACP serão discutidos em conjunto para que haja melhor entendimento das associações ambientais que ocorre no estuário do rio Massangana/Tatuoca.

Figura 4.2: Análise dos Componentes Principais – Gráfico dos *Loadings* de todos os perfis do rio Massangana/Tatuoca (Suape)



Tomando como base a variância (descrita no ACP) e a correlação entre elementos (descrita na MC) é possível dividir as espécies químicas em quatro grupos de afinidade geoquímica. No gráfico da Figura 4.2 (*Loadings*) expressa essa divisão. No grupo 1, estão presentes os elementos Ca e Sr, que também possuem uma correlação muito forte (0,99) (Figura 4.3). Segundo Alfonso (2006) quando há correlação forte entre o cálcio e estrôncio é indício que há precipitação de carbonato, ou forte influência marinha.

O grupo 2, é composto pelos elementos de provável origem tecnogênica (Mo; Cu; Ni; U; As; W; Sb; Na; Cr) uma vez que algumas indústrias circunvizinhas aos pontos de coleta utilizam destes elementos em seus processos fabris. É provável que estes elementos

não estejam relacionados especificamente com as argilominerais, por apresentarem correlação fraca com o Al (Figura 4.1). Neste grupo está presente o W, elemento resisto, encontrado normalmente associado as partículas mais grossas do sedimento, areias.

O grupo 3 é composto por: S; Nb; Ag; Ti; Sn; Zr; Fe; V; Co; Zn; Mn; In; Sc; Ga. É de provável origem geogênica, sendo que alguns elementos químicos que compõem este grupo podem estar associados aos óxidos e hidróxidos de Fe e Mn, uma vez que estão associados ao mesmo grupo geoquímico do ACP, devido a variância na concentração destes elementos. Um outro fato que pode explicar a associação destes elementos aos óxidos e hidróxidos de Fe e Mn é a alta correlação existente entre os elementos deste grupo e o Ferro e Manganês (Figura 4.1).

Neste grupo há a presença do Ti e Zr, elementos normalmente associados aos resistatos detriticos, mas que possuem correlações relevantes com Ferro e Manganês, sendo:

Ti – Fe = 0,63 (Positivamente Mediana);

Ti – Mn = 0,43 (Positiva, mas de baixa relevância);

Zr – Fe = 0,90 (Positivamente Forte);

Zr – Mn = 0,91 (Positivamente Forte).

De forma geral na Baía de Suape o Ti e Zr podem estar adsorvidos nos Óxidos e Hidróxidos de Fe e Mn, mesmo que comumente estejam associados as partículas sedimentares de maior granulometria (areia).

O grupo 4 é composto pelos elementos químicos: Th; Cd; Be; Al; P; Pb; Lu; Y; Yb; K; Tl; Hg; Tb; Rb; Ba; Mg; Li; Cs; La; Ce; Bi.

Os elementos químicos do grupo 4 também são de provável origem geogênica, uma vez que estes elementos não estão presentes na composição dos produtos produzidos na região estudada. É provável que estejam adsorvidos nas argilas, uma vez que neste grupo há a presença do Al, comum em argilominerais (Lima, 2008), e que possui correlação positivamente relevante com os demais elementos deste grupo (Figura 4.1).

O gráfico do ACP, *Scores* (Figura 4.3), demonstra o comportamento de cada uma das amostras, tomando como base a variância na concentração dos elementos químicos (Figura 4.2).

É possível inferir que de forma geral o ACP agrupa as amostras de acordo com o posicionamento geográfico. Desta forma é possível observar as peculiaridades de cada ponto de amostragem. Onde S6 recebe maior influência geoquímica do rio Tatuoca, obras

de dragagem, atividades tecnogênicas, entre outras. De forma geral os perfis S7 e S9 possuem dinâmica geoquímica semelhante, já o perfil S8 encontra-se em uma área mais preservada do estuário, sem muita influência antrópica.

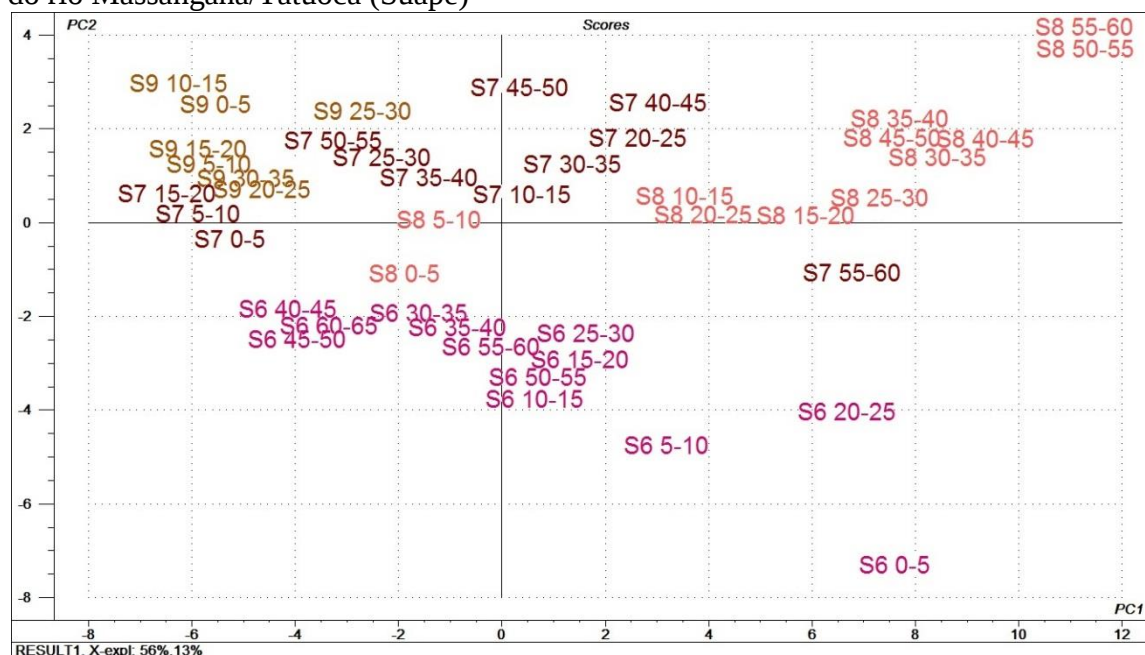
Devido à dinâmica geoquímica que o estuário do rio Massangana/Tatuoca apresenta, para discussão mais detalhada, os dados de cada perfil serão discutidos separadamente.

Devido ao grande número de amostras e consequentemente de dados obtidos da Baía de Suape, rio Massangana/Tatuoca, foi realizado uma análise preliminar da ACP, para uma seleção de perfis e dados a serem explorados. Desta forma o presente estudo irá realizar a discussão detalhada dos dados dos perfis S6 e S7, por representarem maior relevância, onde foi usado como parâmetro a localização geográfica (no caso do perfil S6 - proximidade ao estaleiro em atividade/proximidade ao estaleiro em construção, já o Perfil S7 – desembocadura do rio Massangana/Tatuoca).

Para a caracterização detalhada destes dois perfis testemunhados no rio Massangana/Tatuoca foram escolhidos treze Metais Pesados, intrinsecamente tóxicos, de maior destaque geoquímico (Ag, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr e Zn). Além destes foi incluído o Arsênio, que no passado pertencia ao grupo dos semimetais porém, com a queda do uso desse termo passou a ser classificado como ametal. No entanto, este elemento é altamente tóxico e por este motivo também foi incluído ao grupos de elementos químicos de destaque para o presente estudo. Estes elementos foram escolhidos por estar presentes em processos fabris das indústrias locais e/ou apresentar em correlação com os elementos de possível proveniência tecnogênica, e/ou de relevância para o ambiente local. Na Tabela 4.1, estão expressos na cor verde os elementos destacados para o presente estudo.

A partir da concentração bruta destes MPs foram elaborados gráficos univariados, calculado o Fator de Enriquecimento – FE, Índice de Geoacumulação – Igeo e análises estatísticas (Matriz de Correlação - MC e Análise de componentes Principais - ACP).

Figura 4.3: Análise dos Componentes Principais – Gráfico das *Scores* de todos os perfis do rio Massangana/Tatuoca (Suape)



Como não foi realizada a geocronologia dos testemunhos coletados no rio Massangana/Tatuoca e não foi encontrada na literatura nenhuma referência para este estuário, será adotada a taxa de sedimentação linear como sendo aproximadamente 3,0 mm/ano descrita para vários estuários da costa leste brasileira e do estado de Pernambuco (Marins *et al.*, 2004; Lima, 2008; Souza, 2013). Desta forma espera-se que em média a cada 16,5 anos sejam depositados 5 cm de sedimento estuarino. A Tabela 4.2 demonstra a possível idade de cada secção dos perfis. Vale salientar que devido às obras de terraplanagens da Baía de Suape, para a instalação do CIPS e das diversas dragagens na calha do rio Tatuoca, é possível que a taxa de sedimentação linear de Suape seja bem mais intensa que a adotada.

Tabela 4.2: A possível idade de cada secção dos perfis S6, S7, S8 e S9 (Marins *et al.*, 2004; Souza 2013)

Secção (cm)*	Intervalo de Idade	Marcos históricos de Suape (de sua construção até 2010)**
0 – 5	1976- 2010***	2007 a 2010 – Foram investidos em torno de US\$ 17,0 bilhões em obras. 2005 – Lançamento da pedra fundamental da refinaria General José Ignácio Abreu e Lima. 2002 – duplicação da avenida portuária. 2001 – Início da segunda etapa do porto interno. Dragagem de mais de um milhão e trezentos e trinta metros cúbicos de areia do canal de navegação. 1999 – Conclusão das obras do porto interno, abertura da linha de arrecifes com 300m e 15,5 de profundidade. 2002 – duplicação da avenida portuária. 2001 – Início da segunda etapa do porto interno. Dragagem de mais de um milhão e trezentos e trinta metros cúbicos de areia do canal de navegação. 1999 – Conclusão das obras do porto interno, abertura da linha de arrecifes com 300m e 15,5 de profundidade. 1996 – Suape é incluída no Programa Brasil em Ação (para receber apoio financeiro do governo federal). Início da primeira etapa de implementação do porto interno. 1991 – Início das atividades do cais múltiplos e é incluída na lista dos 11 principais portos do Brasil. 1986 – Construção de cais múltiplos. 1984 – Construção do molho de pedra. 1983 – O porto de Suape começa a operar efetivamente 1978 – Criação da empresa Suape (para administrar o novo porto). 1977 – Desapropriação de 13,5 mil hectares de terra e início das primeiras obras.
5 – 10		
10 – 15	1959- 1976***	1974 – Lançamento da Pedra Fundamental (Governo de Eraldo Gueiros Leite). 1973 – Início da elaboração do plano diretor para a implementação do Complexo Industrial e Portuário. Década de 1960 foi realizado estudos para implementação do porto.
15 – 20	1943 - 1959	. Cultivo de cana-de-açúcar.
20 – 25	1926 - 1943	
25 – 30	1909 - 1926	
30 – 35	1893 - 1909	

35 – 40	1876 - 1893	
40 – 45	1859 - 1876	
45 – 50	1843 – 1859	
50 – 55	1826 - 1843	
55 – 60	1809 - 1826	
60 - 65	1792 - 1809	

*Tamanho dos perfis coletados no rio Massangana/Tatuoca – Suape: S6–65 cm; S7–60 cm; S8–55 cm; S9-35cm;

**Fonte: Suape - <http://www.suape.pe.gov.br/home/index.php> (acesso em 16/01/2015);

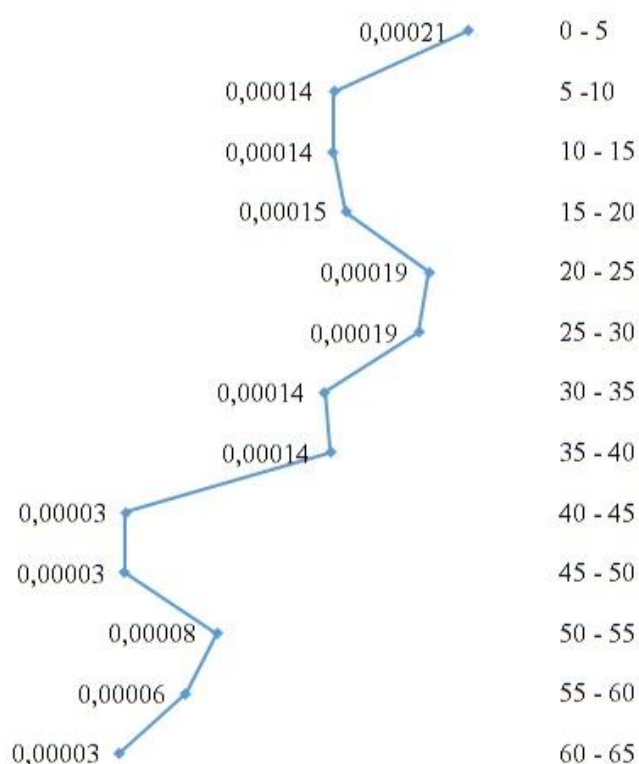
*** Modificação da taxa de sedimentação, devido às obras de terraplanagem da Baía de Suape.

Capítulo V:
Avaliação geoquímica dos
sedimentos do Antropoceno,
testemunhado no ponto de
amostragem S6, da Baía de Suape
sobre a influência dos estuário dos
rios Massangana e Tatuoca

5.1 Caracterização e Discussão Geoquímica do Perfil S6

Na Figura 5.1 está expressa a razão Zr/Al , que indica a possível relação entre os sedimentos finos e grossos. O Zr é representante dos minerais detríticos resistentes, já o Al está presente nos argilominerais. Desta forma, quanto mais elevada for a razão Zr/Al maior a presença de sedimentos mais grossos (areia e silticoarenoso); quanto menor for a razão maior a ocorrência de sedimentos finos (silte, silticoargiloso e argila).

Figura 5.1: Razão Zr/Al do testemunho S6 coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca (CIPS)



A partir da Figura 5.1 é possível inferir que o perfil S6 apresenta razão ascendente da base para o topo do perfil demonstrando que a base do perfil apresenta sedimentos mais finos aumentando gradativamente a granulometria até chegar ao topo com sedimentos mais grossos. Embora a razão Zr/Al seja ascendente da base para o topo, este perfil apresenta predominância de sedimentos de granulometria fina, onde a base apresenta uma predominância da fração argila. Já no topo do testemunho predomina a fração silticoargiloso, provavelmente oriundos das obras de dragagens do rio Tatuoca, já que o ponto S6, por estar localizado entre os estuários dos rios Massangana e Tatuoca recebe influência destes rios.

Entre os catorze elementos destacados, para maior detalhamento de seus dados, nove possuem parâmetros de qualidade ambiental estabelecidos pela USEPA, para sedimentos (Tabela 1.13 repetida neste capítulo como Tabela 5.1).

Tabela 5.1: Valores padrões de ERL (*Effect Ranger Low*) e ERM (*Effect Ranger Medium*) para os nove metais pesados descritos pela USEPA.

METAL PESADO	ERL (mg.kg ⁻¹)	ERM(mg.kg ⁻¹)
<i>Arsênio (As)</i>	8,2	70
<i>Cádmio (Cd)</i>	1,2	9,6
<i>Cromo (Cr)</i>	81	370
<i>Cobre (Cu)</i>	34	270
<i>Chumbo (Pb)</i>	47	220
<i>Mercúrio (Hg)</i>	0,15	0,71
<i>Níquel (Ni)</i>	21	52
<i>Prata (Ag)</i>	1	3,7
<i>Zinco (Zn)</i>	150	410

Fonte: USEPA (1998)

O Mo, Sb, Sc, Sn e Sr não possuem padrões de qualidade ambiental indicado pela USEPA. Para o Mo e Sb serão adotados os padrões de qualidade referenciados pela CETESB (2001) para solos industriais (Tabela 5.2). Os dados geoquímicos do presente estudo foram comparados a padrões de solo devido à forte influência que as obras de terraplanagem tem exercido na área de estudo, uma vez que tem lixiviado o solo para a calha do rio.

TABELA 5.2: Valores de referência para Mo e Sb (CETESB, 2001)

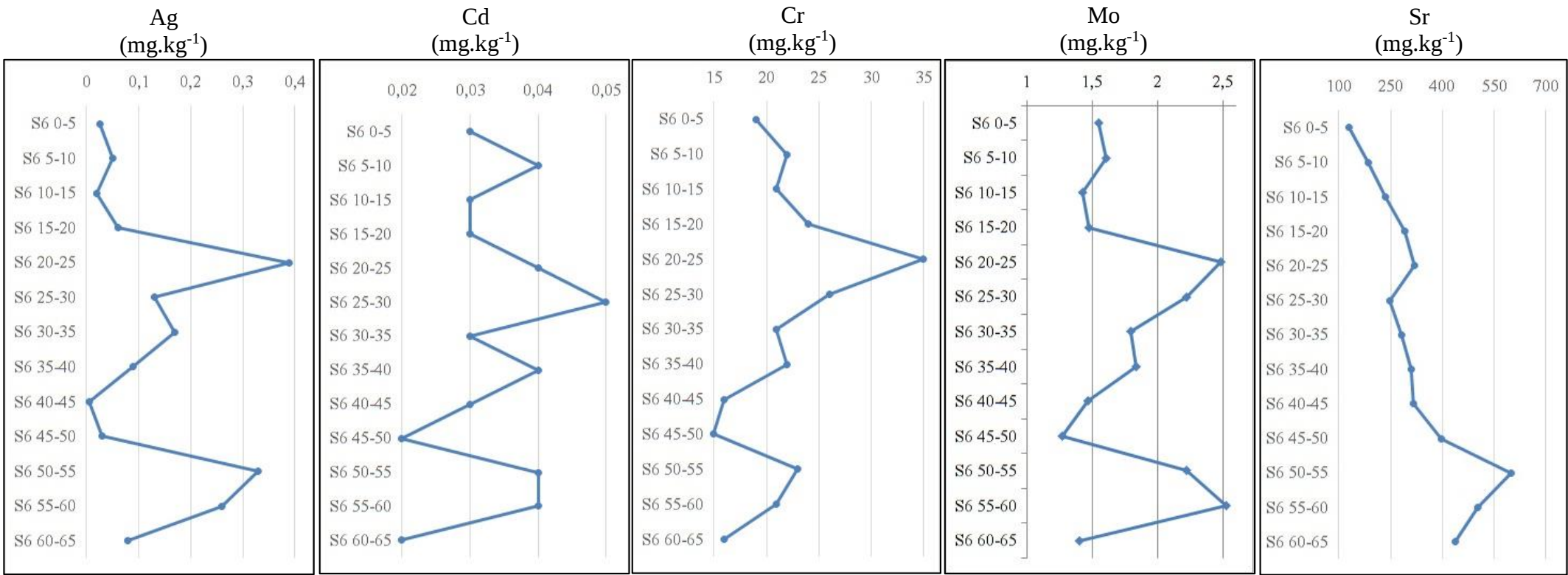
Elemento	Valor de referência*
Mo	120
Sb	25

*Valores expressos em mgkg⁻¹

Foi possível agrupar os elementos químicos em quatro grupos, a partir do comportamento da concentração ao longo do perfil e provável proveniência.

O primeiro grupo é composto por Ag, Cd, Cr, Mo e Sr (Figura 5.2). O Cd e Cr foram comparados aos padrões estabelecidos pela USEPA (1998), o Mo foi comparado ao parâmetro estabelecido pelo CETESB (2001). A USEPA (1998) e o CETESB (2001) não estabelecem parâmetros de qualidade para o Sr e Ag.

Figura 5.2: Gráficos univariados da concentração de Ag, Cd, Cr, Mo e Sr do Testemunho S6, coletado na baía de Suape, em área de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca (CIPS)



METAL PESADO	ERL (mg.kg ⁻¹)	ERM(mg.kg ⁻¹)
Cádmio (Cd)*	1,2	9,6
Cromo (Cr)*	81	370
Prata (Ag)*	1	3,7
Molibdênio (Mo)**	120	

*USEPA (1998)

**CETESB (2001)

A Ag, Cd, Cr e Mo são elementos que apresentam variações na concentrações amostrais, tendo em alguns momentos acréscimo e em outros diminuição. O Sr que é de provável origem biogênica, elemento encontrado nas carapaças de moluscos e crustáceos, a concentração deste elemento ao longo do perfil apresenta forte tendência decrescente da base para o topo, provavelmente decorrente a influência de solos/sedimentos terrígenos oriundos das obras de infraestrutura do polo industrial, obras de terraplanagem. O Cd e Cr apresentaram concentrações abaixo do ERL e ERM estabelecidos pela USEPA (1998) e o Mo apresentou concentração inferior ao parâmetro estabelecido pelo CETESB (2001).

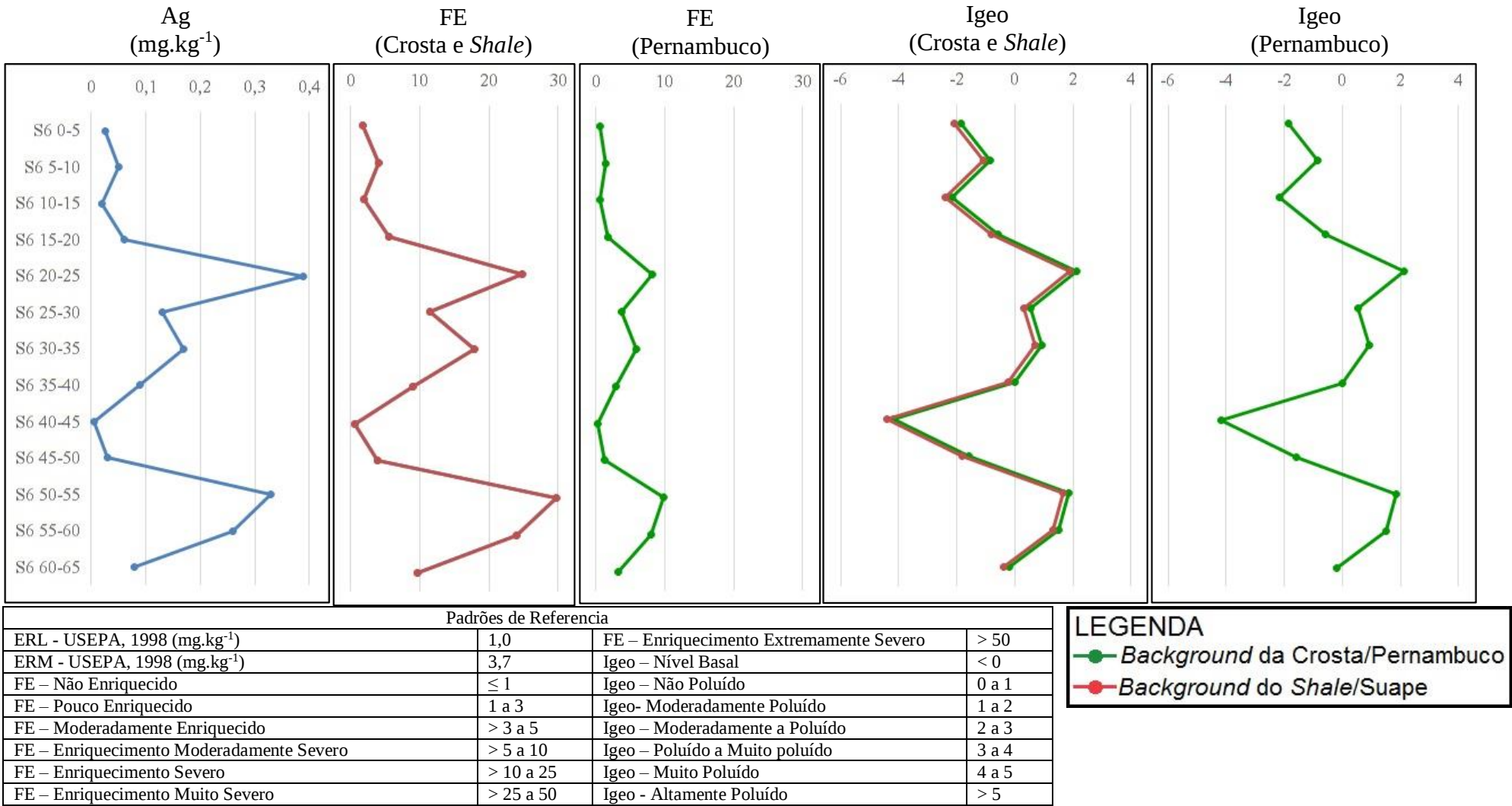
Embora a prata apresente características de um elemento de origem natural, ao ser feito o FE deste elemento tendo como *Background* as médias da crosta, o *shale* e dos estuários pernambucanos, nota-se algum enriquecimento. Ao observar os gráficos gerados com base na média Crosta e do *Shale* é possível notar que este elemento apresenta vários níveis de enriquecimento desde amostras não enriquecidas a amostras com enriquecimento muito severo (Figura 5.3). O gráfico elaborado a partir dos dados do *shale* sobrepõe-se ao da crosta por se tratar de valores muito próximas: crosta ($0,06 \text{ mgkg}^{-1}$) e *shale* ($0,07 \text{ mgkg}^{-1}$). Já o FE realizado com o *background* dos estuários de Pernambuco apresentam amostras não enriquecidas a enriquecimento moderadamente severo.

Ao comparar os gráficos elaborados para FE – Crosta/*Shale* como *background* e FE da Média dos estuários de Pernambuco, é possível notar que de forma geral os estuários de Pernambuco apresentam maiores concentrações de Ag que a crosta e o *shale*, motivo que fez o FE elaborado a partir da média dos estuários pernambucanos apresentarem menor enriquecimento que o da crosta/*Shale*.

Embora os gráficos de FE indique anomalias de Ag, os gráficos do Índice de Geoacumulação (Igeo) foram bastante semelhantes entre si tanto na dinâmica de sua concentração quanto nos valores dos índices. De forma geral, a maior parte das amostras apresentaram índices abaixo de zero indicando níveis basais.

No entanto, há dois eventos geoquímicos notórios em todos os 14 elementos detalhados em S6, que a Ag apresenta Igeo para algumas amostras como moderadamente poluído e para outras, poluído. O primeiro evento geoquímico é mais antigo e ocorre no intervalo 55 – 60cm de profundidade, tomando como base a taxa de sedimentação de 5,0 cm a cada 16,7 anos (Maris *et al.*, 2004; Lima, 2008; Souza, 2013), é possível acreditar que aquela secção (55-60 cm) tenha o intervalo de idade entre 1809 a 1826.

Figura 5.3: Gráfico do FE e Igeo da Ag do Perfil S6 testemunhado na Baía de Suape área de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca (CIPS)

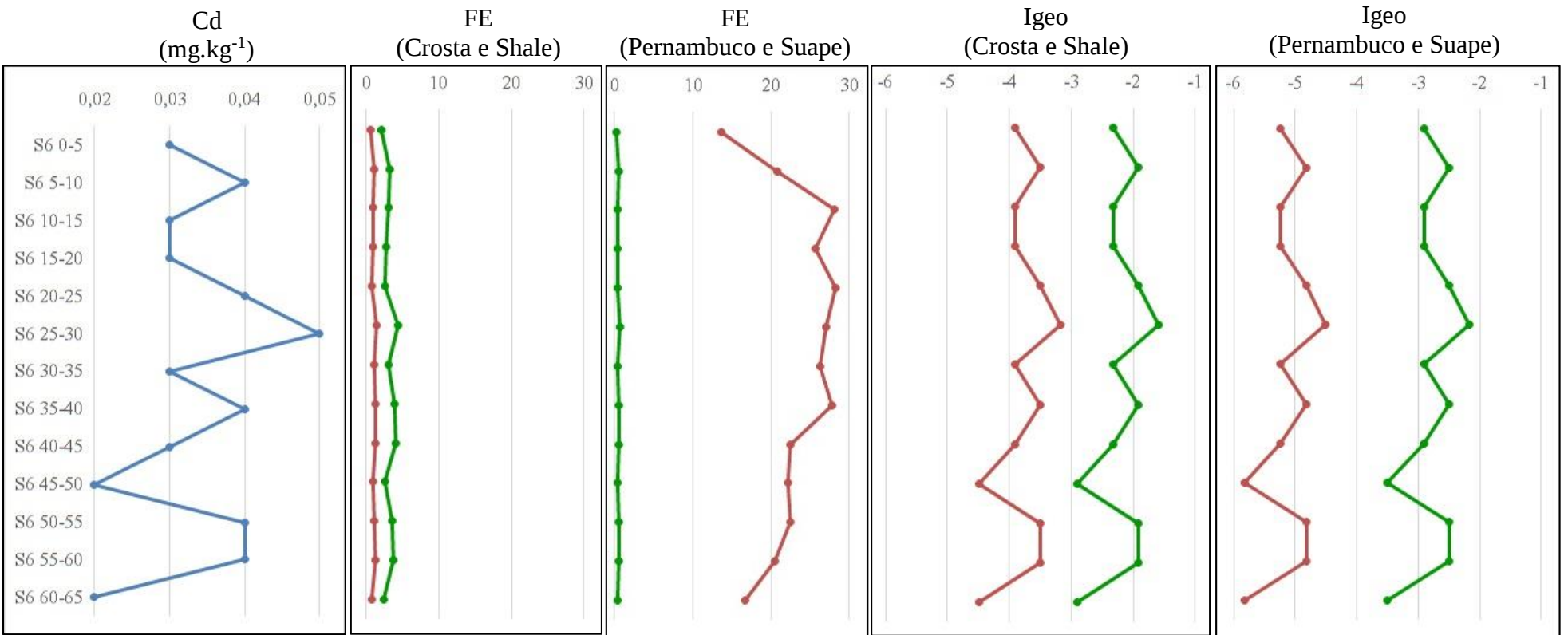


O período entre 1776 a 1969 havia na área de estudo atividades agrícolas relacionadas ao plantio da cana-de-açúcar. Durante o período em que o uso da terra era dedicado à atividade agrícola, dois motivos eram os maiores responsáveis pelo aumento na concentração de contaminantes nos sedimentos estuarinos. Em primeiro lugar pode-se listar as cheias dos rios periodicamente na Mata Norte Pernambucana, que devem ter transportado para os estuários sedimentos terrígenos. Em segundo lugar pode-se listar as relações econômicas nacionais e internacionais, onde o ritmo da produtividade responde a lei da oferta e procura, em períodos de crise econômicas, guerras e outros eventos político/econômico a venda de açúcar para o mercado internacional diminuía, consequentemente a produção com isso áreas de terra ficavam expostas a erosão, que transportava os sedimentos para os estuários.

O segundo evento geoquímico que apresentou picos na concentração dos elementos químicos está em secções superiores ao do primeiro, ocorre com maior destaque no intervalo 20 – 25 cm. Provavelmente é o período entre 1926 a 1943. É provável que o aumento na concentração de alguns elementos químicos seja devido a um período em que a plantio da cana de açúcar tenha tido um declínio de produção devido à grande crise econômica mundial de 1929, seguido da segunda guerra mundial (1939 a 1945), no qual o solo deve ter ficado exposto, sem vegetação, e mais susceptível à erosão que deve ter carregado maiores quantidades de sedimentos para a calha do rio.

O Cromo e o Cádmio apresentam características semelhantes do ponto de vista do Fator de Enriquecimento e Índice de Geoacumulação, exceto nas camadas mais superficiais, onde se observa um decréscimo mais acentuado no Cr (Figuras 5.4 e 5.5).

Figura 5.4: Gráfico do FE e Igeo da Cd do Perfil S6 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS

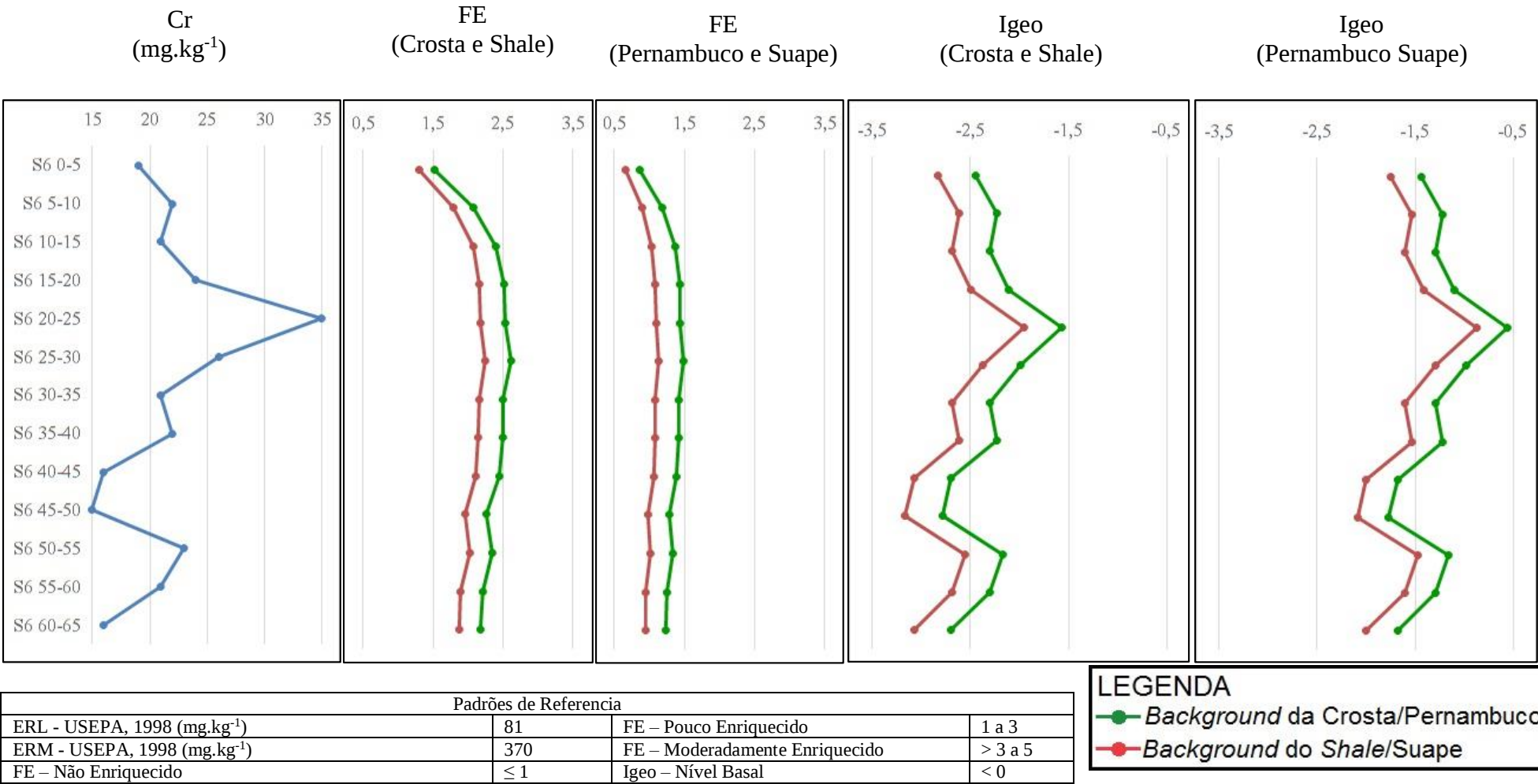


Padrões de Referencia			
ERL - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	1,28	FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25
ERM - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	9,6	FE – Enriquecimento Muito Severo	> 25 a 50
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3		
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5		
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10		

LEGENDA

- *Background da Crusta/Pernambuco*
- *Background do Shale/Suape*

Figura 5.5: Gráfico do FE e Igeo da Cr do Perfil S6 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



O Cd apresenta-se com baixo enriquecimento variando de pouco enriquecido a moderadamente enriquecido, com exceção para o FE que foi calculado utilizando o *background* dos Solos de Suape que variou de um enriquecimento severo a muito severo. Os baixos valores de cádmio presente nos solos de Suape faz com que o cálculo do FE, utilizando a média de Cd desta localidade, tenha a tendência de índices elevados.

O Cr também apresentou-se com baixo enriquecimento de forma geral variado entre não enriquecido e moderadamente enriquecido.

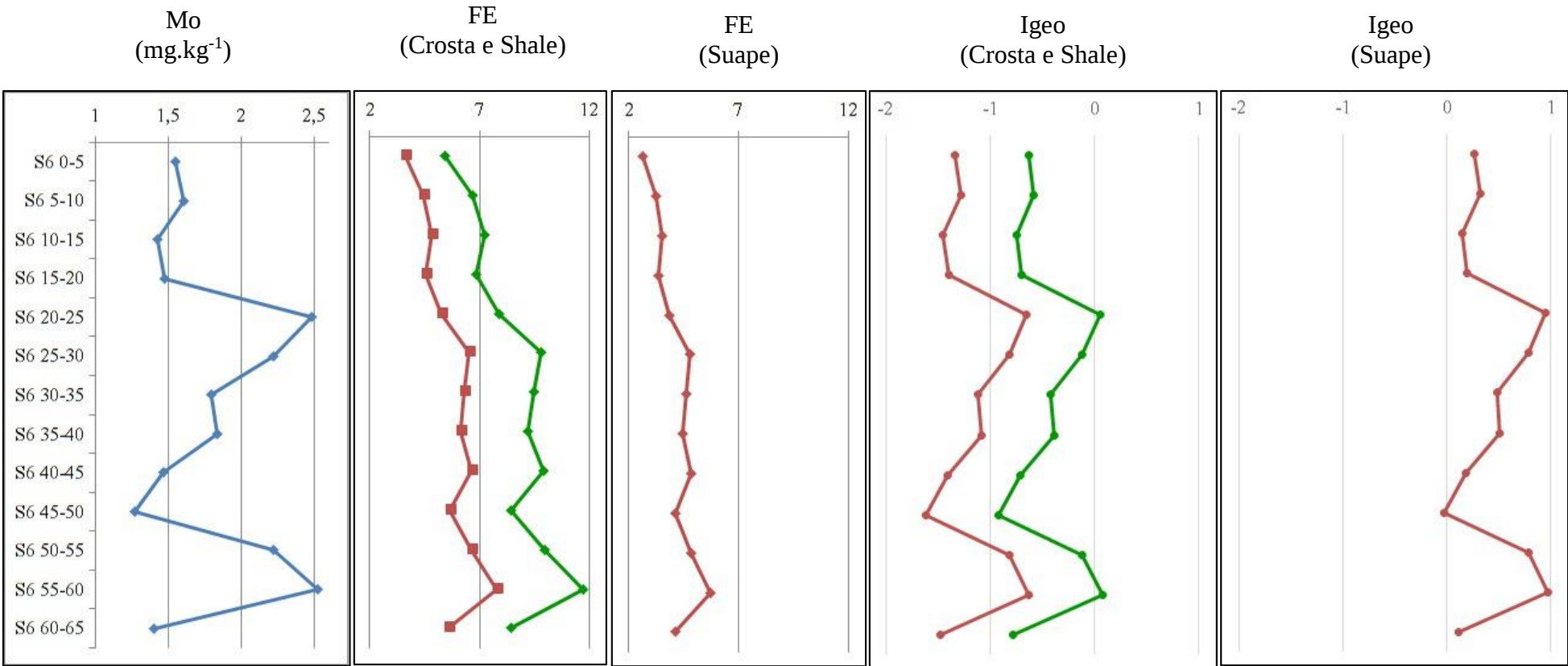
Tanto o Cd quanto Cr possui Índice de Geoacumulação inferior a zero, ou seja está no nível de base. Com isso é possível inferir que embora o Cd e Cr sejam elementos com toxicidade intrínseca e possuam certo enriquecimento, não são elementos preocupantes do ponto de vista ambiental, por ser de origem geogênica e está no nível de base da geoacumulação.

O Molibdênio (Figura 5.6) apresenta enriquecimento moderadamente severo com relação à média crostal. Já com relação a média do *shale* apresenta enriquecimento moderado a moderadamente severo. O estudo realizado por Mendes (2015), não apresenta *background* de Mo para os estuários pernambucanos. Já com relação as médias do solo de Suape, o Mo está pouco enriquecido a moderadamente enriquecido.

Com relação ao Igeo é possível notar que as amostras apresentam índices abaixo de zero, em níveis basais, ou estão entre zero e um, não poluído. Desta forma, o Mo não apresenta no momento risco ambiental.

Assim como os demais elementos deste grupo, o Sr é de provável origem geogênica, sendo este presente nas carapaças de crustáceos e moluscos. Na figura 5.7 está representado graficamente a concentração de Sr ao longo do perfil S6. Para este elemento a USEPA (1998) e o CETESB (2001) não oferecem limiares de concentração norteadores. No entanto é possível notar que este elemento apresenta-se em elevadas concentrações chegando a $600,5 \text{ kg.mg}^{-1}$. Também é possível notar que as maiores concentrações deste elemento estão na base do perfil, característica comum a elementos de origem geogênica. O Sr mostra enriquecimento muito severo em algumas amostras do perfil S6, quando comparados aos solos de Suape. Isto é um reflexo da provável origem marinha do elemento.

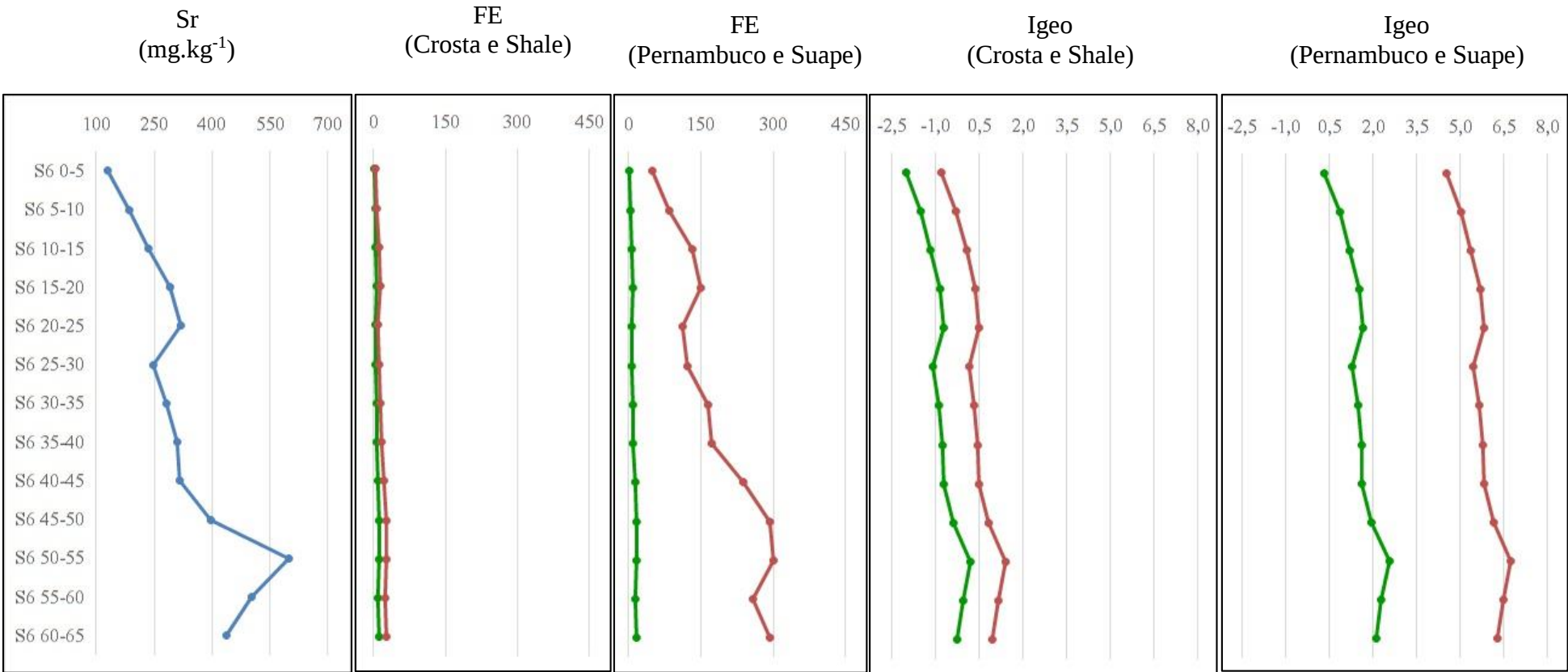
Figura 5.6: Gráfico do FE e Igeo da Mo do Perfil S6 coletado do Testemunho na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



Padrões de Referência			
CETESB, 2001(mg.kg ⁻¹)	120	FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10
FE – Não Enriquecido	≤ 1	FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo – Não Poluído	0 a 1

LEGENDA
—●— *Background da Crosta/Pernambuco*
—●— *Background do Shale/Suape*

Figura 5.7: Gráfico do FE e Igeo da Sr do Perfil S6 coletado Testemunho na baia de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



Padrões de Referência			
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25	Igeo – Moderadamente a Poluído	2 a 3
FE – Enriquecimento Muito Severo	> 25 a 50	Igeo – Poluído a Muito poluído	3 a 4
FE – Enriquecimento Extremamente Severo	> 50	Igeo – Muito Poluído	4 a 5
		Igeo - Altamente Poluído	> 5

LEGENDA

Background da Crosta/Pernambuco

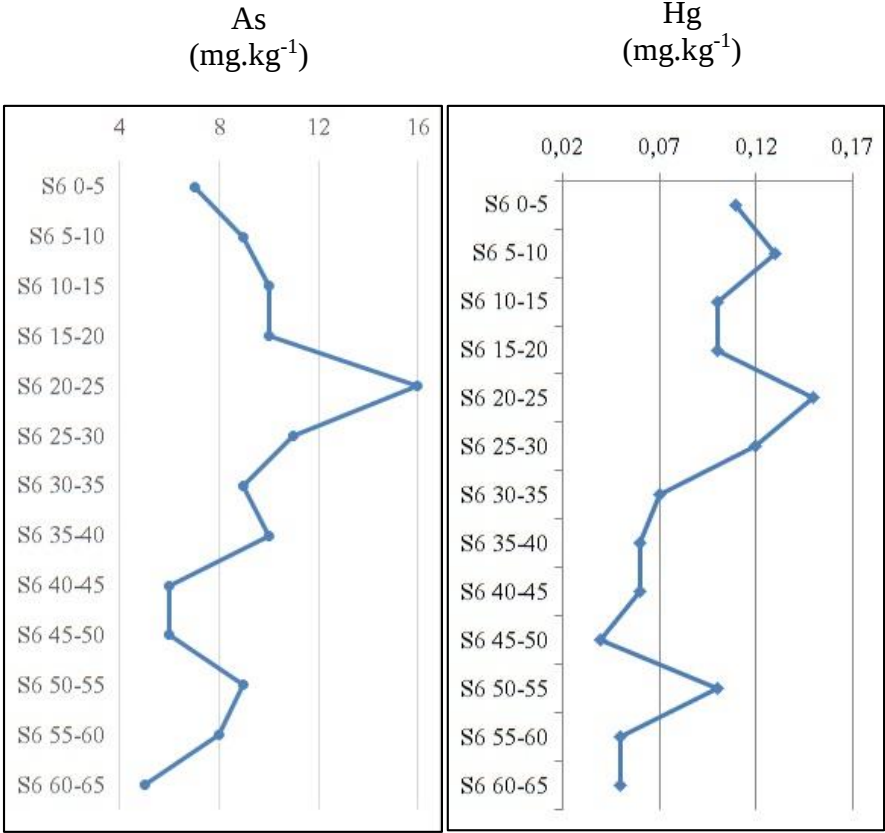
Background do Shale/Suape

Com relação ao Igeo, apesar dos altos valores obtidos quando comparados aos solos de Suape (Moraes 2013), não podemos dizer que são altamente poluídos. A este fato deve-se considerar a diferença de ambiente geoquímicos. O Sr é um elemento comumente encontrado em locais com influência marinha. Os solos estudados por Moraes (2013) não apresentam influência marinha, consequentemente baixa concentração de Sr. Assim os índices de Igeo são elevados quando comparado ao *background* de solos estabelecido para Suape.

O segundo grupo de elementos é composto pelo Arsênio e Mercúrio (Figura 5.8), que possuem algumas amostras com concentração entre o ERL e ERM estabelecido pela USEPA (1998). Hortellani *et al.* (2008) assinala que se no sedimento há presença de algum elemento químico que possui valor de concentração entre o ERL e o ERM, este sedimento possivelmente causa efeitos tóxicos na biota.

A Figura 5.9 expressa os valores do FE e Igeo calculados para as amostras de As do perfil S6. Entre os *background* utilizados para a realização do FE destaca-se a média crustal que demonstra que este elemento possui um enriquecimento muito severo. O FE, que apresentou menor índice foi o que utilizou a média dos estuários pernambucanos, isso se deve a média relativamente elevada deste elemento nos estuários deste estado.

