



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**INVESTIGAÇÃO DO REGISTRO HISTÓRICO DA
COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA DO CHUMBO E DA
CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS EM
TESTEMUNHOS DE SEDIMENTOS NO LAGO ÁGUA PRETA,
REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM - PARÁ**

TESE APRESENTADA POR

MARIA CLARINDO CARVALHO

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação: **02 / 08 / 2001**

Comitê de Tese:

CÂNDIDO AUGUSTO VELOSO MOURA (Orientador)

JEAN-MICHEL LAFON

HENRI EUGENE GAUDETTE

Belém

*Ao meu pai, Francisco Ramalho,
por sua luta e coragem de viver!
Para meus familiares e amigos com muito carinho.*

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a Deus e a todos que foram construtivos para a realização deste trabalho e; de maneira exclusiva:

Ao professor doutor Candido Augusto Veloso Moura pela considerável orientação;

Ao professor Thomas Scheller e a Cíntia Gaia pela colaboração na prática de laboratório;

Ao Pará-Iso pela utilização do espaço e equipamentos;

Ao Químico Natalino Valente do Laboratório de Análises Químicas, pela colaboração nas práticas de laboratório e aos técnicos Leila Hanna do Laboratório de Hidroquímica, Antonio Aguiar do Laboratório de Absorção Atômica e Seu Lopes do Laboratório de Sedimentologia;

A COSANPA pela permissão para que fossem realizadas as amostragens no lago Água Preta;

Ao professor José Francisco Ramos e ao seu João pelo apoio concedido durante a realização da primeira amostragem;

Ao Geólogo Pedro Walfir por tornar possível a difícil amostragem dos testemunhos de sedimentos;

A Polícia Militar responsável pela segurança do Parque Ambiental do Utinga, pelo apoio durante a realização da segunda campanha;

A CAPES pela concessão de bolsa durante parte do curso de mestrado;

Aos amigos da pós graduação que estiveram sempre colaborando construtivamente durante todas as etapas de realização do curso: Edney Smith, Márcia Gaspar, Kátia, Natalina, Luciana, Joedy, Helena, Junny, Carmem, Jackson, Elma, Rita;

Ao Centro de Geociências pela utilização de sua infra-estrutura durante todo o curso de mestrado.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	I
AGRADECIMENTOS	II
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	VI
RESUMO	1
ABSTRACT	3
1- INTRODUÇÃO	5
1.1- APRESENTAÇÃO	5
1.2- OBJETIVOS	7
1.3- LOCALIZAÇÃO	7
1.3.1- Localização da Região Metropolitana de Belém	7
1.3.2- Localização e Acesso da Área Estudada	8
1.4- ASPECTOS NATURAIS DA ÁREA ESTUDADA	10
1.4.1- Clima	10
1.4.2- Vegetação	10
1.4.3- Hidrografia	11
1.4.4- Solos	12
1.4.5- Geomorfologia	13
1.4.6- Geologia	14
1.5- ASPECTOS HISTÓRICOS DOS MANANCIAIS DO UTINGA	15
2- GEOQUÍMICA DO CHUMBO	18
2.1- O CHUMBO NO MEIO AMBIENTE	18
2.2- APLICAÇÃO DE ISÓTOPOS DE CHUMBO EM ESTUDOS DE MEIO AMBIENTE	20
3- MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1- AMOSTRAGEM	24
3.2- TRATAMENTO DAS AMOSTRAS NO LABORATÓRIO	29
3.2.1- Secagem e desagregação das amostras	31
3.2.2- Extração ácida para análise de metais	31
3.3- MÉTODOS ANALÍTICOS EMPREGADOS	31

3.3.1- Métodos gravimétricos	32
3.3.1.1- Determinação da umidade	32
3.3.1.2- Matéria Orgânica	32
3.3.1.3- Determinação da granulometria	33
3.3.2- Espectrometria de absorção atômica	33
3.3.3- Determinação titrimétrica do alumínio com EDTA	34
3.3.4- Espectrometria de massa	34
3.4- ADAPTAÇÕES DA METODOLOGIA DE ANÁLISE ISOTÓPICA DO CHUMBO .	35
3.4.1- Confecção de colunas e filtros de teflon para a separação cromatográfica do chumbo	37
3.4.2- Preparação e conservação da resina Sr-Spec	37
3.4.3- Purificação dos reagentes	38
3.4.4- Preparação de amostras para análise isotópica do chumbo	40
3.4.5- Separação cromatográfica do chumbo	40
3.4.6- Depósito da amostra em filamento simples de rênio	42
3.5- CONTROLE LABORATORIAL DOS NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO DE CHUMBO	42
4- APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS ANALÍTICOS	44
4.1- SEDIMENTOS DE FUNDO	44
4.1.1- Razões Isotópicas do Chumbo dos Sedimentos de Fundo do Lago Água Preta	44
4.1.2- Concentração de metais pesados nos sedimentos de fundo do lago Água Preta	48
4.2- GEOQUÍMICA DOS TESTEMUNHOS DE SEDIMENTOS	52
4.2.1- Composição isotópica do chumbo no perfil 01	53
4.2.2- Distribuição dos metais pesados no perfil 01	56
4.2.3- Composição isotópica do chumbo no perfil 02	61
4.2.4- Distribuição dos metais pesados no perfil 02	64
5- DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	69
5.1- GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DE FUNDO	69
5.1.1- Composição isotópica do chumbo	69
5.1.2- Metais pesados nos sedimentos de fundo	70
5.2- GEOQUÍMICA DOS TESTEMUNHOS DE SEDIMENTOS	71

5.2.1- Composição isotópica do chumbo no perfil 01	71
5.2.2- Distribuição de metais pesados no perfil 01	73
5.2.3- Composição isotópica do chumbo no perfil 02	74
5.2.4- Distribuição de metais pesados no perfil 02	75
6- CONCLUSÕES	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1: Mapa de Localização da Área de Estudo	9
Figura 02: Mapa de localização dos pontos de amostragem dos sedimentos de fundo (AP-01 a AP-11) e dos perfis (PF-01 e PF-02) no lago Água Preta. Em detalhe o ponto de	26
amostragem de sedimentos em suspensão do rio Guamá (GU-01)....	26
Figura 3: Vista do lago Água Preta mostrando o braço mais próximo do bairro da Guanabara, às imediações da BR 316.	27
Figura 4: Amostragem dos sedimentos de fundo do lago Água Preta com draga tipo VAN ESSEN DELFT.	27
Figura 5: Amostragem dos testemunhos de sedimentos (PF-01 e PF-02).....	28
Figura 6: Separação da extremidade do tubo contendo o testemunho de sedimento.	28
Figura 7: Retirada do testemunho de sedimento e seccionamento dos perfis (PF-01 e PF-02).....	30
Figura 8: Espectrômetro de massa modelo VG ISOMASS 54 E.	36
Figura 9: Destilação de ácido clorídrico em subboiler de quartzo.	39
Figura 10: Destilação de ácido clorídrico em subboiler de Teflon.	39
Figura 11: Separação cromatográfica do Pb em colunas de Teflon.	41
Figura 12: Mapa dos Lagos Água Preta e Bolonha mostrando as Razões Isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ Para os Sedimentos de Fundo e em detalhe a Razão Isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ dos Sedimentos em Suspensão do Rio Guamá	46
Figura 13- Diagrama das razões Isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ x $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ dos sedimentos de fundo do lago Água Preta	47
Figura 14: Diagrama do inverso da concentração dos metais pesados ($\mu\text{g/g}$) ⁻ vs. razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ dos sedimentos de fundo do lago Água Preta. Os teores de	

metais são mostrados de acordo com três grupos discriminados com base na razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$. as amostras próximas aos bairros da Guanabara e Águas Lindas são destacados.	51
Figura 15: Diagrama das razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ no perfil 01	55
Figura 16: Diagrama das razões isotópicas	55
$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs. Profundidade (cm) no perfil 01	55
Figura 17: Diagrama da distribuição vertical dos metais pesados ($\mu\text{g/g}$) comparativamente às razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ no perfil 01	60
Figura 18: Diagrama das razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ no perfil 02	63
Figura 19: Diagrama da razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs. profundidade (cm) no perfil 02	63
Figura 20: Diagrama da distribuição dos teores de metais pesados ($\mu\text{g/g}$) no perfil 02 comparativamente às razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	68

TABELAS

Tabela 1: Brancos de chumbo realizados no Pará-Iso neste trabalho	43
Tabela 2: Valores das razões isotópicas do chumbo dos sedimentos de fundo do lago Água Preta e sedimentos em suspensão do rio Guamá. Erro analítico dado entre parêntesis em 2σ . .	45
Tabela 3: Grupos de valores discriminados com base na razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ dos sedimentos de fundo do lago Água.	48
Tabela 4: Valores das concentrações dos metais dos sedimentos de fundo do lago Água Preta	50

Tabela 5: Distribuição dos valores das razões isotópicas do chumbo no perfil 01. Erro analítico, entre parêntesis, dado em 2σ .	54
Tabela 6: Distribuição da concentração dos metais pesados no perfil 01	58
Tabela 7: Valores das médias dos metais pesados nos quatro segmentos do perfil 01	59
Tabela 8: Distribuição dos valores das razões isotópicas do chumbo no perfil 02. Erro analítico, entre parêntesis, dado em 2σ .	62
Tabela 9: Distribuição da concentração dos metais pesados e porcentagem de umidade (um), matéria orgânica (m.o) e finos nos sedimentos do perfil 02	66
Tabela 10: Valores das Médias dos metais pesados nos dois segmentos do perfil 02.	67

RESUMO

O lago Água Preta é o principal reservatório de água, que juntamente com o lago Bolonha, constituem os mananciais de água superficial para abastecimento público da cidade de Belém. Ambos os reservatórios, são barragens alimentadas por pequenas drenagens e por água bombeada do rio Guamá. Estes mananciais, encontram-se vulneráveis ao lançamento de efluentes domésticos e industriais em função da ocupação urbana desordenada em suas imediações e por sua proximidade com o aterro sanitário do Aurá.

Neste trabalho foi investigado o registro histórico da composição isotópica do chumbo e da concentração de metais pesados em testemunhos de sedimentos do lago Água Preta.

Empregou-se diferentes métodos analíticos e espectroanalíticos tais como gravimetria, titrimetria, cromatografia de troca iônica, espectrometria de absorção atômica e espectrometria de massa para a obtenção dos resultados. Na separação química do chumbo utilizou-se resina específica de Sr (Sr-Spec) em colunas de Teflon, adaptando a metodologia de Gale (1996).

Através da amostragem preliminar de sedimentos de fundo em toda extensão do lago Água Preta, foi feito o reconhecimento da distribuição das razões isotópicas do chumbo e dos metais pesados. Os menores valores da razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ e os teores mais elevados de metais pesados foram identificadas nas ramificações do lago próximas das zonas de ocupação urbana. Nessa parte do lago foi amostrado uma coluna de 77,5 cm de sedimentos aqui denominado de perfil 01. Os maiores valores da razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ foram encontrados próximos a barragem do lago, que recebe influência constante da água bombeada do rio Guamá; onde foi testemunhado o perfil 02 com aproximadamente 110 cm de sedimentos.

Os valores da razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ foram agrupados basicamente em quatro segmentos no perfil 01 e em três segmentos no perfil 02.

Os valores das razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ variando entre 1,20157-1,20313 no perfil 01 e entre 1,20036-1,20431 no perfil 02, referem-se a assinatura isotópica regional. A razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ com valores variando entre 1,19346-1,19602 no perfil 02 correspondem a assinatura isotópica proveniente da influência dos sedimentos em suspensão na água do rio Guamá bombeada para o lago e cuja razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ é de 1,19225. As razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ variando entre 1,16223-1,17621 encontradas apenas no perfil 01, correspondem a contribuição antropogênica.

As médias mais elevadas das concentrações dos metais pesados no segmento superior do perfil 01, justificam a interpretação de que os valores mais baixos para a razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ são características de contribuição antropogênica.

As médias dos teores de metais pesados, encontrados no topo do perfil 02, provavelmente refletem a contribuição dos sedimentos em suspensão do rio Guamá no lago Água Preta, evidenciada pela razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$.

Os valores mais baixos das médias das concentrações dos metais encontrados na base dos dois perfis, reforçam a interpretação de que os valores mais elevados da razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ refletem uma contribuição regional, anterior a ação antropogênica, dada basicamente pelas rochas da área.

ABSTRACT

The Lake Água Preta, along with the Lake Bolonha, are the surface water reservoir of the city of Belém (PA). They are, in fact, unnatural water reservoir formed by damming small creeks. The Lake Água Preta is also fed by water pumped from the Guamá River. These lakes are vulnerable to the municipal and industrial effluents as a result of the unplanned urban occupation of the surrounding areas, as well as to the proximity of the Aurá landfill. In this work, the historical record of the Pb isotope composition and the concentration of heavy metals were investigated using sediment cores of the Lake Água Preta.

Different analytical methods, as wet chemistry, ion exchange chromatography, atomic absorption spectrometry and mass spectrometry, were applied. In addition, Sr-spec resin and small Teflon column were used for the Pb chromatographic separation procedure.

A reconnaissance sampling program was initially carried out using the bottom sediments of the Lake Água Preta in order to determine the Pb isotope composition and the heavy metal content.

The lowest values of the $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ratio and the highest heavy metal content were identified in the bottom sediments of those portions of the lake near by the urban occupation. There, a sediment core of 77,5 cm (core 01) was collected. The highest values of the $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ratio were found near the dam of the lake that is influenced by the sediment-rich water pumped from the Guamá River. In this part of the lake a sediment core of 110 cm (core 2) was collected.

The $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ isotope ratio varying between 1,20157-1,20313 and 1,20036-1,20431, obtained on the basal portions of the core 1 and core 2, respectively, are interpreted as indicative of the regional rocks Pb isotope signature. The $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ratio between

1,19346-1,19602 from the mid to top portion of the core 2 shows an isotope signature of the sediments carried by the Guamá river, whose $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ value is 1,19225. The $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ isotope ratio varying between 1,16223-1,17621, found only on the upper portion of the core 1, indicates the anthropogenic Pb isotope signature.

The high average concentrations of heavy metals in the upper part of the core 1 confirm the interpretation that the lowest $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ratio are typical of anthropogenic contribution. Additionally, based on the value of the $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ratio of the upper part of the core 2 it is suggested that the heavy metal contents of this portion of the core indicate the contribution of the sediments of the Guamá River. On the other hand, the lowest contents of heavy metal found on the basal portion of both cores are interpreted as the regional contribution of the rocks of the region prior to the urban occupation.

1- INTRODUÇÃO

1.1- APRESENTAÇÃO

O lago Água Preta é um dos reservatórios que constituem os mananciais de água superficial responsáveis pelo abastecimento de grande parte da cidade de Belém-PA. Eles estão situados na Área de Proteção Ambiental do Utinga na Região Metropolitana de Belém (RMB) e são administrados pela COSANPA (Companhia de Saneamento do Estado do Pará). O lago Água Preta encontra-se interligado ao outro reservatório, o lago Bolonha, por um canal artificial. Ambos os reservatórios são barramentos alimentados por pequenas drenagens, bem como de água bombeada do rio Guamá. O lago Água Preta destaca-se por apresentar maior volume de água reservada e servir de ponto de chegada da água aduzida do rio Guamá.

Estes mananciais correm riscos de eutrofização, em decorrência de estarem situados num ambiente vulnerável à ocupação urbana e ao lançamento de efluentes domésticos e industriais (CENSA/COSANPA, 1982; Ribeiro, 1992; COHAB, 1997; Morales et al. 2000.b).

Conceição (1995) classificou as prováveis fontes de contaminação dos mananciais do Utinga em efetivas (ocupação urbana, adução d'água do rio Guamá, cemitério Recanto da Saudade, desmatamento, material dragado, atividade de mineração, vegetação e emissões gasosas) e potenciais (indústrias, hospitais, postos de gasolina e empresas de transporte urbano). As efetivas já estão afetando os lagos ou estão em vias de alcançá-los. As potenciais se encontram instaladas na área, mas ainda não atingiram os mananciais, ou mesmo seus efeitos podem estar, ainda, imperceptíveis.

O aterro sanitário do Aurá é o local de deposição final do lixo coletado nos municípios de Belém, Ananindeua e Marituba.

Constitui-se também em fonte de risco ambiental para os mananciais do Utinga, por estar situado próximo aos lagos na Área de Proteção Ambiental do Utinga, às margens do igarapé Santo Antonio, cuja foz fica cerca de 250 m acima do ponto de captação de água no rio Guamá (Barros et al. 2000; Morales et al. 2000.a; Oliveira et al. 2000; COHAB, 1997).

A expansão da cidade de Belém em direção a área dos mananciais do Utinga, em função do aumento populacional, compromete a qualidade da água superficial que abastece a cidade. O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) realizados em 1998¹ citado por Matta et al. (2000), conclui que com a implantação do Projeto de Prolongamento da Avenida Primeiro de Dezembro aumentará as possibilidades de agravamento da ação antrópica, já existente, nestes mananciais.

Muitos trabalhos de pesquisa voltados para estudos ambientais vêm sendo desenvolvidos há algum tempo na Região Metropolitana de Belém, tanto pelas universidades como também por órgãos governamentais (CENSA/COSANPA, 1982; Menezes, 1985; CODEM, 1987; Dias, 1991; Mazzeo, 1991; Ribeiro, 1992; Nascimento, 1995; COHAB, 1997). Alguns foram específicos para a área fisiográfica do Utinga e tiveram como objetivo avaliar o efeito da ação antrópica sobre os mananciais de Belém.

Apesar da existência desses trabalhos de pesquisa, ainda serão necessários muitos outros para que se conheça com detalhes o atual quadro do impacto ambiental nesses mananciais em decorrência da ação antrópica.

Considerando a crescente aplicação dos isótopos de chumbo para o estudo ambiental, em diversos países, visando identificar eventuais fontes de contaminação antropogênica de metais no meio ambiente, o Laboratório de Geologia Isotópica da UFPA (Pará-Iso)

¹ FADESP. 1998. EIA/RIMA. Projeto de prolongamento da avenida primeiro de Dezembro. Belém, Universidade Federal do Pará. FADESP.

tem procurado desenvolver metodologias analíticas voltadas para o estudo do meio ambiente, utilizando a composição isotópica do chumbo em sedimentos. O presente estudo, como concretização desta iniciativa, procura contribuir para a discussão do comprometimento ambiental causado pela ação antrópica nos mananciais de Belém, através do estudo da composição isotópica do chumbo e de metais pesados em testemunhos de sedimentos do lago Água Preta.

1.2- OBJETIVOS

Diferentemente do escopo da maioria dos trabalhos já desenvolvidos para estudos ambientais, não apenas na Região Metropolitana de Belém, mas de um modo geral, no Brasil, este trabalho, visou investigar o impacto da ação antrópica no lago Água Preta através da determinação do registro histórico da composição isotópica do chumbo e da concentração de metais pesados em testemunhos de sedimentos deste lago. A coluna de sedimentos ali depositada preserva sua história de sedimentação, desde sua constituição até os dias atuais, tornando possível, desta forma, resgatar a contribuição antropogênica ao longo de sua existência.

1.3- LOCALIZAÇÃO

1.3.1- Localização da Região Metropolitana de Belém

A Região Metropolitana de Belém, formada pelos municípios de Belém, Ananindeua e Marituba, está localizada entre os paralelos 1° 10' e 1° 30' de Latitude Sul e 48° 25' e 48° 35' de Longitude Oeste Grw, a uma altitude média de 15 metros em relação

ao nível do mar (EBPT² citado por Farias et al. 1992). Ela localiza-se numa típica região estuarina, que corresponde ao Estuário Guajarinó, parte integrante de um outro maior, o Golfão Marajoara, situado na foz do rio Amazonas. O Estuário Guajarinó, ambiente fluvial com influências marinhas, forma-se na confluência dos rios Pará, Acará e Guamá, este limitando a área pelo lado sul, dando origem à baía de Guajará que a norte confunde-se com a baía de Marajó (Bezerra & Pereira, 1993).

