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

Ivaneide de Oliveira Santos

AVALIAÇÃO GEOQUÌMICA DA VARIABILIDADE DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS - TRAÇO AO LONGO DE PERFIS PEDOLÓGICOS NA BACIA DO RIO TATUOCA, IPOJUCA – PE

Dissertação de Mestrado

FEVEREIRO/2011

IVANEIDE DE OLIVEIRA SANTOS
Geógrafa, UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, 2006.

AVALIAÇÃO GEOQUÌMICA DA VARIABILIDADE DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS - TRAÇO AO LONGO DE PERFIS PEDOLÓGICOS NA BACIA DO RIO TATUOCA, IPOJUCA – PE

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelo Prof. Dr. Edmilson Santos de Lima, como preenchimento parcial dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Geociências, área de concentração Geologia Sedimentar e Ambiental.

FEVEREIRO/2011

Catalogação na fonte
Bibliotecária Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

S237a Santos, Ivaneide de Oliveira.

Avaliação geoquímica da variabilidade das concentrações dos elementos – Traço ao longo de perfis pedológicos na Bacia do Rio Tatuoca, Ipojuca – PE / Ivaneide de Oliveira Santos. - Recife: O Autor, 2011.

75f., il., figs., tabs. ,gráfs.

Orientador: Prof. Dr. Edmilson Santos de Lima

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2011.

Inclui Referências Bibliográficas.

1. Geociências 2.Geologia Sedimentar e Ambiental. 3. Geoquímica Anbiental. 4.Concentração de elementos – Traço. 5. Varibilidade Geoquímica. 6.Perfil Pedológico. 7. Fator de enriquecimento. 8. Análise de Componentes Principais. 9. Rio Tatuoca, Ipojuca –PE. I. Lima, Edmilson Santos de. II. Título.

551 CDD (22.ed) UFPE/BCTG-121/2011

"AVALIAÇÃO DA VARIABILIDADE DAS CONCENTRAÇÕES DOS ELEMENTOS – TRAÇO EM PERFIS DE SOLO RESIDUAL NA BACIA DO RIO TATUOCA, MUNICÍPIO DE IPOJUCA – PERNAMBUCO".

Ivaneide de Oliveira Santos

Aprovada:

Prof. Dr. Edmilson Santos de Lima

28/02/2011

Prof. Dr. José Geilson Alves Demetrio

28/02/2011

Dr. Enjôlras de Albuquerque Medeiros Lima

28/02/2011

DEDICATÓRIA

Aos meus pais pela paciência e compreensão, nos meses parcialmente ausentes dedicados à pesquisa.

À Dayvson Palmeira, que mesmo na ambiência acadêmica, onde muitas vezes as vaidades impedem alguns de somar conhecimentos, demonstrou que a ampliação da cognição científica se constrói quando se soma, mas de forma irrevogável e progressiva.

A Daniel Smaniotto Rodrigues Coelho que provou que o tempo é relativo, notadamente quando é aproveitado com quem realmente se quer bem.

À Ana Flávia Albuquerque, pela amizade e auxílio na confecção deste trabalho.

Ao Professor Dr. Edmilson Santos de Lima que provou que ter sucesso é ter sabedoria, mas quando esta é dirigida para resolver nossas próprias questões com serenidade acreditando no próprio potencial, e que as adversidades só existem para que possamos superá-las.

Só é útil o conhecimento que nos torna melhores.

Sócrates

AGRADECIMENTOS

Ao Criador pelas bênçãos ofertadas e da oportunidade à vida, possibilitando-me superar os seus obstáculos e desafios.

Ao Professor Dr. Edmilson Santos de Lima pela orientação, paciência e compreensão nas solicitações constantes por ele atendidas na confecção deste trabalho, sempre com preciosas orientações e ensinamentos.

Ao Professor Dr. Gorki Mariano, coordenador da Pós-Graduação em Geociências pelos esclarecimentos e eficiência em seu exercício.

Ao Professor Dr. Fernando de Oliveira Mota Filho, pela valiosa amizade, compreensão, inestimável conhecimento acadêmico e ensinamentos sobre a vida.

À Professora Dra. Eugênia Pereira pela cessão de bibliografia e cessão de conhecimento.

Ao Professor Valdir do Amaral Vaz Manso, pela cessão do LGGM, para preparação das amostras dos perfis de solo.

Ao Professor Dr.Virgínio Henrique Neumann pelo exemplo dado no tratamento cordial dos colegas e docentes.

Ao Professor José Geilson Alves Demetrio pela cessão das amostras dos perfis CPT2 e CPT4.

Ao Professor Dr. Enjôlras de Albuquerque Medeiros Lima, pela eficiência, pela paciência e pelas preciosíssimas orientações em todo o processo de correções deste trabalho.

Ao Geógrafo Dr. Rogério Valença pela bibliografia cedida, no início das pesquisas.

À professora Dra. Sonia Agostinho, pela amizade e pelo apoio tantas vezes conferido.

Aos Professores Doutores da Pós-Graduação em Geociências: Lúcia Mafra Valença, Edilton Santos, Mario Lima Filho, Virgínio Henrique Neumann, Gorki Mariano, Edmilson Santos de Lima, Valdir do Amaral Vaz Manso, Alcides Nóbrega Sial, Valderez Pinto Ferreira, Pedro Augusto Pfaltzgraff e João Adauto Neto, pelos conhecimentos transmitidos em sala de aula e nos trabalhos de campo.

Aos Professores da Pós-Graduação em Geografia e visitantes: José Coelho, Antonio Carlos de Barros Corrêa, Maria do Socorro Bezerra de Araújo e Josiclêda Galvíncio, pelos valorosos conceitos e ensinamentos abordados em sala de aula.

Em especial ao Professor Dr. José Coelho, pelas aulas de Geoquímica dos Solos, imensamente importantes para diversas consultas durante a confecção deste trabalho.

À Elizabeth Galdino, secretária da Secretaria de Pós-Graduação em Geociências, pela destreza, profissionalismo, atenção e belíssima forma de conduzir as atividades a ela conferidas.

À Rosa Marques, secretária da Secretaria de Pós-Graduação em Geografia pela atenção e eficientes serviços prestados.

À Universidade Federal de Pernambuco por possibilitar o aprendizado e a graduação de Bacharelado em Geografia.

A todo corpo discente do Departamento de Geografia pelos ensinamentos.

Ao Programa de Pós- Graduação em Geociências pela estrutura, corpo discente e laboratórios disponíveis.

Aos amigos, pois sem eles este trabalho jamais teria sido concebido, destacando Ana Flávia Albuquerque, Ricardo Santos, Danielle Gomes da Silva, Bruno Vila Nova, Sandro Gomes, João Araújo, Maria Emília Alencar, Zenilda Vieira, Augusto Clemente, Cristiana Duarte Coutinho, Mariana Monteiro e Wanessa Damascena.

À Dayvson Palmeira, pelos valiosíssimos conhecimentos em Química, por todas as vezes que, mesmo sem tempo, sanou diversas dúvidas, e indicou bibliografia, sempre bastante atencioso e prestativo.

À Cristiana Coutinho Duarte, pelo auxílio no manuseio do ArcGis, possibilitando a confecção dos mapas.

Ao Dr. Cristiano de Oliveira Rocha, chefe da Superintendência da Polícia Federal em Salgueiro e amigo, pela compreensão quando da necessidade de dedicar mais tempo aos estudos do que ao trabalho.

Aos queridos colegas da Myrá, da empresa Tecnologia em Gestão Socioambiental Ltda., pela compreensão quando da necessidade de ausentar-me quando das reuniões de orientação, especialmente a Luciano Mauro Góes e Marco Túlio Rodrigues, da chefia direta, e a Ana Flávia Albuquerque grande amiga e colega de trabalho.

Agradeço também à minha equipe de campo norteada por Myrá por todos os diálogos bastante proveitosos.

A Daniel Coelho, pelo mais puro e sincero sentimento que se pode dispensar a outro semelhante e pela paciência no tempo escasso para momentos juntos, face aos estudos dedicados à dissertação.

A Euclides Rodrigues Coelho, sogro e segundo pai, pelos momentos de descontração em família.

À minha família pela acolhida dada durante os anos vividos até aqui e pelo apoio incondicional em todos os momentos.

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Tatuoca faz parte do grupo de pequenos rios litorâneos do Estado de Pernambuco e na sua área de drenagem encontra-se o Complexo Industrial Portuário de Suape - CIPS. O estudo das concentrações de elementos-traço em solos é um importante instrumento na gestão ambiental do meio físico de bacias hidrográficas, uma vez que pode contribuir para diferenciar as concentrações de base geogênica e as contribuições antrópicas em sua área de drenagem. Dentro desse contexto, o estudo teve como objetivo caracterizar a variação geoquímica de elementos-traço em dois perfis pedológicos, de modo a visualizar possíveis contribuições de origem antrópicas, bem como subsidiar estudos de geoquímica de sedimentos ativos de corrente na bacia do rio Tatuoca.

Dois perfis pedológicos foram coletados através de sondagem rotativa, denominados CTP2 e CTP4, com 17 e 6 metros de profundidade respectivamente. Ambos foram seccionados a cada 50 centímetros compondo um total de 45 amostras, que foram inicialmente preparadas no Laboratório de Preparação de Amostras do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco e posteriormente enviadas para análises químicas no Laboratório Geosol (MG). Tais análises foram efetuadas por Espectrometria de Emissão Atômica (ICP-AES) para 29 elementos. Os resultados foram tratados estatisticamente através de análise multivariada (Análise de Componentes Principais) e por Fator de Enriquecimento. A base de dados foi gerada a partir das concentrações dos 16 elementos-traço resultantes das análises das 45 amostras coletadas.

A interpretação dos resultados estatísticos permitiu identificar anomalias geoquímicas nos dois perfis de solo estudados. O fator de enriquecimento para chumbo foi de 3,3 na seção mais superficial do solo, não sendo explicado por um natural enriquecimento pedogenético sendo, portanto, de origem antropogênica.

Palavras-chave: perfil pedológico, variabilidade geoquímica, fator de enriquecimento, análise de componentes principais.

ABSTRACT

The Tatuoca river basin belongs to the group of small coastal rivers of the State of Pernambuco and its drainage area is completely within the Suape Port Industrial Complex Suape - CIPS. The study of concentrations of trace elements in soils is an important tool in environmental management of the watershed, as it can contribute to differentiate between baseline geogenic concentrations from anthropogenic contributions in their catchment area. Within this context, the study aimed to characterize the trace elements geochemical variation in soils, in order to visualize possible anthropogenic contributions as well as support geochemical studies of active stream sediments in the Tatuoca river basin. Two soils profiles were collected by percussion drilling, and named CTP2 e CTP4 with 17 and 6 meters deep respectively. Both were cut every 50 cm for a total of 45 samples, which were initially prepared in Sample Preparation Laboratory, Department of Geology, and Federal University of Pernambuco and later sent for chemical analysis at the Laboratory Geosol. These samples were analyzed by atomic emission spectrometry (ICP-AES) for 29 elements. The results were statistically analyzed by multivariate analysis (Principal Component Analysis) and Enrichment Factor. The database was generated from the concentrations of 16 trace elements resulting from analysis of 45 samples.

The interpretation of statistical results allowed us to identify geochemical anomalies in the two soils profiles studied. Lead presented an enrichment factor of 3.3 in the uppermost soil layer which could not be explained by a natural pedegenetic enrichment being, therefore, of anthropogenic origin.

Keywords: pedologic soils, enrichment factor, principal component analysis.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	11
INTRODUÇÃO	13
OBJETIVO GERAL	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
JUSTIFICATIVAS	14
PRIMEIRAS CONSIDERAÇÕES	19
LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS	24
TECTÔNICA E ASPECTOS GEOLÓGICOS	27
PEDOLOGIA	33
GEOMORFOLOGIA E ASPECTOS CLIMÁTICOS	36
O COMPLEXO INDUSTRIAL PORTUÁRIO DE SUAPE	42
MATERIAIS E MÉTODOS	43
RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
ANÁLISE UNIVARIADA DO PERFIL CTP 2	49
ANÁLISE UNIVARIADA DO PERFIL CTP 4	55
ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DO PERFIL CTP 2	60
A COMPONENTE PRINCIPAL 1	63
A COMPONENTE PRINCIPAL 2	63
CONSIDERAÇÕES PERFIL CTP 2	64
ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DO PERFIL CTP 4	65
A COMPONENTE PRINCIPAL 1	66
A COMPONENTE PRINCIPAL 2	67
CONSIDERAÇÕES PERFIL CTP 4	67
CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
REFERÊNCIAS	72

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01: Unidades de monitoramento de qualidade das águas (CPRH, 2009) 18

FIGURA 02: Concentrações médias de elementos-traço em solos Teódulo (2003) e Chagas (2003). 19

FIGURA 03: Localização da área de estudos com pontos amostrados, CTP e CTP4 25

FIGURA 04: Locais de coleta, CTP 2 e CTP 4. (Fonte Google Maps Co, 2009) 26

FIGURA 05: Localização da Bacia de Pernambuco. Nascimento et al, (2003). 27

FIGURA 06: Litologia da Província Magmática do Cabo adaptado de Nascimento (2003) 29

FIGURA 07: Geologia regional, adaptado de GUERRA (1998) *in* FADE (2006). Destaca-se a ocorrência de traquitos, basaltos e tufos, granito subvulcânico e Formação Cabo no entorno e na área de estudos 32

FIGURA 08: Mapa de solos: Gleissolo e os solos indiscriminados de mangue. Fonte: Base de dados do ZAPE/ZANE, confeccionado pelo autor, utilizando o Arc GIS 9.3 35

FIGURA 09: Mapa da precipitação média anual. Fonte: Base de dados do ZAPE/ZANE, confeccionado pelo autor, utilizando o Arc GIS 9.3 37

FIGURA 10: Hipsometria. Fonte: Base de dados do ZAPE/ZANE, confeccionado pelo autor, utilizando o Arc GIS 9.3 39

FIGURA 11: Drenagem: Rios Massangana, Merepe, Pirapama, Ipojuca, Sibiró, Maracaípe, Aratangí e Taperuçu. Fonte: Base de dados do ZAPE/ZANE, confeccionado pelo autor, utilizando o Arc GIS 9.3 41

FIGURA 14: Tabela das concentrações médias das amostras do CTP 2 47

FIGURA 15: Tabela das concentrações médias das amostras dos CTP 4 47

FIGURA 16: Concentrações de Mo em ppm do CTP 2 e Fator de enriquecimento com agente normalizador Al da camada mais basal, a crosta superior, o perfil e os sedimentos de fundo do Rio Botafogo. 50

FIGURA 17: Concentrações de Mo em ppm do CTP 2 52

FIGURA 18: Concentrações de Pb em ppm do CTP 2 53

FIGURA 19: Concentrações de Pb em ppm e Fator de enriquecimento com agente normalizador Al da camada mais basal e concentrações médias crosta superior do CTP 2 54

FIGURA 20: Concentrações de Mo em ppm do CTP 4 56

FIGURA 21: Concentrações de Mo em ppm do CTP 4 e Fator de enriquecimento com agente normalizador Al da camada mais basal, a crosta superior, o perfil e os sedimentos de fundo do Rio Botafogo. 57

FIGURA 22: Concentrações de Pb em ppm 58

FIGURA 23: Concentrações de Pb em ppm e fator de enriquecimento com agente normalizador Al da camada mais basal e concentrações médias da crosta superior CTP 4 59

FIGURA 24: Análise de componentes principais *scores* do CTP 2 60

FIGURA 25: Análise de componentes principais *loadings* CTP 2 61

FIGURA 26: Associações de eventos do perfil CTP 2 62

FIGURA 27: Análise de componentes principais *scores* do CTP 4 65

FIGURA 28: Análise de componentes principais *loadings* CTP4 66

FIGURA 29: Associações de eventos do perfil CTP 4 68

1. INTRODUÇÃO

Avaliar a variabilidade das concentrações dos elementos-traço em solos exige considerar o uso do solo e as características do material genético possibilitando identificar as variações naturais no quimismo das litologias e das camadas mais superficiais do solo (Licht, 2001). As associações geoquímicas podem ser estudadas a partir da análise das evidências geoquímicas, estando estas associadas ao ciclo geoquímico.

Segundo Mason (1967), o ciclo geoquímico pode ser compreendido como associações em diversas esferas do planeta, como um movimento migratório de espécies químicas, devido aos processos geológicos, tomando-se como ponto de partida o interior da Terra, suas camadas intermediárias até a superfície crustal, e retorno ao ponto de partida.

Dentro deste contexto, os elementos-traço inseridos em um ecossistema equilibrado evidenciam concentrações distintas para cada compartimento, e estudos como o de Teódulo (2003), Chagas (2003), Lima (2008), Lima (2009) e Moraes (2009) evidenciaram as alterações nas concentrações destes elementos em ambientes próximos a áreas portuárias. Diante disso, variações acentuadas nas concentrações destes elementos demonstram algum desequilíbrio ambiental ou simplesmente mudança de material parental. Assim, os valores de tais estudos são tomados como padrões mundiais e estes elementos funcionam comparativamente como indicadores de desequilíbrio ambiental.

Os elementos causadores de prováveis situações anômalas foram avaliados através dos diversos agentes locais associados às dinâmicas ambientais.

Segundo Rohde (2004), do ponto de vista ambiental, a anomalia significativa é aquela relacionada com a intervenção humana, quer seja direta ou indireta. A anomalia não-significativa é a originada por processos naturais, tais como mineralizações ou outras concentrações, desde que não apresentem conseqüências, dentro do ponto de vista ambiental. Existem ainda alguns casos especialíssimos de contaminação ambiental de origem natural, tais como gases vulcânicos (CO, CO_2, SO_2, etc.), substâncias orgânicas desprendidas por vegetais (terpenos e terpenóides, liberados pelas coníferas, por exemplo, etc.

1.1. OBJETIVO GERAL

Este estudo teve como objetivo caracterizar a variação geoquímica de elementos-traço em perfis pedológicos, de modo a visualizar possíveis impactos ambientais, bem como subsidiar estudos de geoquímica de sedimentos ativos de corrente na bacia do rio Tatuoca

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Montar uma base de dados quantitativos a partir das concentrações dos 16 elementos-traço resultantes das análises das 45 amostras coletadas de dois perfis de solo denominados CTP2 e CTP4, com 17 e 6 metros de profundidade, respectivamente.

Utilizar análise geoestatística multivariada no intuito auxiliar a interpretação das anomalias geoquímicas evidenciadas nos solos residuais.

Estudar a variação vertical de elementos-traço a partir do perfil de alteração até a camada mais superficial do perfil pedológico.

1.3. JUSTIFICATIVAS

O Estudo das mudanças nas concentrações de elementos-traço em bacias hidrográficas merece destaque, pois aponta para fontes antropogênicas ou geogênicas de contaminação, fornecendo suporte para uma gestão territorial e ambiental sustentável.

Os solos possuem características únicas quando comparados aos outros componentes da biosfera (ar, água e biota), pois se apresentam não apenas como um dreno para contaminantes, mas também como tampões naturais que controlam o transporte de elementos químicos e outras substâncias para atmosfera, hidrosfera e biota (Guilherme & Marchi, 2008).

De acordo com a EMBRAPA (2002), o corpo tridimensional que representa o solo é chamado de pedon. A face do pedon que vai da superfície ao contato com o material de origem, constituindo a unidade básica de estudo do Sistema Brasileiro de Classificação, o perfil de solo, vem sendo avaliada em duas dimensões e perfazendo uma área mínima que possibilite

estudar a variabilidade dos atributos, propriedades e características dos horizontes ou camadas do solo.

Os elementos químicos são identificados como macronutrientes primários (N, P, K), macronutrientes secundários (Ca, Mg, S) e micronutrientes (B, Co, Fe, Mn, Mo, Zn, Co). Entretanto, os fertilizantes se constituem também em importantes fontes de contaminação ambiental. Materiais naturais ricos em potássio, como salitre do Chile e trona utilizados como matéria prima desses fertilizantes, são enriquecidos em BA, PB, Na, Rb, Cs e Tal. O fosfato, também utilizado na manufatura desses produtos, provém de carbonatitos que são naturalmente enriquecidos em Al, Na, Zr, Ti, Nb, Ta, F, P e ETR ou de depósitos sedimentares de fosforitas (Rose et al, 1979).

É essencial o equilíbrio entre os elementos-traço. Certos sistemas de enzimas vegetais, dependentes dos micronutrientes, exigem mais de um elemento. Algumas reações enzimáticas e outras bioquímicas, que exigem um determinado micronutriente, poderão tornar-se "venosas" mediante presença dum segundo elemento-traço, em quantidades tóxicas (Brandy, 1989). Ainda segundo este autor, a utilização de fosfato pelos vegetais parece auxiliar o molibdênio e vice-versa. Um segundo ânion, um sulfato, parece exercer influência inversa a do fósforo na absorção de molibdênio, onde o fosfato diminui a sua assimilação.

Os materiais originários tendem, sob o aspecto prático, a exercer maior influência sobre os montantes de micronutrientes no solo, do que sobre os dos macronutrientes. Deficiências de elementos-traço poderão estar com freqüência, relacionadas a reduzidas quantidades de micronutrientes nas rochas matrizes ou nos materiais originários transportados.

De modo semelhante, as quantidades tóxicas estão geralmente ligadas a excessivas quantidades nas rochas e nos minerais de formação do solo. Ainda segundo este autor, certos ânions, como boratos e molibdatos, poderão submeter-se a adsorção ou reação, em solos semelhantes àqueles dos fosfatos, sendo que o molibdênio ocorre nos sulfetos, óxidos e molibdatos.