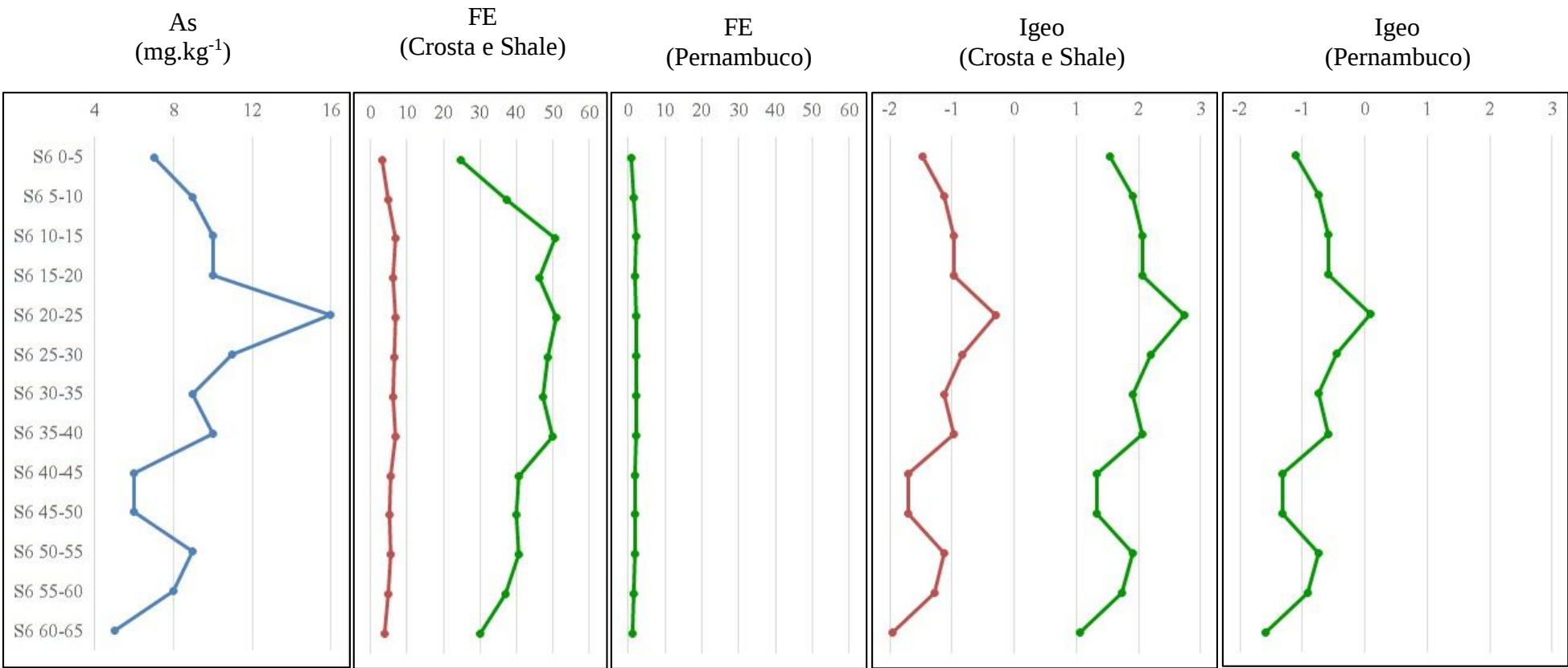
Figura 5.8: Gráficos univariados das concentrações brutas de As e Hg do Testemunho S6 – Coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



Padrões de Referencia*	ERL(mg.kg ⁻¹)	ERM(mg.kg ⁻¹)
Arsênio (As)	8,2	70
Mercúrio (Hg)	0,15	0,71

* USEPA (1998)

Figura 5.9: Gráfico do FE e Igeo do As do Perfil S6 coletado do Testemunho no rio Massangana/Tatuoca - CIPS



Padrões de Referencia			
ERL - USEPA, 1998(mg.kg ⁻¹)	82*	FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25
ERM - USEPA, 1998(mg.kg ⁻¹)	70*	FE – Enriquecimento Muito Severo	> 25 a 50
FE – Não Enriquecido	≤ 1	FE – Enriquecimento Extremamente Severo	> 50
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10	Igeo – Moderadamente a Poluído	2 a 3

LEGENDA

Background da Crosta/Pernambuco

Background do Shale/Suape

Com relação ao Igeo calculado para as amostras de As do perfil S6 é possível verificar que mais uma vez há destaque para as amostras que utilizaram os parâmetros da crosta terrestre, uma vez que este apresentou os maiores índices de poluição, quando comparados aos outros background utilizados, os quais apresentaram na maioria das amostra índices indicando níveis basais de As.

Com relação ao mercúrio será considerado apenas o FE e Igeo que utilizou como background a média do *shale* (Figura 5.10). Pois os parâmetros da crosta não apresentou resultados relevantes, uma vez que os valores das amostras não apresentaram variação com relação ao perfil S6. Mendes (2015) e Moraes (2013) não estabeleceram background para os sedimentos estuários de Pernambuco e solos de Suape, respectivamente.

Com relação ao FE as amostras de Hg apresentaram uma variação entre pouco enriquecido a enriquecimento moderadamente severo, fato preocupante por se tratar de um elemento químico com alta toxicidade intrínseca. No entanto o Igeo ficou com amostras em níveis basais.

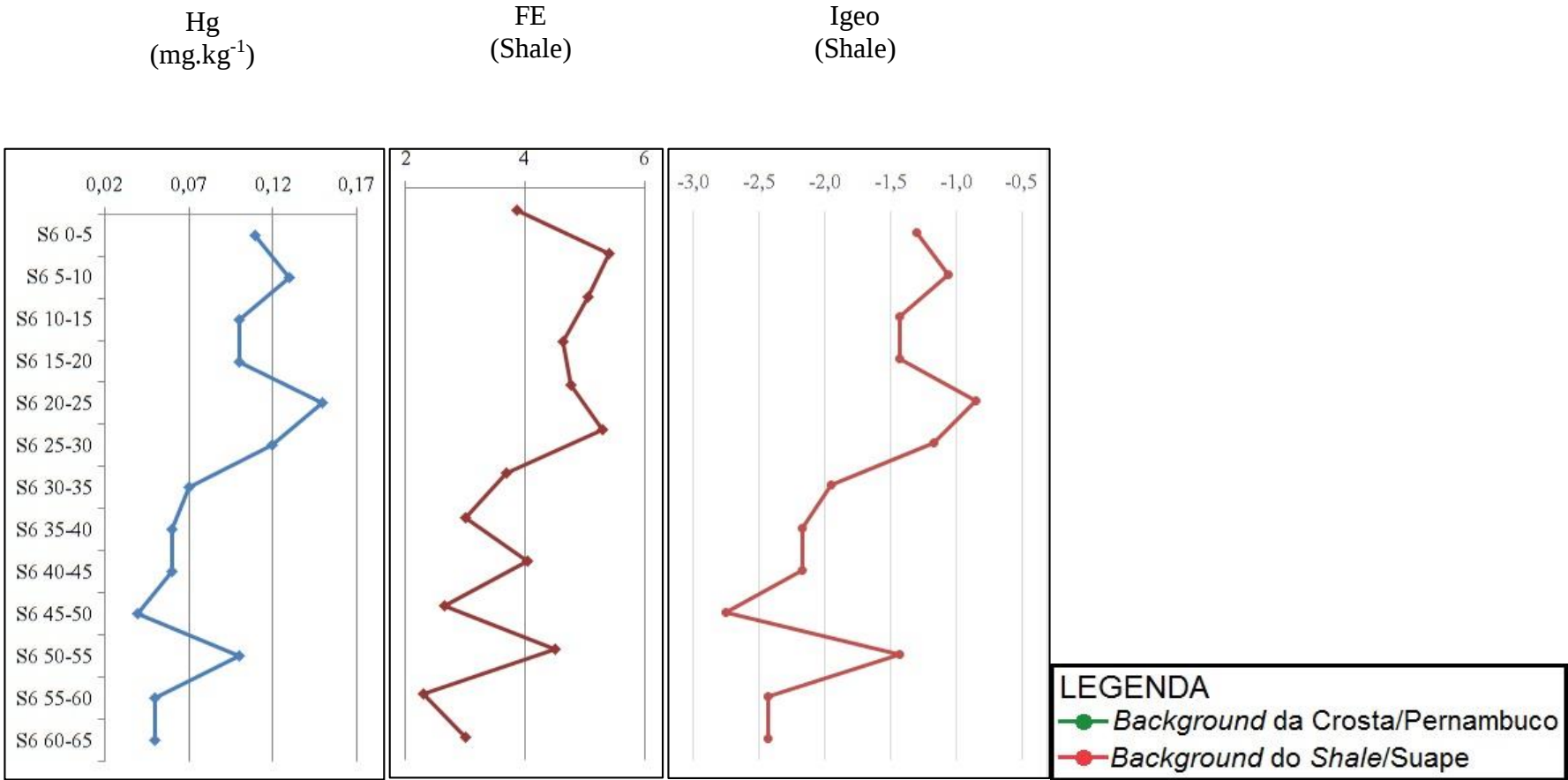
O terceiro grupo de elementos químicos do perfil S7 é composto pelo Cu, Ni, Pb, Sc, Sn e Zn, estes elementos apresentaram um certo incremento em sua concentração. Nas amostras mais superficiais há indício de início de atividade tecnogênica com a utilização destes MPs (Figura 5.11). O Cu, Ni, Pb e Zn foram comparados aos parâmetros estabelecidos pela USEPA (1998). Para os demais elementos deste grupo (Sc e Sn) não há parâmetros estabelecidos pela USEPA (1998) e CETESB (2001). Quando o Cu, Ni, Pb e Zn são comparados aos parâmetros da USEPA (1998) é possível notar que a concentração destes MPs não ultrapassa o ERL.

O Cu, Pb e Sc apresentaram na amostra 0 – 5 apresenta um certo incremento em sua concentração, característica de atividade tecnogênica, início de produção industrial e consequente liberação de determinado contaminante para o meio ambiente.

Com relação ao FE do Cu, Ni, Pb, Sc, Sn e Zn não expressaram valores alarmantes. O Cu apresentou maior FE para o que foi calculado com o *background* estabelecido por Moraes (2013) para os Solos de Suape, chegando a 4,6, índice que indica um enriquecimento moderado. Os FE calculados com as médias estabelecidas para a crosta, *shale* e estuários de Pernambuco apresentaram características similares, quanto à morfologia gráfica e concentração (Figura 5.12).

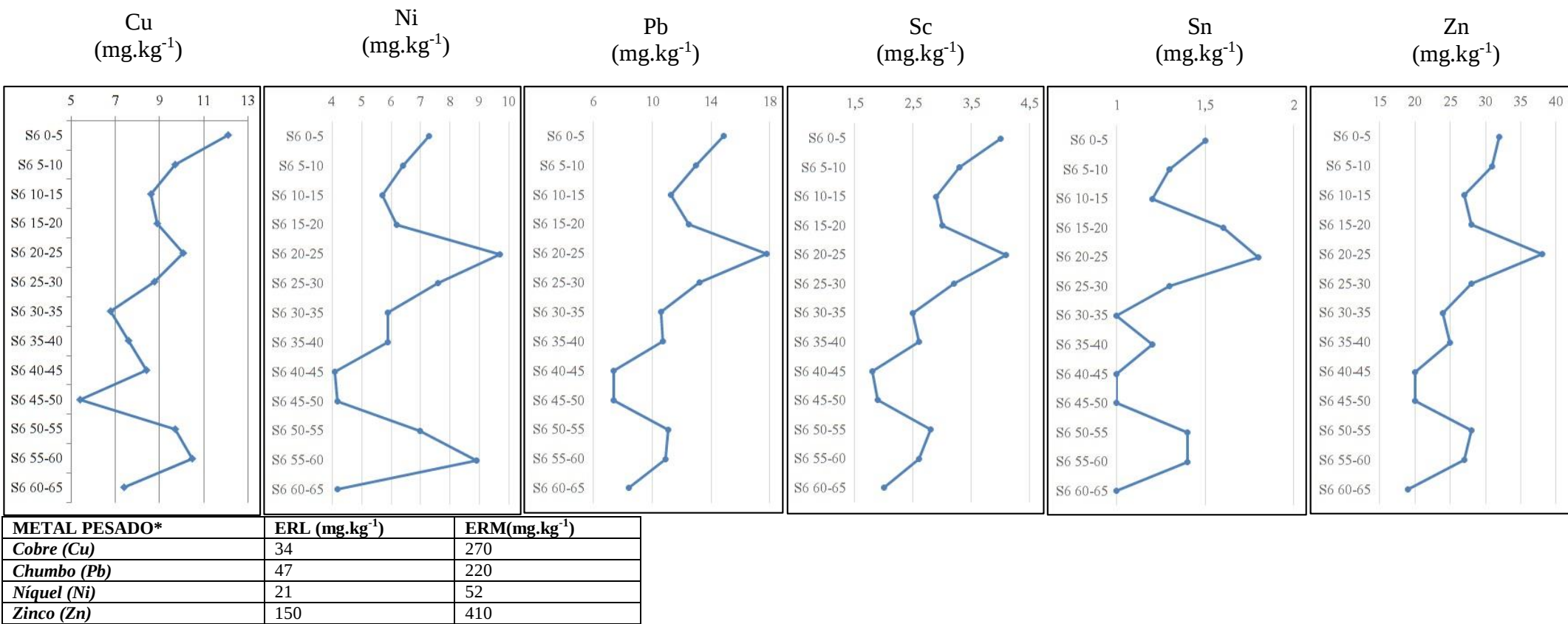
O Níquel apresentou maior FE para os índices calculados utilizando os *background* estabelecidos para os solos de Suape e estuários de Pernambuco, destacando-se o FE calculado com o parâmetro estabelecido para os solos de Suape que apresentou índice máximo de 3,85, amostra que está moderadamente enriquecida (Figura 5.13).

Figura 5.10: Gráfico do FE e Igeo do Hg do Perfil S6 Coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



Padrões de Referencia			
ERL - USEPA, 1998(mg.kg ⁻¹)	0,15*	FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5
ERM - USEPA, 1998(mg.kg ⁻¹)	0,71*	FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3		

Figura 5.11: Gráficos univariados das concentrações brutas de Cu, Ni, Pb, Sc, Sn, Zn do Coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



* USEPA (1998)

Figura 5.12: Gráfico do FE e Igeo do Perfil S6 Coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS

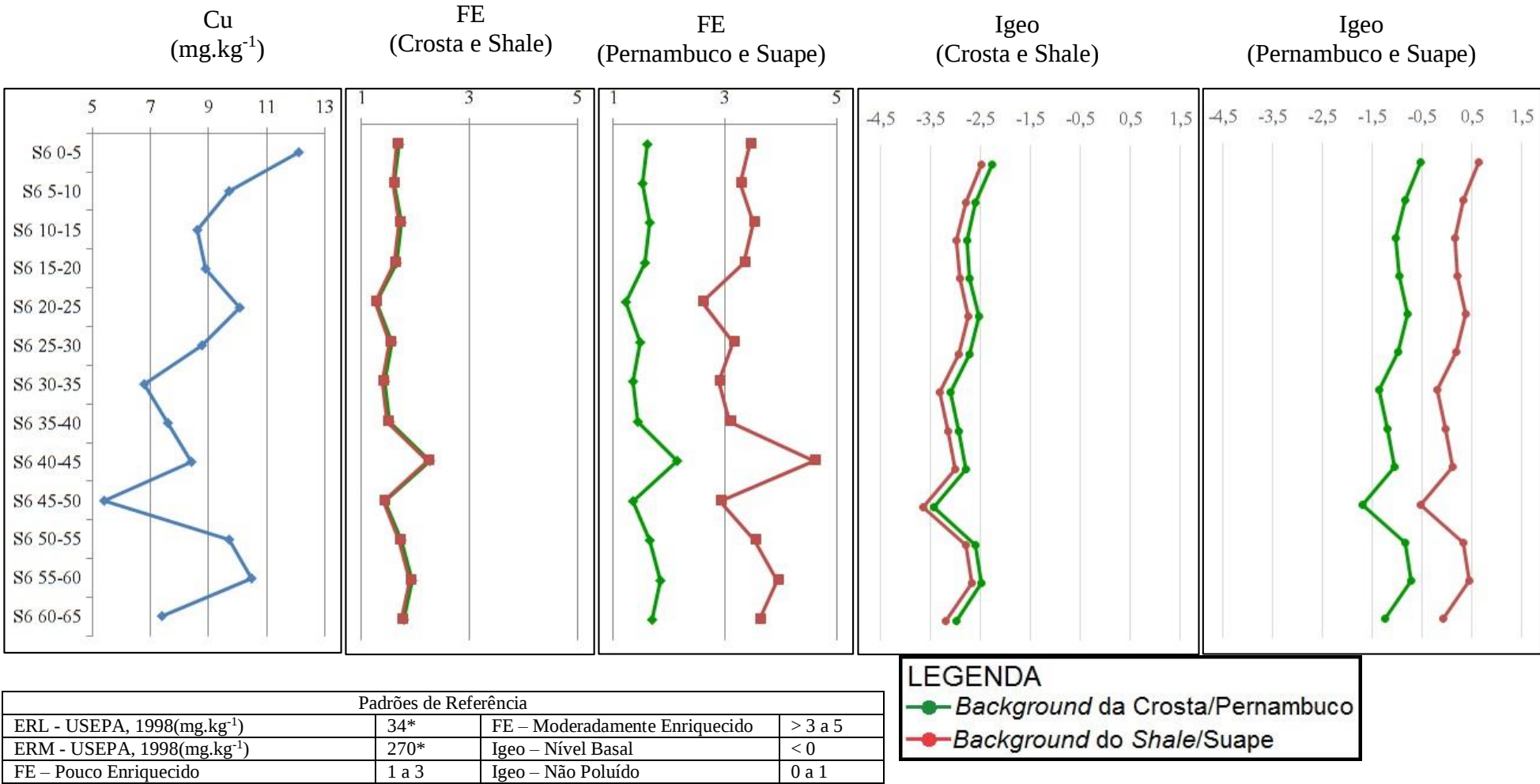
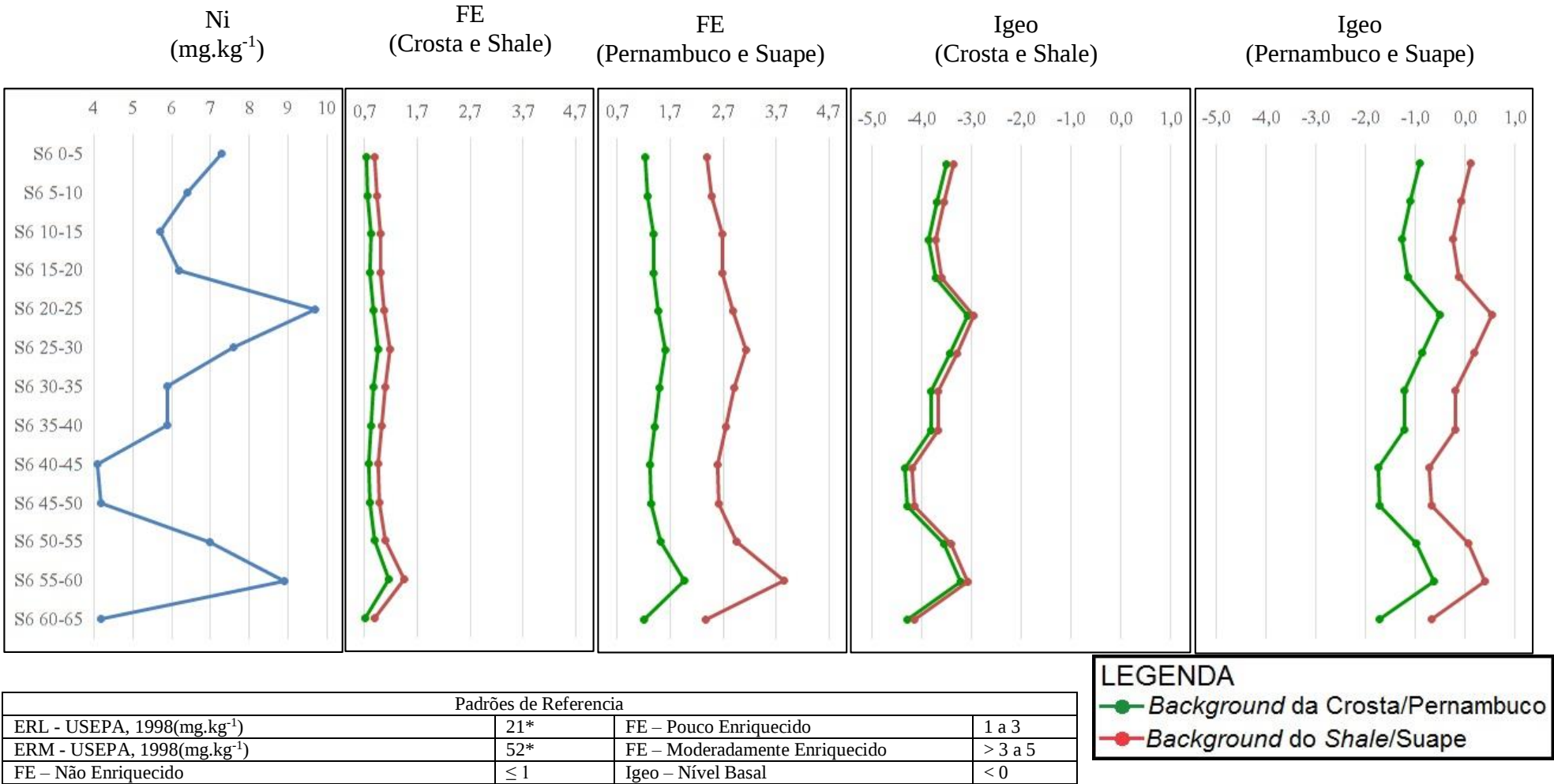


Figura 5.13: Gráfico do FE e Igeo do Ni do Perfil S6 - Coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



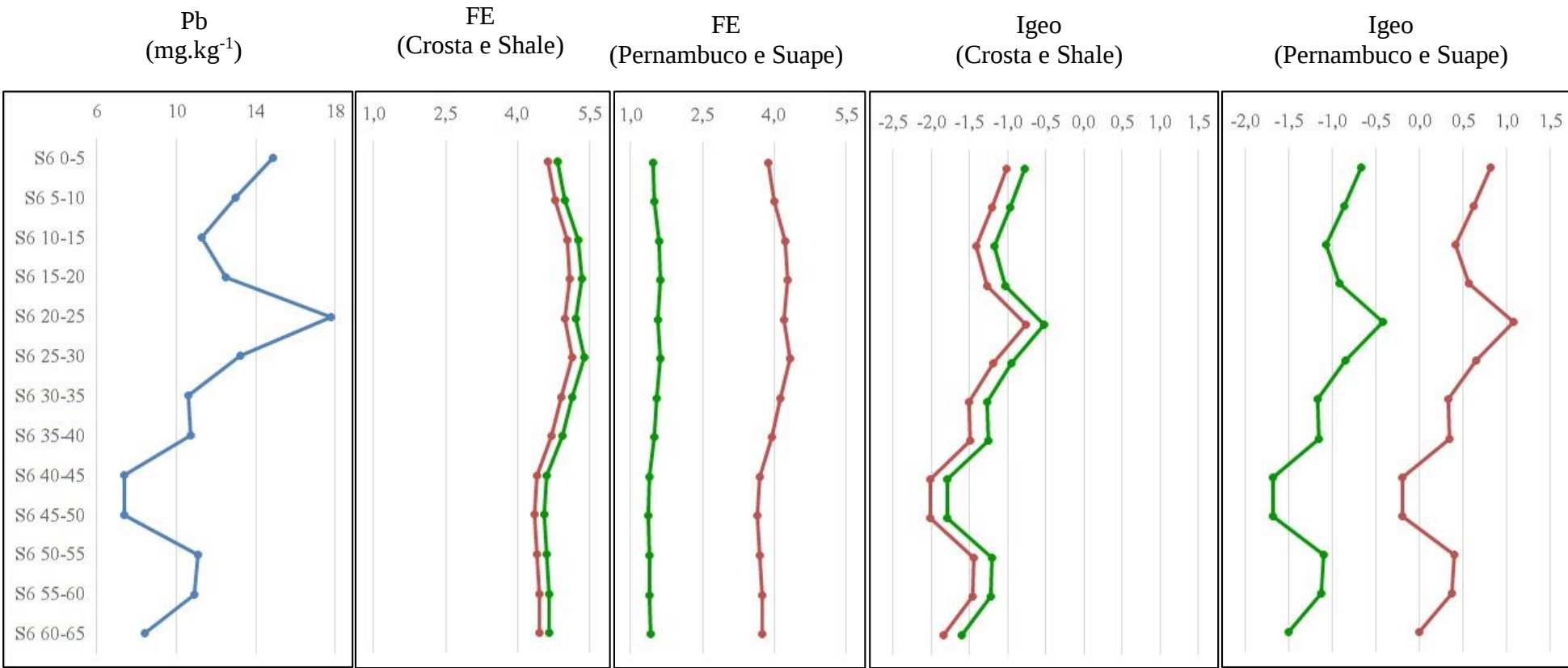
O Pb e Zn apresentaram maior enriquecimento para o FE calculado utilizando como *background* as médias crustais (Figura 5.14 e 5.15). No caso do chumbo houve amostras em que o FE chegou a enriquecimento moderadamente severo. Já o Zn houve amostras que apresentou enriquecimento moderado.

O Sc não possui parâmetros estabelecidos para os estuários do estado de Pernambuco. Entre os FE calculados houve uma variação de valores entre 0,61, não enriquecido, e 2,13, pouco enriquecido (Figura 5.16)

Já o Sn não possui parâmetros para os sedimentos estuarinos do estado de Pernambuco e solos da Baía de Suape. Houve destaque para os dados que utilizaram o *Shale* como parâmetro, por apresentar os maiores índices de FE, chegando a 2,51, indicando um enriquecimento moderado. Os cálculos de FE que usaram as médias da crosta como *background* apresentaram os menores FE, variando de 2,51 a 3,22 (Figura 5.17)

Com relação ao Índice de Geoacumulação, é possível notar que a maioria das amostras do perfil S6 para Cu, Ni, Pb, Sc, Sn e Zn apresentaram Igeo abaixo de 0, índice indicativo de níveis basais. Alguns elementos apresentaram (Cu, Ni e Pb) índice entre 0 e 1, principalmente nas amostras superficiais, nos dados calculados a partir das médias de Suape (Figuras 5.12, 5.13, 5.14, 5.15, 5.16 e 5.17).

Figura 5.14: Gráfico do FE e Igeo do Pb do Perfil S6 Coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



Padrões de Referencia			
ERL - USEPA, 1998(mg.kg ⁻¹)	47*	FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5
ERM - USEPA, 1998(mg.kg ⁻¹)	220*	FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2

LEGENDA

Background da Crosta/Pernambuco

Background do Shale/Suape

Figura 5.15: Gráfico do FE e Igeo do Zn do Perfil S6 Coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS

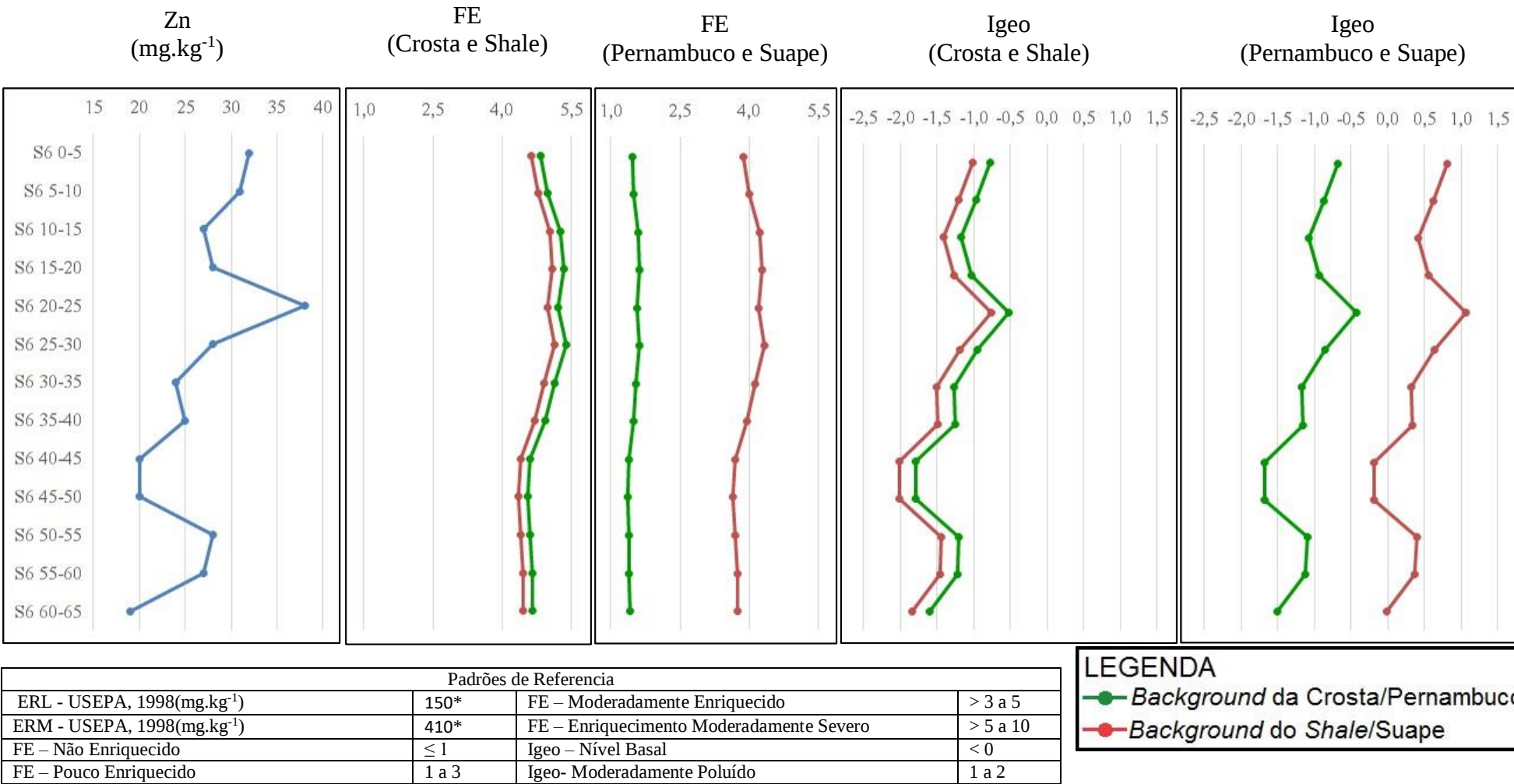


Figura 5.16: Gráfico do FE e Igeo do Sc do Perfil S6 - Coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS

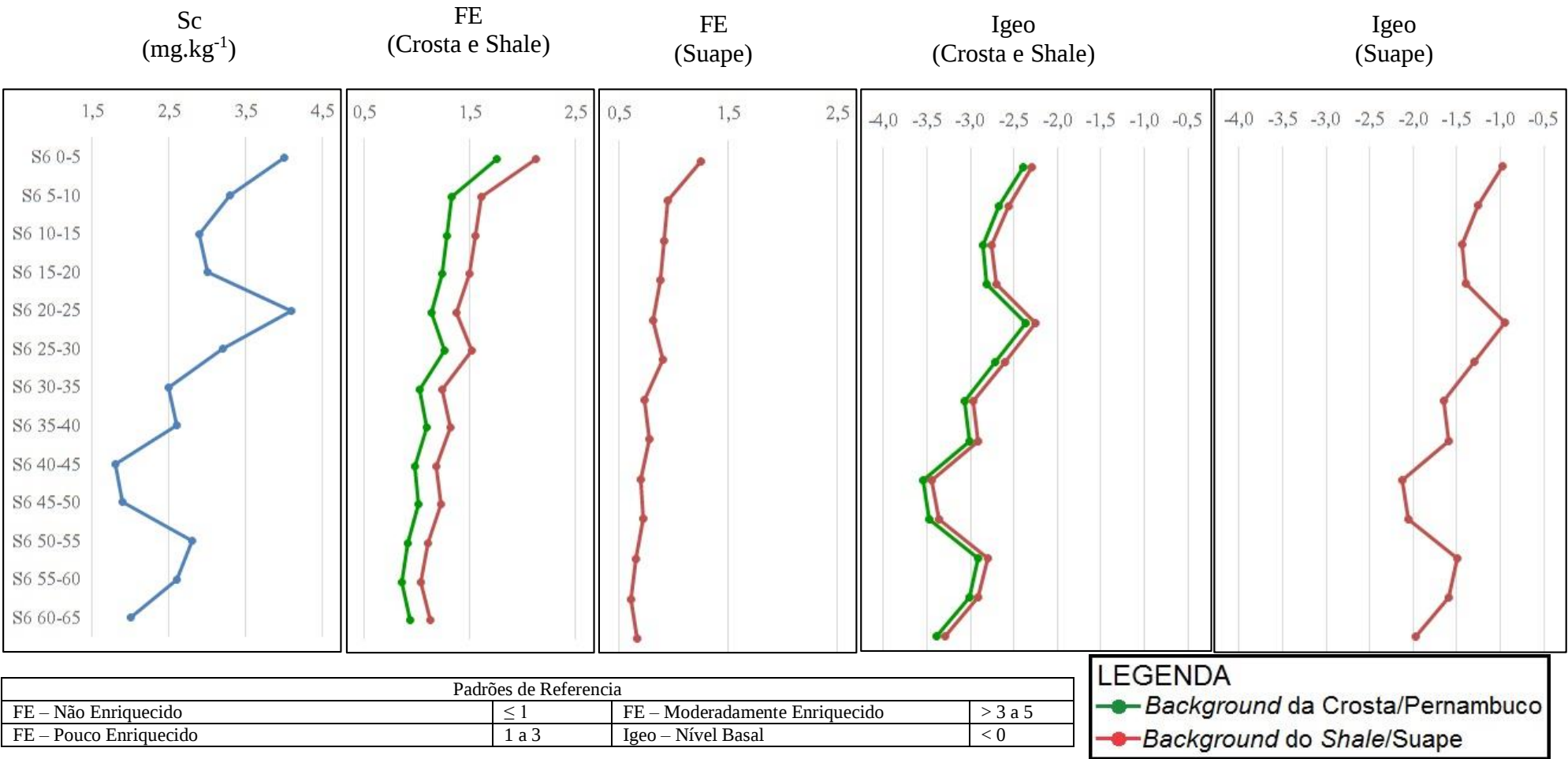
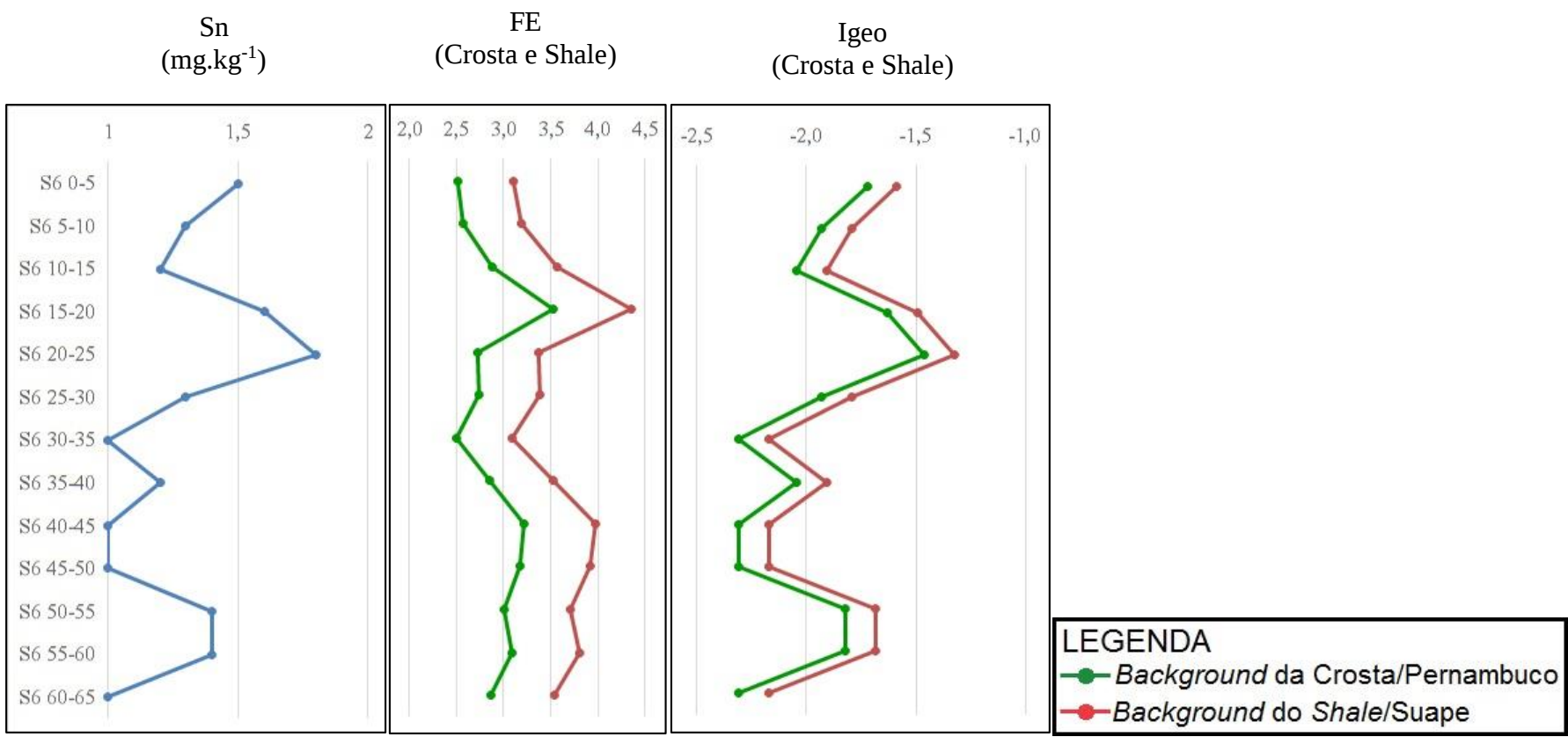


Figura 5.17: Gráfico do FE e Igeo do Sn do Perfil S6 - Coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



Padrões de Referencia			
FE – Não Enriquecido	≤ 1	FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo – Nível Basal	< 0

A Figura 5.18 descreve o gráfico univariado, FE e Igeo do antimônio, onde foram adotadas as médias crustas e do *shale* como *background*, não são apresentados parâmetros de solo de Suape e estuários pernambucanos para este elemento.

Como valor norteador da concentração de Sb foi adotado os valores estabelecidos pela CETESB (2001), uma vez que a USEPA (1998) não estabelece padrões para este elemento químico. As concentrações amostrais de antimônio ao longo do perfil S6 encontram-se abaixo dos valores norteadores do CETESB (2001).

Embora o antimônio encontre-se em baixas concentrações é possível notar que este elemento ao longo do perfil está enriquecido com relação à média crostal principalmente nas amostras mais superficiais chegando a FE igual a 35 (Enriquecimento Muito Severo).

Alguns estudos indicam que FE inferior a 1,5 é indicio de que o elemento é de provável origem geogênica (provável processo intempérico). Quando o FE é superior a 1,5 o elemento é provavelmente proveniente de atividade tecnogênica (Zhang e Liu, 2002).

Já com relação ao Igeo é possível notar que em relação a crosta as duas amostras mais superficiais encontra-se moderadamente poluída (amostras 5 – 10 cm) e com uma poluição moderada (amostra 0 – 5 cm).

Desta forma é provavel que este elemento tenha a sua origem relacionada a atividade antropogênica devido ao comportamento deste elemento quando analisado sob a ótica do FE e Igeo.

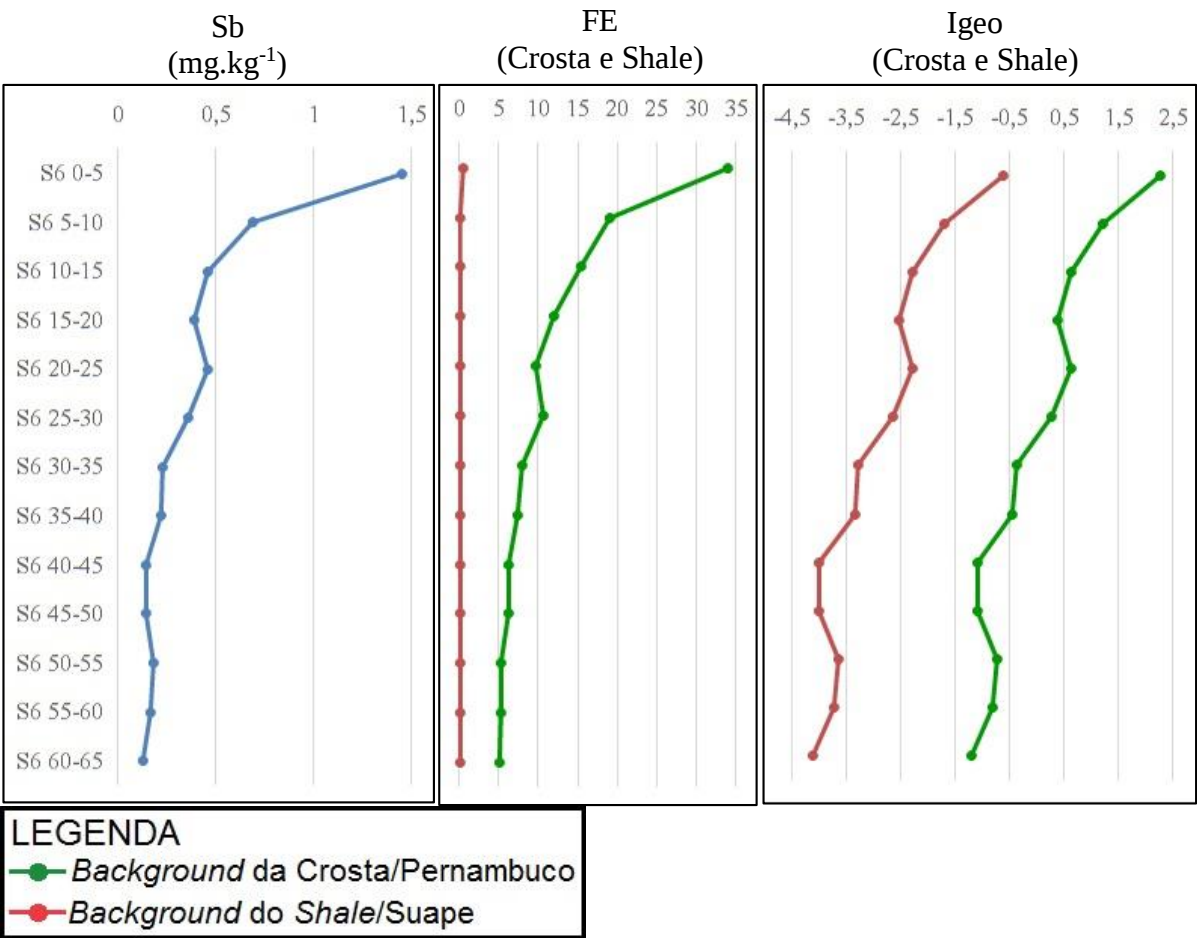
Vale salientar que na bacia de drenagem do estuário do rio Massangana/Tatuoca existe um polo petroquímico, que produz matéria prima para produção de garrafas Pet. Uma garrafa Pet produzida no Brasil contem S, Fe, Cu e Sb (Shimamoto, 2011 - Tabela 5.5).

Tabela 5.3: Faixas de concentração média de S, Fe, Cu e Sb de uma garrafa Pet produzida no Brasil (Shimamoto, 2011).

Elemento	Faixa (mg.kg ⁻¹)
S	ND* – 698
Fe	ND – 56
Cu	6,1 – 14
Sb	2,4 - 11

*ND – Não detectado pelo método analítico (abaixo do limite de detecção do método)

Figura 5.18: Gráficos univariado e Fator de Enriquecimento e Índice de Geoacumulação do Sb



Padrões de Referencia	
CETESB(mg.kg ⁻¹)	25*
FE – Não Enriquecido	≤ 1
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10
FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25
FE – Enriquecimento Muito Severo	> 25 a 50
Igeo – Nível Basal	< 0
Igeo – Não Poluído	0 a 1
Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
Igeo – Moderadamente a Poluído	2 a 3

5.2 ANALISE GEOQUÍMICA (MATRIZ DE CORRELAÇÃO - MC E ANALISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS - ACP) DO PERFIL TESTEMUNHADO NO PONTO DE AMOSTRAGEM S6

Os dados geoquímicos dos elementos Ag, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr e Zn do Perfil S6 adicionados a Al e Zr, que são indicadores de sedimentos finos e grossos respectivamente, também foram submetidos a análises geoestatísticas MC e ACP, onde os resultados obtidos foram avaliados conjuntamente.

Na Figura 5.19 está expresso a matriz de correlação. Ao ser avaliado o perfil S6 não ocorre nenhuma correlação do tipo: Negativamente Forte ($-0,81 \leq IC \leq -1$). As demais correlações foram encontradas: Negativamente Mediana ($-0,6 \leq IC \leq -0,80$); Positivamente Mediana ($0,6 \leq IC \leq 0,80$); Positivamente Forte ($0,81 \leq IC \leq 1$).

Na MC correlação é possível notar que todos os elementos que possuem correlações relevantes com o Al (As, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Zn e Zr) também possuem correlação relevantes com o Zr (Figura 5.19), por isso é possível que a ocorrência deste elementos independam da variação granulométrica.

A Figura 5.20 representa graficamente o *loadings* do gráfico ACP. Neste gráfico as variáveis estão expressas em dois Componentes Principais – CP1 e CP2, onde a soma destes representam 83% da realidade, já a soma dos demais CPs representam 17% da realidade. Devido à baixa representatividade das demais CPs, estas não serão discutidas e nem representadas graficamente, sendo consideradas apenas ruídos da realidade.

É possível notar que o gráfico *Loadings* divide os elementos químicos em dois grupos distintos. O primeiro grupo é composto pelos elementos Ag, Mo, Sr, Cd, Sn, Cr, Ni elementos que não possuem correlação nem com Al e Zn. O Sr é de origem geogênica e biogênica (Sr) sendo encontrado normalmente no exoesqueleto (carapaças) de crustáceos e moluscos

O segundo grupo de elementos químicos do Perfil S6 é formado pelo Sb, Sn, Zn, Pb, Sc, Hg e Cu, elementos de possivelmente é de origem tecnogênica que tem correlações positivamente relevantes. O Sb é provavelmente, oriundo de indústria petroquímica. No entanto, as correlações entre este MP e o Cu, Pb e Sc são medianas, sendo estes últimos de provável atividade antrópica, desta forma é possível que o Cu, Pb e Sc sejam coadjuvantes dentro da cadeia de produção do Pet.

O ACP, gráfico das *Scores* (Figura 5.21), divide as amostras (secções) do perfil S6 em dois grupos. O primeiro contendo as amostras que estão localizadas na base e no meio do perfil (60 – 65; 55 – 60; 50 – 55; 45 – 50; 40 – 45; 35 – 40; 30 – 35; 25 – 30; 20 - 25). Correlacionando o gráfico da *scores* com o do *loadings*, é possível notar que o grupo 1 do *Scores* é correlato ao grupo um do *loadings*.

Estas amostras recebem influência do elemento químico de provável origem geogênica biogênica (Sr).

O segundo grupo é composta principalmente pelas amostras do topo do perfil (15 – 20; 10 – 15; 5 – 10; 0 - 5). Este grupo se correlaciona ao grupo dois do *loadings*, elementos de origem antropogênica que receberam a influência das indústrias que estão situadas em Suape (Marins *et. al.*, 2004; Souza 2013; Suape, 2015; Tabela 5.2).

