



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**COMPORTAMENTO DE METAIS PESADOS E
NUTRIENTES NOS SEDIMENTOS DE FUNDO DA BAÍA
DO GUAJARÁ E BAÍA DO MARAJÓ**

Dissertação apresentada por:

NIELTON DE SOUZA HOLANDA

Orientador: Prof. Dr. RÔMULO SIMÕES ANGÉLICA (UFPA)

**BELÉM
2010**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação(CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

H722c Holanda, Nielton de Souza
Comportamento de metais pesados e nutrientes nos sedimentos de fundo da Baía do Guajará e Baía do Marajó / Nielton de Souza Holanda; Orientador: Rômulo Simões Angélica – 2010
xiv, 86 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

1. Sedimentos (Geologia). 2. Metais pesados. 3. Baía do Guajará (PA). 4. Baía do Marajó (PA) I. Universidade Federal do Pará. II. Angélica, Rômulo Simões, *orient.* III. Título.

CDD 20. ed.: 551.304098115



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**COMPORTAMENTO DE METAIS PESADOS E
NUTRIENTES NOS SEDIMENTOS DE FUNDO DA BAÍA
DO GUAJARÁ E BAÍA DO MARAJÓ**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR
NIELTON DE SOUZA HOLANDA

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

Data de Aprovação: 28 /01/ 2010

Banca Examinadora:

Prof. RÔMULO SIMÕES ANGÉLICA
(Orientador-UFPA)

Prof. JOSÉ FRANCISCO BERRÊDO REIS DA SILVA
(Membro-MPEG)

Prof. VANDA PORPINO LEMOS
(Membro-UFPA)

A minha família e amigos

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus pelas bênçãos incontáveis e por sua fidelidade.

Ao Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica pela orientação e paciência.

Ao Dr. José Francisco Berredo Reis, MPEG pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho e por ter aberto as portas do Museu Paraense Emílio Goeldi.

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi por permitir a utilização do laboratório e reagentes para análises químicas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudo.

Ao Centro de Geociências e ao curso de Pós-Graduação em Geologia e geoquímica da UFPA, pela oportunidade da elaboração desta dissertação de mestrado e fornecerem infra-estrutura para as demais análises.

Ao Projeto PIATAM MAR da PETROBRAS pelo fornecimento da logística para realização do trabalho.

Ao Mst. Amílcar Mendes e sua equipe ao apoio nas coletas e no fornecimento dos dados de sedimentologia.

Messiana, Paulo e o Junior na ajuda na utilização do programa Sufer 8.

A minha mãe Antonia pelo apoio e incentivo.

Aos meus amigos pela ajuda no trabalho (Rogério, Carol, Alessandra e Maridalva).

“Homem que pensa no porvir, não esqueças os deveres do presente”

Lainez

RESUMO

As atividades humanas influenciam as características físico-químicas das águas, sedimentos e organismos em ambientes aquáticos situados em regiões industrializadas e com alta densidade populacional. Com o uso crescente dos estuários como reservatório para uma grande quantidade de resíduos, os ecossistemas estuarinos e costeiros estão sendo gradualmente sujeitos a significativos impactos. Os sedimentos de fundo desempenham um papel importante no registro desses impactos uma vez que tem a capacidade de reter espécies químicas orgânicas e inorgânicas. O objetivo desta pesquisa é estudar o comportamento geoquímico de metais nos sedimento de fundo da Baía do Guajará, rio Guamá e da Baía do Marajó. As duas regiões foram escolhidas por suas características opostas: a Baía do Guajará (Área 1) sob forte influencia antropogênica e a Baía do Marajó (Área 2) considerada de referencia. Foram coletados 83 pontos na Área 1 e 60 pontos na Área 2. Foram determinadas concentrações químicas dos seguintes metais: Ba, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni, V e Zn e, também, os teores de nitrogênio, carbono, matéria orgânica, o fósforo total e o fósforo ligado a compostos orgânicos. O estudo mineralógico definiu em comum nas duas áreas a presença de quartzo, caulinita, illita e esmectita. Na Área 1 foi encontrado pico de K-feldispado e halita. A área 1 apresenta teor médio de nitrogênio de 0,08 %, teores médios de carbono de 1,51 % , matéria orgânica de 2,60 % e concentração média de fósforo e fósforo ligado a compostos orgânicos 307 mg/Kg e 126 mg/Kg, respectivamente. A concentração de metais apresentou os seguintes valores: Ba (529 mg/Kg); Cr (91 mg/Kg); Cu (17 mg/Kg); Fe (6,82 %); Ni (32 mg/Kg); Pb (27 mg/Kg); V (120 mg/Kg) e Zn (69 mg/Kg). A área 2 apresenta teor médio de matéria orgânica 1,70 %, de carbono e de nitrogênio 0,98 % e 0,08 % respectivamente. A concentração de fósforo e fósforo ligado a compostos orgânicos 193 mg/Kg e 7 mg/Kg, respectivamente. A concentração de metais apresentou os seguintes valores: Ba (596 mg/Kg); Cr (102 mg/Kg); Cu (21 mg/Kg); Fe (8,31%); Ni (40 mg/Kg); Pb (28 mg/Kg); V (141 mg/Kg) e Zn (85 mg/Kg). Os teores de carbono e fósforo (0,98 %; 193 mg/Kg) encontrados na área 2 foram menores que os encontrados na área 1 (1,51 %; 307 mg/Kg) demonstram a influencia dos efluentes que são lançados no estuário guajarino. Em ambas as áreas observa-se, a mesma tendência decrescente dos teores: $Fe_2O_3 > Ba > V > Cr > Zn > Ni > Pb > Cu$. Na área 1 foram encontrados valores mais elevados de metais isoladamente enquanto que na área 2, com as maiores médias, a distribuição é homogênea; nas duas áreas os metais tem uma leve tendência de se concentrar onde há maior teor de matéria orgânica.

Palavras-chave: Sedimento. Metais. Baía do Guajará (PA). Baía do Marajó (PA).

ABSTRACT

Human activities influence the physical and chemical characteristics of water, sediments and organisms in aquatic environments located in industrialized areas and high population density. With the increasing use of estuaries as a reservoir for a large amount of waste, coastal and estuarine ecosystems are gradually being subject to significant impacts. The bottom sediments play an important role in the investigation of these impacts since it has the ability to retain chemical species and inorganic. The objective of this research is to study the geochemical behavior of metals in the bottom sediment of the Bay of Guajará, Guama River and the Bay of Marajo. The two regions were chosen for their opposite characteristics: a Guajará Bay Area (1) under strong anthropogenic influence and Marajó Bay Area (2) considered the reference. We collected 83 points in Area 1 and 60 points in Area 2. Determined chemical concentrations of the following metals: Ba, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni, V and Zn, and also the levels of nitrogen, carbon, organic matter, total phosphorus and phosphorus bound to organic compounds. Area 1 shows the average content of nitrogen of 0,08 %, mean levels of carbon and organic matter from 1,51 % and 2,60 %, respectively. The concentration of phosphorus and phosphorus bound to organic compounds 307 mg / kg and 126 mg / kg, respectively. The concentration of metals showed the following values: Ba (529 mg / kg), Cr (91 mg / kg), Cu (17 mg / kg) , Fe (6,82 %), Ni (32 mg / kg), Pb (27mg / kg), V (120 mg / kg) and Zn (69 mg / kg). Area 2 shows the average content of organic matter 1.70 % of carbon and nitrogen 0,98 % and 0,08 % respectively. The concentration of phosphorus and phosphorus bound to organic compounds 193 mg / kg and 7 mg / kg, respectively. The concentration of metals showed the following values: Ba (596 mg / kg), Cr (102 mg / kg), Cu (21 mg / kg) , Fe (8,31 %), Ni (40 mg / kg), Pb (28 mg / kg), V (141 mg / kg) and Zn (85 mg / kg). The carbon and phosphorus (0,98 %, 193 mg / kg), respectively found in area 2 were lower than those found in area 1 (0,51 %, 307 mg / kg) and demonstrate the influence of effluents that are released in the estuary Guajarino. In both areas there is the same downward trend in levels: $Fe_2O_3 > Ba > V > Cr > Zn > Ni > Pb > Cu$. In area 1 were found higher metal alone while in area 2, with the major averages, the distribution is homogeneous, two areas in the metals has a slight tendency to concentrate where there is a higher content of organic matter .

Keywords: Sediment Metals. Guajará Bay (PA). Bay Marajó (PA).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1: Mapa de localização das áreas estudadas.	3
Figura 4.4.1: Mapa de distribuição granulométrica. Fonte: Gregório & Mendes, 2008. Modificado	8
Figura 4.4.2: Mapa de distribuição granulométrica. Fonte: Mota, 2008. Modificado.	9
Figura 5.1.1: Mapa de distribuição dos pontos da Área 1, Rio Guamá e Baía do Guajará.	15
Figura 5.1.2: Mapa de distribuição dos pontos da Área 2, Marajó.	16
Figura 5.2.1: Espectrometro de fluorescencia de raios-x	17
Figura 5.2.2: Espectrofotômetro Spectro Vision UV-VIS DB1880S Double Beam	19
Figura 6.1.1: Difratoograma da amostra BG 3	21
Figura 6.1.2: Difratoograma das lâminas glicoladas, Área 1	22
Figura 6.1.3: Difratoograma da amostra BG 44	22
Figura 6.1.4: Distribuição dos pontos da Área 1, Rio Guamá e Baía do Guajará.	23
Figura 6.1.6: Difratoograma da amostra BM 60	24
Figura 6.1.7: Difratoograma das lâminas glicoladas, Área 2	25
Figura 6.1.7: Distribuição dos pontos da Área 2, Marajó.	26
Figura 6.2.1: Mapa de distribuição do nitrogênio na Área 1.	28
Figura 6.2.2: Mapa de distribuição do nitrogênio na Área 2.	29
Figura 6.2.3: Mapa de distribuição de carbono na Área 1.	31
Figura 6.2.4: Mapa de distribuição de carbono na Área 2.	32
Figura 6.2.5: Mapa de distribuição da razão C/N Área 1.	33
Figura 6.2.6: Mapa de distribuição da razão C/N Área 2.	33
Figura 6.2.7: Mapa de distribuição de fósforo na Área 1.	34
Figura 6.2.8: Mapa de distribuição de fósforo na Área 2.	35
Figura 6.2.9: Mapa de distribuição de P-org na Área 1.	36
Figura 6.2.10: Mapa de distribuição de P-org na Área 2.	37
Figura 6.2.11: Mapa de distribuição de Fé total Área 1.	41
Figura 6.2.12: Mapa de distribuição de Fé total Área 2.	42
Figura 6.2.13: Mapa de distribuição de Ba total na Área 1.	43
Figura 6.2.14: Mapa de distribuição de Ba total na Área 2.	44
Figura 6.2.15: Mapa de distribuição de V total na Área 1.	46
Figura 6.2.16: Mapa de distribuição de V total na Área 2.	47

Figura 6.2.17: Mapa de distribuição de Cr total na Área 1.	49
Figura 6.2.18: Mapa de distribuição de Cr total na Área 2.	50
Figura 6.2.19: Mapa de distribuição de Zn total na Área 1.	52
Figura 6.2.20: Mapa de distribuição de Zn total na Área 2.	53
Figura 6.2.21: Mapa de distribuição de Ni total na Área 1.	55
Figura 6.2.22: Mapa de distribuição de Ni total na Área 2.	56
Figura 6.2.23: Mapa de distribuição de Pb total na Área 1.	58
Figura 6.2.24: Mapa de distribuição de Pb total na Área 2.	59
Figura 6.2.25: Mapa de distribuição de Cu total na Área 1.	61
Figura 6.2.26: Mapa de distribuição de Cu total na Área 2.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.2.1: Sumário estatístico da Área 1	27
Tabela 6.2.2: Levantamento histórico (C e N em %, P em mg/Kg)	27
Tabela 6.2.3: Sumário estatístico da Área 2	27
Tabela 6.2.4: Concentração de metais pesados em sedimento e solos; Salomons & Förstner (1984).	39
Tabela 6.2.5: Sumário estatístico dos metais analisados na Área 1 (n = 83)	39
Tabela 6.2.6: Levantamento histórico (Fe em %, demais mg/Kg)	39
Tabela 6.2.7: Sumário estatístico dos metais analisados Área 2 (n = 60)	40
Tabela 6.3.1: Matriz de correlação da Área 1. n = 78	63
Tabela 6.3.2: Matriz de correlação da Área 2. n = 44	63

SUMÁRIO

	Pag.
1 INTRODUÇÃO	01
2 OBJETIVOS	02
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	02
3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	03
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	04
4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS	04
4.2 GEOLOGIA	04
4.3 VEGETAÇÃO	05
4.4 CLIMA	06
4.5 HIDRODINÂMICA E SEDIMENTOLOGIA	06
4.6 ESTUÁRIO	09
4.7 IMPORTÂNCIA DOS SEDIMENTOS	10
4.8 METAIS PESADOS NO AMBIENTE	11
4.9 NITROGÊNIO, CARBONO, MATÉRIA ORGÂNICA E FÓSFORO	12
5 MATERIAIS E MÉTODOS	14
5.1 AMOSTRAGEM – TRABALHOS DE CAMPO	14
5.2 ANÁLISES DE LABORATÓRIO	16
5.2.1 Difração de raio-x	17
5.2.2 Análise química para metal total na amostra	17
5.2.3 Nutrientes	18
6 RESULTADOS	21
6.1 MINERALOGIA	21
6.1.1 Área 1	21
6.1.2 Área 2	24
6.2 GEOQUÍMICA	27
6.2.1 Nitrogênio	27
6.2.2 Carbono	30
6.2.3 C/N	33
6.2.4 Fósforo	34

6.2.5 Fósforo ligado a compostos orgânicos	36
6.2.6 Metais	39
6.2.6.1 Ferro	40
6.2.6.2 Bário	43
6.2.6.3 Vanádio	45
6.2.6.4 Cromo	48
6.2.6.5 Zinco	51
6.2.6.6 Níquel	54
6.2.6.7 Chumbo	57
6.2.6.8 Cobre	60
6.3 CORRELAÇÕES	63
7 CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS	67
ANEXO A	72
ANEXO B	74
ANEXO C	82

1 INTRODUÇÃO

A cidade de Belém, localizada no estuário do rio Pará, foi funda às margens da baía do Guajará, o que fez com que essa área funcionasse, durante séculos, como o importante pólo econômico, social e industrial. Nessa região concentram-se o setor portuário, importantes núcleos habitacionais, o Distrito Industrial de Icoaraci, o município de Ananindeua e a região insular de Outeiro e Mosqueiro, esta última abrangendo mais de 60% da área territorial.

Nas águas da baía de Guajará e adjacências há intenso tráfego de embarcações dos mais variados portes, transporte e atividades de venda de combustíveis em postos flutuantes (balsas), armazenamento de derivados de petróleo (Terminal de Miramar), que conferem à margem da baía um caráter de alto risco a eventuais acidentes com poluentes, inclusive com o óleo, proveniente do transporte, vazamento de embarcações ou dos locais de armazenagem. Tais atividades podem mudar as características físico-químicas da água, dos sedimentos e organismos e perturbar os processos naturais, provocando elevados danos ao ecossistema (Förstner & Muller, 1973; Mazzeo, 1991); o quadro de risco ambiental é ainda maior se considerarmos a elevada dependência das populações amazônicas dos ecossistemas aquáticos (Berrêdo et al. 2005).

A vasta rede hidroviária e a costa atlântica da Amazônia Legal são servidas por um subsistema portuário que, no momento, atende razoavelmente aos fluxos existentes. Os rios Pará e a baía de Guajará desembocam na baía do Marajó configurando-a como um importante canal de acesso de produtos comercializados para o estado que são descarregados nos grandes portos como Belém e Vila do Conde e Miramar (Sant'Anna, 1998).

A pesquisa foi desenvolvida na baía do Guajará, rio Guamá e na baía do Marajó onde predominam as atividades portuárias, com intenso tráfego fluvial de pequenas e grandes embarcações, principalmente no entorno do terminal de Miramar e terminal da SOTAVE onde ocorre o transporte e o depósito de derivados de petróleo. Os sedimentos de fundo foram escolhidos para a amostragem por sua alta capacidade de reter espécies químicas orgânicas e inorgânicas, aproximadamente 99 % das substâncias que atingem o sistema aquático (Förstner *et al.*, 1995)

Este trabalho está inserido no âmbito do Projeto PIATAM-MAR - ***Potenciais Impactos Ambientais do Transporte de Petróleo e Derivados na Zona Costeira Amazônica***, cujo objetivo principal é produzir informações atualizadas sobre populações, recursos naturais e ecossistemas costeiros na costa amazônica, a fim de abastecer um banco de dados georreferenciados para apoiar a Petrobras na gestão ambiental e na definição de ações preventivas frente a possíveis casos de acidentes com o transporte de óleo e derivados na costa norte.

2 OBJETIVOS

O objetivo da pesquisa é estudar o comportamento geoquímico de metais associados a combustíveis nos sedimentos de fundo da baía do Guajará, rio Guamá e baía do Marajó. Tais objetivos enquadram-se no projeto PIATAM MAR II que, dentre outros, visa adquirir informações geoquímicas para subsidiar a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental ao derrame de óleo na zona costeira da Amazônia, nos estados do Amapá, Pará e Maranhão.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar os teores dos metais Ba, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni, Zn e V nos sedimentos de fundo;
- Descrever o comportamento geoquímico e espacial dos metais Ba, Cr, Cu, Fe, Pb, Ni, Zn e V;
- Quantificar e descrever o comportamento espacial de C, N e P (total e orgânico) nos sedimentos de fundo;
- Obter correlação entre metais e a distribuição C, N e P;
- Correlacionar a geoquímica dos metais, C, N e P com as ações antrópicas que ocorrem no estuário;
- Determinar a mineralogia dos sedimentos de fundo.

3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi realizado em duas áreas. A área 1 compreende a baía do Guajará e o rio Guamá e a área 2 localiza-se na baía do Marajó.

A Área 1 enquadra-se nas seguintes coordenadas geográficas $-48^{\circ}33'$ / $-1^{\circ}30'$ e $-48^{\circ}21'$ / $-1^{\circ}30'$. A Área 2 está localizada aproximadamente a 60 quilômetros de Soure e a 40 quilômetros da capital Belém, compreendida entre as coordenadas geográficas $-48^{\circ}74'$ / $-1^{\circ}27'$ e $-48^{\circ}66'$ / $-1^{\circ}16'$.