Para esta pesquisa foram coletadas 45 amostras de dois perfis de solo residuais, visando o estudo vertical das concentrações dos elementos nas amostras, o que subsidiou toda a base de dados para este estudo.

Segundo Malavolta (2009), a origem desses elementos está em minerais que fazem parte da crosta terrestre – dela passam ao solo, aos corretivos de acidez e a alguns adubos minerais e

podem concentrar-se em minérios que são explorados, beneficiados e fundidos como matéria-prima para produção de metais ferrosos e não ferrosos - do cobre ao zinco.

Algumas alterações nestas respostas ao longo de determinado perfil pedológico podem estar relacionadas a mudanças abruptas de material geogênico do solo ou ao longo dos anos de adição de resíduos orgânicos, provenientes de determinada vegetação, ou ainda de substâncias químicas utilizadas na agricultura local.

Alguns parâmetros, como fator de enriquecimento, análise de componentes principais e o estudo das concentrações destes elementos buscam entender as relações entre este material, os eventos geoquímicos e aos níveis do solo no perfil onde as amostras foram coletadas. Esta abordagem permite projetar verticalmente elemento a elemento a evolução de suas concentrações através do perfil pedológico, possibilitando compreender as variabilidades destas concentrações de acordo com a proximidade das camadas mais superficiais em relação aos valores da seção mais basal tomados como padrões.

Desta forma, a identificação de eventual anomalia nas proximidades da superfície e comparando estas concentrações a outros estudos geoquímicos na Bacia, pode apontar para fatores antropogênicos como causadores destas alterações.

Na bacia do rio Tatuoca está inserido o estaleiro do Complexo Industrial Portuário de Suape, entretanto, antes da industrialização da área o uso do solo estava concentrado à cultura de cana-de-açúcar, e a esta cultura estão associados o uso de defensivos agrícolas (biocidas), as chamadas queimadas de cana e uso da palha de cana-de-açúcar, no controle de algumas pragas. Segundo Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos, através do seu Plano Estadual de Recursos Hídricos, o rio Tatuoca faz parte de pequenos rios litorâneos GL-2. Esta bacia apresenta uma área de 1.246,30Km^2, totalmente inserida no Estado de Pernambuco, envolvendo nove municípios, sendo que três possuem suas sedes totalmente inseridas na Bacia, perfazendo áreas urbanizadas como engenhos, açudes, usinas e destilarias.

Assim, o estudo de bacias deste porte voltado para a variabilidade de elementos-traço é um importante instrumento de análise geoquímica e planejamento do uso do solo, incluindo-se a gestão de bacias. Existem estações de monitoramento da qualidade da água por parte da Agência Estadual de Meio Ambiente – CPRH, na Bacia GL-2 sendo que nas proximidades do rio Tatuoca, não há um plano de gestão de bacias mais detalhado (Figura 01).

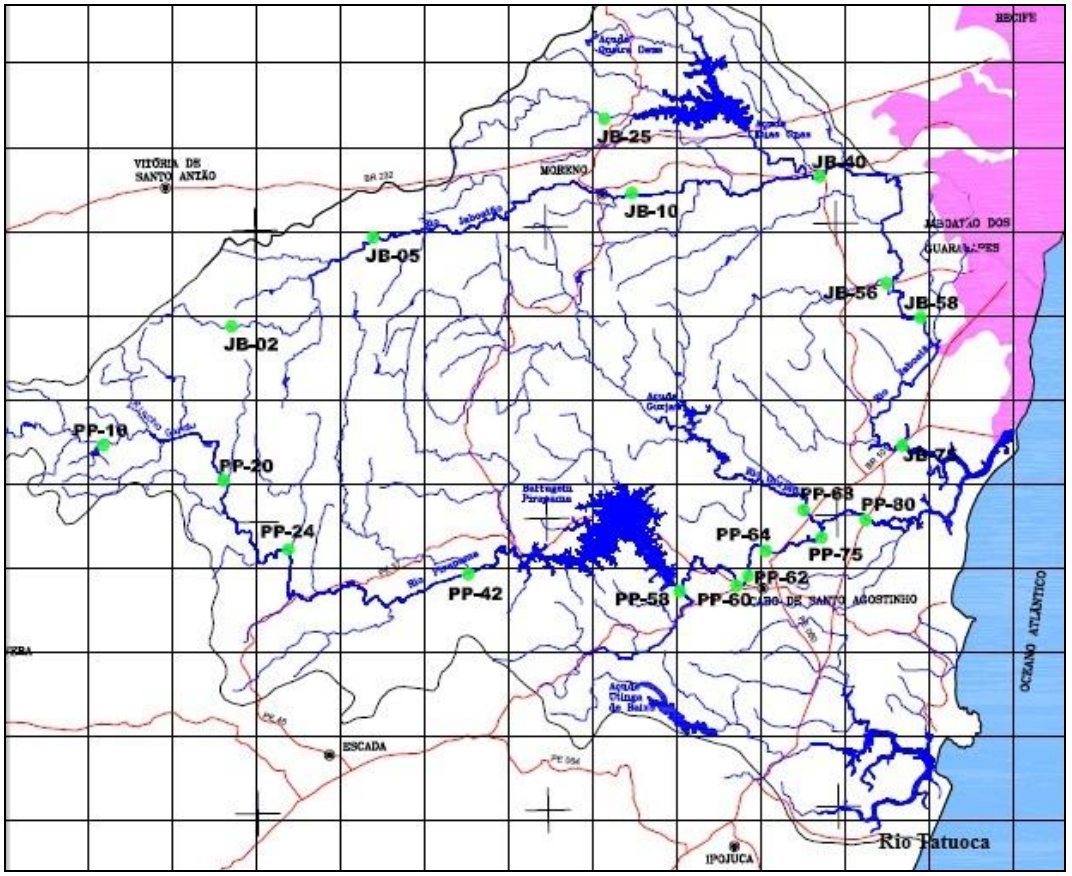

Figura 01 – Unidades de monitoramento de qualidade das águas da bacia GL- 2 (CPRH, 2009).

As respostas geoquímicas no meio físico são controladas em primeiro lugar, pelos processos naturais, geológicos, pedológicos, climáticos e biológicos. Superpondo-se a essa herança, a presença do homem adquire papel importante pelas possibilidades de alteração que promove no ambiente geoquímico a partir das concentrações urbanas, atividades industriais e agrícolas (Licht, 2001).

Muitos poluentes inorgânicos tóxicos ocorrem em solos e podem ser de origem natural, quando advêm do intemperismo da rocha de origem, ou devido à contribuição antrópica (ação direta ou indireta da atividade humana). Alguns deles são tóxicos, mesmo em quantidades-traços, e sua toxicidade aumenta com o acúmulo no solo. (Moura, *et al*., 2006). Ainda segundo estes autores, as quantidades de elementos-traço no solo também estão relacionadas com fontes locais de poluição provenientes de atividades industriais, de restos de incineração e de resíduos de combustíveis

Guilherme & Marchi (2008) consideram que alguns insumos e subprodutos agrícolas (fertilizantes, calcários, estercos e lodos de esgoto) usados como finalidade corretiva ou nutricional na agricultura representam também uma fonte de contaminação.

Segundo Cunha Filho & Nascimento (2010), alguns elementos-traço formam um grupo de elementos com particularidades relevantes e de ocorrência natural no ambiente, como elementos acessórios na constituição de rochas. Esses elementos, apesar de associados à toxicidade, exigem tratamento diferencial em relação aos xenobióticos, uma vez que diversos metais possuem essencialidade (Fe, Mn, Ni, Cu e Zn) e beneficio (Co) comprovado para plantas. Nestes casos, o conhecimento de seus teores naturais torna-se duplamente relevante, uma vez que possibilita definir valores orientadores de qualidade do solo, com a geração de padrões de referência de qualidade, a serem aplicados em atividades de monitoramento.

As concentrações destes elementos são produto das respostas geoquímicas provenientes dos eventos ambientais ocorridos.

2. PRIMEIRAS CONSIDERAÇÕES

Nos perfis estudados, o CTP2 e o CTP 4, o Chumbo evidenciou razoáveis variações nas concentrações das camadas mais superiores, com concentrações médias de 13 ppm e

12,5 ppm, respectivamente. Observando os teores de Chumbo em estudos de Chagas (2003) e Teódulo (2003), (Figura 02), têm-se:

Concentrações médias	Estudo	Pb
ppm	Chagas (2003)	25,8
ppm	Teódulo (2003)	10,5

Figura 02: Concentrações médias de elementos-traço em solos Teódulo (2003) e Chagas (2003).

De acordo com Teódulo (2003) as concentrações médias de Chumbo na CIPS é de 10,5 ppm, se comparados aos valores deste elemento no CTP 2 e CTP 4 de 13 e 12,5 ppm, este elemento demonstra um pequeno aumento relativo em suas concentrações médias.

O estudo da variabilidade dos elementos-traço ou quaisquer o outro elemento necessita antes de qualquer análise, que se identifique ou se estabeleça valores de referência. Dentro desta perspectiva, esta análise permite considerar os valores anômalos e os chamados valores de base ou *background*.

Segundo Rohde (2004), a abundância normal de um elemento em um material, sem influência antropogênica, é denominada "*background*". O "*background*" varia em função dos materiais, dos tipos de influências ambientais e de outras maneiras, correspondendo ao estado disperso de um elemento em um material amostrado, não atuando nenhum agente contaminante. Assim, segundo este autor, as anomalias são, teoricamente, valores acrescidos ao *background,* devido ao aumento da concentração em um ou mais elementos, relacionados com a existência de contaminação ambiental.

O termo "*background geoquímico*" foi originalmente introduzido em meados do século XX, para diferenciar a abundância de elementos nas formações rochosas mineralizadas e não-mineralizadas. Desde então, o termo tem sido utilizado em diferentes áreas das ciências ambientais, o que tem conduzido à ampliação de seu significado e à geração de variantes sem haver, no entanto, uma definição precisa (Rodrigues *et. al.,* 2009). Este autor enfatiza ainda que independentemente do termo adotado em um estudo ambiental, o estabelecimento de valores referentes às concentrações naturais ou anômalas de determinados elementos traz, por si só, implicações significativas. Estes valores foram utilizados partindo do pressuposto de que a camada mais basal tenha sofrido menos influência da intemperização direta de superfície e das ações antropogênicas, servindo,

portanto, como valores de *background*. Foram também utilizados os valores médios da crosta superior e de valores médios de sedimentos de fundo e de perfil testemunhado do Rio Botafogo, a fim de obter maiores subsídios comparativos na análise dos resultados.

O Fator de enriquecimento foi utilizado como parâmetro na identificação das anomalias na variabilidade das concentrações dos elementos-traço estudados, uma vez que a Análise de Componentes Principais servirá de base bastante relevante na identificação das significativas variâncias das concentrações destes elementos, possibilitando a relação entre as profundidades e as condições ambientais nos níveis pedológicos observados.

As atividades industriais são responsáveis por alterações no panorama geoquímico, pela atuação de processos projetados para transformação de insumos ou produção de bens de consumo. Nesses processos - onde a matéria prima pode ser constituída por minérios de composições variadas, subprodutos de outras operações industriais ou mesmo detritos e resíduos urbanos - são utilizados compostos químicos orgânicos e/ou inorgânicos, em ambientes de extrema acidez ou alcalinidade, que geram efluentes líquidos ou gasosos, ou resíduos sólidos de composição química complexa e alta periculosidade aos seres vivos.

Pequenas unidades industriais de reciclagem de materiais industriais, como baterias e acumuladores de energia, metalúrgicas, oficinas mecânicas, postos de abastecimentos de combustíveis, operando sem controle ambiental rígido, liberam efluentes enriquecidos em metais e resíduos de hidrocarbonetos (Licht, 2001). Ainda segundo este autor, a distribuição dos elementos químicos no planeta está condicionada aos processos geoquímicos de migração, dispersão e redistribuição dos elementos, seja no ambiente profundo quanto no superficial.

Esta migração, dispersão e redistribuição dos elementos-traço podem estar condicionadas também a fatores antropogênicos. Estes fatores são refletidos neste estudo através do uso do solo, que segundo Andrade (2007), nesta bacia é caracterizado pelo cultivo da cana-de-açúcar.

Em Pernambuco a safra 2009 de cana-de-açúcar atingiu 1.431,8 mil toneladas, segundo Anuário Agroecológico de 2009. Considerando que Ipojuca possui grande produção de açúcar no Estado, esta produção denota grandes quantidades de hectares de plantios desta cultura.

Segundo Monquero *et al*. (2007), o processo mais utilizado para o plantio da cana-de-açúcar é o de sulcos, principalmente nas grandes áreas, sendo realizado também por covas. Esta cultura se desenvolve favoravelmente em ambientes bem irrigados, cerca de 1.500 mm de chuvas anuais.

Ainda segundo estes autores, a cana-de-açúcar necessita de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo, potássio, zinco, cobre, ferro, manganês, boro, vanádio e cloro. Destes, o nitrogênio, o fósforo e o potássio são os mais importantes.

O uso contínuo do solo pelas culturas de larga escala pode provocar alterações em suas características químicas e na variabilidade dos elementos-traço, em detrimento da utilização de herbicidas e fertilizantes em longo prazo.

Estudos de Soares *et al*., (2005) mostram que nos solos cultivados com cana-de-açúcar, nas camadas mais superficiais, foi observada uma forte redução na taxa de infiltração da água, que por sua vez, pôde ser constatado pelo estudo realizado da macroporosidade. Segundo o autor, a redução da macroporosidade é decorrente das conseqüências das práticas culturais intensas da cana-de-açúcar.

Os solos arenosos ácidos, sob intensa lixiviação, possuem montantes reduzidos de micronutrientes, seus materiais originários apresentavam de início, deficiência desses elementos e a lixiviação ácida já havia removido a maior parte das exíguas quantidades existentes dos micronutrientes originários. No caso do molibdênio, as condições ácidas do solo exercem também grande influência, que prejudicam a assimilabilidade (Brandy, 1989).

A acidez do solo é comum em todas as regiões onde a drenagem é suficientemente elevada para lixiviar quantidades apreciáveis de bases permutáveis das camadas superficiais dos solos. Tão generalizada é a sua ocorrência e tão pronunciada a sua influência sobre os vegetais, que se transformou numa das mais discutidas propriedades dos solos. (Brandy, 1989).

Segundo Soares *et al* (2005), para a formação dos canaviais, são preferíveis solos aluvionais. Sendo que os solos alcalinos e ácidos, não são recomendados, o pH destes solos deve estar entre 7 e 7,3, no caso de solos mais ácidos, é necessária uma correção para que o pH favoreça esta cultura. Cabe ressaltar a mecanização cada vez mais crescente desta cultura utilizada principalmente por produtores de médio e grande porte.

Os instrumentos legais existentes restringem-se a alguns poucos elementos, ao se referirem aos fertilizantes e seus constituintes. O Decreto nº 86.955 (18/02/1982), em seu Artigo 3º, considera como fertilizante a substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes às plantas, dividindo-os conforme sua origem e complexidade, em fertilizantes simples, mistos, orgânicos, organominerais, compostos e complexos (Licht, 2001).

O uso de defensivos agrícolas contribui para alterar a flora microbiana, responsável, em grande parte, pela fertilidade de um solo. Alguns tipos de venenos comumente usados também são capazes de bloquear sinais químicos que permitem o funcionamento de bactérias fixadoras de nitrogênio, fazendo com que o solo na área tratada fique mais pobre neste nutriente, demandando aplicação maior de fertilizantes. O uso destes defensivos pode ocasionar alterações nas concentrações e variabilidade de determinados elementos, (Soares *et al*. 2005).

Segundo Souza *et al*. (2005), o tipo de colheita da cana-de-açúcar pode também influenciar os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, o meio ambiente e a saúde pública. O sistema de colheita por cana queimada elimina a bactéria seca e aumenta a concentração de gás carbônico na atmosfera, diminuindo o teor de matéria orgânica no solo.

O uso de defensivos agrícolas contribui para alterar a flora microbiana, responsável, em grande parte, pela fertilidade de um solo. Alguns tipos de venenos comumente usados (biocidas) também são capazes de bloquear sinais químicos que permitem o funcionamento de bactérias fixadoras de nitrogênio, fazendo com que o solo na área tratada fique mais pobre neste nutriente, demandando aplicação maior de fertilizantes (Montagnon, F. *et al.*, 2007).

Segundo Kulaif (1996), o enxofre é uma matéria-prima de origem mineral dos fertilizantes, esta é base para a fabricação do ácido sulfúrico, este ácido é obtido a partir do beneficiamento e metalurgia de minérios sulfetados e podem ser sulfetos de metais não ferrosos (sulfetos de zinco, cobre, chumbo, molibdênio níquel e outros), que são minerados pelo seu conteúdo desses metais, sendo que o enxofre, recuperado na forma de ácido sulfúrico, pode ser retirado tanto das piritas que se concentram no rejeito do tratamento daqueles sulfetos quando através da dissolução dos gases (SO_2) expelidos no

processo metalúrgico. Esta produção é também chamada de involuntária, por ser principalmente motivada pela necessidade de controle ambiental.

O molibdênio pode ser usado com fertilizante ou incorporado ao NPK para obtenção de uma distribuição satisfatória das baixas quantidades geralmente exigidas (Alloway, 1979).

Ainda segundo este autor, em solos muito ácidos, é viável encontrar deficiências de molibdênio, já solos calcários podem apresentar alguns casos de toxidez de molibdênio.

Sendo que na indústria mecânica alguns elementos como Mo também são utilizados na forma de bissulfeto de molibdênio.

Uma das graxas mais utilizadas como lubrificante é a graxa à base de sabão de lítio como bissulfeto de molibdênio maxlub mo 1 kg e o Shell retinax HDX. Estes produtos são utilizados em mancais de pequeno porte, cavilhas, roscas sem fim, guias, excêntricas e etc., submetidas a altas cargas e fortes choques, indicada para lubrificação em geral por equipamentos automáticos. Há casos onde há vazamento, mas de acordo com a ficha de informação de segurança do produto – FISPQ da Petrobrás, não é citado comportamento em casos de vazamento no solo. Segundo ficha de segurança da Shell, o produto é não biodegradável e é esperado alto grau de bioacumulação. Em caso de vazamento em solo é adsorvido por partículas.

Para este estudo, estas anomalias foram analisadas sob a ótica das condições ideais de cada elemento na natureza, dos seus possíveis usos e dos valores de *background* em detrimento das condições ambientais onde as amostras foram coletadas. Para tanto, foram levados em consideração o uso e ocupação do solo e as características do material genético.

3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

A bacia do rio Tatuoca está localizada no município de Ipojuca. Esta bacia faz parte, de acordo com o Comitê de bacias, do grupo de pequenos rios litorâneos, GL2. O município de Ipojuca está localizado ao sul da Região Metropolitana do Recife, na área que abrange o setor sul da faixa costeira do estado de PE, com uma área de 502 Km², distando 52 km da capital. Limita-se ao norte com o município de Cabo de Santo Agostinho, ao Sul com o município de Serinhaém, a leste com o Oceano Atlântico e a

Oeste com o município de Escada. O grupo GL-2 (UP-15) e limita-se ao norte com a bacia do rio Capibaribe (UP2), ao sul com a bacia do rio Ipojuca (UP3), a leste com o Oceano Atlântico e a oeste com as bacias dos rios Capibaribe e Ipojuca (Figuras 03 e 04).