Figura 5.19: Matriz de Correlação do perfil S6, coletado no estuário do rio Massangana/Tatuoca – Situado no Complexo Portuário de Suape–PE

	Ag	Al	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Sc	Sn	Sr	Zn	Zr
Ag	1,00															
Al	0,51	1,00														
As	0,60	0,70	1,00													
Cd	0,49	0,53	0,63	1,00												
Cr	0,69	0,78	0,97	0,67	1,00											
Cu	0,29	0,77	0,28	0,47	0,40	1,00										
Hg	0,31	0,83	0,74	0,55	0,77	0,59	1,00									
Mo	0,88	0,55	0,61	0,77	0,70	0,44	0,33	1,00								
Ni	0,74	0,85	0,72	0,71	0,81	0,70	0,61	0,86	1,00							
Pb	0,46	0,98	0,79	0,55	0,85	0,69	0,88	0,51	0,83	1,00						
Sb	-0,23	0,66	0,08	0,06	0,11	0,68	0,55	-0,13	0,31	0,61	1,00					
Sc	0,34	0,97	0,69	0,50	0,74	0,75	0,88	0,41	0,77	0,98	0,74	1,00				
Sn	0,54	0,88	0,71	0,48	0,79	0,73	0,73	0,55	0,83	0,87	0,44	0,84	1,00			
Sr	0,55	-0,31	-0,17	-0,04	-0,09	-0,19	-0,45	0,37	0,01	-0,40	-0,69	-0,47	-0,09	1,00		
Zn	0,51	0,97	0,79	0,59	0,84	0,74	0,88	0,55	0,85	0,97	0,58	0,96	0,90	-0,32	1,00	
Zr	0,23	0,91	0,69	0,47	0,71	0,63	0,83	0,33	0,68	0,95	0,75	0,96	0,74	-0,61	0,89	1,00

Onde:

	$0,81 \leq IC \leq 1$ – Correlações Positivamente Forte
	$0,6 \leq IC < 0,8$ - Correlações Positivamente Mediana
	$-0,6 \leq IC < -0,8$ - Correlações Negativamente Mediana
	Destaque para as correlações com Al e Zr

Figura 5.20: Gráfico ACP – *Loadings* perfil S6, coletado no estuário do rio Massangana/Tatuoca – Complexo Portuário de Suape – PE

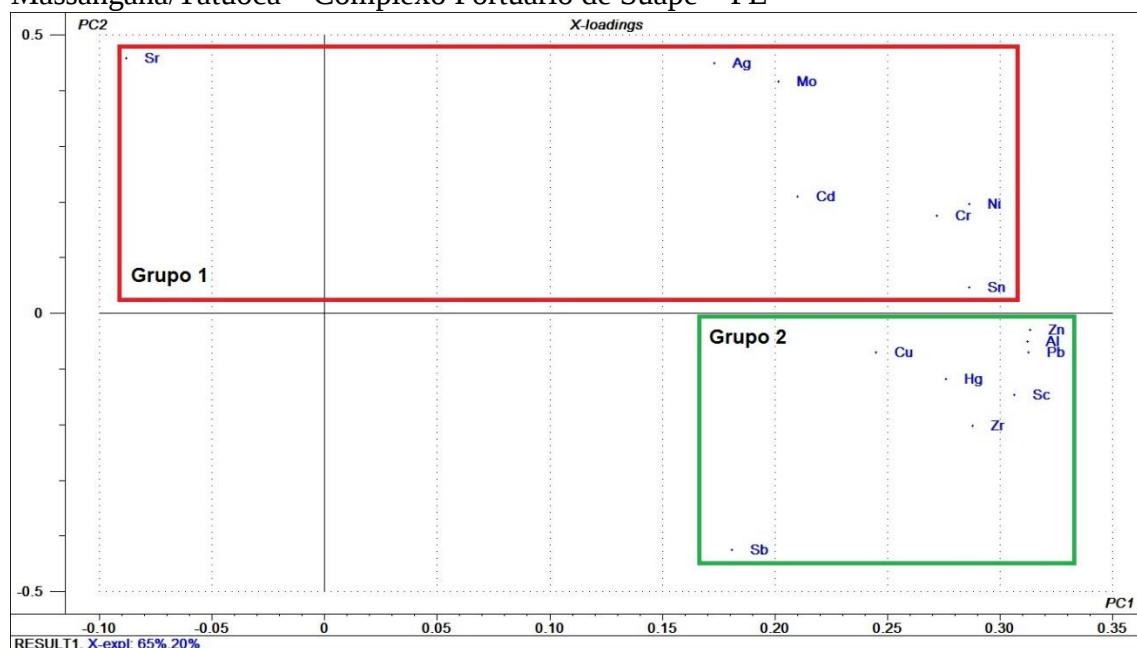
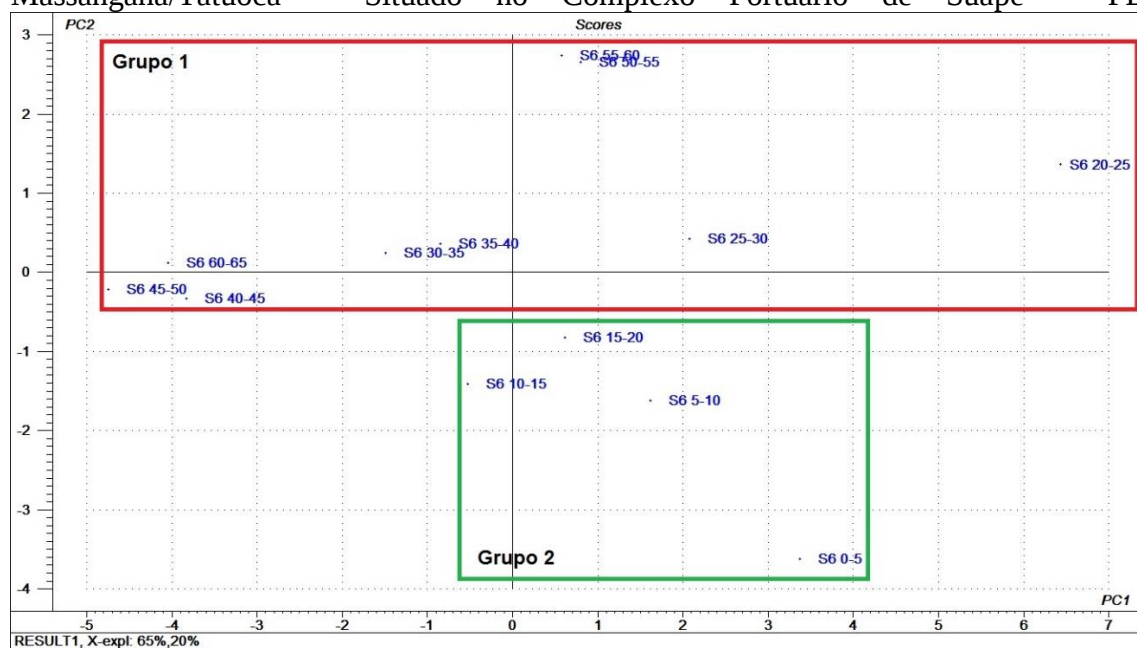


Figura 5.21: Gráfico ACP – *Scores* do perfil S6, coletado no estuário do rio Massangana/Tatuoca – Situado no Complexo Portuário de Suape – PE



Capítulo VI:
Avaliação geoquímica dos
sedimentos do Antropoceno,
testemunhado no ponto de
amostragem S7, localizado na Baía
de Suape

6.1 CARACTERIZAÇÃO E DISCUSSÃO GEOQUÍMICA DO PERFIL S7

Os elementos químicos do perfil S7 foram divididos em 4 grupos de acordo com o comportamento geoquímico ao longo do perfil:

Primeiro Grupo: Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, e Zn (Figura 6.1)

Segundo Grupo: Ag, Pb, Sc e Sn (Figura 6.2)

Terceiro Grupo: Cu e Sr (Figura 6.3)

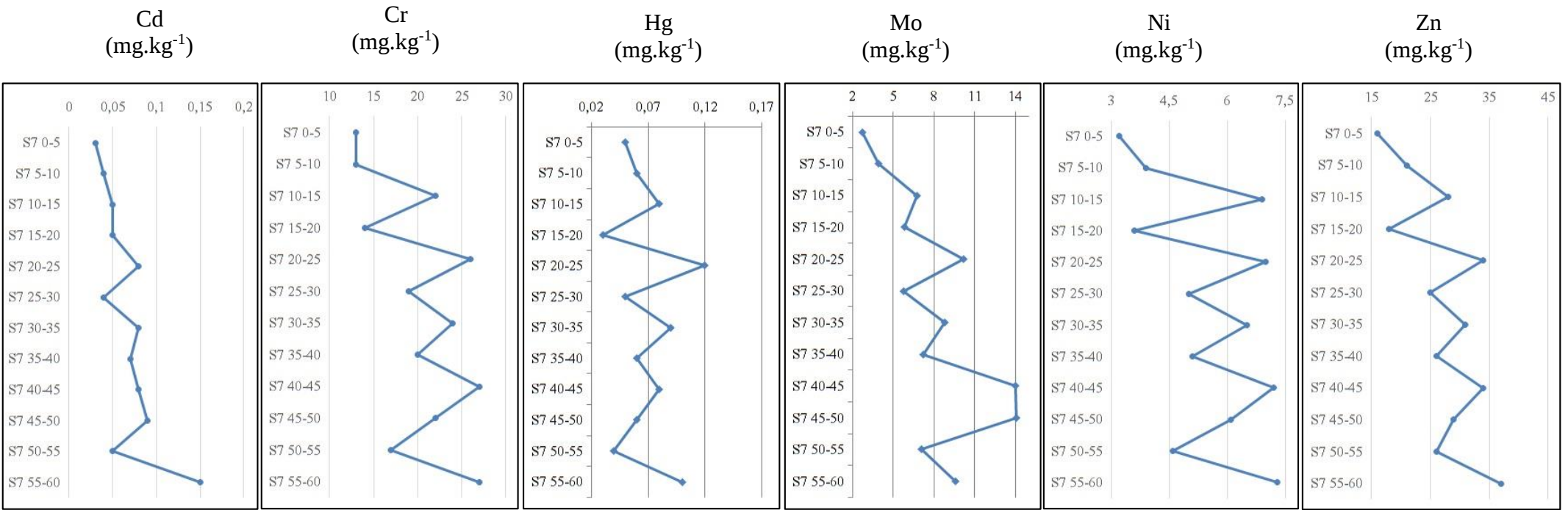
Quarto Grupo: As e Sb (Figura 6.4)

Também foram analisados a razão Zr/Al, FE, Igeo, MC e ACP. Com relação a razão Zr/Al (Figura 6.5) é possível notar que há decréscimo dos valores da razão da base para o topo. Desta forma, na base do testemunho predominam sedimentos silticos-argilosos, já no topo do perfil ocorrem sedimentos em maior concentração de grãos do tamanho argila, na amostra 0 – 5 cm.

O primeiro grupo é composto por elementos químicos de provável origem geogênica (Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, e Zn) que apresentam concentrações decrescente da base para o topo. As concentrações de Cd, Cr, Hg, Ni e Zn foram comparados aos padrões da USEPA (1998). O Mo foi comparado ao parâmetro estabelecido pelo CETESB (2001).

O Cd, Cr, Hg, Ni, e Zn estão abaixo dos limiares estabelecidos pela USEPA (1998) e o Mo encontra-se abaixo do limiar estabelecido pelo CETESB (2001). Desta forma é possível inferir que os elementos que foram considerados do primeiro grupo, quando comparados aos padrões estabelecidos pela USEPA (1998) e CETESB (2001) não apresentam risco à biota local (Figuras 6.1; 6.2; 6.3; 6.4).

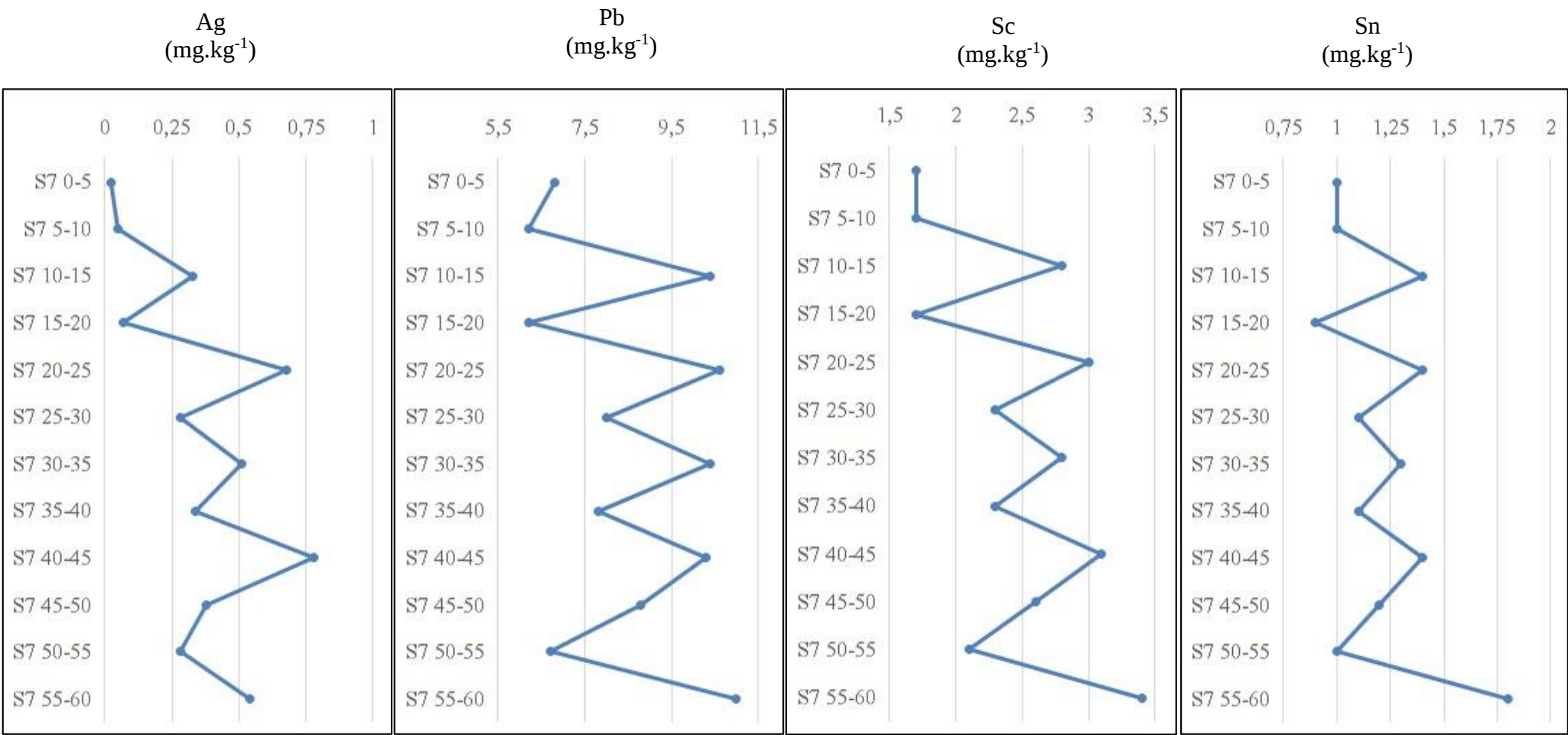
Figura 6.1: Gráficos univariados das concentrações brutas de Cd, Cr, Hg, Mo, Ni e Zn do Testemunho S7 – Coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



METAL PESADO	ERL (mg.kg ⁻¹)	ERM(mg.kg ⁻¹)
Cádmio (Cd)*	1,2	9,6
Cromo (Cr)*	81	370
Mercúrio (Hg)*	0,15	0,71
Molibdênio (Mo)**	120	
Níquel (Ni)*	21	52
Zinco (Zn)*	150	410

*USEPA (1998)
 **CETESB (2001)

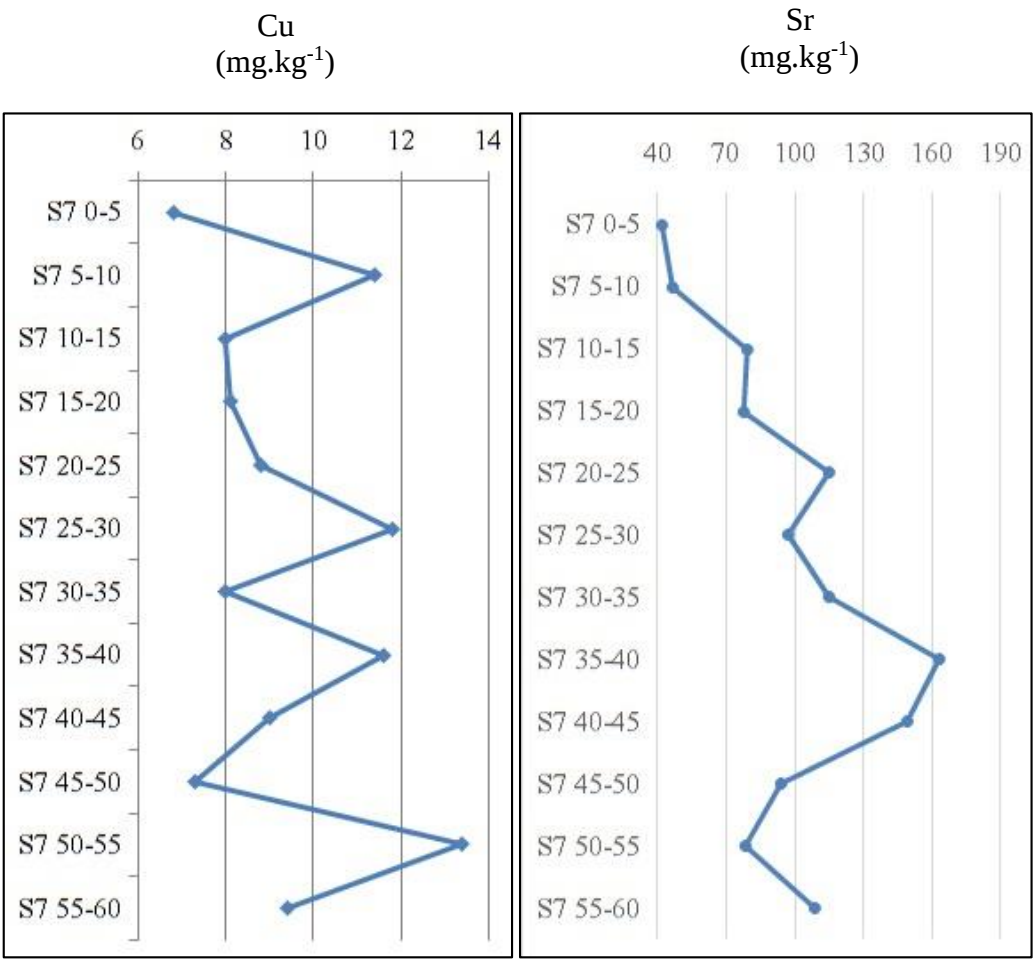
Figura 6.2: Gráficos univariados das concentrações brutas de Ag, Pb, Sc e Sn do Testemunho S7 – Coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



METAL PESADO	ERL (mg.kg ⁻¹)	ERM(mg.kg ⁻¹)
Prata (Ag)*	1,0	3,7
Chumbo (Pb)*	47	220

*USEPA (1998)

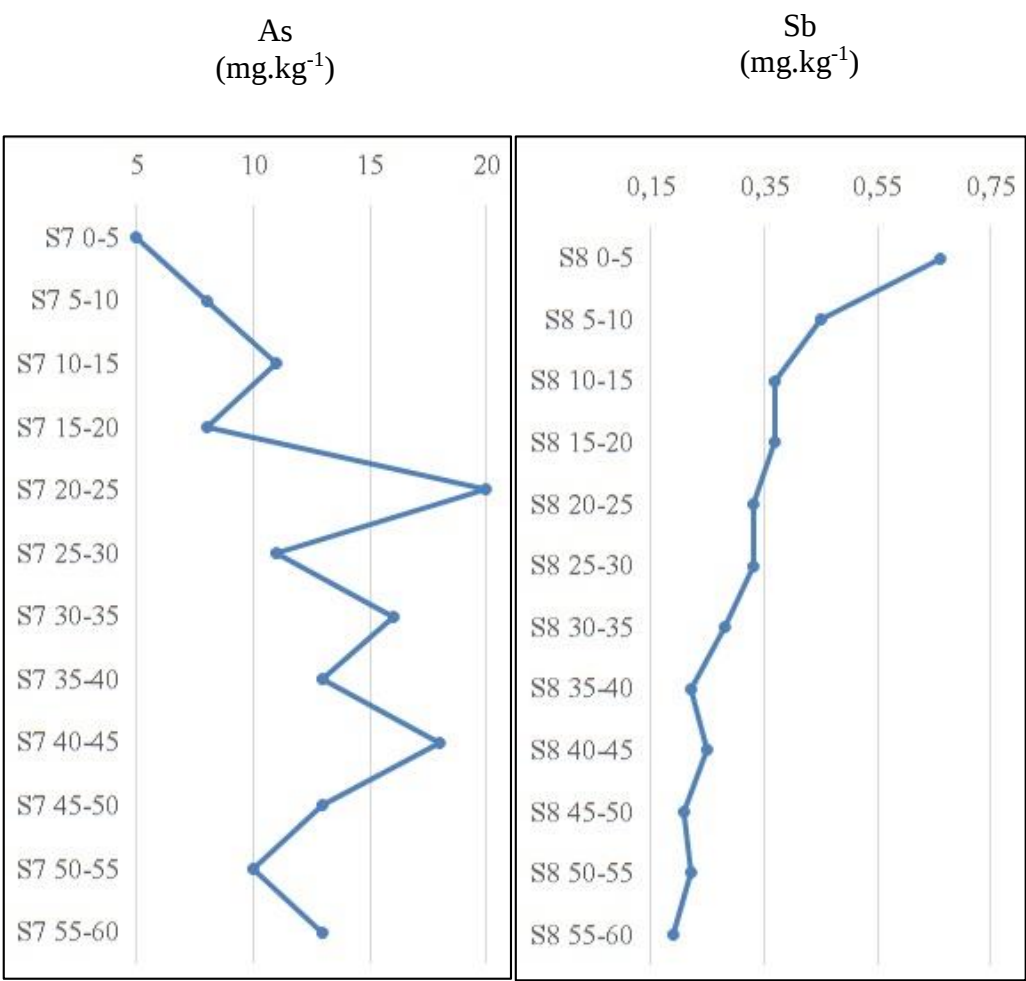
Figura 6.3: Gráficos univariados das concentrações brutas de Cu e Sr do Testemunho S7 – Coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



METAL PESADO	ERL (mg.kg ⁻¹)	ERM(mg.kg ⁻¹)
Cobre (Cu)*	34	270

*USEPA (1998)

Figura 6.4: Gráficos univariados das concentrações brutas de As e Sb do Testemunho S7 – Coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS

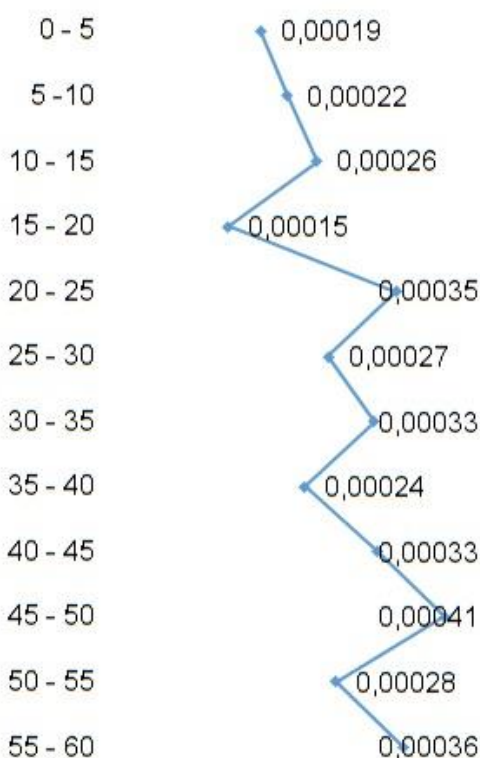


METAL PESADO	ERL (mg.kg ⁻¹)	ERM(mg.kg ⁻¹)
Arsênio (As)*	8,2	70
Antimônio (Sb)**	25	

*USEPA (1998)

**CETESB (2001)

Figura 6.5: Razão Zr/Al do testemunho S7 Coletado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



O FE dos elementos que compõe o primeiro grupo (Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, e Zn) demonstra que o Cr, Ni e Zn apresentam baixos índices de FE variando entre não enriquecido a moderadamente enriquecido. Já o Hg apresentam índices de FE mais elevados variando desde pouco enriquecido a enriquecimento moderadamente severo. O Cd e o Mo apresentaram índices de FE preocupantes variando de não enriquecido a enriquecimento muito severo.

O Cr apresentou variação de FE para todos os *backgrounds* entre 1,16 (Suape) e 3,33 (crosta) (Figura 6.6). O Ni e Zn apresentaram variações dos índices de FE semelhantes ao do Cr (Figuras 6.7 e 6.8)

Figura 6.6: Gráfico do FE e Igeo do Cr do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS

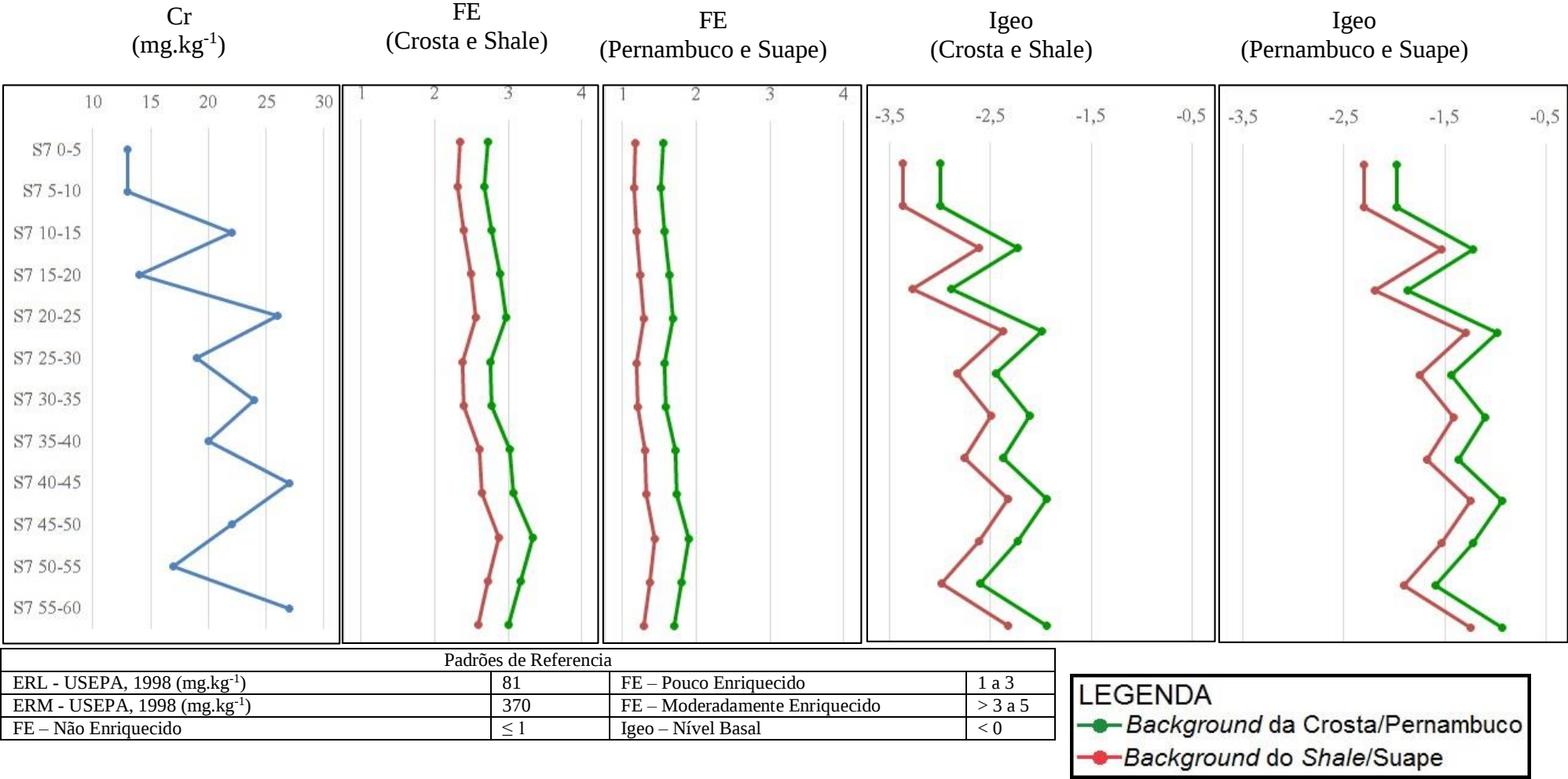


Figura 6.7: Gráfico do FE e Igeo do Ni do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS

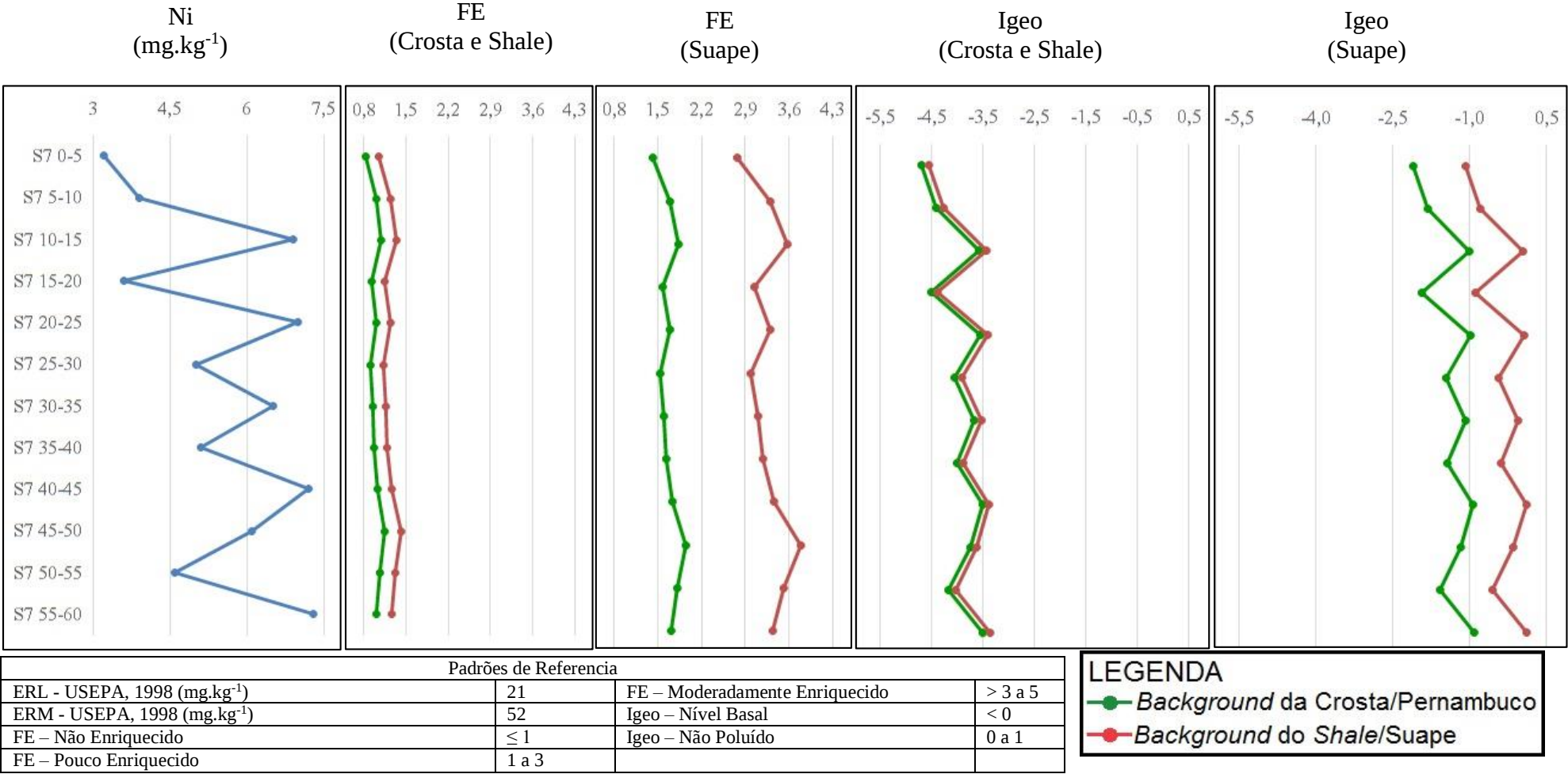
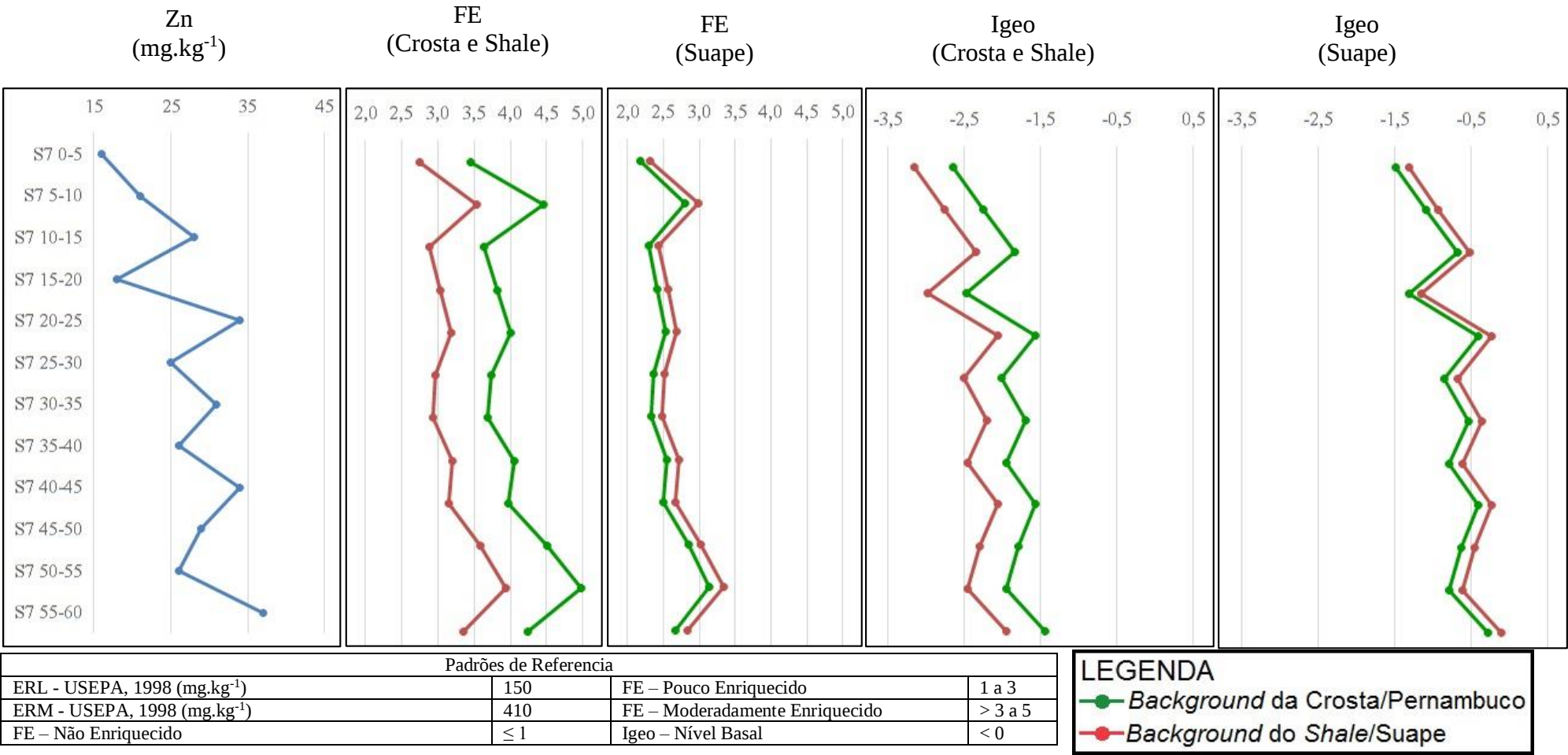


Figura 6.8: Gráfico do FE e Igeo do Zn do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



O mercúrio não possui média de valor de referência estabelecido para os sedimentos estuários de Pernambuco e solos de Suape. O índice de FE calculado com a média da crosta não apresentou variação, por este motivo não será considerado. Com relação ao cálculo realizado com a média do *shale* ocorre variação no índice de FE entre 2,73 (Pouco enriquecido) a 6,06 (enriquecimento moderadamente severo) (Figura 6.9). Mesmo apresentando baixo enriquecimento é necessário cuidados ambientais por se tratar de um metal intrinsecamente tóxico e mesmo em baixas concentrações causam sérios danos ambientais e se incorporado a cadeia trófica causará patologias aos seres humanos (Airey, 1983; Siblingus, 1994; Weiss, 1996).

O Cádmio e o Molibdênio foram os elementos do primeiro grupo que apresentaram anomalias significantes nos índices de FE. O Cd apresentou variação entre não enriquecido e enriquecimento muito severo, com destaque para os parâmetros que foram calculados utilizando a média de Cd estabelecido por Moraes (2013) para os solos de Suape com variação dos índices de FE entre 25,72 e 56,12. Este índice é indicativo de que os sedimentos da baía de Suape possuem valores bastante superiores aos encontrados nos solos locais (Figura 6.10). Vale salientar que os sedimentos dos estuários dos rios Massangana e Tatuoca recebem forte influência dos solos do CIPS, devido às intensas e contínuas obras de terraplanagem para a implementação das indústrias (Moraes, 2013). Com relação ao Mo é possível notar que entre os elementos do primeiro grupo este é o que apresenta maiores índices de FE chegando a 94,00 o equivalente a um enriquecimento muito severo (Figura 6.11). A concentração de molibdênio está acima do esperado para as médias da crosta, *shale* e solos de Suape, sobretudo para este último. Mendes (2015) não estabeleceu valor de referência para Mo em relação aos estuários de Pernambuco.

De forma geral os elementos químicos que compõe o primeiro grupo do perfil S7 apresentaram baixos Índices de Geoacumulação, apresentando a maior parte dos valores abaixo de zero. O Cr, Hg e Zn (Figuras 6.6, 6.9, e 6.8 respectivamente) apresentaram Igeo negativo para todas as suas amostras, configurando uma área que apresentam índices basais para estes elementos.

O Cd (Figura 6.10) apresentou apenas uma amostra com Igeo igual a zero, amostra 55 – 60 que foi normalizada com as médias crustais. As demais amostras obtiveram índices negativos.

Figura 6.9: Gráfico do FE e Igeo do Hg do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS

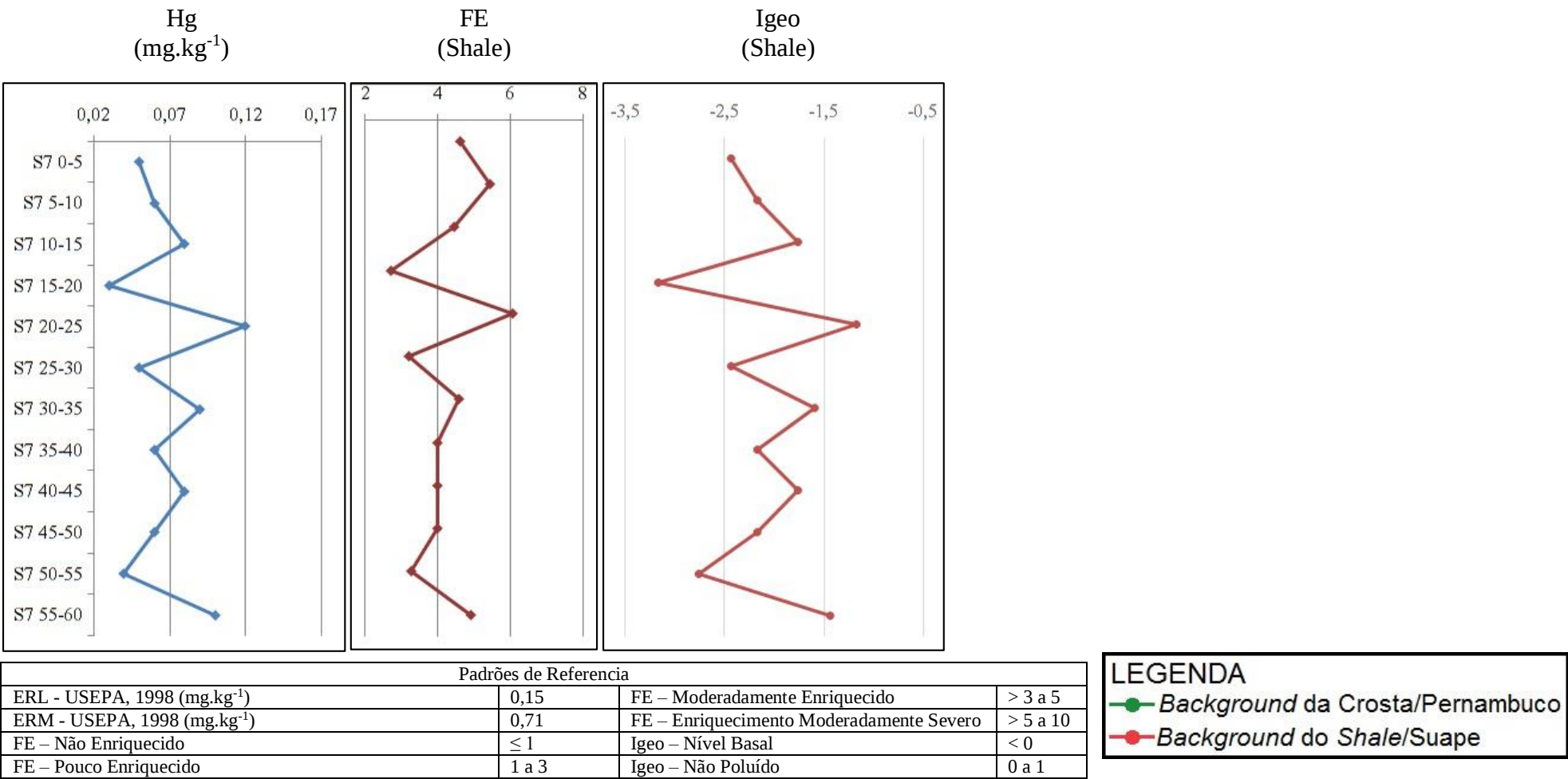


Figura 6.10: Gráfico do FE e Igeo do Cd do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS

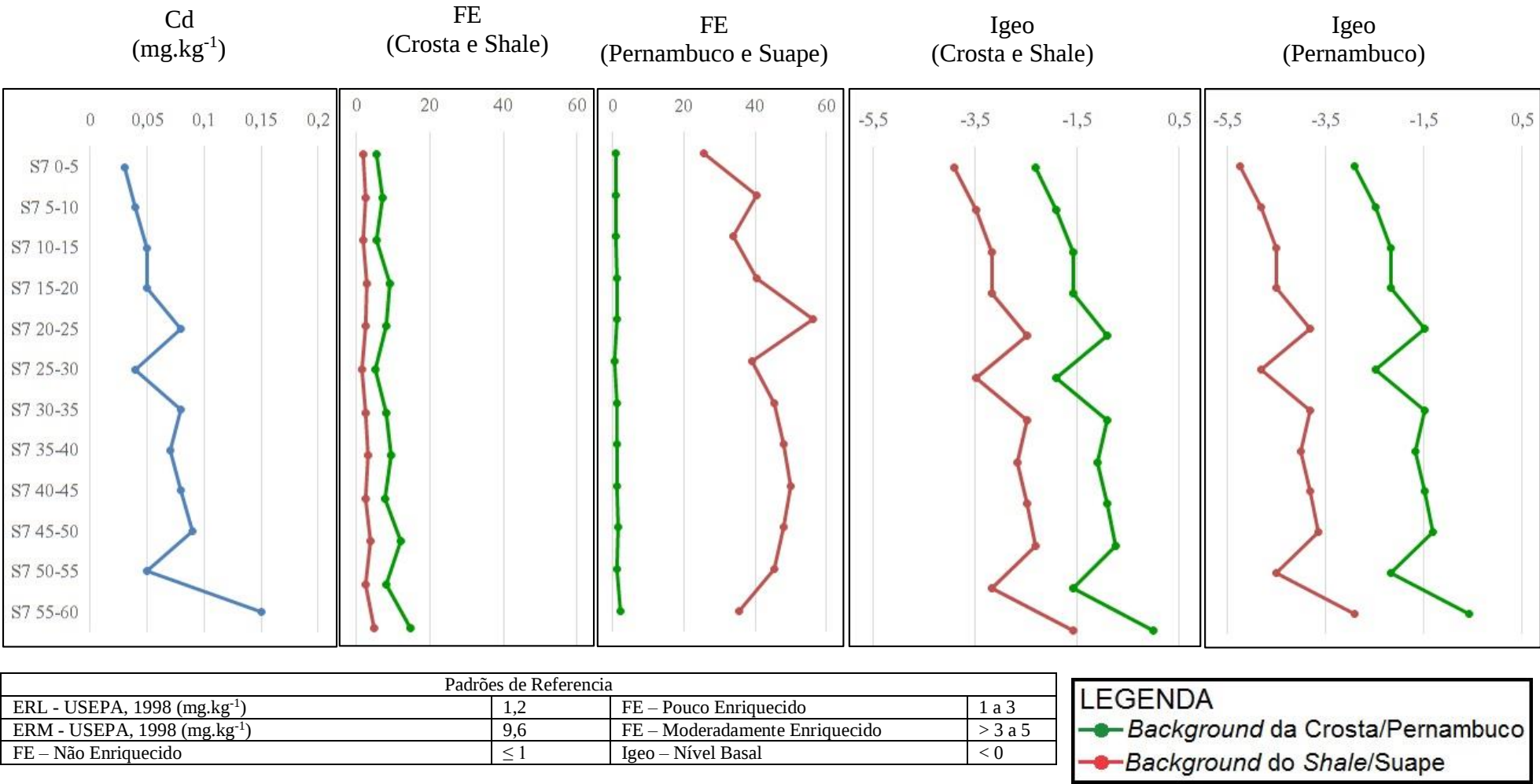
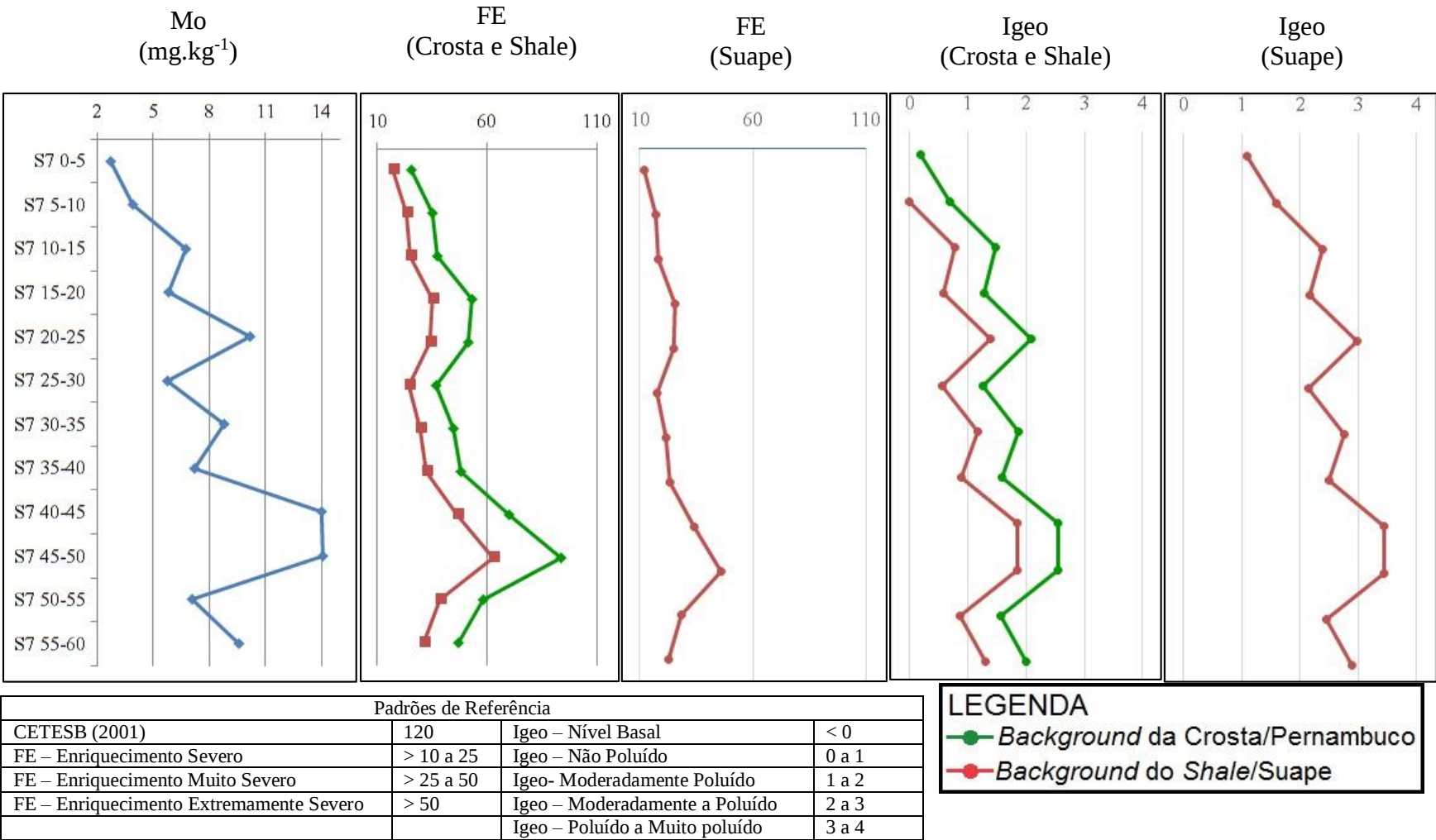


Figura 6.11: Gráfico do FE e Igeo do Mo do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



O Níquel (Figura 6.7) apresentou índices negativos para todas as amostras que utilizou como *background* as médias crustais, *shale* e estuários de Pernambuco, no entanto, três amostras normalizadas com a média de Ni para os solos de suape apresentaram índices positivos variando entre 0,04 e 0,10.

De forma geral o Mo (Figura 6.11) apresentou baixo Igeo, no entanto os seus índices se destacam em relação aos demais elementos deste grupo, uma vez que o molibdênio apresentou o maior número de amostras com Igeo positivo e índices mais elevados variando entre 1,09 e 3,45, ou seja, níveis que estão moderadamente poluídos a muito poluídos. Houve destaque para as amostras normalizadas com as médias de solos de Suape, por apresentarem os maiores valores.

O segundo grupo de elementos químicos do testemunho S7 são: Ag, Pb, Sc, Sn. Estes elementos apresentam variação irregular de sua concentração ao longo do perfil, de forma a apresentar hora concentrações mais elevada seguidas de concentrações mais baixas (Figura 6.2).

É possível notar que na amostra superior do perfil, 0 – 5 cm, ocorre certo incremento na concentração destes elementos. É possível que a amostra mais superficial contenha maior concentração de silte/argila como também de Matéria Orgânica (MO). Há vários estudos na literatura científica que demonstra a capacidade e os mecanismos de adsorção de elementos químicos por parte das frações finas, silte/argila, como também da MO.

Na Figura 6.5 está expressa graficamente a razão Zr/Al. O alumínio é normalmente encontrado nas argilas, por esta razão estima-se que em amostras com maior concentração de Al haverá também maiores concentração de Argila. Já o Zr é encontrado em sedimentos siltecoarenosos. No caso do perfil coletado no ponto de amostragem S7, há presença de sedimentos argilosos, predominando na base do perfil, com uma gradação da granulometria para o topo do perfil que predomina sedimentos silte/argila. O gráfico da razão Zr/Al corrobora a hipótese de que ao longo do perfil os sedimentos apresentam alta adsorção dos elementos químicos, uma vez que os sedimentos argilosos adsorve os elementos químicos (Harikumar, Nasir & Mujeebu Ramhman, 2009).

Deste grupo de elementos apenas a prata e o chumbo possuem parâmetros estabelecidos pela USEPA (1998). Estes por sua vez apresentaram concentração abaixo dos parâmetros da USEPA (1998). O Sc e Sn não possuem parâmetros de qualidade ambiental estabelecidos pela USEPA (1998) e CETESB (2001).

Ao serem analisados os FE da Ag, Pb, Sc e Sn é possível notar que de forma geral apresentam baixos valores, com exceção a Ag.

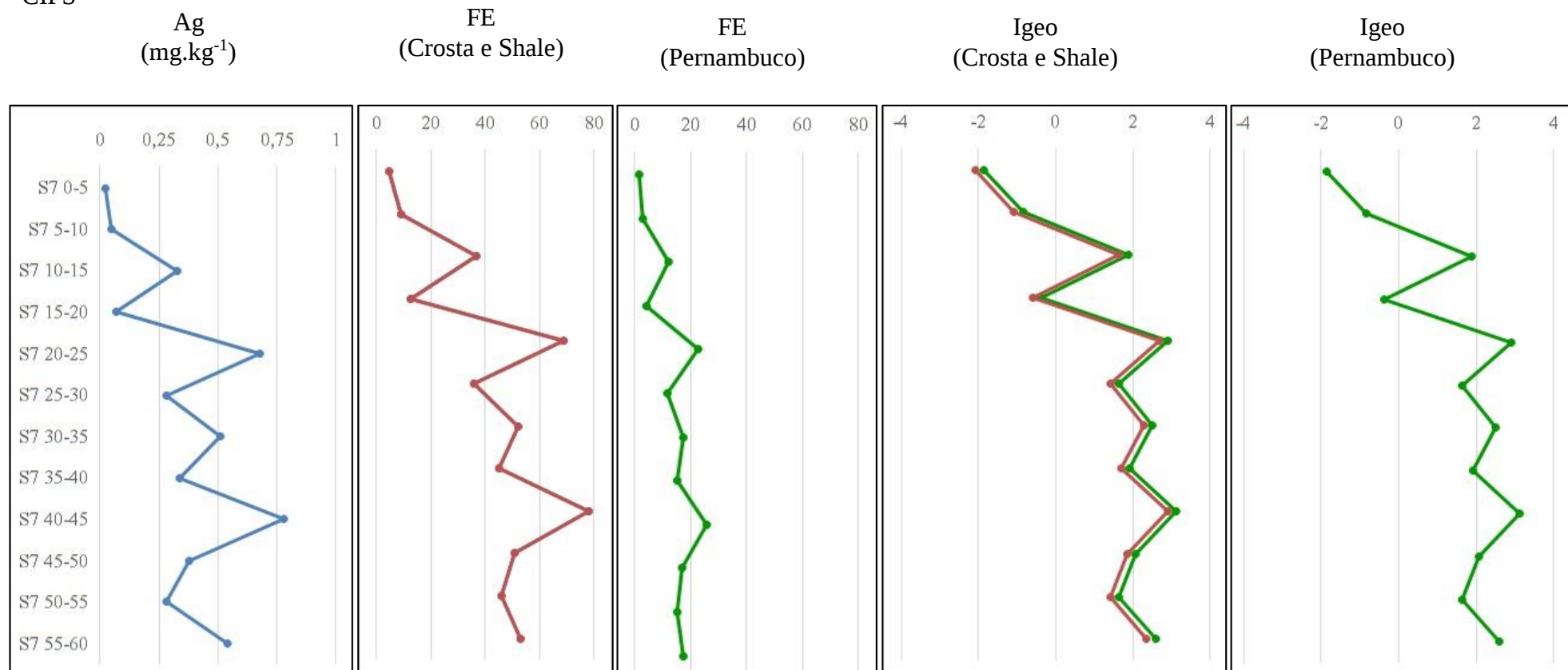
Não há parâmetros de *background* para a Ag estabelecido por Moraes (2013) para os solos da baía de Suape. Quando utilizado os parâmetros estabelecidos por Mendes (2015) para os estuários de Pernambuco, para a realização dos cálculos de FE, é possível notar que estes apresentam dados de FE mais baixos que o da crosta e *shale*. Os valores de FE da crosta e *shale* foram iguais, pois possuem *backgrounds* muito semelhantes: 0,06 e 0,07, respectivamente. A variação do FE da Ag para S7 varia entre 1,54 a 78,00, pouco enriquecido e enriquecimento muito severo (Figura 6.12).