1.3.2- Localização e Acesso da Área Estudada

A área fisiográfica do Utinga, incluída na Região Metropolitana de Belém, está localizada no quadrante: 48°11'00'' e 48°13'48'' WGr e 1°21'32'' e 1°24'54'' Latitude sul (Dias, 1991), que envolve os mananciais do Utinga, aí incluídos os lagos Água Preta e Bolonha. Está situada a NE da cidade de Belém, e ocupa uma área de 8.989.500 m² (CENSA/COSANPA, 1982).

O Manancial do Utinga, onde está localizado o lago Água Preta, pode ser alcançado pela rua Utinga e seu prolongamento através das estradas Moça Bonita e Águas Lindas, que são seus principais acessos (Figura 1).

A rua Utinga se inicia na Avenida Almirante Barroso, em frente ao colégio Lauro Sodré; seu prolongamento passa próximo à Estação de Tratamento de Água (ETA), segue para leste até o lago Água Preta. A estrada Águas Lindas, inicia-se no Km 05 de Rodovia BR 316, direciona-se para sul até às proximidades do Aterro Sanitário do Aurá, de onde segue para sudoeste até alcançar o represamento do lago Água Preta. Outro acesso é a estrada Moça Bonita, que, a partir do Km 02 da Rodovia BR 316, direciona-se para sul pelo divisor entre os lagos até o prolongamento da rua

²EBPT. 1979. Sistema Viário do Una. Estudo Preliminar. Belém. Vol. I.

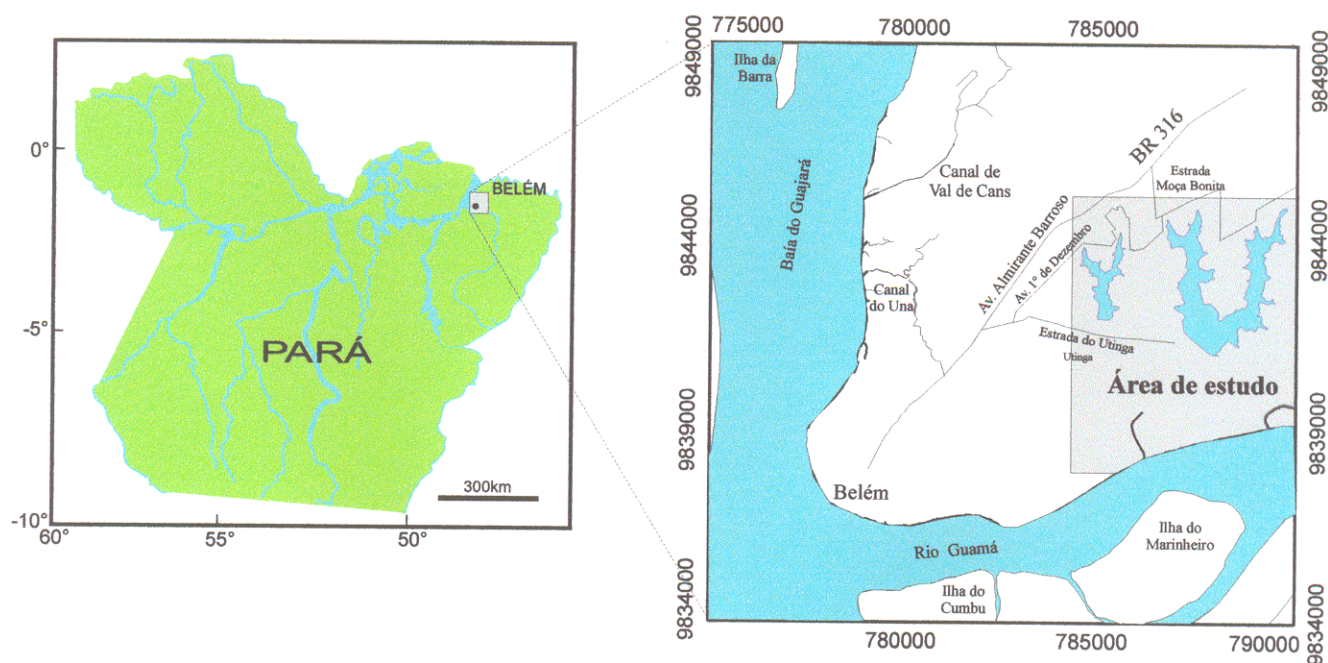


Figura 1: Mapa de Localização da Área de Estudo

Utinga. Ainda há uma série de ruas, alamedas, passagens, ramais e caminhos que, partindo da Avenida Almirante Barroso e Rodovia BR 316, permite o acesso aos mananciais do Utinga (Conceição, 1995).

1.4- ASPECTOS NATURAIS DA ÁREA ESTUDADA

1.4.1- Clima

Na área metropolitana de Belém o clima é quente e úmido, apresentando uma elevada cota pluviométrica, com chuvas freqüentes a tarde e início da noite, principalmente nos quatro primeiros meses do ano, que são os mais chuvosos. Os meses de outubro e novembro são os de menor pluviosidade. A região não apresenta meses secos bem definidos, além de não existir uma distribuição razoável das chuvas durante o ano (Farias et al. 1992).

O clima da área fisiográfica do Utinga corresponde ao tipo equatorial úmido, classificado de acordo com Köppen na categoria Af. Caracteriza-se, sobretudo, por apresentar precipitações freqüentes, oscilando entre 1500 a 3000 mm/ano, temperaturas acima de 18 °C com pequenas amplitudes entre máximas e mínimas anuais, ventos fracos e moderados, devido a baixa variação barométrica (Dias, 1991).

1.4.2- Vegetação

A tipologia vegetal dominante na área dos lagos do Utinga foi originalmente a Floresta Tropical Úmida Perenifolia, apresentando grande heterogeneidade na composição de espécies dicotiledôneas de porte médio a alto e, grandes variações na densidade. A variação do porte e da freqüência de determinadas espécies em ocorrências localizadas, vem em função da inundação

de áreas florestais, provocada pela barragem dos cursos d'água do Água Preta e Bolonha e, pelo desmatamento para ocupação agrícola e urbana. Estas condições são determinantes da principal divisão fito-tipológica da área do Utinga: floresta densa de terra firme, floresta de áreas inundadas ou sujeitas a inundações, floresta secundária, cultivos agrícolas, campos gramíneos, área urbana. Devido à interferência dos solos e dos principais processos modificadores como inundações e desmatamento, a floresta primitiva foi sendo alterada na sua cobertura original. Atualmente as áreas desmatadas ou alteradas diretamente pela ação antrópica existem em maior proporção, comparadas às áreas contendo florestas primitivas. Onde houve interferência humana (ação antrópica) ou qualquer derrubada causada por agente natural, a floresta reaparece, com uma composição parcialmente diferente da floresta primitiva, recebendo a denominação de floresta secundária ou capoeira (Dias, 1991).

1.4.3- Hidrografia

O conjunto hídrico do Utinga que constitui os mananciais de água da cidade de Belém é formado pelo represamento de algumas nascentes de córregos naturais que são chamados regionalmente de igarapés. Estão localizadas às proximidades do sistema rodoviário avenida Almirante Barroso e Rodovia BR 316 (Ribeiro, 1992).

Segundo Silva (1999), originalmente a rede hidrográfica do Utinga era constituída por três pequenos cursos d'água independentes: o rio Murutucu e seus formadores, os igarapés Utinga e Buiussuquara e os rios Catu e Água Preta, de quem, segundo Dias (1991), o lago Água Preta recebera o nome.

O lago Água Preta é formado pelo barramento de três destas nascentes, as quais encontram-se fora dos limites dos terrenos da COSANPA. A leste, circunvizinha à sua bacia, encontra-se a bacia

hidrográfica do lago Bolonha, formado pelo barramento das nascentes dos igarapés Catu, Buiussuquara e Utinga (Dias, 1991; Silva, 1999; PMB, 2000).

Estes dois lagos estão interligados por meio de um canal artificial e segundo Conceição (1995), são navegáveis por embarcações de pequeno porte, onde as profundidades variam entre 3 e 5 m.

Apesar de receber as águas drenadas de suas bacias, o volume dos lagos é mantido por meio de adução das águas do rio Guamá que são lançadas no lago Água Preta por uma adutora próxima ao rio Aurá (PMB, 2000).

A oeste da bacia do Lago Água Preta, encontra-se também a bacia do rio Aurá, formada por igarapés interligados naturalmente a este rio, que por sua vez, deságua no rio Guamá (CODEM, 1987).

1.4.4- Solos

Vieira *et al.*³ citados por Dias (1991), reconheceram a existência de quatro manchas de solos, compondo associações, nas áreas circunvizinhas aos mananciais do Utinga (Latossolo Amarelo e Concrecionário Laterítico; Latossolo Amarelo e Areias Quartzosas; Hidromórficos Gleizados, Podzol Hidromórfico).

No Plano Diretor dos Parques do Utinga, realizado pela CODEM (1987), foram descritos três tipos de solos na área (Latossolo Amarelo, Hidromórficos Gleizados e Podzol Hidromórfico). No Plano Diretor de Mineração em Áreas Urbanas de Belém e Adjacências, Bezerra & Pereira (1993), também descreveram três tipos de solos no entorno dos mananciais (solos Petroplínticos álicos, de ocorrência restrita ao Grupo Barreiras, Latossolo Amarelo álico, Greissolos álicos).

³ Instituto do Desenvolvimento Econômico-Social do Pará. Reconhecimento dos recursos naturais da Região Metropolitana de Belém. Belém, Seplan/Codem/Idesp, 1979.

O Latossolo Amarelo apresenta perfil profundo, às vezes mais de 2,0 m de espessura. São solos envelhecidos, ácidos, de baixa fertilidade natural, apresentando-se, esporadicamente bastante argilosos, apesar da boa drenagem que possuem (CODEM, 1987).

Os solos do tipo Concrecionário Laterítico, caracterizam-se por apresentarem elevado grau de intemperização, são compostos por mistura de hidróxidos de ferro e alumínio e minerais altamente resistentes aos processos intempéricos (Dias, 1991).

Os solos Hidromórficos Gleizados são solos mal drenados, fortemente ácidos. Por serem de fácil recuperação, suas condições são bastante melhoradas através de drenagem artificial (CODEM, 1987). A saturação de bases nos solos hidromórficos dos mananciais do Utinga é pequena, com baixa capacidade de troca de bases (Dias, 1991).

Os solos do tipo Podzol Hidromórfico são formados a partir de sedimentos arenosos recentes e encontram-se associados, na área, com o Latossolo Amarelo textura média, e com os Hidromórficos Gleizados. Desta unidade de solo restou uma parcela mínima nas áreas do parque, tendo sido em sua quase totalidade já ocupada e desmatada devido a sua proximidade com a Rodovia BR 316 (CODEM, 1987).

1.4.5- Geomorfologia

Segundo Dias (1991), o conjunto dos lagos do Utinga, está inserido numa grande região morfológica, denominada de "baixos platôs amazônicos e planícies litorâneas".

Sob o ponto de vista topográfico, a paisagem da área que abrange a bacia dos mananciais, apresenta-se quase uniforme, com pequenas declividades e cota mais alta de 25 m. É constituída por três unidades distintas representadas pelos níveis de várzeas,

terraços e baixos platôs, integrando um aspecto do domínio de terras baixas sedimentares amazônicas, numa de suas formas mais típicas (CODEM, 1987).

Os níveis de várzeas correspondem aos trechos que margeiam o rio Guamá com alguns alongamentos em direção aos mananciais e constituem os níveis topográficos mais baixos.

Os níveis de terraço apresentam altimetria acima da cota de 5m até alcançar a cota de 15 m, e abrangem as áreas de contorno imediato dos mananciais. Estendem-se em maior dimensão, na direção sul, apresentando alguns alongamentos em direção ao norte.

Os tabuleiros, ou baixos platôs, compreendem a unidade topográfica de maior altitude, entre 15 a 30 m, representados na área com cotas entre 15 a 25 m. Abrangem, basicamente, os terrenos localizados nas laterais e ao norte dos mananciais.

1.4.6- Geologia

Os mananciais do Utinga, estão sobrepostos integralmente aos sedimentos do Pleistoceno e Holoceno, originados do Grupo Barreiras (Dias, 1991).

O Grupo Barreiras, depositado em ambiente continental durante o Plioceno e parte do Pleistoceno, está assentado sobre os calcários e arenitos da Formação Pirabas, cujo topo encontra-se a cerca de 80 m de profundidade. Está representado pela interdigitação de sedimentos arenosos e areno-argiloso e ocorrendo em pequenas áreas entre os lagos Água Preta e Bolonha e o curso superior do rio Aurá (Conceição, 1995).

Sobreposta ao Grupo Barreiras, a Cobertura Detrítica Pleistocênica, apesar da reduzida espessura, é a unidade geológica de maior expressão territorial e sobre a qual se desenvolveram as zonas urbanas. São sedimentos detríticos

pleistocênicos de características alúvio-coluvial e, também, fluvial, representados por um fácies arenoso e outro areno-argiloso (Conceição, 1995).

Os depósitos recentes cuja deposição se processa desde o início do Holoceno, são constituídos por sedimentos argilosos cinza, ricos em matéria orgânica. São sedimentos dispostos ao longo da planície de inundação do rio Guamá, constituindo o Aluvião Recente (Conceição, 1995).

1.5- ASPECTOS HISTÓRICOS DOS MANANCIAIS DO UTINGA

A partir de 1872 os mananciais de Ananindeua e Marituba já haviam sido pesquisados e aprovados para abastecimento de Belém (Dias, 1991). Em 1881, com a criação da companhia das Águas do Grão Pará, foram demarcados os terrenos que deveriam ser desapropriados no Utinga para a conservação dos mananciais (Feitosa, 1994).

O serviço de abastecimento pela Companhia das Águas do Grão-Pará foi inaugurado em 1883, com captação de água dos mananciais do Utinga (Feitosa, 1994).

Entre 1901-1907, quando o Utinga já se mostrava insuficiente para atender a demanda de água potável na cidade de Belém, foi determinada a captação de suas águas, por meio de galerias subterrâneas filtrantes e a construção de uma represa em toda a sua bacia. Nesta ocasião, foi também determinada a construção de muros ao longo de um pequeno canal ("rego") que conduzia as águas de três nascentes (Utinga, Buiussuquara e Catu) para um poço de acumulação, evitando assim o seu contato com as águas de áreas inundáveis (igapós) (CODEM, 1987; Feitosa, 1994; Silva, 1999).

Os lagos formadores dos mananciais de Belém foram criados na década de 30, a partir de barragens de cursos d'água. O

primeiro a ser represado foi o rio Catu e os igarapés Buiussuquara e Utinga e, o segundo foi o rio Água Preta (Silva, 1999; PMB, 2000).

Em 1932 houve a construção do Canal Yuna, pelo qual as águas dos rios Água Preta e Catu eram desviadas para o Buiussuquara para que juntas chegassem até as bombas do Utinga (Silva, 1999).

Em 1945, houve a reconstrução da barragem do lago Água Preta, elevando sua altura em aproximadamente 0,8 m e também da barragem do lago Bolonha, elevada em aproximadamente 2,3 m. Deu-se também o início da construção de um novo canal que remanejava as águas do canal Yuna e do igarapé Buiussuquara, finalizado em 1949 (Feitosa, 1994; Silva, 1999).

Em 1955, iniciou-se a construção da Estação de Tratamento de Água e a estabilização da barragem do lago Água Preta. Após a conclusão destas obras, em 1957, foi instalada uma bomba de recalque para captar água do rio Guamá e, assim, complementar o abastecimento de água potável para a cidade de Belém, pois o sistema de lagos do Utinga não atendia a demanda da cidade durante o período de estiagem. Em 1968, procedeu-se a ampliação da capacidade de bombeamento (CODEM, 1987; Feitosa, 1994).

Na década de 80 houve a construção do atual canal de interligação entre os lagos Água Preta e Bolonha, como forma de manutenção de seus níveis. Apesar de receber as águas drenadas de suas bacias, o volume destes lagos é mantido pela captação de água do rio Guamá (Silva, 1999).

Em abril de 1994, foram tomadas novas medidas em relação a desapropriação da área de proteção sanitária e de preservação dos mananciais. Nesta ocasião foram baixados dois decretos lei pelo governo.

Um, o de nº 3.251 que em seu artigo 1º declara de utilidade pública para fins de desapropriação, a área de proteção sanitária

dos lagos Bolonha e Água Preta no Utinga, alcançando parte dos municípios de Belém e Ananindeua.

O outro, de nº 3.252 que em seu art.1º define os terrenos do Utinga, que integram as Bacias Hidrográficas e a Área de Proteção Sanitária dos Lagos Bolonha e Água Preta, abrangendo também parte dos municípios de Belém e Ananindeua, como área de proteção especial para fins de preservação dos mananciais da Região Metropolitana de Belém (Dias, 1991).

Em 1987, estudos realizados por entidades federais, estaduais e municipais, sob a coordenação da Companhia de Desenvolvimento da Área Metropolitana de Belém, permitiram elaborar o Plano diretor do Utinga. Neste plano consta a criação do Parque dos Lagos, Parque do Murutucu, parque da UFPA e parque do Aurá. Este plano foi atualizado em 1997 pela SECTAM, através do Projeto Estudo para a Proteção Ambiental dos Mananciais do Utinga e Áreas imediatas, que proporcionou, pelo Decreto Estadual nº 1.151 de 03 de maio de 1983, a criação do Parque Ambiental de Belém (Conceição, 1995).

2- GEOQUÍMICA DO CHUMBO

O chumbo pode existir em duas formas inorgânicas; como Pb (II) e Pb (IV), sendo que a segunda é mais freqüente que a primeira; e também sob a forma de compostos orgânicos e organometálicos (Jaworski et al. 1987). Ele é um metal do grupo IVB da tabela periódica, correspondente à família do carbono-silício. Possui raio atômico igual a 1,75 Å e número atômico 82. O chumbo ocorre em pequenas quantidades numa considerável variedade de minerais como anglesita (PbSO₄), cerusita (PbCO₃), crocoíta (PbCrO₄) e galena (PbS), sendo este o mineral de Pb mais abundante na natureza (Quagliano & Valarino, 1973).

O chumbo possui quatro isótopos: ²⁰⁴Pb, ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb e ²⁰⁸Pb, onde o ²⁰⁴Pb é o único que não é radiogênico. Os outros isótopos, ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb e ²⁰⁸Pb são produzidos pelo decaimento radioativo do ²³⁸U, ²³⁵U e ²³²Th, respectivamente (Faure, 1986; Aswathanarayana, 1986). Sendo que a abundância isotópica média do ²⁰⁶Pb é 25,28%, do ²⁰⁷Pb é 21,13%, do ²⁰⁸Pb é 52,23% e do ²⁰⁴Pb é igual a 1,35%. Esses valores podem variar com o decorrer do tempo ou do tipo de rocha, em função do decaimento radioativo do U e do Th (Faure, 1986).

2.1- O CHUMBO NO MEIO AMBIENTE

O chumbo possui um tempo de residência na atmosfera que varia entre 5 e 10 dias e, da mesma forma que outros metais tóxicos como o arsênio (As), cádmio (Cd) e mercúrio (Hg), a contaminação ambiental, causada pela presença do chumbo (Pb) tem sido motivo de preocupação em diversos países (Kesler, 1994). Os efeitos cumulativos (ao entrar na cadeia alimentar) e tóxicos

desse metal, afetam o sistema fisiológico e neurológico dos organismos, principalmente organismos mais jovens (Kesler, 1994; Jaworski et al. 1987). Nos seres humanos afeta, em especial, as crianças que são altamente sensíveis a este metal (Gaudette, 1999; Jaworski et al. 1987).