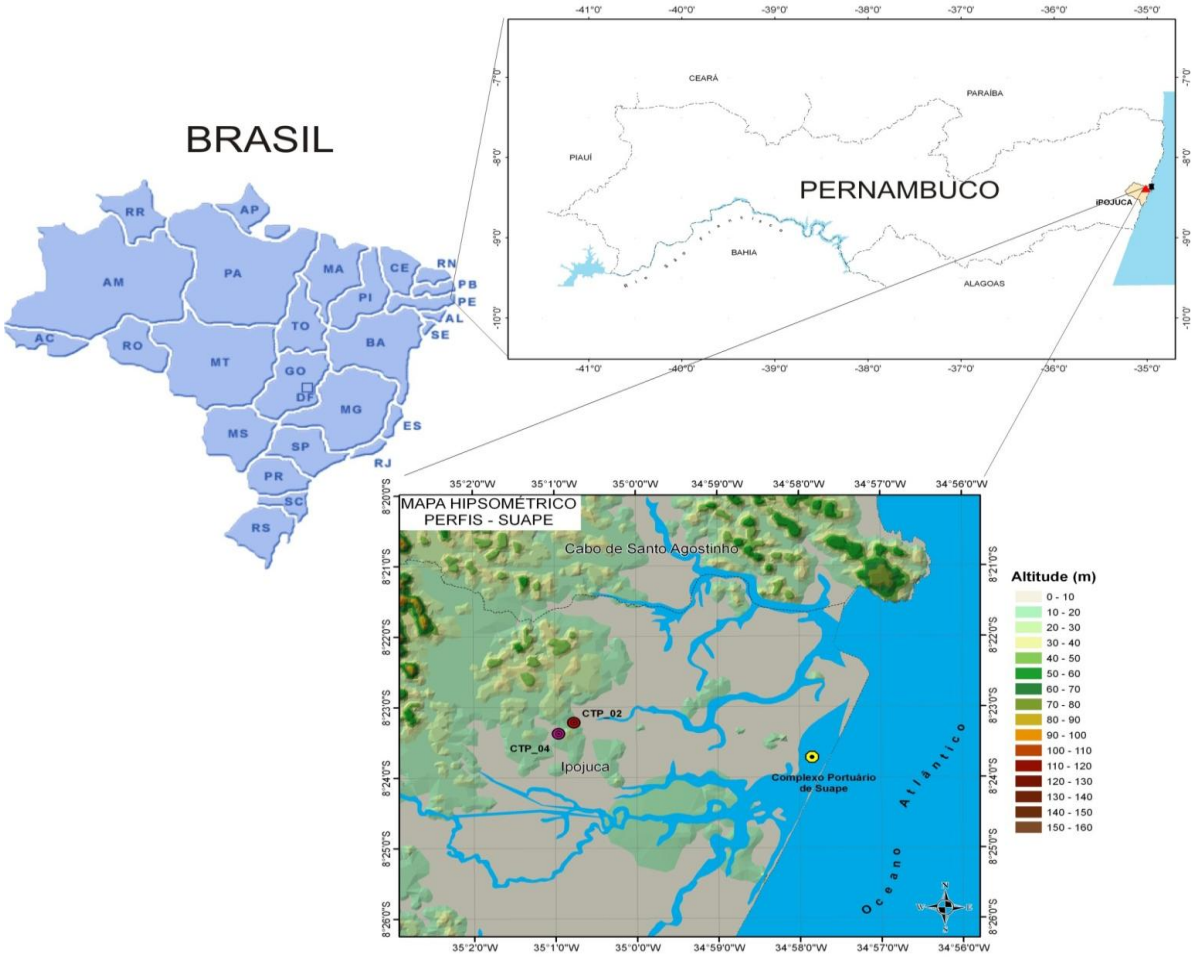

Figura 03 – Localização da área de estudos com pontos amostrados, CTP 2 e CTP 4.
(Fonte: base de dados do ZAPE/ZANE e confeccionado pelo autor)

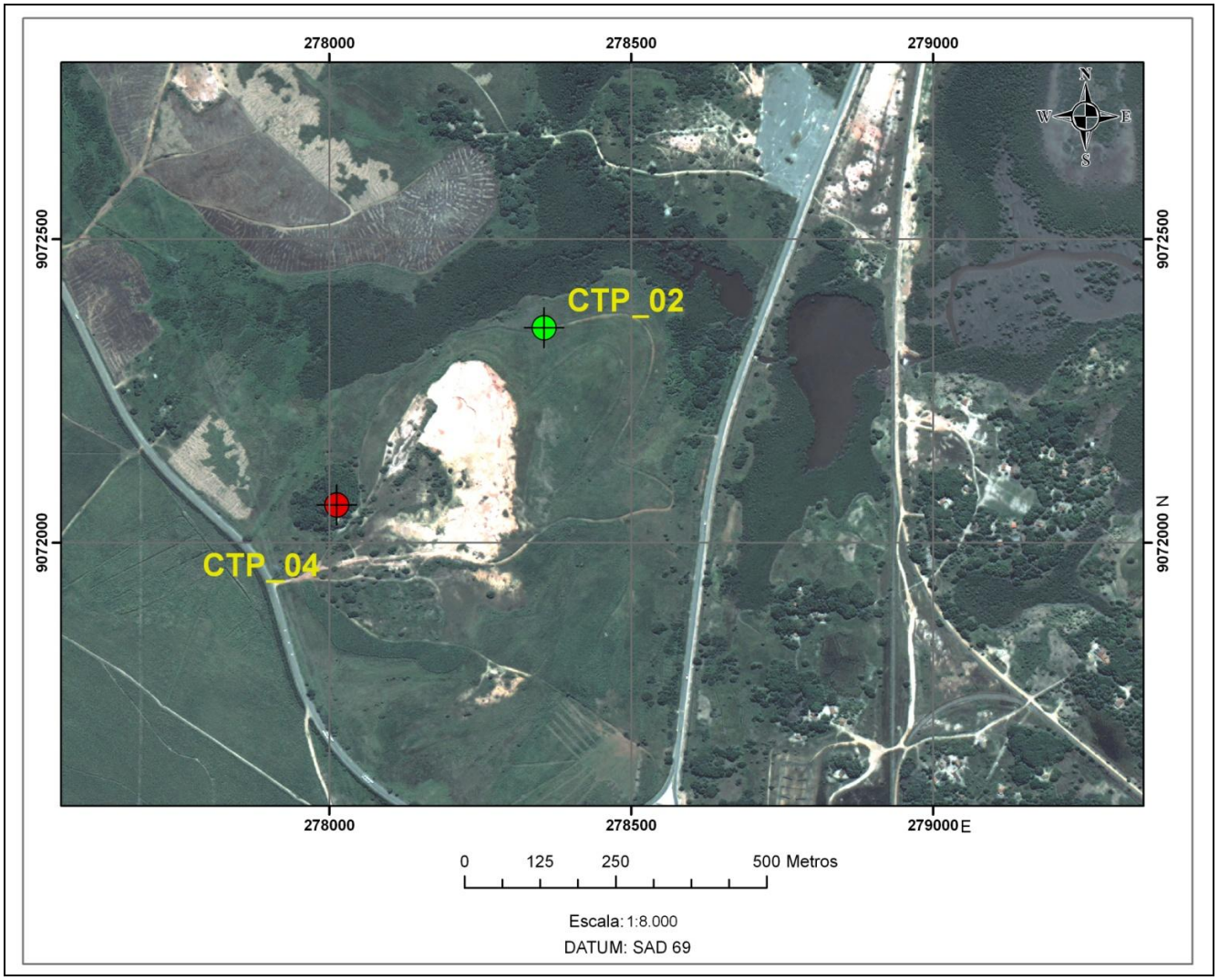

Figura 04: Locais de coleta, CTP 2 e CTP2. Fonte: Google Maps Co, 2005.

4. TECTÔNICA E ASPECTOS GEOLÓGICOS

Na área estudada ocorre a Bacia de Pernambuco que segundo Lima Filho (1998) compreende uma estreita faixa paralela ao litoral pernambucano (figura 05), possuindo uma forma alongada na direção N20°E, com uma extensão aproximada de 80 km e de largura máxima de 12 km na sua porção emersa.

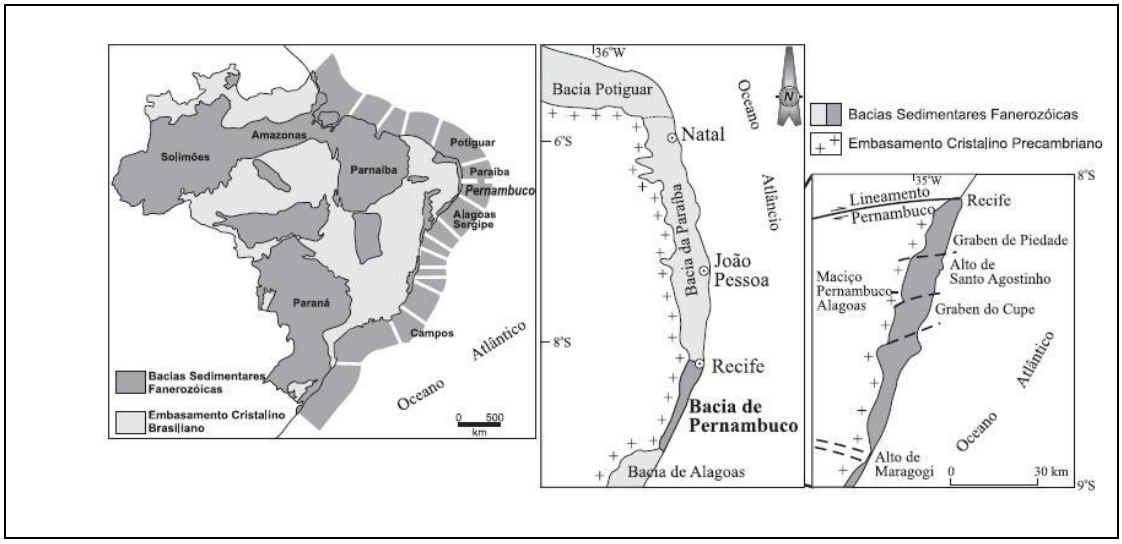

Figura 05. Localização da Bacia de Pernambuco, destacando a tectônica. (Nascimento *et al*. 2003)

Segundo Nascimento (2003) esta Bacia encontra-se próxima ao último elo de ligação entre os continentes sul-americano e africano em épocas anteriores à deriva continental e está associada à cobertura do Oceano Atlântico Sul e das bacias marginais costeiras brasileiras, iniciada no Jurássico Superior, sendo que foi desenvolvida plenamente no Cretáceo. As rochas sedimentares e magmáticas, cretáceas, em conjunto com as coberturas cenozóicas, repousam de forma discordante sobre o embasamento pré-cambriano pertencente ao Terreno Pernambuco-Alagoas, porção centro-sul da Província Borborema.

De acordo com Lima Filho (1998) as particularidades estruturais e estratigráficas distinguiram a Bacia de Pernambuco (a sul) da Bacia Paraíba (a norte), separadas pelo

Lineamento Pernambuco. A porção emersa da Bacia de Pernambuco, com cerca de 900 km^2, faz parte da margem continental leste brasileira, que está balizada ao norte pelo lineamento Pernambuco e o sul pelo Alto Maragogi e está estruturalmente dividida pelos *graben*s assimétricos de Piedade e Cupe e pelo alto interno do Cabo de Santo Agostinho, que são os dois elementos morfo-estruturais principais (Almeida *et al.* 2005).

Ainda segundo Lima Filho (1998) é nos *grabens* que se concentram as maiores espessuras da Formação Cabo e centros vulcânicos. Com uma posição aproximadamente NW-SE, que separa dois *grabens* assimétricos, sendo o primeiro o Alto do Cabo de Santo Agostinho que está centrado no corpo granítico homônimo e o segundo são as rochas vulcânicas entre a Vila de Suape e Engenho Algodoais.

A seção *rifte* da Bacia de Pernambuco se caracteriza pela Formação Cabo (*graben* do Cupe), a seção *pós-rifte*, pelas formações Estiva e Algodoais. A Suíte Magmática Ipojuca decorrente do intenso magmatismo ocorrido a cerca de 100 milhões de anos sobrepõe as formações Cabo, Estiva e Algodoais.

4.1. FORMAÇÃO CABO

A Formação Cabo ou Província Magmática do Cabo é constituída principalmente por traquitos e traquiandesitos e riolitos, contendo ainda rochas de fluxo piroclástico (ignibritos), basaltos e álcali-feldspato granito (Granito do Cabo). Essas rochas ocorrem praticamente em toda a bacia, embora predominando na região Cabo-Ipojuca e Serinhaém, sob a forma de diques, derrames, soleiras, *plugs*, lacólitos ou corpos semi-circulares. Segundo mapa litológico da Província Magmática do Cabo (Nascimento, 2004) ocorre predominantemente na área de estudos os traquitos (figura 06 e 07).

Segundo Lima Filho (1998), esta formação possui variação lateral formando um sistema de leques aluviais subaéreos ou sublacustres em clima árido decorrente da presença de diferentes fácies. A fácies proximal, desde o município do Cabo até Serinhaém, nas proximidades dos falhamentos de borda, abrange conglomerados polimíticos e polimodais, maciços ou, eventualmente acamadados, com intercalações arenosas, contendo seixos e matacões de granitóides finos ou porfitíticos, gnaisses, xistos, pegmatitos e anfibolitos, imersos em uma matriz arenosa.

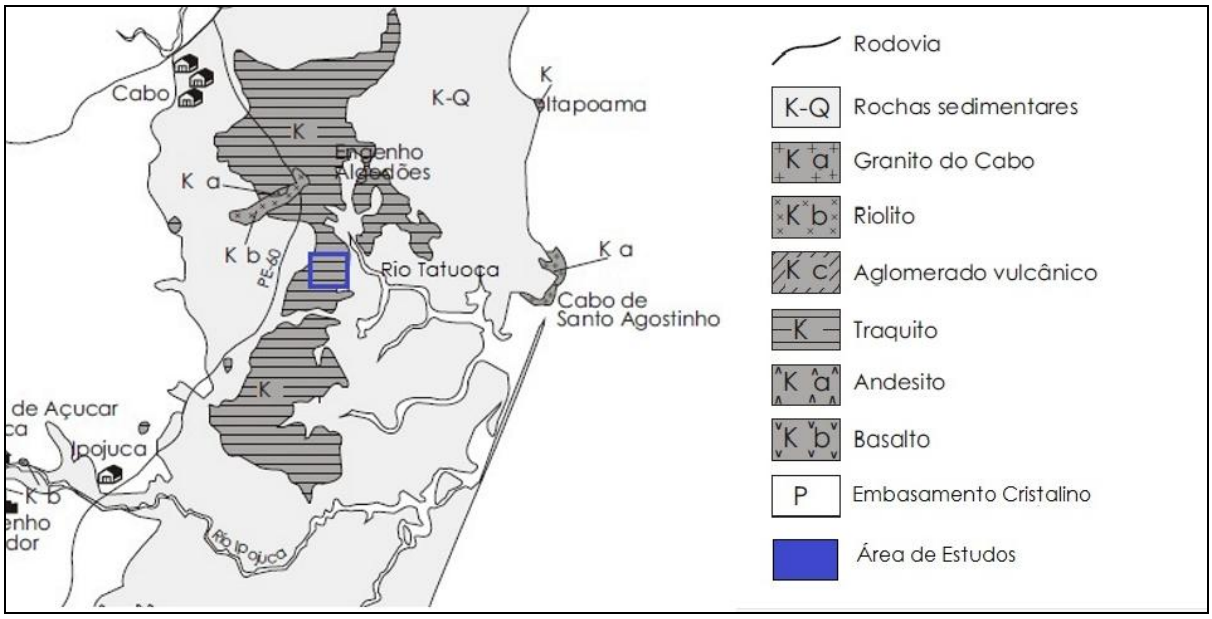

Figura 06: Litologia da Província Magmática do Cabo, adaptado de Nascimento *et al.*(2004)

Os matacões e seixos variam de arredondados ou subangulosos, atingindo até a dimensão de 3m. Apresenta tipologia sin-deposicional, contendo fragmentos angulosos de quartzo, feldspatos e algumas rochas. Em alguns casos, a matriz imatura, suporta os conglomerados e brechas. A fácies mediana sobrepõe e interdigita lateralmente a fácies proximal, depositada em alguns casos diretamente sobre o embasamento cristalino. A transição desta sobreposição é identificada pela presença de arenitos grossos a médios, com intercalações descontínuas dos níveis conglomeráticos de espessura métrica a decimétrica, normalmente com estratificações plano-paralelas, próprias do regime de fluxo superior, ou acanaladas de grande porte. Estes arenitos variam de médio a finos, intercalados por níveis argilosos e sílticos, na interface com a fácies distal, apresentando-se imaturos na sua composição e textura, que foram depositados por correntes confinadas em canais, sendo um tipo de fluxo comum em sistemas de leques aluviais.

Nas regiões de Tamandaré – rio Formoso, Itapoama, norte de Gaibu e em Suape, ocorre a fácies distal, formada por folhelhos intercalados com siltitos e arenitos médio a finos. Ocorre sucessão rítimica nos arenitos e folhelho, o que representa a progradação e retrogradação da porção distal de leques aluviais adentrando em um lago tecnônico. A sedimentação deste lago foi marcada em alguns casos por depósitos turbidíticos.

4.2. FORMAÇÃO ESTIVA

Segundo Tomé *et al* (2006), existem poucas exposições desta Formação em superfície, sendo que as principais afloramentos são no Engenho Gameleira e Estiva. O primeiro consiste em banco de calcário horizontalizado, com altura e extensão com 2m e 6m, respectivamente. No segundo, a seqüência carbonática com marcante diagênese e estrutura quase amorfa, surgem pequenos blocos e matacões de calcários dolomíticos de granulometria fina com porções argilosas. Em subsuperfície esta Formação foi reconhecida principalmente a partir dos poços perfurados na Bacia de Pernambuco a partir do Alto do Cabo de Santo Agostinho.

Nesta Formação os calcários são rochas características sendo identificadas em duas idades distintas: cenomaniana- turoniana em alternâncias de calcários, margas, siltitos e folhelhos (Nascimento 2003; Muniz & Almeida 1988; Lima & Pedrão 1994). Apresenta diferentes níveis de margas, calcários e outros sedimentos, sendo que o primeiro ciclo transgressivo caracteriza-se pela presença de sedimentos carbonáticos interdigitados com arcóseos da Formação Cabo, sotopostos a basaltos e traquitos da região oeste do Porto de Suape. O segundo é caracterizado por sedimentos marinhos carbonáticos, com importante influência terrígena na direção do continente, com variação litológica carbonática, argilo-carbonática a areno- sílticos carbonáticos. O terceiro é caracterizado por carbonatos sub-aflorantes que são sobrepostos às rochas vulcânicas da Suíte Magmática Ipojuca e sotopostos a uma superfície de erosão classificada como pré-Algodoais definida por Lima Filho (1998) & Cruz (2002). Esta Formação ocorre também a oeste de Porto de Galinhas e na estrada para ponta de Serrambi. (Nascimento 2003; Amaral & Menor 1979).

4.3. FORMAÇÃO ALGODOAIS

Segundo Lima Filho (1998), esta unidade se caracteriza por apresentar rochas que repousam em discordância angular ou erosional, ora sobre os tipos litológicos da Formação Cabo ora sobre os litotipos da Suíte Magmática Ipojuca e sobre os carbonatos da Formação Estiva, sendo neste caso, sub-aflorante. O contato com a Formação Barreiras se caracteriza por uma discordância erosional que apresenta níveis basais de

conglomerados e arenitos conglomeráticos, constituindo um marco estratigráfico que segrega a Formação Algodoais da Formação Barreiras.

A Formação Algodoais é formada por rochas conglomeráticas mono a polimíticas, predominando fragmentos vulcânicos e às vezes quartzosos e litotipos do embasamento cristalino, incluindo-se arenitos e intercalações de argilitos. Os seixos apresentam pouco arredondamento, evidenciando proximidade aos blocos conglomerados, sendo que estes apresentam níveis regulares de seixos com embricamento, o que caracteriza sentido de fluxo trativo com paleocorrente para NNE.

4.4. SUÍTE MAGMÁTICA IPOJUCA (SMI)

Segundo Almeida *et al* (2003), a Suíte Magmática do Ipojuca (SMI) é constituída por rochas vulcânicas e subvulcânicas (basaltos, traqui-basaltos e traquitos, riolitos) e equivalentes piroclásticos dos dois últimos, e pelo *Granito do Cabo*, ocorrendo exposições esparsas por toda a Bacia Pernambuco. Ocorre mesmo de forma secundária a sul do Rio Formoso; na região do Cabo-Ipojuca, seguida por Serinhaém, onde concentram a maior parte das ocorrências de superfície, que evidenciam ser freqüentes ao longo dos setores da Bacia com bordas falhadas. As rochas desta Unidade estão relacionadas a eventos da Bacia Pernambuco apresentando rochas vulcânicas e subvulcânicas e o Granito do Cabo (Lima Filho, 1998).

Segundo Almeida *et al* (2005) a presença de derrames e camadas piroclásticas, junto com corpos hipabissais (soleiras, diques, *plugs*, além do plúton epizonal), indica que o magmatismo foi contemporâneo e sucedeu, certamente por curto lapso de tempo, a deposição dos sedimentos da Formação Cabo.

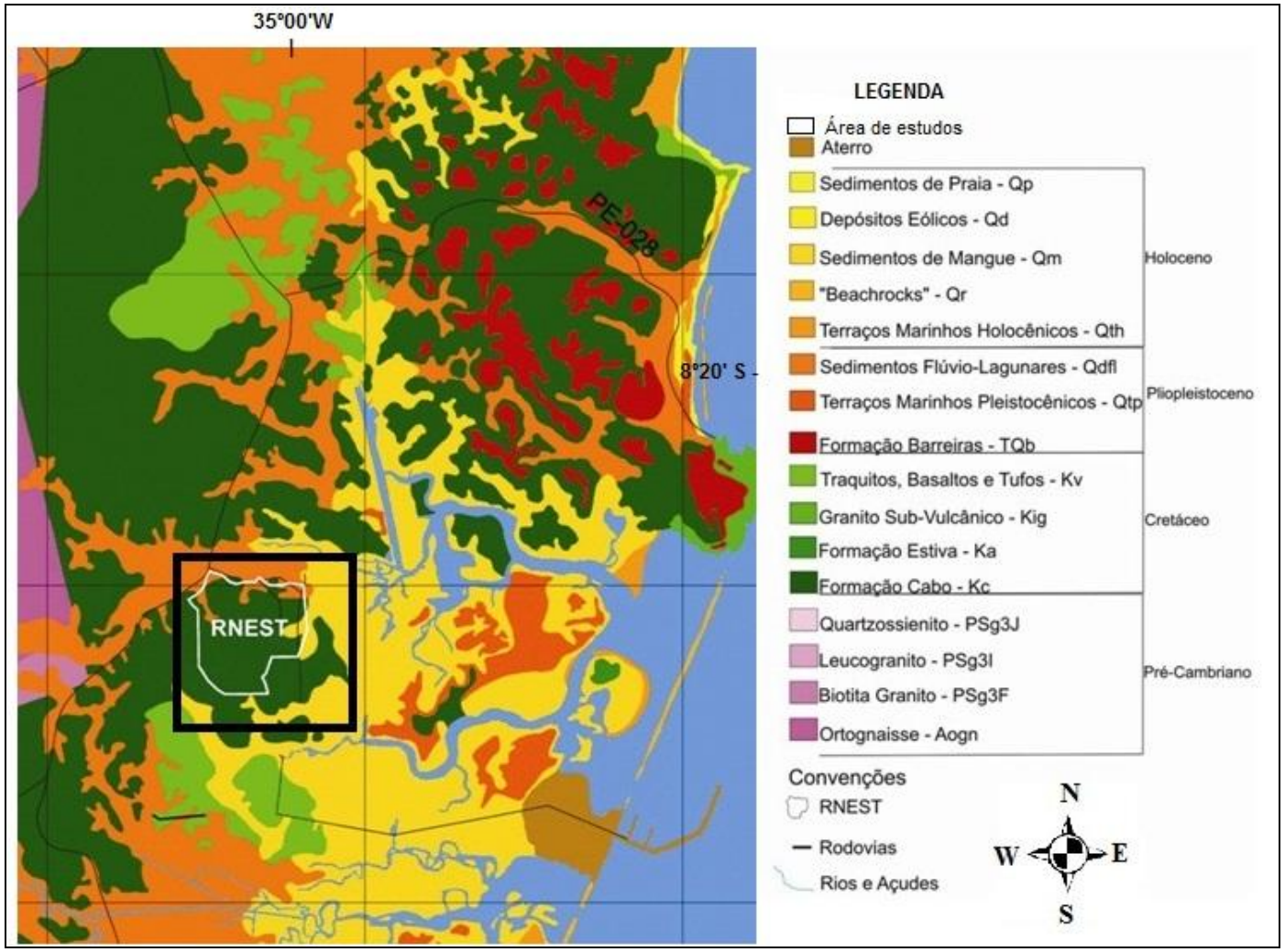

Figura 07 – Geologia regional, adaptado de GUERRA (1998) *in* FADE (2006)

5. PEDOLOGIA

Segundo a EMBRAPA (2002), solos são corpos naturais constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta. Contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas.