Dos FE calculados para o Pb destaque-se o que utilizou a média crustal que apresentou os maiores valores, enquanto os menores valores estão relacionados aos calculados a partir da média referente aos estuários de Pernambuco. A variação entre os valores de FE foi de 1,43 a 5,80, pouco enriquecido e enriquecimento moderadamente severo, respectivamente (Figura 6.13).

No caso do Sc, não há valores de FE elevados. A variação foi entre 0,43 a 1,38, não enriquecido a pouco enriquecido, respectivamente. Entre os parâmetros utilizados o que registrou os maiores índices de FE foi o que usou como parâmetro de normalização a média do *shale*. Não foram estabelecidos *background* de Sc para os estuários de Pernambuco (Figura 6.14).

Moraes (2013) não determinou *background* da média de solos da baía de Suape, para Sn. Entre os FE calculados para Sn há destaque para aquele normalizado com o valor médio do *shale* que alcançou os maiores índices. Já a média de FE variou entre 2,98 e 4,55, pouco enriquecido a moderadamente enriquecido, respectivamente (Figura 6.15).

Figura 6.12: Gráfico do FE e Igeo da Ag do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



LEGENDA
 ● *Background da Crosta/Pernambuco*
 ● *Background do Shale/Suape*

Padrões de Referencia			
ERL - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	1,0	FE – Enriquecimento Muito Severo	> 25 a 50
ERM - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	3,7	FE – Enriquecimento Extremamente Severo	> 50
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10	Igeo – Moderadamente a Poluído	2 a 3
FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25	Igeo – Poluído a Muito poluído	3 a 4

Figura 6.13: Gráfico do FE e Igeo do Pb do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS

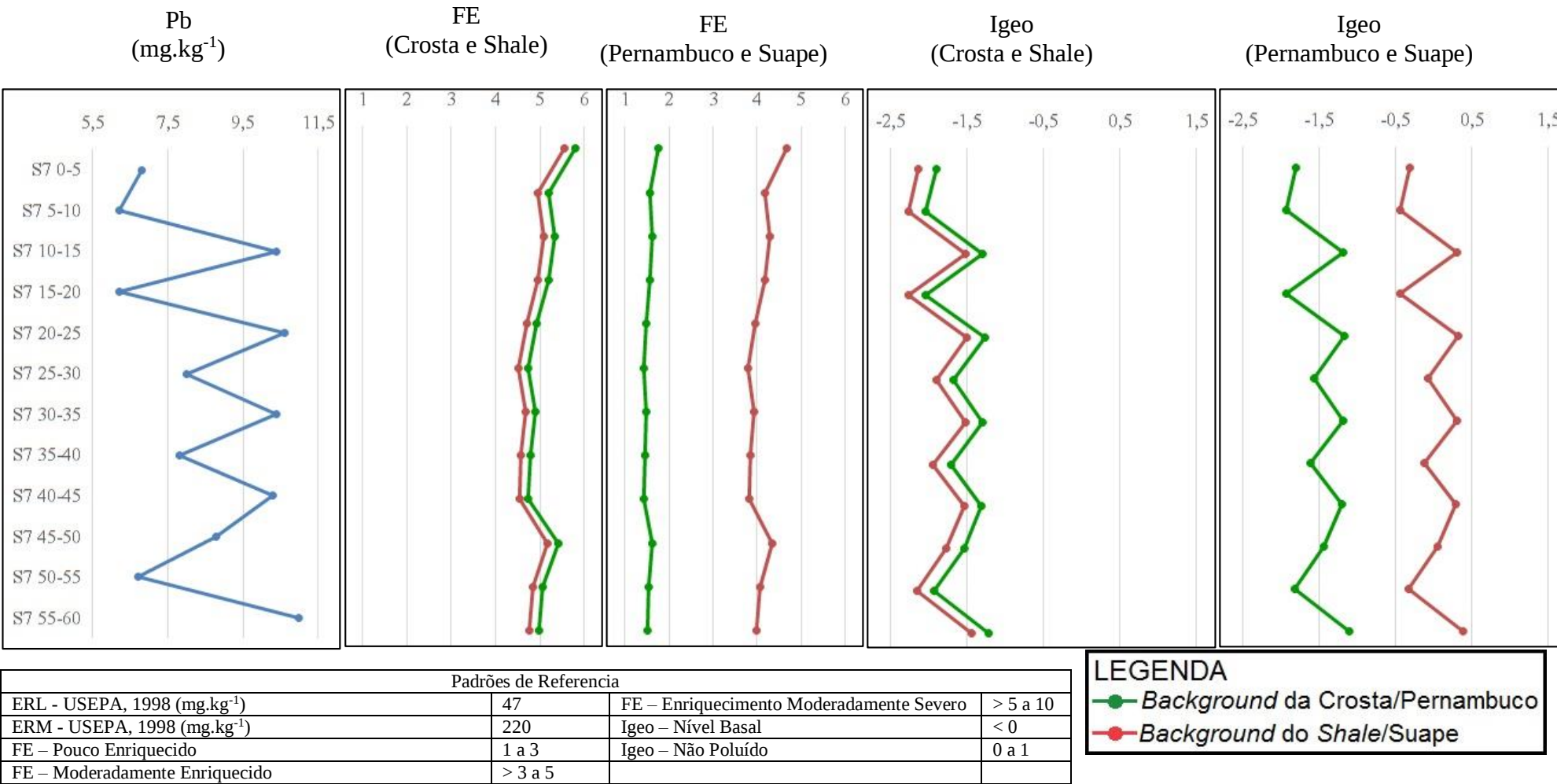


Figura 6.14: Gráfico do FE e Igeo do Sc do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS

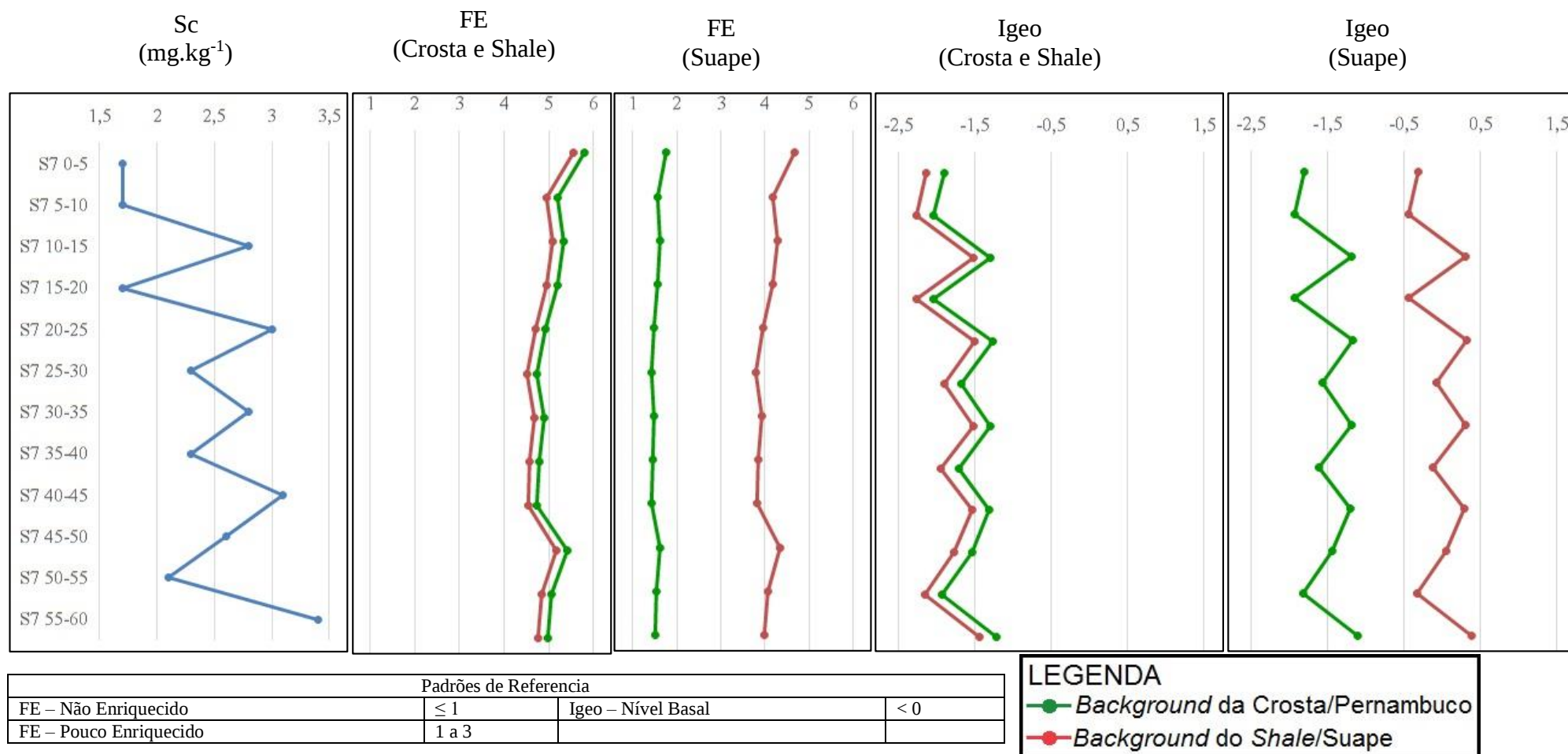
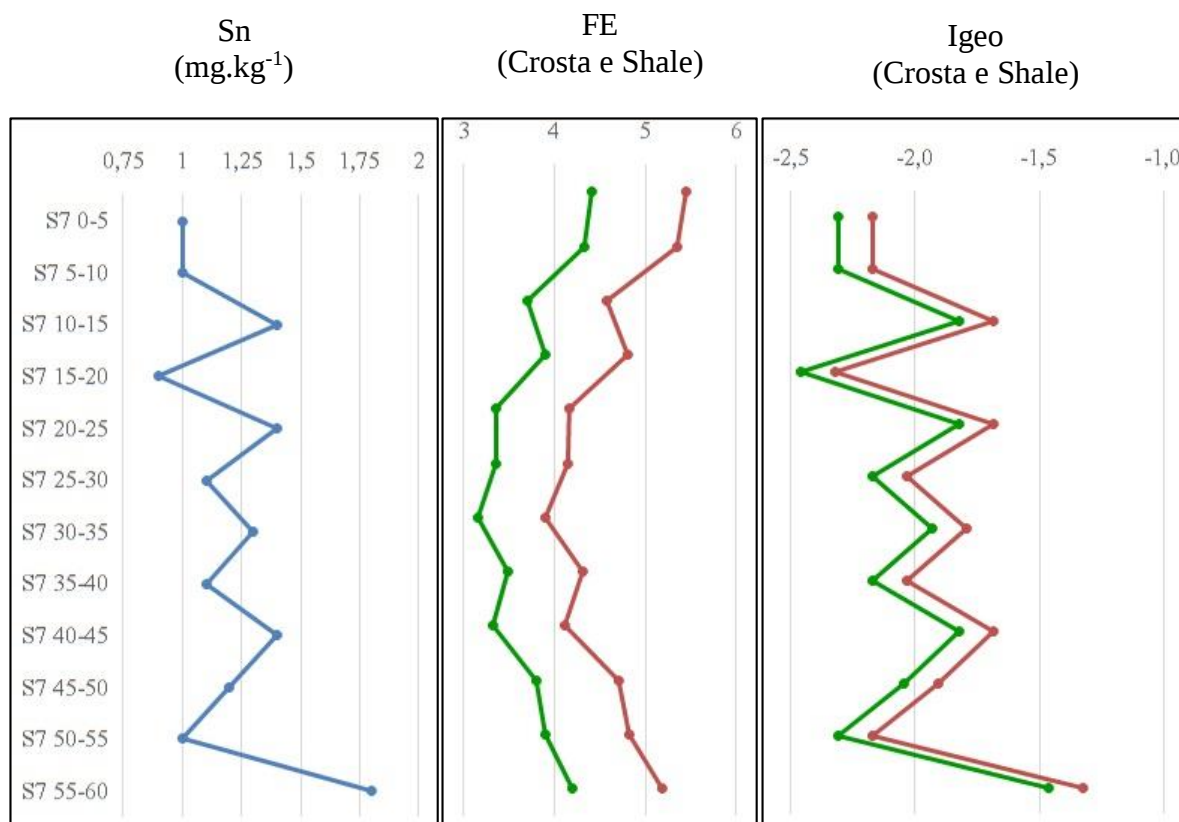


Figura 6.15: Gráfico do FE e Igeo do Sn do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



Padrões de Referência			
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5		

LEGENDA	
●	Background da Crosta/Pernambuco
●	Background do Shale/Suape

A maioria das secções do perfil S7 apresentou valores negativos para o Igeo do chumbo. Entre os Índices de Geoacumulação há destaque para os que foram calculados utilizando como *background* a média de Pb dos solos de Suape. O valor do menor e maior índice foi -2,27 a 0,38, nível basal e não poluído (Figura 6.13).

O escândio e o estanho apresentaram todos os índices abaixo de zero, a níveis basais. O primeiro não possui parâmetros estabelecidos para os estuários de Pernambuco, já o segundo não apresentou parâmetro para os solos da baía de Suape e para os estuários de Pernambuco (Figuras 6.14 e 6.15).

O Cu e o Sr fazem parte do terceiro grupo (Figura 6.3). Tanto o Cu quanto o Sr foram postos neste grupo devido aos seus comportamentos diferenciados com relação aos demais elementos destacados para o perfil S7 (Ag, As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn e Zn). Os comportamentos dos valores brutos de Cu serão discutidos juntamente com o gráfico da MC, mais a frente, para justificar o seu comportamento diferenciado. O Cu foi comparado ao *background* estabelecido pela USEPA (1998), no entanto a concentração deste elemento não ultrapassou os limiares de ERL e ERM, 34 e 270 mgkg⁻¹ respectivamente.

Já o Sr é diferente dos demais elementos químicos devido a sua origem, biogênica. De forma geral este elemento possui concentração descendente da base para o topo do perfil. Mas, quando analisado o seu gráfico de forma detalhada é possível notar que na base do perfil até o intervalo 35 – 40 cm este elemento possui comportamento ascendente e posteriormente, do intervalo 30 – 35 cm até a amostra mais superficial, apresenta comportamento descendente (Figura 6.17). Este comportamento já era de se esperar por se tratar de um elemento de origem marinha. Como o manguezal é um ambiente marinho, rico em sedimentos finos e em matéria orgânica favorece as condições ideais para o acúmulo deste elemento.

Levando em conta o FE dos elementos deste grupo é possível notar que houve maior destaque para os cálculos realizados usando-se o *background* de Suape, por apresentar maior índice de FE tanto para Cu como para Sr. O Cu apresentou variação de concentração para os cálculos de FE entre 1,55 a 8,89, pouco enriquecido a enriquecimento moderadamente severo (Figura 6.16). Já Sr, possui variação entre 1,74 a 120,81, pouco enriquecido a enriquecimento muito severo (Figura 6.17).

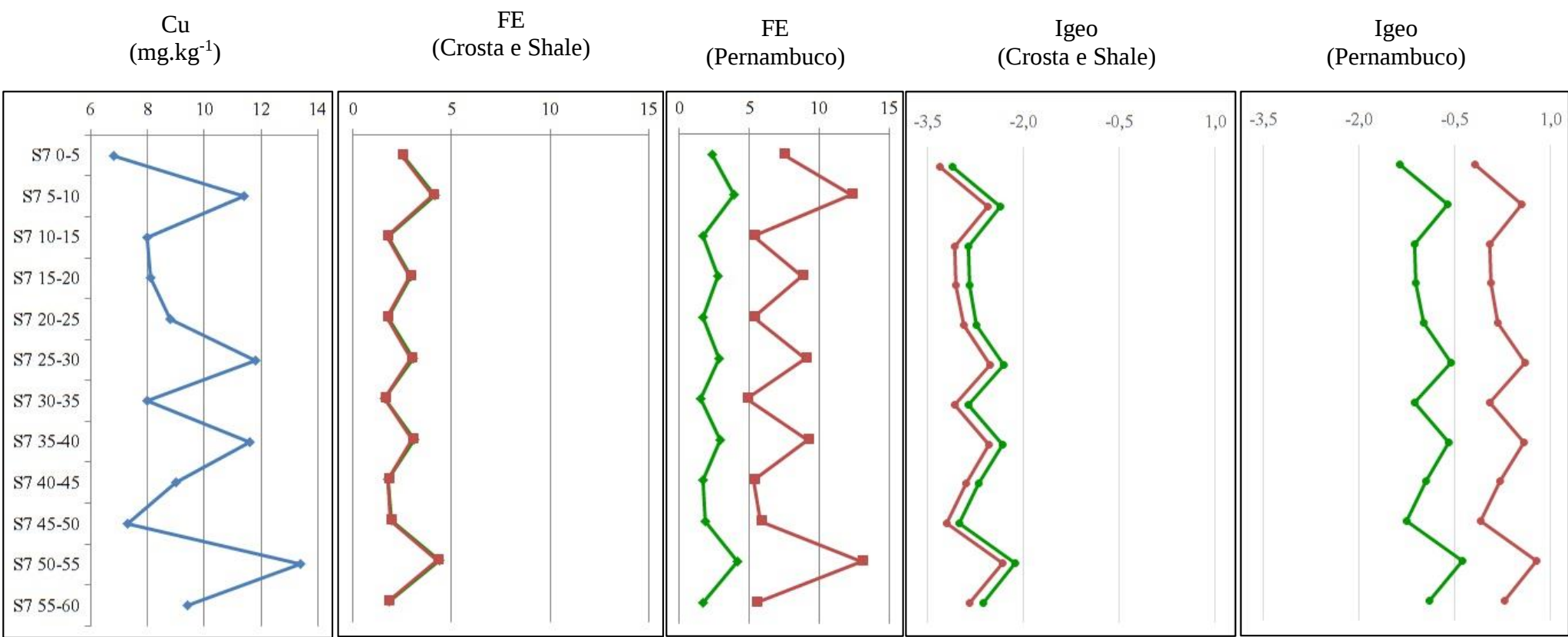
É possível notar que de igual forma ao que aconteceu com o FE, o Igeo do terceiro grupo de elementos químicos do perfil S7 apresentou maior índice para o tratamento que utilizou a média de solo estabelecida para a Baía de Suape.

O Igeo do Cu apresentou índices negativos e índice basal, para os valores de normalização da média da crosta, *shale* e estuários de Pernambuco. A variação de Igeo para este elemento foi de -3,31 a 0,79, nível basal a não poluído.

Os valores de Igeo calculados com os dados de Sr apresentaram valores negativos para os índices calculados a partir do valores da crosta e *shale*. A variação entre os índices para todos os valores de normalização utilizados foi -3,64 a 4,85, níveis basais a muito poluído.

Devido à sua origem marinha os índices para FE e Igeo para o Sr são bastante elevados, uma vez que os dados deste elemento químico foram comparados a parâmetros continentais. Esta elevação não configura um alerta de risco ambiental pois além da baixa toxicidade intrínseca do Sr, os valores encontrados são normais para o ambiente marinho.

Figura 6.16: Gráfico do FE e Igeo do Cu do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



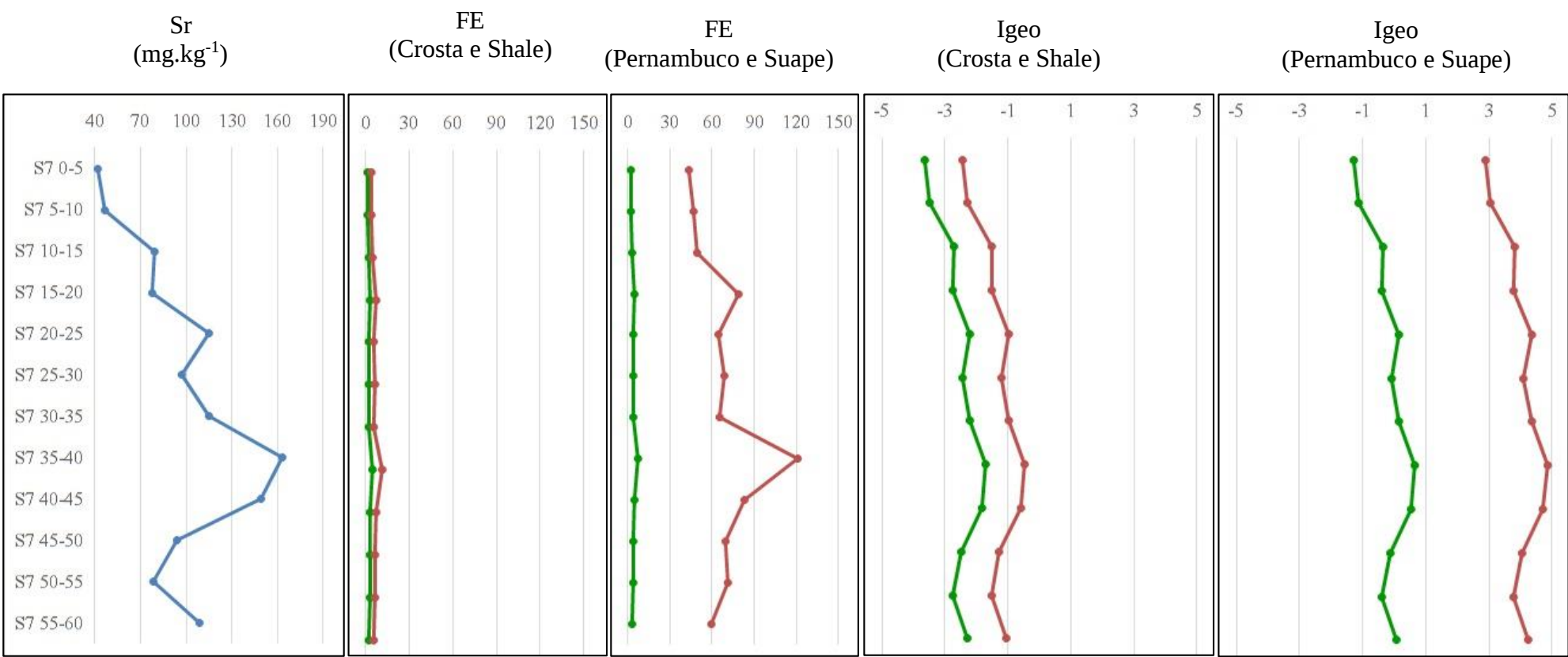
Padrões de Referencia			
ERL - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	34	FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10
ERM - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	270	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5		

LEGENDA

Background da Crosta/Pernambuco

Background do Shale/Suape

Figura 6.17: Gráfico do FE e Igeo do Sr do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



Padrões de Referencia			
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10	Igeo – Moderadamente a Poluído	2 a 3
FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25	Igeo – Poluído a Muito poluído	3 a 4
FE – Enriquecimento Muito Severo	> 25 a 50	Igeo – Muito Poluído	4 a 5
FE – Enriquecimento Extremamente Severo	> 50		

LEGENDA

● Background da Crosta/Pernambuco

● Background do Shale/Suape

O quarto grupo de elementos químicos do perfil S7 é composto pelo As e Sb (Figura 6.4). Este grupo é composto pelos elementos químicos que apresentam risco ambiental para a biota, por apresentarem altas concentrações ou por apresentarem alta toxicidade intrínseca.

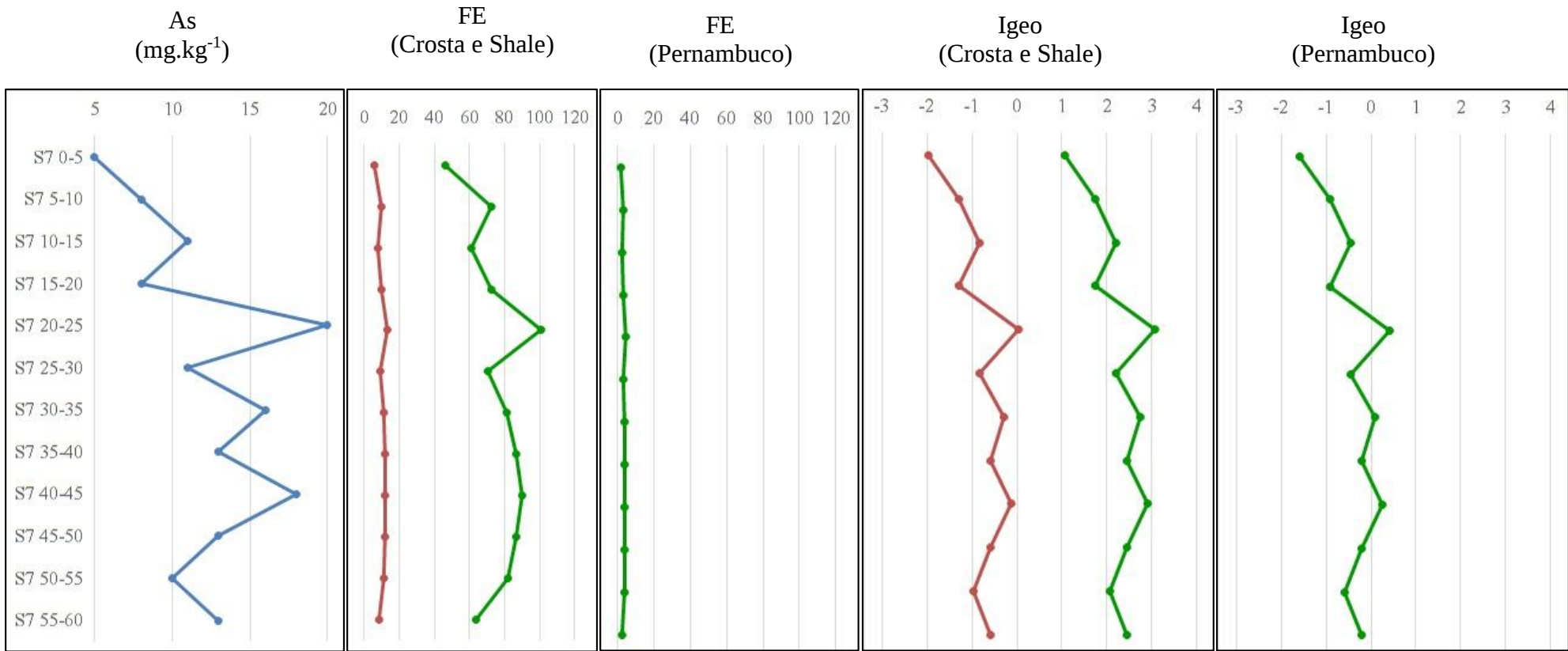
O As foi comparado aos parâmetros de qualidade estabelecidos pela USEPA (1998). Entre os elementos químicos do perfil S7, o As foi o que apresentou o maior número de amostras acima do parâmetro estabelecido pela USEPA (1998) para o ERL, $8,2 \text{ mg.kg}^{-1}$. A concentração bruta do Sb foi comparado aos padrões estabelecidos pelo CETESB (2001), ao longo do perfil este elemento não ultrapassou o limiar do CETESB, 25 mg.kg^{-1} , no entanto, apresenta valores ascendentes da base para o topo do perfil, comportamento normalmente associado a aporte decorrente de atividade tecnogênica.

O FE que foi calculado para o As e Sb apresentou maior destaque para os índices calculados a partir da média crustal destes elementos (Figuras 6.18 e 6.19). Moraes (2013), não estabeleceu *backgrounds* de As e Sb para os solos de Suape. Tanto o As quanto o Sb apresentaram enriquecimento muito severo.

Com relação ao Igeo do As (Figura 6.18) não há valor de base estabelecido para Solos de Suape. A maioria dos índices calculados a partir da média de *shale* e estuários de Pernambuco apresentou valores negativos, ou seja, níveis basais. Houve destaque para os dados que foram calculados utilizando a média crustal para este elemento, devido aos índices mais elevados. A variação de índices do FE do As foi entre -1,95 a 3,06, nível basal e poluído a muito poluído.

O Sb não possui Igeo para os estuários de Pernambuco e Solos de Suape uma vez que não existe na literatura valores de base para este elemento. Já os valores calculados usando a média de *shale* apresentou índices negativos, enquanto os índices calculados com o valor médio da crosta apresentou valores negativos e positivos. No entanto índice mais elevado indicou um ambiente não poluído, 0,52 (Figura 6.19).

Figura 6.18: Gráfico do FE e Igeo do As do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



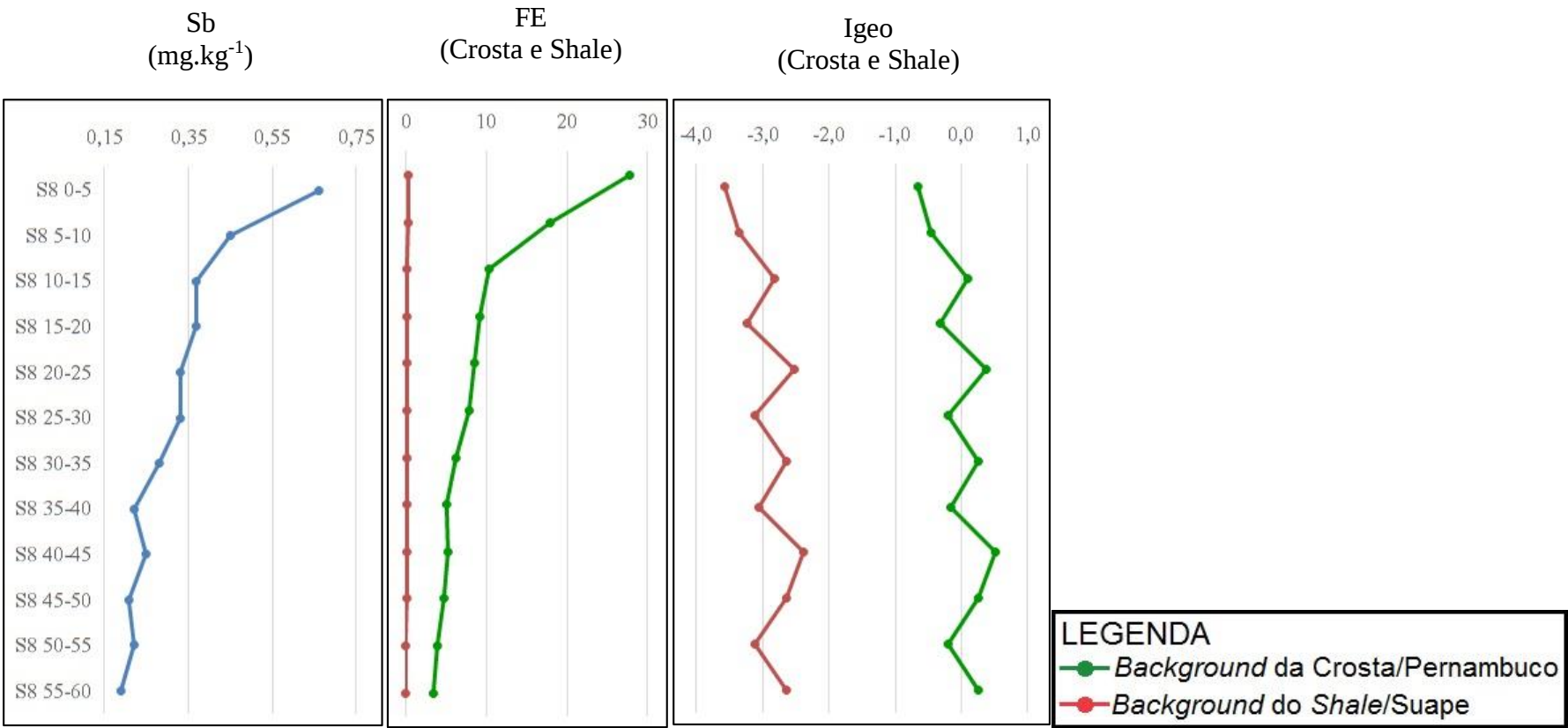
Padrões de Referencia			
ERL - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	8,2	FE – Enriquecimento Extremamente Severo	> 50
ERM - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	70	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo – Moderadamente a Poluído	2 a 3
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10	Igeo – Poluído a Muito poluído	3 a 4
FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25		

LEGENDA

● Background da Crosta/Pernambuco

● Background do Shale/Suape

Figura 6.19: Gráfico do FE e Igeo do Sb do Perfil S7 Testemunhado na baía de Suape áreas de influência do sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca - CIPS



Padrões de Referencia			
CETESB (2001)	25	FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10
FE – Não Enriquecido	≤ 1	FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo – Não Poluído	0 a 1

6.2 Análise Geoquímica (Matriz de Correlação - MC e Análise de Componentes Principais - ACP) do Perfil Testemunhado no ponto de amostragem S7

Na figura 6.20 é encontrada a matriz de correlação do perfil S7. Neste testemunho ocorrem as correlações dos tipos: Positivamente mediana ($0,6 \leq IC \leq 0,80$); Positivamente Fortes ($0,81 \leq IC \leq 1$). É importante ressaltar que neste perfil há a ocorrência de muitas correlações do tipo muito forte, demonstrando que os elementos químicos possuem grande afinidade entre si e possivelmente tenham a mesma proveniência, geogênica. Entre os elementos pode-se destacar o cobre, por não possuir nenhuma correlação relevante com nenhum dos 16 elementos analisados.

De igual forma como ocorreu com o perfil S6, também coletado na baía de Suape, os elementos químicos que estão presentes no perfil S7 apresentou correlações medianamente positivas tanto com o Al quanto com o Zr, fato que demonstra que estes elementos não estão diretamente associados aos sedimentos finos. Este fato pode ter relação com as obras de terraplanagem em que os sedimentos tendem a ficar em suspensão e ocorrer a mistura entre os sedimentos finos e grossos.

Nos gráficos do PCA foram expressas as CP1 e CP2 por apresentarem as maiores variância e consequentemente melhor representação da realidade, onde a soma das duas CPs é 85% da variância. As demais CPs foram desconsideradas devido à baixa representatividade.

O gráfico da PCA – *Loadings* (Figura 6.21) demonstra a afinidade geoquímica dos elementos encontrados no perfil S7. A divisão geoestatística realizada no gráfico *loadings* foi baseada na análise conjunta do MC e PCA. O *Loadings* é dividido em três grupos. O primeiro grupo é composto pelo Sr que possuem comportamento diferenciado dos demais, por se tratar de elemento de origem biogênica, fato que o separa em um grupo a parte dos demais elementos.

O segundo grupo possui apenas o cobre como componente, este elemento não possui afinidade com os demais.

O terceiro grupo é composto pelo As, Ag, Zn, Cr, Sb, Sc, Ni, Cd, Hg, Sn, Pb e Mo. Todos os elementos deste grupo são possuem correlações mediana e fortemente relevantes principalmente com Al e Zr.

É possível dividir as amostras do gráfico das *scores* em três grupos (Figura 6.22). Onde no grupo 1 é compostas pelas amostras das secções 50 – 55; 35 – 40; 25 – 30; 15 – 20; 5 -10; 0 – 5. As amostras deste grupo possui maior correlação com os elementos do grupo 2 do *loadings* (Cu), esta correlação é decorrente da falta de afinidade deste elemento em relação aos demais e estas amostras possuem menor concentração dos demais elementos que compõe os grupos três e quatro do gráfico dos *loadings*.

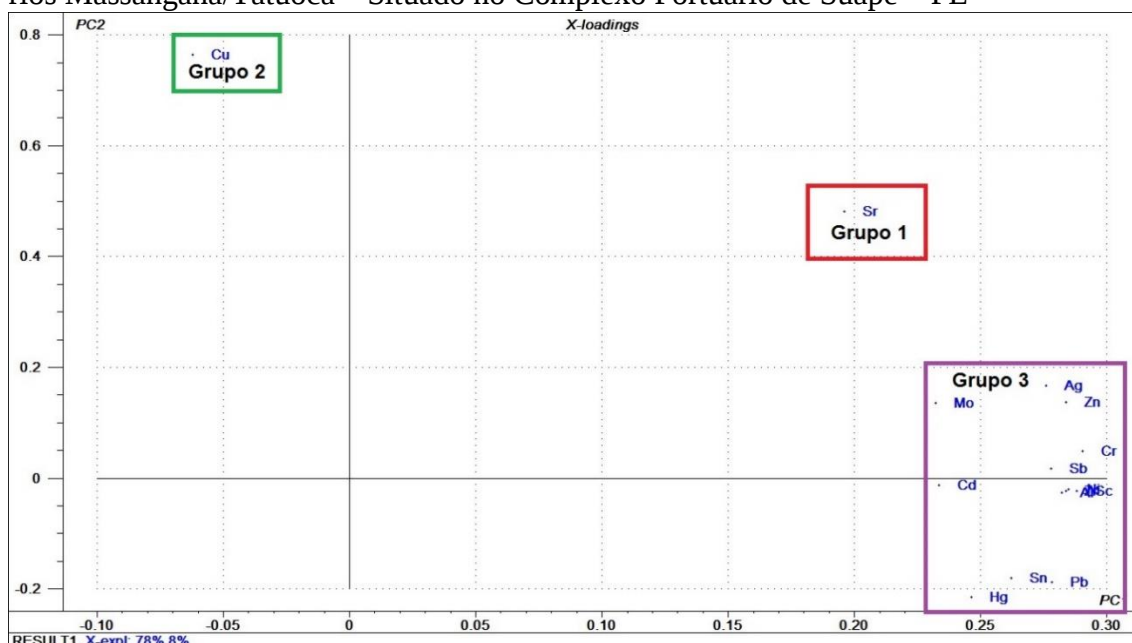
Figura 6.20: Matriz de Correlação do perfil S7, coletado no sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca – Situado no Complexo Portuário de Suape – PE

	Ag	Al	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Sc	Sn	Sr	Zn	Zr
Ag	1,00															
Al	0,91	1,00														
As	0,95	0,85	1,00													
Cd	0,66	0,69	0,55	1,00												
Cr	0,96	0,87	0,89	0,77	1,00											
Cu	-0,09	-0,20	-0,06	-0,16	-0,18	1,00										
Hg	0,77	0,85	0,77	0,62	0,81	-0,27	1,00									
Mo	0,82	0,65	0,78	0,65	0,80	-0,23	0,46	1,00								
Ni	0,91	0,96	0,84	0,72	0,97	-0,19	0,82	0,76	1,00							
Pb	0,86	0,88	0,78	0,69	0,95	-0,35	0,88	0,64	0,96	1,00						
Sb	0,95	0,89	0,91	0,69	0,95	-0,27	0,75	0,90	0,93	0,88	1,00					
Sc	0,91	0,97	0,81	0,80	0,98	-0,19	0,83	0,74	0,98	0,97	0,91	1,00				
Sn	0,75	0,89	0,61	0,84	0,87	-0,24	0,83	0,54	0,89	0,91	0,76	0,94	1,00			
Sr	0,76	0,66	0,77	0,51	0,72	0,13	0,41	0,63	0,61	0,54	0,66	0,62	0,43	1,00		
Zn	0,93	0,82	0,86	0,81	0,97	-0,01	0,81	0,77	0,95	0,89	0,91	0,97	0,88	0,65	1,00	
Zr	0,91	0,92	0,85	0,79	0,96	-0,21	0,83	0,81	0,94	0,92	0,93	0,96	0,86	0,58	0,96	1,00

Onde:

	$0,81 \leq IC \leq 1$ – Correlações Positivamente Forte
	$0,6 \leq IC < 0,8$ - Correlações Positivamente Mediana
	Destaque para as correlações com Al e Zr

Figura 6.21: Gráfico ACP – *Loadings* do perfil S7, coletado no sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca – Situado no Complexo Portuário de Suape – PE

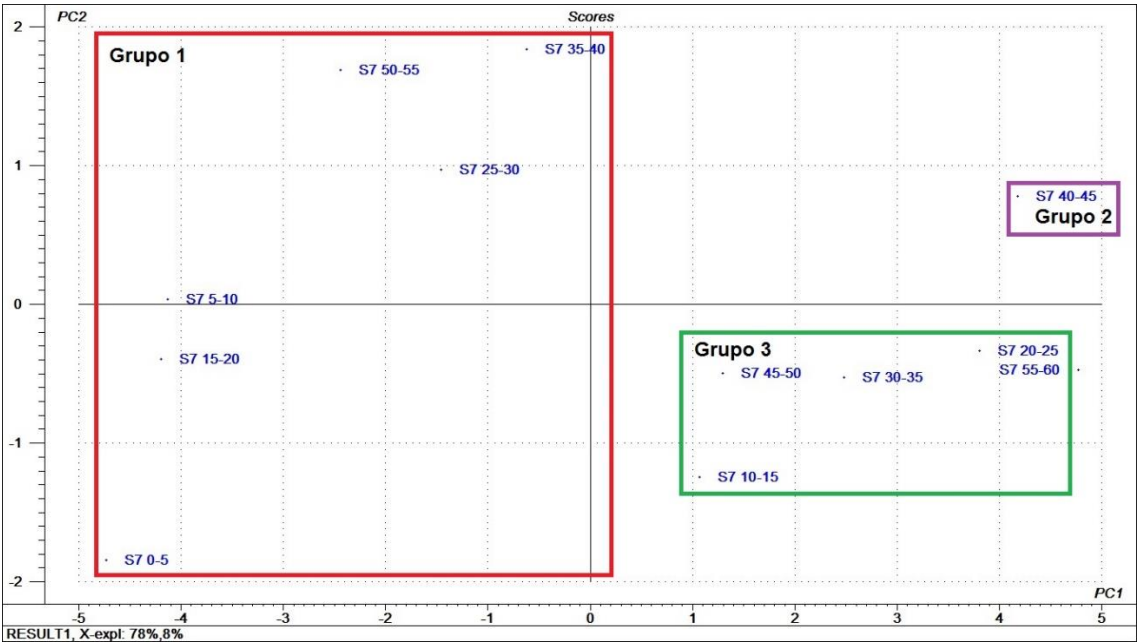


O segundo grupo possui apenas a amostra 40 – 45, esta amostra possui afinidade com os elementos do grupo três do *loadings* (As, Ag, Zn, Cr, Sb e Mo). Ao observar os gráficos univariados dos elementos deste grupo é possível notar que de forma geral eles possuem comportamento irregular (Figuras 5.1, 4.26 e 4.28). A seção 40 – 45 é uma das seções que apresenta aumento na concentração dos elementos. Devido a variância o As, Ag, Zn, Cr, Sb e Mo possuem afinidade com esta seção, este fato faz com que estes elementos sejam agrupados no grupo dois do gráfico do *loadings*.

O terceiro grupo é composto pelas amostras: 55 – 60; 45 – 50; 40 – 45; 30 – 35; 20 – 25; 10 – 15 que possuem correlação com os elementos químicos do grupo 4 do *loadings* (Sc, Ni, Cd, Hg, Sn e Pb). Ao observar o comportamento das amostras e do elemento químico a que corresponde, é possível notar que estas amostras são as que possuem certo incremento em sua concentração dos elementos correspondentes.

Vale salientar que o Sr, elemento do primeiro grupo de elemento do *loadings* (Figura 6.21), não possui um grupo de amostra correspondente no gráfico das *Scores* (Figura 6.22), provavelmente por se tratar de um elemento de comportamento diferenciado, devido a sua proveniência biogênica. Este elemento possui correlação com as amostras mais basais, enquanto os demais apresentam comportamento difuso, este fato fez com que o Sr possuísse baixa variância a ponto de não possuir peso estatístico para delimitar um grupo de amostras de sua influência.

Figura 6.22: Gráfico ACP – Scores do perfil S7, coletado no sistema estuarino dos rios Massangana/Tatuoca – Situado no Complexo Portuário de Suape – PE.



Capítulo VII:
Avaliação geoquímica dos
sedimentos Antropoceno do
Complexo Estuarino do rio
Itapessoca (Complexo Industrial de
Goiana)

7.1 AVALIAÇÃO GERAL DOS DADOS GEOQUÍMICOS DO ESTUÁRIO DO RIO ITAPESSOCA

O Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca (SEI) é composta por dois rios principais: rio Itapessoca, localizado no Canal Oeste (#CO), e rio Catuama, situado no Canal Leste (#CL). Além dos afluentes do rio Itapessoca, que desaguam no SEI. Os pontos de amostragem I1 e I3 estão localizadas no #CL, já I2 localiza-se no rio Seri Pequeno, afluente do rio Itapessoca e os pontos de amostragem I4 e I5 estão localizados no #CO do SEI.

Assim como na apresentação dos resultados obtidos a partir dos estudos realizados no CIPS, neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados de análises geoquímicas realizados nas secções de quatro perfis sedimentais coletados no estuário do rio Itapessoca (I2, I3, I4 e I5).

Na Tabela 7.1 encontra-se os dados geoquímicos obtidos a partir das análises realizadas nas secções dos perfis do estuário do rio Itapessoca. Estes dados foram trabalhados estatisticamente através da análise da Matriz de Correlação – MC (Figura 7.1) que avalia estatisticamente a correlação entre pares de elementos químicos.

Os dados também foram submetidos à análise estatística multivariada, Análise de Componentes Principais – ACP. Na Figura 7.2 está expresso o gráfico do ACP das *Loadings* que indica as associações geoquímicas que ocorrem nos perfis coletados. Já a Figura 7.3 indica o comportamento das amostras de acordo com a variância na concentração dos elementos químicos.