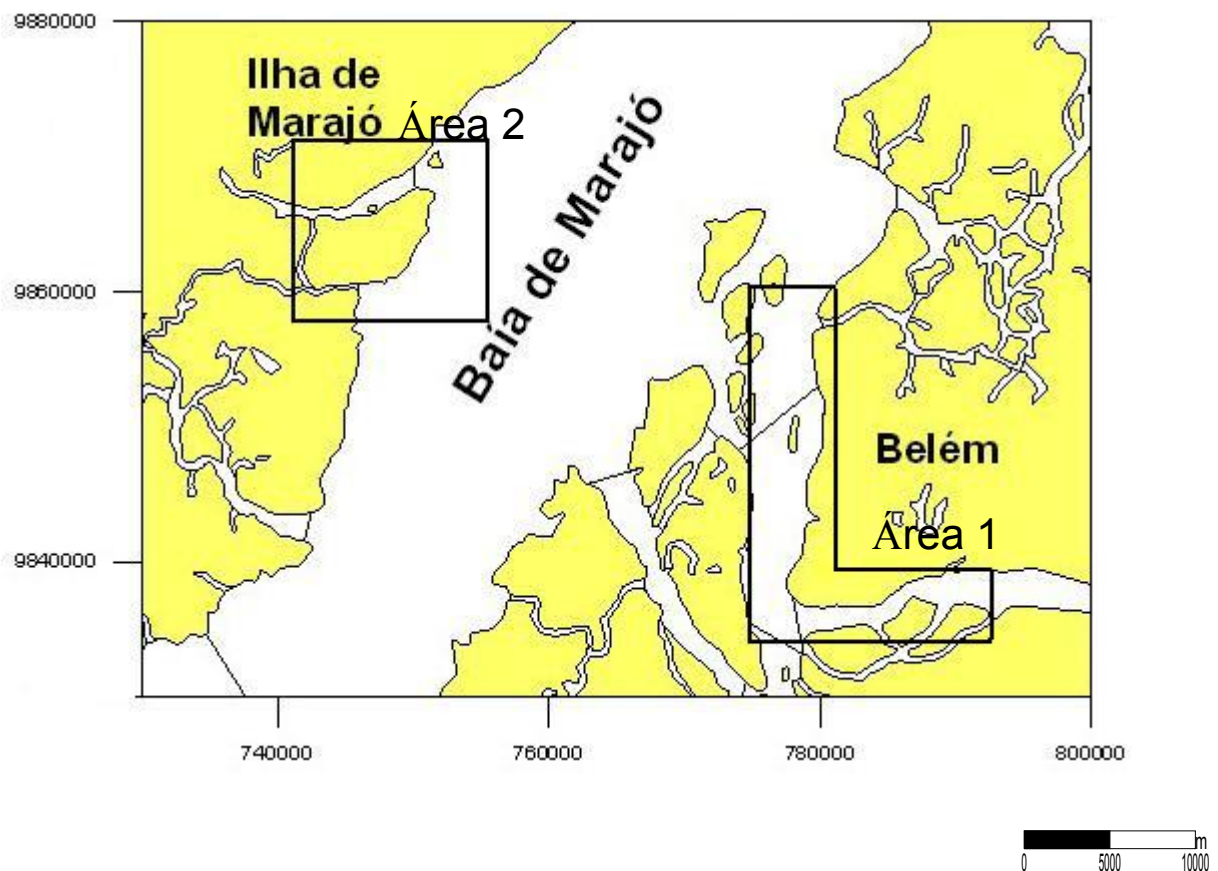


Figura 3.1: Mapa de localização das áreas estudadas.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS

A baía de Guajará faz parte do estuário do rio Amazonas e tem continuidade na baía de Marajó, sofrendo diretamente a influência das marés oceânicas. Suas águas são barrentas e no período de baixa pluviosidade na região, tornam-se salobras devido ao avanço das águas oceânicas Bahia (2003).

Formada na confluência dos rios Acará e Guamá com largura de 3 a 4 Km. Localiza-se em frente à parte noroeste da cidade de Belém e prolonga-se até próximo a ilha de Mosqueiro, onde se encontra com a baía de Marajó, no rio Pará. Numerosas ilhas compõem a margem esquerda da baía de Guajará. Ao longo da margem direita seguem a cidade de Belém além de inúmeros igarapés que cortam a cidade. Os igarapés se destacam em sua importância, quando se relacionam com a topografia e com a formação e evolução dos vales, que modelam os diferentes níveis de relevos existentes também servem para drenar os esgotos da cidade (Pinheiro, 1987).

A Ilha de Marajó é um arquipélago que forma a sub-região pertencente à região chamada Portel-Marajó. Tem por limites ao norte o estado do Amapá, juntamente com o Oceano Atlântico, ao sul o rio Pará, a leste a Baía de Marajó e a oeste o estado do Amapá, somando um total de 59.308,40 km² de área correspondendo a 4,7% do estado do Pará. Pertence ao estado do Pará e desde 05 de outubro de 1989 foi decretada como Área de Proteção Ambiental, cuja gestão está sob a responsabilidade da Secretaria Executiva de Meio Ambiente (Lima *et al*, 2005).

Este arquipélago, situado na foz do rio Amazonas, recebe uma descarga fluvial de aproximadamente 209.000 m³/s o que propicia ao conjunto características geomorfológicas bem distintas, composta por paisagens heterogêneas, que gera um grande interesse para as pesquisas científicas e, também, ao turismo (Lima *et al*, 2005).

4.2 GEOLOGIA

A geologia da área da baía do Marajó é pouco variável, construída, como em toda a microrregião, por sedimentos do Terciário (Formação Barreiras) e do Quaternário. Compreende uma área submersa (resultante da sedimentação recente na baía do Marajó) e uma segunda, situada na margem continental, limitada pelo escudo das guianas à nordeste e pelo escudo brasileiro central a sudoeste (Swain *et al.*, 1977). A bacia do Marajó constitui parte da bacia sedimentar da foz do rio Amazonas, e na parte superior, é constituída pelo Grupo Pará, com depósitos de areias,

siltos, argilas e concreções lateríticas. Depósitos aluviais são formados por areias finas, siltos e argilas (Santos *et al.*, 1986).

O arcabouço estratigráfico da região de Belém e arredores é caracterizado pelas formações Pirabas e Barreiras, constituindo as sequências A e B (Mioceno) e os sedimentos Pós-Barreiras, representando a sequência C (Plioceno-Quaternário) de acordo com os conceitos da estratigrafia de sequências (Rossetti, 2001).

A sequência A corresponde à formação Pirabas, predominantemente carbonática e a parte inferior da formação Barreiras, de depósitos arenosos e argilosos. A sequência B, exclusivamente siliciclástica, corresponde à parte superior da formação Barreiras. Enquanto os depósitos carbonáticos são atribuídos aos ambientes de plataforma, laguna, *shoreface/foreshore* e de mangue, os sedimentos siliciclásticos da formação Barreiras são interpretados principalmente como produtos de amplas planícies entrecortados por canais de maré. A sequência C é argilo-arenosa e exibe estrutura maciça. Seu contato com a formação Barreiras é marcado por nível com seixos e blocos principalmente lateríticos (Saraiva, 2007).

4.3 VEGETAÇÃO

Na região da baía do Guajará é possível distinguir três tipos predominantes de vegetação: vegetação de várzea, vegetação de floresta densa e floresta secundária associada a áreas desmatadas (Lima, 1956).

Segundo (Lima, 1956) nas várzeas muito baixas, associadas a áreas de deposição recente de sedimentos, predominam espécies ditas pioneiras como: aninga (*Montrichardia arborescens* Schott), mururé (*Eichhornia azurea kunth*), canarana (*Panicum elephantipes*) e outras menos frequentes. Nos terrenos mais elevados ou na transição da várzea alta à terra firme, ocorrem as florestas densas, caracterizadas por uma maior diversidade de espécies com predominância das dicotiledôneas. A vegetação de várzea pode ser vista como um indicativo dos processos geológicos/hidrodinâmicos atuando em uma reduzida e limitada escala de tempo (Pinheiro, 1987).

Predominam na Área 2 os campos limpos recobertos por gramíneas (característica intrínseca da porção oriental do Marajó), condicionados pelo fator topografia, ao solo impermeável e a sua pequena profundidade, além de precipitação abundante que favorece seu encharcamento. Nas áreas sob influência de inundação predominam os manguezais, com espécies típicas dessa formação pioneira, como a *Rhizophora mangle* e *Avicennia nitida* (Amaral *et al.*, 2007).

A cobertura vegetal tem como base fatores climáticos, pedológicos, antrópicos e a altura dos estratos arbóreos (Dias *apud* Mota, 2008). O fator climático contempla a divisão dos tipos de vegetação em: Floresta tropical úmida, Florestas caducifólias alternadas com campos

naturais, e Campos naturais. (Bemerguy et al., 2003).

4.4 CLIMA

A microrregião Guajarina é caracterizada por um clima típico da Amazônia. Segundo a classificação de Köpper o clima insere-se na zona climática Af, correspondente ao clima de floresta tropical úmido, caracterizado por dois períodos diferentes um mais chuvoso e outro menos chuvoso. Esses períodos são conhecidos na região como “inverno” e “verão”, sendo de dezembro a junho o período mais chuvoso e julho a novembro o menos chuvoso (Penteado apud Pinheiro, 1987; Lima, 1979).

A temperatura é típica de ambiente equatorial alcançando médias mensais entre 24 e 28 °C, entretanto, as temperaturas máximas e mínimas podem ser superiores a 30 °C e inferior a 22 °C. Com relação à umidade relativa, a média anual varia entre 80 e 91% (Martorano *et.al.*,1993).

A classificação climática, segundo Köppen, verificada na ilha do Marajó é: Af- clima tropical úmido e Am - clima tropical úmido de monção. Fazendo parte do clima equatorial úmido, a área da baía do Marajó apresenta todas as características inerentes a esse clima: amplitude térmica mínima, temperatura média em torno de 27°C, mínima superior a 18°C e máxima de 36°; umidade elevada e alta pluviosidade nos seis primeiros meses do ano, sendo que a temperatura é levemente mais baixa na zona da mata que nos campos (Lima et al.,2005).

4.5 HIDRODINÂMICA E SEDIMENTOLOGIA

O estuário Guajarino representa um ambiente caracterizado por alta energia hidráulica, com fortes correntes que interagem com a elevada energia fluvial dos rios Guamá e Acará. Em consequência, a fisiografia e o próprio relevo da calha estuarina estão sujeitos a modificações periódicas, relativamente rápidas (Pinheiro, 1987).

Pinheiro (1987) o classifica como um sistema com padrão de circulação uniforme, que no período entre a preamar e baixa-mar tende a ser homogêneo e com baixas concentrações iônicas na superfície. Sendo um sistema de elevada energia hidráulica a dinâmica das águas, a sazonalidade e a entrada da maré salina provocam alterações nas propriedades físico-químicas das águas e na concentração do material em suspensão. Os elementos hídricos de maior expressão, devido suas relações diretas e imediatas com a cidade de Belém, são a baía do Guajará e o rio Guamá, além de

inúmeros igarapés que cortam a cidade. Neste sistema de elevada energia hidráulica, a dinâmica das águas, a sazonalidade e, sobre tudo a entrada de maré salina provocam, alterações nas propriedades físico-químicas dessas águas e na concentração das partículas em suspensão (Cordeiro, 1987; Pinheiro, 1987).

Os rios que deságuam na baía de Marajó são de grande porte, apresentam cursos retilíneos e sinuosos. O regime é influenciado pela pluviosidade e pelas marés (França, 2003). Na planície costeira, a rede de drenagem é composta principalmente por canais de maré, mas com presença também de rios e de furos (igarapés). O fluxo e refluxo das marés provocam inversão dos cursos e correntes de maré, favorecendo os processos erosivos e contribuindo com aporte sedimentar para as praias (França, 2003).

As correntes de circulação na baía continental do Amazonas são influenciadas pela interação da pluma de água procedente do rio Amazonas com as correntes de maré da costa norte brasileira (Demaster et al., 1986). A circulação da água em um estuário, como o da baía do Marajó, é controlada pela topografia, correntes de maré e pelo volume de descarga de água doce nesse estuário (Santos et al., 1986). As correntes induzidas pelos fluxos dos rios são restritas às regiões estuarinas e vários fatores climáticos afetam a quantidade e a sazonalidade da descarga (Correia, 2005).

Os sedimentos depositados no estuário Guajará são agrupados segundo a granulometria em duas fácies texturais: fácies lamosa (argila e silte e suas misturas) distribuídas nas regiões marginais do estuário e a fácies arenosa (areias e areias siltosas), que ocorre formando os diversos bancos e preenchendo os principais canais e todo eixo o central do rio Guamá e da baía do Guajará (Pinheiro, 1987; Gregório & Mendes, 2008), (Figura 4.4.1).

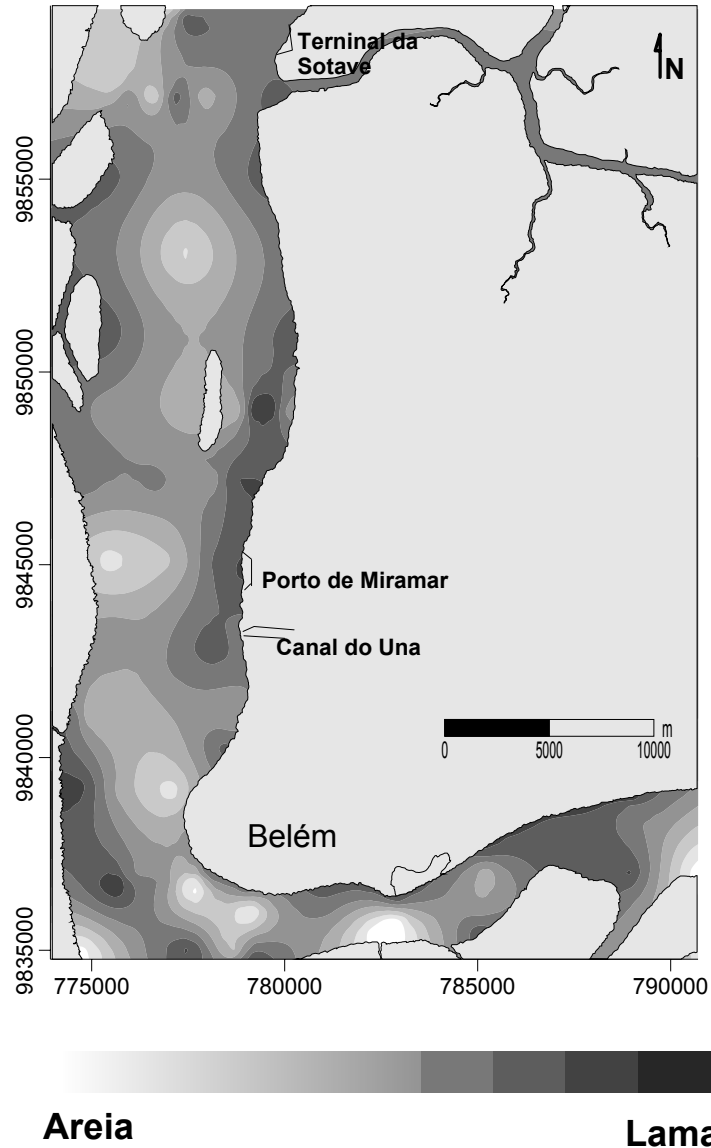


Figura 4.4.1: Mapa de distribuição granulométrica. Fonte: Gregório & Mendes, 2008. Modificado

A bacia do Marajó constitui parte da bacia sedimentar da foz do rio Amazonas, com depósitos de areias, siltes, argilas e concreções lateríticas. Depósitos aluviais são formados por areias finas, siltes e argilas (SANTOS et al., 1986). Os sedimentos foram enquadrados nas seguintes classes texturais: a) areia litoclástica com cascalho, b) areia litoclástica média, c) areia litoclástica fina a muito fina e d) lama, ver Figura 4.4.2. O predomínio na distribuição espacial para esta classificação é de lama (Mota, 2008).

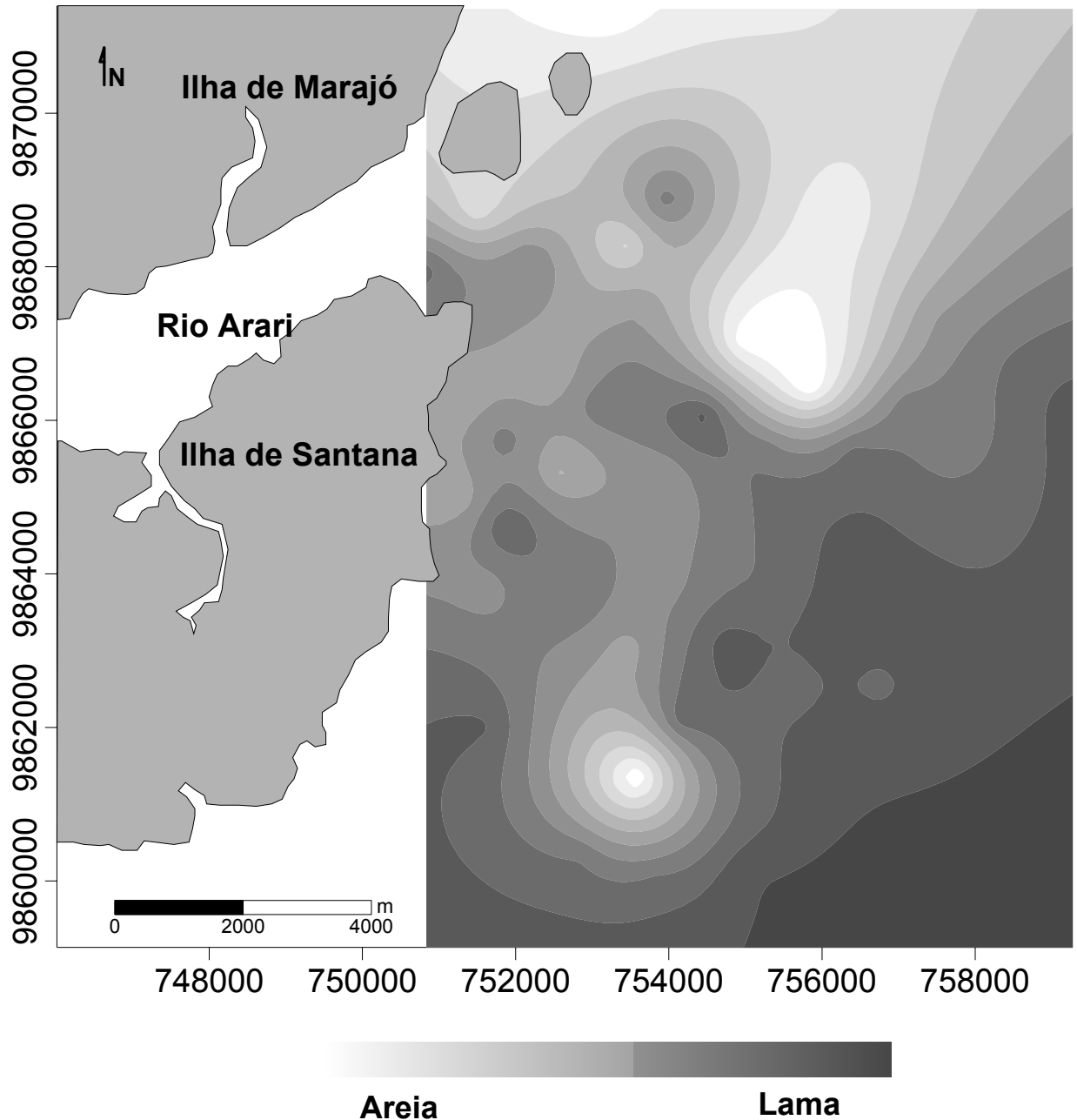


Figura 4.4.2: Mapa de distribuição granulométrica. Fonte: Mota, 2008. Modificado.