Os processos gerais de formação dos solos são: o material parental, a distribuição do clima, o relevo e sua topografia, a biosfera e o tempo. Segundo Teixeira *et. al*. (2003) esses fatores podem variar de acordo com as características do ambiente em que se processa o intemperismo, influenciando diretamente nas reações de alterações, no que diz respeito a sua natureza, velocidade e intensidade, os chamados fatores do intemperismo. A alteração geoquímica das rochas depende da natureza dos minerais constituintes, de sua textura e estrutura, entre os minerais constituintes das rochas, sendo que alguns são mais suscetíveis que outros na alteração.

O clima é o fator que mais influencia na meteorização e por si só determina a velocidade e o tipo do intemperismo. O físico vai predominar em ambientes onde a pluviosidade é baixa já o químico a sua predominância é onde a pluviosidade é alta. O relevo vai regular a velocidade do escoamento superficial das águas pluviais, logo vai incidir diretamente na intensidade do intemperismo.

A qualidade da água que promove o intemperismo químico é bastante influenciada pela ação da biosfera, pois os ácidos orgânicos produzidos pelos microorganismos são capazes de extrair até mil vezes mais ferro e alumínio dos silicatos que as águas da chuva. O tempo necessário para intemperizar uma determinada rocha depende dos outros fatores que controlam o intemperismo, principalmente da susceptibilidade dos constituintes minerais e do clima.

Segundo a EMBRAPA (2002) os gleissolos são distróficos e eutróficos, atividade baixa e alta, relevo plano e suavemente ondulado, com horizonte A moderado e proeminente e fase floresta perenifólia de várzea. Os Solos de Mangue são indiscriminados, com textura indiscriminada e fase de relevo plano.

O solo tem como limite superior a atmosfera. Os limites laterais são os contatos com os corpos d água superficiais, rochas, gelo, áreas com coberturas de matéria detríticos inconsolidados, aterros ou com terrenos sob espelhos d´água permanentes. O limite inferior do solo é difícil de ser definido. Em geral, o solo passa gradualmente no seu limite inferior, em profundidade, para rocha dura ou materiais saprolíticos ou sedimentos que não apresentam sinais de influência de atividade biológica.

O material subjacente (não-solo) contrasta com o solo, pelo decréscimo nítido de constituintes orgânicos, decréscimo de alteração e decomposição dos constituintes minerais, enfim, pelo predomínio de propriedades mais relacionadas ao substrato rochoso ou ao material de origem não consolidados (EMBRAPA, 2002).

Ainda segundo a EMBRAPA (2002), ao se examinar a partir da superfície, os solos consistem de seções aproximadamente paralelas, organizados em camadas e/ou, horizontes que se distinguem do material de origem inicial, como resultado de adições, perdas, translocações e transformações de energia e matéria que ocorrem ao longo do tempo e sob a influência dos fatores clima, organismos e relevo.

Os solos encontrados na área são provenientes da alteração de rochas da Formação Algodoais e Depósitos de Mangue, como o Gelissolo e os Solos Indiscriminados de Mangue (Figura 08).

A base de dados do ZAPE – Zoneamento Agropecuário de Pernambuco serviram de suporte para a confecção dos mapas, inclusive os de solo, sendo que quando os pontos de coleta são plotados através do Software Arc Gis 9.3, sobre os dados de solo, há uma margem de erro o que sugere um mapeamento pedológico de detalhe, para melhor reconhecimento classificatório dos solos em nível regional.

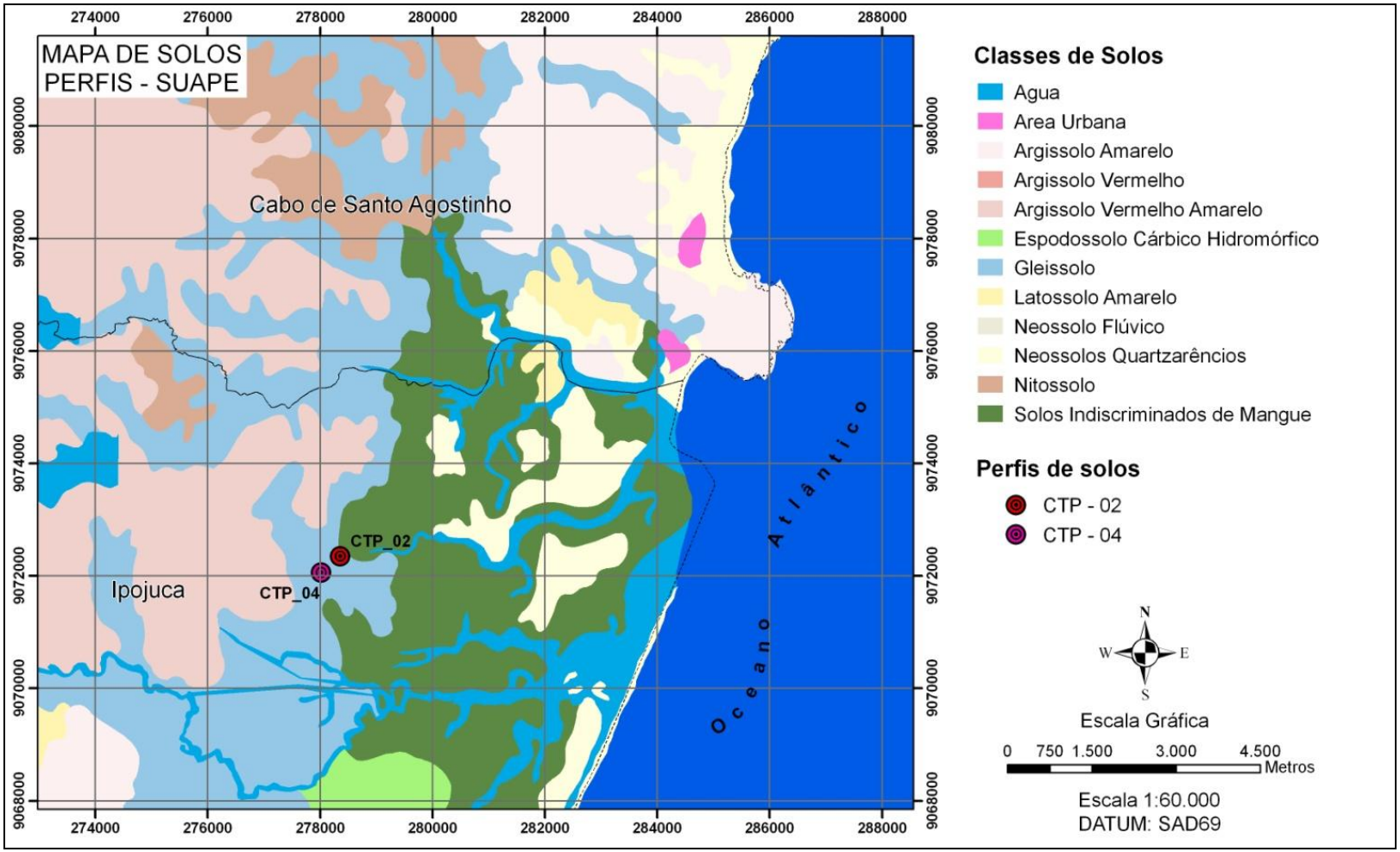

Figura 08, mapa de solos: Gleissolo e os Solos Indiscriminados de Mangue. (Fonte: base de dados do ZAPE/ZANE e confeccionado pelo autor)

6. GEOMORFOLOGIA E ASPECTOS CLIMÁTICOS

A compartimentação geomorfológica desta área, segundo Neumann (1991) compreende de forma dominante, as seguintes unidades: Modelado Cristalino, Domínio Colinoso, Rampas de Colúvio e Planície Costeira (Terraços fluviais; Terraços marinhos superiores, Terraços marinhos inferiores, Baixios de marés, Cordões litorâneos e flechas litorâneas, Bancos de arenitos e Recifes de corais).

De acordo com Teódulo (2003) vários fatores condicionam a geomorfologia de uma paisagem e estes fatores determinam a predominância das feições, sendo que um dos condicionantes dos impactos destes fatores sobre estas feições é a idade de formação de determinado depósito ou componente geológico.

Segundo Teódulo (2003), os fatores morfoclimáticos estão relacionados à questão climática, que em função da grande umidade do ar e alta pluviosidade, apresenta condições adequadas para atuação de uma forte meteorização química sobre as rochas (Figura 09).

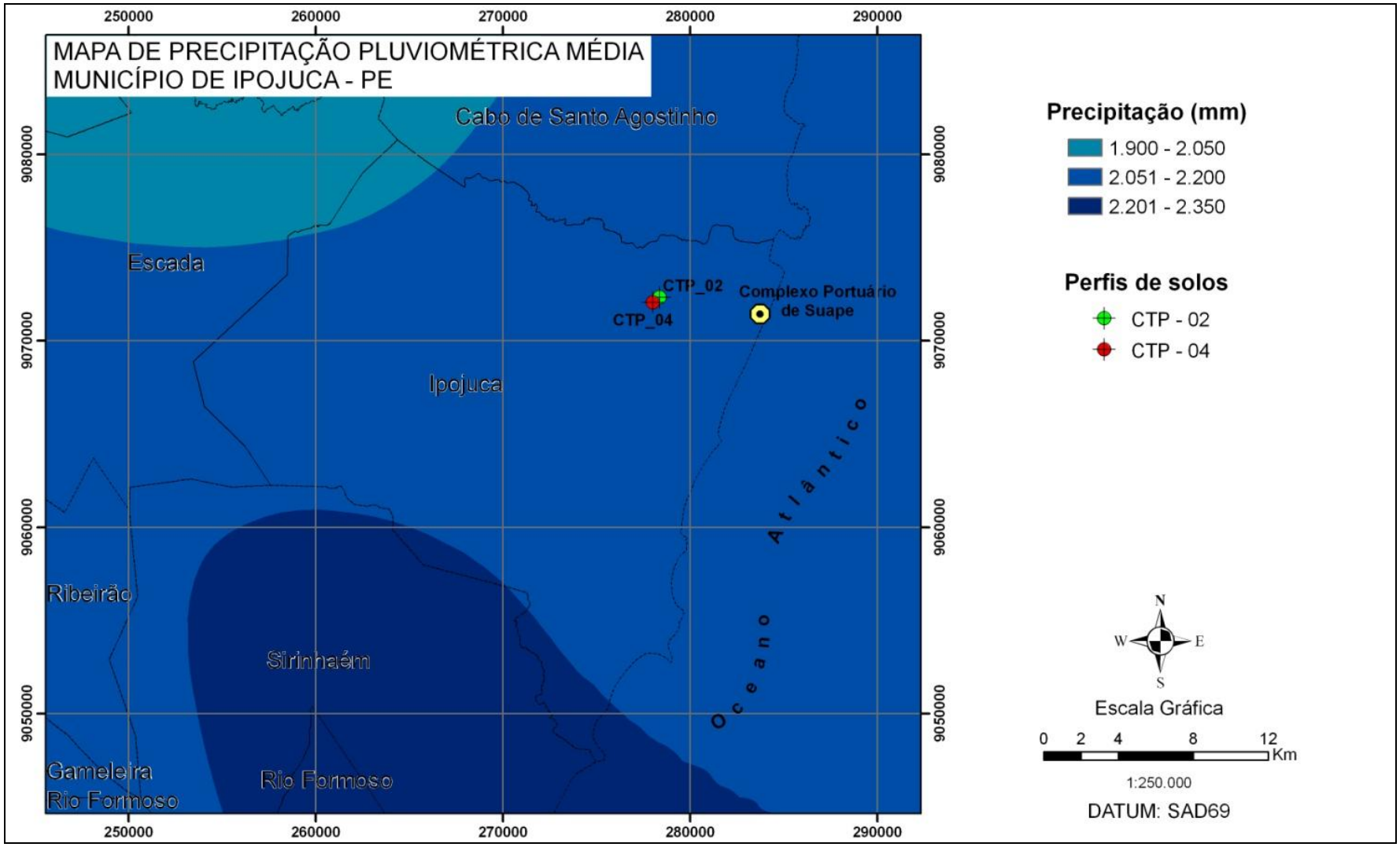

Figura 09– mapa da precipitação média anual (Fonte: base de dados do ZAPE/ZANE e confeccionado pelo autor,)

A área da CIPS é dissecada pelas bacias hidrográficas dos Rios Massangana, Tatuoca, Merepe, Pirapama, Ipojuca, Sibiró Maracaípe, Arantangí e Taperuçu, além dos estuários dos rios Pirapama a norte e Ipojuca a sul. Apenas as bacias do Massangana, Tatuoca e Merepe estão totalmente contidas dentro dos limites da área do Complexo Industrial Portuário de Suape (Teódulo, 2003).

Pode-se observar através da hispsometria (Figura 10) alterações diferenciais nas rochas que compõem o embasamento cristalino, atingindo intensidades elevadas, a ponto de transformar uma rocha coerente em material inconsolidado. As rochas graníticas aflorantes a oeste da área de CIPS apresentam muitas vezes mantos de meteorização química com espessura superior a 30 cm. Os depósitos holocênicos, com fator limitante a idade de formação, não sofre impactos dos fatores morfoclimáticos quando relacionados com os mesmos níveis das outras formações geológicas existentes (Teódulo, 2003).

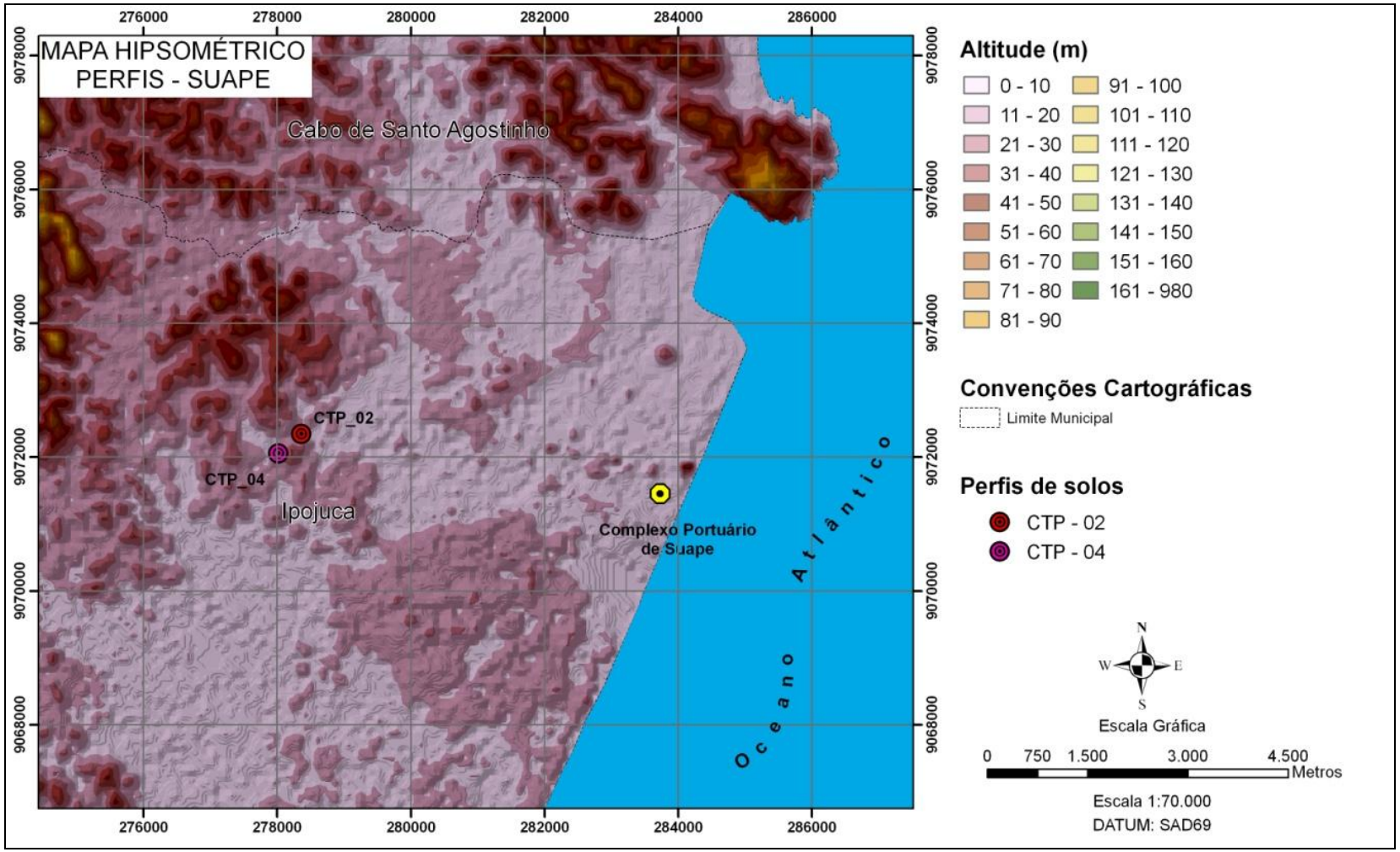

Figura 10 – Hipsometria. (Fonte: base de dados do ZAPE/ZANE e confeccionado pelo autor)

O rio Merepe nasce na porção central do município de Ipojuca, em terras do Engenho Queluz, com nome de Arimbi, encontrando na desembocadura, o rio Ipojuca, desaguando estes rios ao Sul do Porto de Suape (CPRH, 2001). O rio Ipojuca nasce no município de Arcoverde na Serra das Porteiras, a 876 m de altitude. Este rio recebe uma quantidade razoável de poluentes devido ao despejo de efluentes emanados das atividades agroindustriais (usinas, destilarias e canaviais), pois banha sete cidades, em especial a sede do município de Ipojuca.

A Bacia do rio Ipojuca encontra-se em parte comprimida entre as bordas limítrofes do Lineamento Pernambuco, possuindo um importante afluente, o Riacho Liberal. No trecho em que margeia a Usina Ipojuca, o rio homônimo revela ampla planície fluvial, com o uso do solo resumido ao plantio da cana-de-açúcar até a altura da Usina Salgado, aonde vai se revelando a vegetação de manguezal, típica dos estuários tropicais. É neste trecho onde encontra os rios Tatuoca e Merepe, configurando extenso estuário afogado.

Segundo CPRH (2001), o rio Massangana limita os municípios de Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, tendo como formadores os rios Tabatinga e Utinga de Baixo, que nascem no município de Ipojuca. No rio Tabatinga situa-se a barragem do Bita e no Utinga, que são mananciais integrantes do sistema de abastecimento hídrico do CIPS. O rio Massangana deságua ao sul do promontório de Santo Agostinho, onde encontra o Tatuoca. Este último nasce a 6 km da foz, compreendendo uma complexa rede de canais e estuário afogados (figura 11).