Tabela 7.1: Concentração dos elementos químicos em perfil do rio Itapessoca – PE (Complexo Industrial de Goiana)

	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	Ga	Hg	In	K	La	Li	Lu	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Rb	S	Sb	
	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	Ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	p
I2 0-5	0,41	1,29	9	35	0,7	0,1	4,09	0,13	37,98	2,5	40	1,07	9,6	1,99	5,5	0,86	0,03	0,25	17,2	19	0,12	0,78	83	2,48	2,23	0,025	9,5	567	14,1	13	1,67	0,18	
I2 5-10	0,35	1,22	11	30	0,8	0,09	2,6	0,15	39,11	2,6	42	1,08	12,2	2,03	5,3	1,18	0,03	0,23	17,9	19	0,12	0,69	97	3,89	2,19	0,025	9,3	514	14,9	13,7	2,01	0,23	
I2 10-15	0,34	0,92	9	26	0,7	0,11	2,81	0,14	31,56	2,1	33	0,87	10,6	1,75	4	1,01	0,03	0,19	14,2	15	0,1	0,61	75	3,05	1,68	0,025	7,7	402	11,8	10,7	1,75	1,22	
I2 15-20	0,27	0,66	10	16	0,5	0,05	2,41	0,13	25,1	1,8	27	0,67	7,1	1,55	2,9	1,09	0,01	0,14	11,3	11	0,08	0,48	69	3,4	1,24	0,025	6,2	342	9,4	8,3	1,81	0,49	
I2 20-25	0,37	0,84	12	22	0,7	0,07	2,58	0,15	32,47	2,3	33	0,84	8,3	1,86	3,7	1,64	0,02	0,17	14,6	13	0,11	0,52	84	3,96	1,31	0,025	7,8	373	12	10,8	2,1	0,43	
I2 25-30	0,005	0,98	11	26	0,7	0,07	2,44	0,15	30,14	2,1	33	1,04	9,2	1,87	3,7	0,8	0,03	0,19	13,3	17	0,11	0,53	75	2,57	1,16	0,025	6,9	320	11,2	10,6	2,07	0,29	
I2 30-35	0,21	0,77	9	20	0,6	0,28	2,52	0,16	32,82	1,8	26	0,79	7,8	1,53	3,3	0,4	0,11	0,16	14,9	13	0,17	0,46	104	2,53	0,93	0,52	6,7	195	9,2	11,6	1,74	3,21	
I2 35-40	0,13	0,51	10	13	0,5	0,1	2,79	0,09	27,39	1,2	19	0,54	6,7	1,22	2,3	0,12	0,02	0,11	12,1	9	0,08	0,36	85	3,48	0,82	0,025	5,3	162	7	7,9	1,42	0,75	
I2 40-45	0,24	0,5	12	12	0,5	0,08	2,61	0,13	28,92	1,2	22	0,51	6,7	1,53	2,2	0,08	0,01	0,12	12,1	9	0,09	0,41	85	9,11	1,14	0,025	6,3	134	6,8	7,4	1,93	0,54	
I2 45-50	0,18	0,46	10	11	0,5	0,06	2,69	0,12	26,9	1,2	22	0,48	7,7	1,33	2	0,09	0,01	0,12	11,7	9	0,1	0,38	77	11,51	1,19	0,025	6,1	110	5,7	7	1,92	0,42	
I2 50-55	0,005	0,36	6	9	0,4	0,04	2,61	0,09	21,74	0,9	17	0,38	10,5	0,98	1,5	0,04	0,01	0,09	8,9	7	0,07	0,31	69	10,93	1,02	0,025	5	111	4,3	5,2	1,46	0,33	
I2 55-60	0,005	0,28	4	6	0,3	0,04	2,53	0,07	16,73	0,7	13	0,3	5,2	0,64	1,1	0,03	0,01	0,07	6,7	5	0,05	0,22	59	7,41	0,81	0,025	3,7	66	3,1	3,8	0,99	0,27	
Média I2	0,21	0,73	9,17	18,50	0,57	0,09	2,71	0,12	29,03	1,68	27,08	0,70	8,42	1,52	3,08	0,61	0,03	0,15	12,83	11,83	0,10	0,48	78,92	5,35	1,31	0,07	6,70	267,25	9,04	9,18	1,73	0,69	2
DP I2	0,15	0,32	2,33	8,89	0,14	0,06	0,46	0,03	6,35	0,63	9,01	0,26	1,99	0,42	1,38	0,55	0,03	0,05	3,19	4,39	0,03	0,16	13,63	3,42	0,48	0,14	1,69	168,06	3,76	3,06	0,31	0,84	0
I3 0-5	0,22	0,76	9	18	0,6	0,09	0,55	0,12	34,41	1,8	24	0,66	8,2	1,6	3,7	0,72	0,01	0,18	15,2	12	0,13	0,51	111	2,49	1,58	0,53	6,5	384	9,9	10,7	1,38	0,22	
I3 5-10	0,48	0,89	12	25	0,9	0,11	0,83	0,22	41,08	2,3	32	0,74	10,7	2,13	4,3	1,32	0,03	0,22	18,4	15	0,13	0,61	146	3,98	1,86	0,25	8,8	438	13,2	13,5	2,04	0,27	
I3 10-15	0,43	0,92	12	21	0,8	0,12	0,58	0,23	39,29	2,4	34	0,65	11,2	2,11	4,3	1,33	0,03	0,22	17,6	15	0,12	0,58	136	3,46	1,7	0,43	8,7	442	13,2	13,3	1,94	0,24	
I3 15-20	0,39	0,99	13	24	0,8	0,1	0,76	0,21	40,52	2,5	35	0,79	10,1	2,17	4,6	1,29	0,03	0,21	18,4	16	0,13	0,57	152	5,36	1,63	0,32	8,9	432	13	14,1	2,02	0,26	
I3 20-25	0,35	0,8	12	21	0,6	0,1	0,57	0,17	38,61	1,9	31	0,72	9,1	1,93	3,7	0,73	0,03	0,18	17,3	14	0,11	0,48	133	4,81	1,46	0,38	7,6	297	11	12,2	1,85	0,23	
I3 25-30	0,35	0,62	14	15	0,6	0,08	0,57	0,17	35,09	1,5	27	0,62	13,7	1,87	2,8	0,2	0,02	0,16	15	11	0,11	0,45	100	4,98	1,49	0,28	6,7	209	9,1	9,7	2,07	0,24	
I3 30-35	0,29	0,64	11	15	0,6	0,08	0,54	0,16	30,85	1,4	27	0,59	13,4	1,72	2,8	0,27	0,01	0,16	13,8	11	0,11	0,45	96	3,95	1,59	0,21	6,3	258	8,5	9,2	1,81	0,19	
I3 35-40	0,37	1,01	9	23	0,7	0,11	0,74	0,19	38,89	2	30	0,78	10,9	1,81	4,5	0,76	0,03	0,22	17,5	17	0,16	0,61	121	1,93	2,05	0,08	7,7	506	12,2	12,6	1,44	0,17	
I3 40-45	0,59	0,99	13	23	0,9	0,1	0,7	0,22	42,66	2,4	32	0,79	11	2,2	4,7	1,1	0,03	0,23	18,7	16	0,14	0,61	156	5,11	2,03	0,24	8,8	434	13,9	14,1	2,07	0,22	
I3 45-50	0,59	0,98	13	25	0,9	0,11	1,21	0,25	43,36	2,5	34	0,76	12,2	2,25	4,6	1,1	0,03	0,23	19,2	16	0,13	0,59	160	3,74	1,71	0,23	9,5	420	13,7	15,1	2,25	0,2	
I3 50-55	0,25	0,46	8	11	0,4	0,07	0,31	0,13	27	1	22	0,48	9,3	1,54	1,8	0,14	0,01	0,14	11,9	9	0,08	0,38	88	3,08	1,2	0,22	4,9	193	6,9	7,2	1,75	0,14	
I3 55-60	0,005	0,24	5	6	0,3	0,03	0,28	0,07	21,34	0,5	12	0,28	40,7	0,73	1	0,05	0,01	0,07	8,3	5	0,05	0,2	59	1,79	0,7	0,18	2,7	109	3,4	3,8	1	0,12	
I3 60-65	0,26	0,99	8	26	0,8	0,1	0,61	0,13	37,68	2,1	26	0,8	11,1	1,58	4,8	0,65	0,02	0,21	17,1	16	0,16	0,52	128	1,9	1,95	0,2	7,5	440	11,8	12,5	1,35	0,14	
Média I3	0,35	0,79	10,69	19,46	0,68	0,09	0,63	0,17	36,21	1,87	28,15	0,67	13,20	1,82	3,66	0,74	0,02	0,19	16,03	13,31	0,12	0,50	122,00	3,58	1,61	0,27	7,28	350,92	10,75	11,38	1,77	0,20	2
DP I3	0,16	0,24	2,66	6,12	0,19	0,02	0,23	0,05	6,45	0,62	6,32	0,15	8,41	0,41	1,21	0,47	0,01	0,05	3,15	3,52	0,03	0,12	30,05	1,27	0,37	0,12	1,89	123,27	3,11	3,20	0,37	0,05	0
I4 0-5	0,005	0,5	4	14	0,3	0,05	7,35	0,04	24,55	1,1	13	0,46	3	0,67	2,1	0,19	0,01	0,1	10,9	8	0,06	0,87	91	0,95	0,56	0,025	4,5	256	5,6	5	0,45	0,09	
I4 5-10	0,005	0,52	5	12	0,3	0,05	5,1	0,06	20,1	1,1	15	0,45	3,7	0,82	2	0,29	0,01	0,11	9,1	9	0,05	0,69	109	2,16	0,91	0,025	4,3	182	5,3	5,8	0,76	0,1	
I4 10-15	0,005	0,43	5	10	0,4	0,05	3,7	0,07	23,45	1,2	12	0,48	4,5	0,74	2	0,38	0,01	0,09	10,8	7	0,06	0,6	106	2,5	0,76	0,025	4,4	169	5,4	6,4	0,66	0,12	
I4 15-20	0,005	0,4	5	9	0,3	0,07	2,72	0,08	27,18	1,1	13	0,47	4,4	0,72	1,9	0,23	0,01	0,09	12	7	0,07	0,51	86	4,2	0,71	0,025	4,4	110	5,6	6,6	0,67	0,16	
I4 20-25	0,02	0,46	7	13	0,5	0,07	0,64	0,1	34,46	1,5	21	0,46	6,8	1,09	2,2	0,16	0,01	0,13	14,1	8	0,09	0,37	86	6,02	1,05	0,1	5,8	134	7	8,1	1,28	0,22	
I4 25-30	0,1	0,44	8	14	0,7	0,16	0,32	0,12	39,74	1,6	25	0,44	7,2	1,34	2,3	0,11	0,03	0,15	15,8	7	0,11	0,43	90	6,53	1,3	1,35	6,6	162	7,5	8,1	1,64	1,84	
I4 30-35	0,21	0,57	11	19	0,7	0,1	0,75	0,13	47,52	2,2	28	0,55	7,5	1,54	3	0,1	0,03	0,17	19,7	10	0,14	0,5	102	8,82	1,35	0,43	8,6	199	9,6	11	1,76	0,83	
I4 35-40	0,2	0,64	10	19	0,9	0,09	0,9	0,15	48	2,1	29	0,56	8,1	1,54	3	0,09	0,03	0,17	19,6	10	0,14	0,52	106	8,94	1,39	0,23	8,3	186	9,6	10,4	1,84	0,59	
I4 40-45	0,24	0,63	11	21	0,8	0,07	1,04	0,15	46,52	2,1	30	0,52	7,8	1,61	3,2	0,08	0,02	0,18	19,1	10	0,13	0,56	107	11,77	1,62	0,12	8,9	183	9,8	10	1,92	0,52	
I4 45-50	0,01	0,44	6	16	0,5	0,06	2,21	0,11	35,13	1,2	18	0,38	3,7	1,02	1,9	0,02	0,01	0,11	14,4	6	0,09	0,41	81	2,68	0,9	0,025	5,4	170	6,3	6,3	1,15	0,24	
I4 50-55	0,005	0,43	7	16	0,5	0,06	3,19	0,13	38,78	1,3	17	0,41	4	0,98	1,9	0,03	0,01	0,11	15,3	7	0,1	0,46	83	2,91	0,81	0,03	5,9	146	6,8	6,6	1,11	0,23	
I4 55-60	0,005	0,49	7	18	0,5	0,07	3,89	0,1	38,22	1,3	20	0,44	3,8	1,08	2	0,04	0,01	0,12	15,2	8	0,1	0,54	95	2,82	0,9	0,							

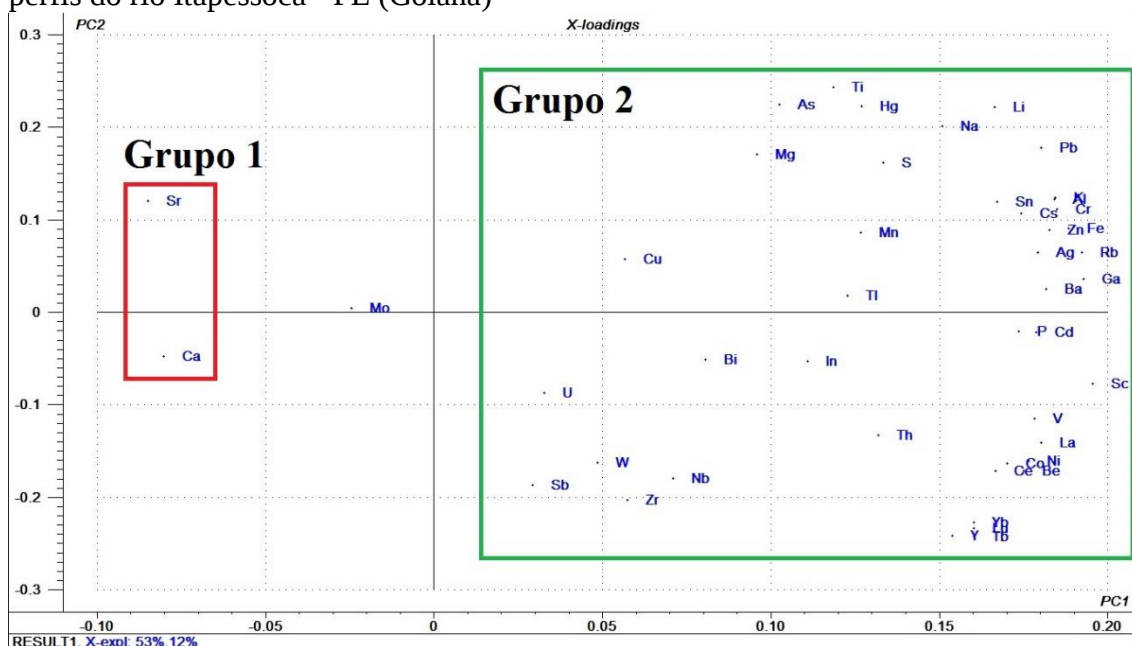
Figura 7.1: Gráficos da Matriz de Correlação do rio Itapessoca (Complexo Industrial de Goiana) – Todos os Perfis

[illegible]

A MC (Figura 7.1) apresenta apenas correlações dos tipos Positivamente Medianas ($0,6 \leq IC \leq 0,8$) e Positivamente Fortes ($0,81 \leq IC \leq 1$). Os resultados da MC serão avaliados em conjunto com o ACP com a finalidade de se ter um maior entendimento da dinâmica ambiental que ocorre no estuário rio Itapessoca.

A partir do Gráfico dos *Loadings* (Figura 7.2), do ACP e tomando como base a MC, é possível dividir os elementos químicos em dois grupos. O primeiro grupo é composto pelo Sr e Ca. Já o segundo grupo é integrado pelos demais elementos analisados (Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Hg, In, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Sn, Tb, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr).

Figura 7.2: Análise dos Componentes Principais – Gráfico dos *Loadings* de todos os perfis do rio Itapessoca - PE (Goiana)



O primeiro grupo é formado por elementos químicos de provável origem marinha, Ca e Sr, e com correlação positivamente forte (0,84). Vale salientar que estes dois elementos não possui correlação relevante com nenhum outro elemento químico avaliado. O Mo não foi incorporado ao primeiro grupo por não possuir correlação relevante com o Ca e Sr. É possível notar que o Molibdênio apresenta apenas correlação com o Urânio (0,88). Com a maioria dos elementos o Mo apresenta correlações negativas de baixa relevância.

De acordo com Alfonso (2006), correlação forte entre o cálcio e estrôncio é indicativa de precipitação de carbonato ou forte influência marinha. No caso do estuário

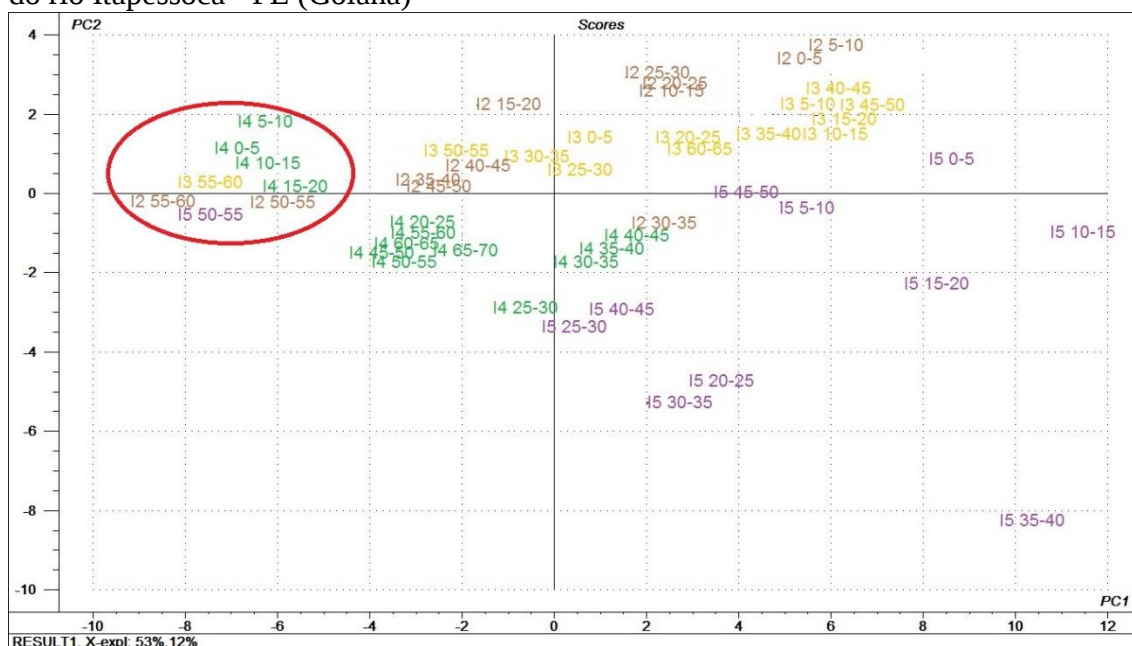
do rio Itapessoca, estes dois fatos são notórios. Por se tratar de um estuário há influência marinha e geologicamente o estuário do rio Itapessoca está inserido na bacia sedimentar Paraíba (Souza 1998; Barbosa 2004; Barbosa *et al.*, 2003), que possui a formação Gramame e Maria Farinha compostas por calcários (Barbosa *et al.*, 2006; Almeida 2000; Oliveira 1978).

Uma das atividades econômicas realizadas na área é a extração de calcário para a produção de cimento, por uma empresa de grande porte, devido à grande quantidade de calcário na área.

O segundo grupo é composto pelos demais elementos químicos (Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Hg, In, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Sn, Tb, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr).

Os gráficos das *Scores* do ACP (Figura 7.3) demonstram duas características, que juntas tornam a geoquímica deste estuário bastante peculiar. A primeira é a existência de agrupamentos entre amostras de um mesmo perfil, demonstrando que embora todos os testemunhos sejam de um mesmo estuário apresentam singularidades, fato que sugere o estudo individual de cada perfil.

Figura 7.3: Análise dos Componentes Principais – Gráfico dos *Scores* de todos os perfis do rio Itapessoca - PE (Goiana)



A segunda característica importante é a existência de um grupo de amostra (I2 50-55, I2 55-60, I3 55-60, I4 0-5, I4 5-10, I4 10-15, I4 15-20 e I5 50-55) que possui maior afinidade geoquímica com as espécies químicas do Grupo 1 da Figura 7.2 (Ca e Sr).

Como não foi realizada a geocronologia dos testemunhos coletados no rio Itapessoca e não foi encontrada na literatura nenhuma referência para este estuário, será adotado a taxa de sedimentação linear como sendo aproximadamente 3,0 mm/ano, descrita para vários estuários da costa leste brasileira (Marins *et al.*, 2004) e próximos a áreas de estudo, como é o caso dos estuários dos rios Botafogo e Goiana (Lima 2008; Souza 2013), desta forma espera-se que em média a cada 16,7 anos sejam depositados 5 cm de sedimentos estuarinos. A Tabela 7.2 mostra a possível idade de cada seção dos perfis.

Tabela 7.2: A possível idade de cada seção dos perfis I2, I3, I4 e I5 (Marins *et al.*, 2004; Lima 2008; Souza 2013)

Seção (cm)*	Intervalo de Idade
0 – 5	1993- 2010
5 – 10	1976 - 1993
10 – 15	1959- 1976
15 – 20	1943 - 1959
20 – 25	1926 - 1943
25 – 30	1909 - 1926
30 – 35	1893 - 1909
35 – 40	1876 - 1893
40 – 45	1859 - 1876
45 – 50	1843 – 1859
50 – 55	1826 - 1843
55 – 60	1809 - 1826
60 - 65	1792 - 1809
65 – 70	1776 – 1792

* Tamanho dos Perfis coletados no rio Itapessoca – Goiana: I2 – 60 cm; I3 – 65 cm; I4 – 70 cm; I5 – 55 cm.

Devido ao grande número de amostras e consequentemente de dados obtidos do SEI e após a realização da análise preliminar da ACP foi realizado uma seleção de amostras e dados a serem explorados com maior grau de detalhe. Desta forma o presente estudo irá realizar a discussão detalhada dos dados dos perfis I2 e I3.

Para a caracterização detalhada dos perfis testemunhados no rio Itapessoca foram escolhidos treze metais pesados, intrinsecamente tóxicos, de maior destaque geoquímico (Ag, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr e Zn). Além destes, foi incluído o Arsênio,

elemento é altamente toxico. Na Tabela 7.1, estão expresso na cor verde as concentração dos elementos destacados para o presente estudo.

A partir da concentração bruta destes MPs foram elaborados gráficos univariados, calculado o Fator de Enriquecimento (FE), Índice de Geoacumulação (Igeo) e análises estatísticas (Matriz de Correlação - MC e Analise de componentes Principais - ACP).

Capítulo VIII:
Avaliação geoquímica dos
sedimentos sobre influência da ação
antrópica, testemunhado no ponto de
amostragem I2, estuário do rio
Itapessoca – Complexo Industrial de
Goiana

8.1 Caracterização e Discussão Geoquímica do Perfil I2

A partir dos dados geoquímicos foram calculados o Fator de Enriquecimento – FE, o Índice de Geoacumulação – Igeo e elaborados gráficos univariados a partir dos dados brutos, e dos índices de FE e Igeo.

Com base no comportamento da concentração dos elementos químicos foi possível agrupar os elementos químicos em quatro grupos:

1º Grupo – Ag, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sn, Sr e Zn

2º Grupo – Hg

3º Grupo – Mo

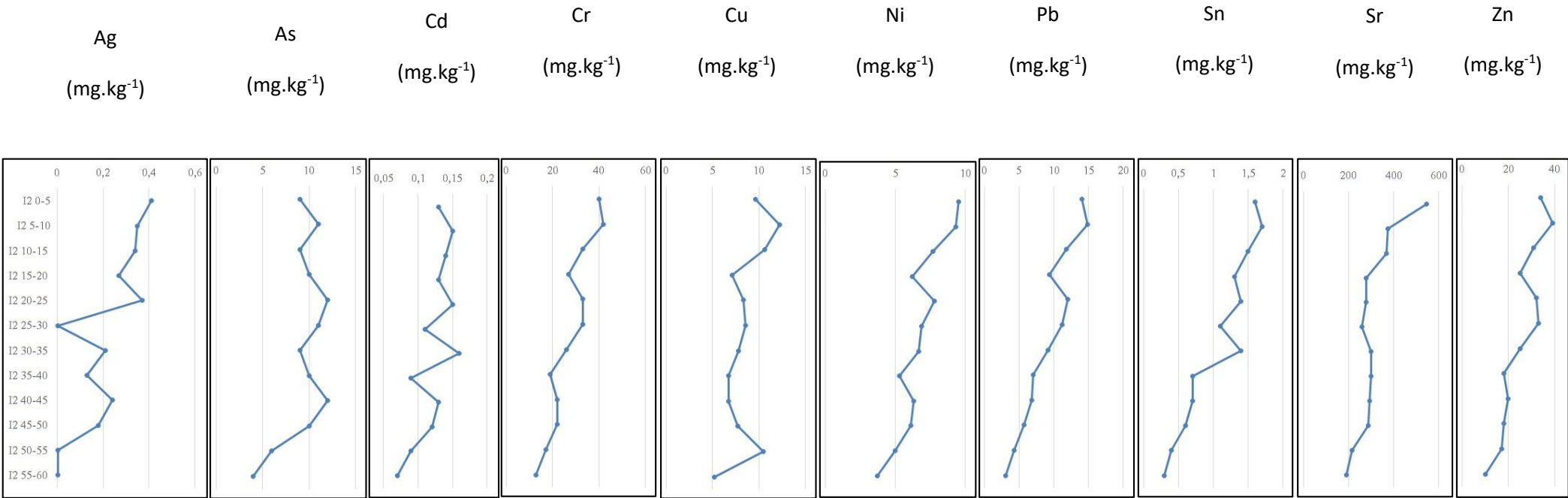
4º Grupo – Sb e Sc

Os elementos do primeiro grupo (Figura 8.1) são de provável origem geogênica. Embora o Arsênio apresente amostras com concentração entre o ERL e ERM, estabelecido pela USEPA (1998), e apresenta concentração ascendente da base para o topo do perfil. O Sn e o Sr não apresentam parâmetros estabelecidos pela USEPA (1998) e CETESB (2001). Ag, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn não apresentaram anomalias geoquímicas, tomando como base os limiares estabelecidos pela USEPA (1998) e CETESB (2001).

Cada elemento geoquímico será discutido de forma individual, por apresentar peculiaridades. No caso dos elementos do primeiro grupo não serão discutidos os dados do Cobre, Níquel e Chumbo, por apresentarem baixa concentração nas amostras, além dos baixos índices de FE e Igeo. No entanto, os referentes gráficos serão inseridos nos anexos (ANEXO VIII.I, VIII.II e VIII.III, respectivamente).

Entre os elementos do primeiro grupo, o Arsênio é o que apresenta maiores anomalias geoquímicas (Figura 8.3), uma vez que em seus dados brutos há amostras acima do ERL, estabelecido pela USEPA (1998). O FE apresentou enriquecimento muito severo para os dados normalizados com a média da crosta estabelecida por Li (2000).

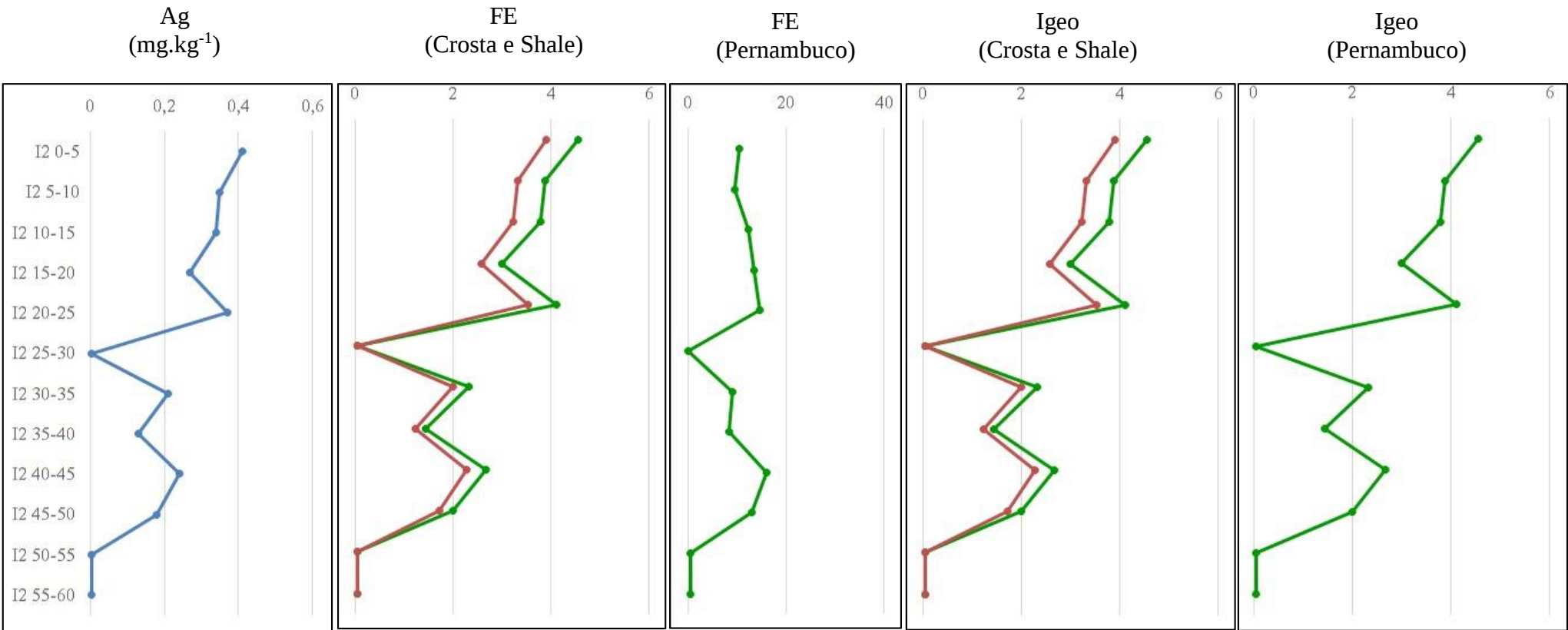
Figura 8.1: Gráficos univariados das concentrações de Ag, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sn, Sr e Zn nas amostras de sedimentos do Testemunho I2, Coletado no estuário do rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana



METAL PESADO	ERL (mg.kg ⁻¹)	ERM(mg.kg ⁻¹)
<i>Prata (Ag)*</i>	1	3,7
<i>Arsênio (As)*</i>	8,2	70
<i>Cádmio (Cd)*</i>	1,2	9,6
<i>Cromo (Cr)*</i>	81	370
<i>Cobre (Cu)*</i>	34	270
<i>Níquel (Ni)*</i>	21	52
<i>Chumbo (Pb)*</i>	47	220
<i>Estanho (Sn)</i>	-	-
<i>Estrôncio (Sr)</i>	-	-
<i>Zinco (Zn)*</i>	150	410

*USEPA (1998)

Figura 8.2: Gráfico do FE e Igeo da Ag do Perfil I2 Testemunhado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana



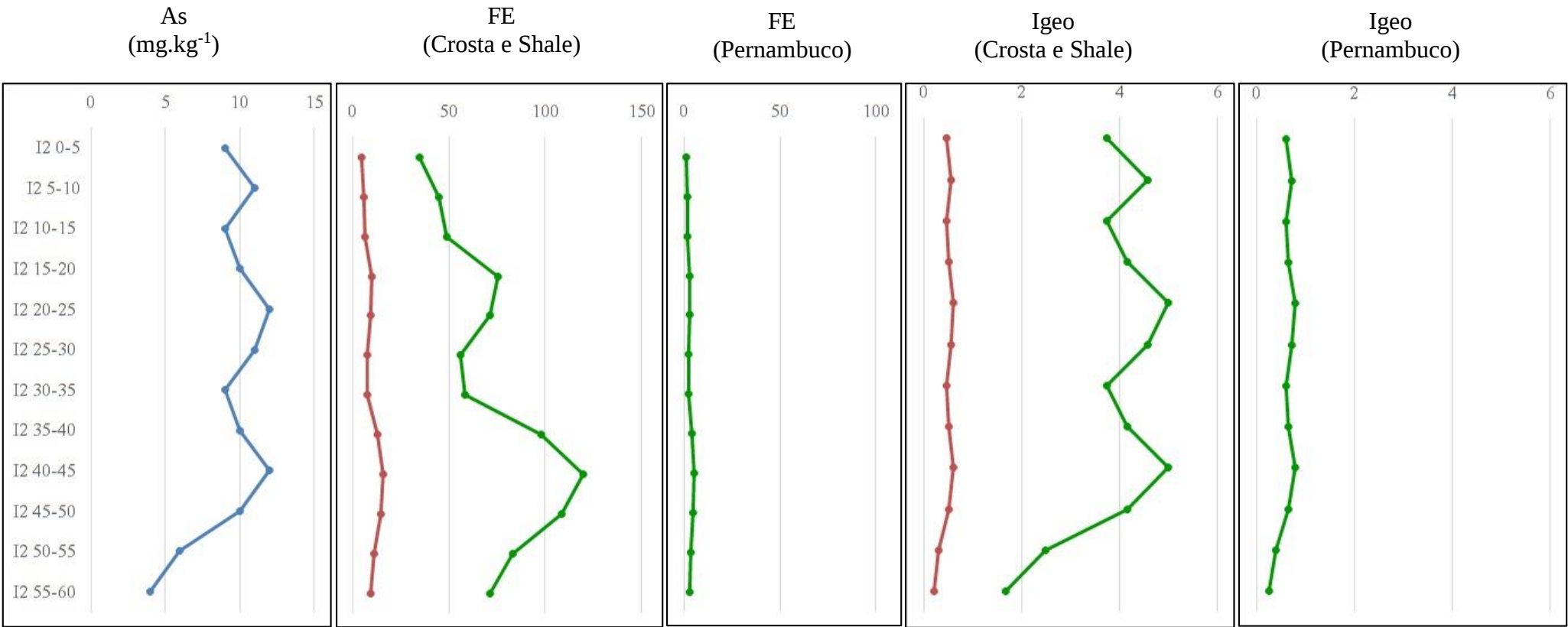
Padrões de Referencia			
ERL - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	1,0	Igeo – Nível Basal	< 0
ERM - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	3.7	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo – Moderadamente a Poluído	2 a 3
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo – Poluído a Muito poluído	3 a 4
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10	Igeo – Muito Poluído	4 a 5
FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25		

LEGENDA

Background da Crosta/Pernambuco

Background do Shale

Figura 8.3: Gráfico do FE e Igeo do As do Perfil I2 Testemunhado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana



Padrões de Referencia			
ERL - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	8,2	Igeo – Nível Basal	< 0
ERM - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	70	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo – Moderadamente a Poluído	2 a 3
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo – Poluído a Muito poluído	3 a 4
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10	Igeo – Muito Poluído	4 a 5
FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25	Igeo - Altamente Poluído	> 5
FE – Enriquecimento Muito Severo	> 25 a 50		
FE – Enriquecimento Extremamente Severo	> 50		

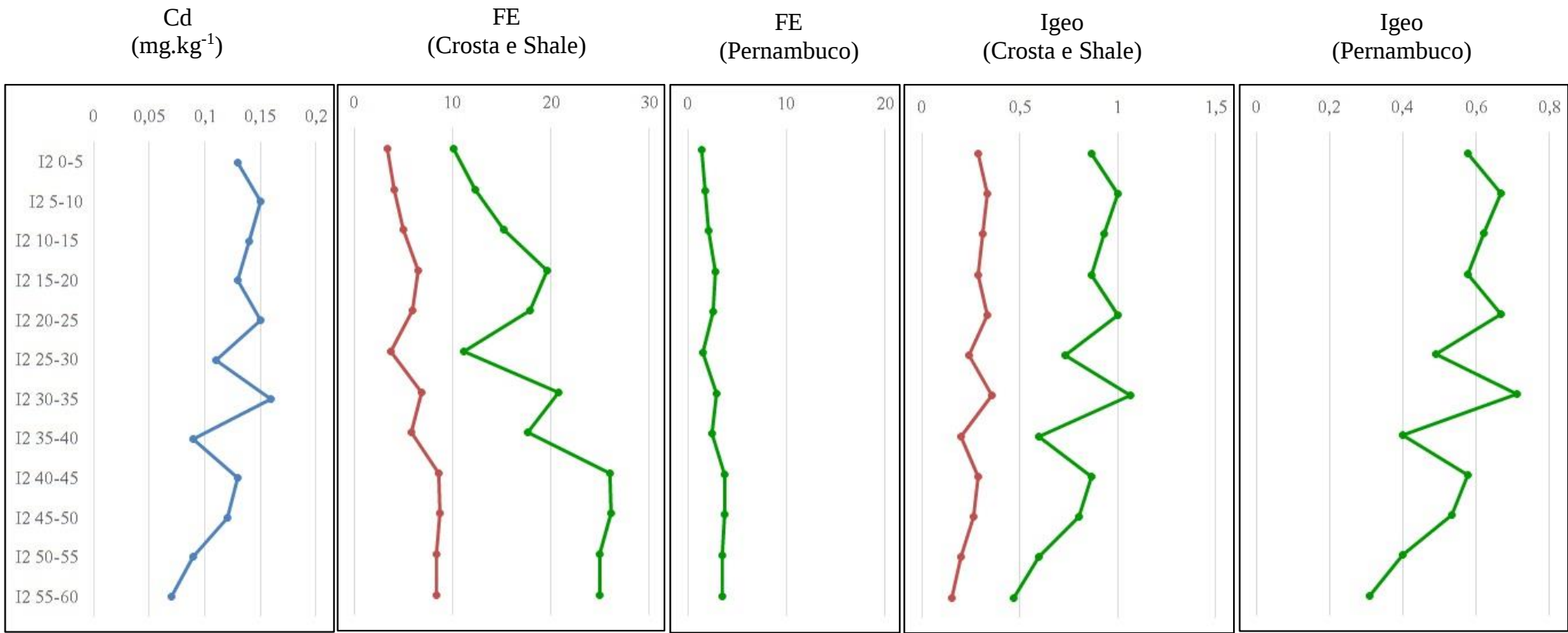
LEGENDA

Background da Crosta/Pernambuco

Background do Shale

O FE do cádmio apresentou maiores valores para os dados normalizados pela média estabelecida para a crosta (Li, 2000), chegando a ter amostras com enriquecimento moderadamente severo (Figura 8.4).

Figura 8.4: Gráfico do FE e Igeo do Cd do Perfil I2 Testemunhado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana



Padrões de Referencia			
ERL - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	1,2	FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25
ERM - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	9,6	FE – Enriquecimento Muito Severo	> 25 a 50
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10		

LEGENDA

Background da Crosta/Pernambuco

Background do Shale

Entre os valores de referência utilizados para normalizar o Cr, o que apresentou maiores índices de FE foi o calculado usando o valor da média da crosta, que apresentou enriquecimento moderadamente severo (Figura 8.5)

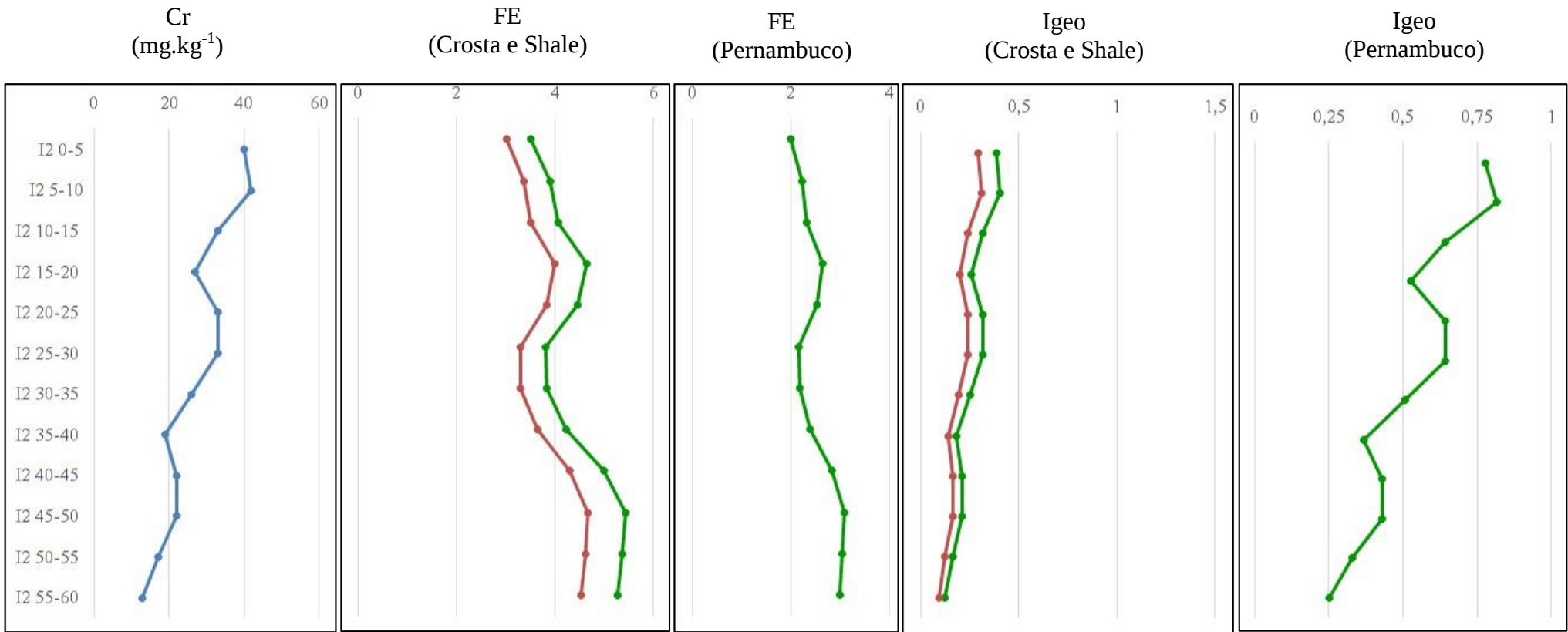
Para este Sn o parâmetro que apresentou maior destaque foi a média estabelecida para o *Shale* por apresentar maiores índices de FE e Igeo, enriquecimento moderadamente severo e não poluído respectivamente (Figura 8.6).

O Sr é um dos elementos que merece maior ênfase (Figura 8.7), para este elemento não há estabelecido parâmetros de qualidade pela USEPA (1998) e CETESB (2001), no entanto foi o elemento que apresentou maior concentração no sedimento e nos índices de FE. No entanto este elemento não tem causado danos à biota local, pois se trata de um elemento geoquímicos de baixa toxicidade intrínseca e de proveniência natural (origem marinha).

O FE do zinco indica enriquecimento moderadamente severo e Igeo moderadamente poluído para os dados normalizados pela média da crosta (Figura 8.8).

Embora a maioria dos elementos geoquímicos deste grupo (grupo 1) apresente anomalias quanto ao FE e Igeo, o elemento que realmente necessita de cuidados especiais por partes dos órgãos de vigilância ambiental é o arsênio, pois apresenta, em alguns níveis do perfil, concentração acima do ERL e os dados do FE e Igeo apresentam anomalias.

Figura 8.5: Gráfico do FE e Igeo do Cr do Perfil I2 Testemunhado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana



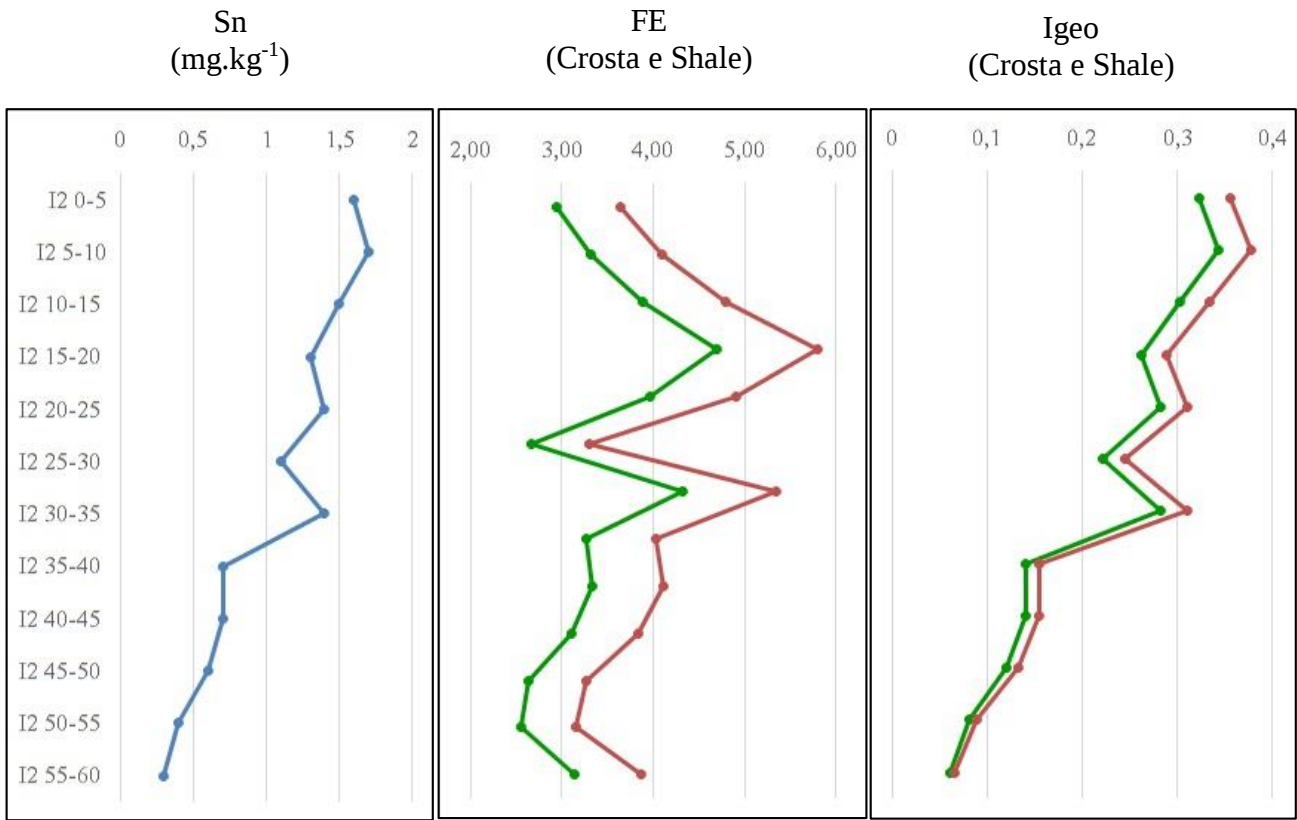
Padrões de Referência			
ERL - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	81	FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10
ERM - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	370	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5		

LEGENDA

Background da Crosta/Pernambuco

Background do Shale

Figura 8.6: Gráfico do FE e Igeo do Sn do Perfil I2 Testemunhado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana



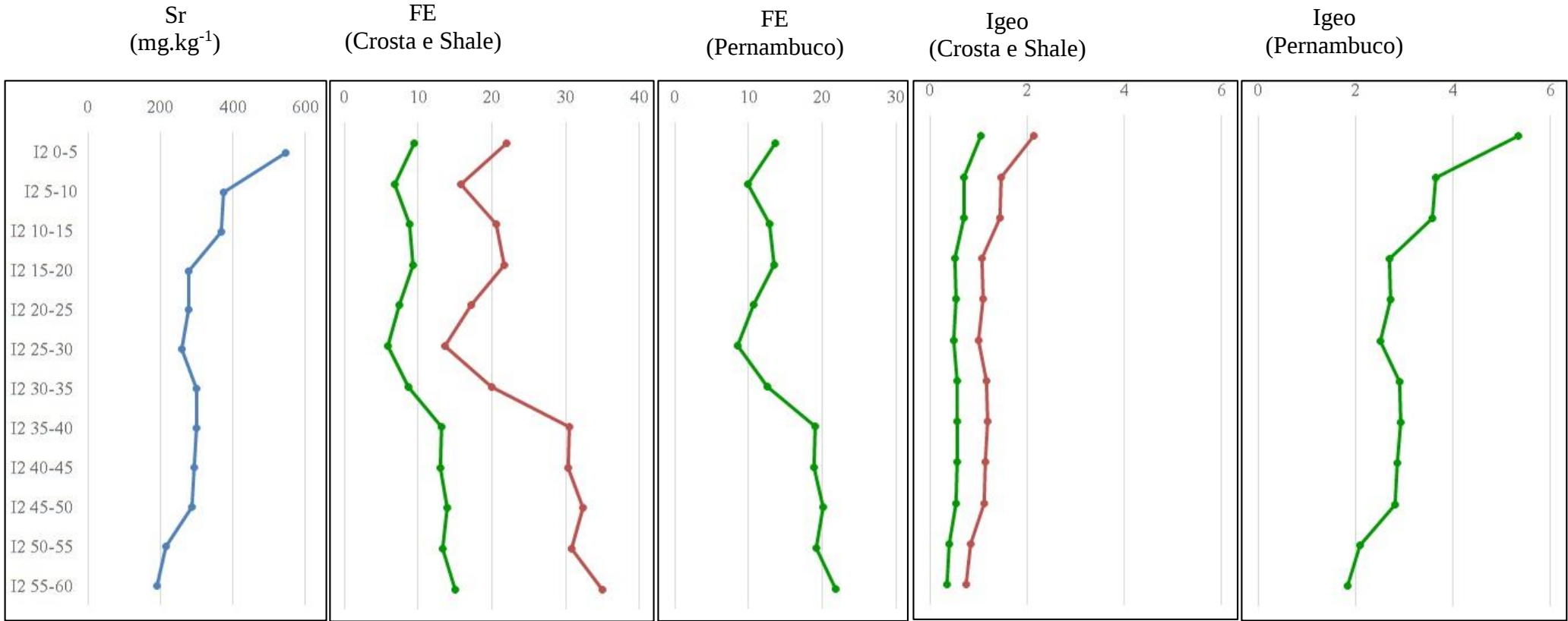
Padrões de Referencia	
FE – Não Enriquecido	≤ 1
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10
Igeo – Nível Basal	< 0
Igeo – Não Poluído	0 a 1

LEGENDA

Background da Crosta/Pernambuco

Background do Shale

Figura 8.7: Gráfico do FE e Igeo do Sr do Perfil I2 coletado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana



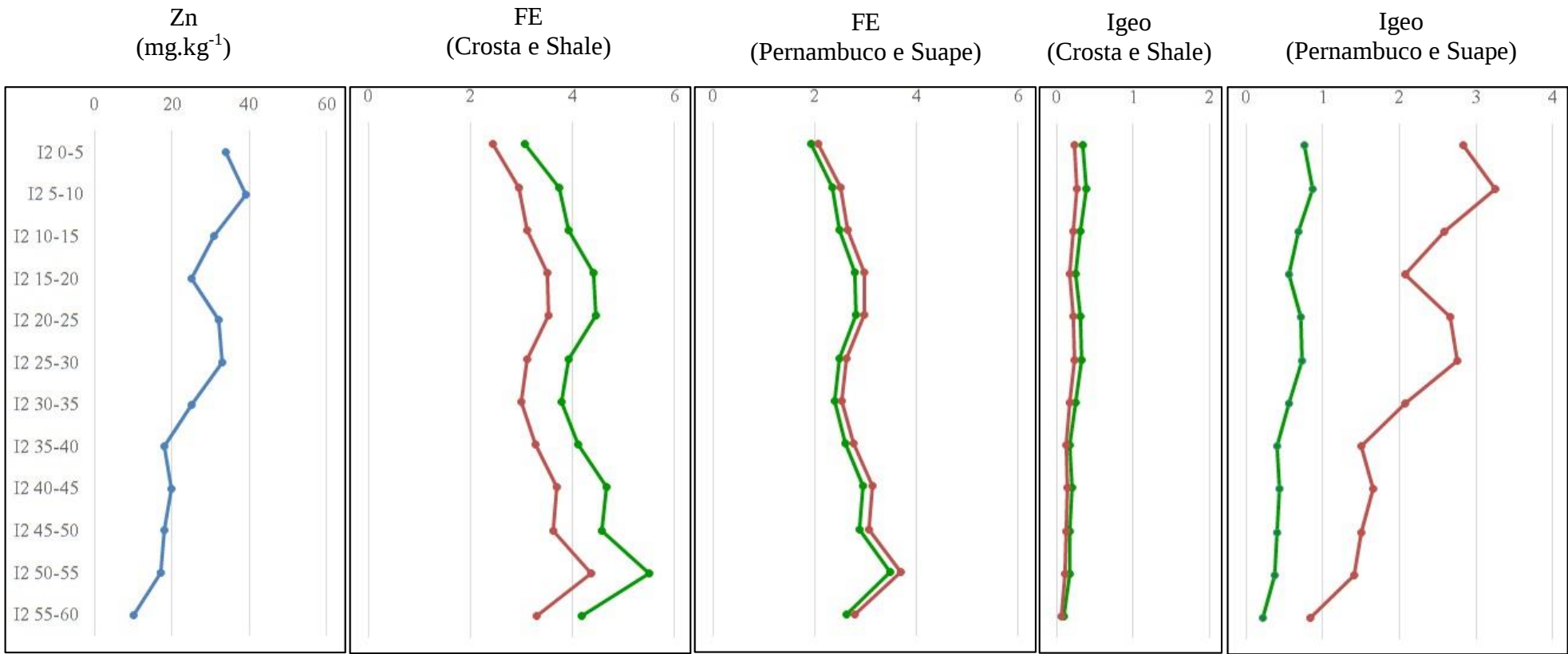
Padrões de Referencia			
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10	Igeo – Moderadamente a Poluído	2 a 3
FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25	Igeo – Poluído a Muito poluído	3 a 4
FE – Enriquecimento Muito Severo	> 25 a 50	Igeo – Muito Poluído	4 a 5
FE – Enriquecimento Extremamente Severo	> 50	Igeo - Altamente Poluído	> 5

LEGENDA

Background da Crosta/Pernambuco

Background do Shale

Figura 8.8: Gráfico do FE e Igeo do Zn do Perfil I2 Testemunhado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana



Padrões de Referencia			
ERL - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	150	Igeo – Nível Basal	< 0
ERM - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	410	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo – Moderadamente a Poluído	2 a 3
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo – Poluído a Muito poluído	3 a 4
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10		

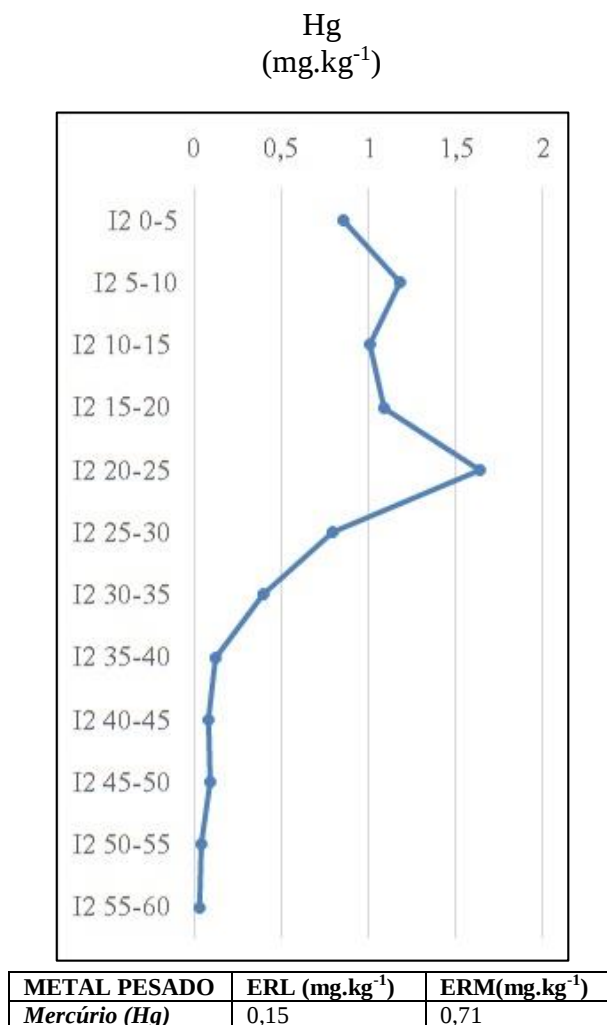
LEGENDA

Background da Crosta/Pernambuco

Background do Shale

O segundo Grupo é formado apenas por um elemento geoquímico, o mercúrio Figura 8.9.