4.6 ESTUÁRIO

Os estuários constituem a principal característica da zona costeira amazônica. São ambientes cuja evolução depende da interação entre parâmetros hidrodinâmicos, sedimentares e morfológicos (Berredo, 2001).

Os estuários são ambientes marginais-marinhos caracterizados pelas flutuações

hidrodinâmicas e a posição hidroquímica intermediária entre águas fluviais e águas marinhas. Nesse ambiente, as variáveis hidrodinâmicas imprimem amplos gradientes às propriedades físico-químicas das águas, tais como a salinidade, a composição iônica, elementos traço, pH, turbidez, assim como na concentração do material em suspensão. Tais fatores diferem entre os diversos estuários e, conseqüentemente, variações significativas ocorrem na composição granulométrica dos sedimentos neles depositados (Clifton apud Nascimento, 1995).

Durante os processos de mistura da água do rio e da oceânica nesse ambiente, as espécies dissolvidas não permanecem em solução. Reações de troca e de complexação ocorrem com as espécies particuladas em suspensão, como conseqüência, os elementos são removidos e liberados para a solução ou para os sedimentos de fundo (Salomons & Förstner, 1984; Duinker, 1986). Desta maneira, os sedimentos de fundo funcionam como um meio acumulador para as espécies e complexos químicos, por isso possuem um papel importante na identificação, no controle das fontes e na distribuição dos poluentes (Förstner & Wittman, 1983).

Com seu crescente uso como reservatório para uma grande quantidade de resíduos, os ecossistemas estuarinos e costeiros estão sendo gradualmente sujeitos a significativos impactos, não somente em áreas de habitats sensíveis, mas também, em comunidades aquáticas que os habitam. Em decorrência da flora e fauna e complexidade hidrodinâmica, as conseqüências dos impactos ambientais tendem a ser mais severas nos estuários do que em outros habitats (Berredo, 2001).

4.7 IMPORTÂNCIA DOS SEDIMENTOS

A contaminação dos ecossistemas aquáticos pode ser investigada analisando-se a água ou o sedimento e comparando-se os dados obtidos com o seu *background* natural, mas, mensurações em curto tempo em águas são muitas vezes inconclusivas devido à mudanças na descarga líquidas e locais de emissões irregulares. Já os sedimentos são formados por numerosas partículas (grosseiras e finas) e matéria orgânica; as partículas finas constituem a maior parte do sedimento, podendo reter substâncias contaminantes por muito tempo, especialmente metais pesados que são fortemente adsorvidos por argilominerais e pela fração orgânica (Förstner & Muller, 1973).

Os sedimentos realizam constantes trocas de nutrientes e outras substâncias, poluentes ou não, com a coluna d'água (Förstner, 1989) o que justifica a sua importância em estudos de poluição por metais pesados. Os sedimentos refletem a qualidade corrente do sistema aquático e podem ser usados para detectar a presença de contaminantes que não permanecem solúveis após o seu

lançamento em águas superficiais; também agem como carreadores e possíveis fontes de poluição por processos de remobilização (Bevilacqua, 1996 *apud* Bostelmann, 2006).

4.8 METAIS PESADOS NO AMBIENTE

Em trabalhos realizados nos principais canais de drenagem de Belém, na baía do Guajará e no rio Guamá por Mazzeo (1991), Nascimento (1995), Nascimento & Fenzl (1997), Pereira (2001), Carvalho (2002) e Nascimento et al. (2006) demonstram que a rede de drenagem da região metropolitana de Belém lança, diretamente no sistema Guajarino, resíduos líquidos e sólidos provenientes de esgotos domésticos e industriais. Dentre os resíduos, pode-se citar os de origem química como os metais pesados, óleos, gasolinas etc.; os resíduos sólidos mais comuns são restos de alimentos e animais, madeira em lascas ou serragem, embalagens diversas dentre outros.

Mazzeo (1991) relata que todas as vias de drenagem são influenciadas igualmente pelas marés e, de forma diferenciada pelos efluentes de esgotos domésticos, não havendo indícios claros de poluição. Os principais metais analisados por Mazzeo são Ca, Na, K, Mg, Fe, Zn, Mn, Ni, Cr e Cu, com a ocorrência do Hg. De acordo com a autora, o Cr destaca-se como um dos metais liberados na via de drenagem por efluentes industriais tendo fonte as indústrias de couro que se localizam nas proximidades dos canais de drenagem do Tucunduba e que deságua no rio Guamá. Há também uma contribuição de Na, Ca, K, Mg, Fe, Mn, Ni e Zn trazida pelos efluentes do curtume através de soluções de lavagem e de cromatização.

Dados coletados por Nascimento (1995) indicam que a distribuição dos metais é influenciada pela granulometria dos sedimentos, mostrando a tendência dos metais se acumularem preferencialmente nas frações mais finas. A autora observou que a maioria dos metais se associa preferencialmente às fases redutível e residual nos canais e, principalmente, à fase residual, no caso do rio Guamá. A dominância da fase residual indica que os metais são transportados preferencialmente associados a partículas cristalinas.

Em trabalho realizado na baía do Guajará (Carvalho, 2002) área de grande influência antropogênica, os metais apresentam os valores da concentração da seguinte forma: Zn>Pb>Cr>Ni>Cu, encontrados também nos canais de drenagem por Mazzeo (1991). Carvalho (2002) e Pereira (2001) destacaram a importância da diluição dos metais pelas águas da Baía de Guajará, pelo fato de que as amostras coletadas próximo à foz dos canais apresentaram concentrações mais elevadas e, concentrações menores à medida que se afasta da foz. O autor afirma que essa diluição se deve, também, à dinâmica das correntes, influenciada diretamente pelas

marés, responsáveis pela ressuspensão parcial e a redistribuição dos sedimentos ao longo do estuário.

4.9 NITROGÊNIO, CARBONO, MATÉRIA ORGÂNICA E FÓSFORO

A importância do nitrogênio no metabolismo dos ecossistemas aquáticos deve-se a sua participação na formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa. Está presente em ecossistemas aquáticos costeiros principalmente sob a forma de nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amônia (NH_3), íon amônio (NH_4^+), nitrogênio orgânico dissolvido (peptídeos, purinas, aminas e aminoácidos) e particulado (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e detritos) (Esteves, 1988).

Dentre as diferentes formas o nitrato e o íon amônio são muito importantes nos ecossistemas aquáticos uma vez que representam as principais fontes de nitrogênio para produtores primários (Esteves, 1988).

Carbono e nitrogênio são os principais componentes da matéria orgânica. As concentrações de carbono no ambiente podem variar de acordo com os processos de decomposição, mineralização e assimilação além da contribuição por material alóctone. O carbono orgânico total é formado pelo carbono orgânico detrítico e o carbono orgânico da biota (Esteves, 1998). O carbono orgânico contido na superfície dos sedimentos depende de uma série de fatores como características sedimentares, relação com a degradação microbiana, produtividade da coluna d'água e inputs terrestres (Burone *et al.*, 2003).

Durante a decomposição de substâncias orgânicas formam-se os ácidos húmicos que são os mais importantes produtos deste processo. Estes podem ser formados em solos e em sedimentos assim como em soluções aquosas. O material húmico pode estar presente como uma discreta partícula ou como uma camada em partículas de argila, pois o material húmico aumenta a afinidade do sedimento com os metais (Förstner & Wittman, 1983).

A eficiência da matéria orgânica em adsorver compostos químicos depende basicamente de suas propriedades complexantes. Há uma tendência dos compostos químicos se associarem fortemente por reações de formação de quelatos, havendo transporte e fixação até os sedimentos (Lima *et al.*, 2004).

A origem do fósforo pode ser natural ou artificial. O fósforo natural é proveniente de intemperismo de rochas e lavagem de solos de bacias e drenagens e o material particulado resultante da decomposição de organismos alóctones. A origem artificial (antrópica) pela emissão de efluentes urbanos e esgotamentos sanitários não tratados (Esteves, 1988; Marins *et al.*, 2007).

Os mecanismos de transferência de fósforo da coluna de água para o sedimento são: (a) sedimentação de fósforo mineral detrítico proveniente da coluna de água; (b) adsorção ou precipitação de compostos inorgânicos; (c) sedimentação do fósforo com matéria orgânica alóctona; (d) retirada de fósforo da coluna pela biota na superfície sedimentar e (f) processos diagenéticos e de transferência com a superfície sedimentar. A liberação de fósforo do sedimento para a coluna de água ocorre basicamente através dos seguintes processos de mobilização: (a) físicos e químicos (a desorção, a dissolução de fósforo de precipitados e trocas de íons entre ortofosfato e OH⁻ ou agentes quelantes e (b) bioquímicos. Uma proporção significativa das frações de fósforo fica retida no sedimento geralmente associado ao óxido de ferro(Boström et al, 1988 apud Brephol, 2000; Zhang et al, 1998).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 AMOSTRAGEM – TRABALHOS DE CAMPO

As amostragens dos sedimentos de fundo foram realizadas durante as campanhas de campo do Projeto Piatam mar com o auxílio de um barco de grande porte e os pontos de coleta georeferenciados por um GPS. As amostras mais próximas da costa, onde a profundidade é insuficiente para a entrada do barco maior, foram coletadas com o auxílio de embarcação tipo “voadeira”. Foram coletadas amostras no ano de 2007 (baía do Guajará e rio Guamá), abril/2007 (rio Pará-Barcarena) e outubro/2008 (arquipélago do Marajó). A amostragem foi realizada com uma draga em aço inoxidável tipo Petersen e o material coletado foi estocado sob refrigeração a 4 °C.

Foram coletados 83 pontos na baía do Guajará e rio Guamá, 60 pontos próximos ao rio Arari (baía de Marajó). Os pontos e suas coordenadas estão apresentados no Anexo I:

Área 1: Rio Guamá e Baía do Guajará (Figura 4), com uma malha de amostragem de 83 amostras.

Área 2: Ilha do Marajó (Figura 5), região pouco impactada, rota para transporte de combustíveis.

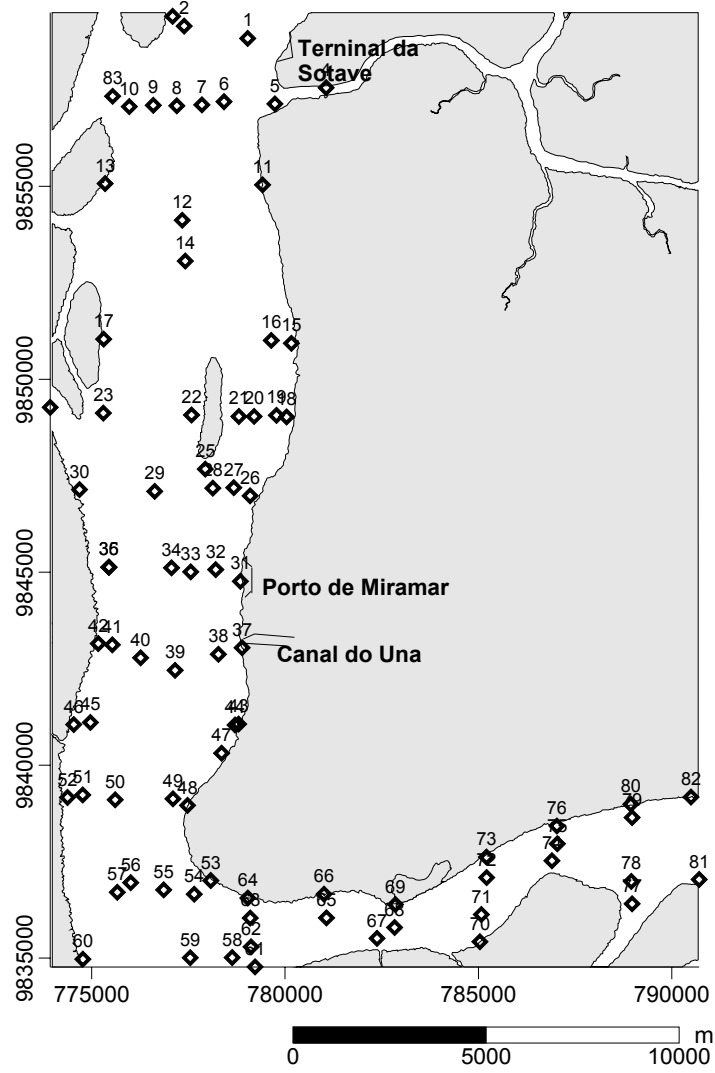


Figura 5.1.1: Mapa de distribuição dos pontos da Área 1, rio Guamá e baía do Guajará.

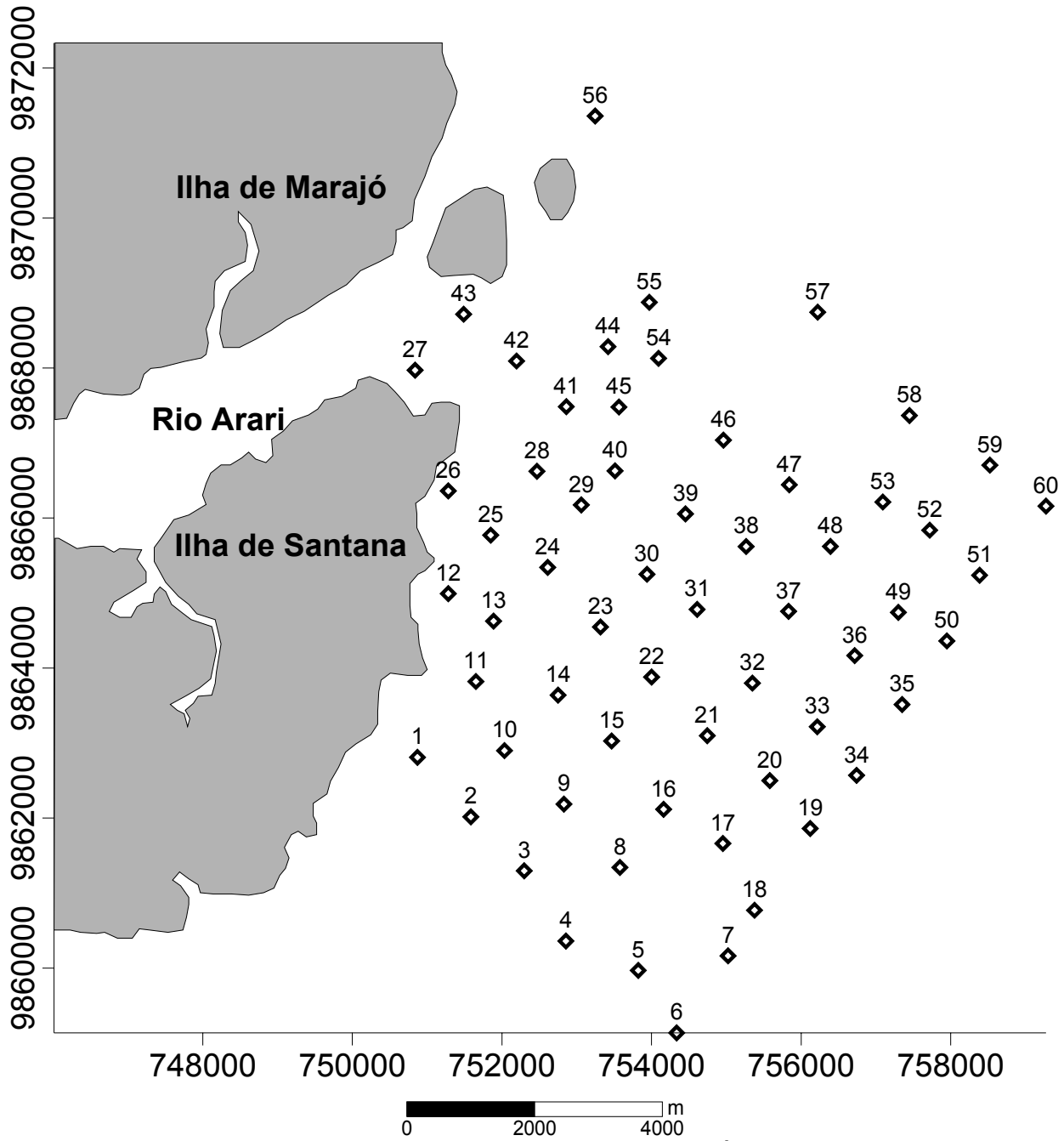


Figura 5.1.2: Mapa de distribuição dos pontos da Área 2, Marajó.

5.2 ANÁLISES DE LABORATÓRIO

Os sedimentos foram secos a temperatura ambiente e a 60 ° C; foram peneirados em malha de 0,62 µm (por via úmida com água bi-deionizada) e secos em estufa, macerados em gral de ágata e condicionados em sacos plásticos, procedimentos realizados nos laboratórios do Museu Paraense Emílio Goeldi – CCTE.

5.2.1 Difração de raio-x

A técnica de difração de raios-X tem sido amplamente utilizada na determinação de fases cristalinas nos mais diversos tipos de materiais, sejam eles de origem natural ou sintética e para este trabalho foi realizada a análise de amostra total. As análises foram realizadas em um Difratorômetro de Raios-X modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60) da PANalytical, com Goniômetro PW3050/60 (Theta/Theta), tubo de Raios-X cerâmico e anodo de cobre ($K\alpha_1=1,540598 \text{ \AA}$), modelo PW3373/00 com foco fino longo (2200W- 60kV) e filtro $K\beta$ de níquel. O detector utilizado é o X'Celerator, do tipo RTMS (Real Time Multiple Scanning), atuando no modo Scanning e com um active length de 2,122°.

As condições instrumentais utilizadas foram: varredura de 4° a 75° em 2θ ; voltagem de 40 kV e corrente de 40 mA; tamanho do passo: 0,02° em 2θ e 20s o tempo/passo; fenda divergente de 1/8° e anti-espalhamento de 1/4°; máscara de 10 mm; amostra em movimentação circular com frequência de 1 rotação/s.

O software usado para o processamento de dados da análise foi o X Pert Data Collector, versão 2.1a, e o software usado na identificação de fases cristalinas foi o X Pert High Score versão 2.1b, ambos da PANalytical. Tanto os equipamentos quanto os softwares utilizados pertencem ao Laboratório de Raios-X do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará.

5.2.2 Fluorescência de raios-x

As análises foram realizadas em um equipamento de fluorescência de raios-x da Panalytical modelo Axios minerals (figura 5.2.1) do laboratório de raio-x do Instituto de Geociências-UFPA. As determinações foram feitas no programa IQ+ Semiquant, por fluorescência de raios X em disco

de vidro e pastilha prensada para elementos maiores e traços, utilizando o espectrômetro sequencial *Axios Minerals*, tubo de raios-x cerâmico anodo de Rh de 2,4kW, PANalytical.

A aquisição de dados foi feita com o software *SuperQ Manager*, e o tratamento dos dados com o software *IQ+*, também da PANalytical, sendo o resultado normalizado para 100%. Para o preparo das pastilhas foi pesado 3g de amostra, misturada com parafina e prensada.