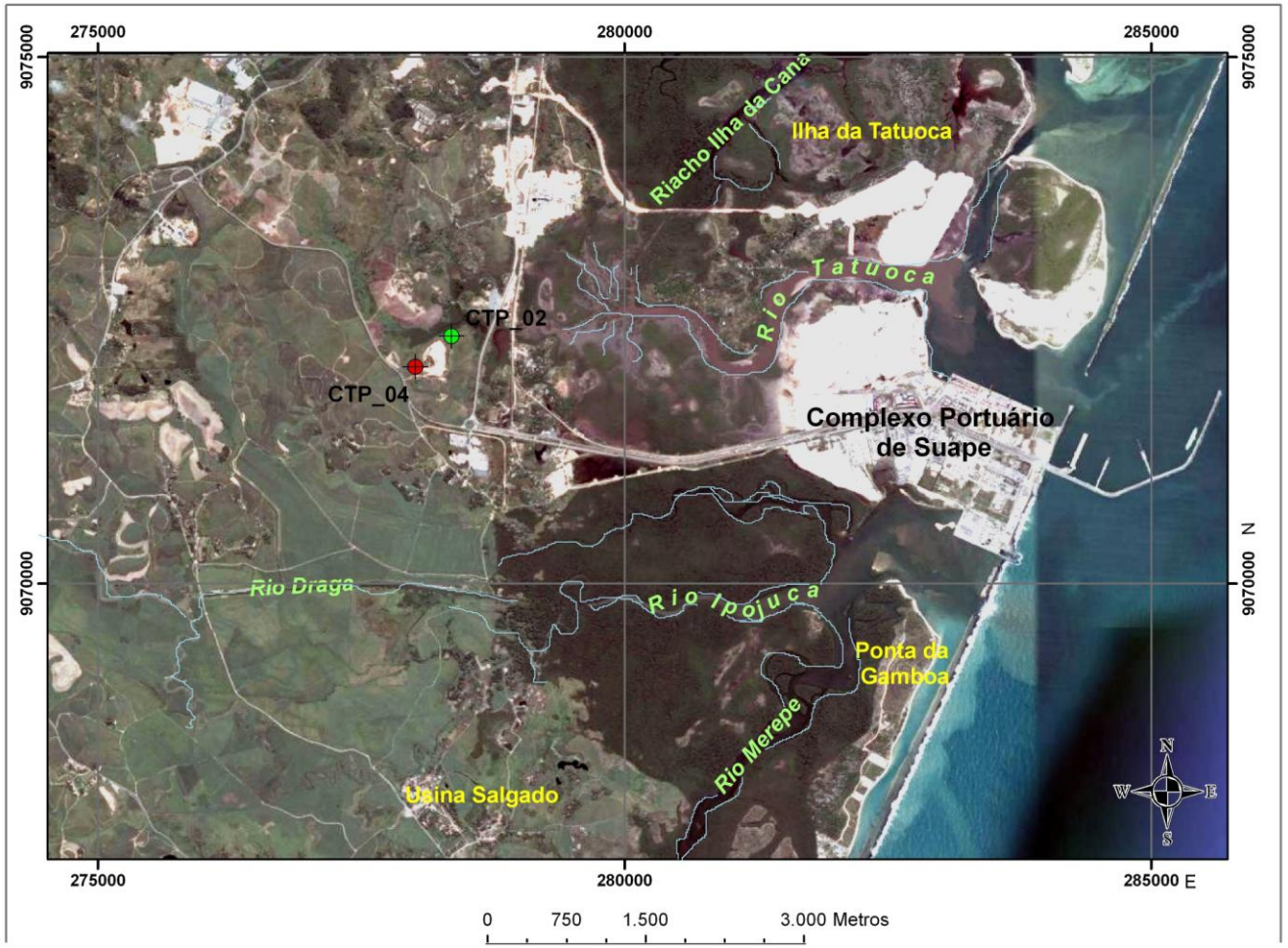

Figura 11– Drenagem: Rios Massangana, Tatuoca, Merepe, Pirapama, Ipojuca, Sibiró, Maracaípe. Aratangí e Taperuçu. (Fonte Google maps, 2009 e confeccionado pelo autor)

7. O COMPLEXO INDUSTRIAL PORTUÁRIO DE SUAPE

A Bacia do Rio Tatuoca abrange parte do município do Cabo de Santo Agostinho e parte do município de Ipojuca, incluindo o Complexo Industrial-Portuário de Suape.

Suape era o nome de um ancoradouro existente no Cabo de Santo Agostinho, que ficava separado do mar por um cordão de recifes de arenito. Em sua extremidade norte, no qual desembocavam três rios importantes - o Massangana, o Tatuoca e o Ipojuca - uma muralha de aproximadamente 800 metros permitia o acesso de pequenas embarcações. Quando somente os índios viviam ali, o atual rio Massangana era chamado de Suape, que em tupi, significa caminho incerto - devido à própria trajetória incerta desse rio. Desde o começo da civilização em nosso país, por seu alto valor estratégico, a posição do Cabo de Santo Agostinho e a configuração das regiões adjacentes deram margem à utilização do estuário de Suape como base de infra-estrutura portuária, bem como à disputa de holandeses e portugueses pelo seu domínio, em grandes batalhas (Fundação Joaquim Nabuco, 2009).

Durante muito tempo, e na maior parte do século XX, o distrito industrial de Pernambuco concentrou-se no município do Cabo, na Região Metropolitana do Recife, porque a capital do Estado não dispunha de um espaço adequado para tal finalidade. O crescimento das regiões urbanas, entretanto, veio provocar uma maior sobrecarga no Porto do Recife, o que contribuiu para se pensar em alternativas portuárias ao sul do litoral. O recôncavo do Cabo de Santo Agostinho, e uma área ao seu redor, foram escolhidos como a melhor (Fundação Joaquim Nabuco, 2009).

Em 1973/1975, o Governo de Pernambuco concebeu um Plano Diretor e deu início à luta pela implantação de um Complexo Industrial-Portuário no Cabo de Santo Agostinho, uma vez que a própria posição geográfica do Estado, no centro da Região Nordeste, facilitaria a implantação do Porto de Suape. Levaram-se em consideração, ainda, três elementos fundamentais: 1. - A pouco mais de 1 km do cordão de Arrecifes, junto à linha da costa, a localidade possuía águas com profundidade de 17 metros; 2. - Havia um quebra-mar natural formado pelo cordão de arrecifes; e, 3. - Existiam na região extensas áreas reservadas à implantação de um grande parque industrial (Suape, 2009).

A regularização da situação jurídico-institucional do Porto de Suape, junto ao Governo Federal, por outro lado, efetivou-se mediante o Departamento de Transportes Aquaviários da Secretaria Nacional de Transportes, no ano de 1992. Isso permitiu ao Governo de Pernambuco explorar, comercialmente, aqueles serviços portuários (Suape, 2009).

O Complexo Industrial-Portuário de Suape possui mais de 6.000 hectares sob proteção ambiental e, entre as empresas já instaladas ou em fase de instalação, estão empresas de processamento de alumínio, borracha, cimentos, concreto, gás, além de distribuição de petróleo, granito ornamental, caixas plásticas, cerâmica, refrigerantes, combustíveis, incluindo-se também as transportadoras (Suape, 2009).

8. MATERIAIS E MÉTODOS

A concentração dos elementos-traço, através da análise univariada produz a projeção singular do comportamento geoquímico dos elementos, destacando uma linha de análise primária e inicial, possibilitando estruturar uma visão comparativa eficaz para primeiras considerações. Por outro lado, a análise multivariada possibilita ampliar as esferas de análise e otimiza a quantidade de dados a serem estudados.

Segundo Moura, *et al*. (2006), os métodos estatísticos multivariados consideram as amostras e as variáveis em seu conjunto, permitindo extrair informações complementares que a análise univariada não consegue evidenciar. Um dos objetivos da utilização da análise multivariada é reduzir a representação dimensional dos dados, organizando-os em uma estrutura que facilita a visualização de todo o conjunto de dados. As duas técnicas de análise multivariada mais conhecidas são a análise de agrupamento hierárquico (HCA) e análise de componentes principais (PCA), sendo este último o instrumento que foi utilizado.

De maneira geral, a análise multivariada viabiliza avaliar um volume significativo de dados com a eficiência da visão global das concentrações associado aos critérios dos parâmetros estabelecidos para o universo de análise. Permite neste caso, visualizar simultaneamente a variabilidade e as concentrações dos elementos analisados abrangendo a totalidade detectável destes elementos nos perfis comparados aos níveis das profundidades, de forma viável, descartando as variáveis menos relevantes.

Nesta pesquisa, o estudo do Fator de Enriquecimento - FE e a da Análise de Componentes Principais – ACP, foram os instrumentos de análise, utilizando-se como parâmetro de referência os valores de *background* indicados na literatura.

A Análise de Componentes Principais é uma técnica de análise estatística multivariada, e consiste na redução da dimensionalidade dos pontos representativos das amostras, pois, embora a informação estatística presente nas n-variáveis originais, seja a mesma dos n-componentes principais, é comum ter apenas 2 ou 3 das primeiras componentes principais mais que 90% e desta informação.

Segundo Moura, *et al*. (2006), a PCA é uma técnica de análise multivariada baseada nas combinações lineares das variáveis originais. O novo conjunto de variáveis, denominadas componentes principais, são ortogonais entre si e, portanto, não correlacionadas. As primeiras componentes principais explicam a maior parte da variância total contida no conjunto de dados e podem ser usadas para representá-lo.

O gráfico da Componente Principal 1 *versus* a Componente Principal 2 fornece uma janela privilegiada (estatisticamente) para observação dos pontos no espaço n-dimensional. A análise de componentes principais também pode ser usada para julgar a importância das próprias variáveis originais escolhidas, ou seja, as variáveis originais com maior peso (*loadings*) na combinação linear dos primeiros componentes principais são as mais importantes do ponto de vista estatístico (Moita Neto & Moita, 1997).

O gráfico dos *loadings* mostra o quão significantes são as variáveis em função das PCs. Quanto mais próximo da circunferência, mas importante é a variável. Este gráfico também define que variáveis são importantes em cada quadrante. Em comparação com o gráfico dos *scores* (neste caso, o das profundidades), se um ponto referente estiver perto dos limites da circunferência no segundo quadrante, por exemplo, todo ponto de profundidade que estiver nas mesmas coordenadas (ou próximo), terá uma concentração alta daquele elemento.

As PCs são os novos eixos que definem o conjunto de amostras mais apropriadamente. Cada variável que se tem, forma um eixo no seu sistema multidimensional. Se houvesse apenas 3 variáveis, teríamos um sistema de eixos tridimensionais (tipo x, y e z). O que a técnica de PCA faz, é rotacionar estes eixos de modo que eles fiquem numa posição mais apropriada para descrever e facilitar a compreensão dos dados. Isso faz com que os

antigos eixos (por exemplo, os eixos x, y, z – referente aos elementos) sejam renomeados para PC 1, PC 2, PC 3, etc.

Estes novos eixos tem a característica de resumir a informação de todo o seu conjunto de dados dentro de cada um deles, PC 1 contendo mais informação que PC 2, que contém mais informação que PC 3 e assim por diante (por isso, cada eixo vem acompanhado do percentual de informação (ou variância).

Alguns softwares geram este material de análise, para esta pesquisa foi utilizado o software Statistica 9.0 versão *Trial*.

Foram coletadas amostras provenientes de dois perfis de solos com 16 e 6 metros respectivamente, denominados CTP2 e o CTP4, respectivamente.

Tais amostras foram secadas numa estufa a uma temperatura de 50°, por um período de 24 horas e, posteriormente, na temperatura ambiente, foram homogeneizadas com auxílio de almofariz de porcelana, higienizando-se com água deionizada no laboratório de preparação de amostras de Geologia Ambiental, do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco. Em seqüência, foram retiradas 10g por amostra e enviadas ao laboratório Geosol, para a análise geoquímica, onde foi utilizada a técnica de Espectometria de Absorção Atômica (ICP/AES), obtendo-se as concentrações dos elementos: Al, Ba, Ca, Cr, Fe, K, Li, Mg, Na, Ni, Pb, Sr, V, Y, Zn e Zr.

Inicialmente as concentrações dos elementos foram analisadas estatisticamente de forma univariada. Estas foram comparadas individualmente com o Fator de Enriquecimento e as profundidades correspondentes. Obteve-se assim, a evolução das concentrações de cada elemento em cada perfil, caracterizando assim a assinatura geoquímica no perfil considerado.

Posteriormente, a análise multivariada através de componentes principais foi utilizada, consistindo essencialmente em reordenar as amostras em outro sistema de eixo mais conveniente para análise de dados. Em outras palavras, as n-variáveis originais geraram através de duas combinações lineares, n-componentes principais, cuja principal característica, além da ortogonalidade, é a ordem decrescente de máxima variância, ou seja, a componente principal 1 detém mais informação estatística que a componente principal 2, que por sua vez, possui mais informação que a componente principal 3, e assim por diante (MOITA & MOITA NETO et al, 2006).

.

9. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dos dezessete elementos conhecidos como essenciais ao crescimento das plantas e dos microorganismos, oito são necessários em quantidades tão pequenas que são denominadas *micronutrientes*, ou elementos-traço, destacando-se o ferro, manganês, zinco, cobre, boro e molibdênio. Outros elementos, como silício, vanádio e sódio, aparentam ser úteis ao crescimento de certas espécies (Brandy, 1989).

Ainda segundo este autor, o cobre, o ferro e o molibdênio se comportam como "portadores de elétrons" no sistema enzimático que produz nos vegetais as reações de oxidação–redução. Ao que parecem, tais reações que são essenciais ao desenvolvimento e à reprodução dos vegetais, não sobrevêem na ausência desses micronutrientes. Zinco e manganês também funcionam no sistema necessário às importantes reações do metabolismo vegetal.

Para este estudo, estes elementos foram analisados nos dois perfis, com o total de 45 amostras a partir das concentrações de 29 elementos.

A seguir, são apresentados os resultados analíticos nos perfis CTP 2 (Tabela 01) e CTP 4 (tabela 02).

CONCENTRAÇÕES MÉDIAS																													
	Al	As	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Sc	Sr	Th	Ti	V	Y	Zn	Zr
Sample ID	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm
P02 (0-0.5)	1,5	2,5	18	0,5	0,005	1,2	1,5	53	53	4,6	0,005	0,5	1,7	0,02	0,02	5,5	0,02	44	0,005	75	2,5	1,5	5,2	13	0,1	20	5,4	4,7	10
P02 (0.5-1)	2,6	2,5	32	0,5	0,005	1,2	1,5	40	9,9	3,2	0,01	0,5	2,4	0,03	0,01	2,9	0,02	11	0,005	20	2,5	1,5	8,1	14	0,13	32	4,9	0,5	18
P02 (1-1.5)	4,5	2,5	47	0,5	0,005	2	1,5	67	5,9	5,2	0,02	14	3,9	0,06	0,01	2,2	0,02	12	0,01	18	2,5	4,4	15	20	0,18	62	6,5	0,5	23
P02 (1.5-2.0)	10	2,5	142	0,5	0,005	4,8	3,4	160	12	12,6	0,02	42	7,9	0,17	0,02	1	0,03	31	0,03	19	2,5	16	54	32	0,33	164	13	0,5	27
P02 (2-2.5)	7,4	2,5	67	0,5	0,005	4,1	1,5	161	3	13,5	0,02	20	4,7	0,14	0,02	0,5	0,04	18	0,02	15	2,5	16	25	31	0,23	175	8,8	0,5	24
P02 (2.5-3.0)	8,5	6	103	0,5	0,005	5,2	3,1	207	29	15	0,02	30	6,3	0,21	0,02	0,5	0,04	26	0,04	15	2,5	17	40	37	0,31	176	13	0,5	24
P02 (3.0-3.5)	5,9	2,5	50	0,5	0,005	4	3,5	161	23	13,6	0,03	14	5,1	0,19	0,02	0,5	0,04	15	0,06	13	2,5	17	24	29	0,25	207	11	42	19
P02 (3.5-4.0)	7,6	2,5	74	0,5	0,04	3,8	7,2	130	81	11,1	0,1	22	12	0,6	0,02	1,1	0,05	32	0,08	16	2,5	15	36	23	0,24	155	41	41	14
P02 (4.0-4.5)	7,4	2,5	278	0,5	0,09	3,7	14	121	61	10,7	0,05	82	11	0,78	0,04	0,5	0,04	33	0,18	12	2,5	17	176	19	0,21	178	67	40	6
P02 (4.5-5.0)	7,8	2,5	173	0,5	0,06	4,1	20	150	82	12,7	0,04	32	9,7	0,89	0,05	0,5	0,04	47	0,19	11	2,5	20	77	24	0,24	184	79	64	6
P02 (5.0-5.5)	8,5	2,5	171	0,5	0,09	4,3	23	157	75	12,6	0,08	39	12	0,99	0,05	0,5	0,04	67	0,17	12	2,5	19	79	24	0,24	168	103	93	6,1
P02 (5.5-6.0)	5,9	2,5	217	0,5	0,23	3,4	85	109	67	9,9	0,21	47	19	1,4	0,21	0,5	0,06	68	0,09	11	2,5	13	75	17	0,24	143	140	136	7,3
P02 (6.0-6.5)	6,8	2,5	157	0,5	0,17	3,4	33	125	67	10,2	0,17	35	18	1,1	0,08	0,5	0,07	58	0,11	12	2,5	15	68	19	0,23	151	111	201	6,3
P02 (6.5-7.0)	8	2,5	132	0,5	0,22	3,9	68	127	72	10,3	0,17	49	21	1,3	0,13	0,5	0,06	76	0,12	17	2,5	17	60	19	0,29	180	144	114	8,8
P02 (7.0-7.5)	8,1	2,5	126	0,5	0,29	3,6	41	135	72	8,7	0,15	36	30	1,5	0,08	0,5	0,06	91	0,11	15	2,5	16	66	18	0,23	187	133	300	5,9
P02 (7.5-8.0)	8,6	2,5	159	0,5	0,2	4,2	38	152	74	9,8	0,15	41	39	1,4	0,09	0,5	0,07	109	0,1	16	2,5	17	67	20	0,39	190	92	557	10
P02 (8.0-8.5)	4,5	2,5	229	1,1	0,26	2,7	89	77	59	7,9	0,36	19	18	1,3	0,28	0,5	0,06	93	0,08	17	2,5	9,6	40	17	0,12	113	94	172	8
P02 (8.5-9.0)	6	2,5	223	0,5	0,24	3,1	71	101	69	8,4	0,41	19	17	1,4	0,19	0,5	0,06	85	0,08	14	2,5	11	43	18	0,14	122	106	212	10
P02 (9.5-10)	5,8	2,5	225	0,5	0,25	3,2	36	119	48	9,2	0,2	21	24	1,4	0,1	0,5	0,07	81	0,07	12	2,5	10	74	18	0,17	142	75	156	9,1
P02 (10-10.5)	5,5	2,5	197	0,5	0,22	3,3	28	121	47	10,1	0,19	19	23	1,3	0,08	0,5	0,06	77	0,07	13	2,5	10	69	19	0,2	136	60	152	9,6
P02 (10.5-11)	6,6	2,5	535	1,3	0,22	3,7	78	116	45	11,2	0,21	38	23	1,3	0,22	0,5	0,11	100	0,09	13	2,5	10	117	21	0,13	141	189	139	13
P02 (11-11.5)	7	2,5	508	1,5	0,22	3,4	65	127	59	9,4	0,18	41	20	1,4	0,18	0,5	0,08	103	0,1	13	2,5	10	131	18	0,13	161	152	172	7,6
P02 (11.5-12)	4,9	2,5	841	1,6	0,21	4,1	146	114	52	13,4	0,25	24	24	1,5	0,41	0,5	0,08	131	0,08	12	2,5	11	77	24	0,19	146	176	210	12
P02 (12-12.5)	6,1	2,5	522	0,5	0,21	3,7	97	128	53	10	0,22	24	28	1,9	0,32	0,5	0,09	133	0,05	10	2,5	16	70	21	0,29	140	86	257	16
P02 (12.5-13)	5,9	2,5	300	0,5	0,25	3,2	79	119	53	8,3	0,19	44	34	2,2	0,14	0,5	0,11	145	0,05	9,8	2,5	16	68	17	0,27	119	113	296	17
P02 (13-13.5)	6,4	2,5	289	0,5	0,23	3,5	68	121	54	9	0,19	38	33	2	0,11	0,5	0,12	136	0,05	10	2,5	17	75	18	0,3	135	93	286	12
P02 (13.5-14)	5,5	2,5	254	0,5	0,22	3,2	50	119	45	9	0,16	23	26	1,8	0,09	0,5	0,11	125	0,06	9,3	2,5	15	62	18	0,24	137	53	405	10
P02 (14-14.5)	5,8	2,5	386	0,5	0,23	3,9	64	108	51	12,7	0,34	30	31	1,9	0,13	0,5	0,14	124	0,06	11	2,5	14	63	23	0,25	191	61	210	14
P02 (14.5-15)	4,7	2,5	227	0,5	0,21	2,7	59	113	72	8,4	0,22	34	25	1,2	0,05	0,5	0,12	101	0,06	11	2,5	16	78	17	0,12	134	39	226	13
P02 (15-15.5)	4,3	6	255	5,9	0,23	3,9	31	88	123	15	0,22	19	10	1,1	0,07	0,5	0,13	146	0,08	25	5,7	8,7	44	25	0,07	284	41	146	11
P02 (15.5-16)	4,6	2,5	269	4,4	0,68	2,1	36	95	143	6,3	0,2	43	11	1,2	0,07	0,5	0,16	74	0,19	14	2,5	13	62	12	0,02	140	50	75	3,7
P02 (16-16.5)	5,5	5	509	3,6	1	2,4	30	101	134	6,5	0,28	66	13	1,3	0,17	0,5	0,15	98	0,3	17	2,5	13	68	12	0,04	142	60	146	3,5
P02 (16.5-17)	1,6	8	125	4	0,09	1,5	19	53	43	6,7	0,17	32	6,5	0,28	0,04	3,4	0,05	58	0,05	9,4	2,5	5,6	30	16	0,03	63	23	76	5,4
MÉDIAS	6,05	2,9545	238	1,1	0,1938	3,35	42,2	117,4	58,7	9,85	0,15864	31,455	17,28	1,0685	0,1067	0,897	0,073	77,2	0,086	15,68	2,597	12,98	62,009	20,394	0,198	146	74	149,4	11,83

Tabela 01: Concentrações médias dos elementos do perfil CTP 2.