O chumbo tem sido introduzido em grandes quantidades no meio ambiente, especialmente após a utilização de aditivos de chumbo (chumbo tetraetila $[Pb (C_2H_5)_4]$) à gasolina (Jaworski et al. 1987) como agente antidetonante nas gasolinas. A preocupação generalizada sobre as emissões de descarga dos automóveis levou ao uso corrente de conversores catalíticos, a fim de minimizar seu despejo na atmosfera (Shreve & Brink, 1980), bem como a eliminação progressiva dos aditivos de chumbo da gasolina. No Brasil o chumbo tetraetila deixou de ser adicionado na gasolina em 1989, ressaltando que o Brasil e o Japão foram os primeiros países a adotarem esta medida (www.petrobras.com.br, 08.10.1999).

Entretanto, ainda existem outras fontes de contaminação ambiental de chumbo, pois este metal está presente numa série de produtos industrializados (baterias de carros, pigmentos de tintas) e em efluentes de indústrias de processamento de minério, metalúrgica, química, vidro, papel, têxtil, fertilizantes, refino de petróleo, entre outras (Gaudette, 1999). Além disso, a queima de carvão e a metalurgia de minérios de chumbo são responsáveis pela emissão de pequenas partículas de chumbo para a atmosfera.

No meio ambiente os isótopos de chumbo podem ser utilizados como traçadores de fontes de contaminação deste metal, pois as mudanças nas razões isotópicas variam em função da mistura de chumbo proveniente de outras fontes (Gaudette, 1999). O valor da razão isotópica $^{206}Pb/^{207}Pb$ no meio ambiente reflete a mistura do chumbo presente na atmosfera, na crosta terrestre, como também do chumbo emitido pela atividade industrial (Erel & Paterson, 1994).

Essa diferenciação é feita em virtude da composição isotópica do chumbo dos diferentes depósitos minerais apresentarem razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ característica do seu ambiente de origem e de sua época de formação (Erel & Paterson 1994), pois mesmo sendo manufaturados pela indústria, a sua composição isotópica não é alterada. Como a maioria dessas indústrias de beneficiamento utiliza minério de um depósito mineral específico, a assinatura isotópica do minério é conhecida através do controle de qualidade que é realizado na matéria prima.

Portanto, a composição isotópica do chumbo pode ser largamente empregada para identificar as fontes de contaminação deste metal no meio ambiente, através da análise dos mais diferentes materiais como sedimentos, águas, solos, aerossóis, algas e gelo depositado nas regiões glaciais entre outros.

Destes diferentes materiais, os sedimentos de ambientes lacustres funcionam como um verdadeiro banco de dados sobre o ecossistema, pois formam camadas, contendo compostos químicos e estruturas biológicas que representam as diferentes fases do processo de sedimentação. Assim torna-se possível, interpretar o desenvolvimento histórico e alterações tanto do ambiente como de suas comunidades (Esteves, 1988).

2.2- APLICAÇÃO DE ISÓTOPOS DE CHUMBO EM ESTUDOS DE MEIO AMBIENTE

Muitos estudos desenvolvidos por pesquisadores de diversos países vêm utilizando as razões isotópicas de chumbo para investigar a contribuição antropogênica desse metal, entre outros fins.

O estudo da composição isotópica do chumbo indica a procedência das diferentes fontes de chumbo. Tendo como objeto de estudo os mais diversificados tipos de materiais (água, solo, sedimentos, algas, aerossol, gelo de regiões glaciais...),

permite diferenciar fontes pontuais e regionais, além de indicar fontes de chumbo a nível global através da composição isotópica do chumbo em aerossóis.

Alguns desses estudos são realizados conjuntamente com a investigação de outros metais pesados, tornando-se desse modo mais efetivos na avaliação de efeitos antrópicos no meio ambiente.

Dentre os metais pesados, o estudo geoquímico do chumbo no meio ambiente, recebeu uma particular atenção após os trabalhos de Murozoni *et al.* (1969) e de Boutron & Paterson (1983), que mostraram um crescimento do teor de chumbo nas camadas mais recentes de gelo da Groenlândia e da Antártica, em relação às camadas depositadas em épocas pré-históricas. Esse aumento foi correlacionado ao crescimento industrial, principalmente no Hemisfério Norte, nos dois últimos séculos. Sendo que uma das principais causas da aceleração da emissão antropogênica de chumbo foi a adição de chumbo tetraetila, na gasolina a partir da primeira metade do século XX (Jaworski *et al.* 1987).

Quase duas décadas após a publicação do trabalho de Boutron & Paterson (1983), em um estudo conduzido a respeito da distribuição de metais pesados em perfis de sedimentos a oeste do mar Ross - Antártica, Ravanelli *et al.* (1997) verificaram que a maior concentração desses metais encontrava-se entre 13-15 cm de profundidade. O que mais uma vez pode ser correlacionado ao período de maior crescimento industrial a partir do século XIX.

Utilizando a composição isotópica do chumbo em um estudo realizado numa bacia de drenagem na lagoa Thau (sul da França) Monna *et al.* (1994) identificaram fontes de poluição de chumbo de origem antropogênica e natural, além de mostrar a presença de ambas sob a forma de mistura isotópica.

Carignan e Geriépy (1995), utilizaram a composição isotópica do Pb absorvido por algas simples (línques epifíticos)

como um traçador de fontes de emissões atmosféricas de Pb no sul de Quebec, Canadá. Através desse estudo foi possível identificar que essas algas acusam a presença de Pb, num raio de até 500km distante da fonte de emissão.

Em aerossóis coletados em todo o Hemisfério Sul (Bollhöfer & Rosman, 2000), através da análise da composição isotópica e das concentrações de chumbo, observaram que existiam diferentes assinaturas isotópicas dentro e entre os continentes, mas que ambas as assinaturas se modificavam de modo proporcional. O transporte atmosférico de Pb também é notado em solos (Hansmann & Köppel, 2000) em locais livres de contribuição antropogênica, mas que acusam a presença deste metal.

Através do estudo da composição isotópica do chumbo presente em sedimentos dos Pequenos e dos Grandes Lagos - EUA (Ritson *et al.* 1994; Graney *et al.* 1995), foi obtido o registro histórico do chumbo nos dois últimos séculos. Foi demonstrado que até 1860 o chumbo presente nos sedimentos do fundo dos lagos era proveniente de fontes naturais. Posteriormente, as principais fontes antropogênicas de chumbo foram o desmatamento, a queima de carvão vegetal e fusão de minérios, e sobretudo, pelo uso da gasolina com aditivo de chumbo. Com este estudo foi possível verificar que existem fontes locais e regionais de chumbo preservados em sedimentos de fundo de lagos.

No Brasil, embora o emprego de isótopos de chumbo para estudos ambientais se encontre em fase inicial, já existe o registro dos primeiros trabalhos desenvolvidos nesta linha de pesquisa. A composição isotópica dos sedimentos de fundo nas drenagens do vale Ribeira de Iguapé - SP, foi utilizada para verificar a abrangência da poluição de chumbo nessa região (Moraes *et al.* 1997). Os isótopos de chumbo foram utilizados na verificação da taxa de sedimentação no reservatório Billings - SP (Moreira *et al.* 1999).

Em Belém-PA, já existem alguns dados isotópicos preliminares inéditos, provenientes de estudos de isótopos de chumbo em sedimentos de fundo do furo do Maguari (Gaudette informação verbal. 1999), solos e sedimentos de fundo do rio Aurá (Morales, no prelo) onde foram identificadas, preliminarmente, assinaturas isotópicas antropogênicas e regionais.

3- MATERIAIS E MÉTODOS

3.1- AMOSTRAGEM

Para o desenvolvimento deste estudo, diferentemente dos trabalhos habituais de Geoquímica Ambiental, a sazonalidade não é fator predominante, podendo-se, portanto realizar as campanhas de amostragem em qualquer época do ano.

Na campanha preliminar, realizada em 10.02.2000, foram amostrados sedimentos de fundo em toda a extensão do lago Água Preta (Figura 2), com o intuito de identificar eventual variação na razão isotópica do chumbo dentro do lago (Figura 3) para posterior amostragem dos testemunhos de sedimentos. As amostras de sedimentos de fundo do lago Água Preta, foram coletadas com amostrador pequeno de aço (tipo draga) marca VAN ESSEN DELFT (figura 4) e, imediatamente colocadas e homogeneizadas em sacos plásticos tipo Zip Lock, levadas ao laboratório e conservadas a -4 °C até que fossem preparadas para análise.

Dentro do objetivo inicial foi coletada amostra de sedimentos em suspensão do rio Guamá nas imediações da tomada de água da adutora da COSANPA para identificação da razão isotópica do chumbo nestes sedimentos. Para isto foram coletados 10 L de água em garrafas de polietileno a uma profundidade aproximada de 30 cm da superfície.

Na segunda campanha, realizada em 29.08.2000, foram amostrados os testemunhos de sedimentos no lago Água Preta, em pontos pré-estabelecidos a partir dos dados obtidos da campanha de amostragem preliminar. Os locais de amostragem são mostrados na Figura 02.

Os testemunhos de sedimentos foram amostrados com tubos de acrílico e de alumínio, ambos com 3 m de comprimento e 100 mm de diâmetro. Esses tubos foram pressionados no fundo do lago, no

local escolhido, e ao apresentarem resistência para sua descida, adicionava-se água no mesmo, tampando-o no lado oposto, criando-se deste modo vácuo, o que permitia a retirada do testemunho (Figura 5). O tubo, então retirado da lâmina d'água foi transportado para uma base de apoio, onde foi serrado e, a extremidade que continha a amostra de sedimento, separada (Figura 6). Os testemunhos coletados foram levados ao laboratório e conservados a -4°C até que fossem preparados para serem analisados posteriormente.

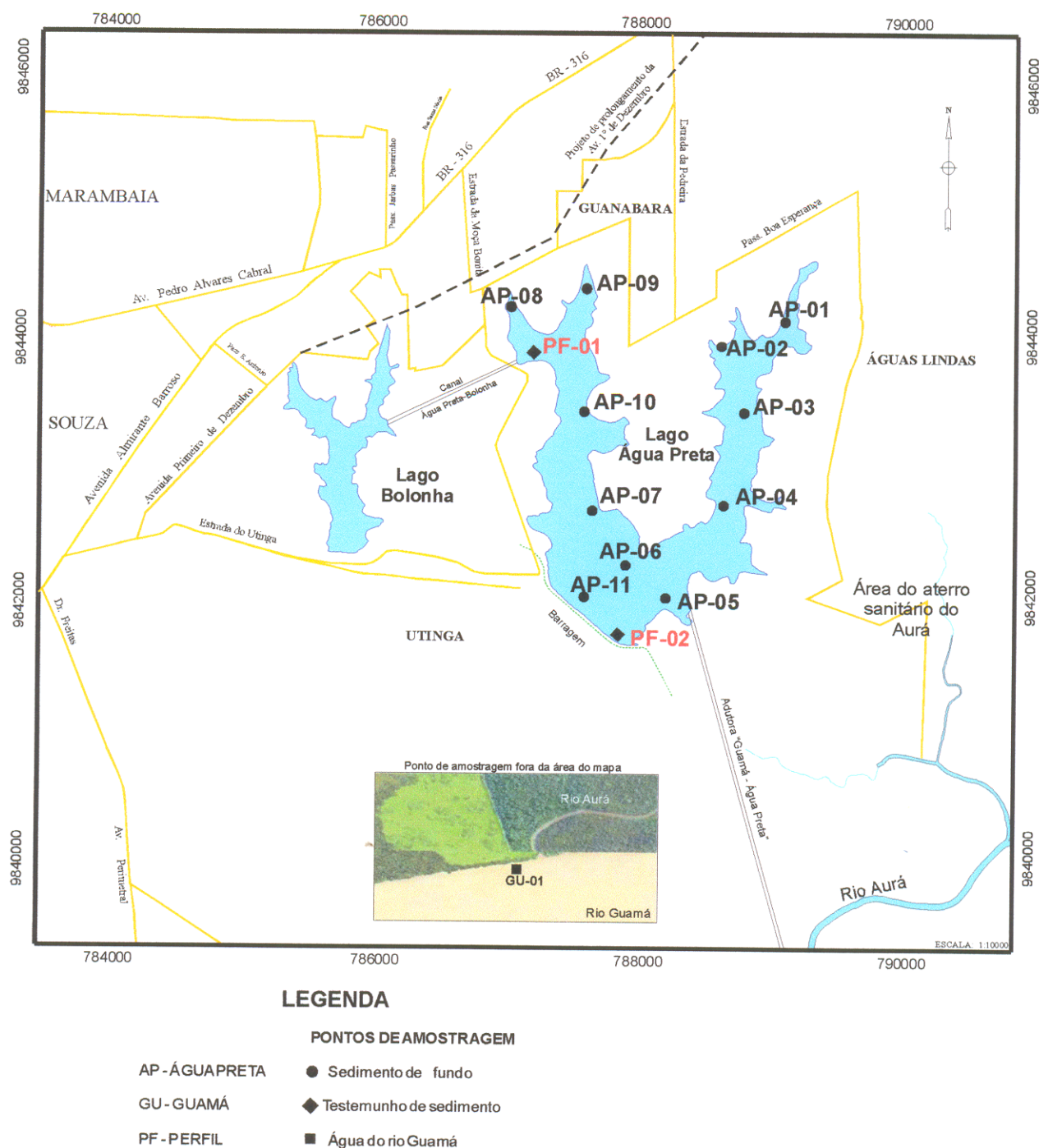


Figura 02: Mapa de localização dos pontos de amostragem dos sedimentos de fundo (AP-01 a AP-11) e dos perfis (PF-01 e PF-02) no lago Água Preta. Em detalhe o ponto de amostragem de sedimentos em suspensão do rio Guamá (GU-01).



Figura 3: Vista do lago Água Preta mostrando a ramificação mais próxima do bairro da Guanabara, às imediações da BR 316.

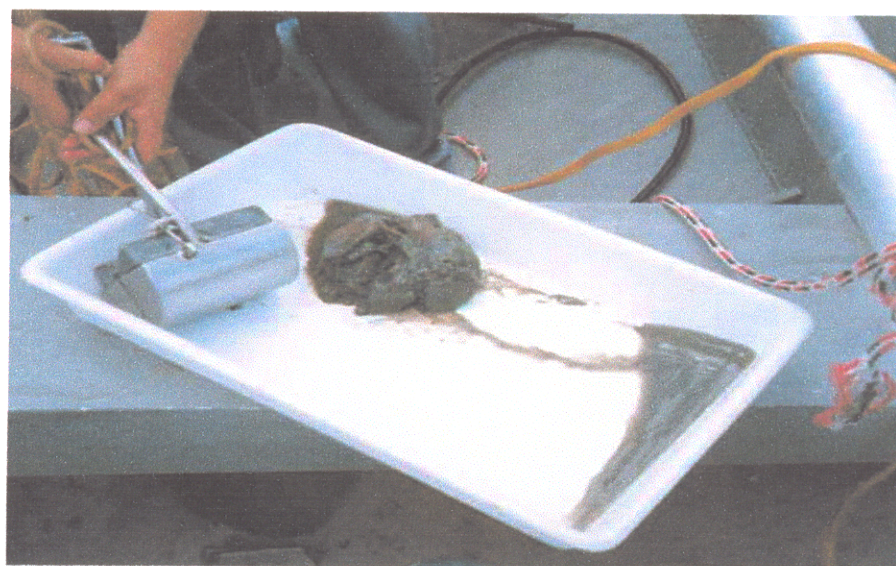


Figura 4: Amostragem dos sedimentos de fundo do lago Água Preta com draga tipo VAN ESSEN DELFT.



Figura 5: Amostragem dos testemunhos de sedimentos (PF-01 e PF-02).



Figura 6: Separação da extremidade do tubo contendo o testemunho de sedimento.

3.2- TRATAMENTO DAS AMOSTRAS NO LABORATÓRIO

A água bruta, amostrada do rio Guamá, foi filtrada a vácuo em papel de filtro milipore. Os papéis de filtro com o sedimento em suspensão foram posteriormente lavados em água ultrapura, os sedimentos removidos dos papéis de filtro e secos em estufa.

Os testemunhos foram retirados dos tubos por pressão utilizando um tarugo de madeira acoplado a um rótulo, também de madeira (Figura 7). O perfil 01 (PF-01) de 77,5 cm de profundidade foi retirado do tubo e dividido em secções de aproximadamente 1 cm de espessura e, entre estas, foram selecionadas 32 secções representativas deste perfil para serem analisadas. O perfil 02 (PF-02) de 110 cm de profundidade, da mesma forma, foi retirado do tubo e dividido em secções de aproximadamente 2 cm de espessura e então escolhidas 19 secções representativas para análise.

Por se tratar de amostragem difícil, sem equipamentos apropriados, os dois perfis sofreram pequenas deformações. Em função disto, as secções nas quais os perfis foram divididos, após somadas uma a uma, não corresponderam exatamente ao tamanho real dos perfis, havendo, portanto necessidade de efetuar algumas correções. Para a reconstituição do tamanho original do perfil utilizou-se regras básicas de razões e proporções.

As amostras de sedimentos de fundo, testemunhos de sedimentos do lago Água Preta e sedimentos em suspensão na água do rio Guamá foram secas, desagregadas e submetidas a lixiviação ácida segundo Loring & Rantala (1992).



Figura 7: Retirada do testemunho de sedimento e seccionamento dos perfis (PF-01 e PF-02).

3.2.1- Secagem e desagregação das amostras

As amostras foram secas em estufa durante um período de 24 horas a uma temperatura de 80-90 °C e posteriormente desagregadas em gral de ágata.

3.2.2- Extração ácida para análise de metais

Pesou-se aproximadamente 3 g da amostra seca e desagregada e em frasco de polietileno de 50 mL, adicionou-se cerca de 20 mL de HNO₃ 5N bidestilado (HNO₃^{**})⁴, tampou-se os frascos os quais foram colocados no agitador por um período de 24 horas. Após o término desta etapa, as amostras foram filtradas em papel de filtro qualitativo PA e aferidas em balões volumétricos de 50 mL. O material filtrado da lixiviação ácida, foi submetido a análise dos teores de metais pesados e a análise isotópica do chumbo.

Esta lixiviação ácida, feita com HNO₃ ^{**} 5N, objetiva colocar em solução apenas os metais biodisponíveis, ou seja, os metais adsorvidos nos sedimentos.

3.3- MÉTODOS ANALÍTICOS EMPREGADOS

Foram aplicados diferentes métodos analíticos para a obtenção dos dados requeridos neste trabalho, como a Gravimetria, a Titrimetria, a Cromatografia de Troca Iônica bem como métodos espectroanalíticos mais modernos como a Espectrometria de Absorção Atômica e a Espectrometria de Massa.

⁴ HNO₃ destilado por duas vezes sucessivas em subboiler de quartzo

3.3.1- Métodos gravimétricos

3.3.1.1- Determinação da umidade

Da amostra in natura, pesou-se aproximadamente de 1 a 2 gramas que foram secas a 80 °C. A diferença de massa forneceu a porcentagem de umidade.

$$\% \text{ UMIDADE} = \frac{(P1 - P2 \text{ (g)}) \times 100}{\text{massa amostra (g)}} \quad (\text{equação 1})$$

onde: P1 = Peso do cadinho + amostra úmida

P2 = Peso cadinho + amostra sem umidade

3.3.1.2- Matéria Orgânica

Pesou-se aproximadamente 3 g da amostra seca e em cadinho de porcelana, anteriormente já colocado na mufla para eliminação da umidade. Após pesagem o cadinho foi levado novamente para a mufla por 4 horas a 550 °C e em seguida pesado novamente. A diferença de peso forneceu a porcentagem em peso de matéria orgânica.

$$\% \text{ MATÉRIA ORGÂNICA} = \frac{(P1 - P2 \text{ (g)}) \times 100}{\text{massa amostra (g)}} \quad (\text{equação 2})$$

onde: P1 = Peso do cadinho + amostra com matéria orgânica

P2 = Peso cadinho + amostra sem matéria orgânica

3.3.1.3- Determinação da granulometria

A análise de granulometria foi feita para determinar a quantidade de material fino (silte e argila) do sedimento.