Figura 5.2.1: Espectrômetro de fluorescência de raios-x

5.2.3 Nutrientes

- Nitrogênio

O nitrogênio foi analisado pelo método micro-Kjeldhal, onde o nitrogênio orgânico é digerido e convertido em sulfato de amônio com a liberação da amônia durante a destilação. Pesou-se uma alíquota de 0,5 g de amostra, em seguida transferida para um tubo digestor juntamente com 15 mL de solução digestora sob aquecimento (350°C) por 3 horas ou total destruição da matéria orgânica, identificada pela coloração esverdeada. Ao término da digestão, a amostra é levada ao destilador, adiciona-se 20 mL de NaOH 30% e inicia-se a destilação. Um erlenmeyer com 25 mL de ac. Bórico 4% e 5 gotas de indicador misto é utilizado para receber os gases amoniacais resultantes. Após, titula-se com solução padrão de H₂SO₄ 0,02 N até a mudança de cor lilás para rósea.

O teor de N é calculado pelo volume gasto na titulação, pelo fator de correção do H₂SO₄ e a constante 0,056, de acordo com a equação: **N% = V*f*0,056**

- Carbono orgânico

A determinação do C foi realizada por volumetria de oxi-redução, pelo método de Walkley-Black, baseado na ação oxidante do dicromato de potássio, em meio ácido, sobre a matéria orgânica e a titulação do excesso com sulfato ferroso amoniacal. Pesou-se uma alíquota da amostra de 0,3 g em um erlenmeyer e adiciona-se 10 mL de dicromato de potássio 1N e 10 mL de H₂SO₄ P.A depois de 30 minutos adiciona-se 3 mL de H₃PO₄ P.A, 50 mL de água destilada e 10 gotas de indicador difenilamina a 1% e titula-se com sulfato ferroso amoniacal 0,5 N.

O teor de carbono orgânico é determinado pela seguinte equação:

$$C\% = (\text{Volume do branco} - \text{Volume da amostra}) * f_{\text{sulfato ferroso}} * 0,3 / (\text{peso amos.}) * 0,77$$

O teor de Materia Orgânico é encontrado pela equação:

$$MO\% = C\% * 1,72$$

- Fósforo total (P-total)

O método empregado na análise de fósforo total foi o proposto por Williams modificado por Cavalcante (apud PROTAZIO et al., 2004) no qual se pesa 0,5g da amostra de sedimento em cadinhos de porcelana levando-os ao forno mufla à temperatura de 550°C por uma hora. Após a perda ao fogo, transfere-se as amostras para tubos de polietileno de 50mL para lixiviação dos sedimentos nos quais se adiciona 20 mL da solução de ácido clorídrico (HCl) 3,5molL⁻¹, colocando-os sobre agitação mecânica por 16 horas. Centrifuga-se por 5 minutos a 3500 rpm de rotação. Descarta-se o material precipitado e analisa-se o teor de P (como ortofosfato) no sobrenadante. As leituras foram efetuadas em um espectrofotômetro Spectro Vision UV-VIS DB1880S Double Beam (figura 5.2.2), a um comprimento de onda 830nm e cubeta de vidro de 1cm de caminho ótico.



Figura 5.2.2: espectrofotômetro Spectro Vision UV-VIS DB1880S Double Beam

- Fósforo ligado a compostos orgânicos (P-orgânico)

O fósforo ligado a compostos orgânicos (fósforo orgânico) foi determinado pelo método proposto por Williams (apud PROTAZIO et al., 2004). Neste método a alíquota de 0,5g de amostra é pesada no tubo de lixiviação e nele são adicionados 20 mL de HCl 1 molL⁻¹, permanecendo o tubo em agitação mecânica por 16 horas. . A amostra foi centrifugada por 5 minutos a 3500 rpm, rejeitando-se o sobrenadante. Ao resíduo, foram adicionados 12 ml de água destilada e manteve-se sob agitação por 5 minutos, sendo posteriormente filtrada. Este é levado para estufa à temperatura de 105°C, seguido pela mufla a 550°C durante 1 hora. O resíduo foi colocado sob agitação em 20 mL de HCl 1M por 16 horas e centrifugado por 5 minutos a 3500 rpm. As leituras foram efetuadas em um espectrofotômetro Spectro Vision UV-VIS DB1880S Double Beam, a um comprimento de onda 830nm e cubeta de vidro de 1cm de caminho ótico.

6 RESULTADOS

6.1 MINERALOGIA

6.1.1 Área 1

As lâminas orientadas analisadas mostraram a presença constante, em proporções variáveis, de esmectita, illita e caulinita, em todas as amostras. Todas apresentam quartzo, representado pelo pico principal em $3,34\text{Å}$, e a amostra BG-013 apresenta K-feldspato e a amostra BG 4 pico de $2,81\text{Å}$ halita (sal).

Um diagrama esquemático com a superposição dos difratogramas das três varreduras realizadas (seca ao ar, glicolada e aquecida), está apresentado na Figura 6.1.1.

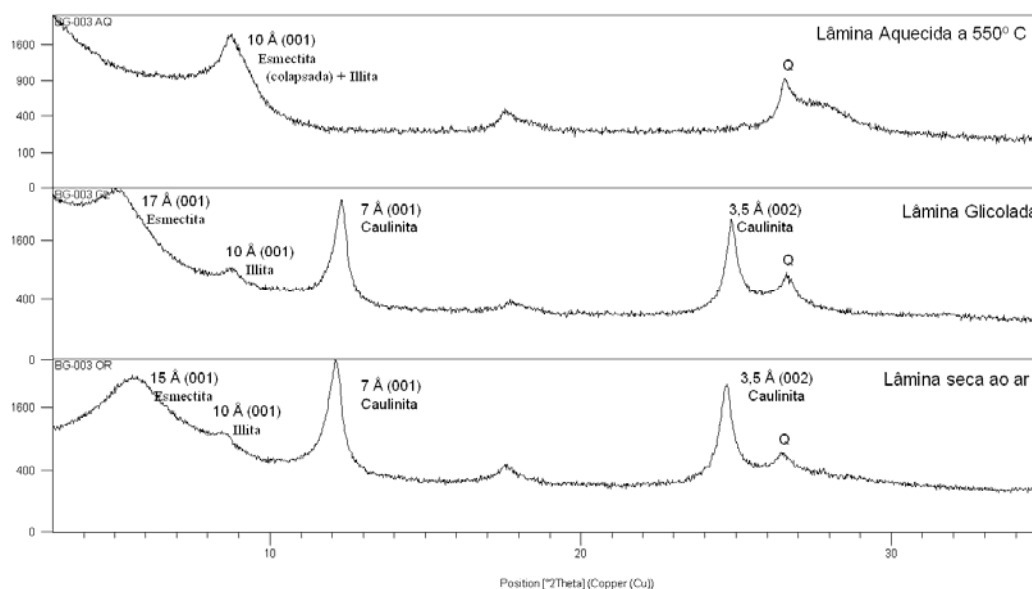


Figura 6.1.1: Difratograma da amostra BG 3

Todos os difratogramas coletados estão apresentados no Anexo III, sendo que uma superposição, apenas das lâminas glicoladas, está apresentada na Figura 6.1.2, mostrando a nítida variação nas intensidades dos picos principais da esmectita.

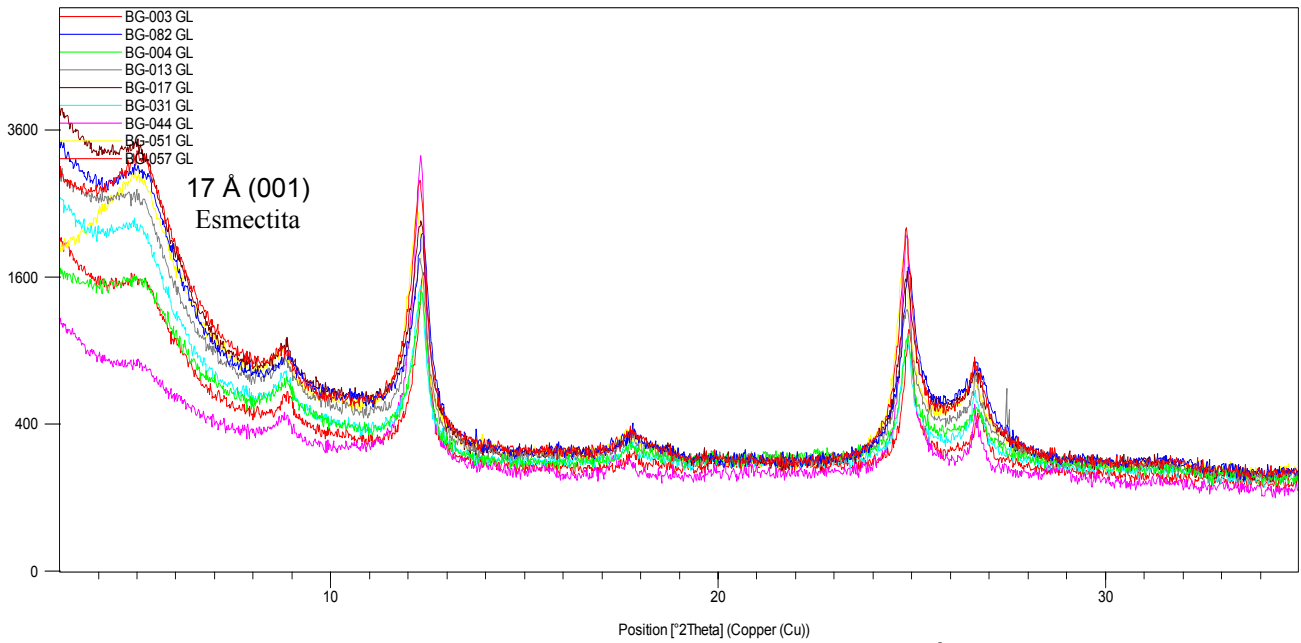


Figura 6.1.2: Difratoograma das lâminas glicoladas, Área 1

Dentre as variações observadas, a amostra BG-44 (figura 6.1.3) é a que apresenta o menor conteúdo de esmectita, localizada ao sul da baía na margem direita, segundo a Figura 6.1.4.

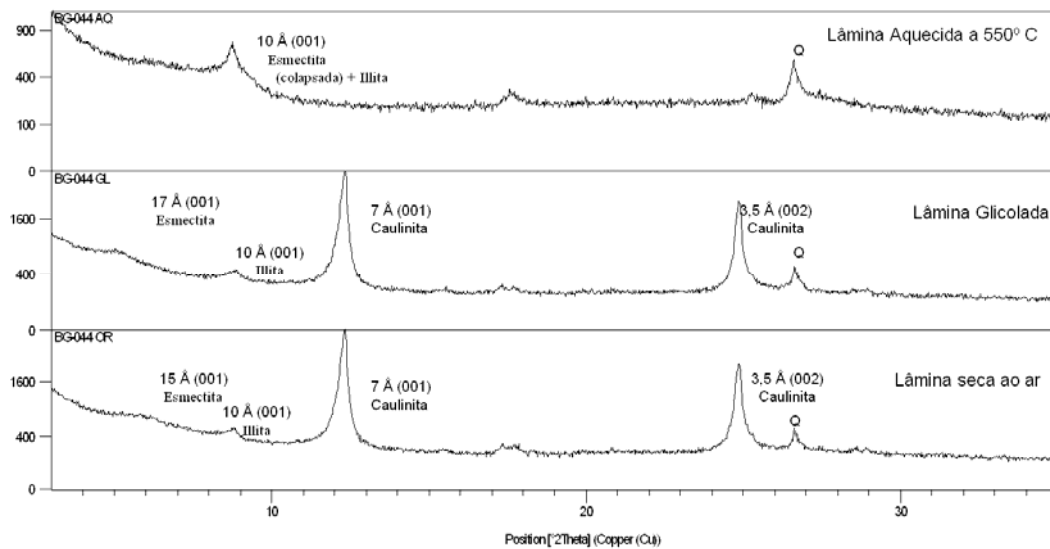


Figura 6.1.3: Difratoograma da amostra BG 44

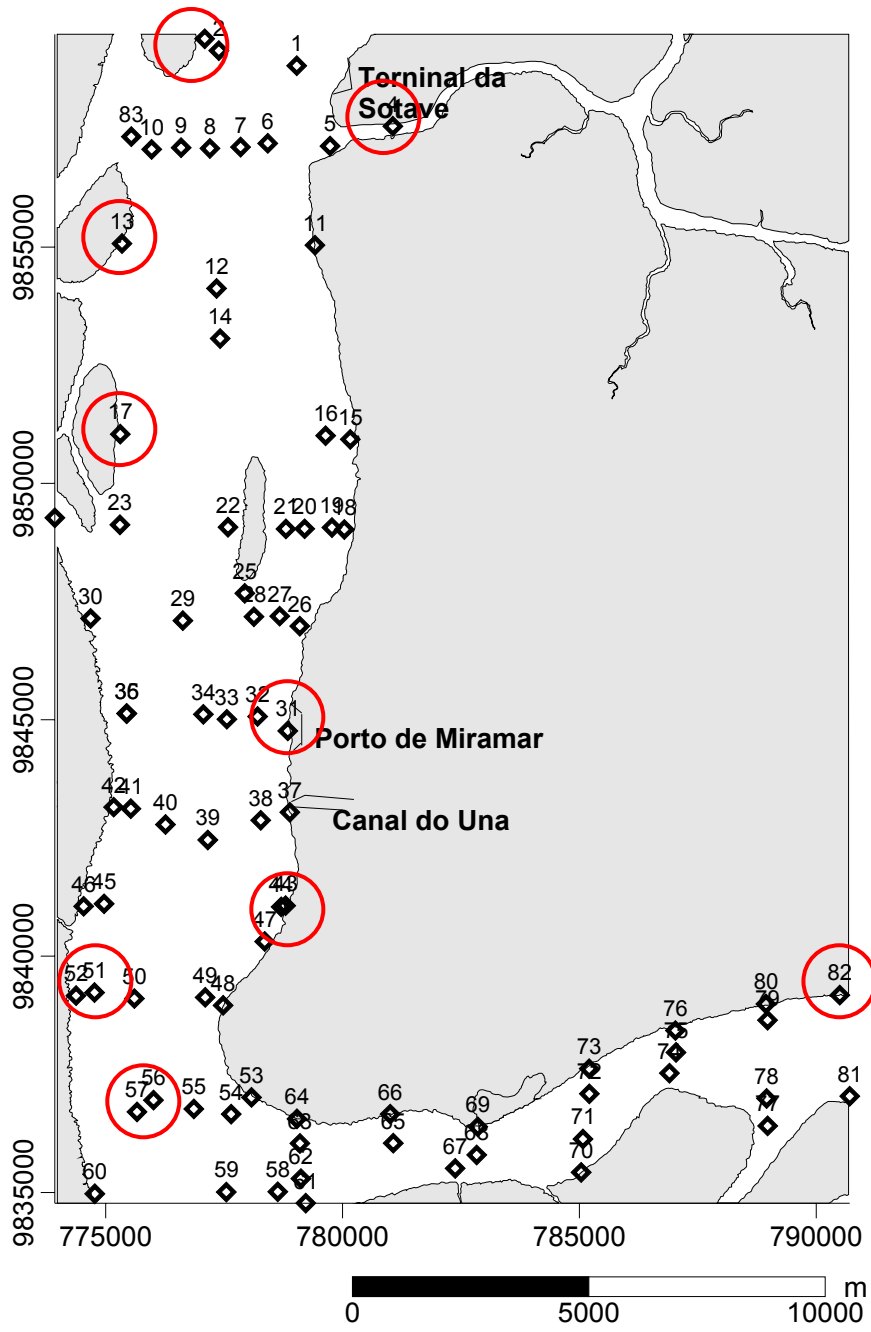


Figura 6.1.4: Distribuição dos pontos da Área 1, Rio Guamá e Baía do Guajará.

6.1.2 Área 2

As lâminas orientadas analisadas mostraram a presença constante, em proporções variáveis, de esmectita, illita e caulinita, em todas as amostras. Todas apresentam pequenas quantidades de quartzo.

Um diagrama esquemático com a superposição dos difratogramas das três varreduras realizadas (seca ao ar, glicolada e aquecida), está apresentado na Figura 6.1.5. Cujas amostras apresentaram maior conteúdo de esmectita.

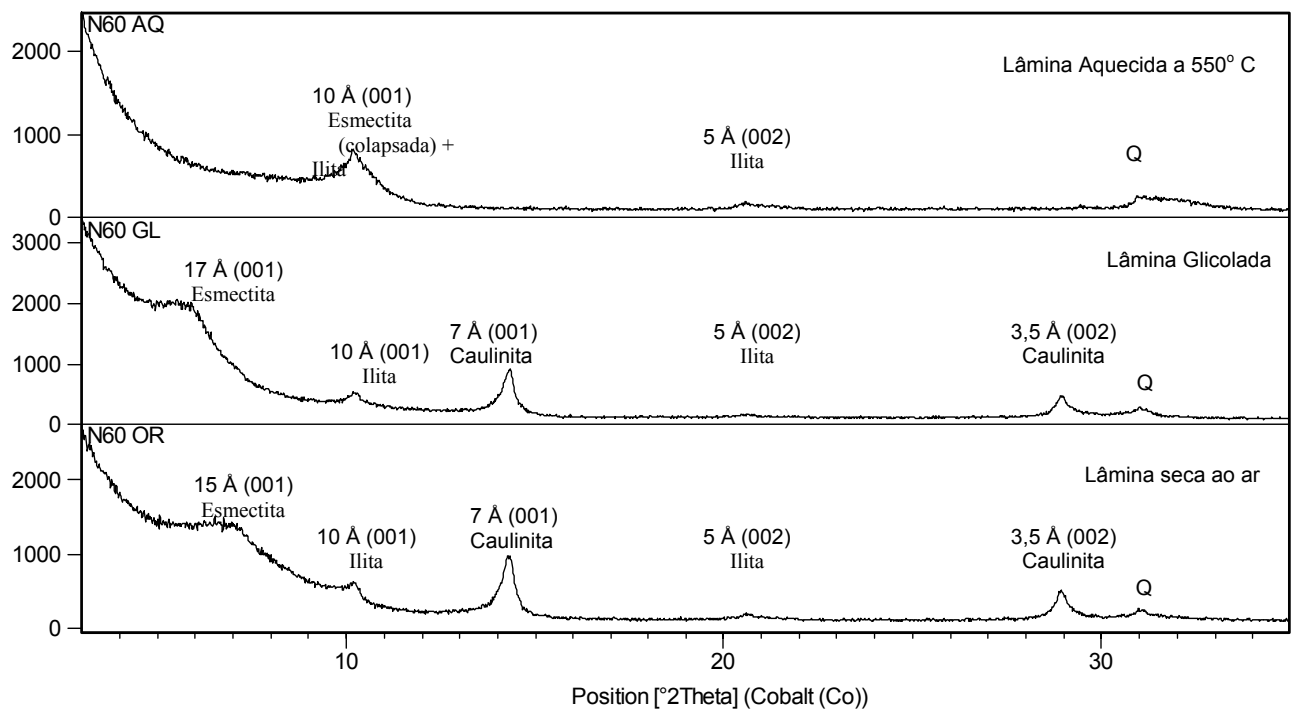


Figura 6.1.6: Difratograma da amostra BM 60

Todos os difratogramas coletados estão apresentados no Anexo III, sendo que uma superposição, apenas das lâminas glicoladas, está apresentada na Figura 6.1.7, mostrando a nítida variação nas intensidades dos picos principais da esmectita. A localização das amostras da Área 2 está demonstrada na figura 6.1.7.