CONCENTRAÇÕES MÉDIAS																												
	Al	As	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Sc	Sr	Th	Ti	V	Y	Zn	Zr
Sample ID	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm
P 04 (0.5-1)	2,5	2,5	54	0,5	0,005	0,5	1,5	33	22	1,9	0,03	13	2,1	0,05	0,005	3,1	0,02	13	0,005	13	2,5	1,5	12	13	0,07	21	3,3	2,2	11
P 04 (1-1.5)	2,3	2,5	44	0,5	0,005	0,5	1,5	29	20	1,8	0,02	12	1,6	0,04	0,005	2	0,03	17	0,005	11	2,5	1,5	9	13	0,06	17	3,3	0,5	9
P 04 (1.5-2.0)	1,9	2,5	39	0,5	0,005	0,5	1,5	25	15	1,2	0,02	10	1,2	0,02	0,005	2	0,02	8,8	0,005	10	2,5	1,5	8	11	0,06	13	2,7	0,5	8,4
P 04 (2.0-2.5)	3,3	2,5	28	0,5	0,005	0,5	1,5	17	17	0,94	0,02	0,5	2,1	0,02	0,005	0,5	0,03	8,4	0,005	19	2,5	1,5	4,6	12	0,02	13	6,2	0,5	12
P 04 (2.5-3.0)	3,1	2,5	21	0,5	0,005	0,5	1,5	11	11	0,64	0,02	0,5	1,8	0,02	0,005	1,2	0,03	6,1	0,005	15	2,5	1,5	3,8	12	0,02	7,9	7,6	0,5	12
P 04 (3.0-3.5)	3,4	2,5	17	0,5	0,005	0,5	1,5	11	11	0,77	0,02	0,5	2,4	0,02	0,005	0,5	0,02	7,1	0,005	14	2,5	1,5	4,3	12	0,01	7,3	11	0,5	11
P 04 (3.5-4.0)	3	2,5	8,2	0,5	0,005	0,5	1,5	8,3	9,8	1,8	0,03	0,5	2	0,02	0,01	1,8	0,02	5,2	0,005	11	2,5	1,5	1,1	16	0,02	14	15	45	18
P 04 (4.0-4.5)	3,7	5	11	1,3	0,005	1,1	1,5	14	28	2,9	0,15	58	3,5	0,03	0,02	3	0,05	14	0,01	16	2,5	1,5	1,9	17	0,02	16	28	144	23
P 04 (4.5-5.0)	0,9	2,5	4,8	2,1	0,005	0,5	1,5	5,3	10	2,2	0,14	35	0,5	0,02	0,03	2,6	0,04	4,9	0,005	10	2,5	1,5	0,5	13	0,01	14	19	205	18
P 04 (5.0-5.5)	1	2,5	4,9	2,4	0,005	0,5	1,5	6,4	9,1	2,3	0,18	44	1,2	0,02	0,03	3	0,05	6,1	0,005	11	2,5	1,5	0,5	12	0,01	16	22	207	19
P 04 (5.5-6.0)	0,93	2,5	19	2	0,005	0,5	4,9	14	20	2,9	0,24	77	2,1	0,11	0,03	3,4	0,05	12	0,01	12	2,5	1,5	3,4	13	0,03	22	39	234	23
MÉDIAS	2,366	2,727	22,81	1,027	0,005	0,555	1,81	15,82	15,7	1,76	0,08	22,8	1,86	0,034	0,01	2,1	0,03	9,33	0,006	12,9	2,5	1,5	4,5	13	0,03	15	14,3	76,3	14,9

Tabela 02: Concentrações médias dos elementos do perfil CTP 4.

9.1. ANÁLISE UNIVARIADA DO PERFIL CTP 2

Para analisar as situações anômalas significativas nos teores de metais no perfil 2 (CTP 2), foram consideradas as concentrações dos elementos-traço em cada amostra coletada de 0,5m em 0,5m e determinado o Fator de Enriquecimento, neste último utilizando-se como fator normalizador a concentração do Al da amostra, as concentrações relativas dos elementos-traço na crosta superior (Mason, 1967), as concentrações do Perfil e dos sedimentos de fundo do Rio Botafogo (Lima, 2008). Foram observados também os elementos em que o Fator de Enriquecimento apresentou algum aumento em comparação às concentrações relativas na crosta superior (Mason, 1967) e do *background* da amostra. Neste caso, foram destacados apenas os elementos em que houve incremento significativo no Fator de Enriquecimento, ou seja, o Pb. Foram observadas as concentrações dos elementos, salientando-se o Mo e o Pb, que se destacaram por apresentarem concentrações mais elevadas nas seções mais superficiais, de 5,5 e 75 respectivamente.

MOLIBDÊNIO

Observando a Figura 12 e comparando as variações das concentrações do elemento com o Fator de Enriquecimento, verifica-se que o Mo apresenta-se sem enriquecimento ao se observar os gráficos onde foram utilizado o normalizador Al com valores das camadas mais basais e os valores médios da crosta superior, FE de 0,6 e 0,03, respectivamente. Apresentam valores ainda menores quando se observam os teores do perfil e dos valores de *background* dos sedimentos de fundo do Rio Botafogo, com FE de 0,15 e 0,44, respectivamente.

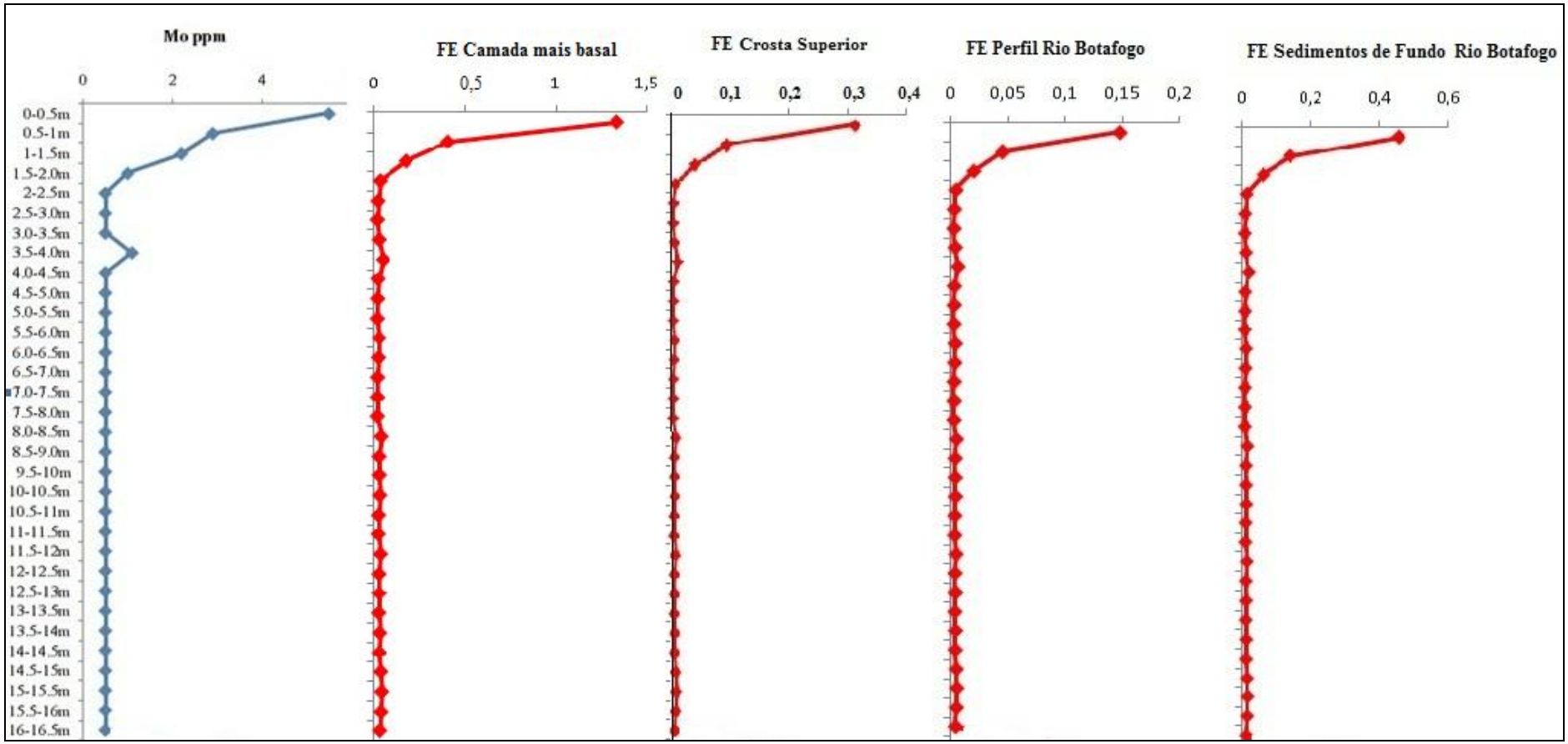

Figura 12. Concentrações de Mo (ppm) e Fator de Enriquecimento tendo como normalizador Al da camada mais basal, as concentrações médias crosta superior, do perfil e sedimentos de fundo do rio Botafogo.

Segundo Andrews e Jones *in:* Stevenson (1964), o Mo apresenta uma alta mobilidade em ambientes ácidos e oxidantes, e muito baixas a imóvel em ambientes redutores. Nas camadas mais superficiais do perfil, mesmo em ambiente de mais alta mobilidade, observa-se no gráfico das concentrações (Figura 12) comparado ao Fator de Enriquecimento, que o Mo mostra um comportamento evolutivo de crescimento, qualquer que seja considerado os valores de *background* do Al sem, entretanto, superar a unidade, ou seja, não há de fato um enriquecimento. O que ocorre é um pico na camada mais superficial com um valor superior a 5 ppm, o que está relacionado a algum evento pontual.

A lixiviação está diretamente relacionada ao clima e à densidade pluviométrica da região. Outros estudos na Bacia do rio Tatuoca, como o de Moraes (2009) demonstram concentrações diferenciadas do Mo, evidenciando especificidade do local de coleta das amostras do estudo.

Comparando as concentrações absolutas do Mo (figura 12) tem-se uma caracterização importante, pois de acordo com a perspectiva de Andrews & Jones *in*: Stevinson (1964) este evidencia dois ambientes diferentes, de um lado, com características semelhantes a um ambiente oxidante que vai desde 16m até 4,0m, aproximadamente; e de outro lado, características de um ambiente redutor em dois momentos, no primeiro, na camada mais basal do perfil, e no segundo nas camadas mais superiores, de 4m a 0,5m.

As concentrações médias do perfil estudado é de 0, 897 ppm, o resultado da análise do da fator de enriquecimento apontou para 1,3 na camada mais basal. No caso do Pb, este apresentou valores enriquecidos de 3,6 que, de acordo com classificação de Birch (2003) *apud* Lima (2008), ainda é um valor pouco enriquecido (Figura 13).

A - Não enriquecido	**(< 1)**
B - Pouco enriquecido	**(1 – 3)**
C - Moderado	**(3 – 5)**
D - Moderadamente severo	**(5 – 10)**
E - Severo	**(10 – 25)**
F - Muito severo	**(25 – 50)**
G - Extremamente severo	**(> 50)**

Figura 13: Classificação baseada em Birch (2003) *apud* Lima (2008).

Diante disso, é possível dizer que o molibdênio não apresentou enriquecimento em comparação com os valores de *background* utilizados, mas apenas apresentou uma importante variação das concentrações médias nas camadas mais superiores do perfil, o que indica um processo local de retenção do elemento, sem ultrapassar a faixa de concentração esperada para solos.

CHUMBO

Os teores naturais mais elevados de chumbo são essencialmente apresentados por alguns tipos de rochas, como os argilitos e os xistos, os granitos e os granodioritos (Tavares *et al*., 2009). As concentrações deste elemento neste perfil apresentam os teores mais altos nas camadas mais superiores, de acordo com a Figura 18.

Observando os gráficos de Fator de Enriquecimento (Figura 14), as concentrações de Pb estão enriquecidas apenas se for considerado o Al camadas mais basais como normalizador, entretanto, quando se considera o padrão de referência da Crosta Superior, verifica-se de fato, um discreto aumento dos valores, sem, entretanto, ultrapassar a unidade. Considerando como padrões de referência o os sedimentos de fundo do rio Botafogo, tem-se teores de 2, demonstrando haver pouco enriquecimento.

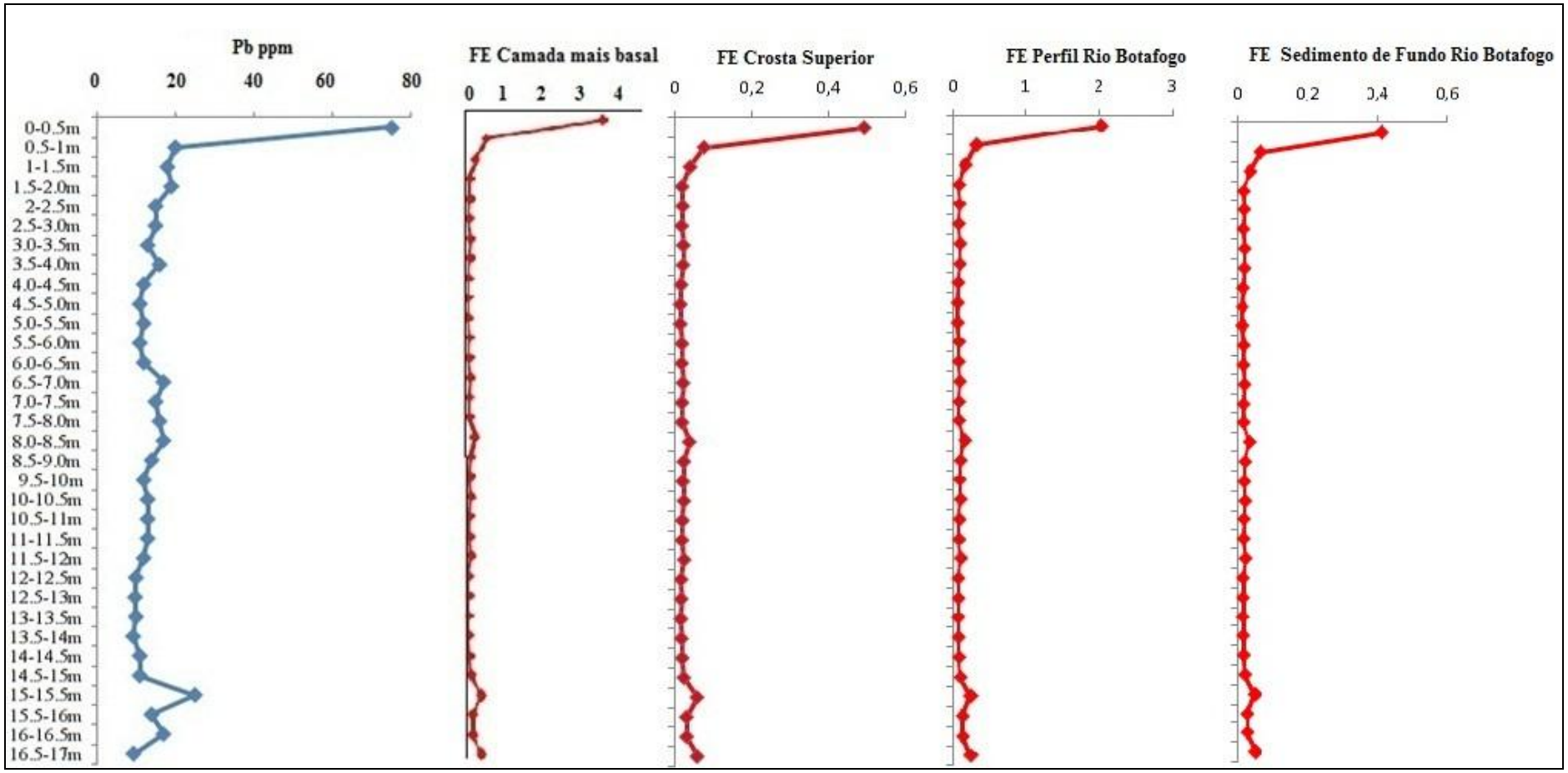

Figura 19. Concentrações de Pb ppm e Fator de Enriquecimento com agente normalizador Al da camada mais basal, concentrações médias crosta superior, Perfil do rio Botafogo e sedimentos de fundo do rio Botafogo.

Comparando-se os teores do Fator de Enriquecimento às concentrações de Pb, este elemento apresenta comportamento que pode ser considerado anômalo, tendo em vista que a concentração média deste elemento na crosta é de 14 ppm (Alloway, 1964), muito abaixo do teor médio de Chumbo de 75 ppm verificado na camada mais superior do perfil. O gráfico de fator de enriquecimento demonstra enriquecimento, no caso da utilização como padrão o valor do Al da camada mais basal que é de 3,9, enriquecimento moderado e com relação ao perfil do Rio Botafogo, com teor de 2,0, apresentando pouco enriquecimento.

Segundo Biond (2010), a concentração média deste elemento em solos da Zona da Mata de Pernambuco é de 16,85 ppm. Os teores de Chumbo em Argissolo vermelho é de 41,45 e 61,90 ppm nos horizontes superficiais e sub-superficiais. Ainda segundo este autor, estes valores foram observados em solos desenvolvidos a partir de gnaisse, provavelmente devido à presença de Pb na composição de feldspatos. Assim, na camada mais superior do perfil, o Pb ultrapassa estes valores em mais de 20%, indicando assim um perceptível aumento em relação aos solos da região.

9.2. ANÁLISE UNIVARIADA DO PERFIL CTP 4

MOLIBDÊNIO

O molibdênio apresenta comportamento diferenciado neste perfil (Figura 14) se comparado ao perfil CTP 2, tendo em vista que este elemento não apresenta teores mais elevados nas camadas mais superficiais além da baixa variabilidade, não apresentando, por conseguinte, enriquecimento (figura 14) em nenhum dos valores tomados como referência, não configurando uma situação anômala. A tendência de crescimento dos teores da base para o topo do perfil pode estar relacionada à adsorção diferencial do Mo por óxidos hidratados de Fe, Al e Mn (Brandy, 1989), causando eventualmente retenção deste elemento nas camadas superficiais.

Comparando o comportamento da variabilidade do Mo na figura 14 abaixo, tem-se uma caracterização importante, pois evidencia semelhança em dois ambientes diferentes, de um lado, um ambiente ácido e oxidante que vai desde 6,0 m até 4,0 m e de outro lado, comportamento deste elemento em um ambiente redutor, nas camadas medianas, e posteriormente projetando um ambiente ácido e oxidante novamente, seguido de uma pequena redução em suas concentrações, ou seja, no intervalo de 1- 1,5 m até 3,5 – 4 m os teores ficam abaixo de 2 ppm. Só nas seções mais basais e mais superficiais os teores absolutos ficam acima de 2 ppm, havendo na verdade, uma baixa variabilidade.

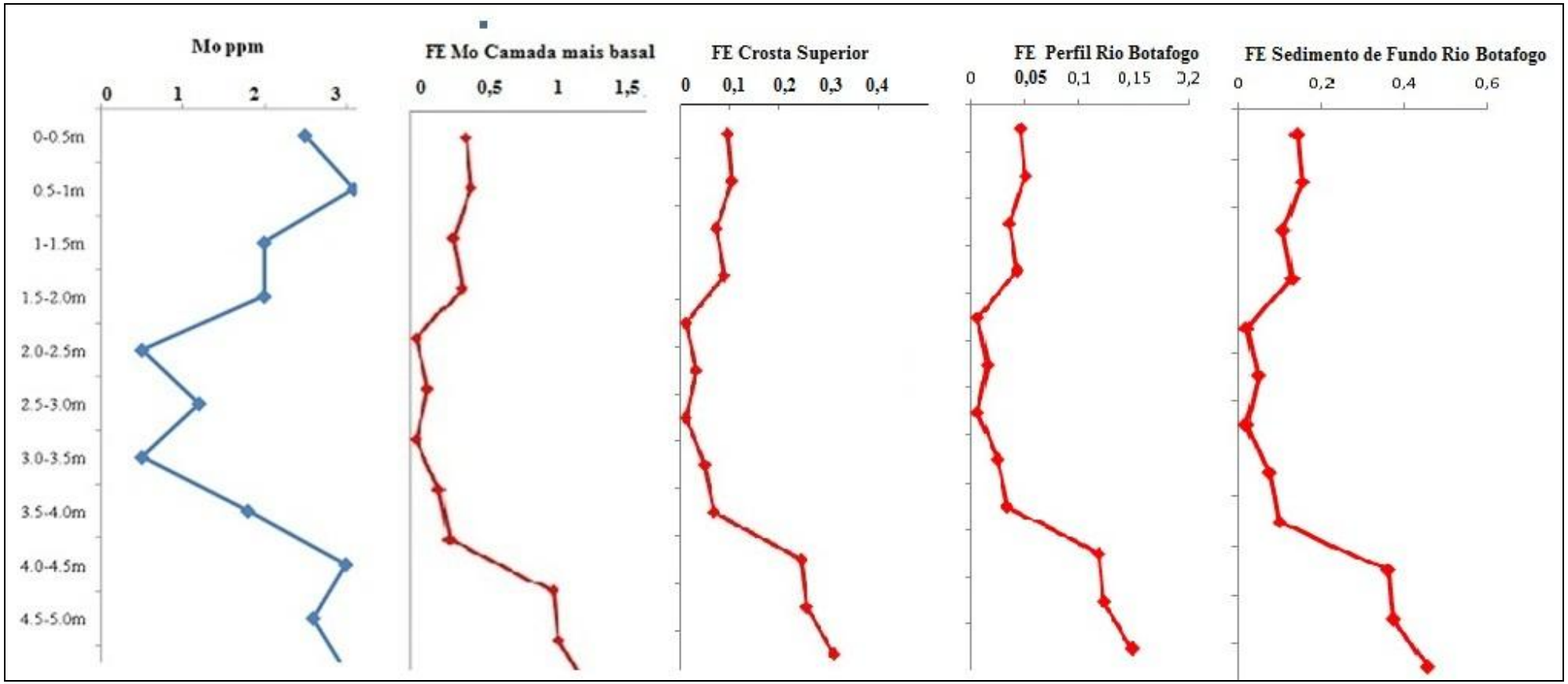

Figura 14. Concentrações de Mo ppm e Fator de Enriquecimento concentrações médias da crosta superior, Perfil do rio Botafogo e sedimentos de fundo do rio Botafogo.