Pesou-se aproximadamente 15 g da amostra seca e desagregada em um béquer de 400 mL, adicionando-se 100 mL de H₂O₂ 2% e 50 mL de Na₄P₂O₇ a uma concentração de 900 mg/L e 100 ml de água deionizada, reagindo durante 48 horas. Após este período de reação, as amostras foram passadas em peneira de 0,062 μ , sendo lavadas com água corrente em abundância para a eliminação do material fino (silte e argila), em seguida o material retido na malha da peneira foi colocado em um béquer e levado para secar na estufa a uma temperatura de 90 °C. Após a evaporação da água, as amostras foram pesadas e por diferença de peso determinou-se a porcentagem de material acima de 63 μ .

$$\% \text{ FINOS} = \frac{(P1 - P2 \text{ (g)}) \times 100}{\text{massa amostra (g)}} \quad (\text{equação 3})$$

onde: P1 = Peso do béquer + amostra com finos

P2 = Peso béquer + amostra sem finos

3.3.2- Espectrometria de absorção atômica

As análises dos metais traços Pb, Zn, Ni, Co, Cr, Cu, Cd, Fe e Mn foram efetuadas por Espectrometria de Absorção Atômica em aparelho PERKIN ELMER 3300 no Laboratório de Absorção Atômica do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará.

O Limite de Detecção do Aparelho (LDA) em ppm para os elementos analisados é respectivamente: Zn=0,018; Cu=0,077; Cd=0,028; Ni=0,14; Pb=1; Fe=0,1; Mn=0,052; Co=0,12; Cr=0,078.

Para o cálculo do teor destes metais em $\mu\text{g/g}$ e sua normalização, levou-se em consideração a diluição e a massa da amostra utilizada na lixiviação ácida, bem como a granulometria conforme as equações abaixo:

$$[\mu\text{g/g}] = [\text{ppm}] \times (\text{fd}/\text{m}) \quad (\text{equação 4})$$

onde:

fd é o fator de diluição da amostra original;

m é a massa da amostra em grama (g)

$$\text{Normalização} = [\text{metal em } \mu\text{g/g}] / (\% \text{ finos} / 100) \quad (\text{equação 5})$$

3.3.3- Determinação titrimétrica do alumínio com EDTA

Devido as amostras terem se apresentado ricas em matéria orgânica e, esta interferir na análise titrimétrica do alumínio, foi necessário inicialmente eliminar a matéria orgânica a 550°C , proceder abertura ácida do material com $\text{HF} + \text{HClO}_4$ (10:1) para então analisar o teor de Al por titrimetria com EDTA⁵.

3.3.4- Espectrometria de massa

A análise isotópica do chumbo nas amostras de sedimentos foi realizada no espectrômetro de massa de termoionização modelo VG ISOMASS 54E de fonte sólida com um coletor simples (Figura 8).

O fator de discriminação de massa utilizado foi $0,00120 \pm 0,00030$ obtido apartir de solução padrão NBS 982.

⁵ Etilenodiaminotetracético

3.4- ADAPTAÇÕES DA METODOLOGIA DE ANÁLISE ISOTÓPICA DO CHUMBO

A análise isotópica do chumbo requer ambiente e material extremamente limpos, por este motivo, paralelamente ao trabalho direcionado da análise isotópica do chumbo, foi necessário dar atenção especial à limpeza de todo o material utilizado. Os frascos de estocagem das amostras e dos reagentes, tubos de centrífuga, limpeza dos porta-filamentos, cadinhos, lavagem da resina, purificação de ácidos, água, inclusive a própria sala de química foram todos cuidadosamente limpos. Foram adotados todos os cuidados intrínsecos ao desenvolvimento de trabalhos em laboratórios de separação química de elementos para análise isotópica. Inclusive a água utilizada foi proveniente de sistema milipore de purificação de água, considerada ultrapura.

A metodologia Pb-Pb empregada rotineiramente no Pará-Iso foi implantada por Rodrigues (1992). Nessa metodologia a separação cromatográfica do chumbo é realizada com HCl 6N e HBr 0,5 N em resina do tipo DOWEX AG 1X8 e tem sido aplicada somente para análise de rochas e minerais.

Em 1998⁶, o Prof. Dr. Henri E. Gaudette implantou uma nova técnica de separação cromatográfica do chumbo, adaptada de Gale (1996), aplicável a sedimentos. Nessa técnica, a separação cromatográfica do Pb, utiliza resina Sr-Spec, lã de Teflon como filtro, HCl 2N e 6 N duas vezes destilados (HCl**) e ponteiras de pipetas de 5 mL como colunas.

Para a realização deste trabalho houve necessidade de implementar algumas adaptações na técnica implantada por Gaudette em 1998, nas colunas, nos filtros, e na pureza dos reagentes empregados na separação cromatográfica do chumbo, o que tornou

⁶ Implantação da metodologia de separação cromatográfica do chumbo no Pará-Iso pelo Prof. Dr. Henri E. Gaudette da Universidade de New Hampshire – EUA.

imprescindível a realização de testes para controlar a qualidade analítica após estas modificações.

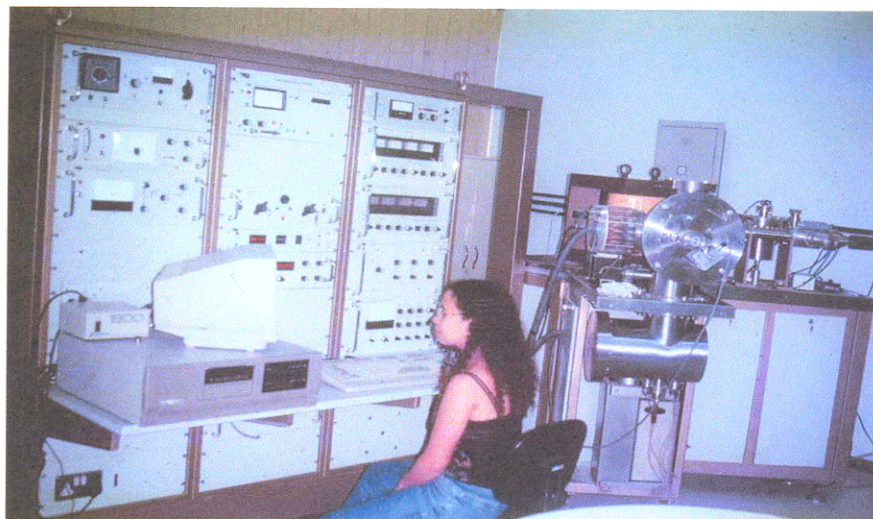


Figura 8: Espectrômetro de massa modelo VG ISOMASS 54 E.

3.4.1- Confeção de colunas e filtros de teflon para a separação cromatográfica do chumbo

As colunas de Teflon foram preparadas a partir de tubo termo-retratil deste material com 10 mm de diâmetro, cortadas em pedaços de aproximadamente 5 cm de comprimento e, moldadas em forma de vidro tipo Pirex, conforme Santos (2000), com o auxílio do vapor quente, proveniente de uma pistola de ar. Foram testados alguns diâmetros diferentes, quanto a velocidade de escoamento dos reagentes, para selecionar o diâmetro mais adequado para o procedimento de separação cromatográfica do chumbo.

Os filtros adaptados nestas novas colunas foram preparados a partir de placas de Teflon poroso. Essas placas foram perfuradas com alicate estrela (furador de cinto), de acordo com o diâmetro do orifício inferior da coluna de Teflon.

3.4.2- Preparação e conservação da resina Sr-Spec

Esta resina foi lavada com HCl^{***7} 6N levemente aquecida entre 60-70 °C em chapa aquecedora, agitada e decantada, em seguida o ácido sobrenadante foi retirado com pipeta. Este procedimento foi repetido cerca de 25 vezes, para garantir, a limpeza necessária da resina.

A resina utilizada foi do tipo Elchom Sr resin SPS, 50-100 μ , que após lavagem, foi acondicionada em um frasco conta-gotas em HCl^{***} 6N.

⁷ HCl destilado por três vezes sucessivas, onde as duas primeiras destilações foram realizadas em subboiler de quartzo e a terceira destilação realizou-se em destilador de Teflon.

3.4.3- Purificação dos reagentes

Os reagentes utilizados são de qualidade PA, e apresentam teores de chumbo, estimados em ppb, portanto precisam ser purificados. Segundo Rodrigues (1992), o HCl com cerca de 0,51ng de chumbo, é o reagente que mais contribui para a contaminação global em chumbo.

A purificação dos reagentes é realizada em subboilers de quartzo, que são munidos de um sistema de destilação por evaporação sem, contudo, alcançar o ponto de ebulição, obtendo-se deste modo, ácidos com baixos teores de impurezas (Figura 9). O HCl foi destilado a partir de uma solução diluída 50% para que fosse evitado o desprendimento de vapores durante o processo de destilação do reagente concentrado (12N). Neste sistema o HCl foi destilado duas vezes sucessivas.

No decorrer do desenvolvimento deste trabalho, com o intuito de atingir níveis mais elevados de pureza nos reagentes utilizados, efetuou-se uma terceira destilação para o HCl, realizada em destilador de Teflon (Figura 10).

A padronização, indispensável para a preparação das soluções ácidas diluídas utilizadas na separação química do chumbo, foi realizada por titulação com solução padrão de NaOH a 1N.

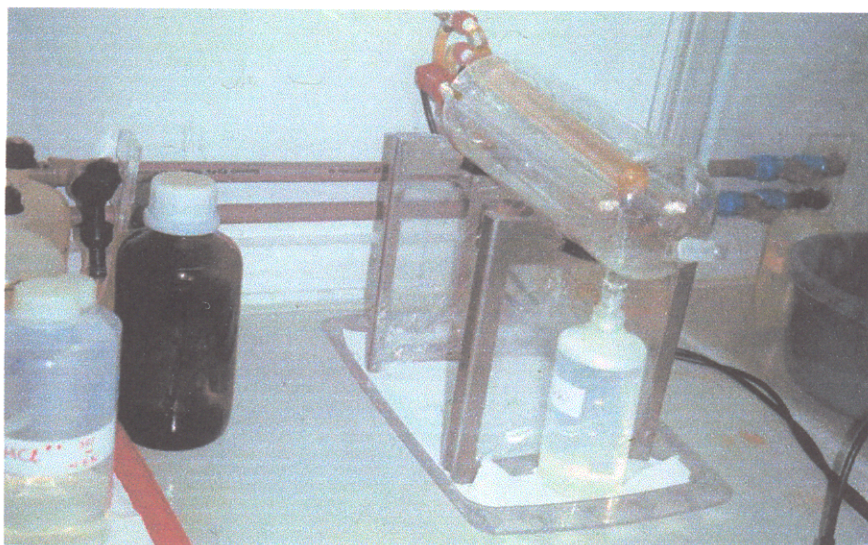


Figura 9: Destilação de ácido clorídrico em subboiler de quartzo



Figura 10: Destilação de ácido clorídrico em subboiler de Teflon.

3.4.4- Preparação de amostras para análise isotópica do chumbo

Primeiramente, acrescentou-se alíquota entre 1,0 e 2,5 mL da amostra (solução filtrada proveniente da lixiviação com HNO_3^{**} 5N - item 3.2.2) em cadinho de Teflon, que foi evaporada em chapa aquecedora em temperaturas entre 90-110°C. Após a evaporação, adicionou-se 1 mL de HCl 2N ao cadinho com amostra, para a melhor solubilização do material, levou-se a amostra ao ultrason por cerca de 5 minutos. Em seguida, transferiu-se a amostra para um tubo de centrífuga de 2 mL procedendo a centrifugação durante 20 minutos, em seguida a amostra já se apresentava pronta para separação cromatográfica do chumbo.

3.4.5- Separação cromatográfica do chumbo

O procedimento de separação cromatográfica foi realizado utilizando resina Sr-spec em colunas de Teflon (figura 11).

Primeiramente, lava-se a coluna de Teflon com 6 mL de HCl^{***} 6N, em seguida adiciona-se 16 gotas de resina Sr-Spec que é em seguida lavada com 6 mL de HCl^{***} 6N. Para o acondicionamento do meio eluente adiciona-se 2 mL de HCl^{***} 2N, pois a amostra está dissolvida em HCl^{***} 2N. Adiciona-se então 0,5 mL de amostra e em seguida duas porções sucessivas de 0,5 mL de HCl^{***} 2N, seguida pela adição de mais 2 mL do mesmo ácido. Após o escoamento deste ácido, troca-se o béquer de coleta dos ácidos de lavagem e eluição por um cadinho de Teflon para coletar o chumbo da amostra. Após a troca de béquer, adiciona-se duas porções de 0,5mL de HCl^{***} 6N e em seguida mais 1 mL do mesmo ácido. Retira-se o béquer e adiciona-se no mesmo 1 gota de HNO_3^{**} 13N. O cadinho com amostra é levado para evaporar na chapa a 80-110°C. Após a evaporação, adiciona-se uma gota de H_3PO_4 PA a 0,125M no

cadinho e evapora-se novamente na chapa. Após o fim desta etapa a amostra já pode ser analisada.

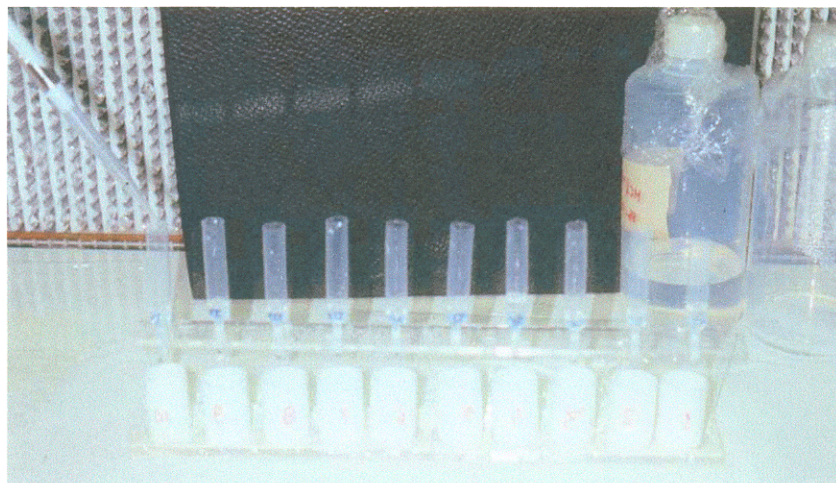


Figura 11: Separação cromatográfica do Pb em colunas de Teflon.

3.4.6- Depósito da amostra em filamento simples de rênio

Para o depósito de chumbo são adicionados 5 μL de uma solução de sílica gel no cadinho que contém o chumbo. Após a homogeneização da sílica gel com a amostra, são retirados 2 μL desta mistura que é depositada em filamento simples de rênio. A sílica gel faz o controle da evaporação do chumbo no vidro silicatado que é formado na superfície do filamento, permitindo que as temperaturas necessárias (1100-1400 °C) sejam alcançadas sem perda significativa de chumbo, e a ionização seja favorecida pela natureza oxidante da superfície emissiva formada.

3.5- CONTROLE LABORATORIAL DOS NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO DE CHUMBO

A realização de brancos de chumbo é uma estratégia adotada para monitorar o nível de contaminação introduzida durante os procedimentos analíticos habituais para obtenção dos dados isotópicos.

Para a realização dos brancos de chumbo, utilizou-se o padrão de chumbo NBS 983, concentrado a 7,09264 ppm, que corresponde ao traçador nº. 1 (numeração dos traçadores de Pb preparados no Pará-Iso).

Na preparação dos brancos de chumbo pesou-se duas gotas de padrão NBS 983 (7,09264 ppm) em cadinho de Teflon, o que deu aproximadamente 70 μg de padrão (utilizou-se balança analítica com precisão na quinta casa decimal). O cadinho contendo o padrão foi evaporado em chapa aquecedora entre 80-110°C, a partir daí procedia-se da mesma forma como para as amostras (item 3.4.5).

Os valores obtidos para os brancos de chumbo revelaram a qualidade do ambiente e dos reagentes utilizados, assim como de todos os materiais que entraram em contato com as amostras

analisadas durante todo o processo de separação, depósito e análise isotópica do chumbo.

O primeiro branco de chumbo obtido por ocasião do período de teste das colunas de separação cromatográfica e filtros de Teflon foi de 3,0 ηg . No entanto os brancos seguintes apresentaram valores de 38 e 16 ηg , provavelmente em função de obras civis realizadas próximas do Pará-Iso.

Esses resultados de brancos chamaram atenção para que fosse adotado um maior cuidado durante os procedimentos laboratoriais e também com todo o material utilizado e, especialmente com os reagentes. A partir daí, passou-se a utilizar HCl^{***} , enquanto que anteriormente utilizava-se HCl^{**} . Após a tomada destas medidas, obteve-se um branco de 4,3 ηg e logo em seguida foi obtido um branco de 1,6 ηg . Este valor, apresentou-se compatível aos teores mais baixos para brancos de chumbo obtidos no Pará-Iso (0,63-1,1 ηg) utilizando resina DOWEX AG 1X8 e traçador nº. 1 até o período de realização deste trabalho.

Tabela 1: Brancos de chumbo utilizando resina Sr-Spec no Pará-Iso

Brancos de Chumbo		
Brancos (NBS 983)	Data	Valor ηg
Branco 1	30.05.2000	3,0
Branco 2	14.06.2000	38,0
Branco 3	13.07.2000	16,0
Branco 4	05.10.2000	4,3
Branco 5	27.12.2000	1,6

4- APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS ANALÍTICOS

4.1- SEDIMENTOS DE FUNDO

Através da amostragem de sedimentos de fundo do lago Água Preta, desde as ramificações próximas à Rodovia BR 316 até às imediações da barragem, foi feito o reconhecimento da distribuição das razões isotópicas do chumbo e da concentração dos metais pesados biodisponíveis. Do mesmo modo, foram determinadas a porcentagem de matéria orgânica, umidade e material fino dos pontos de coleta. Dentro do escopo desta amostragem, coletou-se também uma amostra de água no ponto da captação de água no rio Guamá pela adutora da COSANPA para determinar a composição isotópica do chumbo nos sedimentos em suspensão.

4.1.1- Razões Isotópicas do Chumbo dos Sedimentos de Fundo do Lago Água Preta

A amostragem inicial dos sedimentos de fundo foi realizada para identificar as variações das razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ distribuídas no lago Água Preta. Com base neste levantamento, os locais onde os sedimentos de fundo indicavam composições isotópicas distintas, foram selecionados para amostragem dos testemunhos de sedimentos. A razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ não é fornecida diretamente através do espectrômetro de massa, ela foi obtida tomando-se o inverso da razão $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ conforme equação 6, no intuito de facilitar a interpretação da medida isotópica, no caso de estudos ambientais (Gaudette, 1999).

$$\text{Razão } ^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb} = 1/(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}) \quad (\text{equação 6})$$

O erro analítico (σ) da razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ foi calculado obedecendo a equação 7.

$$\sigma \text{ } ^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb} = \frac{\sigma \text{ } ^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}}{(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})^2} \quad (\text{equação 7})$$

A tabela 2 mostra as razões isotópicas de chumbo nos sedimentos de fundo do lago Água Preta, bem como dos sedimentos em suspensão do rio Guamá.

A figura 12 mostra os pontos de amostragem com suas respectivas razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$.