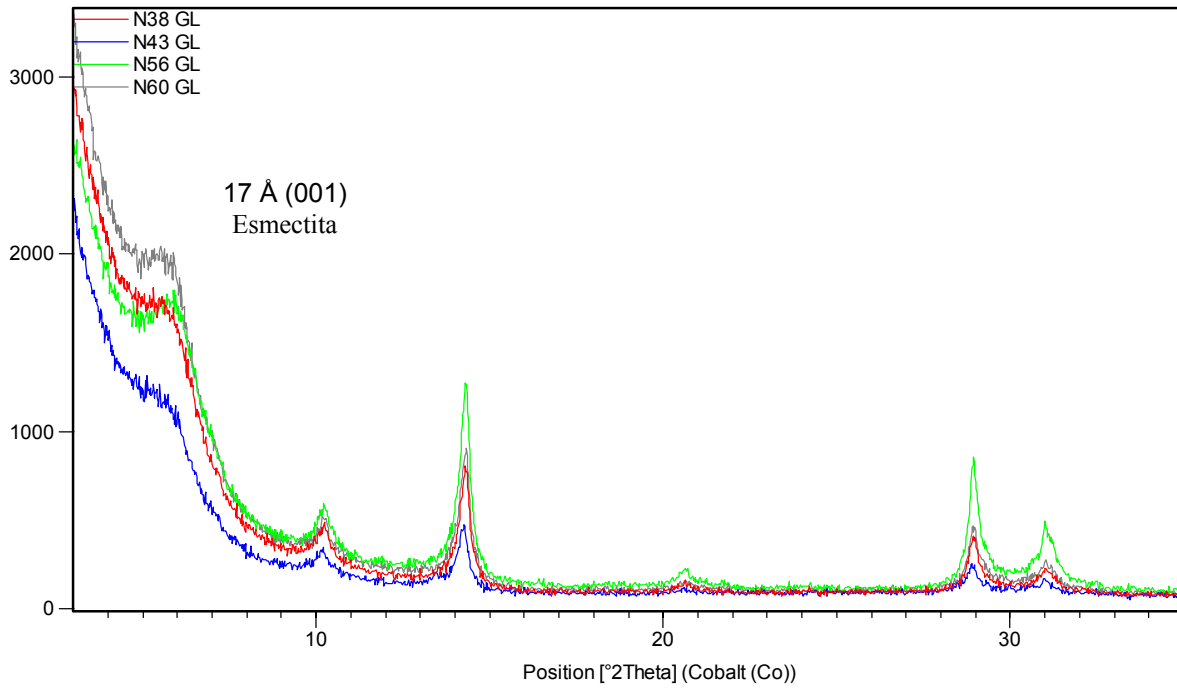


Figura 6.1.7: Difratoograma das lâminas glicoladas, Área 2

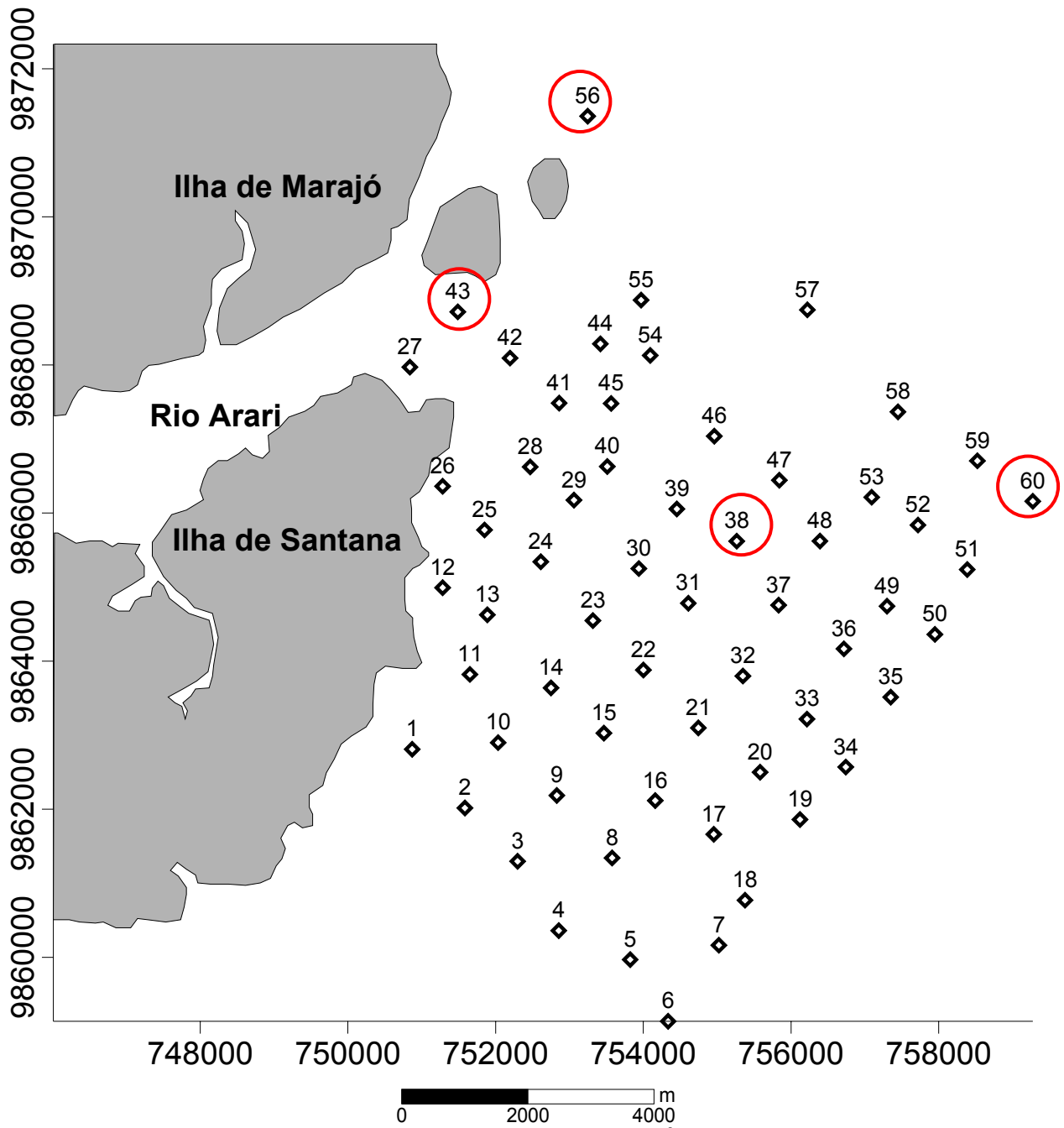


Figura 6.1.7: Distribuição dos pontos da Área 2, Marajó.

6.2 GEOQUÍMICA

Para a geração dos mapas de isovalores foi utilizada a metodologia de interpolação matemática Krigagem, através do software Surfer 8.0. Esta metodologia consiste numa interpolação de dados planilhados, organizados em três colunas: (X) longitude, (Y) latitude e (Z) concentração da amostra. Em posse desses três dados, os mesmos foram salvos em planilhas *.xls.

6.2.1 Nitrogênio

As tabelas 6.2.1 e 6.2.3 apresentam os valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão (σ) para as concentrações de nitrogênio, carbono, razão C/N, fósforo e fósforo ligado a compostos orgânicos analisados nos sedimentos de fundo da Área 1 e Área 2 enquanto a tabela 2 traz o levantamento histórico da Área 1. Os resultados completos encontram-se no ANEXO II.

Tabela 6.2.1: Sumário estatístico da Área 1.

Área 1 (Baía do Guajará)	N (%)	C (%)	C/N	P (mg/Kg)	P-org (mg/Kg)
Média	0,08	1,51	19	307	126
Mínimo	0,01	0,15	2	44	19
Máximo	0,15	3,25	54	693	399
σ	0,03	0,77	10	127	71
n	80	80	80	83	83

Tabela 6.2.2: Levantamento histórico (C e N em %, P em mg/Kg)

	N	C	P
Pereira (2001) ²	0,11	0,93	495
Carvalho (2002) ²	0,09	1,17	309

Tabela 6.2.3: Sumário estatístico da Área 2.

Área 2 (Baía do Marajó)	N (%)	C (%)	C/N	P (mg/Kg)	P-org (mg/Kg)
Média	0,08	0,98	15	193	7
Mínimo	0,01	0,33	3	40	<1
Máximo	0,13	1,45	93	537	20
σ	0,03	0,22	15	150	6
n	60	60	60	60	60

O valor médio de nitrogênio encontrado na Área 1 foi de 0,08 %. Os valores oscilaram entre 0,01 % no ponto BG 63 e 0,15 % no ponto BG 26 que se encontra na margem leste e ao norte do porto de Miramar (Figura 6.2.1). Os maiores teores de nitrogênio foram encontrados onde

predomina a fração mais fina do sedimento, coincidindo com pontos de alta influência antrópica, como por exemplo, nas proximidades do canal do Una e do porto de Miramar como também no rio Maguari e nas proximidades da sua foz e o terminal da Sotave. Os pontos BG 13 e BG 42 localizados a margem oeste foram encontrados teores de 0,13 % e 0,14%, valores anômalos para esta margem, pois sua média é 0,07%. Na figura 6.2.1 apresenta-se a distribuição do nitrogênio da Área 1.

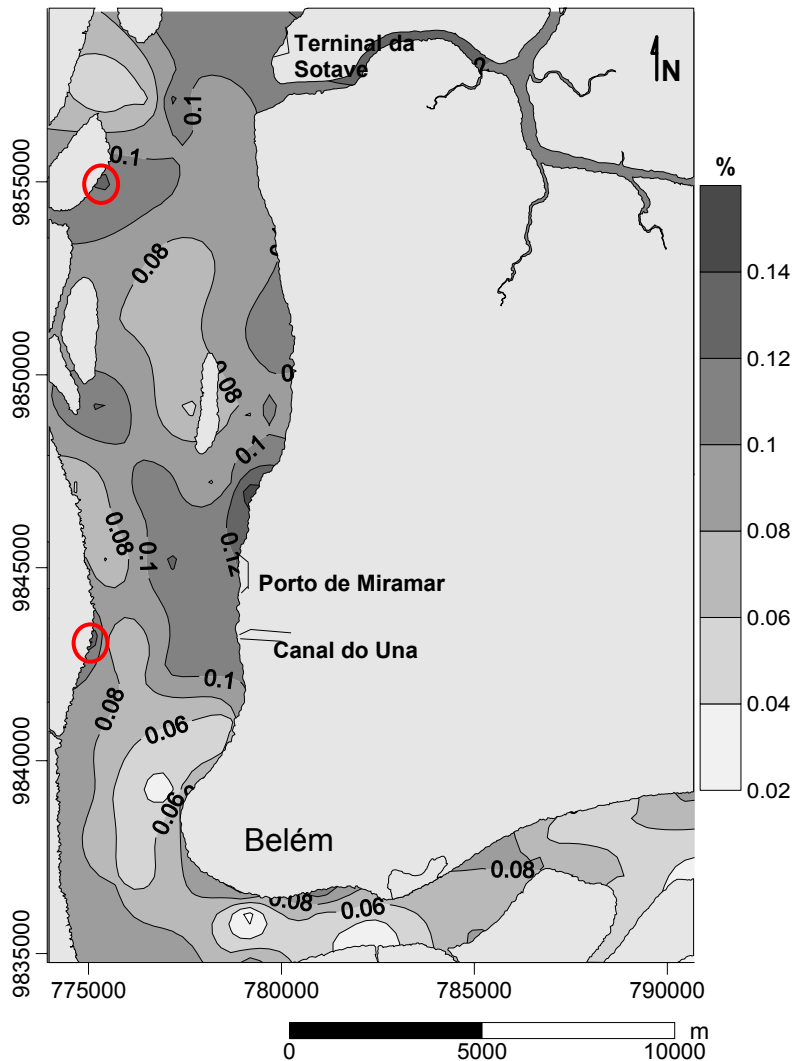


Figura 6.2.1: Mapa de distribuição do nitrogênio na Área 1.

Nos trabalhos realizados por Pereira (2001) e Carvalho (2002), ambos realizados na margem direita da baía do Guajará, nas proximidades do canal do Uma, Icoaraci e no rio Guamá, os teores médios encontrados foram, respectivamente, (0,11%) e (0,09%), havendo similaridade nos valores encontrados na área, revelando pouca alteração no aporte de nitrogênio na região.

O teor médio encontrado na Área 2 foi de 0,08 % com um teor mínimo de 0,01 %, encontrado nos pontos BM 23 e BM 25 localizados próximos a ilha de Santana e teor máximo de 0,13 %, no ponto BM 27 localizado na foz do rio Arari. Os maiores teores de nitrogênio encontram-se na foz do Arari, ao sul e no meio da baía a direita da ilha de Santana. O setor norte é mais pobre em nitrogênio que o setor sul, influenciado pela granulometria mais grosseira ao norte e nas proximidades da ilha de Santana, onde se encontram os menores teores. Sedimentos finos possuem maior área superficial, propiciando adsorção de elementos. O ponto BM 53 assim como os pontos BM 39, BM 46 e BM 17 formando três regiões que não seguem a tendência de enriquecimento ao se afastarem da ilha de Santana, como pode ser observado na figura 6.2.2.

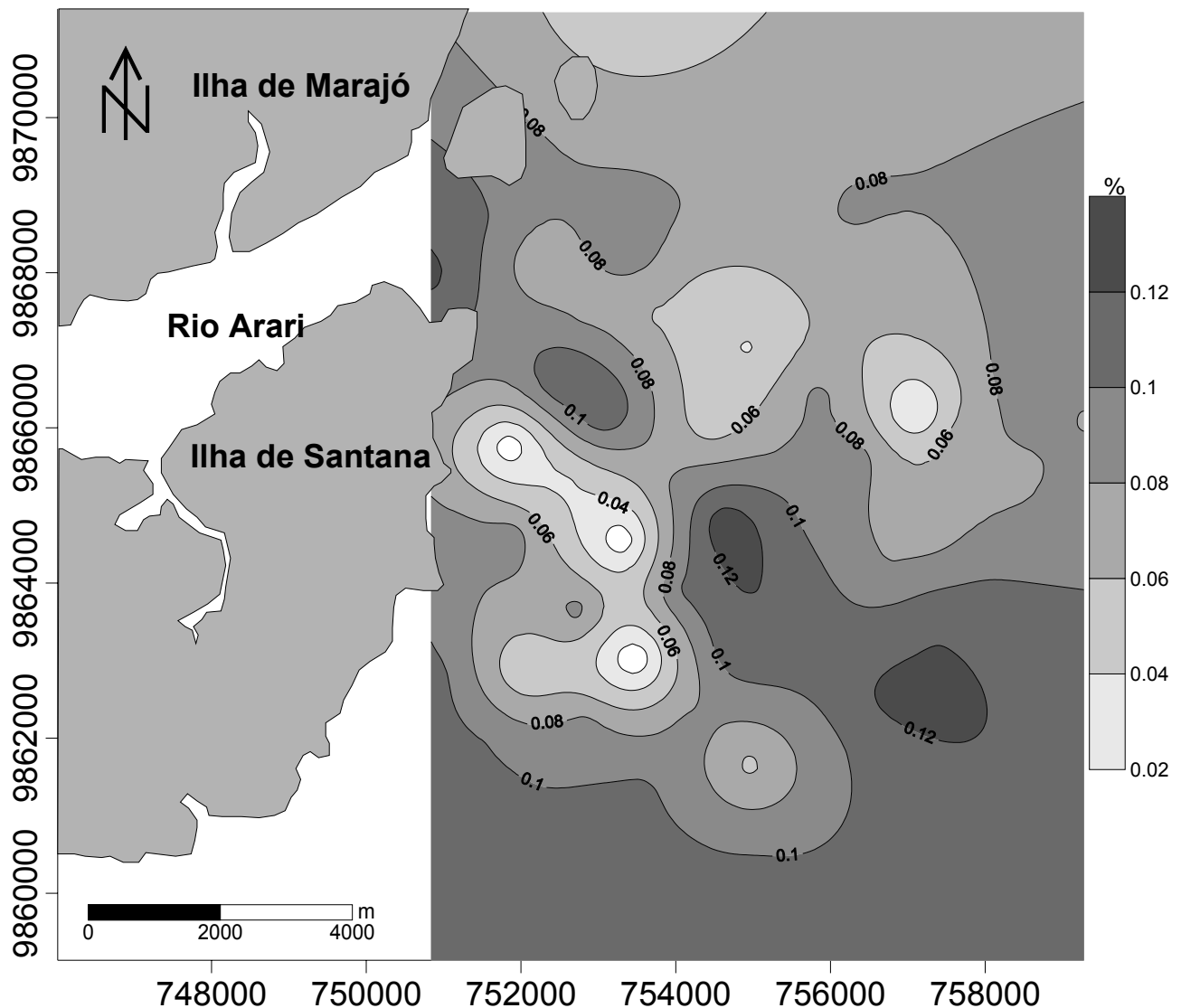


Figura 6.2.2: Mapa de distribuição do nitrogênio na Área 2.

Os teores de nitrogênio nas duas áreas são baixos. O nitrogênio é melhor distribuído na Área 2, como esperado, devido a maior influência antrópica na Área 1, onde os pontos com maiores teores encontram-se.

6.2.2 Carbono

O carbono orgânico total é formado pelo carbono orgânico detrítico e o carbono orgânico da biota. O carbono orgânico detrítico é, por sua vez, composto pelo carbono orgânico dissolvido e pelo carbono orgânico particulado. O carbono orgânico dissolvido origina-se da decomposição de plantas e animais. Ele atua como importante captor de metais formando complexos que são arrastados e distribuídos nos sedimentos de fundo e em suspensão (Esteves, 1988).

A média dos teores de carbono orgânico na Área 1 foi de 1,51 % com um valor mínimo de 0,15 %, no ponto BG 17, e máximo de 3,25 %, no ponto BG 11. Abaixo da foz do Maguari, encontram-se três pontos com altos teores: BM 11 (3,25 %), BM 8 (3,16%) e BM 13 (3,14%). Esses pontos, juntamente com a região próxima do canal do Una (3 %) são os setores em que há maior enriquecimento de carbono orgânico da Área 1. Também merece destaque o enriquecimento no rio Guamá (2,7 %), provável contribuição do rio Aurá. Na figura 6.2.3 encontra-se a distribuição do teor de carbono.