CHUMBO

O chumbo possui variabilidade relativamente baixa em ambientes ácidos, oxidantes, neutros a alcalinos e muito baixa em ambientes redutores. Ao longo do perfil, apresenta valores pouco oscilatórios, mas dentro de uma faixa restrita, sem tendências de crescimento ou declínio (Fig. 15). O controle da distribuição do Pb se dá pela presença dos argilominerais ou pela presença de óxidos/hidróxidos de Fe e Mn.

Ao observar os gráficos do Fator de Enriquecimento (Figura 15) não se observa enriquecimento nas camadas mais superficiais, evidenciando assim, ao contrário do perfil 2, uma distribuição com ausência de valores elevados.

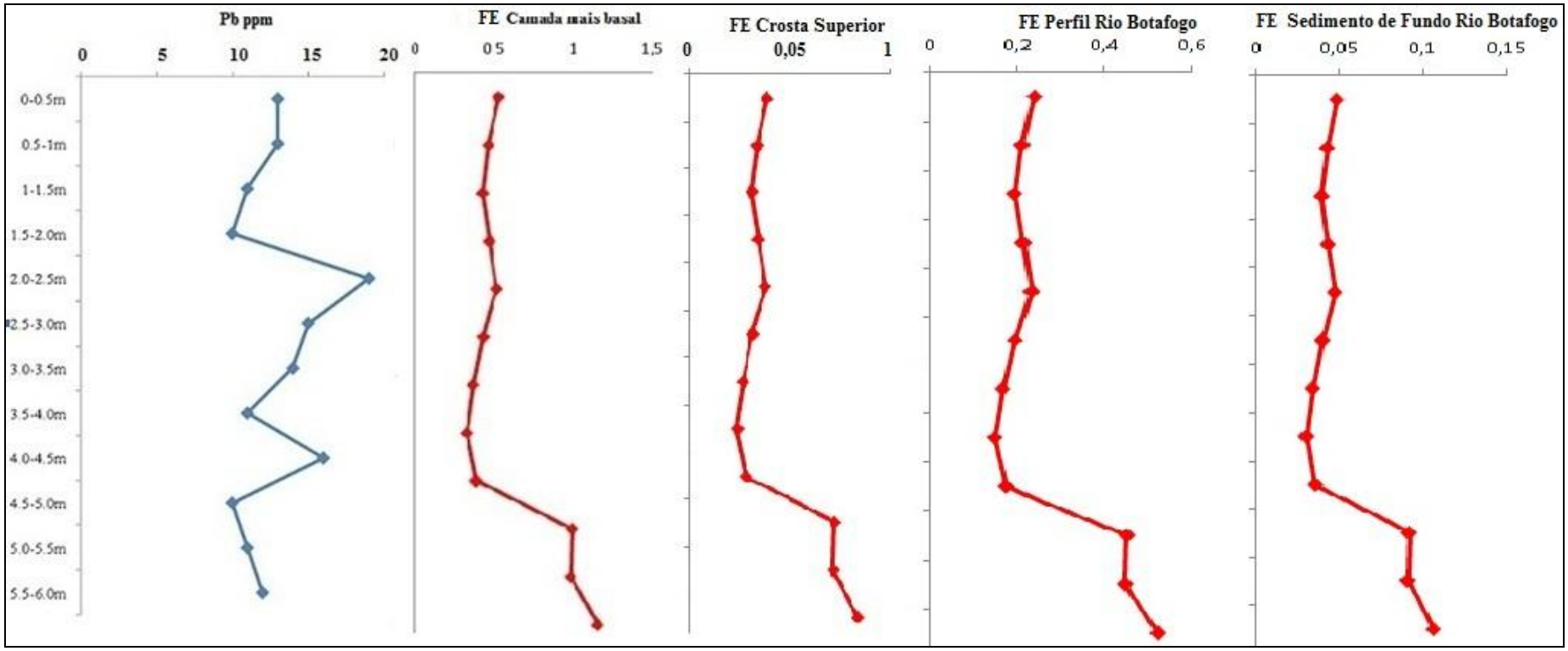

Figura 15. Concentrações de Pb ppm e FE, com normalizador Al da camada mais basal e concentrações médias crosta superior, Perfil do rio Botafogo e sedimentos de fundo do rio Botafogo.

9.3. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DO PERFIL CTP 2

A análise de componentes principais serve de suporte para interpretação das associações geoquímicas dos elementos-traço (Figura 16) e a relação entre as concentrações destes elementos e as profundidades do perfil estudado (Figura 17).

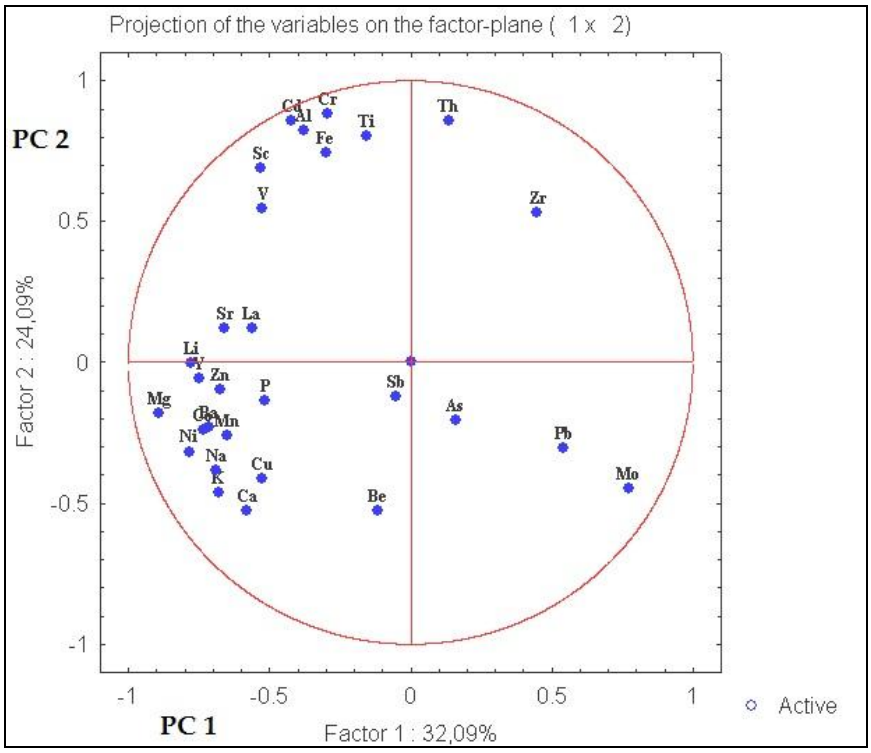

Figura 16: Análise de Componentes Principais com *scores* do CTP 2

Analisando as distribuições dos *scores*, e as diversas associações mais significativas de elementos nos quadrantes, verifica-se que o Mo e Pb e As, Th e Zr, agrupados por variância, apresentaram um grau de interdependência importante, assim como Cd, Cr, Fe, Al, Ti, Sc e V. Este grupo está aglutinado preferencialmente pelas argilas (Al) e pelos óxidos/hidróxidos de Fe, que são elementos que constituem substancias que preferencialmente adsorvem os demais.

Neste perfil, a análise de componentes principais (figura 17) mostra as diversas associações entre a concentração dos elementos e as suas relações com as profundidades

das amostras analisadas, evidenciando agrupamentos geoquímicos bem definidos, balizados por variância.

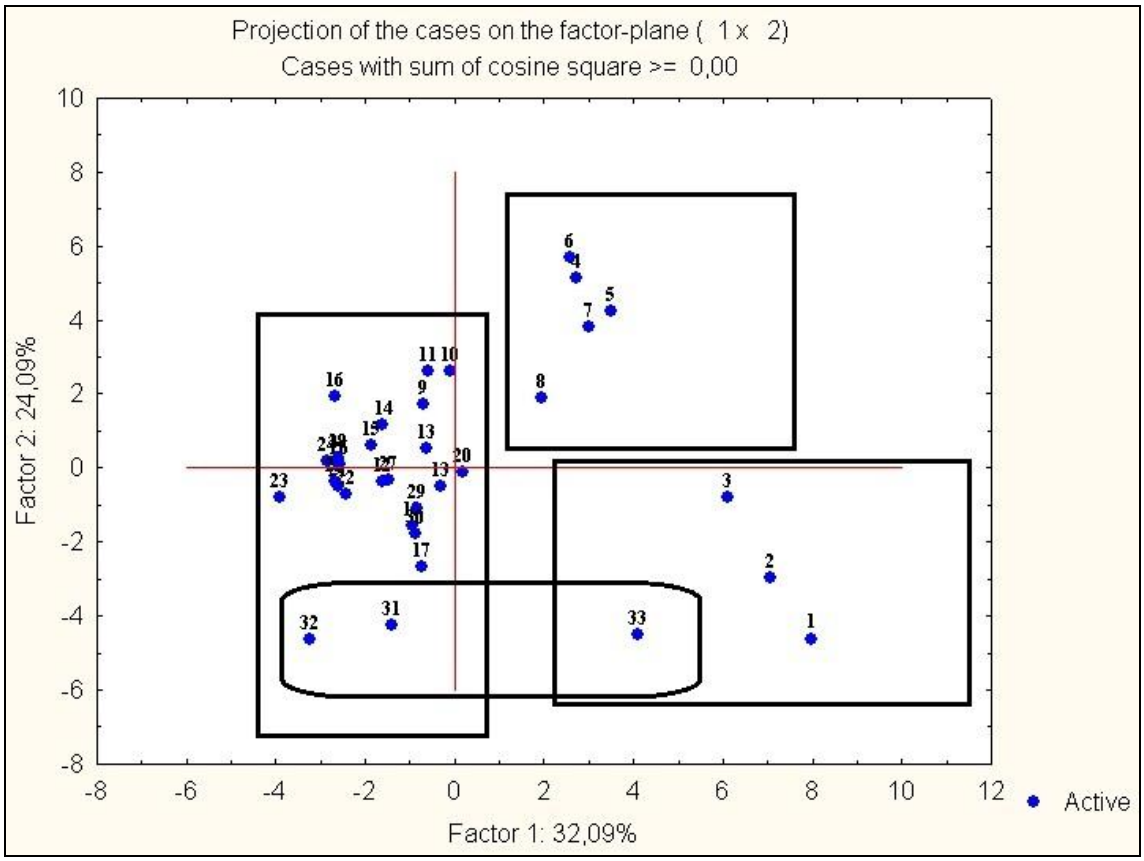

Figura 17: Análise de Componentes Principais balizando *loadings.* CTP 2

Observam-se grupamentos por variância das profundidades podendo-se identificar associações geoquimicamente definidas que se aglutinaram naquelas seções indicadas (Figura 18).

Na Figura 17 se destacam os níveis onde o Mo e o Pb estão mais concentrados, primeiramente na camada mais basal (16,5 a 17 m), relacionada à composição do material geogênico, seguindo-se a concentração destes elementos nas camada mais superiores (1,5 a 0,5m), que mesmo não havendo enriquecimento do Mo, há um aumento nas concentrações deste elemento nas camadas de superfície e nas camadas mais basais, não ocorrendo o mesmo nas camadas intermediárias (16 a 1,0m) o que demonstra uma maior retenção nos níveis superiores (1,5 a 0,5)

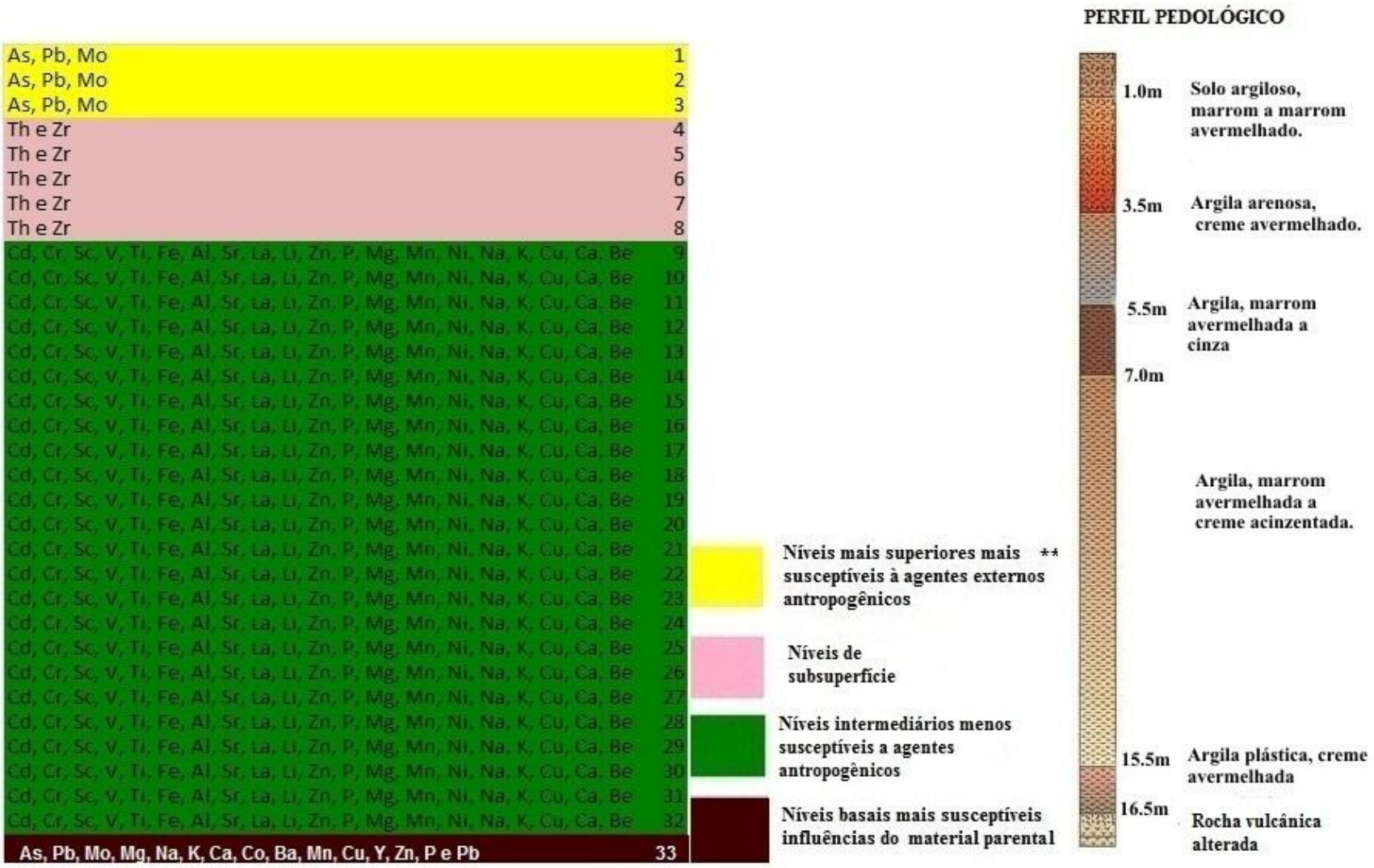

Figura 18: Grupos dos elementos relacionados aos níveis de profundidade do perfil, segundo a PCA, no CTP 2.

A COMPONENTE PRINCIPAL 1 (PC 1)

Nesta PC1, o Cd também apresenta grau de significância importante, sendo que os elementos que influenciam as profundidades agrupadas são Cd, Fe, Al, Ti, Sc, V, Sr e La, as profundidades agrupadas consistem no intervalo 4,5 a 15m. O Th e ao Zinco estão relacionados o intervalo 1,5 a 3,5m, mais próximos à superfície, sendo que estes elementos mantém as concentrações das camadas medianas a superiores, enquanto que nas camadas mais basais, predominam o Mo, Pb, Ni, Na, Ca e Be. Denota neste caso, uma seção pedológica bem definida geoquimicamente, o que provavelmente está relacionado ao material parental. Este material deriva da Suíte Magmática Ipojuca, a qual possui em sua composição tais elementos.

A COMPONENTE PRINCIPAL 2 (PC 2)

Analisando esta PC2 é possível observar que os elementos Cd, Mg, Ni, Na, K, Ca, Co, Ba, Mn, Cu, Y, Zn e P possuem importante grau de variância e estes elementos se agrupam da seguinte forma: Cd, Al, Cr, Fe, SC e V nos níveis que vão desde 4m a 12 m, enquanto os elementos Mg, Ni, Na, K, Ca, Co, Ba, Mn, Cu, Y, Zn e P, se agrupam os níveis 12,5 a 16,5m.

Há uma relação dos elementos K, Ca, Na, Cu, Mo, Pb com os silicatos em decomposição, na base do perfil. Estes elementos destacam seções do perfil geoquimicamente bem definidas. Neste grupo, é possível destacar o grau de significância do K no nível mais basal desta PC2 16m - 16,5m e do Mg no nível 11,5m – 12m. O Ca também se destaca devido à evidência da concentração deste elemento em vários níveis do perfil, inclusive em camadas mais superiores, alternadamente, indicando uma importante variabilidade.

O Y, Li, Zn e P, provocam incidência em níveis medianos do perfil, também indicando variabilidade importante entre estes níveis, destacando dispersão vertical dos elementos neste perfil.

CONSIDERAÇÕES – PERFIL CTP 2

Após analisar linearmente o comportamento da variabilidade dos elementos que apresentaram concentrações importantes em relação ao FE e as concentrações médias, foi possível observar que no Perfil 2 os elementos Mo e Pb apresentaram um comportamento distinto dos outros elementos, visto que nas camadas intermediárias mostraram concentrações com teores baixos, por outro lado, nas camadas mais superiores (4m a 0,5 m) essas concentrações apresentam altos teores em relação à camadas mais basais (15 a 16,5m) e às camadas intermediárias (4m a 14,5m).

Sobre o Mo e Pb, a análise de componentes principais evidencia que nos níveis 0,5m a 1m, 1,0m a 2,0m, 2,0m a 2,5m, há uma inter-relação destacadamente importante destes elementos. Esta análise demonstra um baixo grau de significância do As, Li, Pb, Al e Th. Os elementos de mais alta significância são o La, Mn, Fe, V, Cu, Ni, Ti, Ba, Cr, Sr. Em segundo plano os elementos: Zr, Be, Y, Na, Mo, Co, Mg, Pb e Cd.

O Mo e Pb evidenciam semelhança nas concentrações no nível de 16 a 16,5 e nos níveis de 2,5 a 0,5m, demonstrando alguma inversão na fixação dos elementos, pois são nas camadas superiores que normalmente há dispersão dos metais devido à ação das intempéries.

9.4. ANÁLISES DE COMPONENTES PRINCIPAIS DO PERFIL CTP 4

A análise de componentes principais serve de suporte para interpretação das associações geoquímicas dos elementos-traço (Figura 19 e 20) e a relação entre as concentrações destes elementos e as profundidades do perfil estudado.

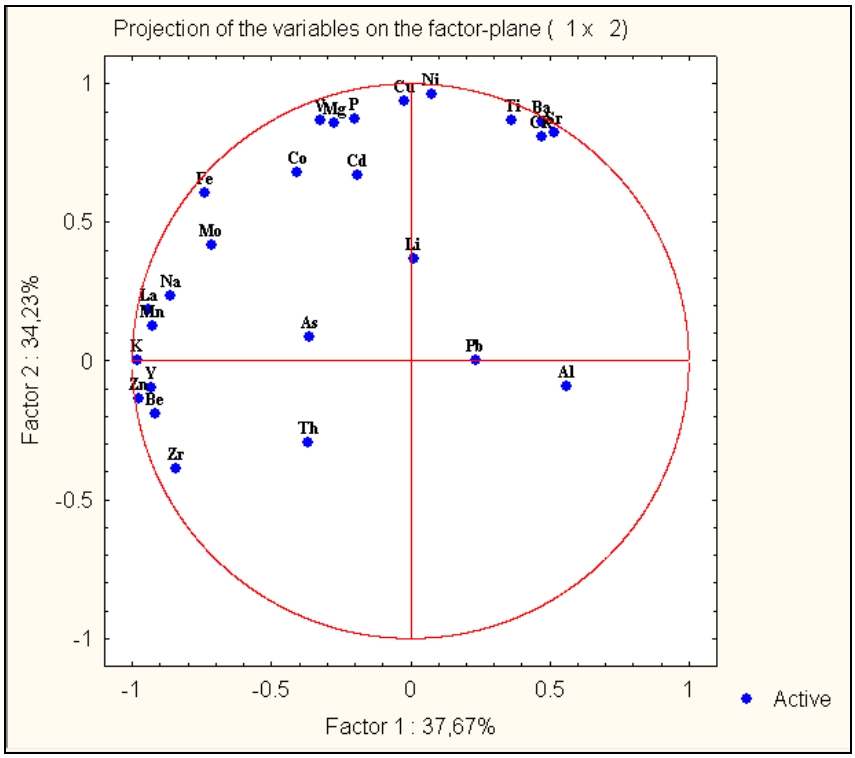

Figura 19: Análise de Componentes Principais com *scores* do CTP 4

Nesta análise é possível se obter a otimização de 71% dos dados amostrados nesta pesquisa, sendo que não foram consideradas as variáveis referentes aos elementos Ca e Sb, devido ao Software Statistica 6.0, não considerar a variância das concentrações destes elementos relevantes para realizar a análise de componentes principais.

Esta análise evidencia uma mais alta significância dos elementos La, Mn, Fe, V, Cu, Ni, Ti, Ba, Cr, Sr. Em segundo plano os elementos: Zr, Be, Y, Na, Mo, Co, Mg, P e Cd. Neste caso, o Al (argilas) deve estar aglutinando o PB, Li, Cu, Ni, Ti, BA e Sr e em outro grupo o Fe deve adsorver os demais elementos.