Tabela 2: Valores das razões isotópicas do chumbo dos sedimentos de fundo do lago Água Preta e sedimentos em suspensão do rio Guamá. Erro analítico dado entre parêntesis em σ .

Amostra	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
AP-01	18,2653 (112)	15,6853 (141)	38,4014 (462)	1,16568 (06)
AP-02	18,3406 (114)	15,6970 (143)	38,4914 (467)	1,16760 (08)
AP-03	18,6210 (113)	15,6922 (143)	38,7247 (468)	1,18804 (09)
AP-04	18,7694 (113)	15,7624 (143)	39,0553 (469)	1,19220 (06)
AP-05	18,7069 (113)	15,7059 (141)	38,8518 (465)	1,19247 (05)
AP-06	18,7628 (115)	15,7324 (142)	38,9723 (468)	1,19418 (04)
AP-07	18,7472 (114)	15,7256 (143)	38,9272 (468)	1,19363 (06)
AP-08	18,3984 (111)	15,6658 (141)	38,4439 (460)	1,17581 (02)
AP-09	18,2840 (111)	15,6767 (141)	38,3360 (459)	1,16760 (05)
AP-10	18,6502 (113)	15,7350 (142)	38,8627 (467)	1,18666 (04)
AP-11	18,7767 (114)	15,7416 (143)	39,0041 (467)	1,19428 (05)
GU-01 (Adutora)	18,7155 (125)	15,7145 (158)	38,8548 (479)	1,19225 (06)

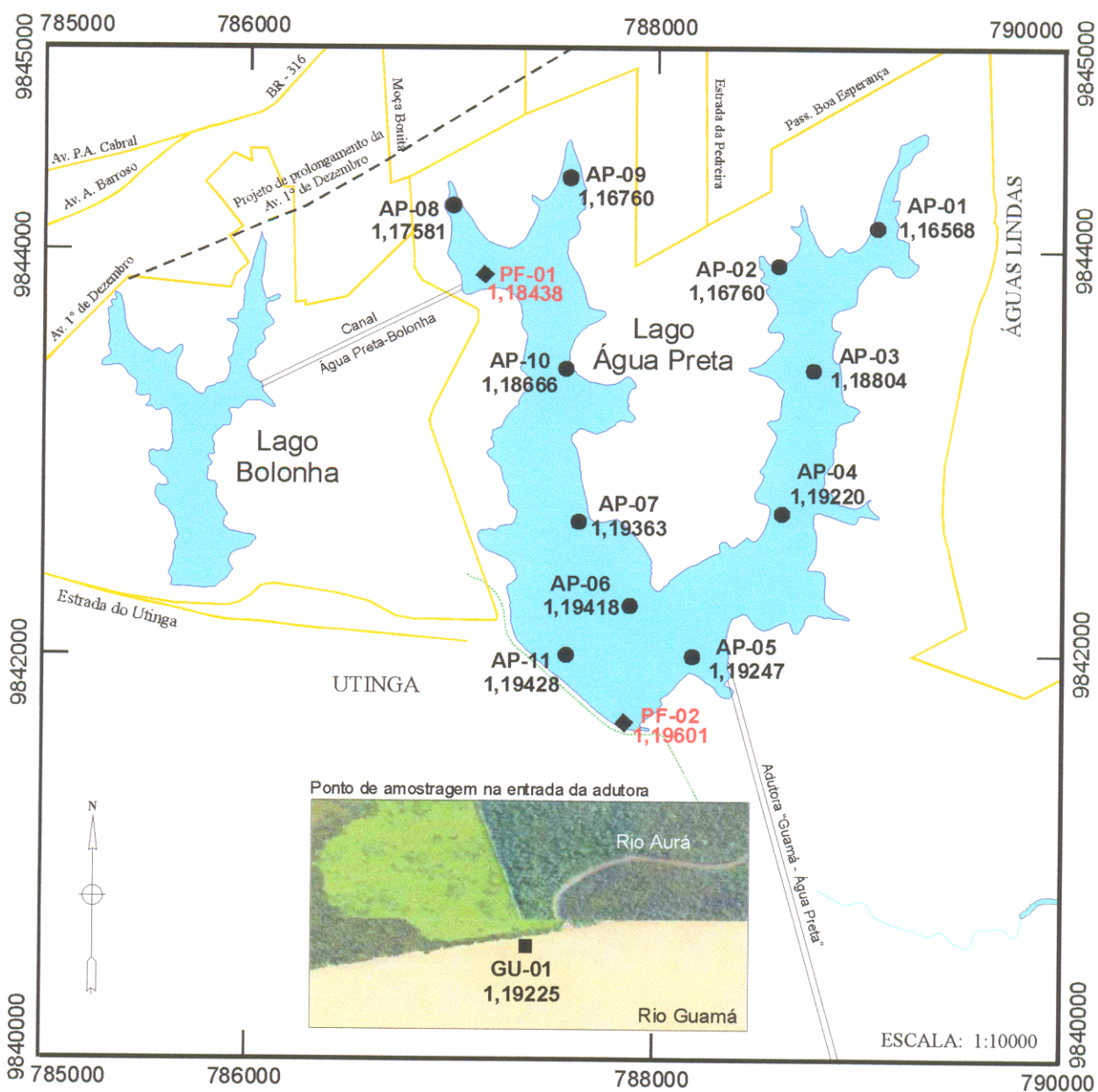


Figura 12: Mapa dos lagos Água Preta e Bolonha mostrando as razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ para os sedimentos de fundo, razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ da camada superficial (topo) do PF-01 e PF-02 e, em detalhe a razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ dos sedimentos em suspensão do rio Guamá

Com base no diagrama dos valores das razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ dos sedimentos de fundo do lago Água Preta e dos sedimentos em suspensão do rio Guamá mostrados na Figura 13, foram identificados três grupos de valores para as razões isotópicas do chumbo. Na tabela 3 esses grupos são discriminados com base na razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$.

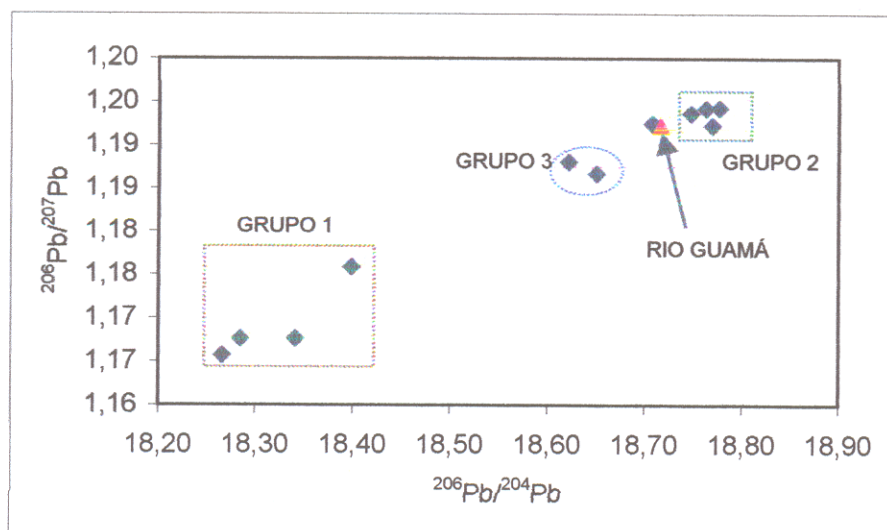


Figura 13- Diagrama das razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ x $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ dos sedimentos de fundo do lago Água Preta

O Grupo 1 correspondente aos valores das razões $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ compreendidas entre 1,16568-1,17581 foram encontrados nos sedimentos de fundo coletados na porção do lago próxima à BR 316 e os bairros da Guanabara e Águas Lindas. O Grupo 2, corresponde aos valores das razões $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ entre 1,19428-1,19220 encontrados nos sedimentos coletados na porção do lago às imediações da barragem e da adutora.

O Grupo 3 corresponde aos valores das razões $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ de 1,18666 e 1,18804 encontrados nos sedimentos coletados em trechos intermediários às duas áreas anteriores.

Para os sedimentos em suspensão analisados em amostra de água coletada próximo ao ponto de recalque de água às margens do rio Guamá, encontrou-se valor de 1,19225 para a razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$, a qual é similar aos valores encontrados para o Grupo 2.

Tabela 3: Grupos de valores discriminados com base na razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ dos sedimentos de fundo do lago Água Preta

Grupos	Intervalo dos valores da razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	Localização dos pontos de amostragem
Grupo 1	1,16568-1,17581	imediações dos bairros da Guanabara e Águas Lindas próximos da Rodovia BR 316
Grupo 2	1,19428-1,19220	imediações da barragem e da adutora
Grupo 3	1,18666-1,18804	trechos intermediários às duas áreas anteriores

4.1.2- Concentração de metais pesados nos sedimentos de fundo do lago Água Preta

Diante do objetivo de fazer o reconhecimento inicial no lago Água Preta para a amostragem posterior dos testemunhos de sedimentos, foram determinados também os teores de metais pesados nos sedimentos de fundo anteriormente amostrado (tabela 4).

Os pontos AP-09 e AP-05, destacam-se em termos de teores de metais pesados em sedimentos de fundo quando comparados aos demais pontos de amostragem.

No ponto AP-05, localizado próximo à adutora, encontram-se os teores mais baixos de seis (Cu, Cr, Cd, Zn, Pb e Al) entre os dez metais pesados analisados (tabela 4). Enquanto que no ponto AP-09, localizado na ramificação do lago próxima do bairro da Guanabara, são encontrados os maiores valores destes metais. Estes dois pontos apresentaram valores similares para o Co e o Fe. Para o Ni, embora o seu teor tenha se apresentado superior no AP-09 comparado ao AP-05, o ponto AP-09 não apresentou grandes disparidades em relação aos demais pontos, apresentando-se, inclusive, inferior aos teores deste metal encontrados em cinco dos outros locais de amostragem. Já para o teor de Mn, o ponto AP-05 apresentou-se com maior valor comparado ao ponto AP-09.

Embora ambas as ramificações do lago Água Preta, tenham apresentado valores similares para a razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$, os teores de todos os metais se apresentaram inferiores na ramificação próxima ao bairro de Águas Lindas comparados aos encontrados na ramificação próxima ao bairro da Guanabara (Figura 14).

Tabela 4: Valores das concentrações dos metais dos sedimentos de fundo do lago Água Preta

Amostra	Ni µg/g	Fe µg/g	Co µg/g	Cu µg/g	Cr µg/g	Cd µg/g	Mn µg/g	Zn µg/g	Pb µg/g	Al µg/g	% mat org	% umidade	% finos
AP-01	10,3	13666,8	6,3	11,5	9,7	0,4	91,9	39,3	18,7	107,0	25,7	26,3	79,4
AP-02	12,4	18975,2	7,4	14,4	12,2	0,5	141,7	44,6	19,7	116,4	22,4	28,5	76,8
AP-03	21,3	47552,4	14,8	23,7	16,1	1,0	341,8	77,5	33,5	62,4	19,6	37,8	53,4
AP-04	22,1	54301,0	16,8	21,1	22,3	1,0	414,4	74,5	32,2	105,0	16,2	4,3	55,4
AP-05	10,7	18209,7	9,4	7,0	7,8	0,6	455,3	34,2	13,1	81,1	8,4	37,1	98,4
AP-06	19,7	41271,8	17,2	16,1	20,0	0,8	528,2	67,6	30,5	119,7	12,6	41,7	66,8
AP-07	22,9	48980,4	18,8	19,6	13,4	1,2	506,1	78,6	35,6	153,6	13,4	41,3	57,2
AP-08	15,9	26601,7	10,7	25,6	23,6	1,2	135,7	183,3	37,7	66,4	19,9	35,3	60,5
AP-09	17,7	18355,7	9,6	30,8	43,0	1,7	85,4	458,8	50,9	172,6	20,3	33,7	58,8
AP-10	18,6	30460,7	14,2	21,4	18,8	1,1	258,7	119,6	38,5	124,6	21,2	31,9	65,6
AP-11	12,2	18941,6	10,0	8,4	2,9	0,7	464,9	36,5	17,9	108,9	13,2	40,9	100,0

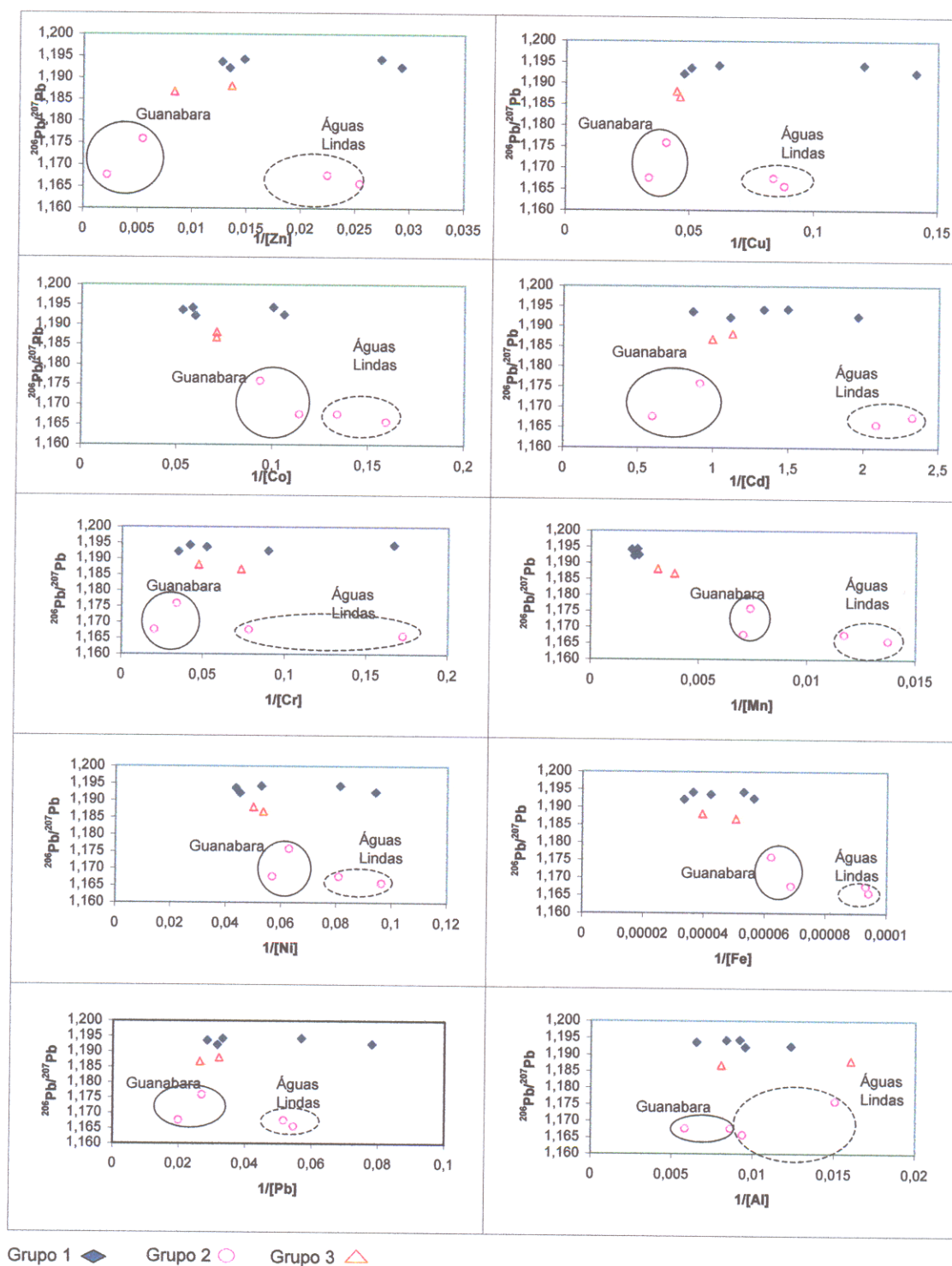


Figura 14: Diagrama do inverso da concentração dos metais pesados ($\mu\text{g/g}$)⁻ vs. razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ dos sedimentos de fundo do lago Água Preta. Os teores de metais são mostrados de acordo com três grupos discriminados com base na razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$. As amostras próximas aos bairros da Guanabara (AP-08 e AP-09) e Águas Lindas (AP-01 e AP-02) são destacados.

4.2- GEOQUÍMICA DOS TESTEMUNHOS DE SEDIMENTOS

Desde o início da utilização do lago Água Preta como manancial de água potável para a população de Belém até a atualidade, ocorreram diversas modificações em seu ambiente natural. Algumas das mais expressivas transformações ocasionadas pela ação antrópica foi o represamento das águas de suas nascentes. Em seguida, houve a captação de água do rio Guamá para aumentar a sua capacidade de armazenamento de água para abastecimento público. Finalmente, tem-se a ocupação urbana em suas imediações, dentro da área de suas bacias hidrográficas, que se acelerou a partir da desativação da ferrovia Belém-Bragança em 1966 e a construção da BR 316 em seu lugar (Silva, 1999).

Esses elementos transformadores proporcionaram modificações no ambiente que estão registradas nas camadas de sedimentos depositados no fundo desse manancial. Neste trabalho pretende-se identificar estas transformações através da utilização das razões isotópicas do chumbo e concentrações de metais pesados.

Com base na variação da razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ foram selecionados dois locais para a coleta dos testemunhos de sedimentos (figura 12). O primeiro, denominado perfil 01, localiza-se na porção do lago próxima às zonas urbanizadas, onde foram encontrados os menores valores para as razões $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ e os maiores teores de metais pesados. O outro localiza-se na porção do lago mais próxima da barragem e da adutora no lago Água Preta, onde foram encontrados os valores mais elevados da razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ para os sedimentos de fundo.

Os metais pesados biodisponíveis foram analisados nos testemunhos (perfil 01 e perfil 02) com o intuito de verificar a sua distribuição comparativamente às razões isotópicas do chumbo.

4.2.1- Composição isotópica do chumbo no perfil 01

O perfil 01, de 77,5 cm de profundidade e 100 mm de diâmetro, foi dividido em secções de aproximadamente 1 cm de espessura. A composição isotópica do chumbo foi determinada em 32 secções representativas do perfil, e os valores estão apresentados na tabela 5.

Observa-se que no diagrama de dispersão utilizando as razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ os pontos apresentam-se bem distribuídos, mostrando acentuada linearidade (figura 15). Quando a razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ é plotada com relação a profundidade, verifica-se que os valores desta razão podem ser basicamente agrupadas em quatro segmentos, mostrando quatro momentos distintos no ambiente lacustre do Água Preta (figura 16).

Ao observar a evolução da curva dos valores da razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ no diagrama da razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs. profundidade (cm), é constatado um acentuado decréscimo nos valores dessa razão da base até o topo do perfil.

No primeiro segmento, na base do perfil, de 77,5 cm de profundidade até 55,7 cm, os valores da razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ variaram entre 1,20275-1,20161. Neste segmento os valores da razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ se apresentaram bastante lineares, diferenciando-se apenas na terceira casa decimal.

O segundo segmento, de 55,7 a 45,8 cm apresentou valores para a razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ variando entre 1,20161-1,17621. Observa-se, portanto, neste segmento um brusco decréscimo no valor das razões $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ provocando uma inflexão na curva.

O terceiro segmento, no intervalo de 45,8 a 16,4 cm, esses valores, apresentaram-se entre 1,17621-1,16223. Neste segmento, verifica-se também um decréscimo no valor das razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ resultando em uma nova inflexão na curva.

Tabela 5: Distribuição dos valores das razões isotópicas do chumbo no perfil 01. Erro analítico, entre parêntesis, dado em σ .