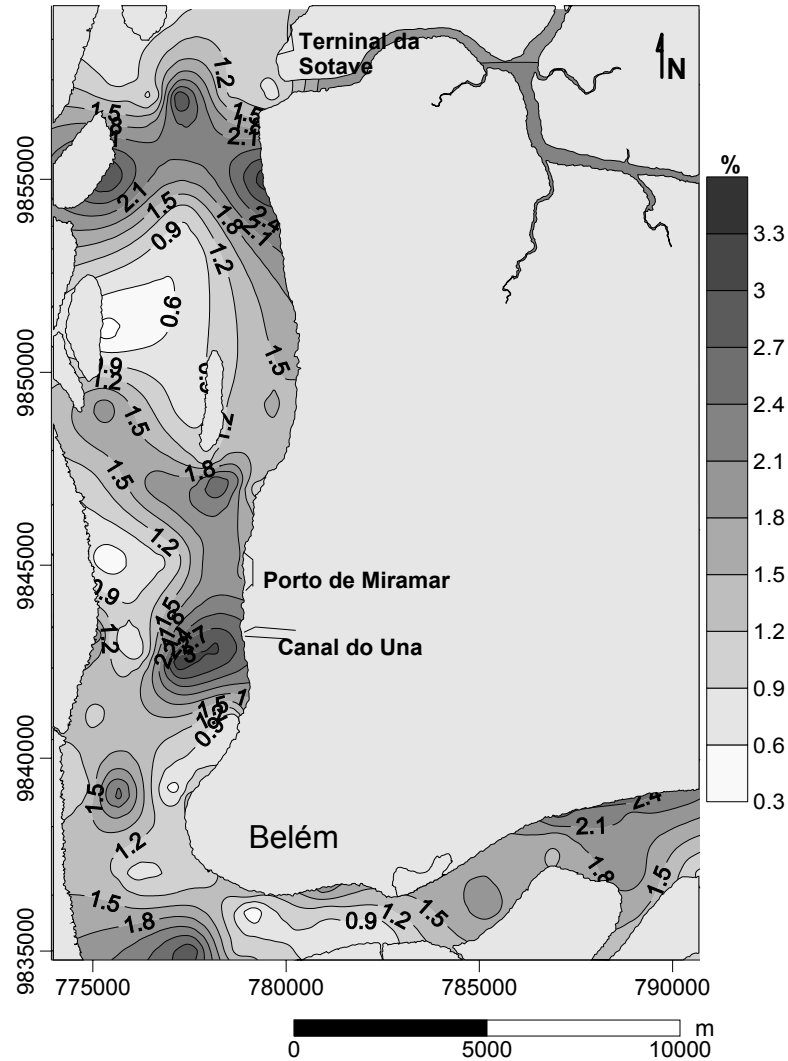


Figura 6.2.3: Mapa de distribuição de carbono na Área 1.

Os teores mais altos de carbono encontram-se onde predomina a fração lama. Comparando com os trabalhos realizados por Pereira (2001) e Carvalho (2002), cujos teores médios foram (0,93%) e (1,17%), respectivamente, nota-se o enriquecimento de carbono orgânico na área, provavelmente proveniente do esgoto despejado *in natura* uma vez que os pontos que apresentam maiores teores encontram-se nas proximidades dos locais de lançamentos.

O teor médio de carbono encontrado na Área 2 foi de 0,98 % com valor mínimo de 0,33 %, no ponto BM 19, localizado ao sul e bem afastado da ilha de Santana, e o teor máximo encontrado de 1,45 %, no ponto BM 34, localizado próximo do ponto BM 19. É possível perceber a influência do arquipélago devido ao teor de 1,2 % encontrado na foz do rio Arari. Na figura 6.2.4 encontra-se a distribuição do teor de carbono.

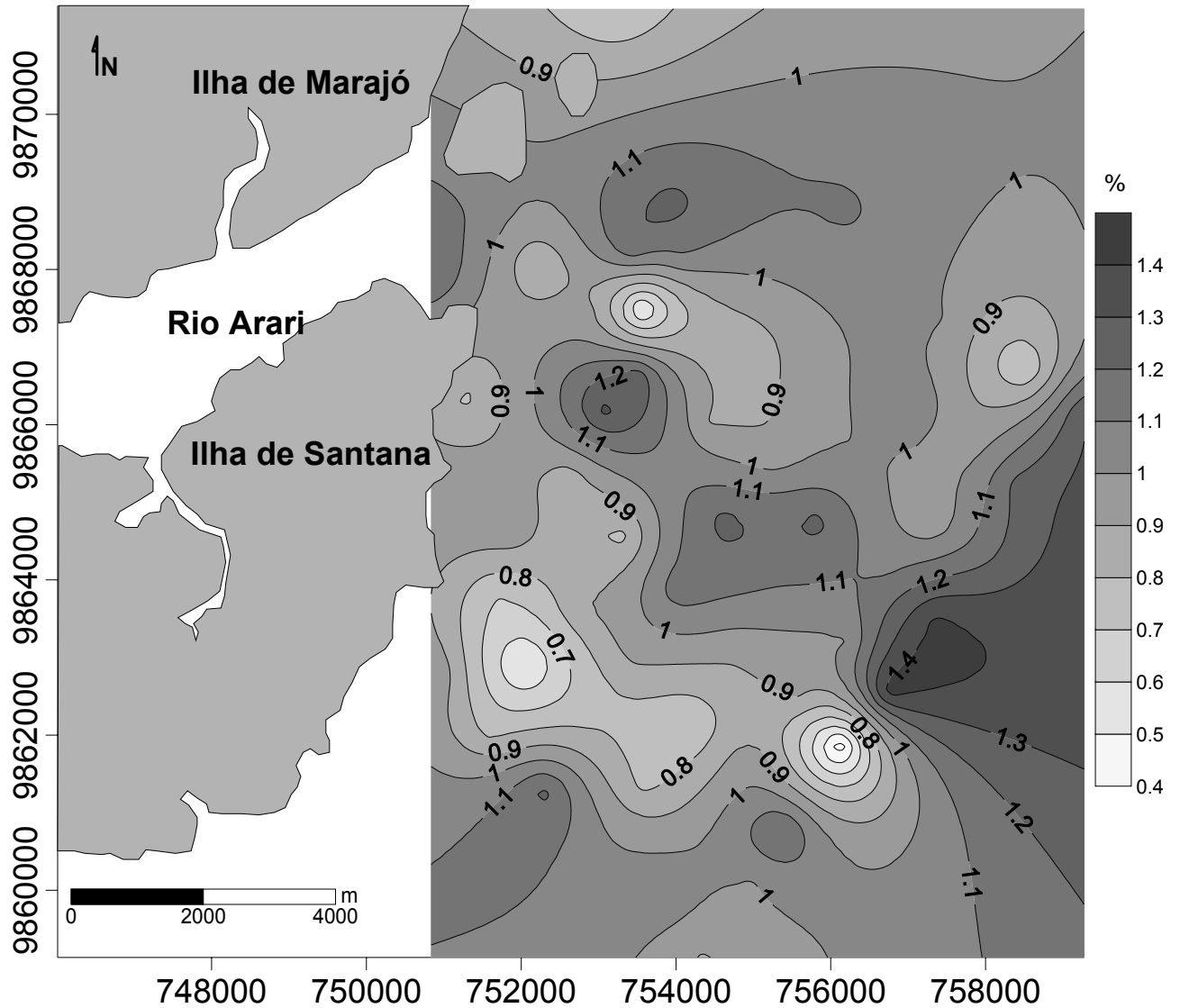


Figura 6.2.4: Mapa de distribuição de carbono na Área 2.

Na baía de Marajó, região de baixo impacto antropogênico, os teores de carbono são baixos e os teores mais elevados encontram-se afastados do arquipélago. Possui uma distribuição de teores homogênea com oscilações mais baixas entre os teores de carbono orgânico, comparando com a Área 1, onde a tendência de enriquecimento apresenta-se na predominância de lama.

6.2.3 C/N

A relação C/N é utilizada por décadas para avaliar a relativa influência da matéria orgânica terrestre e marinha em diversos ecossistemas (Bordovskiy, 1965). Saito *et al*, (1989) sugeriu que valores de C/N maiores que 20 são origem terrestre e valores entre 5 e 7 como de origem oceânica.

Além disso, Stein, (1991) relatou que valores menores que 10 são estritamente de origem marinha e entorno de 10 de origem marinha e terrestre.

Na Área 1 a relação C/N apresentou um valor mínimo de 2 e o máximo de 54, com media de 20 significando que predomina a influência do continente. Isso corrobora os teores antrópicos de C e n na Área 1. A distribuição da razão C/N está na figura 6.2.5.

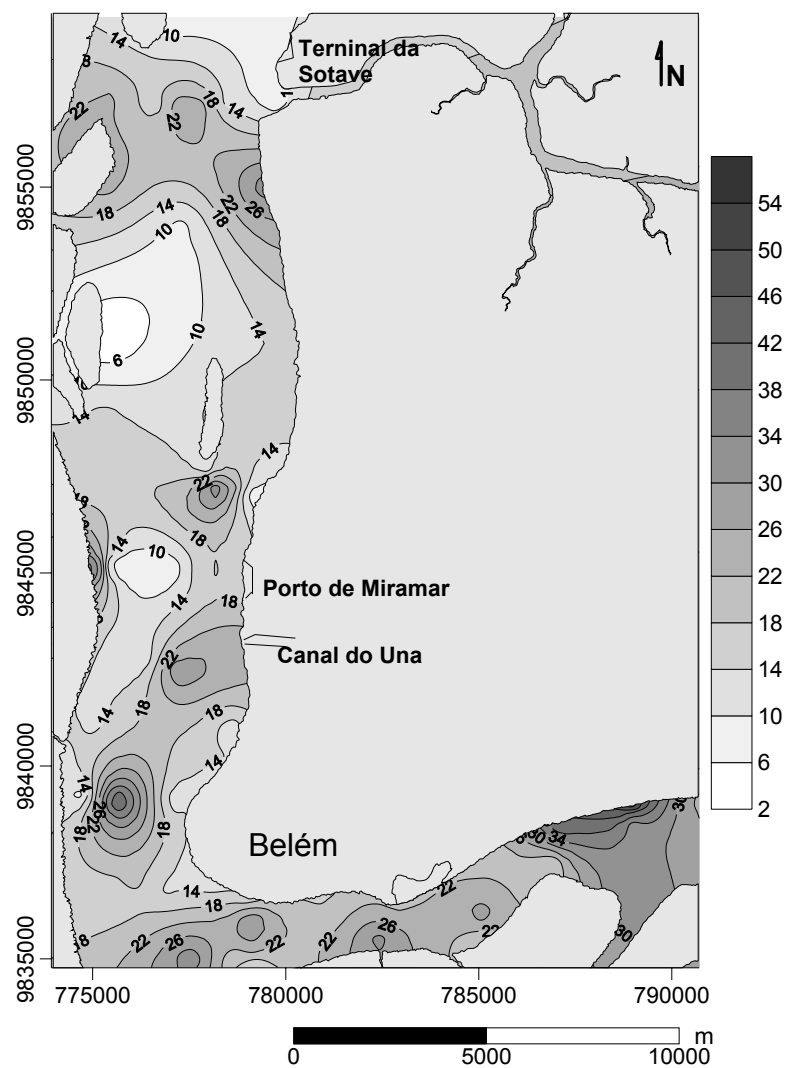


Figura 6.2.5: Mapa de distribuição da razão C/N Área1.

Na Área 2 a razão C/N apresentou um valor mínimo de 3 e o máximo de 93 (media de 15) com três pontos anômalos: o BM 53 (54), BM 23 (74) e o BM 25 (93). A variação dominante, contudo é de 3 a 21, forte influência marítima (figura 6.2.6).

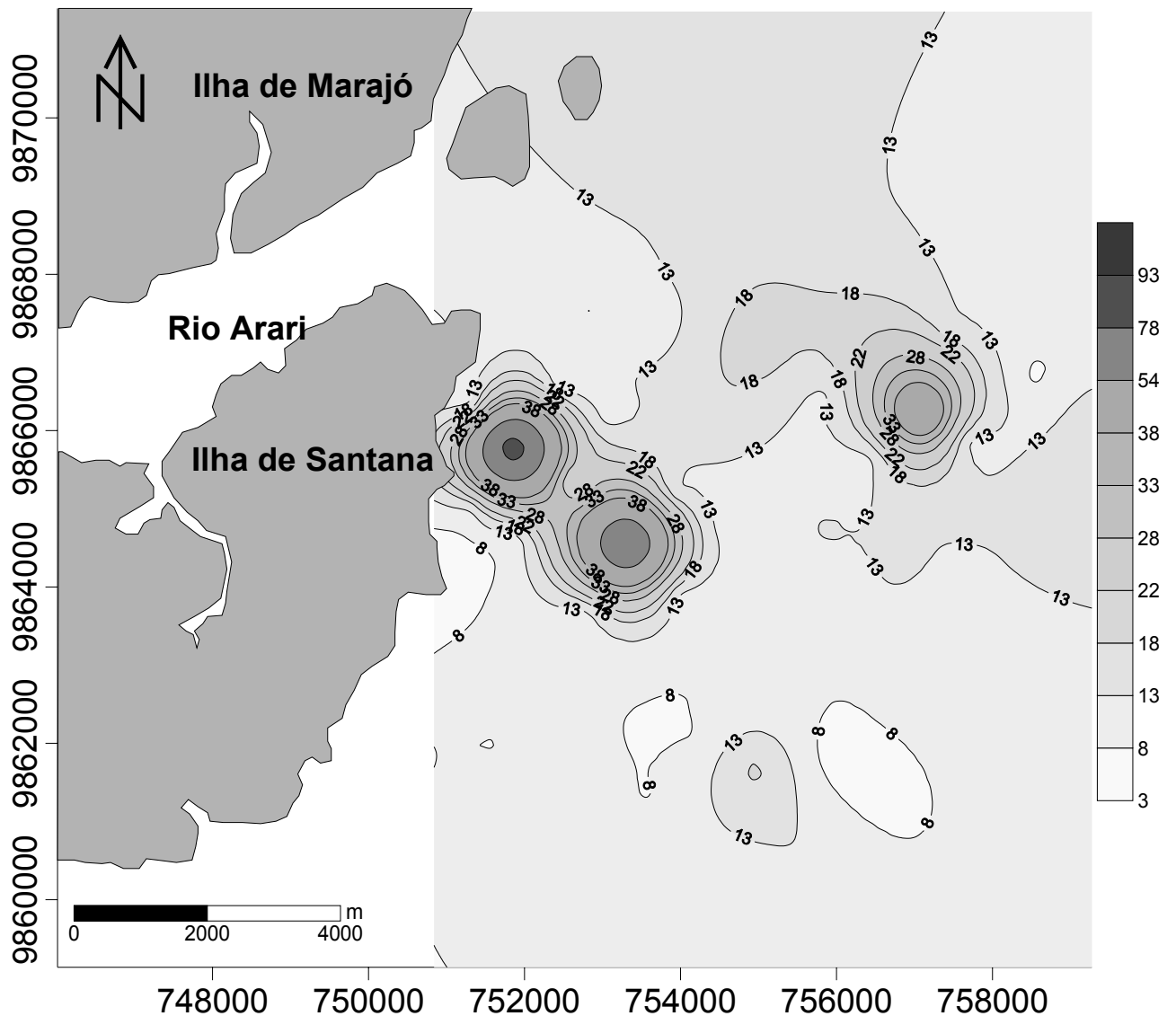


Figura 6.2.6: Mapa de distribuição da razão C/N Área 2.

6.2.4 Fósforo total

Os sedimentos podem contribuir com fluxos significativos de fosfatos, provavelmente oriundos da decomposição de matéria orgânica depositada. Podem ainda ser incrementados por atividade biogênica e resuspensão de sedimentos (Esteves, 1988). Podem ser adsorvidos nas argilas e essa adsorção é favorecida pela diminuição do pH (Stumm & Morgan, 1981).

A Área 1 apresentou concentração de média 307 mg/Kg com valor mínimo de 43 mg/Kg, no ponto BG 7, e máximo de 693 mg/Kg, no ponto BG 44, localizados na margem direita próximo ao canal do Una. A maior concentração de fósforo encontra-se nas proximidades do canal do Una, nas proximidades da foz do Maguari e do Guamá provavelmente relacionado aos efluentes domésticos e industriais. O comportamento do fósforo é aleatório com pontos de alta concentração seguidos de pontos de baixa concentração, tanto na baía como no rio Guamá, como por exemplo,

se compararmos alguns pontos como o BG 6 (606 mg/Kg) e BG 7 (43 mg/Kg) e os pontos BG 77 (106 mg/Kg) com o BG 80 (259 mg/Kg). A distribuição de fósforo encontra-se na figura 6.2.7.

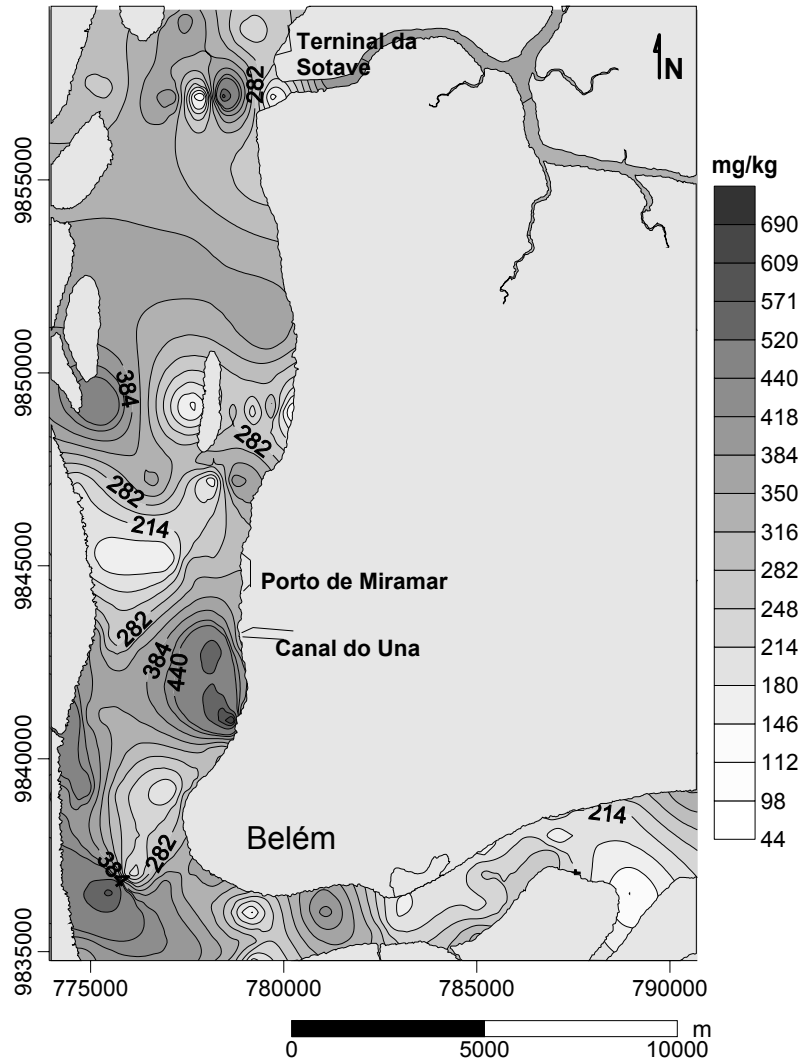


Figura 6.2.7: Mapa de distribuição de fósforo na Área 1.

Nos trabalhos realizados por Pereira (2001) e Carvalho (2002), foram encontradas concentrações médias em torno de 495 e 309 mg/Kg, respectivamente. As autoras relatam que há uma diminuição da concentração de fósforo à medida que se afasta dos canais, principalmente do Una. Assim como o carbono e nitrogênio o fósforo se concentra onde predomina a fração mais fina.