Figura 8.9: Gráfico univariado da concentração bruta do Hg do Testemunho I2 – Coletado no estuário do rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana



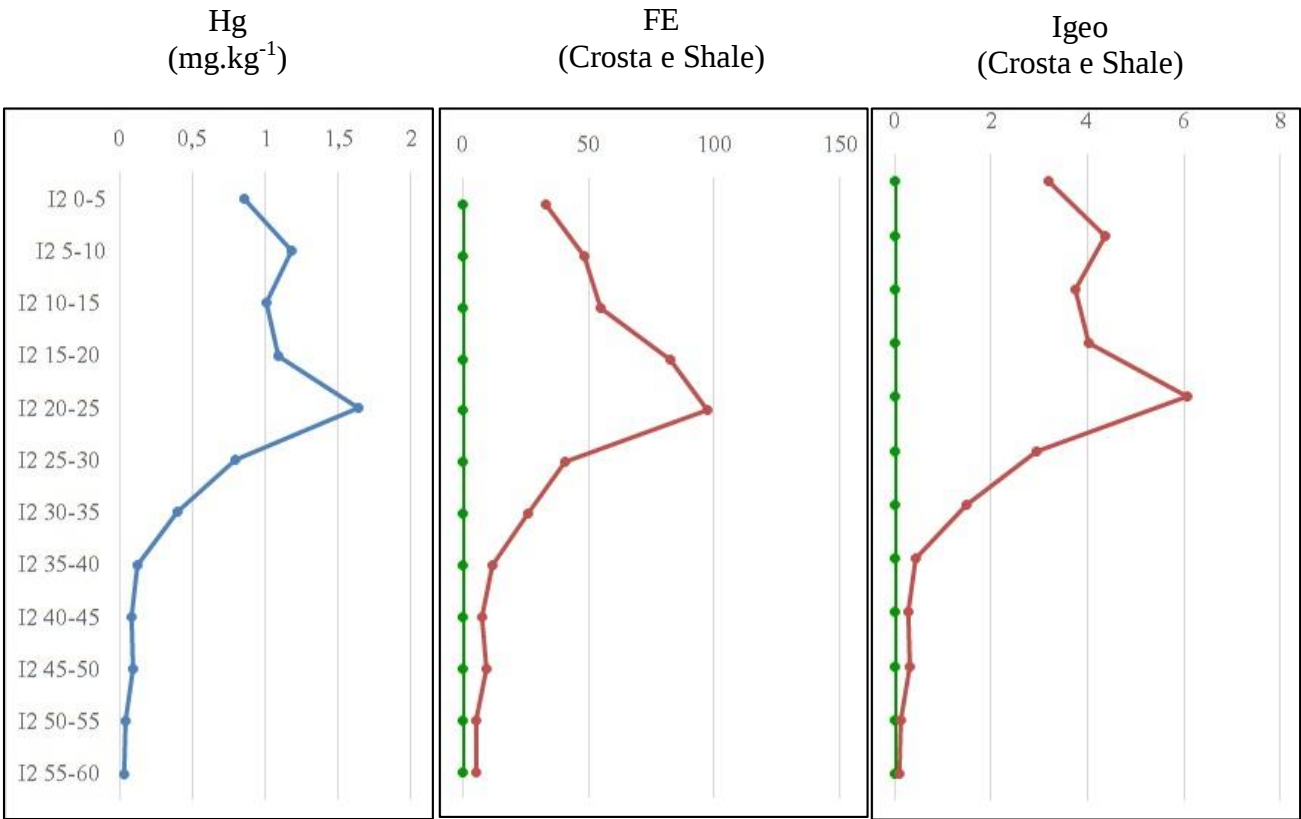
*USEPA (1998)

O mercúrio apresentou cinco amostras acima do ERL e ERM. Este fato mostra que este elemento está presente em concentrações que provavelmente causa efeitos danosos à biota local.

Quando comparado a valores de referência, o índice que apresentou maiores variações para o Hg foi índice calculado com o valor médio do *Shale*. No FE as amostras 10-15cm, 15-20cm e 20-25cm apresentaram enriquecimento muito severo. Com relação ao Igeo a amostra 20-25cm está apresentando uma secção em que a amostra encontra-se altamente poluída (Figura 8.10).

Provavelmente este Hg é oriundo de atividade antropogênica que são realizadas no estuário do rio Botafogo (Lima, 2008) e é trazido para este ambiente, através da hidrodinâmica estuarina, junto com os sedimentos ou dissolvidos na água.

Figura 8.10: Gráfico do FE e Igeo do Hg do Perfil I2 Testemunhado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana

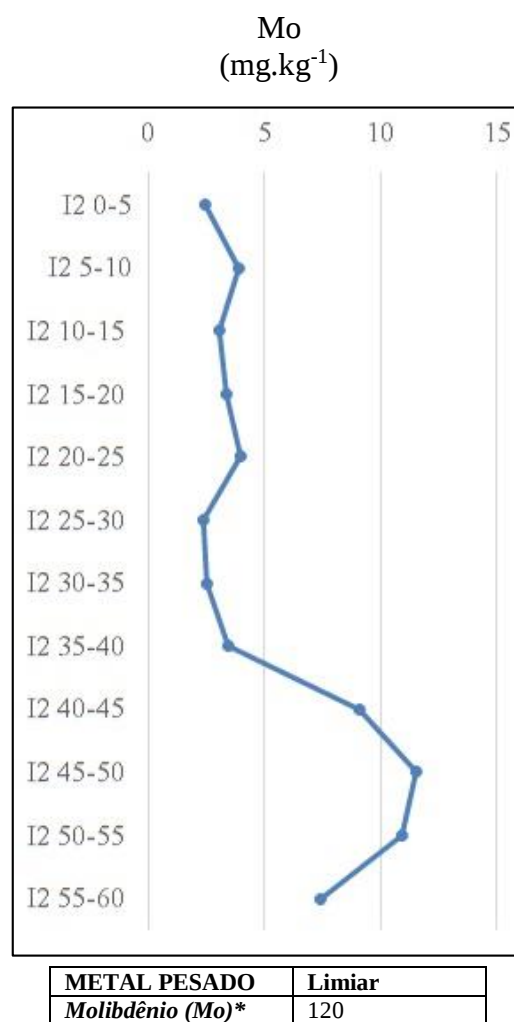


Padrões de Referência			
ERL - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	0,15	Igeo – Nível Basal	< 0
ERM - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	0,71	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo – Moderadamente a Poluído	2 a 3
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo – Poluído a Muito poluído	3 a 4
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10	Igeo – Muito Poluído	4 a 5
FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25	Igeo - Altamente Poluído	> 5
FE – Enriquecimento Muito Severo	> 25 a 50		
FE – Enriquecimento Extremamente Severo	> 50		

LEGENDA	
●	Background da Crosta/Pernambuco
●	Background do Shale

O terceiro grupo de elementos é composto pelo Molibdênio, não há parâmetro de qualidade estabelecido para sedimentos pela USEPA (1998). Desta forma, será adotado o limiar determinado pelo CETESB (2001) para solos (Figura 8.11). Todas as amostras do I2 mantiveram-se abaixo do limite de Mo para qualidade para sedimentos estabelecidos pelo CETESB (2001).

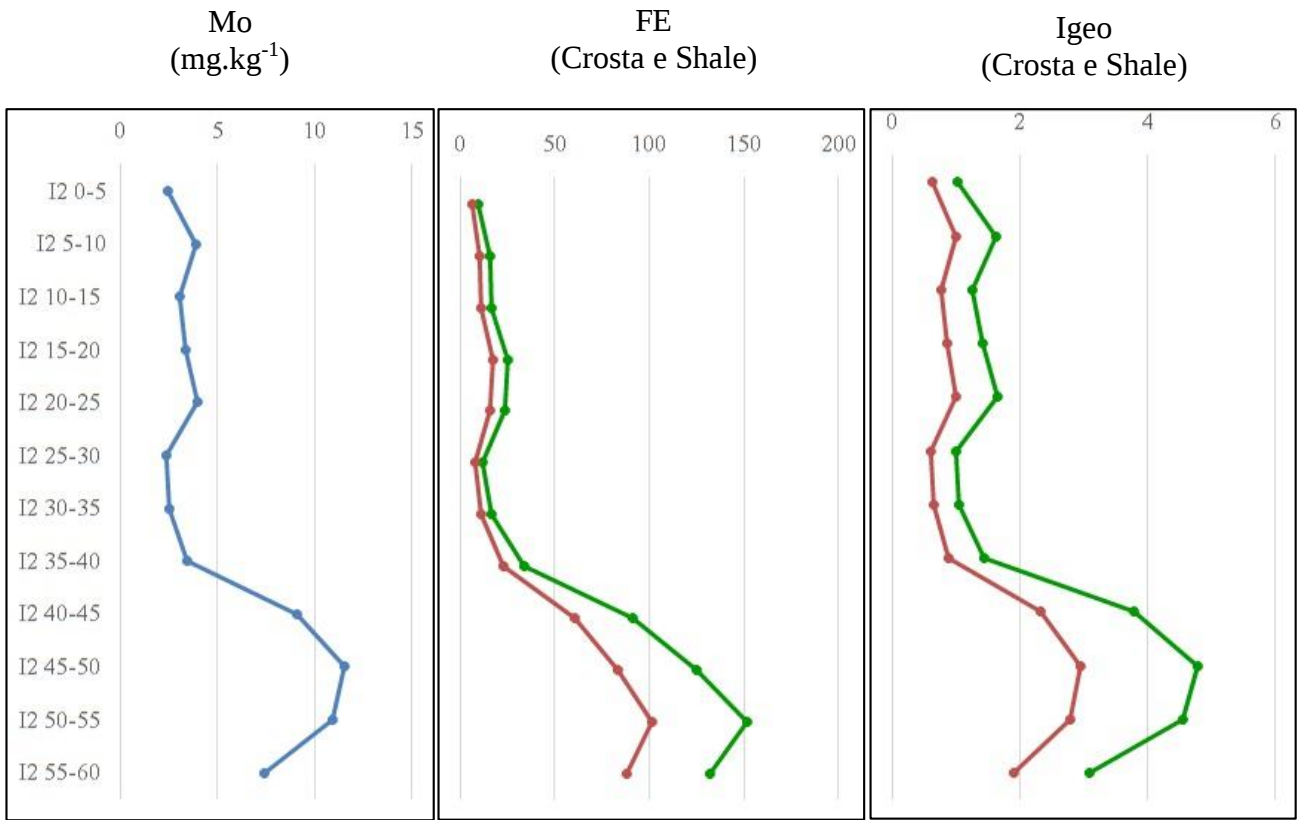
Figura 8.11: Gráfico univariado da concentração bruta do Mo do Testemunho I2 – Coletado no estuário do rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana



*CETESB (2001)

Para o Molibdênio não há *background* estabelecido para os estuários de Pernambuco. Entre os parâmetros utilizados para normalizar o Mo houve maior destaque para a média da crosta superior, pois a este tratamento os dados demonstraram Enriquecimento muito severo para o FE e amostras que indica um ambiente muito poluído para o Igeo (Figura 8.12).

Figura 8.12: Gráfico do FE e Igeo do Mo do Perfil I2 Testemunhado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana



Padrões de Referencia			
CETESB, 2001 (mg.kg ⁻¹)	120	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo – Moderadamente a Poluído	2 a 3
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10	Igeo – Poluído a Muito poluído	3 a 4
FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25	Igeo – Muito Poluído	4 a 5
FE – Enriquecimento Muito Severo	> 25 a 50		
FE – Enriquecimento Extremamente Severo	> 50		

LEGENDA

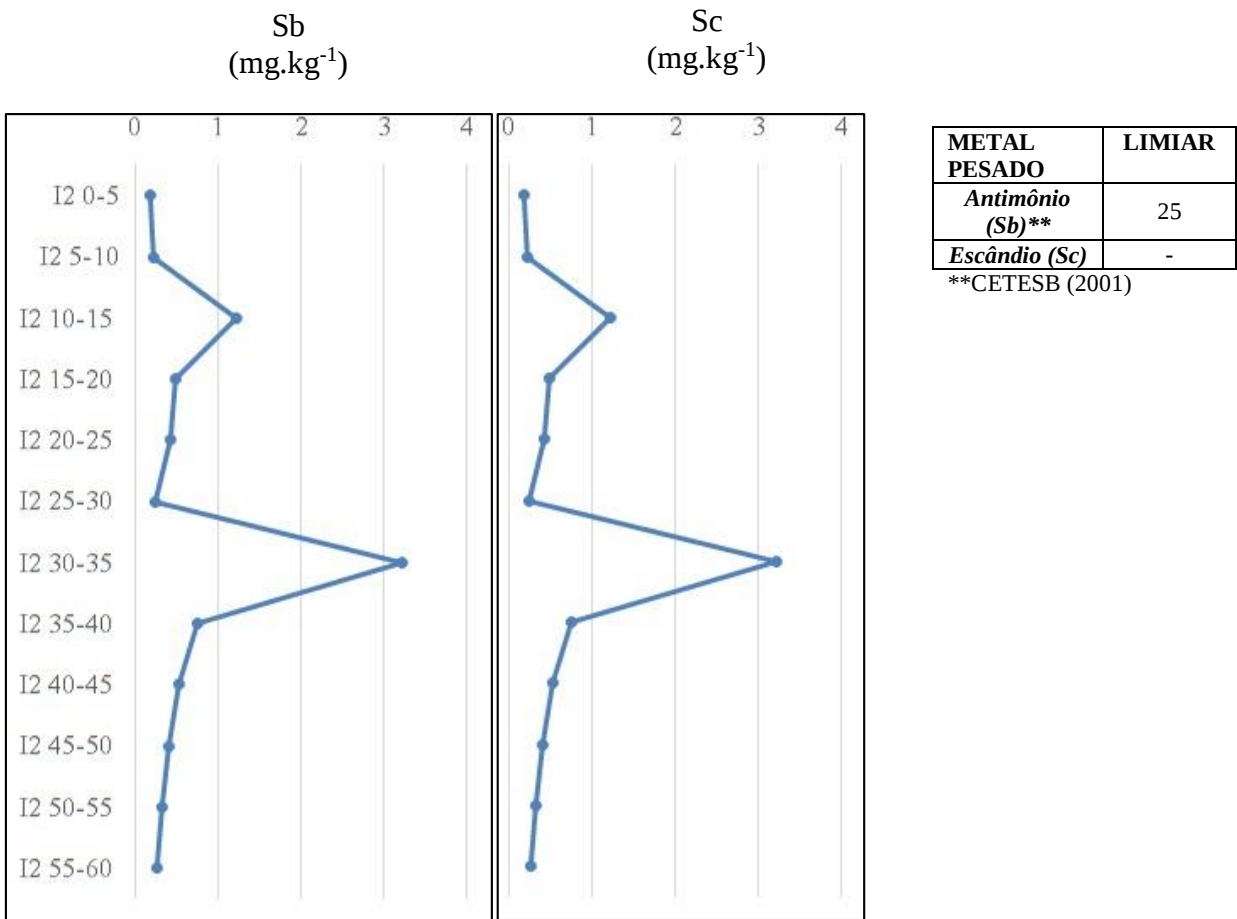
Background da Crosta/Pernambuco

Background do Shale

O quarto grupo é formado pelo Sb e Sc (Figura 8.13). Estes dois elementos foram postos no mesmo grupo devido à semelhança entre seus gráficos, onde as amostras destes elementos possuem as mesmas concentrações ao longo do perfil. A Figura 8.11 demonstra dois momentos em que houve maior incremento na concentração destes dois elementos geoquímicos em 10-15cm e 30-35cm. Tomando como base a taxa de sedimentação adotada por Marins *et. al.*, 2004; Lima 2008; Souza 2013 estes aumentos na concentração se deu entre os períodos 1959 – 1976 e 1893 – 1909, respectivamente.

O Sb encontra-se em baixa concentração quando comparado ao limite de qualidade estabelecidos pela CETESB (2001). Já Sc não possui parâmetros de qualidade estabelecidos pelo CETESB (2001) e USEPA (1998). No entanto por se tratar de um MP com baixa toxicidade intrínseca e estar em baixas concentrações, é provável que este elemento não esteja causando danos a biota local

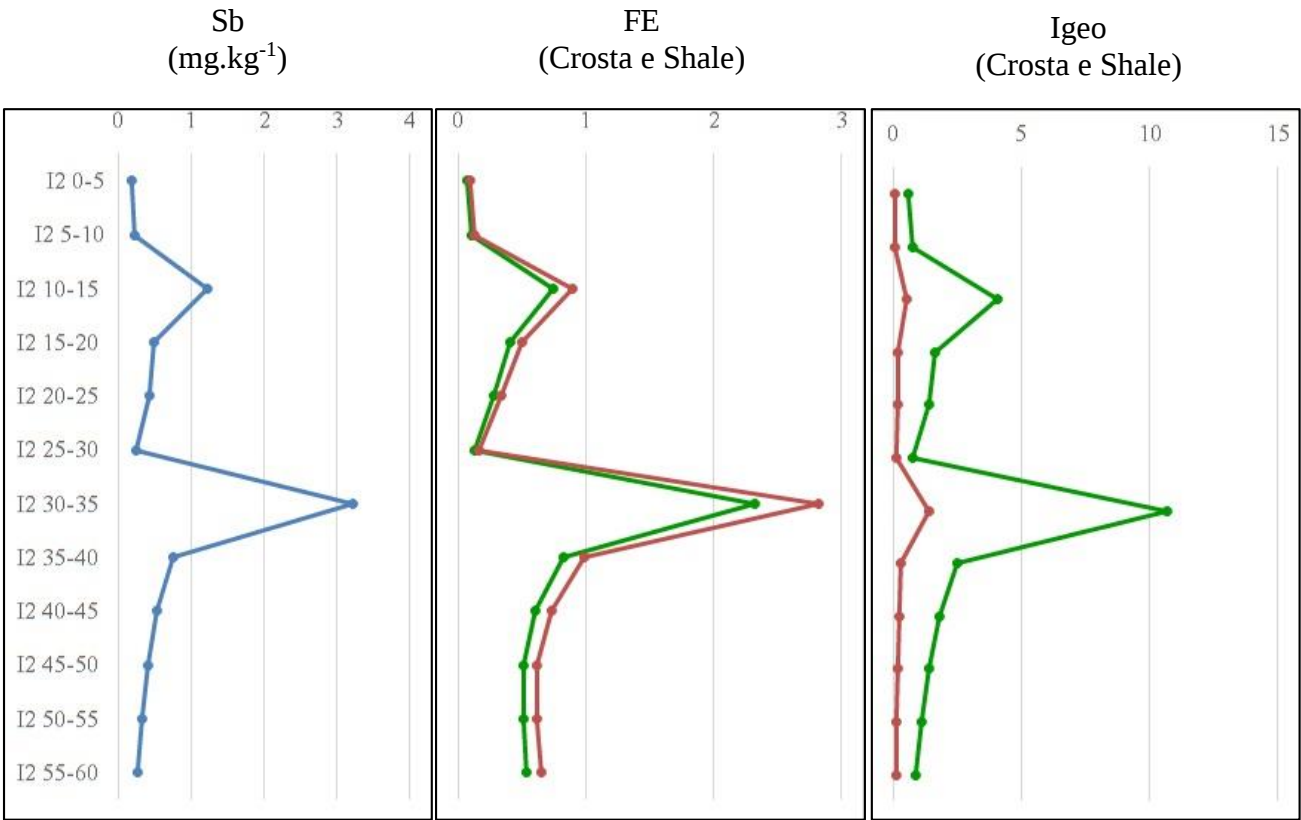
Figura 8.13: Gráficos univariados das concentrações brutas do Sb e Sc do Testemunho I2 – Coletado no estuário do rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana



Não serão discutidos os dados do escândio devido às baixas concentrações que este elemento possui em I2 e baixos índices de FE e Igeo. No entanto, os seus dados estão expostos nos Anexos (ANEXO VIII.IV).

Com relação ao antimônio, não foram estabelecidos *background* para os Estuários de Pernambuco. Entre os valores de referência utilizados, o valor do *shale* apresentou maior anomalia para o FE, com índice de pouco enriquecido. Igeo normalizado pelo valor médio da crosta superior apresentou destaque para a amostra 30-35cm, que enquadra-se como sendo altamente poluída (Figura 8.14).

Figura 8.14: Gráfico do FE e Igeo do Sb do Perfil I2 Testemunhado no rio Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana



Padrões de Referência			
CETESB, 2001 (mg.kg ⁻¹)	25	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo – Moderadamente a Poluído	2 a 3
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo – Poluído a Muito poluído	3 a 4
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo – Muito Poluído	4 a 5
Igeo – Nível Basal	< 0	Igeo - Altamente Poluído	> 5
Igeo – Não Poluído	0 a 1		

LEGENDA

Background da Crosta/Pernambuco

Background do Shale

8.2 ANALISE GEOQUÍMICA (MATRIZ DE CORRELAÇÃO - MC E ANALISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS - ACP) DO PERFIL TESTEMUNHADO NO PONTO DE AMOSTRAGEM I2

Ao ser analisado os gráficos do ACP, a partir da variância, é possível dividir o gráfico dos Loadings e scores em três grupos de elementos químicos e amostras do perfil I2. O gráfico Loadings divide os elementos químicos em (Figura 8.15):

1º Grupo - Ag, Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sc, Sn, Sr, Zn e Zr

2º Grupo – Mo

3º Grupo – Sb

De todos os dezesseis elementos químicos analisados no gráfico Loadings do ACP de I2, é provável que apenas o Hg seja de origem antropogênica, vinda do estuário do rio Botafogo. Este elemento provavelmente está chegando a este ambiente devido a forças das correntes marinhas e de maré, uma vez que efluentes contendo Hg foram lançados no rio Botafogo (Lima, 2008) e posteriormente atingiram o seu estuário. A provável rota do Hg, segundo Lima (2008), é sedimentação no próprio rio Botafogo, parte atinge o canal de Santa Cruz, onde também é depositado e uma quantidade menor de contaminante atinge o estuário do rio Itapessoca e depositado, conforme verificado no perfil I2.

O segundo grupo do gráfico do Loadings é composto apenas pelo Mo, elemento que não possui correlação relevante com nenhum elemento químico destacado no presente estudo (Figura 8.16), fato que o isola em um grupo único. O padrão de concentração deste elemento ao longo do perfil possui comportamento diferenciado em relação aos demais elementos, uma vez que, a maior concentração de Mo em I2 está presente na base do perfil (Figura 8.12).

Figura 8.15: Gráfico ACP – *Loadings* perfil I2, coletado no estuário do rio Itapessoca – Situado no Complexo Industrial de Goiana



O terceiro grupo é formado apenas pelo Sb, espécie química de provável origem antropogênica que possui correlação relevante do tipo fortemente positiva com o Sc (correlação 1,00). Estes dois elementos não possuem correlação com o Al (correlação 0,0). No entanto, estes dois elementos não estiveram presentes no mesmo grupo do ACP que toma como base a variância. O Sb apresenta um aumento na concentração na amostra 30-35cm, devido a alguma atividade antrópica ocorrida entre 1893 – 1909, que impulsionou o maior acúmulo deste contaminante no meio-ambiente (Figura 8.14).

O gráfico do ACP das *scores* está dividido em três grupos de amostras correlacionadas (Figura 8.17) aos grupos de elementos químicos do gráfico dos *Loadings* (figura 8.15).

O gráfico das *scores* divide as amostras em (figura 8.17):

1º Grupo – 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-25

2º Grupo – 35-40; 40-45; 45-50; 50-55; 55-60

3º Grupo – 30-35

O primeiro grupo é composto por amostras mais ao topo do perfil que possuem correlação com o primeiro grupo de elementos químicos do gráfico do *Loadings* (Figura 8.15).

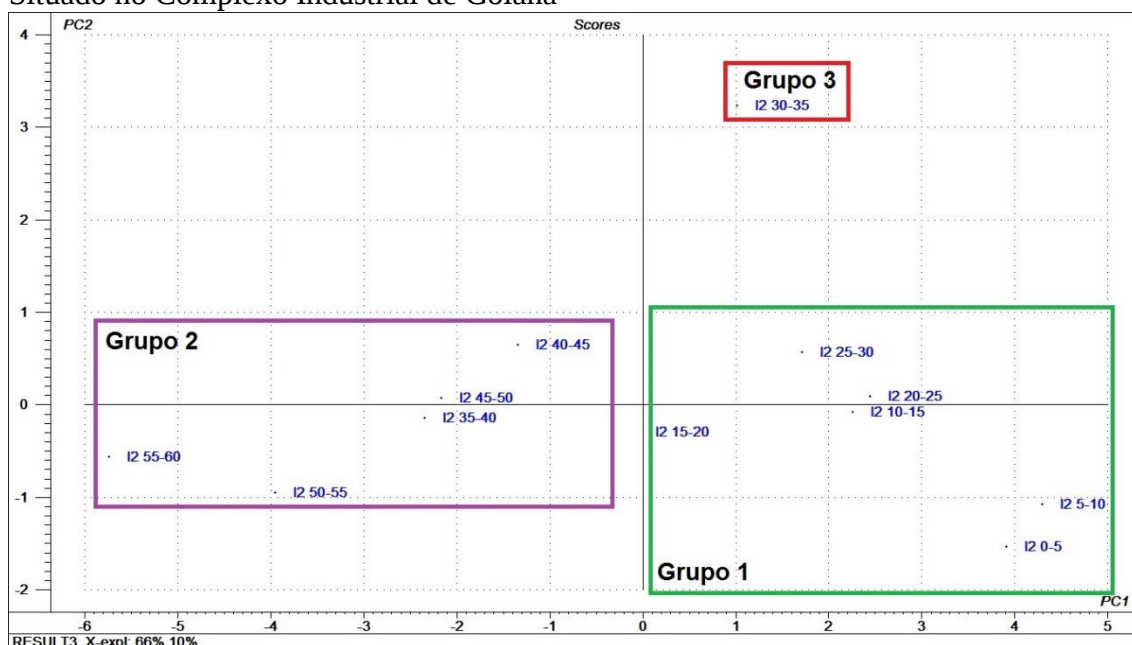
Figura 8.16: Matriz de Correlação do perfil I2, coletado no estuário do rio Massangana – Situado no Complexo Portuário de Suape–PE

	Ag	Al	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Sc	Sn	Sr	Zn	Zr
Ag	1,00															
Al	0,70	1,00														
As	0,70	0,39	1,00													
Cd	0,79	0,65	0,71	1,00												
Cr	0,76	0,98	0,50	0,72	1,00											
Cu	0,39	0,66	0,16	0,43	0,69	1,00										
Hg	0,70	0,73	0,47	0,65	0,81	0,46	1,00									
Mo	-0,41	-0,70	-0,20	-0,42	-0,62	-0,17	-0,64	1,00								
Ni	0,82	0,95	0,57	0,76	0,98	0,69	0,72	-0,52	1,00							
Pb	0,79	0,97	0,54	0,74	0,98	0,64	0,84	-0,72	0,96	1,00						
Sb	0,07	0,00	0,05	0,45	-0,06	-0,09	-0,09	-0,29	-0,02	0,02	1,00					
Sc	0,07	0,00	0,05	0,45	-0,06	-0,09	-0,09	-0,29	-0,02	0,02	1,00	1,00				
Sn	0,80	0,92	0,51	0,83	0,93	0,56	0,84	-0,77	0,90	0,96	0,24	0,24	1,00			
Sr	0,75	0,81	0,37	0,48	0,76	0,47	0,39	-0,46	0,83	0,75	-0,02	-0,02	0,69	1,00		
Zn	0,70	0,95	0,51	0,74	0,98	0,71	0,84	-0,66	0,94	0,98	-0,01	-0,01	0,93	0,66	1,00	
Zr	0,43	0,58	0,46	0,74	0,60	0,41	0,30	-0,17	0,67	0,54	0,32	0,32	0,53	0,42	0,60	1,00

Onde:

	$0,81 \leq IC \leq 1$ – Correlações Positivamente Forte
	$0,6 \leq IC < 0,8$ - Correlações Positivamente Mediana
	$-0,6 \leq IC < -0,8$ - Correlações Negativamente Mediana
	Destaque para as correlações com Al e Zr

Figura 8.17: Gráfico ACP – Scores do perfil I2, coletado no estuário do rio Itapessoca – Situado no Complexo Industrial de Goiana



O segundo grupo de amostras 35-40; 40-45; 45-50; 50-55; 55-60, é formado por amostras mais basais que possui forte influência do Mo, que faz parte do segundo grupo de elementos químicos do gráfico do *Loadings*.

O terceiro grupo de amostras do gráfico das *scores* é formado pela amostra 30-35, esta secção encontra-se no meio do perfil e sofre a influência do Sb, grupo 3 do gráfico do *Loadings*. No gráfico do Sb é apresentado um acréscimo na concentração na amostra 30-35, que o diferencia dos demais elementos além de se tratar de um elemento que possui correlação forte apenas com Sc.

Com relação a MC é possível notar que Mo não possui correlação positivamente relevante com nenhum dos 16 elementos destacados (Figura 8.16). O Mo apresenta também correlações negativas medianas com alguns elementos químicos Al (-0,70); Cr (-0,62); Hg (-0,64); Pb (-0,72); Sn (-0,77); Zn (-0,66). Este comportamento do Mo na MC é refletido no gráfico ACP fazendo com que este elemento seja individualizado em um grupo geoquímico (Figura 8.15)

O Sb e Sc só possuem correlações relevante entre si, 1,00 (Figuras 8.13 e 8.16), devido provavelmente à proveniência destes elementos, como produto do intemperismo de uma mesma associação geoquímica natural.

Capítulo IX:
Avaliação geoquímica do perfil
sedimentar I3 coletado no estuário do
rio Itapessoca – Complexo Industrial
de Goiana

9.1 CARACTERIZAÇÃO E DISCUSSÃO GEOQUÍMICA DO PERFIL I3

A partir dos dados de concentração dos catorze elementos (Ag, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr, Zn) estudados, foi possível agrupá-los em quatro grupos:

1ª Grupo: Ag, As, Cd, Cr, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr e Zn

2ª Grupo: Cu

3ª Grupo: Hg

4ª Grupo: Mo

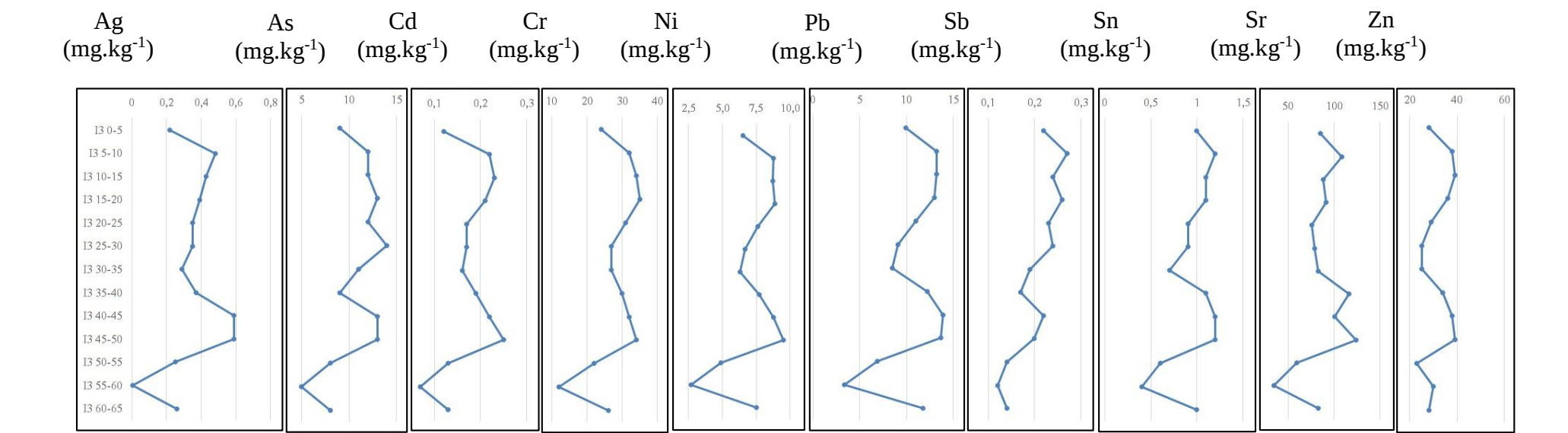
Dos catorze elementos, 13 são de provável origem geogênica e um (Hg) de origem tecnogênica. Todos os elementos químicos que compõem o primeiro grupo de amostras são de provável origem geogênica. Entre estes, apenas o As apresenta anomalias em sua concentração (Figura 9.1), estando entre o ERL e ERM estabelecido pela USEPA (1998). Fato este que demonstra a necessidade de cuidados especiais a respeito dos possíveis efeitos que este elemento pode trazer ao ambiente.

Entre os integrantes do primeiro grupo, não serão apresentados de forma individual o Cr, Ni, Sc e Sn, por apresentarem baixas concentrações absolutas e dados de FE e Igeo irrelevantes. No entanto, os seus dados estão nos Anexos IX.I, IX.II, IX.III e IX.IV respectivamente.

Embora a prata tenha baixa concentração (Figura 9.1) mantendo-se abaixo do ERL, apresenta altos índices de FE, Enriquecimento Muito Severo, principalmente para os dados calculados com base na média da crosta e *shale* (Figura 9.2). Com relação ao Igeo, é possível observar que os dados calculados a partir da média da crosta e estuários de Pernambuco apresentam algumas amostras em nível máximo de Igeo igual ou maior a 5, altamente poluído.

O As é o único elemento químico entre os onze do primeiro grupo que apresentou anomalias na concentração estando acima do ERL e abaixo do ERM (Figura 5.21). Entre os parâmetros utilizados para a realização dos cálculos de FE e Igeo, há destaque para a média da crosta, onde o FE e Igeo apresentam amostras com os maiores índices (Figura 9.3). FE com índice superior a 50 é indicativo de Enriquecimento Muito Severo. Já o Igeo apresenta valores acima de 5 é indicativo Ambiente Altamente Poluído.

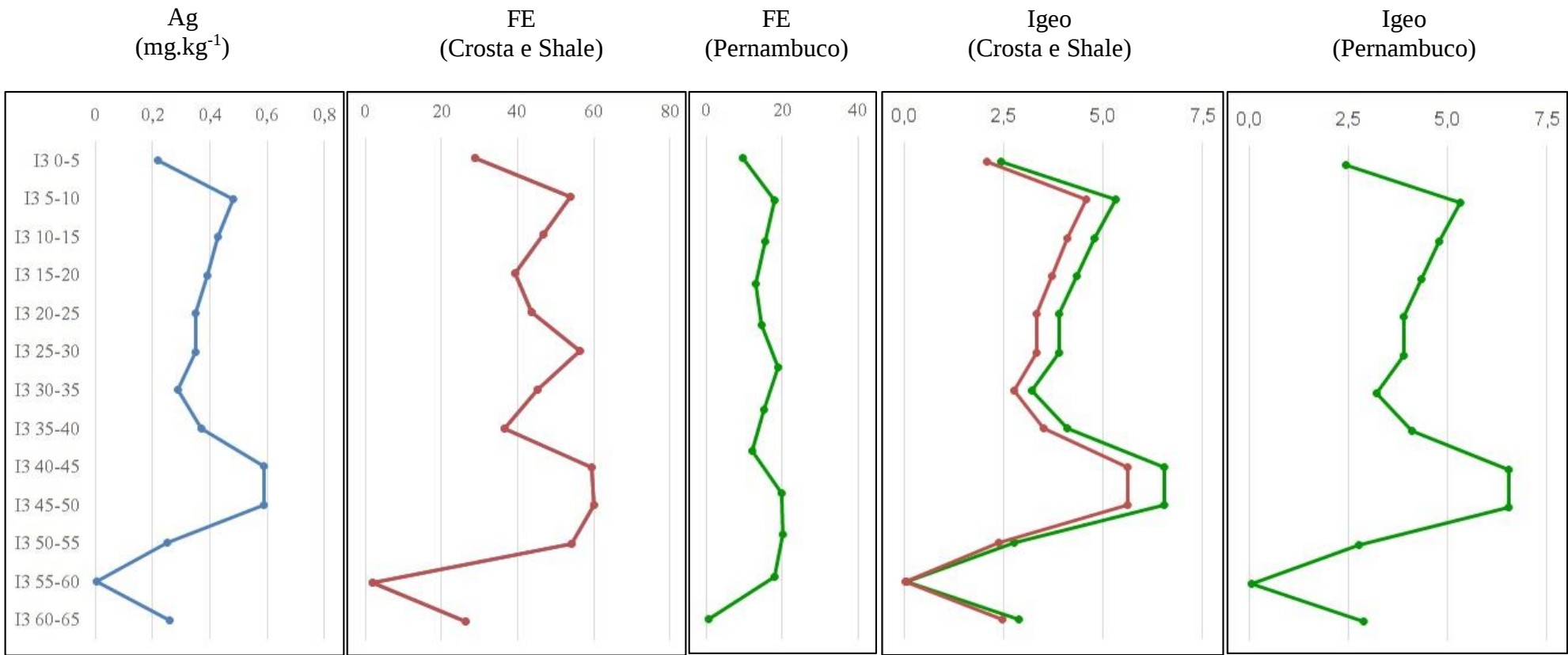
Figura 9.1: Gráficos univariados das concentrações de Ag, As, Cd, Cr, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr e Zn do Testemunho I3 – Coletado no Sistema Estuário da Ilha de Itapessoca – Polo Industrial de Goiana



METAL PESADO	ERL (mg.kg ⁻¹)	ERM(mg.kg ⁻¹)
<i>Prata (Ag)*</i>	1	3,7
<i>Arsênio (As)*</i>	8,2	70
<i>Cádmio (Cd)*</i>	1,2	9,6
<i>Cromo (Cr)*</i>	81	370
<i>Níquel (Ni)*</i>	21	52
<i>Chumbo (Pb)*</i>	47	220
<i>Antimônio (Sb)**</i>	25	-
<i>Estanho (Sn)</i>	-	-
<i>Estrôncio (Sr)</i>	-	-
<i>Zinco (Zn)*</i>	150	410

*USEPA (1998)
 **CETESB (2001)

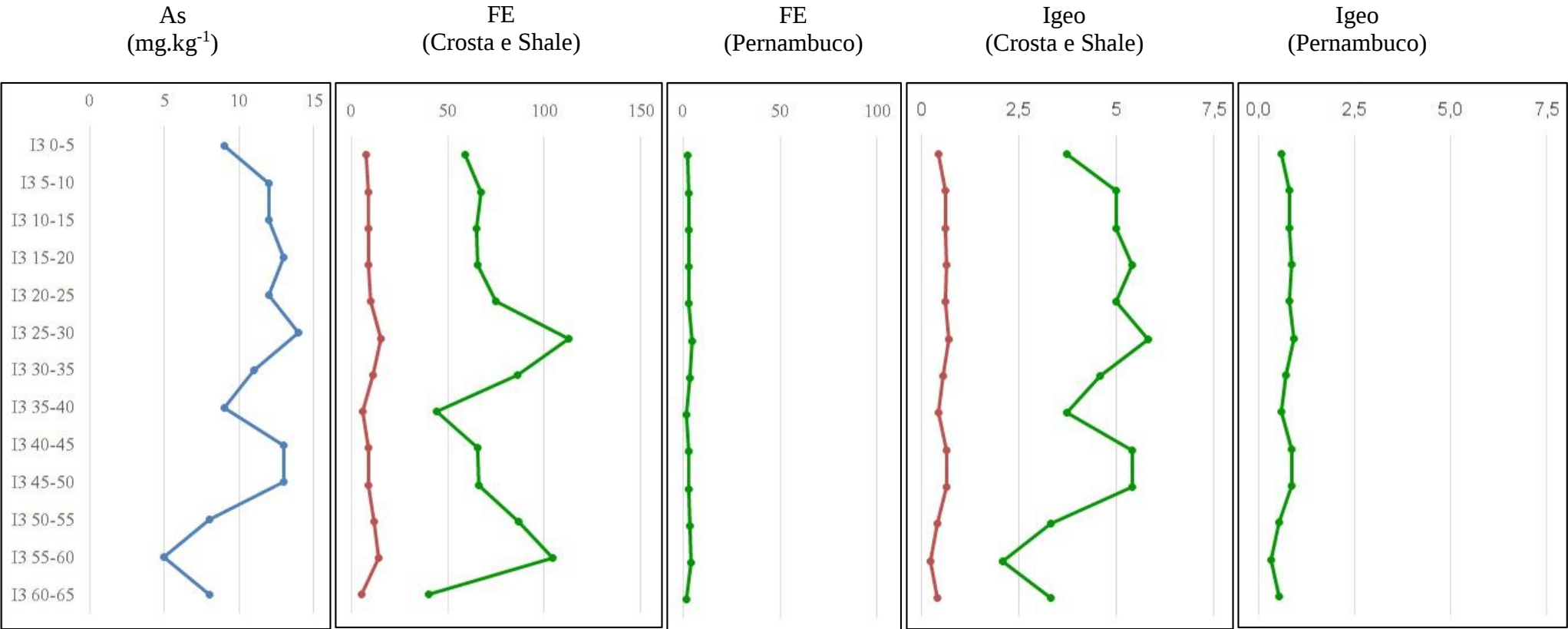
Figura 9.2: Gráfico do FE e Igeo da Ag do Perfil I3 Testemunhado no Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana



Padrões de Referencia			
ERL - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	1	FE – Enriquecimento Extremamente Severo	> 50
ERM - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	3,7	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo – Moderadamente a Poluído	2 a 3
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10	Igeo – Poluído a Muito poluído	3 a 4
FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25	Igeo – Muito Poluído	4 a 5
FE – Enriquecimento Muito Severo	> 25 a 50	Igeo - Altamente Poluído	> 5

LEGENDA	
●	Background da Crosta/Pernambuco
●	Background do Shale

Figura 9.3: Gráfico do FE e Igeo do As do Perfil I3 Testemunhado no Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana



Padrões de Referência			
ERL - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	8,2	FE – Enriquecimento Extremamente Severo	> 50
ERM - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	70	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo – Moderadamente a Poluído	2 a 3
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10	Igeo – Poluído a Muito poluído	3 a 4
FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25	Igeo – Muito Poluído	4 a 5
FE – Enriquecimento Muito Severo	> 25 a 50	Igeo - Altamente Poluído	> 5

LEGENDA	
●	Background da Crosta/Pernambuco
●	Background do Shale

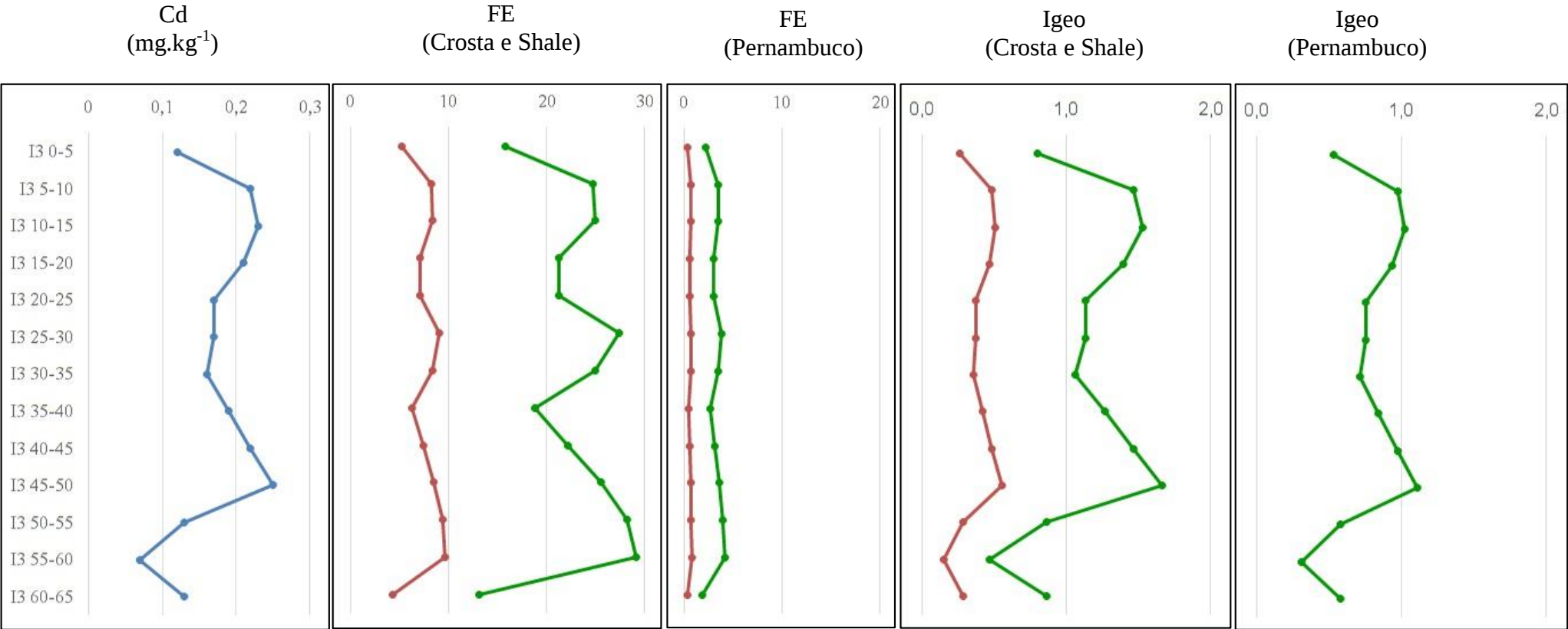
O Cádmio apresentou baixa concentração ao longo do perfil I3 (Figura 9.1), tendo todas as amostras apresentado valores abaixo do ERL (USEPA, 1998). Com relação ao FE, é possível observar que há maior destaque para o FE calculado com a média da Crosta, onde os índices demonstra a existência de amostras com enriquecimento moderadamente severo. Todas as amostras do perfil I3 apresentaram Igeo para Cd abaixo de 2,0, moderadamente poluído (Figura 9.4).

No perfil testemunhado no ponto I3, antimônio apresentou baixa concentração em todas as amostras (Figura 9.1), com concentração inferior ao limiar de qualidade estabelecido pela CETESB (2001). No entanto, quando é realizado o cálculo do FE é possível observar a existência de uma certa anomalia com relação ao cálculo realizado utilizando a média da crosta como background, pois o FE indicou a existência de amostras com enriquecimento severo. O Sb é um MP com alta toxicidade intrínseca, por este motivo é importante a realização de medidas preventivas para impedir o aumento da concentração deste elemento (Figura 9.5).

O Sr apresentou altas concentrações absolutas, tendo amostras com concentração acima de 100 mg.kg^{-1} . O Sr presente no SEI é de origem geogênica, uma vez que este elemento químico é normalmente encontrado em ambientes marinhos e geralmente está associado ao Ca. No SEI há a existência de duas formações geológicas em que há a presença marcante de rochas carbonáticas: Formação Gramame e Marinha Farinha (Tinoco, 1971; Oliveira, 1978; Almeida, 2000). Portanto, o intemperismo das rochas da formação Gramame e Marinha Farinha deve liberar para o ambiente Sr, além do Sr de origem biogênica recente.