Profundidade (cm)	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
3,3	18,5593 (133)	15,6883 (160)	38,6417 (487)	1,18438 (20)
6,5	18,5100 (128)	15,7163 (148)	38,6586 (478)	1,17906 (07)
7,6	18,4200 (125)	15,6457 (150)	38,4136 (484)	1,17869 (10)
8,7	18,4027 (127)	15,6754 (152)	38,4832 (485)	1,17570 (07)
9,8	18,2735 (125)	15,6707 (152)	38,3215 (478)	1,16755 (09)
10,9	18,2946 (153)	15,6649 (184)	38,3599 (518)	1,16977 (04)
12,0	18,2840 (205)	15,6680 (197)	38,2891 (552)	1,16602 (30)
15,3	18,1899 (117)	15,6468 (146)	38,2002 (466)	1,16417 (05)
16,4	18,1740 (178)	15,6441 (146)	38,2030 (508)	1,16223 (10)
19,6	18,1570 (186)	15,6139 (175)	38,1355 (618)	1,16427 (05)
20,7	18,2076 (128)	15,6488 (166)	38,2569 (526)	1,16483 (10)
24,0	18,3462 (149)	15,7266 (159)	38,5429 (534)	1,16821 (07)
25,1	18,3323 (122)	15,6973 (154)	38,4180 (489)	1,16921 (06)
28,4	18,3390 (127)	15,6603 (149)	38,3386 (473)	1,17271 (08)
29,5	18,3099 (156)	15,6486 (206)	38,3622 (632)	1,17131 (30)
36,0	18,3760 (181)	15,6842 (209)	38,4334 (614)	1,17370 (20)
38,2	18,3619 (133)	15,6320 (153)	38,3058 (493)	1,17571 (20)
41,5	18,4005 (127)	15,6821 (151)	38,4482 (478)	1,17462 (20)
42,6	18,4099 (167)	15,6864 (189)	38,4265 (554)	1,17477 (10)
45,8	18,4768 (134)	15,7288 (153)	38,6633 (490)	1,17621 (01)
50,2	18,7068 (131)	15,7278 (151)	38,9587 (489)	1,19031 (09)
51,3	18,9004 (164)	15,7665 (192)	39,3342 (609)	1,19881 (08)
55,7	18,9401 (135)	15,7812 (155)	39,3873 (498)	1,20161 (05)
58,9	18,9420 (159)	15,7885 (167)	39,3961 (528)	1,20169 (20)
60,0	18,9217 (133)	15,7546 (154)	39,3011 (496)	1,20264 (08)
63,3	18,9248 (165)	15,7614 (174)	39,3176 (531)	1,20219 (20)
64,4	18,9577 (160)	15,7869 (166)	39,3815 (563)	1,20157 (20)
71,0	19,1046 (563)	15,9327 (454)	39,7906 (1298)	1,20182 (30)
73,1	18,9455 (121)	15,7675 (148)	39,3464 (481)	1,20313 (09)
76,4	18,9296 (149)	15,7747 (178)	39,3233 (493)	1,20288 (10)
77,5	18,9372 (134)	15,7631 (158)	39,3385 (511)	1,20275 (07)

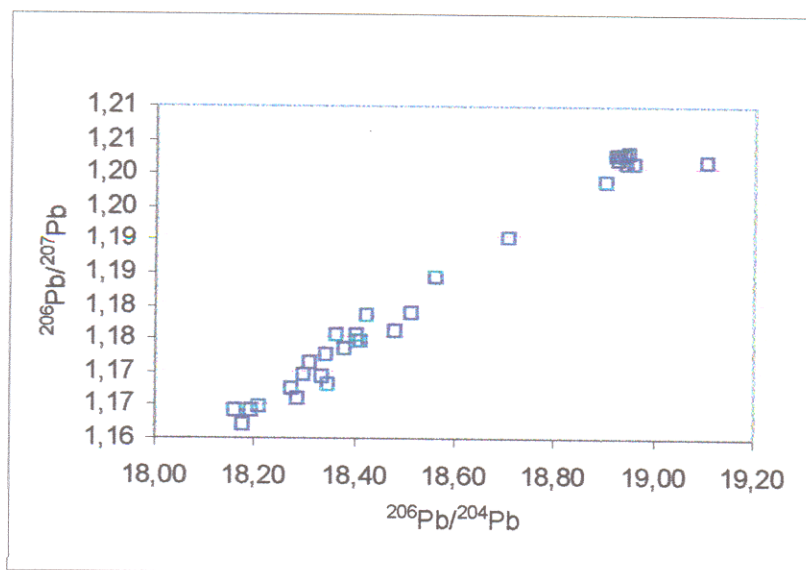


Figura 15: Diagrama das razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ no perfil 01

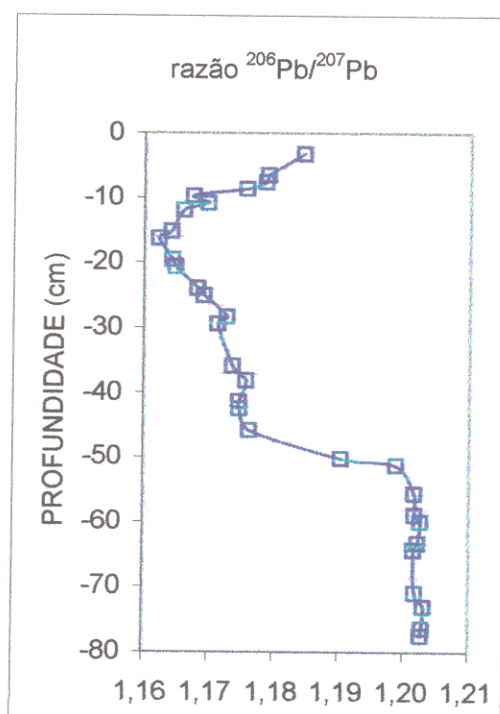


Figura 16: Diagrama das razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs. Profundidade (cm) no perfil 01

Aproximadamente em 16 cm de profundidade, a razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ atinge um valor de 1,16223 que corresponde ao valor mínimo das razões $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ encontrado neste perfil.

Finalmente, o quarto segmento, de aproximadamente 16,4 cm de profundidade até do topo do perfil, apresentou valores crescentes para a razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ que variou entre 1,16223-1,18438. Neste segmento as razões isotópicas voltam a crescer progressivamente no perfil, alcançando valor de 1,18438 no seu topo.

4.2.2- Distribuição dos metais pesados no perfil 01

Neste perfil, a pouca quantidade de material disponível, em função do seccionamento do mesmo ter sido feito em fatias de aproximadamente de 1 cm de espessura, não foram determinados o teor de Al, a porcentagem de matéria orgânica, de umidade e de finos. Os teores dos metais pesados analisados estão apresentados na tabela 6. No entanto, esses valores não foram corrigidos pela porcentagem de material fino, como o foram os sedimentos de fundo e aqueles do perfil 02.

As concentrações de todos os metais foram maiores no topo e menores na base do perfil (tabela 6, figura 17).

Calculou-se a média das concentrações dos metais pesados nos segmentos anteriormente diferenciados pela razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$.

Os valores médios das concentrações dos metais pesados no quarto segmento, que se estendeu de 16,4 cm até o topo do perfil, são os mais expressivos, comparados aos valores das médias dos metais encontrados nos outros três segmentos (tabela 7) que se estendem até a base do perfil (77,5 cm).

Os teores médios de Fe, Mn e Zn apresentaram-se crescentes do primeiro (base) até o quarto segmento (topo). O teor médio de Fe no quarto segmento (12799,8 $\mu\text{g/g}$), apresentou-se elevado em

quase quinze vezes em relação a seu valor no primeiro segmento (984,5 $\mu\text{g/g}$). O teor médio de Mn apresentou seu valor elevado em quase oito vezes (58,0 $\mu\text{g/g}$) no quarto segmento em relação ao seu teor no primeiro segmento (6,5 $\mu\text{g/g}$). O teor médio de Zn, extraordinariamente, elevou seu valor em quase cinquenta vezes (173,3 $\mu\text{g/g}$) em comparação ao seu valor no primeiro segmento (3,3 $\mu\text{g/g}$).

Os teores médios de Cu, Pb e Cr apresentam-se com valores médios distintos em cada segmento do perfil, sendo que as médias destes metais, praticamente duplicaram do segundo para o quarto segmento.

No quarto segmento alguns metais como Co, Ni e Cd não apresentaram grandes modificações em relação às médias de seus teores nos outros segmentos. O teor de Cd, por exemplo, se manteve, praticamente constante nos quatro segmentos, apresentando valores entre 0,9 e 1,2 $\mu\text{g/g}$.

Tabela 6: Distribuição da concentração dos metais pesados no perfil 01

Profundidade (cm)	Co μg/g	Pb μg/g	Cu μg/g	Cd μg/g	Cr μg/g	Fe μg/g	Zn μg/g	Mn μg/g	Ni μg/g
3,3	7,5	43,3	15,0	1,0	24,3	16061,4	67,7	58,6	12,9
6,5	7,4	39,2	15,7	1,0	24,6	17461,4	80,6	50,4	11,2
7,6	6,6	73,9	13,4	1,4	33,5	15504,2	110,8	62,7	11,1
8,7	6,5	58,9	12,7	1,3	30,0	14963,0	251,4	62,0	10,9
9,8	5,8	28,0	11,7	0,8	23,9	513,0	183,1	60,7	10,1
10,9	6,0	32,6	11,7	1,2	23,6	13851,4	234,0	57,7	9,7
12,0	5,8	31,2	11,7	1,3	26,1	15352,5	253,7	56,3	10,0
15,3	5,3	25,4	11,2	1,4	23,6	8689,1	205,0	56,0	8,8
16,4	6,0	24,5	9,8	0,9	23,0	14115,2	207,9	50,0	8,0
19,6	4,5	25,2	8,4	0,8	20,3	11878,6	271,6	43,4	7,9
20,7	3,8	21,8	8,0	0,9	18,0	10833,4	240,3	34,3	7,2
24,0	3,8	25,1	7,4	1,0	18,4	11669,1	110,7	41,4	7,1
25,1	3,8	21,7	7,0	1,0	15,5	6921,9	74,8	38,6	7,2
28,4	4,5	25,0	8,3	0,7	16,6	849,3	51,5	43,1	9,5
29,5	4,2	25,0	8,3	0,9	14,6	10421,1	49,8	40,1	9,8
36,0	3,9	23,0	7,1	1,1	11,2	7206,2	40,0	33,1	9,1
38,2	3,8	21,7	7,5	0,7	13,1	8148,5	41,1	34,9	8,8
41,5	3,5	20,9	6,4	0,8	11,5	7184,1	36,7	30,5	7,3
42,6	2,5	19,9	5,6	0,7	9,7	6022,0	34,1	27,0	7,8
45,8	3,2	18,9	6,3	1,1	11,1	6117,9	30,9	28,8	7,4
50,2	3,9	18,9	6,4	1,7	1,6	10250,6	20,2	49,9	10,7
51,3	4,4	16,0	5,4	1,2	-	8967,3	8,5	46,6	9,1
54,6	3,1	11,3	2,4	0,7	2,1	2425,6	3,2	12,8	6,4
55,7	3,0	11,1	1,0	0,8	3,9	1169,7	1,5	6,2	4,7
58,9	2,3	14,8	1,9	0,9	7,0	1094,8	3,3	6,3	4,0
60,0	3,0	14,4	3,2	0,8	10,4	1342,6	2,1	5,8	6,2
63,3	3,1	18,3	7,0	0,9	12,6	1003,9	1,6	6,3	7,2
64,4	3,1	18,4	7,5	1,0	13,2	1009,7	2,4	6,7	7,3
71,0	3,7	24,9	9,2	1,0	18,3	798,9	3,5	6,9	8,7
73,1	3,7	24,5	9,0	1,0	23,3	967,5	4,5	7,9	8,5
76,4	4,6	30,8	8,0	1,2	18,2	757,5	5,9	6,3	10,7
77,5	3,8	25,3	5,6	1,0	17,3	716,1	4,6	5,9	8,0

Tabela 7: Valores das médias dos metais pesados nos quatro segmentos do perfil 01

Valores das Médias dos metais pesados (µg/g)				
Metais pesados	Segmento 1	Segmento 2	Segmento 3	Segmento 4
	77,5-55,7 cm	55,7-45,8 cm	45,8-16,4 cm	16,4-0 cm
Co	3,4	3,6	4,0	6,4
Pb	20,3	16,3	23,1	41,6
Cu	5,8	5,1	7,6	12,9
Cd	1,0	1,2	0,9	1,2
Cr	13,8	3,7	15,6	26,2
Fe	984,5	6940,3	8659,0	12799,5
Zn	3,3	15,7	105,3	173,3
Mn	6,5	34,5	37,8	58,0
Ni	7,2	8,4	8,2	10,6

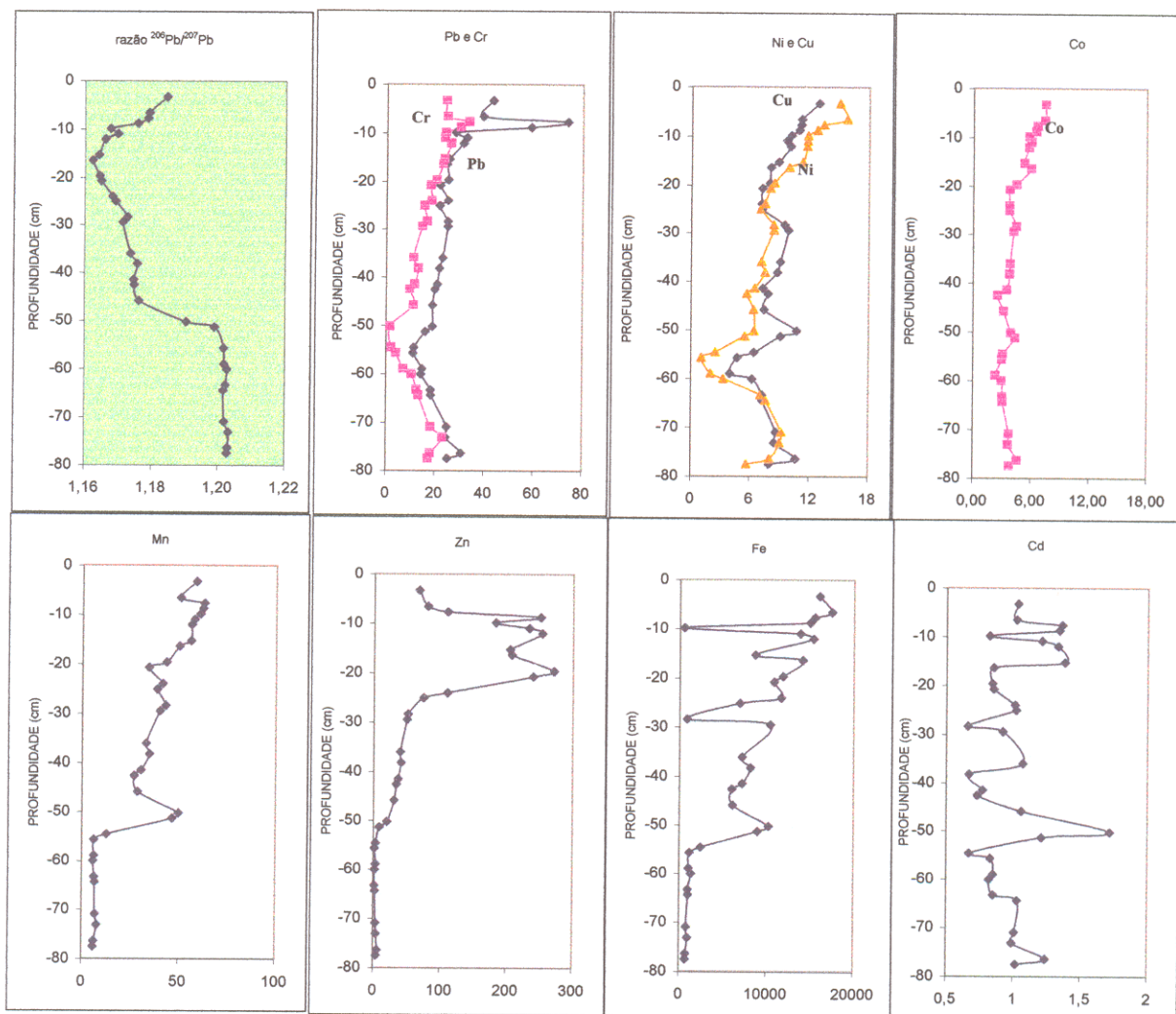


Figura 17: Diagrama da distribuição vertical dos metais pesados ($\mu\text{g/g}$) comparativamente às razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ no perfil 01

4.2.3- Composição isotópica do chumbo no perfil 02

O perfil 02 de 1,10 m de profundidade e 100 mm de diâmetro, foi dividido em secções de aproximadamente 2 cm de espessura. Entre estas foram analisadas a composição isotópica do chumbo em 19 secções representativas do perfil, cujos valores estão apresentados na tabela 8.

No diagrama de dispersão das razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ para o perfil 02, observam-se perfeitamente dois grupos de valores para as razões isotópicas do chumbo (figura 18). Esses grupos são nitidamente retratados quando os valores das razões $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ são plotados com relação a profundidade (figura 19). É notado, inclusive o segmento que mostra a inflexão entre eles, retratando, assim três momentos distintos no ambiente lacustre.

Ao observar a evolução da curva dos valores das razões $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ desde a base do perfil até o seu topo na figura 19, nota-se que o primeiro segmento apresentou valores, na mesma razão isotópica, entre 1,20036-1,20122 a partir da base do perfil até cerca de 49,8 cm. Neste segmento estão apresentados os maiores valores das razões $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$.

Atentando-se para o segundo segmento, no intervalo de aproximadamente 49,8-41,5 cm de profundidade em direção ao topo, que se trata do segmento de inflexão da curva, cujos valores das razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ apresentam-se entre 1,20122-1,19671. Observa-se neste segmento que os valores das razões isotópicas decresceram ligeiramente.

O terceiro segmento apresentou valores da razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ entre 1,19671-1,19601 de aproximadamente 40 cm até o topo do perfil. Aqui os valores das razões isotópicas apresentaram-se praticamente constantes.

Tabela 8: Distribuição dos valores das razões isotópicas do chumbo no perfil 02. Erro analítico, entre parênteses, dado em σ .