Na Área 2 o fósforo teve um valor médio de 193 mg/Kg com valor mínimo de 40 mg/Kg, no ponto BM 45, localizado próximo da foz do Arari, e máximo de 537 mg/Kg, no ponto BM 4 localizado ao sul da ilha de Santana. A distribuição de fósforo é apresentada na figura 6.2.8.

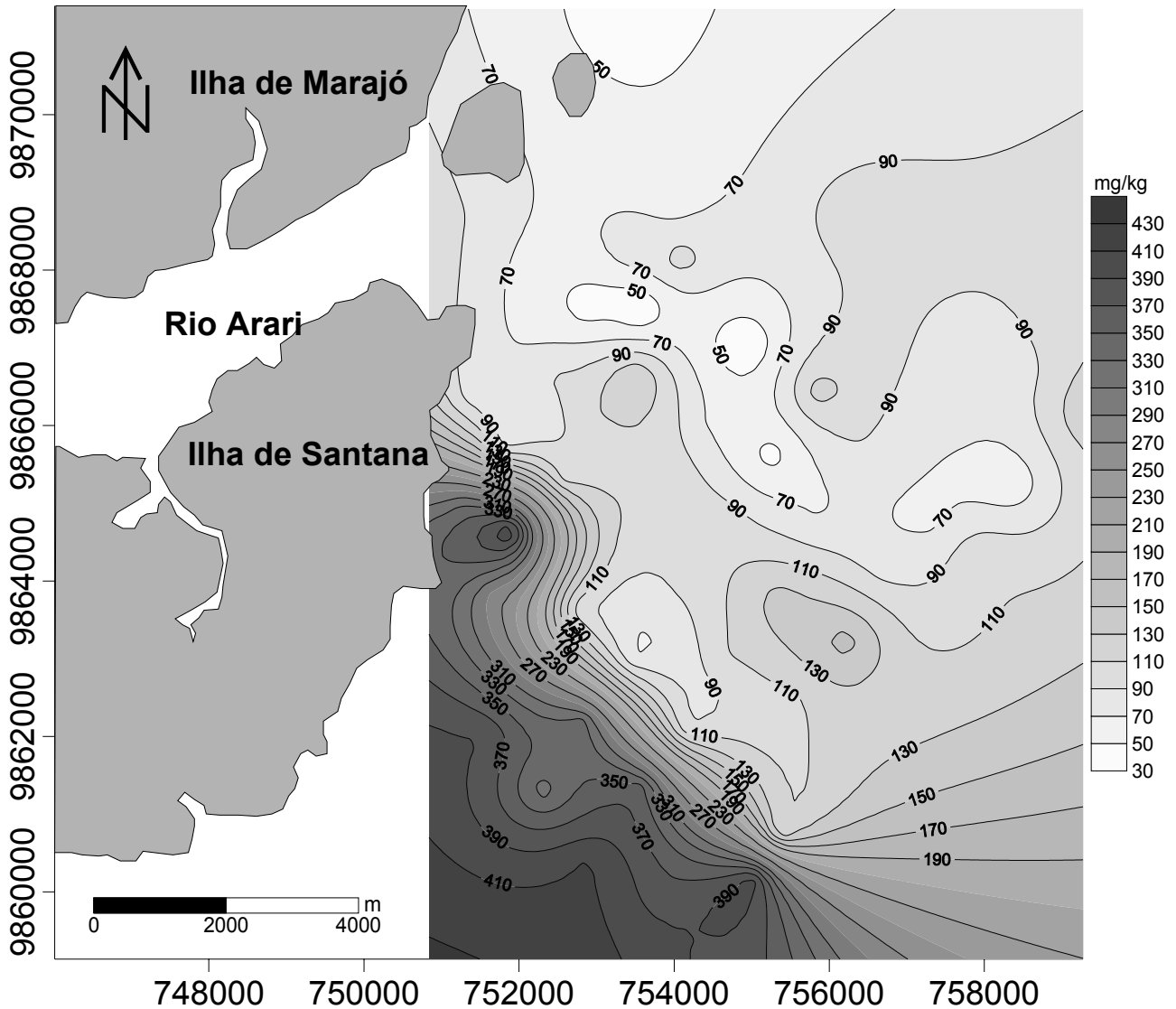


Figura 6.2.8: Mapa de distribuição de fósforo na Área 2.

As maiores concentrações encontram-se a sudoeste e ao norte as menores. Só distribuição granulométrica não explica totalmente o comportamento do fósforo uma vez que a fração mais fina encontra-se a sudeste.

6.2.5 Fósforo ligado a compostos orgânicos

Esta fração de fósforo representada por P-org na Área 1 obteve média de 126 mg/Kg com a concentração mínima detectada de 19 mg/Kg no ponto BG 56, localizado próximo a desembocadura do Guamá e máxima de 399 mg/Kg no ponto BG 39, localizado no meio da baía provavelmente influenciado pelo canal do Una. As maiores concentrações de P-org encontram-se nas proximidades do canal do Una e porto de Miramar, na foz do Maguari e nas proximidades do ponto BG 13 na margem esquerda da baía. Interessante observar que vários pontos da baía e do rio

Guamá possuem concentrações < 100 mg/Kg, exceto o BM 80 sob provável influencia do rio Aura. A distribuição de P-org encontra-se na figura 6.2.9.

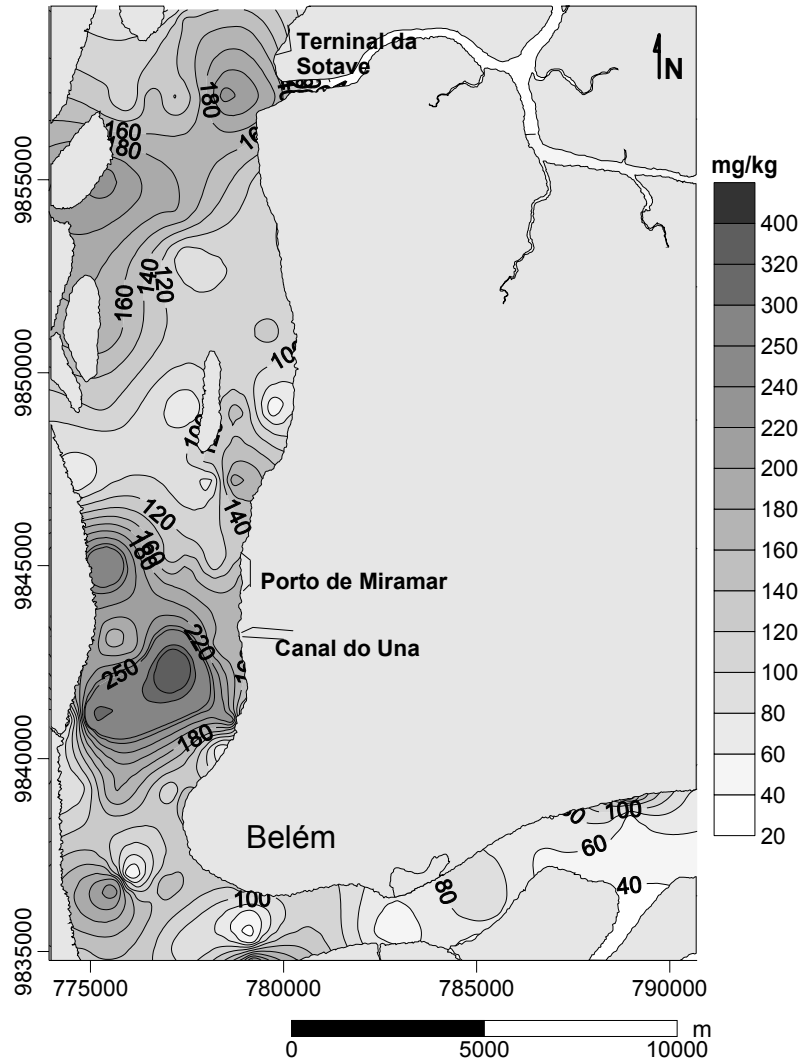


Figura 6.2.9: Mapa de distribuição de P-org na Área 1.

A fração de P-org na Área 2, atingiu a média de 7 mg/Kg com a concentração mínima detectada de 0,4 mg/Kg, nos pontos BM 50, BM 51 e BM 59 localizados à direita da ilha de Santana, e a concentração máxima de 20 mg/Kg, no ponto BM 26 localizado próximo à margem da ilha de Santana. Percebe-se que as maiores concentrações formam um corredor na direção sudeste-noroeste, desde a foz do Arari e da margem da ilha de Santana (figura 6.2.10), envoltas pelas menores concentrações.

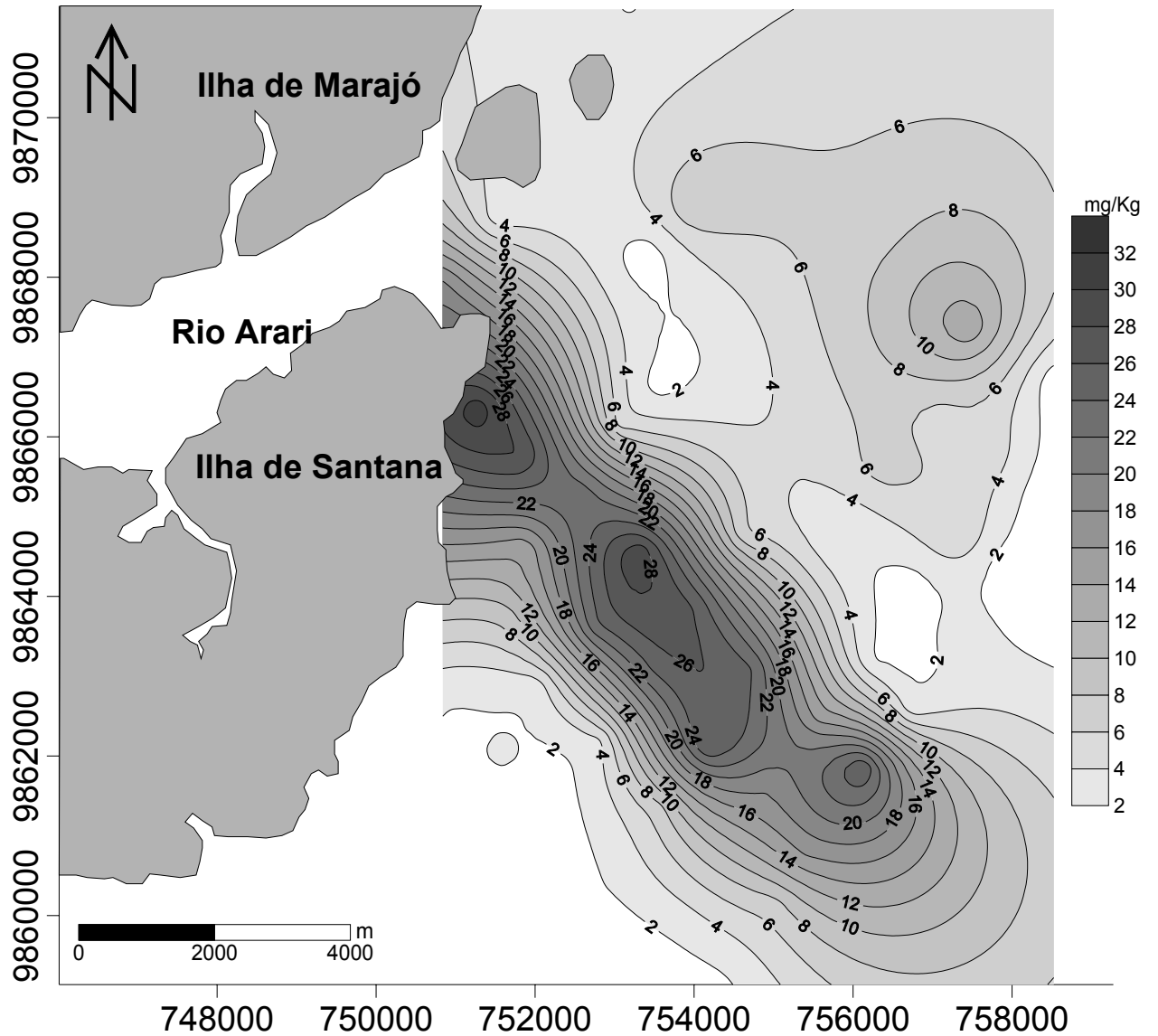


Figura 6.2.10: Mapa de distribuição de P-org na Área 2.

A enorme discrepância entre os valores encontrados nas duas áreas pode ser explicada pelo grande aporte de fósforo existente na baía do Guajará.

6.2.6 Metais

Em ambas as áreas observa-se a mesma tendência decrescente dos teores: $\text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{Ba} > \text{V} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Cu}$, porém, a Área 2 apresenta as médias mais elevadas. A tabela 6.2.4 apresenta os valores de *background*, (mg/Kg).

Tabela 6.2.4: Concentração de metais pesados em sedimento e solos; Salomons & Förstner (1984).

Metais	Argila/folhelho	Sedimento sub-recente do rio Reno	Sedimento lacustre	Solos
Fe (%)	4,72	3,23	4,34	3,2
Zn	95	115	118	59,8
Cr	83 (60*)	47	62	84
Ni	68 (32*)	46	66	33,7
Cu	45 (31*)	51	45	25,8
Pb	20	30	34	29,2
Co	19 (13*)	16	16	12
Mn	600	960	760	760
Hg	0,2	0,2	0,35	0,098
Cd	0,2	0,3	0,4	0,62

* sedimentos recentes de água doce

As tabelas 6.2.5 e 6.2.7 apresentam os valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão (σ) para as concentrações dos metais analisados nos sedimentos de fundo da Área 1 e Área 2 (ver ANEXO II). A tabela 6.2.6 apresenta as concentrações dos trabalhos realizados na Área 1.

Tabela 6.2.5: Sumário estatístico dos metais analisados na Área 1 (n = 83).

Área 1 (Baía do Guajará)	Fe_2O_3 (%)	Ba (mg/Kg)	V (mg/Kg)	Cr (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)	Ni (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)
Média	6,82	529	120	91	69	32	27	17
Mínimo	3,38	383	73	54	35	13	14	7
Máximo	11,17	649	185	129	105	47	66	30
σ	1,67	55	21	15	15	8	7	5

Tabela 6.2.6: Levantamento histórico (Fe_2O_3 em %, demais mg/Kg)

	Fe_2O_3	Ba	V	Cr	Zn	Ni	Pb	Cu
Mazzeo (1991) ¹	1,49	-	-	436	91	37	-	29
Nascimento (1995) ¹	-	422	89	87	155	17	77	70
Pereira (2001) ²	3,2	-	-	65	74	39	38	16
Carvalho (2002) ²	3,45	-	-	66	70	24	59	16
Saraiva (2007) ²	3,6	-	-	60	74	19	33	18
Concentração na Crosta	4,32	584	98	126	65	56	14,8	25

- não analisado

1: Canais de drenagem de Belém

2: Baía do Guajará

Tabela 6.2.7: Sumário estatístico dos metais analisados Área 2 (n = 60)

Área 2 (Baía do Marajó)	Fe ₂ O ₃ (%)	Ba (mg/Kg)	V (mg/Kg)	Cr (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)	Ni (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)
Média	8,31	596	141	103	85	40	28	21
Mínimo	0,12	454	115	85	23	31	21	12
Máximo	9,38	726	164	122	112	48	34	26
σ	1,22	48	9	6	12	4	3	3

6.2.6.1 Ferro

O ferro é o elemento mais abundante da crosta terrestre e seus compostos são encontrados em todos os corpos d'água, mesmo que em concentrações reduzidas. A geoquímica no ambiente terrestre é complexa e é fortemente determinada pelos seus estados de oxidação. É o metal mais utilizado e é de extrema importância, economicamente e biologicamente, no mundo e forma diversos complexos (Russel, 1994; Lee, 2003).

Sob condições naturais em sistemas aquáticos, o Fe (III) combina com íons OH⁻ bem como com outros ligantes como fosfatos e substâncias orgânicas formando complexos solúveis e insolúveis. Sob condições redutoras os metais pesados sorvidos são mobilizados e a acumulação de óxidos e hidróxidos de Fe e Mn pode agir como uma fonte de metais dissolvidos em águas naturais (Förstner & Wittmann, 1983; Jenne, 1976 *apud* Carvalho, 2002).

A liberação de ferro, na fase sedimento-água, ocorre principalmente sob condições anaeróbicas. A mobilização dos íons pode ocorrer induzida por complexantes orgânicos e atividades metabólicas de organismos, principalmente bactérias. Grande quantidade de co-precipitação de óxido de ferro e hidróxidos manganês explica o enriquecimento de Ba, Cu, Pb e Ni nos sedimentos (Förstner & Wittmann, 1983).

Nas amostras estudadas os maiores teores pontuais foram encontrados na baía do Guajará. Na Área 1 a concentração média de Fe₂O₃ foi de 6,82 %, com destaque para o ponto BG 57 (11,17 %) localizado ao sul da área, no lado esquerdo próximo a foz do rio Guamá e o ponto BG 77 de menor teor (3,38%) localizado no rio Guamá próximo à ilha do Combú. As maiores concentrações estão na margem esquerda da baía, na parte sul da área (figura 6.2.11). Na foz do Maguari encontra-se teores de 9,5 %, provavelmente associado à granulometria mais fina dos sedimentos.

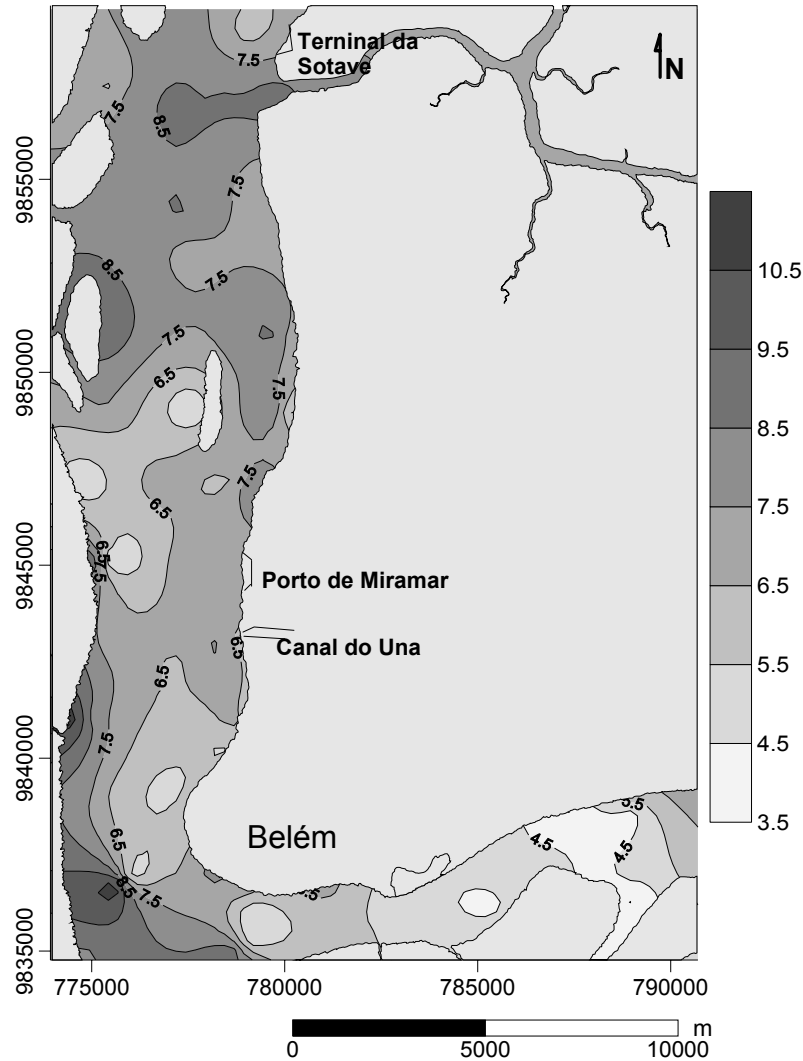


Figura 6.2.11: Mapa de distribuição de Fe total Área 1.