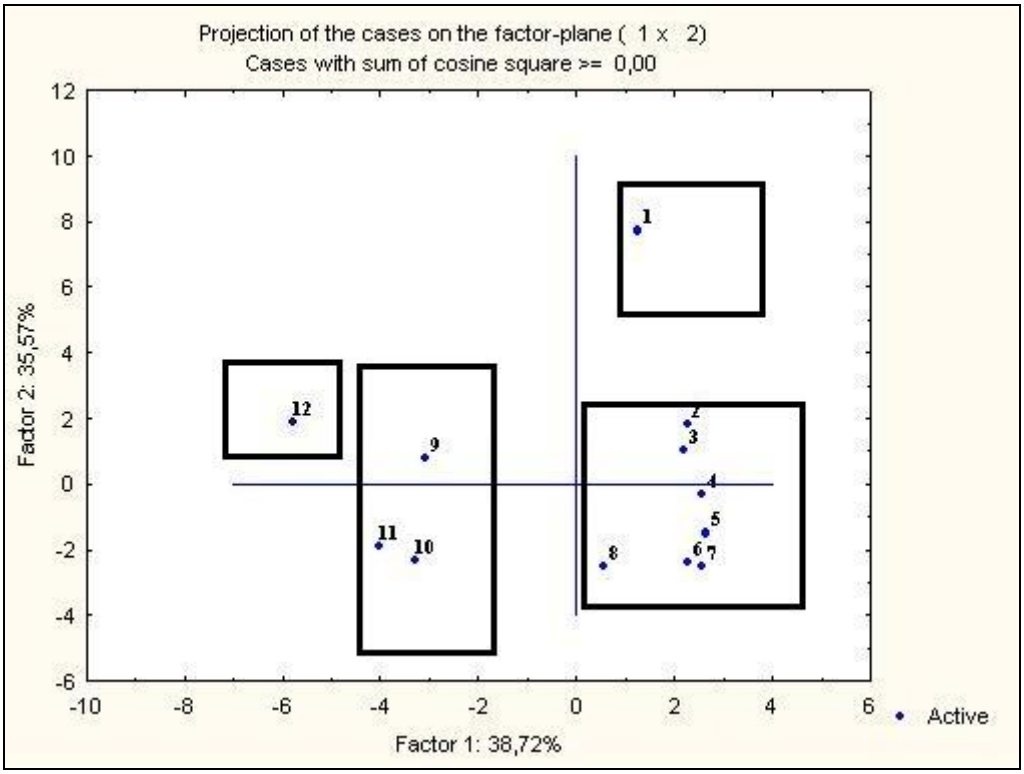

Figura 20: Análise de Componentes Principais com os *loadings (*amostras*)* CTP 4.

A COMPONENTE PRINCIPAL 1 (PC 1)

De acordo com as figuras 19 e 20, a PC1 apresenta incidência de As, considerado com baixo grau de significância concentrado no nível 4m – 4,5m. Na camada mais basal, 5,5m – 6m apresenta evidências de concentração de elementos de alto grau de significância como o Mn, La e Na.

No nível mais superficial do perfil, 0m – 0,5m, há uma concentração dos elementos Ni, Ba, Ti, Cr e Sr. Nos outros níveis, 0,5m – 1,0m e 1,0m – 1,5m apresenta indícios de baixa concentração de Ni, Ba, Ti, Cr, Sr, Li, Pb e Al. Esta PC1 apresenta uma espécie de continuidade nestes níveis de profundidades incidentes na PC2.

A COMPONENTE PRINCIPAL 2 (PC 2)

A PC2 apresenta forte incidência do Th nos níveis 4,5m - 5,0m e 5,0m – 5,5m, mesmo este elemento tendo uma significância relativamente baixa de análise do perfil. O Zr, com maior grau de significância apresenta indícios de concentração de mais conspícua nestes níveis. Já o Be, Y e Zn, nas mesmas condições apresentam indícios de uma menor incidência nestes níveis.

Nos níveis 1,5m – 2,0m, 2,5m – 3,0m, 3,5m – 4,0m, 4,5m – 5,0, para a concentração de Al, apresenta um grau de incidência forte, mas gradual, com o aumento destes níveis, evidenciando influência do material parental. No caso do Pb, as evidências são de aumento de teor deste elemento nas camadas mais superiores, nos níveis de 0,5 a 2m, provavelmente devido a eventos antropogênicos. Já no nível 5,0m – 5,5m, não há forte incidência deste elemento, nem do Mo.

O Mo apresenta concentrações significativas nos níveis mais basais, evidenciando provavelmente mais forte relacionamento com o material parental.

CONSIDERAÇÕES - PERFIL CTP 4

Diante do baixo grau de variância dos elementos As, Li, Pb, Al e Th, de acordo com os *scores*, temos (Figura 19):

O grupo da amostra 1 apresenta maior significância dos elementos Cr, Ni, Ti, Ba e Sr.

No grupo das amostras 2, 3, 4, 5, 6,7 e 8, as argilas aglutinam poucos elementos, sendo que os elementos Pb e Al apresentam importante significância nestes níveis, devido provavelmente a uma concentração de argilas.

O grupo das amostras 9, 10, 11 e 12 apresenta incidência de Th e Zr. Na amostra 12 há incidência de Mo, As, e Pb. Observa-se que o Fe é o elemento adsorvente mais importante. A figura 21 mostra que os elementos Mo e Pb permanecem agrupados na camada mais basal, confirmando a composição da rocha de origem vulcânica (Suíte

Magmática Ipojuca). Nos níveis mais superiores, não apresentam aumento significativo, demonstrando normalidade em seus teores.

Figura 21: Comparação da variância dos elementos com as seções do perfil pedológico.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após analisar linearmente o comportamento das concentrações dos elementos, foi possível observar que no perfil CTP2 os elementos Al, Ba, Mg, Zr, Mn, Sr, Th, Ti, V, Y e Zn, apresentaram comportamento razoavelmente similar nas camadas mais superficiais, enquanto que estes mesmos elementos apresentaram nas camadas mais basais uma concentração maior em relação a estes níveis, evidenciando desta forma comportamento decorrente dispersão gradual até as camadas superficiais, por efeitos pedogenéticos.

Nas camadas mais basais do perfil CTP2, os elementos Mo e Pb apresentaram concentrações significativas, tendo comportamento similar nas camadas mais superiores.

Segundo Motta *et al.* (2007) o Mo possui capacidade de adsorção específica, em grande proporção, isto é, baixa mobilidade e baixa possibilidade de perda por lixiviação e alto efeito residual, tendo propriedades semelhantes ao do Zn, Cu e Ni

Na ACP, o Mo e Pb, nos níveis 0,5m a 1m, 1,0m a 2,0m, 2,0m a 2,5m, apresenta uma razoável variância destes elementos. Esta análise demonstra ainda um baixo grau de significância do As, Li, Pb, Al e Th. Os elementos de mais alta significância são o La, Mn, Fe**,** V, Cu, Ni, Ti, Ba, Cr, Sr. Em segundo plano os elementos: Zr, Be, Y, Na, Mo, Co, Mg, Pb e Cd.

O Zn, Cu e Ni não apresentaram concentrações significativas nas camadas superiores, se destacando o Mo, o qual apresentou valores mais importantes nas seções mais próximas da superfície.

Sobre o Ca, a ACP evidencia uma maior relação deste elemento junto às seções medianas do perfil, e juntamente com o K no nível mais basal 16m - 16,5m e com o Mg no nível 11,5m – 12m. O Ca também se destaca devido à evidência da concentração deste elemento em vários níveis do perfil, inclusive em faixas mais superiores, alternadamente, indicando uma importante variabilidade relacionada ao material parental.

Quanto ao Perfil CTP 4, a ACP evidenciou um alto grau de significância do Ca, Al, Fe, V, Cr e Mg incidindo sobre camadas pedológicas mais superficiais. No caso do Cr, esta significância pode destacar a concentração de minerais ricos em Fe.

Sobre o Perfil 4, a análise linear mostrou que nas camadas mais superficiais os elementos Th, Y, Zn e Zr, apresentaram perda relativa em suas concentrações. Sobre este comportamento a

ACP destaca que o Th apresenta um grau de variância relativamente alto nos níveis 4,5m - 5,0m e 5,0m – 5,5m, e o Zr apresentam maior grau de significância e de concentração moderadamente significativa nestes níveis.

Sobre Th, ele pode ser substituído no ambiente por Zr, que por sua vez é enriquecido por materiais estáveis de Na.

No perfil 4, as concentrações importantes nas camadas mais superficiais estão provavelmente relacionadas ao cultivo da cana – de – açúcar, pois a esta culturada estão associados à supressão vegetal, o uso de herbicidas, além da queimada de cana, além da predisposição de lixiviação de alguns componentes do solo, somando-se o aumento das concentrações destes elementos através da inserção de compostos agrícolas e fertilizantes, além do uso de equipamentos movidos a combustíveis fósseis.

Estas situações foram bem visualizadas através da análise linear compartilhada com a análise multivariada, atendendo às necessidades desta pesquisa.

Segundo estudos de Pérez *et al*.(1997) com respeito à variação em profundidade, os elementos Co, Cu, Cr, Fe e Zn tendem a se concentrar no horizonte B, o Mn tende a se concentrar no horizonte A e os elementos Mo e Pb não revelaram nenhuma tendência.

No caso dos perfis em questão, estes últimos elementos se concentraram nos horizontes mais superficiais do solo, o que pode estar relacionado à adsorção de matéria orgânica, ao uso de combustíveis fósseis e agricultura.

Os valores da CETESB apresentam para o Pb teor de referência de qualidade 17 ppm e de prevenção 72 ppm. Quanto ao Mo o teor de referência de qualidade é <4 ppm e de prevenção 30ppm. No perfil CTP 2 o Pb e o Mo atingiram teores máximos de 77 ppm, e 5,5 ppm, respectivamente, por outro lado, no perfil CTP 4 estes elementos atingiram teores máximos de 19 e 3,4 ppm, respectivamente. Com a particularidade de que no primeiro perfil, os teores máximos se concentraram nas camadas mais superiores e no segundo, nas camadas mais basais.

Diante disso, é sugestivo admitir que eventos antropogênicos influenciaram nos teores superficiais mais significativos de Pb e Mo no CTP 2 enquanto que estes elementos no perfil CTP 4 não apresentaram que possam denotar anomalia de ordem antropogênica.

Diante dos resultados analisados pode-se concluir que o local de coleta das amostras, em 2007, estava amplamente influenciado pela atividade agrícola, o que, além das dinâmicas ambientais locais como precipitação, concentração da matéria orgânica e as características

inerentes às rochas vulcânicas, pode ter ocasionado até o momento destas coletas, o aumento significativo nos horizontes mais superficiais dos perfis estados, principalmente do Pb e mais especificamente do Mo, no CTP 2.

Embora não tenha apresentando efetivo fator de enriquecimento (1,3), o Mo, se concentrou de forma distinta nestes horizontes do perfil CTP2. No entanto, não há estudos que comprovem na Bacia do Rio Tatuoca, valores elevados para este elemento, o que denota um caso pontual.

No caso do Pb, este apresentou valores enriquecidos de 3,6 que, de acordo com classificação de Birch (2003) *apud* Lima (2008), ainda é um valor pouco enriquecido (Figura 13).

Diante dos aspectos observados, pode-se dizer que a área em questão necessita de um monitoramento geoquímico, pois mesmo não havendo enriquecimento significativo em relação a nenhum dos elementos estudados, houve concentrações absolutas distintas das camadas mais basais nas camadas mais superficiais.

Buscando sempre uma melhor visualização do comportamento geoquímico é preciso que em outros trabalhos, assim como o de Licht (2005) seja incorporado a estas análises um mapeamento geoquímico de detalhe.

11. Referências

ALLOWAY, B.J., *Heavy metals in soils.* Blackie academic & professional, 2ª edição, 1979.

ALMEIDA, C.B. *et al.*. *A Suíte Magmática Ipojuca: Relações e implicações tectono-estratigráficas na sub-bacia de Pernambuco.* Anais do 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Rio de Janeiro: 2003.

ALMEIDA, C.B. *et al*. *Tectônica e relações estratigráficas na sub-bacia de Pernambuco, NE do Brasil: Contribuição ao conhecimento do Rift Sul-Atlântico*. Biblioteca de Geociências. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, 2005.

ANDRADE, M.C.O. *Pernambuco e o trópico.* Revista do IEB, nº 45: p. 11-20, 2007.

BIONDI, C.M. *Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do Estado de Pernambuco.* Universidade Federal Rural de Pernambuco. Dissertação de mestrado, 2010.

BRADY, Nyle C. *Natureza e Propriedade dos Solos*. Nyle C. Brady "The nature and properties". Trad. Antônio B. Neiva Figueiredo Fº. 7ª ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989.

CHAGAS, A.C.O. *Níveis de metais pesados e hidrocarbonetos em sedimentos do Complexo Industrial Portuário de SUAPE-PE –Brasil.* Universidade Federal de Pernambuco. Dissertação de mestrado, 2003.

CPRH – Agência estadual de meio ambiente. *Diagnóstico socioambiental do estado de Pernambuco*. Secretaria de ciência e tecnologia e meio ambiente. Governo do Estado de Pernambuco, 2001.

CPRH - Companhia Pernambucana de Meio Ambiente. Mapa das unidades de monitoramento das Bacias SRH- Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos, 2009.

CUNHA FILHO, F.F. & NASCIMENTO, C.W.A. *Metais pesados em solos de Pernambuco: Valores orientadores de referência, teores disponíveis e formas dos metais no solo.* Universidade Federal Rural de Pernambuco- X Jornada de ensino, pesquisa e extensão – JEPEX, 2010.

FADE - FUNDAÇÃO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO À UFPE. *EIA- Estudo de Impacto Ambiental Refinaria do Nordeste Abreu e Lima*. CPRH – Companhia estadual do meio ambiente – acervo, 2006.

Fundação Joaquim Nabuco, 2009. http://bases.fundaj.gov.br/index.html

GUILHERME, L.R. G. & MARCHI, G. *Elementos-traço.* Portal DBO de agroecologia. DBO Editores associados, 2010. Disponível em: www.portaldbo.com.br/dboagroecologia.

IFA International Fertilizer Industry Association, UNEP United Nations Environment Programme - Tradução: ANDA Associação Nacional para Difusão de Adubos. *Mineral Fertilizer Use and the Environment* by K. F. Isherwood International Fertilizer Industry Association. Edição revisada. Paris, February 2000.

KULAIF, Y. *A nova configuração da indústria de fertilizantes no Brasil.* Série Estudos e Documentos, Rio de Janeiro, n.00, 2010.

LICHT, O.A.B. *A Geoquímica Multielementar na Gestão Ambiental. Identificação e Caracterização de Províncias Geoquímicas Naturais, Alterações Antrópicas da Paisagem, Áreas Favoráveis à Propescção Mineral e Regiões de Risco para a Saúde no Estado do Paraná.* Universidade Federal do Paraná. Tese de Doutorado, 2001.

LIMA FILHO, M., Neumann, V. H. N. et al. *As Unidades Siliciclásticas da Sub-Bacia de Pernambuco: Uma Revisão Lito-Estratigráfica.* Anais do 2º Congresso de P & D em Petróleo de Gás. Rio de Janeiro, 2003.

LIMA FILHO, M.F.*Análise estratigráfica e estrutural da Bacia Pernambuco.* Tese de doutorado, Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, São Paulo. 1998.

LIMA, E.A. M, *Avaliação da Qualidade dos Sedimentos e Prognóstico Geoquímico Ambiental da Zona Estuarina do Rio Botafogo, Pernambuco.* Tese de Doutorado, 2008.

MALAVOLTA, Eurípedes. *Micronutrientes e metais pesados.* 21ª edição – São Paulo: DBO – Agrotecnologia. Editores associados Ltda. Revista eletrônica, 2009. Acessado em maio de 2010. Disponível em: http://www.portaldbo.com.br/revistaagro/Default.aspx

MASON, B. *Princípios de Geoquímica*. São Paulo: Editora Polígono S.A., 1971.

MOITA NETO, J.M, & MOITA, G.M. *Uma análise exploratória de dados multivariados.* QUÍMICA NOVA, 21(4), 1998.

MONQUERO P.A. *et.al, Eficácia de herbicidas em diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar no controle de Euphorbia heterophylla.* Planta Daninha, Viçosa-MG, v. 25, n. 3, p. 613-619, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=0100-8358&script=sci_serial

MONTAGNON *et al.* 2008. *Distribuição dos teores de Cd, Pb e Zn em solos da região de Paracatu-Vazante-MG.* GEO LOGIQUES bureau d'études géologiques & environnementales, 2005. Disponível é : http://www.geologiques.com

MORAES, A.S. *Geoestatística aplicada à geoquímica ambiental no estudo da qualidade dos sedimentos do rio Tatuoca, Complexo Industrial Portuário de Suape.* Universidade Federal de Pernambuco. Dissertação de mestrado, 2009.

MOURA & LOPES et al., *Estudo Multivariado de Solos Urbanos na Cidade de Teresina.* Química Nova. Vol. 29, Nº 3, 429-435, 2006.

NASCIMENTO, & Souza *et al*. *Evolução Magmática da Bacia de Pernambuco, NE do Brasil e sua relação com as rochas Sedimentares.* Anais do II Workshop de Avaliação Anual dos PRH's-ANP da UFRN, 2002.

NASCIMENTO, M.A. L do. SOUZA, Z.S de.*Granito do Cabo de Santo Agostinho, PE. Único granito conhecido de idade cretácea do Brasil.* SIGEP – Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Brasília: CPRM, 2009. Volume. 2.

NASCIMENTO, M.A.L. e Souza, Z.S, *Granito do Cabo de Santo Agostinho: O único conhecido com idade cretácea no Brasil*. *In*: Winge, M.; Schobbenhaus,C.; Berbert Born,M.; Queiroz,E.T.; Campos,D.A.; Souza,C.R.G. ; Fernandes,A.C.S. (*Edit.*) Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. http://www.unb.br/ig/sigep/sitio111/sitio111.pdf , 2005.

NASCIMENTO, M.A.L. *Geologia, geocronologia, geoquímica e petrogênese das rochas ígneas cretácicas da Província Magmática do Cabo e suas relações com as unidades sedimentares da Bacia de Pernambuco (NE do Brasil).* Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Tese de doutorado, 2003.

NEWMANN, V. H. M. L. *Geomorfologia e sedimentologia quaternária da área de Suape, Pernambuco (Brasil).* Universidade Federal de Pernambuco. Dissertação de mestrado, 1991.

PÉREZ, D.V.*et al. Geoquímica de alguns solos brasileiros*. N° 4, outubro 1997, p.1-14. Disponível em: www.cnps.emprapa.br.

PETROBRÁS. *Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ. www.br.com.br*, 2010.

RABÊLO CRUZ, L. et al., *As unidades siliciclásticas da sub-bacia Pernambuco: Uma revisão lito-estratigráfica.* Anais do 2º Congresso Brasileiro P&D de Petróleo e Gás. 2002

ROCHA, J. C., Rosa, A.H & Cardoso, A. A,. *Introdução à Química Ambiental*. Porto Alegre: Bookman, 2004.

RODRIGUES, A.S.L., *Valores de background geoquímico e suas implicações em estudos ambientais.* Revista de Geociências. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 62(2): 155-165 abr. jun. 2009.

RODRIGUES, P.C. & Branco, J.A. *Análise de Componentes Principais sobre Dados Dependentes*, 2006.

ROHDE, G.M. *Geoquímica Ambiental e Estudos de Impacto*. 2ª edição – São Paulo: Signus Editora, 2005. 157p: Il.

ROSE, A.W.; Hawkes, H.E.; Webb, J.S. *Geochemistry in mineral exploration*. 2ª ed. New York: Academic Press, 1979, disponível em: http://books.google.com/books

SANTOS, H.G, Oliveira, J.B. et al.. *Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos.* São Paulo: EMBRAPA, 2ª Edição, 2006.

SOARES DE MOURA, M.C, et al., *Estudo Multivariado de Solos Urbanos na Cidade de Teresina*. Química Nova, Vol. 29, Nº 3, pg. 429-435, 2006.

SOARES, J.L.N. *et al*., *Alteração física e morfológica em solos cultivados com citros e cana-de-açúcar, sob sistema tradicional de manejo.* Ciência Rural, Santa Maria, v3.

SOLOSTOCKS – The Market Place. *Fertilizantes, Controle de Pragas e Agroquímicos no setor Agricultura e Pecuária. Disponível em*: http://www.solostocks.com.br/venda-produtos/agricultura-pecuaria/fertilizantes-controle-pragas-agroquimicos/fertilizante-quimifol-molibdenio-15-321390, 2010.

SRH- Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos. *Resolução CRH n º 10 /09, de 03 de dezembro de 2009. www. www.sirh.srh.pe.gov.br/site/conselho/Resolucao_n_10.pdf*

Suape, 2009. www.suape.com.br

SUAPE, *Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros.* www.suape.pe.gov.br. Acessado em 10/2009.

TEÓDULO, M.J.R. *Avaliação das concentrações de metais pesados em solos do complexo industrial e portuário de Suape (CIPS) e sedimentos de correntes dos rios Massangana, Tatuoca e Ipojuca.* Universidade Federal de Pernambuco. Dissertação de mestrado, 2003. V.35, n.2, mar - abr, 2005.

TOMÉ, M.E.T. R, *et al*. *Análise estratigráfica do Albiano-Turoniano da Bacia de Pernambuco: Considerações sobre a paleogeografia e geração de hidrocarbonetos.* UNESP-Universidade Estadual de São Paulo, Geociências. V. 25. Nº1, 2006.