Por outro lado, na ilha de Itapessoca está fixada uma indústria de extração de calcário para a produção de cimento, desta forma, as atividades tecnogênicas também tem contribuído para a liberação deste elemento no ambiente. No entanto, vale salientar que embora o Sr apresente valores elevados na concentração e no FE, ele não apresenta risco para a biota, por se tratar de um elemento de baixa toxicidade intrínseca, fato que é notório ao ser analisado o Igeo, onde as amostras apresentaram valores abaixo de 2,0 (Figura 9.6)

Figura 9.4: Gráfico do FE e Igeo do Cd do Perfil I3 Testemunhado no Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana



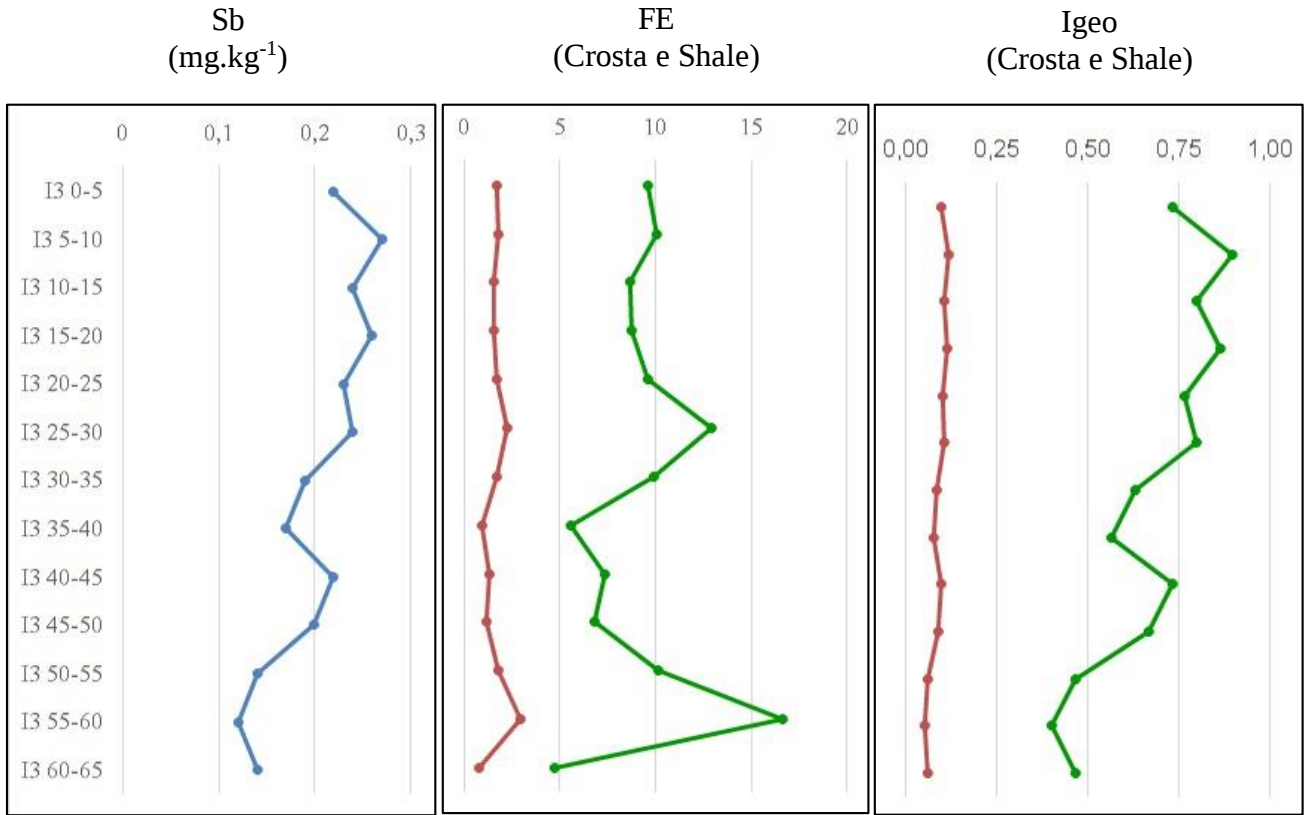
Padrões de Referência			
ERL - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	1,2	Igeo – Nível Basal	< 0
ERM - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	9,6	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3		
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5		
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10		
FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25		
FE – Enriquecimento Muito Severo	> 25 a 50		

LEGENDA

Background da Crosta/Pernambuco

Background do Shale

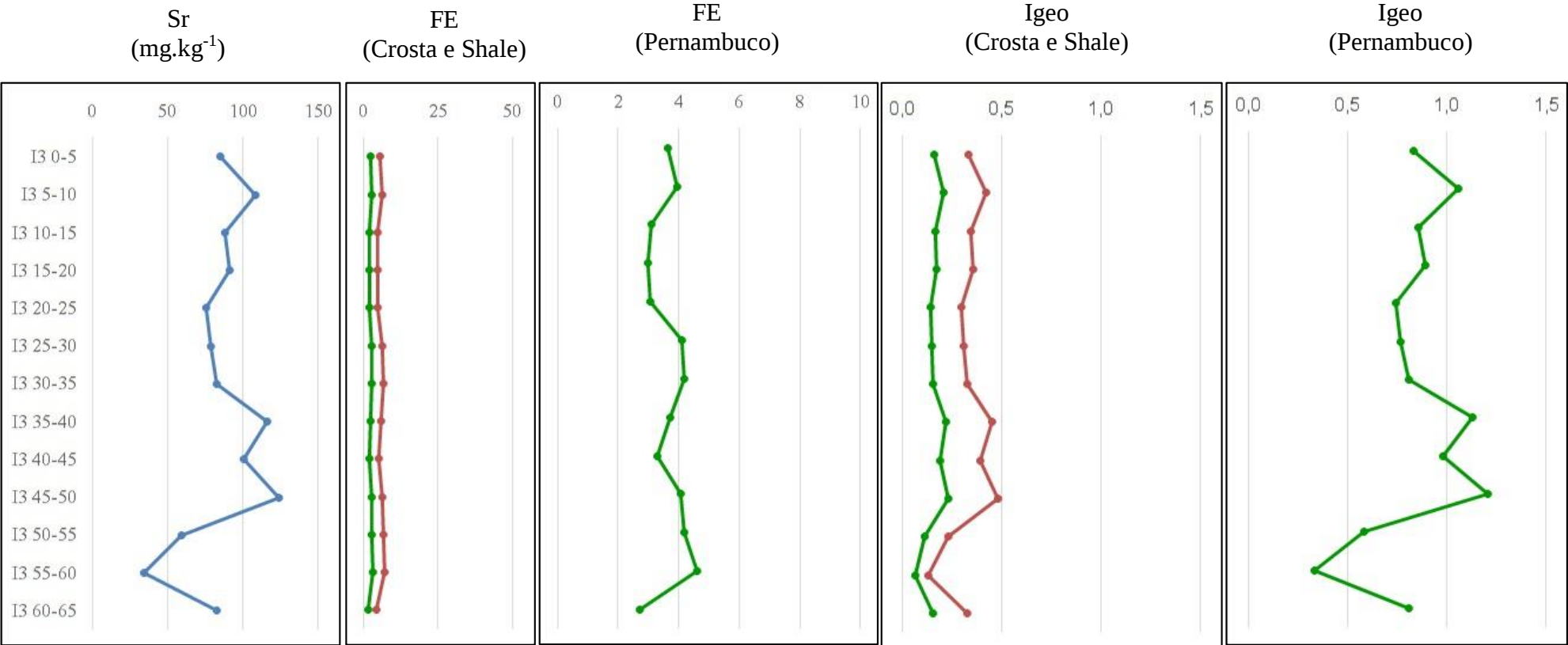
Figura 9.5: Gráfico do FE e Igeo do Sb do Perfil I3 Testemunhado no Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana



Padrões de Referencia	
CETESB, 2001 (mg.kg ⁻¹)	25
FE – Não Enriquecido	≤ 1
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10
FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25
Igeo – Nível Basal	< 0
Igeo – Não Poluído	0 a 1

LEGENDA
● Background da Crosta/Pernambuco
● Background do Shale

Figura 9.6: Gráfico do FE e Igeo do Sr do Perfil I3 Testemunhado no Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana



Padrões de Referencia			
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10		
FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25		
FE – Enriquecimento Muito Severo	> 25 a 50		
FE – Enriquecimento Extremamente Severo	> 50		

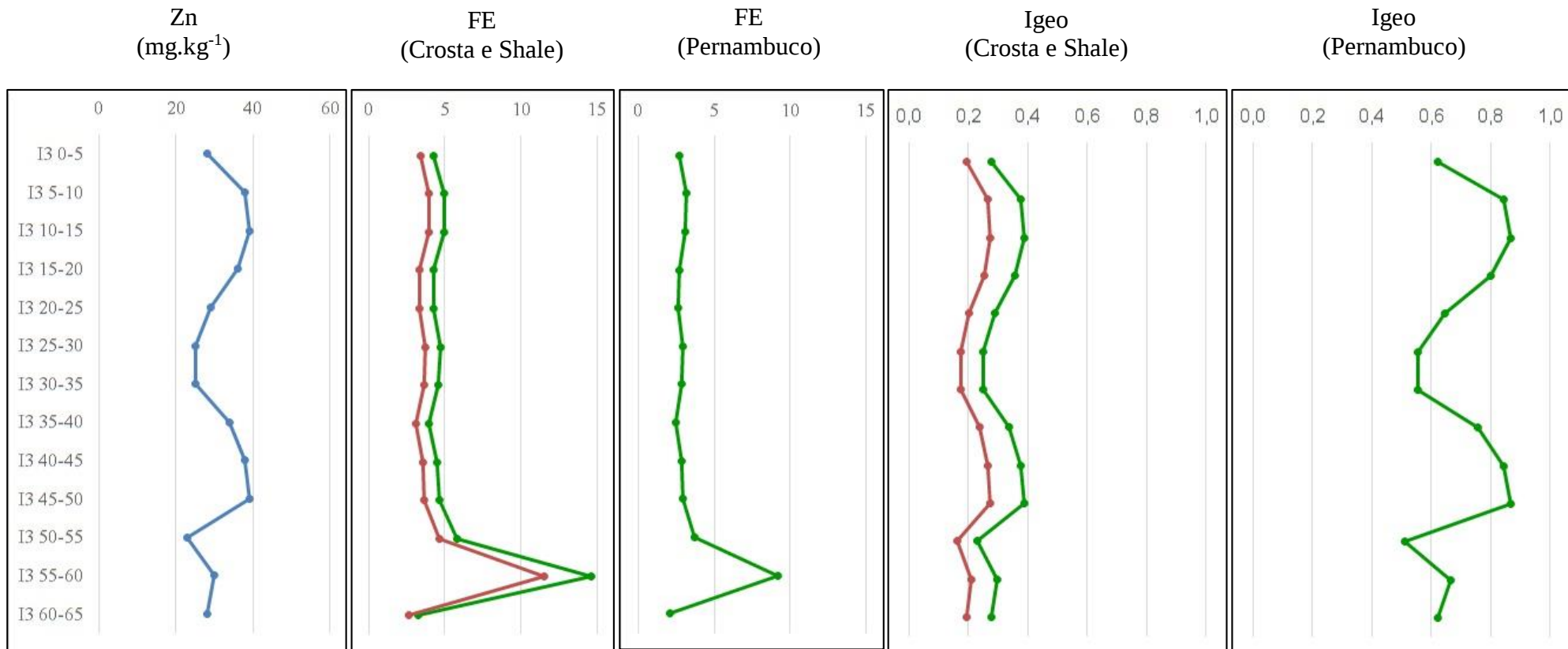
LEGENDA	
●	Background da Crosta/Pernambuco
●	Background do Shale

O Zn apresenta baixa concentração absoluta, abaixo do ERL (150 mg.kg⁻¹) estabelecido pela USEPA (1998) como mostra a Figura 9.1. Já com relação ao FE e Igeo, o Zinco apresenta morfologia gráfica e anomalias em secções distintas (Figura 9.7). A amostra 55-60 cm apresenta maior índice de FE, demonstrando um enriquecimento severo para os dados tratados a partir das médias da crosta (Li, 2000) e *shale* (Krauskopf e Bird, 1995). Já o Igeo apresentou maior anomalias na amostra 5-10 cm, apresentando índice de Poluído a Muito Poluído, para os parâmetros calculados a partir da média de Zn do Solo da CIPS (Moraes, 2013). Embora ocorra a existência destas anomalias, o Zinco não apresenta riscos ambientais significativos, por apresentar concentrações absolutas muito baixa, por se tratar de um elemento de provável origem geogênica e de baixa toxicidade intrínseca.

O segundo grupo é composto apenas pelo cobre, de forma geral, este elemento químico apresenta baixa concentração ao longo do perfil testemunhado no ponto de coleta I3. No entanto, na amostra 55 – 60 cm apresenta uma anomalia pontual com um significativo aumento na concentração deste elemento (Figura 9.8).

Com relação ao FE e Igeo do cobre, o comportamento é semelhante ao da concentração absoluta, com anomalias nos índices do nível 55-60cm (Figura 9.9).

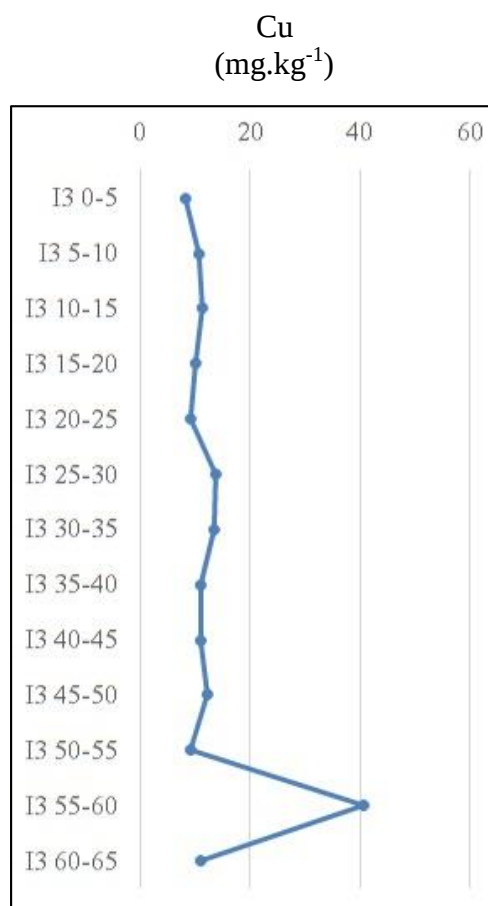
Figura 9.7: Gráfico do FE e Igeo do Zn do Perfil I3 Testemunhado no Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana



Padrões de Referencia			
ERL - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	150	FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25
ERM - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	410	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo – Moderadamente a Poluído	2 a 3
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10	Igeo – Poluído a Muito poluído	3 a 4

LEGENDA	
●	Background da Crosta/Pernambuco
●	Background do Shale

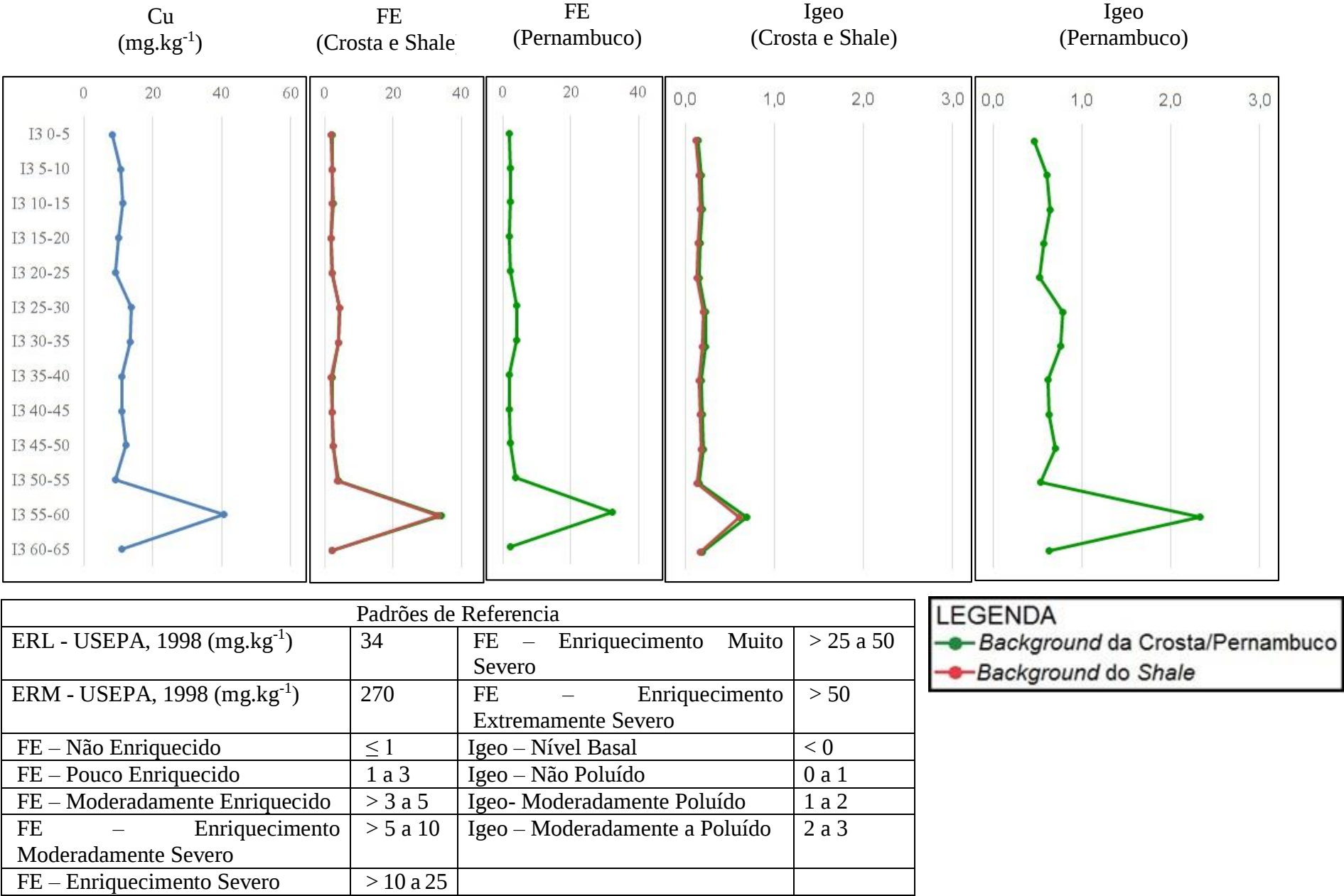
Figura 9.8: Gráfico univariado da concentração bruta do Cu do Testemunho I3 – Coletado no Sistema Estuário da Ilha de Itapessoca – Polo Industrial de Goiana



METAL PESADO	ERL (mg.kg ⁻¹)	ERM(mg.kg ⁻¹)
<i>Mercúrio (Hg)</i>	34	270

*USEPA (1998)

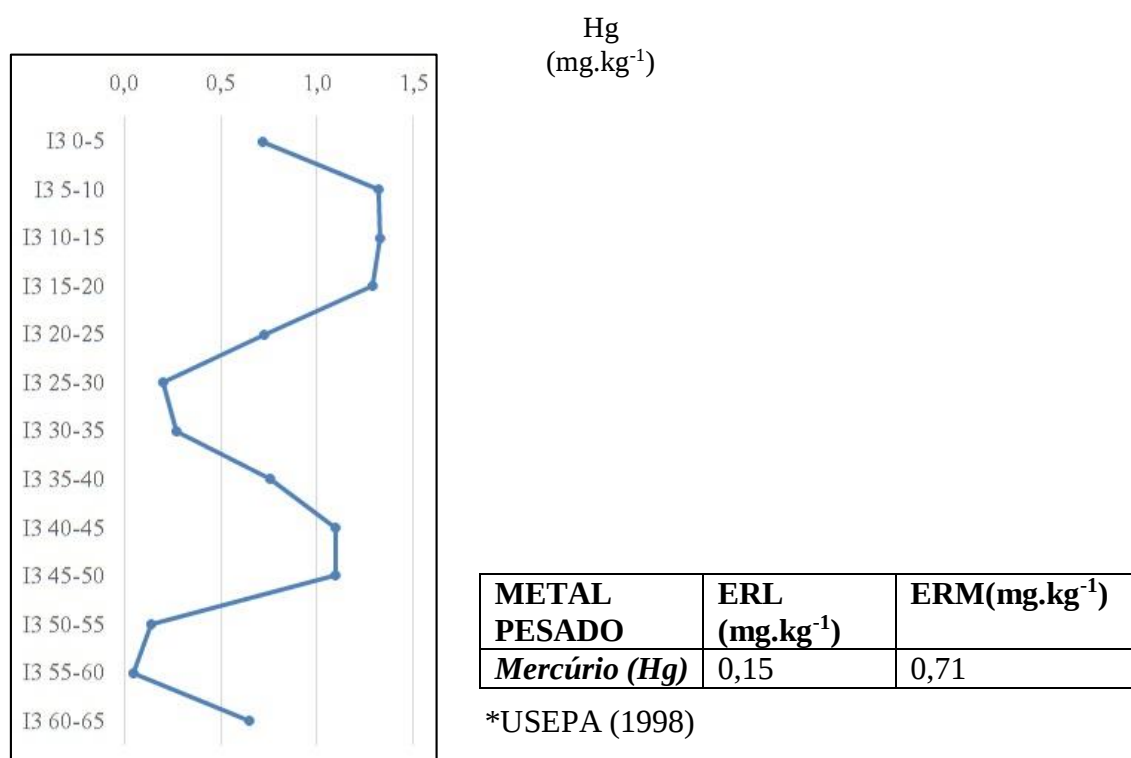
Figura 9.9: Gráfico do FE e Igeo do Cu do Perfil I3 Testemunhado no Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana



O terceiro grupo possui apenas um elemento químico, o mercúrio (Figura 9.10). O mercúrio encontrado nesta região provavelmente é oriundo geogênica, com incremento antropogênico. O Hg apresenta dois picos na sua concentração sendo o primeiro nas amostras 45-50 e 40-45, que corresponde ao período de 1843 a 1876, neste intervalo de tempo havia na área o cultivo de cana-de-açúcar, desta forma é provável que este incremento na concentração seja decorrente a processos naturais.

O segundo aumento na concentração de Hg no perfil I3 está relacionado as amostras I3 15-20, I3 10-15 e I3 5-10 período entre 1943 a 1993. Este aumento na concentração de Hg pode estar relacionado a processos naturais mais com forte influência antrópica, uma vez que na Zona Industrial de Itapissuma há a presença de uma indústria de soda cloro. Segundo Lima (2008), esta indústria é a responsável pelo lançamento e contaminação deste metal no estuário do rio Botafogo. O Hg está chegando ao rio Itapessoca (Canal Oeste - #CO do Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca – SEI), uma vez que o rio botafogo possui uma ligação hídrica com o #CO do SEI (Cavalcante, 2003). Segundo Oliveira Filho (2015), o #CO importa sedimentos, principalmente na quadratura.

Figura 9.10: Gráfico univariado da concentração bruta do Hg do Testemunho I3 – Coletado no Sistema Estuário da Ilha de Itapessoca – Polo Industrial de Goiana

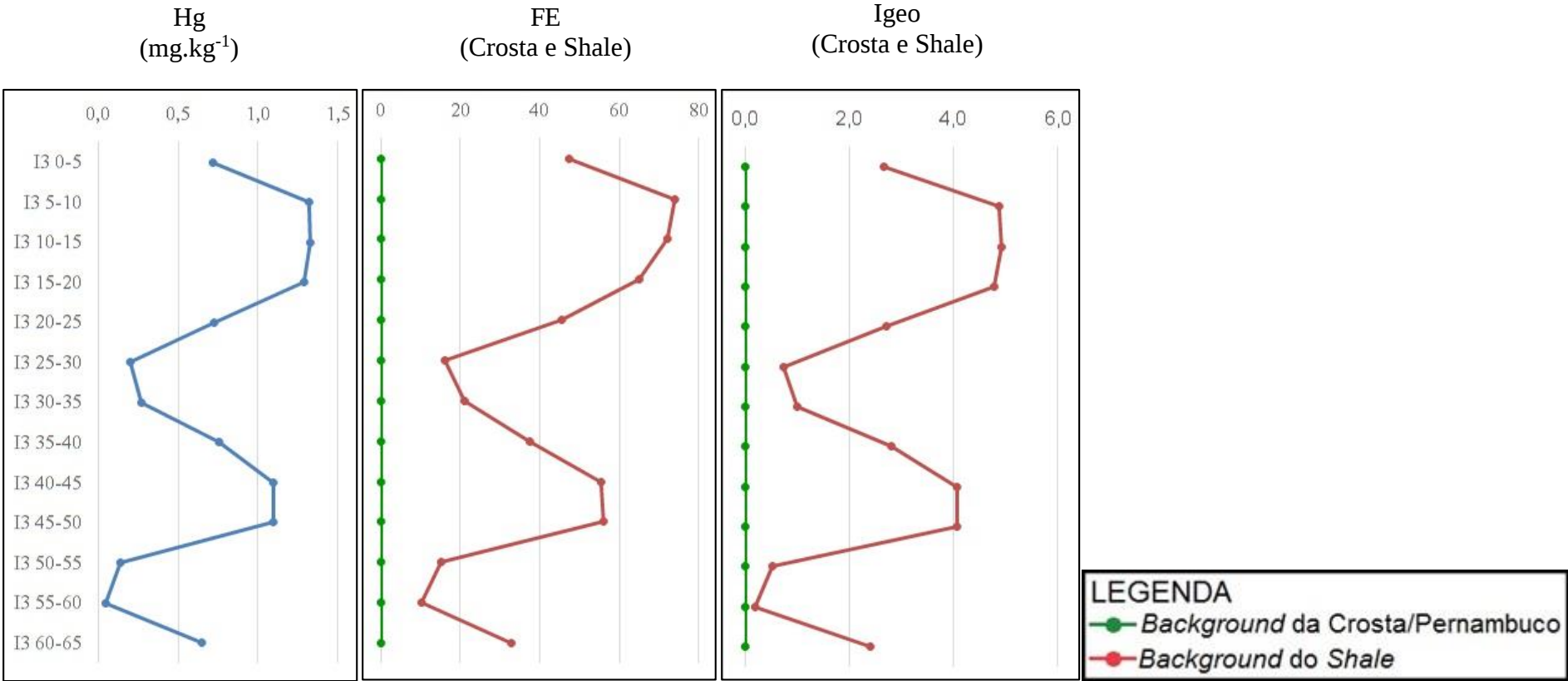


O FE e Igeo foram calculados tomando como base as médias da Crosta e *Shale* (Li, 2000; Krouskopf e Bird, 1995). O FE e o Igeo calculados a partir da média do *shale*, apresentou amostras com índices de FE muito enriquecido e Igeo altamente poluído (Figura 9.10). O mercúrio é um dos MP de maior toxicidade intrínseca. Baixas concentrações deste elemento químico podem causar sérios danos a biota e aos seres humanos.

Estudos realizados por Cavalcante (2003) demonstra que as ostras coletadas na comunidade ribeirinha de Tejucupapo, localizada no SEI, apresentam valores elevados de mercúrio. Estas por sua vez são comercializadas em Boa Viagem por vendedores ambulantes. Desta forma, Cavalcante (2003) comprova que o Hg está biodisponível no ambiente e foi inserido na cadeia trófica dos consumidores de frutos do mar pescado/coletado no SEI. A ingestão de frutos do mar desta região torna-se um risco a saúde por se tratar de um elemento de meia vida muito longa, sendo lentamente excretado, podendo ser bioacumulado (WHO, 2002).

O quarto grupo é formado pelo Mo, os resultados deste grupo não serão discutidos por apresentar baixa concentração no perfil I3, estando muito abaixo dos valores do limiar de qualidade estabelecido pelo CETESB (2001). O gráfico univariado juntamente com o de FE e Igeo estão apresentados nos anexos (ANEXO IX.V).

Figura 9.11: Gráfico do FE e Igeo do Perfil I3 Testemunhado no Sistema Estuarino da Ilha de Itapessoca – Complexo Industrial de Goiana



Padrões de Referência			
ERL - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	0,15	FE – Enriquecimento Extremamente Severo	> 50
ERM - USEPA, 1998 (mg.kg ⁻¹)	0,71	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo – Moderadamente a Poluído	2 a 3
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10	Igeo – Poluído a Muito poluído	3 a 4
FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25	Igeo – Muito Poluído	4 a 5
FE – Enriquecimento Muito Severo	> 25 a 50	Igeo - Altamente Poluído	> 5

9.2 ANALISE GEOQUÍMICA (MATRIZ DE CORRELAÇÃO - MC E ANALISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS - ACP) DO PERFIL TESTEMUNHADO NO PONTO DE AMOSTRAGEM I3

Os resultados obtidos a partir das análises estatísticas: MC e ACP, serão analisadas e discutidas em conjunto para o melhor entendimento da dinâmica ambiental da SEI. Na figura 9.11 está expresso a MC, onde os elementos são analisados a partir da correlação par a par. Entre os dezesseis elementos químicos que foram submetidos aos cálculos da MC (Ag, Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr, Zn, Zr) há maior destaque para Cu que apresentou correlação negativa com os demais elementos químicos.

A partir do gráfico dos *Loadings* (Figura 9.12) do ACP, é possível dividi-lo em três grupos de amostras separados com base na máxima variância:

1º Grupo - Ag, Al, As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Sn, Sr e Zn

2º Grupo – As, Mo, Sb e Zr

3º Grupo – Cu

O primeiro grupo de elementos químicos do gráfico dos *Loadings* do ACP, de forma geral, apresenta correlações positivamente relevante (medianas ou fortes) com o Al. É importante salientar que o elemento que possui maior peso estatístico na divisão dos elementos do gráfico do *Loadings* é o Al, uma vez que este elemento possui correlação positiva com a maioria dos elementos químicos estudados (As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr e Zn). Este grupo provavelmente é composto pelos elementos que estão adsorvidos nas argilas, uma vez que o alumínio está presente na composição dos argilominerais.

Já o segundo grupo é formado pela As, Mo, Sb e Zr elementos que provavelmente estão associados a fração mais grossa do sedimento, uma vez que no gráfico do ACP o Zr está neste grupo, além deste fato é possível notar que no gráfico da MC (Figura 9.11) o Zr tem correlações relevantes com os elementos deste grupo As (0,86); Mo (0,83), Sb (0,68).

O terceiro grupo é composto apenas pelo cobre, único elemento químico entre os analisados que possui correlação negativa (-0,68 – negativamente mediana) com o alumínio.

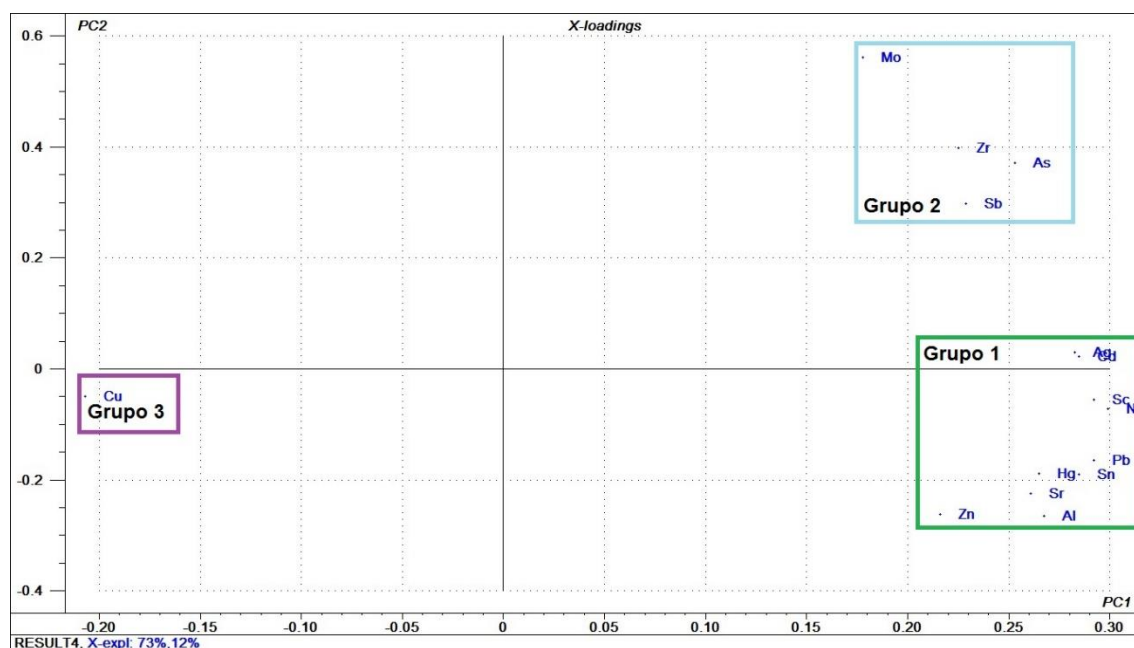
Figura 9.12: Matriz de Correlação do perfil I3, coletado no estuário do rio Massangana – Complexo Estuarino do Rio Itapessoca – PE

	Ag	Al	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Sc	Sn	Sr	Zn	Zr
Ag	1,00															
Al	0,76	1,00														
As	0,82	0,55	1,00													
Cd	0,95	0,75	0,82	1,00												
Cr	0,89	0,87	0,84	0,93	1,00											
Cu	-0,61	-0,68	-0,57	-0,55	-0,73	1,00										
Hg	0,74	0,83	0,56	0,81	0,83	-0,47	1,00									
Mo	0,59	0,25	0,87	0,57	0,60	-0,38	0,35	1,00								
Ni	0,90	0,93	0,78	0,91	0,97	-0,70	0,88	0,50	1,00							
Pb	0,88	0,97	0,69	0,87	0,93	-0,70	0,90	0,40	0,99	1,00						
Sb	0,61	0,49	0,84	0,68	0,74	-0,51	0,68	0,75	0,69	0,63	1,00					
Sc	0,61	0,49	0,84	0,68	0,74	-0,51	0,68	0,75	0,69	0,63	1,00	1,00				
Sn	0,85	0,94	0,67	0,83	0,87	-0,65	0,88	0,34	0,95	0,97	0,65	0,65	1,00			
Sr	0,84	0,86	0,60	0,83	0,82	-0,63	0,71	0,24	0,88	0,88	0,49	0,49	0,90	1,00		
Zn	0,68	0,64	0,41	0,76	0,63	-0,08	0,88	0,21	0,70	0,72	0,46	0,46	0,73	0,63	1,00	
Zr	0,72	0,46	0,86	0,73	0,76	-0,50	0,51	0,82	0,69	0,59	0,68	0,68	0,53	0,45	0,36	1,00

Onde:

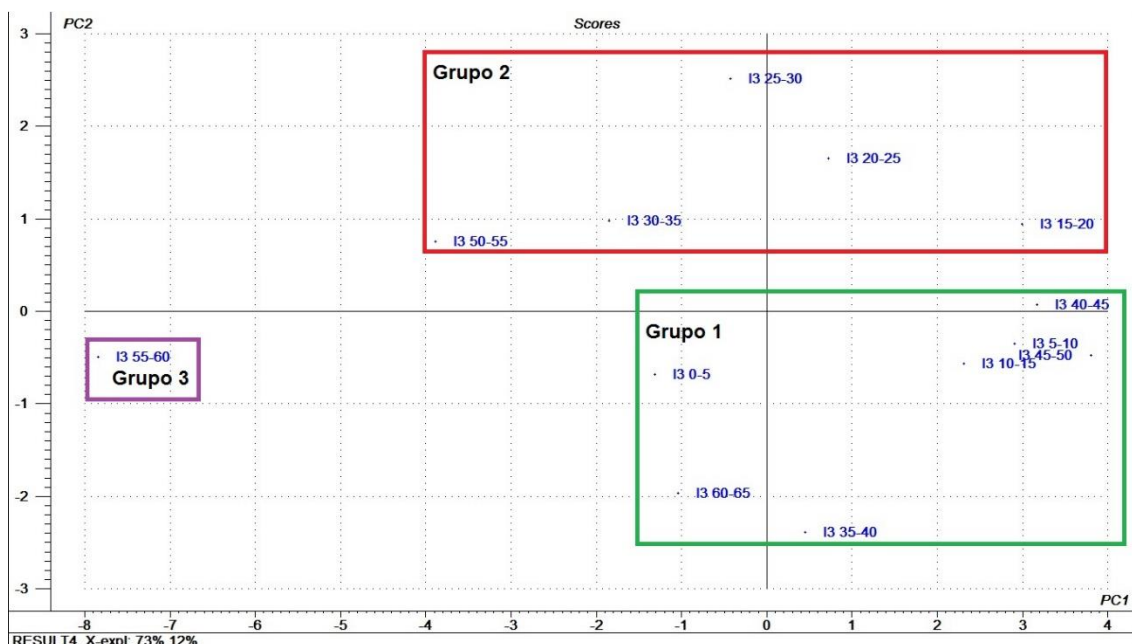
	$0,81 \leq IC \leq 1$ – Correlações Positivamente Forte
	$0,6 \leq IC < 0,8$ - Correlações Positivamente Mediana
	$-0,6 \leq IC < -0,8$ - Correlações Negativamente Mediana
	Destaque para as correlações com Al e Zr

Figura 9.13: Gráfico ACP – *Loadings* perfil I3, coletado no estuário do rio Itapessoca – Situado no Complexo Industrial de Goiana



O gráfico do ACP das *Scores* (Figura 9.13) expressa os agrupamentos das amostras com relação ao máximo de variância. Quando compara-se este gráfico ao do *Loadings* (Figura 9.12), pode-se perceber sobre quais amostras um determinado grupo de elementos químicos possuem maior influência, isso sobre a ótica da variância entre amostras – amostras e elementos – elementos.

Figura 9.14: Gráfico ACP – Scores perfil I3, coletado no estuário do rio Itapessoca – Situado no Complexo Industrial de Goiana



O gráfico das scores (Figura 9.13) divide as amostras do perfil I3 em três grupos:

1º Grupo: I3 0 - 5, I3 5 – 10, I3 10 – 15, I3 40 – 45, I3 35 – 40, I3 45 – 50 e I3 60 – 65

2º Grupo: I3 15 – 20, I3 20 – 25, I3 25 – 30, I3 30 – 35 e I3 50 – 55,

3º Grupo: I3 55 – 60

As amostras do primeiro grupo são formadas pelas secções superiores (de 05 – 10 a 10 – 15cm) e por secções basais (40 – 45 a 45 – 50 cm e 60 – 65 cm). Estas amostras apresentam concentrações elevadas de sedimentos mais finos que as demais secções do perfil I3. Também é possível destacar que os elementos que se correlacionam com estas amostras são os elementos do primeiro grupo do gráfico do *Loadings* (Figura 9.12) (Ag, As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Sn, Sr e Zn).

O segundo grupo é composto por secções do perfil localizadas mais ao meio do perfil (I3 15 – 20 a I3 30 – 35cm) e por uma amostra basal (I3 50 – 55), as amostras deste segundo grupo possui fração granulométrica um pouco mais grossa que as apresentadas pelas amostras do 1º grupo. Este grupo pode ser comparado ao 2º do gráfico dos *Loadings* (Figura 9.12).

Já o terceiro grupo é formado por apenas uma amostra (I3 55 – 60). Esta secção pode ser relacionada ao terceiro grupo do gráfico do *Loadings* (Figura 9.12) que é o cobre, único elemento que apresentou correlação negativa com todos elementos que foram submetidos ao MC (Figura 9.11).

Capítulo X: Conclusões

Nas últimas décadas houve um crescente aumento das atividades industriais (indústrias petroquímicas, estaleiros, refinaria entre outros) em Suape em substituição ao plantio da cana-de-açúcar, que pode ter provocado mudança da assinatura geoquímica dos sedimentos estuarinos da Baía de Suape (rios Massangana e Tatuoca). Inicialmente, pela exposição do solo para as constantes terraplanagens que tem carreado as partículas do solo para o estuário e com o posterior estabelecimento das indústrias ocorre a liberação de efluentes industriais, muitas vezes, com elevadas concentrações de contaminantes geoquímicos, principalmente metais pesados, decorrente de eventuais falhas no processo de tratamento.

Entre os elementos químicos que apresentaram destaque, devido à alta concentração nos sedimentos estuarinos da Baía de Suape e/ou por apresentar anomalias no Fator de Enriquecimento e/ou Índice de Geoacumulação estão a Ag, As, Cd, Mo, Sb e Sr.

Embora o Sr apresente concentrações elevadas e ter apresentado anomalia positiva no FE e Igeo, não pode ser considerado um contaminante, uma vez que este elemento possui baixa toxicidade. Além disso, o parâmetro utilizado como forma de comparação, que indicou anomalia no FE e Igeo, foi a média de solo da Baía de Suape, material terrígeno que apresente baixa concentração deste elemento químico, consequentemente indicando um menor enriquecimento nas amostras avaliadas.

O ponto de amostragem S6 está localizado na desembocadura do estuário dos rios Massangana Tatuoca. Desta forma, as assinaturas geoquímicas encontradas no perfil testemunhado neste ponto possui maior semelhança com os dados do rio Tatuoca estudado por Moraes (2013).

As assinaturas geoquímicas das amostras mais superficiais do perfil testemunhado no ponto de amostragem S7 apresentam características semelhantes as encontradas no solos de Suape, fato devido ao transporte de sedimentos oriundos de uma área onde foram realizadas obras de terraplanagem para a construção de uma refinaria, e posterior deposição no estuário.

Embora solos e sedimentos pertençam a compartimentos geoquímicos distintos podem ser utilizados para análises comparativas desde que tenha ocorrido algum tipo de influência de um para com o outro como é o caso do rios Massangana/Tatuoca que recebeu um grande aporte de solo oriundos das obras de terraplanagem da refinaria situada em Suape.

As assinaturas geoquímicas oriundas de elementos provenientes de atividades tecnogênicas podem ser relacionadas a acontecimentos históricos do mais recente para o mais antigo, os dados corroboram os seguintes eventos:

- 1º - Implantação e desenvolvimento do Complexo Industrial Portuário de Suape;
- 2º - O segundo intervalo de destaque corresponde ao período da crise de 1929 e a segunda guerra mundial, que influenciou influenciaram na produção açucareira levando a diminuição da produtividade. Consequentemente o solo ficou exposto a agentes erosivos fizeram o transporte deste para os estuários dos rios Massangana e Tatuoca;
- 3º - Um período mais antigo, nas primeiras décadas do século 19, também está associado a atividade açucareira.

Com relação ao estuário do rio Itapessoca, acreditava-se inicialmente que se tratava de um estuário preservado, do ponto de vista da geoquímica, por se tratar de um ambiente de baixa atividade industrial e por possuir predomínio de lavoura de cana-de-açúcar. No entanto foi observado a presença de Ag, As, Cu, Hg, Mo e Zn com relativa elevação na concentração, com destaque para o Hg, devido à sua elevada concentração, e por se tratar de um metal pesado de elevada toxicidade intrínseca.

Tanto nos estuários dos rios Massangana/Tatuoca, quanto no estuário do rio Itapessoca, há certo aumento na concentração de As. Este elemento deve ser de origem geogênica, embora Suape (rio Massangana) e Goiana (rio Itapessoca) apresentem formações geológicas distintas, com exceção a formação Barreiras. Estudos realizados em diversos estuários do estado de Pernambuco, tanto na bacia Pernambuco como na bacia Paraíba, apresentaram elevação na concentração de As, com relação à média da crosta terrestre (1,6) .

Análise de Componentes Principais e Matriz de Correlação foram utilizadas como ferramentas de análise geoestatística eficientes na avaliação geoquímica nas duas áreas de estudos. Os resultados obtidos a partir do FE e Igeo mostraram as afinidades geoquímicas naturais (geogênicas) e os elementos que apresenta aporte de origem antrópica.

Faz-se necessário fiscalização e avaliação ambiental dos estuários dos rios de Suape, principalmente dos estuários dos rios Massangana e Tatuoca por se tratar de uma área industrial que por várias vezes ocorreram falhas no processo de tratamento dos efluentes. Já o Sistema estuarino do rio Itapessoca apresenta poucos estudos científicos. Portanto, faz-se necessário a realização de mais trabalhos acadêmicos que visem avaliar a dinâmica ambiental local. Também é de grande importância que estes sistemas

estuarinos passem por uma acurada avaliação ambiental por parte dos órgãos responsáveis, uma vez que apresenta concentração elevada de contaminantes geoquímicos.

Recomenda-se a realização de trabalhos futuros com maior grau de detalhamento que realizem a datação de perfis sedimentares coletados nos estuários da Baía de Suape, por se tratar de um ambiente que sofreu alteração na taxa de deposição devido às obras de terraplanagem e constantes dragagens.

Referências Bibliográficas

ABDALLAH, M. A. M. 2014. Chromium geochemistry in coastal environment of the Western Harbour, Egypt: water column, suspended matter and sediments. *J Coast Conserv.*, 18:1–10.

ADJROUD O, MOUFFOK S. 2009 Effects of nickel chloride on hematological and developmental parameters in Wistar albino pregnant rats. *Assiut Univ Bull Environ Res.*, 12: 1–9.

ADJROUD O. 2013 The toxic effects of nickel chloride on liver, erythropoiesis, and development in Wistar albino preimplanted rats can be reversed with selenium pretreatment. *Environ Toxicol.*, 28: 290–298.

AIREY D. 1983. Mercury in human hair due to environment and diet: a review. *Environ Health Perspect.*, 52:303-16.

ALCORLO, P., OTERO, M., CREHUET, M., BALTANÁS, A., MONTES, C. 2006. The use of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*, Girard) as indicator of the bioavailability of heavy metals in environmental monitoring in the River Guadiana (SW, Spain). *Science of the Total Environment.*, 366; 380–390.

ALFONSO, J. A., MARTÍNEZ, M., FLORES, S., BENZO, Z. 2006. Distribution of Trace Elements in Offshore Sediments of the Orinoco Delta. *Journal of Coastal Research.*, 22: 3.

ALHEIROS, M. M., 1998. Riscos de escorregamento na Região Metropolitana do Recife. Tese de Doutorado 135 p.

ALMEIDA, J. A. C. 2000. Calcários Recifais eocênicos da Formação Maria Farinha na Sub-Bacia de Alhandra, Paraíba: Aspectos Taxionômicos, Paleoecológicos, Paleoambientais e Estratigráficos. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Dissertação de Mestrado, 164 p.

ALVES, J. L. 2011. Suape e sua trajetória Histórica: Um Olhar Geográfico. Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Tese de Doutorado., 259p.

ANDRADE, M. C., 2001. Espaço e tempo na agroindústria canavieira de Pernambuco. *Estudos Avançados.*, 15: 267-280.

ARINE, D. R. 2000. Análise de águas de superfície e sedimentos de rios da região de Iperó, SP, por espectrometria de absorção atômica e por ativação neutrônica. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo. Dissertação de Mestrado.

BARBOSA, J. A., SOUZA, E. M., LIMA FILHO, M. F., NEUMANN, V.H. 2003. A estratigrafia da Bacia da Paraíba: Uma reconstituição. *Estudos Geológicos*, 13: 89-108.

BARBOSA, J. A., 2007. A Deposição Carbonática na Faixa Costeira Recife-Natal: Aspectos Estratigráficos, Geoquímicos e Paleontológicos. Tese de doutorado, 270 p.

BARBOSA, J. A., SOUZA, E.M., LIMA FILHO, M.F., NEUMANN, V.H. 2003. A estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração. *Estudos Geológicos*, 13: 89-108.

BARBOSA, J.A. 2004. Evolução da Bacia da Paraíba durante o Maastrichtiano-Paleoceno: formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Dissertação de Mestrado, 230p

BARBOSA, J.A., KELLER, G., ADATTE, T., NEUMANN, V.H., LIMA FILHO, M. 2006. Maastrichtian- Paleocene deposition in Paraíba Basin. *Anuário do Instituto de Geociências*, 29(1): 480-481

BARBOSA, J.A., LIMA FILHO, M.F. 2006. Aspectos estruturais e estratigráficos da faixa costeira Recife-Natal: observações em dados de poços. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 14(1): 287-306.

BEURLIN, K., 1967a. Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 16(1): 43-53.

BEURLIN, K., 1967b. Paleontologia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 16(1): 73-79.

BRUNO, A. P. S. 2005. Concentração de metais pesados e elementos-traço em dois trechos da planície de inundação do Baixo Curso Rio Jaboatão, Pernambuco, Brasil. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Dissertação de mestrado, 66p.

BUTTERMAN, W. C., CARLIN, J. F. 2004. U.S. Geological Survey Mineral Commodity Profiles: Antimony (Open-File Report 03-019). U.S. Department of the Interior & U.S. Geological Survey.

CALLENDER, E., GOLDBERGER, M. B., REYNOLDS, R. L. GROSZ, A. 2001. Geochemical signatures of power plant emissions as revealed in sediment cores from West Virginia reservoirs. *Ann. Meeting Geol. Soc. Am.*

CENCI, R.M., MARTIN, J.M. 2004. Concentration and fate of trace metals in Mekong River delta. *Sci Total Environ*, 332:167–182.

CHE, Y., HE, Q., LIN, W.-Q. 2003. The distributions of particulate heavy metals and its Bay, China. *Mar. Pollut. Bull*, 46, 123–131.

CRUZ L. R., LIMA FILHO, M. F., NEUMANN, V. H. M., JARDIM DE SÁ, E. F., SILVA, F. C. A., FRUTUOSO JR., L. J., NASCIMENTO, M. A. L., GUEDES, I. M. G.,

ANTUNES, A. F., ALMEIDA, C. B., MELO, K. J. V. 2003. As unidades siliciclásticas da sub-bacia de Pernambuco: uma revisão lito-estratigráfica. In: II Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Rio de Janeiro. p.50.

CURRAY, J. R. 1969. Estuaries, lagoons, tidal, flats and deltas. In: Stanley, D. J.(ed.) *The new concept of continental margin sedimentation* 1-30. Amer. Geol. Inst., Washington (DC).

DINESCU, L. C; DULIU, O. G.; BADEA, M.; MIHĂILESCU, N. G.; VANGHELIE, I. M. 1998. Investigation of vertical distribution of major and trace elements in Matita Lake (Danube Delta) sediments by activation analysis. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 238 (1/2): 75-78.

DINESCU, L.C. e DULIU, O.G. 2000. Heavy metal pollution of some Danube Delta lacustrine sediments studied by neutron activation analysis. *Applied Radiation and Isotopes*, 54: 853-859.

DOUMETT, S., LAMPERI, L., CHECCHINI, L., AZZARELLO, E., MUGNAI, S., MANCUSO, PETRUZZELLI, S., DEL BUBBA, G. M. 2008. Heavy metal distribution between contaminated soil and *Paulownia tomentosa*, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: influence of different complexing agents. *Chemosphere*, 72: 1481–1490.

DUFFUS, J.H. 2002. “Heavy Metals”: A meaningless term? *Pure and Applied Chemical*, 74(5): 793-807.

ESKINAZI-LEÇA, E., NEUMANN-LEITÃO, S., COSTA, M. F. 2004. *Oceanografia: um cenário tropical*. Recife: Bagaço, 761 p. ISBN 8574095826

FARIAS, L. A. 2006. Avaliação do conteúdo de mercúrio, metilmercúrio e outros elementos de interesse em peixes e em cabelos e dietas de pré-escolares da região Amazônica. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo. São Paulo. Tese de Doutorado.

FEIJÓ, F. P. 1994. Bacia Pernambuco-Paraíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, Petrobrás, 8(1): 143 – 148.

GONÇALVES, C.; FÁVARO, D. I. T.; MELFI, A. J.; OLIVEIRA, S. M. B.; VASCONCELLOS, M. B. A.; FORTI, M. C.; FOSTIER, A. H.; GIMARÃES, J. R. D.; BOULET, R. 1999. Aplicação da análise por ativação neutrônica à investigação da composição de solos e sedimentos da Bacia do Rio Vila Nova e Vale do Rio Amapari, Amapá –Brasil. *Geoch. Brasilië.*, 13,(1): 27-39.

GROOS, P. G. K., ESSER, B. K., WILLIAMS R. W., HUNT J. R. 2014. Isotope Effect of Mercury Diffusion in Air. *Environ. Sci. Technol.* 48, 227–233.