Profundidade (cm)	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$
2,6	18,7108 (133)	15,6589 (148)	38,7496 (479)	1,19601 (04)
10,5	18,7031 (133)	15,6625 (151)	38,7649 (493)	1,19528 (09)
18,3	18,7607 (279)	15,7278 (269)	38,9210 (676)	1,19476 (09)
26,2	18,7095 (131)	15,6938 (158)	38,8266 (508)	1,19346 (1)
31,4	18,7215 (148)	15,6729 (168)	38,8043 (492)	1,19576 (1)
36,7	18,7430 (128)	15,6868 (148)	38,8435 (481)	1,19602 (09)
41,5	18,7730 (128)	15,7058 (151)	38,9059 (487)	1,19671 (10)
44,5	18,8977 (220)	15,7712 (206)	39,1425 (604)	1,19991 (2)
49,8	18,8965 (131)	15,7519 (151)	39,1685 (489)	1,20122 (1)
57,6	18,8906 (210)	15,7813 (264)	39,1713 (649)	1,20071 (2)
65,5	18,9086 (205)	15,7806 (204)	39,2261 (598)	1,19977 (1)
68,1	18,8721 (136)	15,7599 (164)	39,1760 (513)	1,19906 (2)
73,3	18,8666 (238)	15,7251 (240)	39,0899 (673)	1,20074 (1)
81,2	18,8765 (132)	15,7267 (157)	39,0886 (520)	1,20158 (2)
89,1	18,9767 (169)	15,7763 (173)	39,2456 (540)	1,20431 (09)
94,3	18,8523 (190)	15,7166 (213)	39,0187 (685)	1,20107 (2)
99,5	18,8449 (134)	15,7298 (150)	39,0663 (486)	1,19952 (07)
104,8	18,8358 (137)	15,7073 (177)	39,0425 (565)	1,20061 (3)
110,0	18,8663 (249)	15,7337 (250)	39,1165 (723)	1,20036 (2)

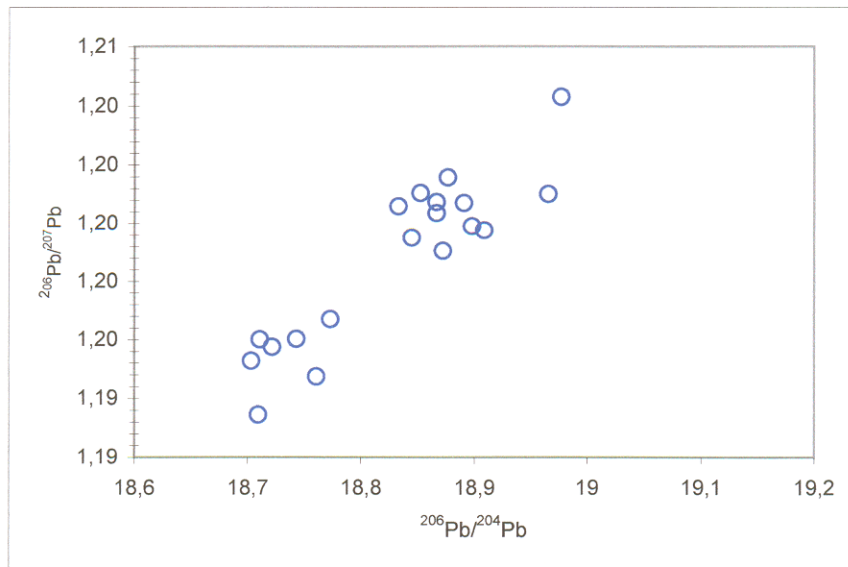


Figura 18: Diagrama das razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ no perfil 02

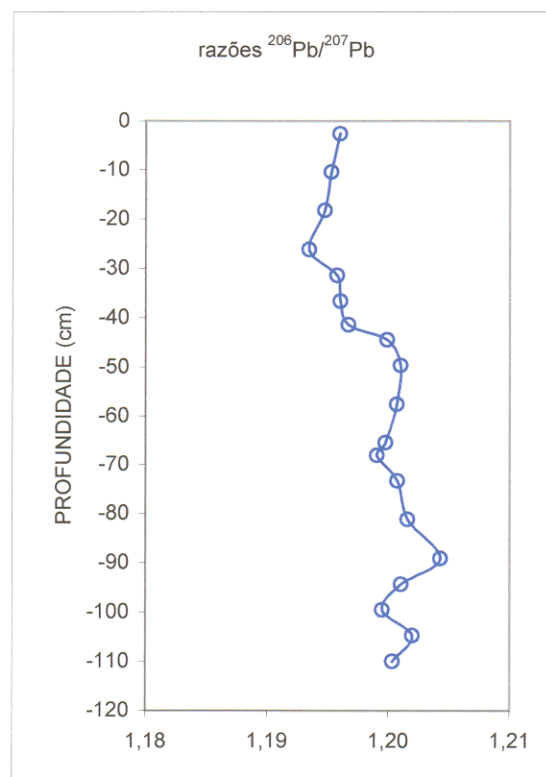


Figura 19: Diagrama da razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs. profundidade (cm) no perfil 02

4.2.4- Distribuição dos metais pesados no perfil 02

Neste perfil, houve material suficiente para análise em virtude de seu seccionamento ter sido realizado em fatias de aproximadamente 2 cm de espessura. Assim, além da análise dos metais, foi também determinada a porcentagem de matéria orgânica, umidade e finos, cujos valores estão apresentados na tabela 9.

Em relação a distribuição dos metais pesados em toda a extensão do perfil 02 (figura 20), praticamente todos elevaram seus teores no segmento do topo do perfil, exceto o Cr e o Cd que apresentaram valores mais baixos neste trecho e valores mais elevados em direção a base do perfil. As concentrações dos metais pesados foram, em geral, maiores no topo e menores na base do perfil (tabela 9).

Partindo-se da base do perfil, entre 80-60 cm os metais Co, Cu, Cr, Pb e Cd, Mn, Al apresentaram uma pequena inflexão em suas curvas. De 30 cm na direção do topo do perfil todos os metais apresentaram outra inflexão bem mais acentuada em suas curvas.

Semelhantemente ao perfil 01, efetuou-se a média das concentrações dos metais pesados em toda extensão do perfil nos segmentos diferenciados pela razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ (tabela 10).

Os valores das médias dos teores de metais no terceiro segmento, que se estende de 41,5 cm até o topo do perfil são, em geral, mais elevados comparados aos valores das médias dos metais no primeiro e segundo segmentos.

No primeiro segmento comparado ao segundo, os teores dos metais Pb, Cd, Cr e Al mostraram-se superiores.

Os teores médios de Cd e Cr mostraram-se superiores no primeiro segmento comparado ao terceiro. Os teores médios de todos os outros metais (Co, Cu, Fe, Zn, Mn, Ni e Al), mostraram-se inferiores.

Em relação ao teor de Pb, nota-se que ele manteve seu valor praticamente constante nos três segmentos deste perfil que foram de 17,8 µg/g no segmento 1; 15,5 µg/g no segmento 2 e 17,7 µg/g no segmento 3. Para os sedimentos de fundo do estuário Guajará, Pereira (no prelo), encontrou o valor médio de 18 µg/g para o Pb. Este valor é muito próximo dos valores encontrados nos sedimentos, tanto no topo como na base do perfil 02.

Semelhantemente ao perfil 01, efetuou-se a média das concentrações dos metais pesados em toda extensão do perfil nos segmentos diferenciados pela razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ (tabela 10).

Os valores das médias dos teores de metais no terceiro segmento, que se estende de 41,5 cm até o topo do perfil são, em geral, mais elevados comparados aos valores das médias dos metais no primeiro e segundo segmentos.

No primeiro segmento comparado ao segundo, os teores dos metais Pb, Cd, Cr e Al mostraram-se superiores.

Os teores médios de Cd e Cr mostraram-se superiores no primeiro segmento comparado ao terceiro. Os teores médios de todos os outros metais (Co, Cu, Fe, Zn, Mn, Ni e Al), mostraram-se inferiores.

Em relação ao teor de Pb, nota-se que ele manteve seu valor praticamente constante nos três segmentos deste perfil que foram de 17,8 µg/g no segmento 1; 15,5 µg/g no segmento 2 e 17,7 no segmento 3. Para os sedimentos de fundo do estuário Guajará, Pereira (no prelo), encontrou o valor médio de 18 µg/g para o Pb. Este valor é muito próximo dos valores encontrados nos sedimentos, tanto no topo como na base do perfil 02.

Tabela 9: Distribuição da concentração dos metais pesados e porcentagem de umidade (um), matéria orgânica (m.o) e finos nos sedimentos do perfil 02

Profundidade (cm)	Co µg/g	Pb µg/g	Cu µg/g	Cd µg/g	Cr µg/g	Zn µg/g	Fe µg/g	Mn µg/g	Ni µg/g	Al µg/g	% um.	% m. o.	% finos
2,6	9,7	15,2	8,1	0,4	13,0	37,5	17315,8	571,0	8,7	113,5	54,8	8,4	99,3
10,5	9,4	13,3	7,4	0,3	13,2	36,2	18482,1	491,5	8,3	98,3	51,4	7,7	97,8
18,3	9,2	15,8	8,4	0,3	12,3	33,9	16023,0	421,3	7,5	74,4	52,0	7,3	96,2
26,2	11,3	23,3	10,7	0,6	14,4	46,9	21264,1	516,7	8,2	62,8	34,8	5,3	47,1
31,4	6,6	21,8	2,9	1,4	7,9	16,6	8654,2	333,0	6,8	34,0	19,0	3,3	21,4
36,7	3,5	17,1	1,2	1,1	11,5	6,6	5339,2	295,0	3,5	56,5	18,3	3,7	27,2
41,5	3,4	16,2	0,2	1,4	10,9	4,5	4666,8	232,3	3,4	48,8	19,9	3,4	28,8
44,5	3,1	14,9	0,2	1,3	11,2	4,1	3924,8	169,9	3,1	50,1	20,0	3,6	30,4
49,8	3,2	15,4	0,2	1,3	12,9	3,8	3693,7	176,2	3,2	48,3	32,2	2,5	29,5
57,6	3,3	15,9	0,2	1,4	13,2	3,5	2824,3	103,6	3,3	49,7	29,9	3,2	29,4
65,5	3,0	21,3	0,2	1,6	15,7	3,4	2435,6	81,6	4,6	46,4	15,4	3,6	31,4
68,1	4,4	14,6	0,2	1,6	15,6	3,6	2422,2	164,9	4,5	64,2	18,1	2,5	31,6
73,3	3,0	14,4	0,2	1,9	15,4	3,8	2218,7	144,0	3,0	62,4	29,7	3,5	31,6
81,2	2,9	20,0	0,2	1,5	17,9	3,0	1947,0	122,5	2,9	50,9	29,8	2,4	34,0
89,1	2,7	19,0	0,2	1,4	19,1	1,7	2009,4	113,9	2,7	67,6	26,1	2,2	35,4
94,3	2,6	18,5	0,2	1,4	18,6	2,0	1027,1	100,5	2,6	69,0	18,6	3,9	36,2
99,5	2,5	17,8	0,2	1,1	16,9	2,9	1434,9	87,0	2,5	74,5	30,7	2,0	37,1
104,8	2,6	18,3	0,2	1,1	18,4	2,9	2245,4	96,9	3,9	65,0	16,8	4,0	36,8
110,0	2,3	17,7	0,2	1,3	16,9	1,6	2322,8	92,6	1,3	70,1	17,5	4,0	37,8

Tabela 10: Valores das médias dos metais pesados nos três segmentos do perfil 02.

Valores das médias dos metais pesados ($\mu\text{g/g}$)			
Metais pesados	Segmento 1	Segmento 2	Segmento 3
	110-49,8 cm	49,8-41,5 cm	41,5-0 cm
Co	2,9	3,2	8,3
Pb	17,8	15,5	17,7
Cu	0,2	0,2	6,4
Cd	1,4	1,3	0,7
Cr	16,8	11,7	12,1
Zn	2,8	4,2	29,6
Fe	2088,7	4095,1	14513,1
Mn	110,7	192,8	438,1
Ni	3,1	3,2	7,2
Al	62,0	49,1	73,2

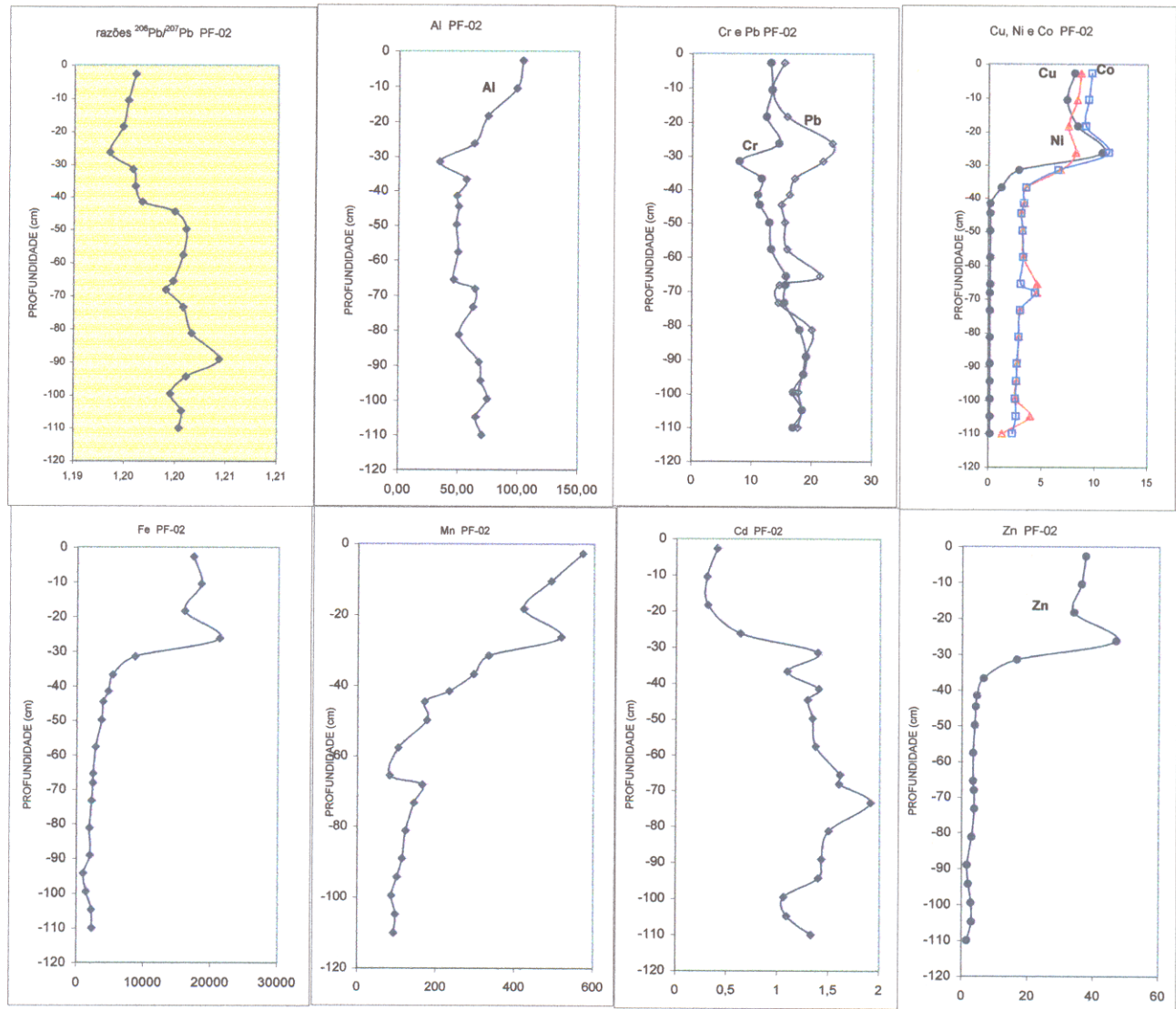


Figura 20: Diagrama da distribuição dos teores de metais pesados ($\mu\text{g/g}$) no perfil 02 comparativamente às razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$.

5- DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1- GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS DE FUNDO

5.1.1- Composição isotópica do chumbo

Os grupos de valores das razões isotópicas do chumbo nos sedimentos de fundo mostrados na figura 14; apresentaram assinatura isotópica proveniente de duas fontes diferentes deste metal. Uma parte relacionada à área urbanizada no entorno dos mananciais. A outra é representada pelos sedimentos em suspensão na água do rio Guamá (tabela 3).

Nos trechos do lago Água Preta próximos aos bairros da Guanabara e Águas Lindas e da BR 316, foram encontrados valores para a razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ entre 1,16568-1,17581. Nestes trechos, por se encontrarem mais expostos à ação antrópica, provenientes da urbanização, os valores das razões $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ refletem o efeito dessa urbanização no entorno dos mananciais.

Em aerossóis coletados próximo ao Distrito Industrial de Icoaraci (Belém-PA), Bollhöfer & Rosman (2000) obtiveram valores para a razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ de $1,150 \pm 0,001$. Valores similares foram encontrados por esses autores, em outros locais do Brasil como Rio de Janeiro ($1,162 \pm 0,001$), Recife (1,141-1,156) e São Paulo (1,168-1,184), e foram atribuídos à contribuição antropogênica.

Nos sedimentos de fundo no furo do Cotovelo, próximo a uma indústria cerâmica (INCA), H. E. Gaudette (inf. escrita, 1999) encontraram razões $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ de 1,16237 e 1,17876 as quais foram, também, atribuídas à contribuição antropogênica.

Na área do aterro sanitário do Aurá, circunvizinho aos mananciais do Utinga, os dados isotópicos inéditos de Morales (no

prelo), mostraram valor de 1,14550 para a razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ nos sedimentos de fundo da lagoa de estabilização do chorume proveniente do acúmulo de lixo, registrando, assim, a acentuada contribuição antropogênica na área de aterro sanitário.

Nas imediações da barragem e da adutora, foram encontrados valores para a razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ nos sedimentos de fundo entre 1,19220-1,19428. Devido esta porção do lago se encontrar mais afastada das zonas de ocupação, os valores das razões $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ mostram a influência direta dos sedimentos em suspensão, provenientes da água bombeada do rio Guamá, cujo valor é 1,19225.

Valores da razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$, da ordem de 1,19617 foram encontrados para os sedimentos de fundo do furo do Maguarí em Icoaraci (Belém-Pa) por Belúcio et al. (2000) e atribuída à assinatura isotópica natural dos rios da região.

Nos trechos intermediários entre a barragem do lago Água Preta e a área próxima a zona urbanizada, os valores de 1,18661 e 1,18804 para a razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ refletem a mistura isotópica ocasionada pelo chumbo proveniente da área urbanizada e do chumbo presente nos sedimentos em suspensão no rio Guamá.

5.1.2- Metais pesados nos sedimentos de fundo

De um modo geral, os teores dos metais analisados, exceto Mn e Fe, mostram-se mais elevados nas ramificações do lago próximas às zonas de ocupação urbana comparados aos seus teores às proximidades da barragem e da adutora (tabela 4).

Entre as zonas urbanizadas os maiores teores de Zn, Pb, Cr e Cu foram encontrados próximo ao bairro da Guanabara, onde a concentração de Zn se apresentou bastante elevada comparada aos valores encontrados às proximidades do bairro de Águas Lindas (tabela 4). Esta porção do lago, embora tenha apresentado valores mais baixos para a concentração de metais, já mostra evidente o

registro antrópico nesta área, visto que foram encontrados valores para razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ de 1,16568 no ponto AP-01 e de 1,16760 no ponto AP-02 (tabela 2), que são assinaturas reveladoras da contribuição antrópica no local.

A concentração do Pb, nos sedimentos de fundo cuja razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ mostra a influência dos sedimentos do rio Guamá (grupo 2 na tabela 3), é relativamente elevada em alguns locais (figura 14). Todavia isso não pode ser atribuído a uma contribuição antropogênica da área urbanizada, visto que o valor da razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ indica a contribuição dos sedimentos em suspensão do rio Guamá. Por sua vez, dentro do grupo de amostras de sedimentos de fundo indicando contribuição antropogênica (grupo 1 na tabela 3), apesar dos valores mais baixos da concentração de Pb em locais próximos do bairro de Águas Lindas, a razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ caracteriza a influência antrópica (figura 14).

Os baixos valores da porcentagem de matéria orgânica e material fino na ramificação do lago Água Preta próxima ao bairro da Guanabara, provavelmente estão correlacionados ao assoreamento ocasionado pela erosão verificada por Dias (1991) no entorno do lago.

5.2- GEOQUÍMICA DOS TESTEMUNHOS DE SEDIMENTOS

5.2.1- Composição isotópica do chumbo no perfil 01

O perfil 01 apresentou ao longo de sua curva no diagrama da razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs. profundidade (figura 16) quatro segmentos, que refletem momentos distintos no ambiente do lago Água Preta. Observando a evolução dessa curva a partir da base do perfil até o seu topo, verifica-se que o primeiro segmento com valores para a razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ entre 1,20275-1,20169 são superiores

a todos os valores já existentes para as razões $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ até o momento nesta região. Por terem se apresentado no segmento que parte da base do perfil, podem ser interpretados como os valores para assinatura isotópica das rochas regionais. Semelhantemente aos valores apresentados na base deste perfil, Morales (no prelo) encontrou valor para a razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ de 1,20026 em um perfil de solo nas imediações do aterro sanitário do Aurá. A similaridade entre as razões isotópicas identificadas nesses dois locais, relativamente próximos, fortalece a interpretação de que os valores da razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ encontrados na base do perfil 01, representam a assinatura isotópica das rochas da região.