GUERRA, A. T., GUERRA, A. J. T. 2011. *Novo dicionário geológico-geomorfológico*. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 648 p. ISBN 978528606256

H.S. LIM, J.S. LEE, H.T. CHON, M. 2008. Sager, Heavy metal contamination and health risk assessment in the vicinity of the abandoned Songcheon Au–Ag mine in Korea, *J. Geochem. Explor.*, 96: 223–230.

HARIKUMAR, P.S., NASIR U. P., MUJEEBU RAMHMAN, M. P., 2009. Distribution of heavy metals in the core sediments of a tropical wetland system. *J. Eviron. Sci. tech.*, 6 (2): 225-232.

HOCKMANN, K., LENZ, M., TANDY, S., NACHTEGAAL, M., JANOUSCH, M., SCHULIN, R. 2014. Release of antimony from contaminated soil induced by redox changes. *Journal of Hazardous Materials*, 275: 215–221.

HODGSON, E.; LEVI, P.E. 1997. Absorption and distribution of toxicants. In: Hodgson, E.; Levi, P.E. (eds): *A textbook of Modern Toxicology*. Stamford, C.T., Aplpleton; Lange 27-56.

HORTELLANI, M. A., SARKIS, J. E. S., ABESSA, D. M. S., SOUSA, E. C. P. M. 2008. Avaliação da contaminação por elementos metálicos dos sedimentos do estuário Santos – São Vicente. *Quim. Nova*, 31(1): 10-19.

HUERTA-DIAZ, M. A., MUÑOZ-BARBOSA, A., OTERO, X. L., VALDIVIESO-OJEDA, J., AMARO-FRANCO, E. C. 2014. High variability in geochemical partitioning of iron, manganese and harmful trace metals in sediments of the mining port of Santa Rosalia, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Geochemical Exploration*, 145: 51–63.

IARC. 1975. Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Man. Lyon : International Agency for Reasearch on Cancer,. 2v.

J.L. RAYNER, I. SNAPE, J.L. WALWORTH, P.M. HARVEY, S.H. 2007. Ferguson, Petroleumhydrocarbon contamination and remediation by microbioventing at subAntarctic Macquarie Island, Cold Reg. Sci. Technol., 48: 139–153.

JACKSON, E., 1991. A User's guide to Principal Components. *Environmental Pollution*, 105: 355-366.

KA`KELA` R, KA`KELA` A, HYVA`RINEN H. 1999. Effects of nickel chloride on reproduction of the rat and possible antagonistic role of selenium. *Comp Biochem and Physiol C*, 123: 27–37.

KIM, E. J., BAEK, K. 2015. Enhanced reductive extraction of arsenic from contaminated soils by a combination of dithionite and oxalate. *Journal of Hazardous Materials*, 284: 19–26.

KIM, G., KWAK, J., KIM, K. R., LEE, H., KIM, K. W., YANG, H., PARK, K. 2013. Rapid detection of soils contaminated with heavy metals and oils by laser induced breakdown spectroscopy (LIBS). *Journal of Hazardous Materials*, 263: 754–760.

KRAUSS, L. A. A. 2011. Geoquímica de sedimentos holocênicos de Suape-PE: estudo de perfil de reconhecimento. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Dissertação de Mestrado, 57 p.

LAING, G.D., MEERS, E., DEWISPELAERE, M., VANDECASTEELE, B., RINKLEBE, J., TACK, F. M. G., VERLOO, M. G. 2009. Heavy metal mobility in intertidal sediments of the Scheldt estuary: field monitoring. *Sci Total Environ*, 407:2919–2930.

LIMA FILHO, M.F., 1998. Análise Estrutural e Estratigráfica da Bacia Pernambuco. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 139p

- LIMA, E. A. M. 2008 Avaliação da qualidade dos sedimentos e prognósticos geoquímico ambiental, da zona estuarina do rio Botafogo, Pernambuco. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Tese de Doutorado, 172 p.
- LIMA, F. H. O., KOUTSOUKOS, E. A. M. 2002. Calcareous nannofossil biostratigraphy in the Maastrichtian of the Pernambuco-Paraíba Basin, NE Brazil. *In*: Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 6, São Pedro, Boletim de resumos, 279-284.
- 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. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Dissertação de Mestrado, 64 p.
- LIMA, M. M. R. B. F. 2011. Evolução geoquímica ambiental e avaliação da qualidade dos sedimentos estuarinos do Rio Jaboatão, Pernambuco. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Tese de Doutorado, 120 p.
- LIU, W.X., LI, X.D., SHEN, Z.G., WANG, D.C., WAI, O.W.H., LI, Y.S. 2003. Multivariate statistical study of heavy metal enrichment in sediments of the Pearl River Estuary. *Environ. Pollut.*, 121, 377–388.
- LONG, E. R., FIELD, J., MACDONALD, D., 1998. Predicting toxicity in marine sediments with numerical sediment quality guidelines. *Environ Toxicol. Chem.*, 17(4):714-727.
- LONG, E.R., MACDONALD, D.D., SMITH, S.L., CALDER, F.D., 1995. Incidents of adverse 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. *Revista Brasileira de Geociências*, 18: 476-482.
- MAESTRO. Maestro for Windows Model A65-B32 version 5.30. 2001.
- MAGALHÃES, M. N., LIMA, A. C. P., 2002. Noções de Probabilidade e Estatística. 5ª Ed. São Paulo. Editora USP, 392p.
- MARINS, R.V., PAULA FILHO, F. J., LACERDA, L. D., RODRIGUES, S. R., MARQUES, W. S., 2004. Distribuição do mercúrio total como indicador de poluição urbana industrial na costa brasileira. *Química Nova*, 27: 763-770.
- MARQUES, J.S.J., RANGEL T.P., BRITO, F.P., ALMEIDA, M.G., SALOMÃO, M.S.M.B., GOBO, A.A.R., SOUZA-SANTOS, L.P., ARAÚJO-CASTRO, C.M.V., COSTA, M.F., REZENDE, C.E. 2011. Geoquímica de Metais em Sedimentos da Zona Estuarina do Complexo Industrial Porto de Suape, PE – Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 11(4): 379-387.
- MCGEER, J. C., WOOD, C. M. 1998. Protective effects of water Cl⁻ on physiological responses to waterborne silver in rainbow trout. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, (55)11: 2447–2454, DOI: 10.1139/cjfas-55-11- 2447.

MELO, G. V., BAPTISTA NETO, J. A., MALM. O., FERNANDEZ, M. A. S., PATCHINEELAM, S. M. 2014. Composition and behaviour of heavy metals in suspended sediments in a tropical estuarine system. *Environ Earth Sci.*, DOI 10.1007/s12665-014-3491-3

MOITA NETO J.M., MOITA, G.C., 1998. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. *Química Nova*, 21(4): 467-469.

MORAES, A. S. 2013. Comportamento geoquímico de elementos maiores e traço em solos e sedimentos no Complexo Industrial Portuário de Suape, Brasil. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Tese de Doutorado, 116 p.

MORAES, A. S. 2008. Geoestatística aplicada a geoquímica ambiental no estudo da qualidade dos sedimentos do rio Tatuoca, complexo industrial portuario de Suape. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Dissertação de Mestrado, 60 p.

MORAIS, D. M. F. 2008. Sismoestratigrafia do cretáceo superior/neógeno nas bacias de Pernambuco e da Paraíba, NE do Brasil. Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Dissertação de Mestrado, 79 p.

MORGAN, I. J.; HENRY, R. P.; WOOD, C. M. 1997. The mechanism of acute silver nitrate toxicity in freshwater rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) is inhibition of gill Na⁺ and Cl⁻ transport. *Aquat. Toxicol.*, 38 (1-3): 145-163. DOI: 10.1016/S0166-445X(96)00835-1.

MORTON, A. J., 1972. Spacial and temporal distribution of suspended sediment in Narragansett Bay and Rhode Island. In Nelson, B. W. (ed.). *Environmental framework of coastal plain estuaries* Geol Soc. Amer. Menm., 133: 131-141.

MOTA-FILHO, F.O., 2006. Avaliação de contaminantes industriais em elementos bióticos e abióticos no município de Belo Jardim – PE. Tese(doutorado). Programa de Pós Graduação em Geociências. Área de Concentração em Geologia Sedimentar e Ambiental. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Tese de Doutorado. 178 p.

MUNIZ, G. C. B. 1993. Novos moluscos da Formação Gramame, Cretáceo Superior dos Estados da Paraíba e de Pernambuco, Nordeste do Brasil. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco. Publicação Especial 1, 202 p.

OKORO, H. K., FATOKI, O. S., ADEKOLA, F. A. XIMBA, B. J. SNYMAN, R G. 2014. Geochemical assessment of sediment in Cape Town harbour, South Africa. *Bull. Chem. Soc. Ethiop.* 28:1.

OLIVEIRA, M. M. F. 1978. Estudo Faciológico da Formação Maria Farinha. Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Dissertação de Mestrado, 113 p.

ORTEC. INTERWINNERTM 6.0 MCA Emulation, Data and Analysis software for gamma and alpha spectroscopy IW B-32 2004. Oak Ridge, TN, USA, 2004.

PAIVA, A. C., 2005. Dispersão do chumbo em ambientes aquáticos da região de Belo Jardim – PE. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Dissertação de mestrado, 69 p.

PLANT J.A., ANNELLS R.N., HASLAM H.W., STEENFELT A., VARET J. 2001. Sustainability of the earth's surface environment: a european geoscience perspective. British Geological Survey Research Report, RR/00/05.

PRITCHARD, D. W. 1952. Estuarine hydrography. In: Advances in Geophysics (H.E. Landsberg, ed.). Academic Press, New York 243-280 p.

RAFEL, Y., et. al. 1985. Antimony accumulations in the hair of various population groups. *Ad Ravorkhr Kirg*, 5: 13-14.

RIBEIRO, A. P. 2006. Procedimento de fracionamento comparado a modelo de atenuação para a avaliação de mobilidade de metais pesados em sedimentos da Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo. Tese de Doutorado.

ROBBINS, S. L., COTRAN, R. S., KUMAR, V., ABBAS, A. K., FAUSTO, N. 2010. Robbins & Cotran patologia: bases patológicas das doenças . 8.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1458 p. ISBN 9788535234596.

SAINI, S., NAIR, N., SAINI, M. R. 2014. Effects of gestational administration of nickel on postnatal development in Swiss albino mice. *Human and Experimental Toxicology*, 33:12.

SANTOS, C. A. 2007. Análise da estabilidade morfodinâmica das formações superficiais na área estuarina de Itapessoca Goiana - PE. Centro Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco. Recife Dissertação de Mestrado 109 p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. 2002 Manguezal: Ecossistema que ultrapassa suas próprias fronteiras. In: Congresso Nacional de Botânica, 53, Recife: 34-37.

SCHLICHT, P., BENGTSON, P., HAMBACH, U., KRUMSIEK, K., KOUTSOUKOS, E. 1999. Ciclos de Calcário e Marga do Maastrichtiano da Bacia Pernambuco-Paraíba (NE Brasil) – Evidências de Imposição Orbital?. In: Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil, 5, Serra Negra, Boletim de resumos, 121-124.

SEARLE, C. E. 1976. ACS Chemical Carcinogens. Washington (DC): ACS Monograph 173.

SHAHRISTANI. H., 1976. Mercury in hair as an indicator of total body burden. *Bull of the World Health Organization*, 53:105-120.

SHIMAMOTO, G. G., KAZITORIS, B., LIMA, L. F. R., ABREU, N. D., SALVADOR, V. T., BUENO M. I. M. S. 2011. Quantificação de antimônio em garrafas de

politereftalato de etileno (pet) brasileiras por fluorescência de raios-x e avaliação quimiométrica para verificar a presença de pet reciclado através do teor de ferro. *Quim. Nova*, 34 (8): 1389-1393.

SIBLERUS R, KIENHOLZ E. 1994. Evidence that mercury from silver dental fillings be an etiological factor in multiple sclerosis. *Sci Total Environ*, 142(3): 205.

SILVA, C.R., MELLO, E.F., ALMEIDA, C.N. 2012. Proposta para avaliação de riscos geológicos à saúde ambiental em áreas de mineração. *Revista Brasileira de Geociências*, 42 (2): 303-322.

SILVA, J. B. 2006. Territorialidade da pesca no estuário de Itapessoca - PE: técnicas, petrechos, espécies e impactos ambientais. Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Dissertação de Mestrado, 83 p.

SILVA, J. B. 2012. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo do ecossistema manguezal em Pernambuco. Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Tese de Doutorado, 183 p.

SILVA, R. F. 2012. Avaliação ecotoxicológica das concentrações de chumbo e elementos-traço nos solos e água no município de Belo Jardim-PE. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. Dissertação de Mestrado, 85 p.

SMEDLEY, P.L., KINNIBURGH, D.G.2002. A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters, *Appl. Geochem.*, 17: 517–568.

SOUZA, E. M. 1999. Levantamento radiométrico das unidades estratigráficas da Bacia Paraíba. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Dissertação de Mestrado, 152 p.

SOUZA, E.M. 2006. Estratigrafia da seqüência clástica inferior (andares Coniaciano-Maastrichtiano Inferior) da Bacia da Paraíba, e suas implicações paleogeográficas. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco Recife. Tese de Doutorado, 350 p.

SPALDING, M., BLASCO, F. FIELD, C. 1997. World Mangrove Atlas. The International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa, Japan . 178.

SPRIEGEL, M. R., 1972. Estatística. São Paulo, Editora McGraw-Hill do Brasil, 580p.

STAUDINGER, K. C; ROTH, V. 1998. Occupational lead poisoning. *American Family Physician*.

SUGUIO, K. 2003. Geologia sedimentar. São Paulo: Edgard Blucher. 400 p. ISBN 8521203179.

SUNDARAY, S. K., NAYAK, B. B., LEE, B. G., BHATTA, D. 2014. Spatio-temporal dynamics of heavy metals in sediments of the river estuarine system: Mahanadi basin (India). *Environ Earth Sci.*, 71:1893–1909.

SUZUKI, T., YAMAMOTO, R. 1982. Organic mercury levels in human hair with and without storage for eleven years. *Bull Environ Contam Toxicol*, 28:186-188.

TEÓDULO, M.J.R., LIMA, E.S., NEUMANN, V.H.M.L., LEITE, P.R.B., SANTOS, M.L.F. 2003. Comparação de métodos de extração parcial de metais traço em solos e sedimentos de um estuário tropical sob a influência de um complexo industrial portuário, Pernambuco Brasil. *Estudos Geológicos*, 13: 23-34.

TINOCO, I. M. 1971. Foraminíferos e a passagem entre o Cretáceo e o Terciário em Pernambuco. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 147 p.

TOMMASI, L. R. 2008. Meio ambiente & oceanos. São Paulo: Editora SENAC São Paulo, 236 p. ISBN 9788573597707.

TURNER, A. 2003. Salting out of chemicals in estuaries: implications for contaminant partitioning and modeling. *Sci Total Environ*, 599–612.

UNESP. 2015. http://www2.fc.unesp.br/ivq/LVQ_tabela (acessa em 10/01/2015)
USEPA, 1998. EPA's Contaminated Sediment Management Strategy. Washington, USEPA, EPA-823-R-98-001.

VOET, D., VOET, J. G., PRATT, C. W. 2014. Fundamentos de Bioquímica: a vida em nível molecular. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 1168 p. ISBN 9788582710654.

WEBELEMENTS. 2015. <https://www.webelements.com> (acesso em 10/01/2015).

WEISS B. 1996. Long ago and far away: a retrospective on the implications of Minamata. *Neurotoxicology*, 17(1):257-263.

YUSOF, A.M.; AKYIL, S. WOOD, A.K.H. 2001. Rare earth elements determination and patterns in sediments of a polluted marine environment by instrumental neutron activation analysis. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 249, (2): 333 – 341.

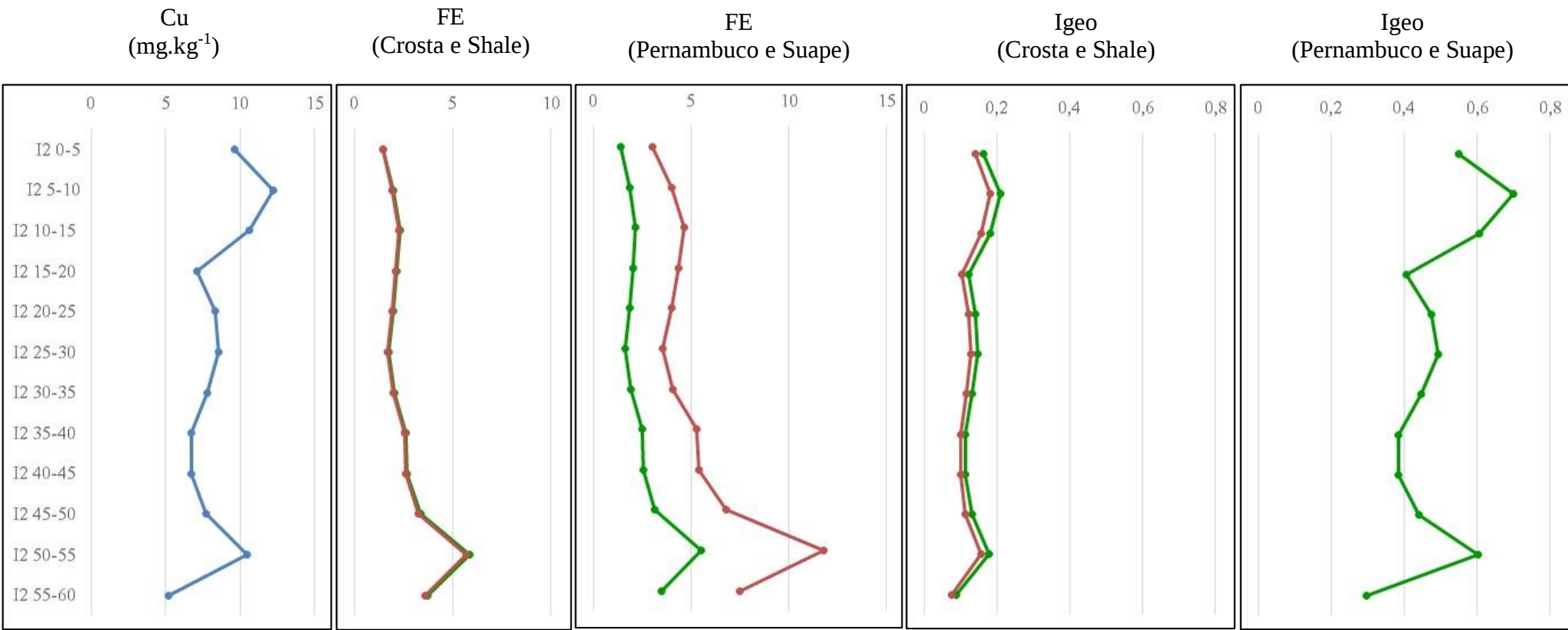
IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry, Chemistry Compendium of Chemical Terminology, 2nd Edition, 1997

SOARES, M.C.C., MIZUSAKI, A.M.P., GUERRA, T., VIGNOLI, M.L., 2004. Análise Geoquímica dos Sedimentos de Fundo do Arroio do Salso, Porto Alegre – RS, Brasil. *Porto Alegre, Pesquisas em geociências*, 31(1):39-50

THOMAS, R., MEYBECK, M., 1996. The use of particulate material. *Water Quality Assessments – A Guide to Use of Biota, Sediments, and Water in Environmental Monitoring*. Chapter 4; D. Chapman (Ed.). London (UK), Unesco/who/Unep. (2nd ed.).

Anexos

Anexo VIII.I: Gráfico do FE e Igeo do Cu do Perfil I2 coletado Testemunhado no rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana



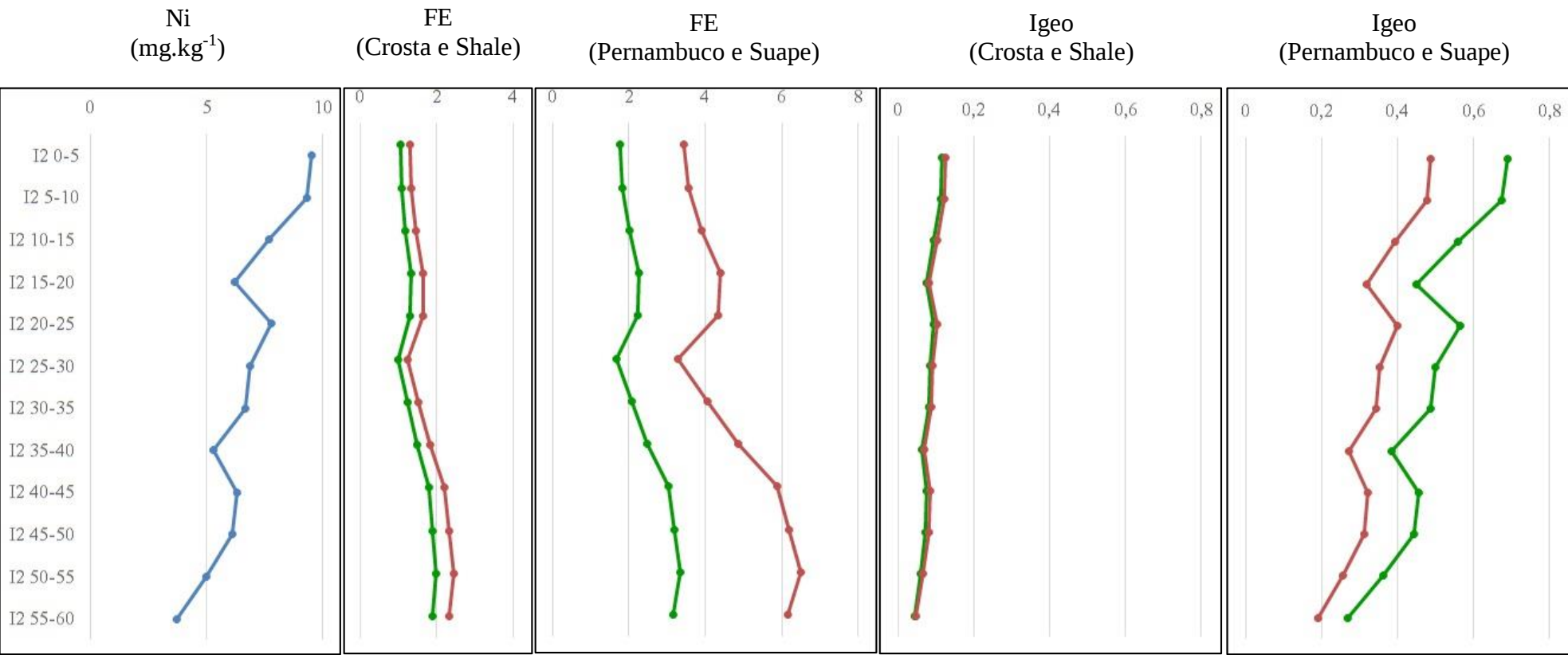
Padrões de Referencia	
FE – Não Enriquecido	≤ 1
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10
FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25
Igeo – Nível Basal	< 0
Igeo – Não Poluído	0 a 1

LEGENDA

Background da Crosta/Pernambuco

Background do Shale

Anexo VIII.II: Gráfico do FE e Igeo do Perfil I2 coletado Testemunhado no rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana



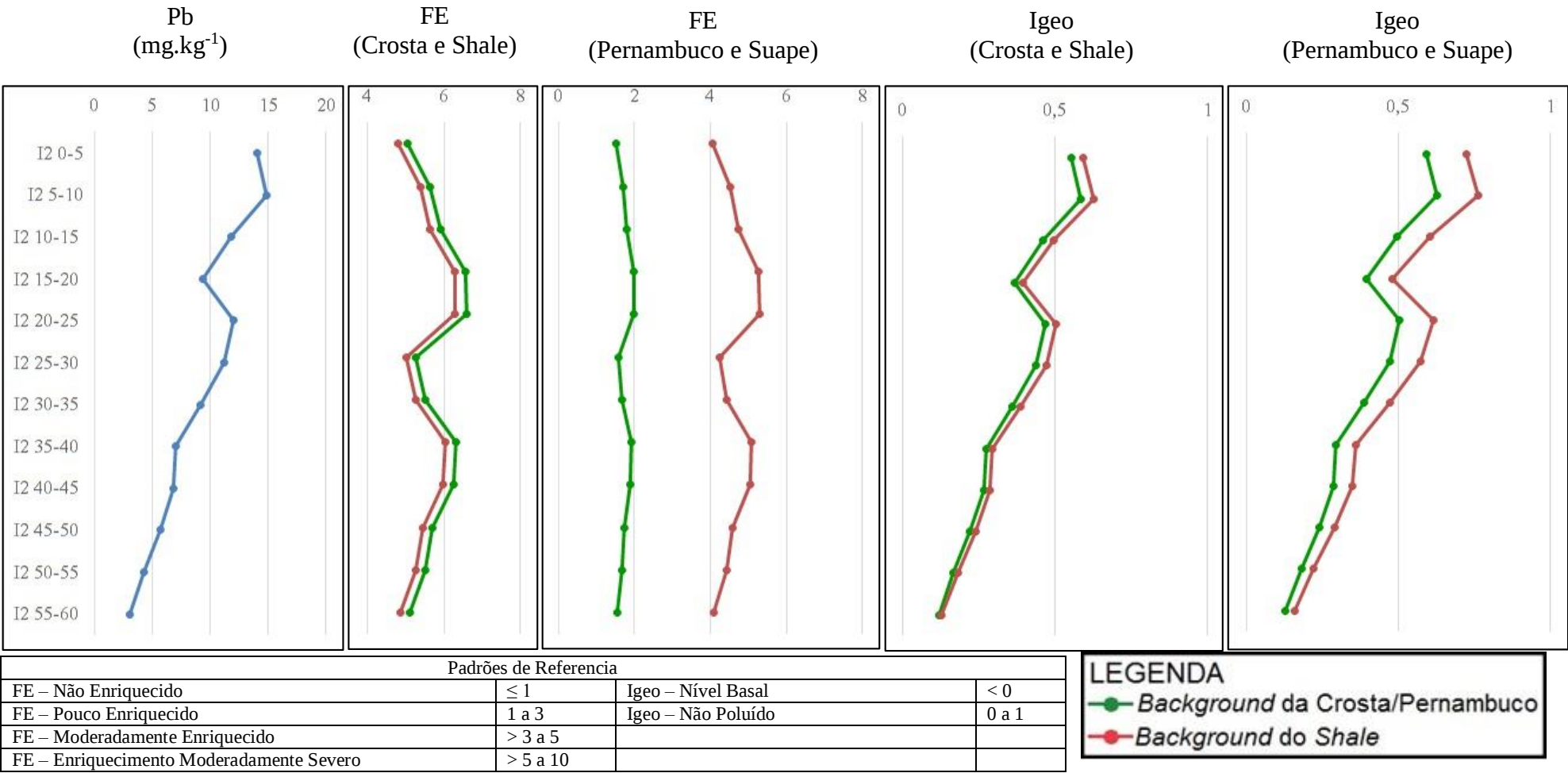
Padrões de Referencia	
FE – Não Enriquecido	≤ 1
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10
Igeo – Nível Basal	< 0
Igeo – Não Poluído	0 a 1

LEGENDA

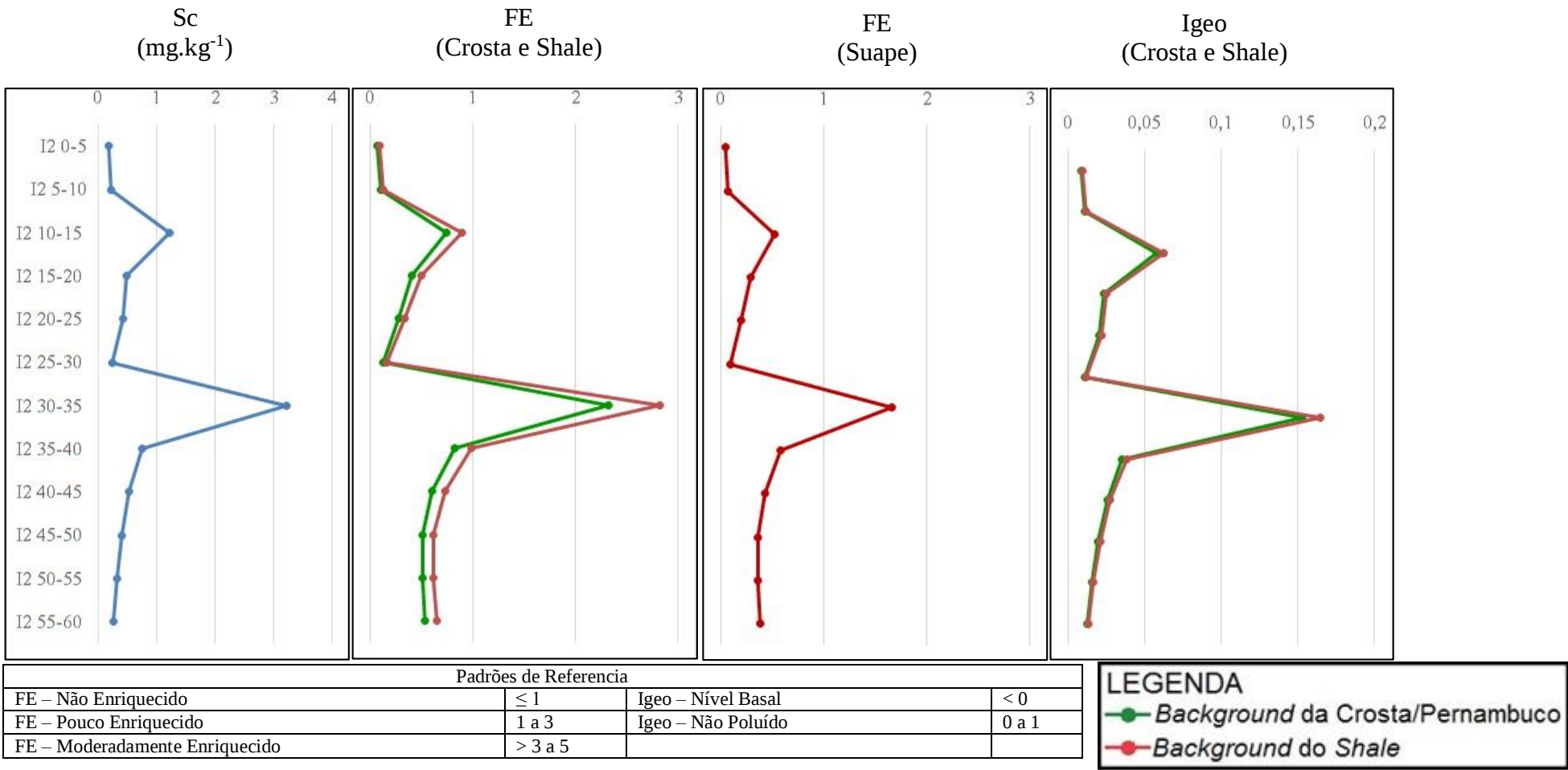
Background da Crosta/Pernambuco

Background do Shale

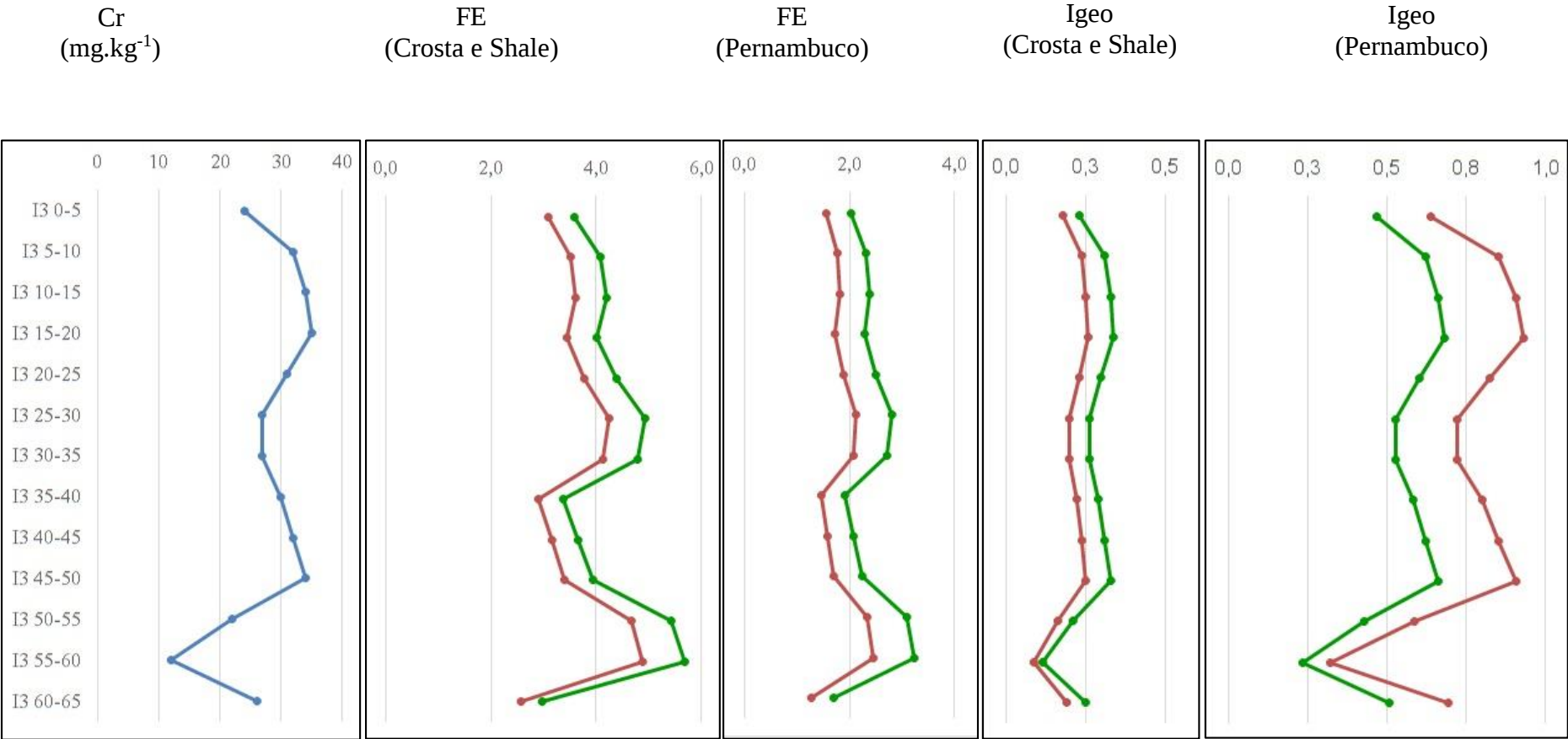
Anexo VIII.III: Gráfico do FE e Igeo do Pb do Perfil I2 coletado Testemunhado no rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana



Anexo VIII.IV: Gráfico do FE e Igeo do Sc do Perfil I2 coletado Testemunhado no rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana



Anexo IX.I: Gráfico do FE e Igeo do Cr do Perfil I3 coletado Testemunhado no rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana



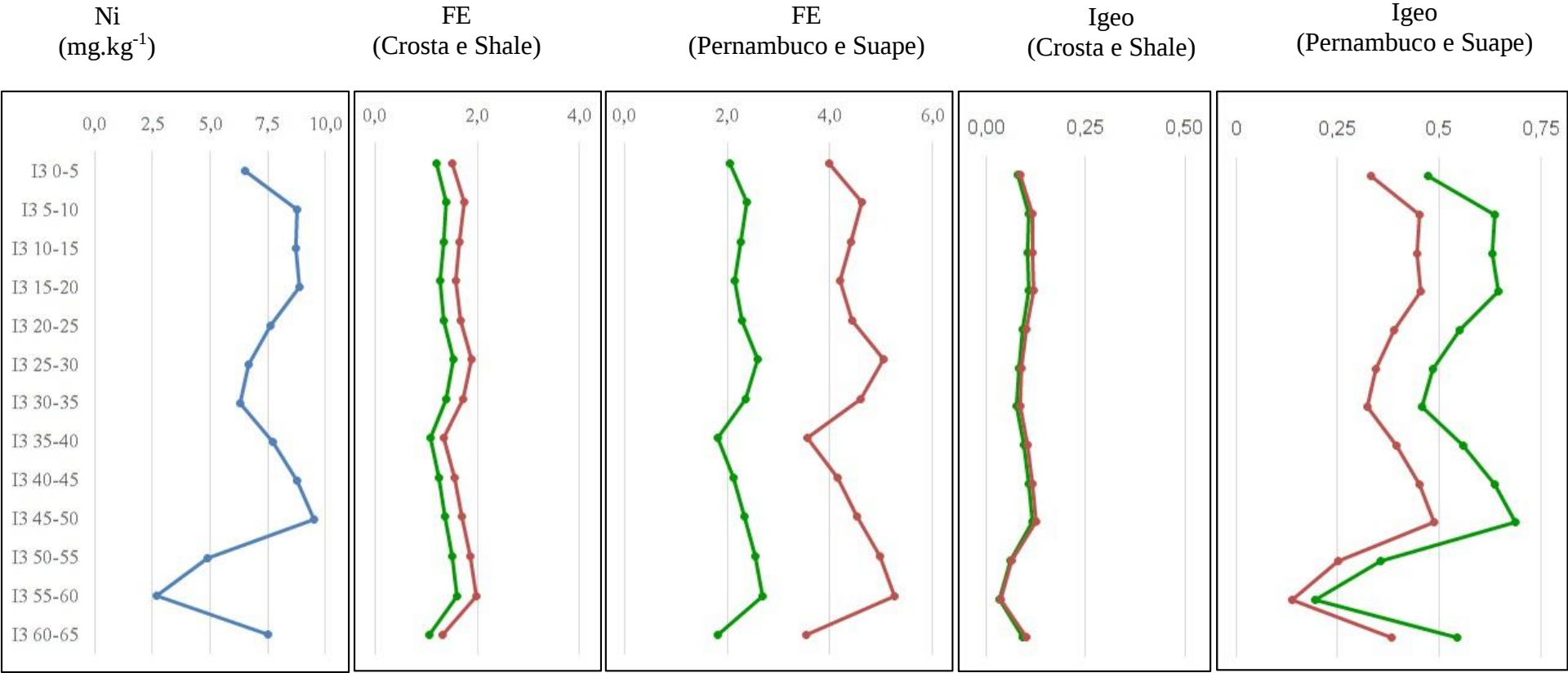
Padrões de Referencia	
FE – Não Enriquecido	≤ 1
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5
FE – Enriquecimento Moderado	> 5 a 10
Igeo – Nível Basal	< 0
Igeo – Não Poluído	0 a 1

LEGENDA

Background da Crosta/Pernambuco

Background do Shale

Anexo IX.II: Gráfico do FE e Igeo do Ni do Perfil I3 coletado Testemunhado no rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana



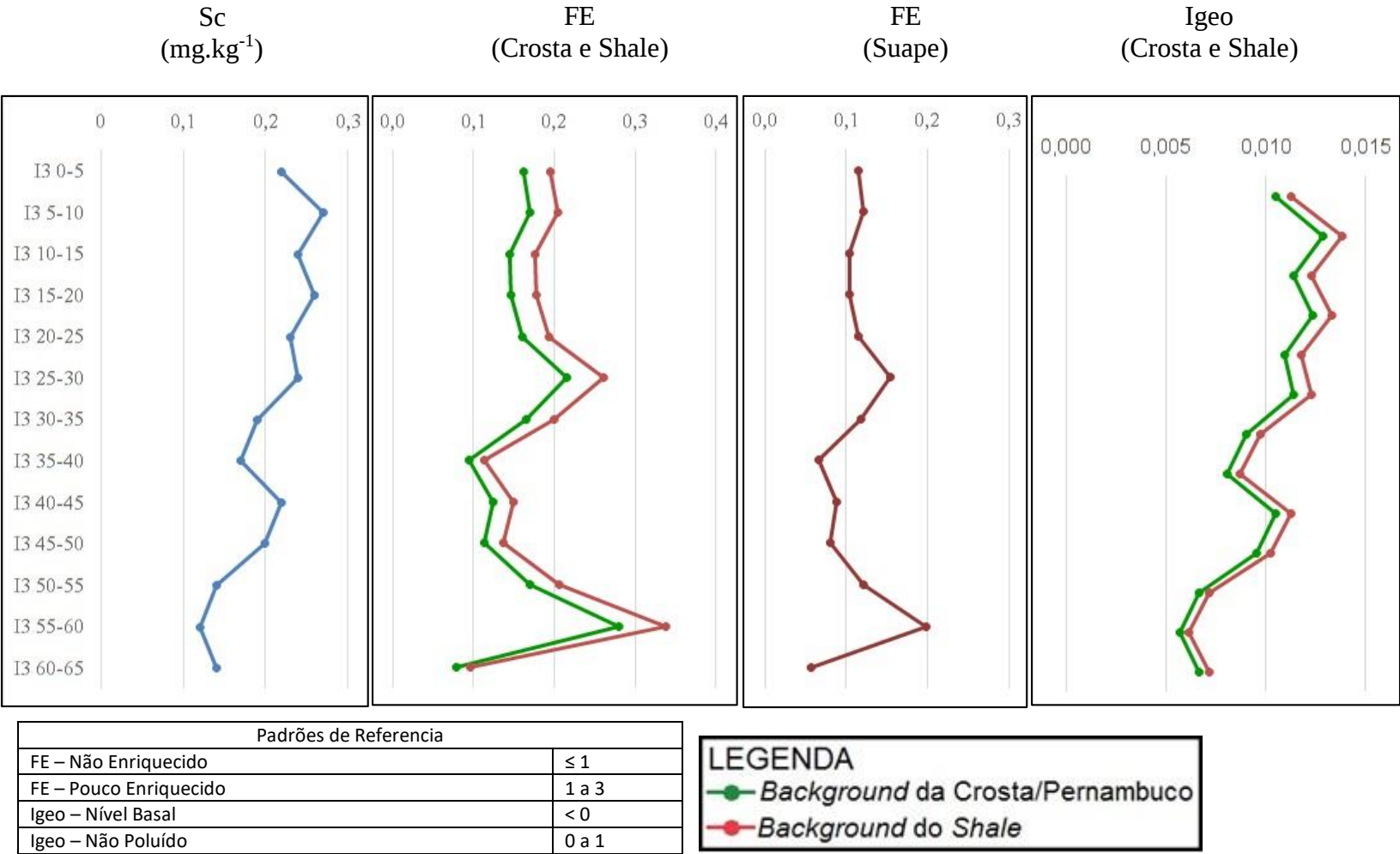
Padrões de Referencia	
FE – Não Enriquecido	≤ 1
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5
FE – Enriquecimento Moderado Severo	> 5 a 10
Igeo – Nível Basal	< 0
Igeo – Não Poluído	0 a 1

LEGENDA

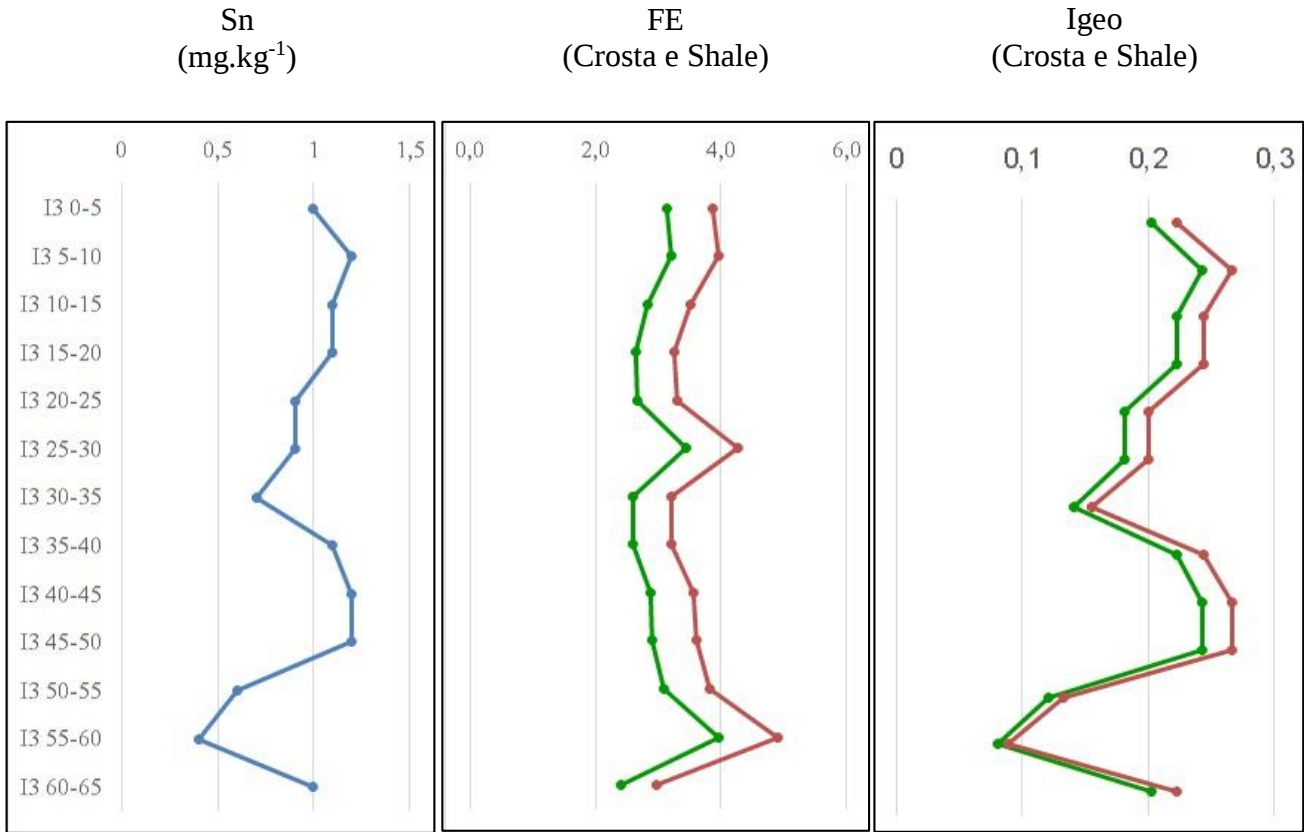
Background da Crosta/Pernambuco

Background do Shale

Anexo IX.III: Gráfico do FE e Igeo do Sc do Perfil I3 coletado Testemunhado no rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana



Anexo IX.IV: Gráfico do FE e Igeo do Sn do Perfil I3 coletado Testemunhado no rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana



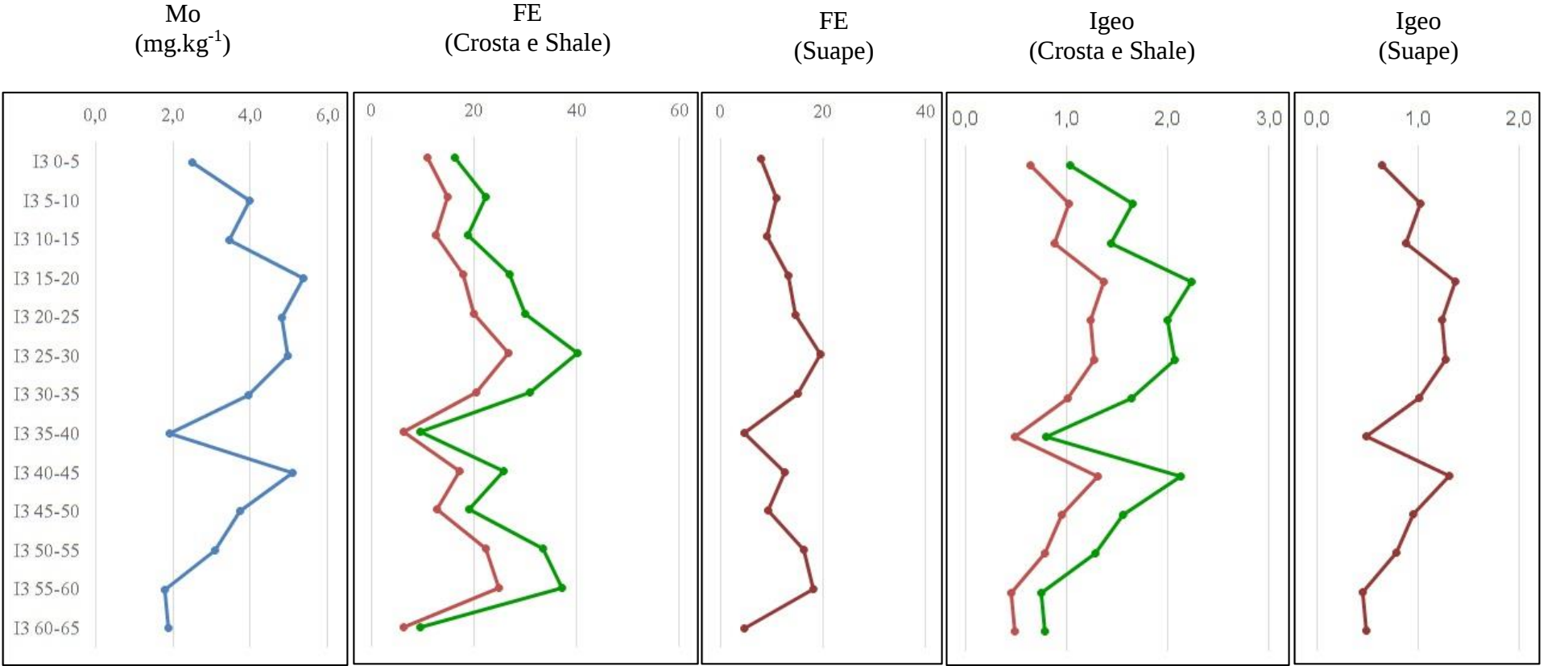
Padrões de Referencia	
FE – Não Enriquecido	≤ 1
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10
Igeo – Nível Basal	< 0
Igeo – Não Poluído	0 a 1

LEGENDA

● Background da Crosta/Pernambuco

● Background do Shale

Anexo IX.V: Gráfico do FE e Igeo do Mo do Perfil I3 coletado Testemunhado no rio Itapessoca – Polo Industrial de Goiana



Padrões de Referencia			
FE – Não Enriquecido	≤ 1	Igeo – Nível Basal	< 0
FE – Pouco Enriquecido	1 a 3	Igeo – Não Poluído	0 a 1
FE – Moderadamente Enriquecido	> 3 a 5	Igeo- Moderadamente Poluído	1 a 2
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 5 a 10	Igeo – Moderadamente a Poluído	2 a 3
FE – Enriquecimento Severo	> 10 a 25		
FE – Enriquecimento Moderadamente Severo	> 25 a 50		

LEGENDA

Background da Crosta/Pernambuco

Background do Shale