O segundo segmento apresentou valores para as razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ entre 1,20161-1,17621 no pequeno intervalo entre 55,7-45,8 cm. Esta brusca mudança na curva revela a transição ocorrida entre os valores regionais, dados no primeiro segmento, para valores mais baixos correspondentes a contribuição antropogênica.

O terceiro segmento apresentou valores das razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ decrescentes entre 1,17621-1,16223, no intervalo de 45,8-16,4 cm, em direção ao topo do perfil. Estes valores consistentes correspondem ao registro de contribuição antropogênica. Este segmento apresenta valor da razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ de 1,16223 a aproximadamente 16 cm, o que corresponderia ao registro do momento de maior expressão dessa contribuição antrópica ocorrida no lago, marcada pela urbanização desordenada no entorno dos mananciais.

As razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ encontradas no quarto segmento do perfil 01 apresentam valores, variando da base em direção ao topo, entre 1,16223-1,18438. Em princípio, o aumento nas razões isotópicas na direção do topo do perfil, poderia estar caracterizando uma diminuição da ação antrópica no local, o que iria de encontro ao fato verificado atualmente do crescente

avanço urbano em direção à área desses mananciais. Interpreta-se, portanto, o crescimento da razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ neste segmento, como resultado de mistura isotópica entre contribuição antropogênica e o chumbo proveniente da erosão das rochas da região ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb} > 1,20$). Desta forma, o incremento na razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ constituiria um indicativo do assoreamento do lago Água Preta em decorrência do grau de erosão experimentado no entorno do lago. Dias (1991) verificou que o desmatamento com fins de urbanização, agricultura e exploração de minérios classe II nas margens e entorno dos lagos são os fatores que mais favorecem a erosão na área.

5.2.2- Distribuição de metais pesados no perfil 01

A figura 17 associa as concentrações dos metais aos segmentos identificados através das razões $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$.

Todos os metais apresentaram uma inflexão na curva em aproximadamente 50 cm de profundidade. A partir daí, em direção ao topo do perfil, os teores de praticamente todos os metais crescem até cerca de 10 cm de profundidade. Daí até o topo, a grande maioria dos metais mostra um ligeiro decréscimo em seus teores.

Os teores dos metais no primeiro segmento, ou seja, no intervalo de 58,9 cm até a base do perfil (77,5 cm), em geral são inferiores aos teores dos metais no quarto segmento. Esse primeiro seguimento corresponde ao material proveniente do intemperismo das rochas regionais e, portanto, os teores de metais são tidos como valores normais para a região.

O quarto segmento, do topo do perfil até 16,4 cm, reflete a contribuição antropogênica caracterizada pelos valores bem mais elevados das médias dos teores de metais. Neste segmento, os teores de metais encontrados foram considerados como o grupo de

valores das médias dos teores de metais característicos da contribuição antropogênica no lago Água Preta.

O teor de Zn marcou muito bem essa contribuição antropogênica, pois teve seu valor elevado progressivamente da base até o topo do perfil (figura 17).

5.2.3- Composição isotópica do chumbo no perfil 02

No perfil 02, os dados isotópicos mostraram dois grupos bem diferenciados, reconhecidos na figura 18. Contudo no diagrama $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vs. Profundidade, podem ser distinguidos três segmentos, incluindo aí o trecho de inflexão da curva (figura 19).

Da base do perfil em direção ao topo, o primeiro segmento mostra valores da razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ entre 1,20036 -1,20122 que são similares aos valores, encontrados na base do perfil 01 (tabela 5). Estas razões correspondem a assinatura isotópica das rochas da região e presentes na base de ambos os perfis, ou seja na camada mais antiga de sedimentos.

O segundo segmento, trata-se do trecho de inflexão da curva, observado no intervalo entre 49,8-41,5 cm de profundidade. Os valores das razões $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$, variando entre 1,20122-1,19671, mostram possivelmente o registro do momento inicial da entrada dos sedimentos em suspensão do rio Guamá no lago Água Preta, após a sua tomada para complementar a capacidade de reserva de água dos mananciais no final da década de 50.

Os valores das razões $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ variaram entre 1,19671-1,19346, no terceiro segmento, que se estende de 41,5 cm de profundidade até o topo do perfil. Ali estão depositados os sedimentos mais recentes. As razões $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ encontradas registram portanto a assinatura isotópica característica da influência dos sedimentos em suspensão no rio Guamá.

5.2.4- Distribuição de metais pesados no perfil 02

A figura 20 permite a observação do comportamento dos metais pesados. No primeiro segmento, os valores médios dos teores de metais são atribuídos ao material proveniente do intemperismo das rochas da região. Os valores médios dos teores de metais no terceiro segmento, em geral, são superiores às suas médias no primeiro segmento. Esses valores retratam a contribuição dos sedimentos em suspensão nas águas do rio Guamá no lago Água Preta, desde o período inicial de seu bombeamento para aumentar a capacidade de abastecimento do lago.

A redução dos teores médios de Cd e de Cr, do primeiro para o terceiro segmento sugerem uma diluição do material original do lago com a entrada da água do rio Guamá. Por outro lado, metais como o Cu, Zn, Fe, Mn, Ni e Al tiveram seus valores aumentados. O Cu, o Zn e o Fe especificamente apresentaram teores bastante elevados, e em especial o Zn e o Fe. Esse fato é correlacionado a essa modificação no ambiente, marcando assim a elevada contribuição nesses metais a partir dos sedimentos em suspensão nas águas do rio Guamá. O Pb, por sua vez, mostrou pouca modificação em seu teor nos diferentes segmentos (em média 17 $\mu\text{g/g}$), sugerindo que este valor, além de ser considerado como o valor regional das rochas também representa o valor natural para os sedimentos em suspensão nos rios da região. Pereira (no prelo) encontrou valor médio semelhante para Pb biodisponível nos sedimentos de fundo do estuário Guajará, e o considerou natural para o ambiente estudado.

6- CONCLUSÕES

A composição isotópica do chumbo ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$) e os teores de metais pesados nos testemunhos de sedimentos do lago Água Preta (perfil 01 e perfil 02) mostram a contribuição das rochas da região, a influência do material em suspensão do rio Guamá e o efeito da ação antrópica.

As razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ na base dos perfis entre 1,20157-1,20313 (perfil 01) e, entre 1,20036-1,20431 (perfil 02), correspondem a assinatura isotópica regional onde o chumbo é proveniente da erosão e lixiviação das rochas da região.

As razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ entre 1,19346-1,19671 na porção superior do perfil 02 correspondem a assinatura isotópica proveniente da influência da água do rio Guamá, tomada para abastecimento do lago Água Preta a partir de 1957. Isto foi evidenciado pela análise feita em sedimentos em suspensão da água do rio Guamá bombeada para o lago que apresentaram razão isotópica $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ de 1,19225.

As razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ entre 1,16223-1,17621 encontradas apenas no perfil 01 correspondem a contribuição antropogênica. Valores da razão $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ medida na Região Metropolitana de Belém tanto em aerossóis (1,150) como em sedimentos próximo a uma área industrial (1,16237) e no Aterro Sanitário do Aurá (1,14550) são compatíveis com as razões isotópicas encontradas neste perfil.

Os valores das razões isotópicas $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ entre 1,17869-1,18438 apenas no topo do perfil 01, correspondem a mistura de chumbo proveniente da erosão dos terrenos do entorno dos mananciais com a contribuição de chumbo antropogênico.

Os teores de metais encontrados na base dos dois perfis refletem valores regionais. Contudo, na porção superior do perfil 01 esses valores também evidenciam a contribuição antropogênica,

enquanto que a porção superior do perfil 02 pode mostrar uma contribuição dos sedimentos em suspensão do rio Guamá.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASWATHANARAYANA, U. 1986. **Principles of nuclear geology**. Ed. A. A. Balkema. Rotterdam. 397p.
- BARROS, A. E. F.; LIMA, W. N.; MORALES, G. P.; FENZL, N. 2000. Influência do chorume nos recursos hídricos da área do lixão do Aurá (Ananindeua - PA). IN CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 40, Recife. **Boletim de Resumos**. ABQ. p. 389-390.
- BELÚCIO, E. F.; MOURA, C. A. V.; GAUDETTE, H.E.; ESTUMANO; G. S. 2000. Determinação da composição isotópica de chumbo em sedimentos de fundo do furo do Maguari (Distrito de Icoaraci, Belém-PA). IN CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 40., Recife. **Boletim de Resumos**. ABQ. p. 96-97.
- BEZERRA, P. E. L. & PEREIRA, E. R. 1993. **Plano diretor de mineração em áreas urbanas** - Região Metropolitana de Belém: Relatório Final. Belém: IBGE/SEICOM, 187p.
- BOLLHÖFER, A. & ROSMAN, K. J. R. 2000. Isotopic source signatures for atmospheric lead: The Southern Hemisphere. **Geoquim. Cosmochim. Acta** 64: 3251-3262.
- BOUSTRON, C. F. & PATERSON, C. C. 1983. The occurrence of lead in antarctic recent snow, firm deposited over the last two centuries and prehistoric ice. **Geochim. Cosmochim. Acta** 47: 1355-1368.
- CANFIELD, D. E.; GREEN, W. J; NIXON, P. 1995. ^{210}Pb and stable lead through the redox transition zone of an Antarctic lake. **Geoquim. Cosmochim. Acta** 59: 2459 2468.
- CARIGNAN, J. & GARIÉPY, C. 1995. Isotopic composities of epiphytic lichens as a tracer of the sources of atmospheric lead emissions in sourthern Québec, Canada. **Geoquim. Cosmochim. Acta**. 59: 4427 4433.

- CENSA/COSANPA. 1982. **Diagnóstico do estudo urbanístico de proteção sanitária dos lagos Bolonha e Água Preta**. I. Belém, Consultoria - Engenharia/Companhia de Saneamento do Pará.
- CODEM. 1987. **Plano Diretor do Utinga**. Parques do Utinga. CODEM (Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém). Belém (PA). Vol. I e II.
- COHAB. 1997. **Relatório ambiental da Região Metropolitana de Belém**.
- CONCEIÇÃO, A. L. 1995. **Riscos ambientais para o manancial do Utinga (Belém - Pará)**. Belém, Universidade Federal do Pará. Núcleo de Meio Ambiente. 73p (Monografia).
- DIAS, S. F. (coord.). 1991. **Estudo ambiental no Utinga: vida útil do sistema de abastecimento de água de Belém**. Belém. Instituto de Desenvolvimento Econômico Social do Pará. 118p. (Relatório de Pesquisa, 19).
- EREL, Y. & PATERSON, C. C. 1994. Leakage of industrial lead into the hydrocycle. **Geochim. Cosmochim. Acta** 58: 3289-3296.
- ESTEVES, F. A. 1988. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, FINEP. 575p.
- FARIAS, E. S.; NASCIMENTO, F. S.; FERREIRA, M. A. 1992. **Relatório de estágio de campo III: Área Belém-Outeiro**. Universidade Federal do Pará. UFPA. 198p. (Relatório Interno).
- FAURE, G. - 1986 - **Principles of Isotope Geology**: 2.ed. Santa Barbara, London, John Wiley. 464p.
- FEITOSA, D. 1994. **Macro drenagem e água potável em Belém do Pará; documentário Histórico - COSANPA**. Belém. Multisoft. 256p.
- GALE, N. H. 1996 A new method for extracting and purifying lead from difficult matrices for isotopic analysis. **Analytica Chimica**. 332: 1-8.

- GASSE, F.; FONTES, J. Ch.; VAN CAMPO, E.; WEI, K. 1996. Holocene environmental changes in Bangog Co basin (Western Tibet). Part 4: Discussion and conclusions. **Paleo (geography, climatology, ecology)**. 120: 79-92.
- GAUDETTE, H. E. 1999. **Introdução à amostragem e metodologia analítica em estudos ambientais**. Curso especial. Curso de pós graduação em geoquímica e geologia. Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará. (Apostila).
- GAUDETTE, H. E. & colaboradores. Informação verbal 1999. **Introdução à amostragem e metodologia analítica em estudos ambientais. Curso especial**. Curso de pós graduação em geoquímica e geologia. Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará.
- GRANEY, J. R.; HALLIDAY, A. N.; KEELER, G. J.; NRIAGU, J. O.; ROBBINS, J. A. & NORTON, S. A. 1995. Isotopic record of lead pollution in lake sediments from the northeastern United States. **Geochim. Cosmochim. Acta** 59: 1715-1728.
- HANSMANN, W.; KÖPPEL, V. 2000. Lead-isotopes as tracers of pollutants in soils. **Chemical Geology. Elsevier**. 171: 123-144.
- IDESP. 1980. **Reconhecimento dos recursos naturais da Região Metropolitana de Belém**. Instituto de Desenvolvimento Econômico Social do Pará. Anexo I. Reconhecimento Hidrológico.
- JAWORSKI, J. F; NRIAGU, J.; DENNT, P.; HART, B. T.; LASHEEN, M. R.; SUBRAMANIAN, V. & WONGG, M. H. 1987. **Lead**. In HUTCHINSON, T. C. & MEEMA, K. M. (ed) **Lead, mercury, cadmium and arsenic in the environment**. pp. 3-16.
- JENSEN, A. 1997. Historical deposition rates of Cd, Cu, Pb and Zn in Norway and Sweden estimated by ^{210}Pb dating and measurement of trace elements in cores of peat bogs. **Water, Air and Soil Pollution**. 95: 205-220.

- KESLER, S. E. 1994. **Mineral resources, economics and the environment**. Macmillan College Publishing Company, Inc, New York. 391p.
- LORING, S. N; RANTALA, R. T. T. 1992. Manual of geochemical analysis of marine sediments and suspended particulate matter. **Earth Science Reviews**. 32:235-283.
- MATTA, M. A. S.; CABRAL, N. M. T.; TAGLIARINI, E. M. 2000.a. Fundamentos para uso e proteção das águas superficiais e subterrâneas da região oeste da região Metropolitana de Belém/PA. IN: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, Fortaleza (CE). CD-ROOM.
- MAZZEO, T. E. 1991. **Avaliação ambiental das vias de drenagem da Região Metropolitana de Belém (PA) quanto a distribuição dos elementos Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências (Dissertação de Mestrado). 141p.
- MENEZES, L. B. C. 1985. **Estudo de águas destinadas ao consumo da população das baixadas da cidade de Belém-Pa (bairro da sacramenta). Avaliação da qualidade sob os aspectos físico-químico, bioquímico e bacteriológico**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências (Dissertação de Mestrado). 145p.
- MONNA, F; OTHMAN, D. B.; LUCK, J. M. 1994. Pb isotopes and Pb, Zn Cd concentrations in the rivers feeding a coastal pond Thau, southern France): constraints on the orig(s) and flux(es) of metals. **Chem. Geol.**, 166:19-34.
- MORAES, R. P.; FIGEIREDO, B. R. & LAFON, J.M. 1997. Isotopic tracing of the source of lead pollution in the Ribeira de Iguape Valley Southrn Brazil. SOUTH-AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY. **Extended Abstracts**. p. 206-208.

- MORALES, G. P. **Avaliação dos riscos de poluição dos recursos hídricos, solos e sedimentos na área do depósito de lixo do Aurá.** Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. (Tese de Doutorado). (no prelo).
- MORALES, G. P.; MELO, O. T.; BARBOSA, J. S. 2000.a. Metais pesados em solos na área de abrangência do lixão do Aurá (Belém-PA). IN CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 40, Recife. **Boletim de Resumos.** ABQ. p. 113.
- MORALES, G. P.; MELO, O. T.; FENZL, N. 2000.b. Parâmetros traçadores de chorume produzido no lixão do Aurá de Belém-Pará. IN CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 40, Recife. **Boletim de Resumos.** ABQ. p. 120-121.
- MOREIRA, S. R. D.; CAMPAGNOLI, F.; MAZZILLI, B. P. 1999. Datação de sedimentos do reservatório Billings pelo método de ^{210}Pb . IN: CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 5, & CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 7, Porto Seguro. **Boletim de Resumos.** p. 346-348.
- MUROZONI, M.; CHOW, T. J. & PATTERSON, C. C. 1969. Chemical concentrations of pollutant lead aerosols, terrestrial dust and sea salts in Greenland and Antarctic snow strata. **Geochim. Cosmochim. Acta.** 33: 1247-1249.
- NASCIMENTO, F. S. 1995. **Dinâmica da distribuição dos poluentes metálicos nos sedimentos de fundo dos canais de drenagem de Belém-PA.** Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. (Dissertação de Mestrado). 127p.
- OLIVEIRA, A. H. P., RAMOS, J. F. F., SOUSA, J. R. T. 2000. Metais pesados próximos de depósitos de lixo de Belém, Pará. IN CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 40, Recife. **Boletim de Resumos.** ABQ. P. 113-114

- PEREIRA, K. R. B. **Caracterização geoquímica de sedimentos de fundo do estuário Guajará (orla de Belém)**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. (Dissertação de Mestrado). (no prelo).
- PETROBRAS. Petróleo brasileiro em <http://www.petrobras.com.br>. Acesso em 08 de outubro de 1999.
- PMB/SEGEF/FUNPAPA. 2000. **Formas de apropriação e uso do território**. Coleção Mapas de Belém. Belém congresso da cidade. Vol. 1: 295p.
- QUAGLIANO, J. V. & VALLARINO, L. M. 1973. **Química**. 3.ed. Rio de Janeiro- RJ. Ed. Guanabara dois. 855p.
- RAVANELLI, M.; TUBERTINI, O.; VALCHER, S.; MARTINOTTI, W. 1997. Heavy metal distribution in sediment cores from Western Ross Sea (Antarctica). **Water, Air and Soil Pollution**. 95: 697-704.
- RIBEIRO, H. M. C. 1992. **Avaliação da qualidade da água dos lagos Bolonha e Água Preta, situados na área fisiográfica do Utinga (Belém-PA)**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. (Dissertação de Mestrado). 205p.
- RITSON, P. I.; ESSER, B. K; NIEMEYER, S.; FLEGAL, A. R. 1994. Lead isotopic determination of historical sources of lead to Lake Erie, North America. **Geoquim. Cosmochim. Acta**. 58: 3297-3305.
- ROBINSON, C. 1994. Lago Grande di Monticchio, southern Italy: a long record of environmental change illustrated by sediment geochemistry. **Chemical Geology Elsevier**. 118: 235 - 254.
- RODRIGUES, E. M. S. 1992. **Implantação da metodologia Pb-Pb em rocha total: Exemplos de aplicação na Província Mineral de Carajás (PA)**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. (Dissertação de Mestrado). 128p.

- SANTOS, A. B. B. 2000. **Determinação da razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em águas naturais e sua aplicabilidade na investigação na influência da água do mar em águas subsuperficiais de zonas costeiras na região bragantina-PA.** Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. (Dissertação de Mestrado). 76p.
- SHREVE, R. N.; BRINK Jr., J. A. 1980. **Indústrias de Processos Químicos.** 4.ed. Ed. Rio de Janeiro, RJ. Guanabara Dois. 717p.
- SILVA, S. F. 1997. **Estudo geoquímico dos sedimentos de fundo e suspensão do Furo do Maguari e adjacências.** Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. (Trabalho de Conclusão de Curso em Geologia).
- SILVA, P. T. E. 1999. **Parque Ambiental de Belém: Plano de Interpretação ambiental.** Belém: SECTAM. Governo do Estado do Pará.
- VERÖN, A. J.; CHURCH, T. M.; PATTERSON, C. C.; FLEGAL, A. R. 1994. Use of stable lead isotopes to characterize the sources of anthropogenic lead in North Atlantic surface waters. **Geoquim. Cosmochim. Acta.** 58: 3199-3206.