Na Área 2, as concentrações de Fe_2O_3 apresentaram média de 8,31 %, variando entre 0,12, no ponto BM 25 e 9,38 %, no ponto BM 24; apesar da variação extrema, a distribuição dos teores é bastante homogênea nessa região, aparentemente controladas por fatores sedimentológicos. As maiores concentrações de ferro localizam-se próximo à ilha de Santana sob o domínio de sedimentos siltsos e, as menores, abaixo das curvas de 8 %, ao norte da área e em frente à Ilha de Santana, comprovadamente sob o domínio de sedimentos de granulometria mais grosseira (areia com cascalho). A distribuição da concentração na Área 2 encontra-se na figura 6.2.12.

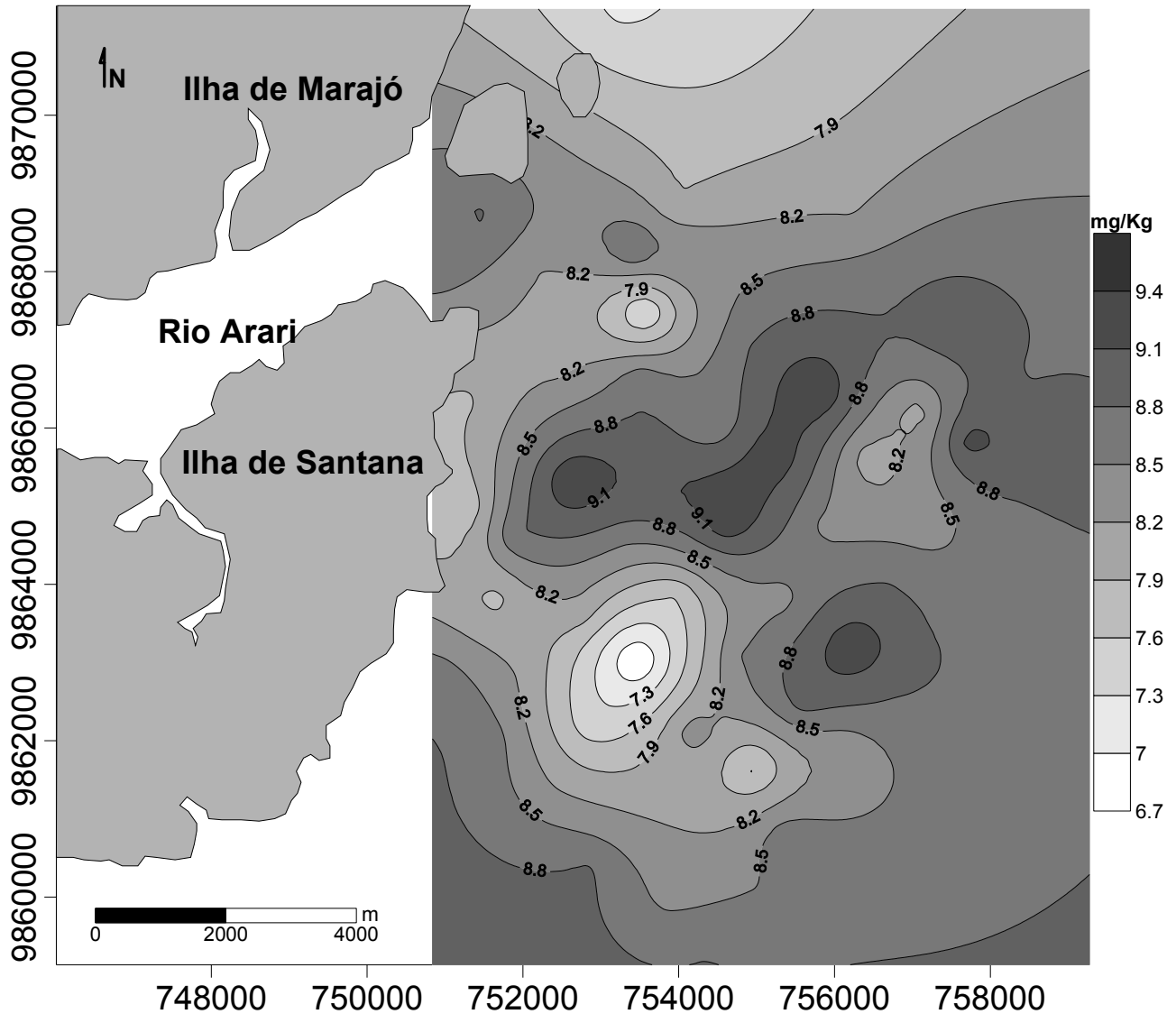


Figura 6.2.12: Mapa de distribuição de Fe total Área 2.

No trabalho realizado por Mazzeo (1991) nos canais de Belém, a autora encontrou uma média de 1,49% mostrando que a cidade possui uma baixa contribuição como fonte de ferro para a baía do Guajará e para o rio Guamá. Comparando o valor de ferro total encontrado 3,2 % com os valores obtidos anteriormente por Pereira (2001), na orla de Belém-PA (3,2 %) e na margem próxima a Icoaraci (3,7 %) por Cavalho (2002) e na baía do Guajará (3,6%) por Saraiva (2007) percebe-se que há um grande enriquecimento do ferro nesta área em um intervalo relativamente pequeno.

6.2.6.2 Bário

Compostos com Ba são muito tóxicos, mas são pouco solúveis (Lee, 2003). Segundo Lacerda & Marins (2006) durante os processos de perfuração e transporte de petróleo pode haver alterações nas concentrações deste metal.

Na Área 1 a média foi de 529 mg/Kg sendo que o ponto de maior teor BG 17 com 649 mg/Kg na margem esquerda da baía e com o menor teor BG 77 com 383 mg/kg no rio Guamá próximo as ilhas e com menor influencia marinha. Na orla direita do estuário, próximo ao terminal da Miramar há concentração de 546 mg/Kg(média), na foz do Maguari e terminal da Sotave concentração média de 506 mg/Kg. A margem esquerda possuem elevados teores do metal, média de 554 mg/Kg e o rio Guamá possui as menores concentrações da área analisada (média de 493,4 mg/Kg). A distribuição do bário encontra-se na figura 6.2.13.

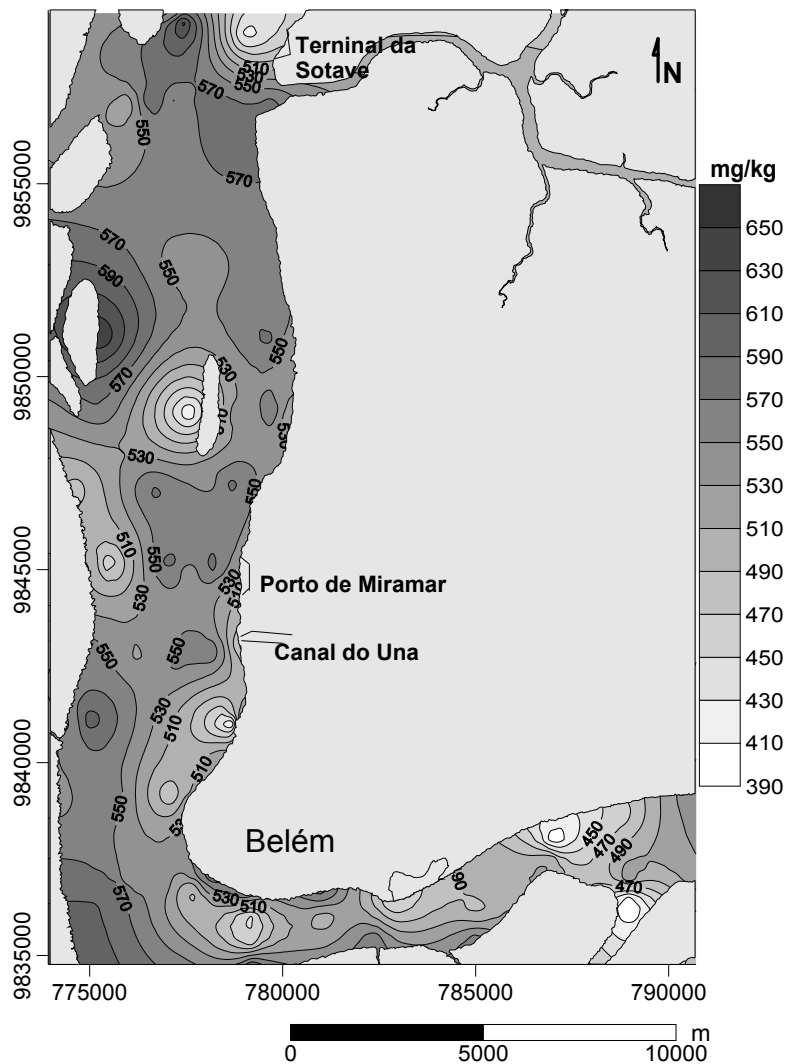


Figura 6.2.13: Mapa de distribuição de Ba total na Área 1.

Na Área 2 há um teor médio de Ba de 596,08 mg/Kg e os pontos com maior e o menor concentração são o BM 40 com 726 mg/Kg com e o BM 46 com 454 mg/Kg ambos localizados próximos da foz do rio Arari, região com influencia direta do oceano, com intrusão de águas marítimas em alguns meses do ano. Há três locais em que a concentração supera 700 mg/Kg: o ponto BM 40, BM 43 e BM 57. O BM 43 está localizado na foz do rio Arari, o BM 40 mais ao sul da desembocadura e o BM 57 à direita. A distribuição na Área 2 está na figura 6.2.14.

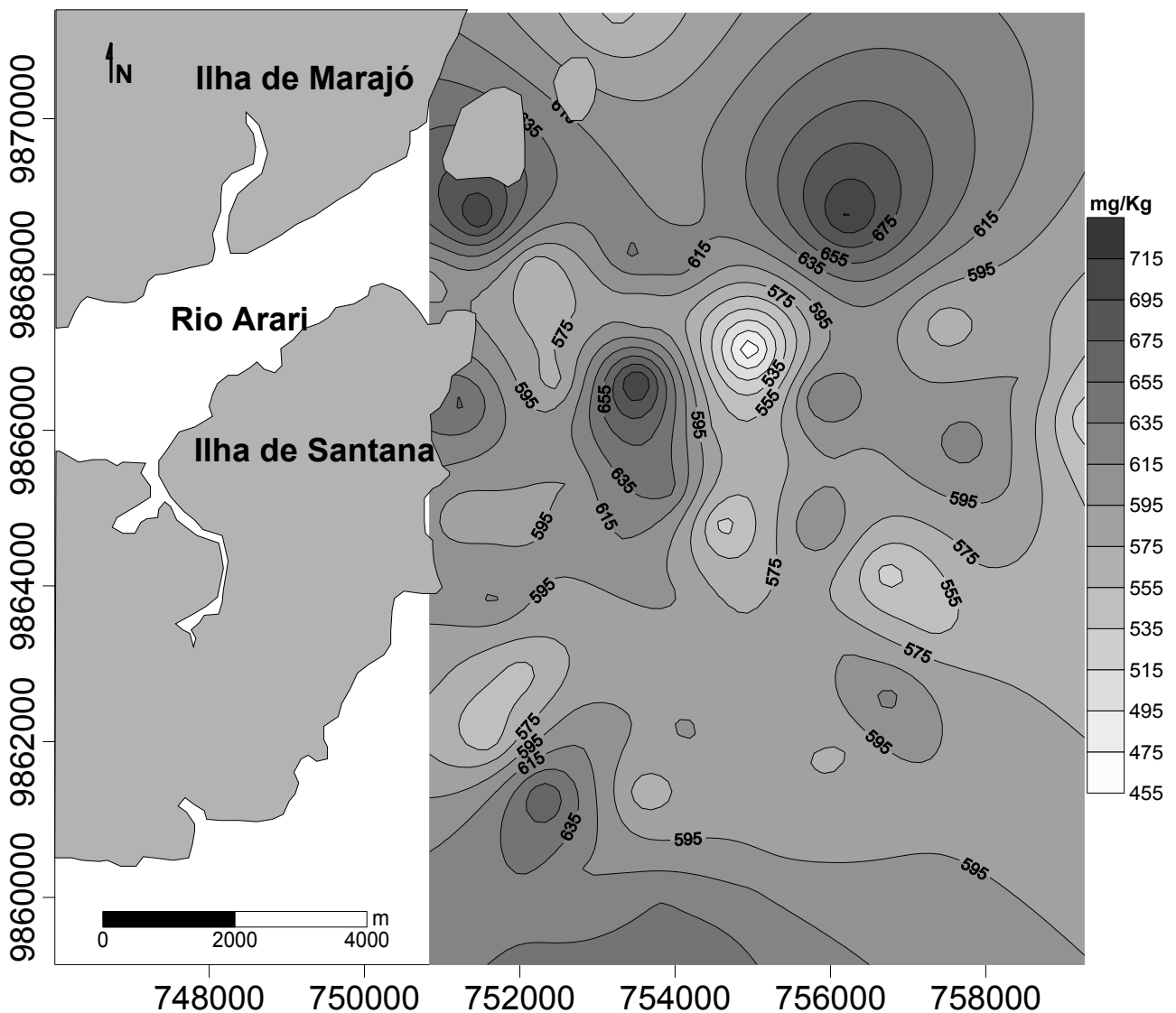


Figura 6.2.14: Mapa de distribuição de Ba total na Área 2.

No trabalho realizado por Nascimento (1995) nos canais de Belém, as concentrações apresentaram média de 422 mg/Kg revelando uma grande contribuição dos canais para a

concentração deste metal na Área 1 o que deve ainda ocorrer atualmente. Em relação à Área 2 (596 mg/Kg) é possível notar a influência marítima devido a concentração mais elevada na Área 2, influência também percebida na baía do Guajará que decai no rio Guamá, onde se encontram as menores concentrações. O bário tanto na Área 1 como Área 2 tende a ficar acumulado ao norte onde a influência marítima é massiva, mas não sobrepuja a influência granulométrica no acúmulo no sedimento.

6.2.6.3 Vanádio

O vanádio é um metal de cor prateada. O décimo - nono elemento mais abundante em peso da crosta terrestre importante industrialmente como componente de liga ferro-vanádio, usado na fabricação de aço especial (Lee, 2003).

A média de vanádio, na Área 1, foi de 120 mg/Kg. O ponto BG 44, localizado na margem direita próximo ao canal do Una, mediu 185 mg/Kg e a menor concentração foi registrada no ponto BG 77 (73 mg/Kg), no rio Guamá. Os pontos em que há maiores concentrações situam-se: nas proximidades do canal do Una (média de 135,5 mg/Kg), na margem esquerda em frente a desembocadura do rio Guamá (média 138 mg/kg), na foz do Maguari (média 139 mg/Kg) e na ilha Jararaquinha, ponto BG 17, localizado na margem esquerda 162 mg/Kg. A distribuição encontra-se na figura 6.2.15.

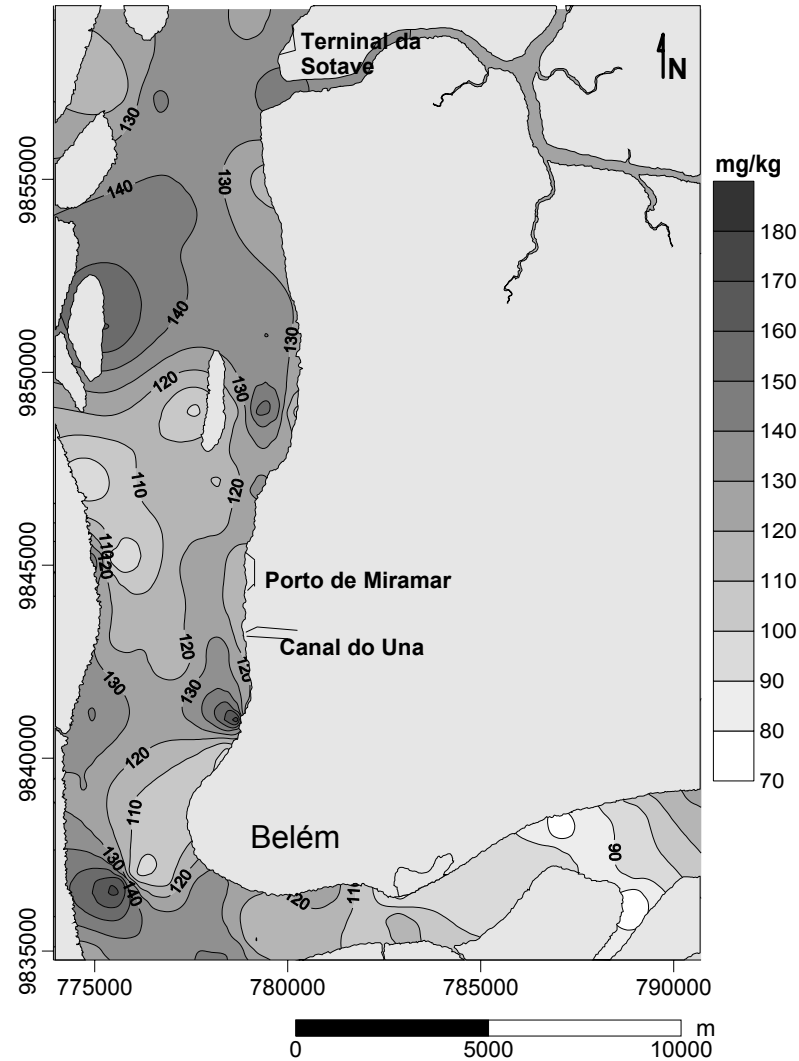


Figura 6.2.15: Mapa de distribuição de V total na Área 1.

O vanádio na Área 2 apresentou concentração de 141 mg/Kg e os pontos de maior e menor concentração foram o ponto BM 3, a sudeste da ilha de Santana com 164 mg/Kg e o ponto BM 25 com 115 mg/Kg. O ponto BM 25 encontra-se nas proximidades da ilha de Santana, a leste. Neste local e também mais ao norte, próximo a ilha de Marajó, são as regiões mais pobres em teores de vanádio. A distribuição da concentração de vanádio sofre poucas alterações e concentra-se ao sul, próximo a ilha de Santana. A distribuição da Área 2 pode ser vista na figura 6.2.16.

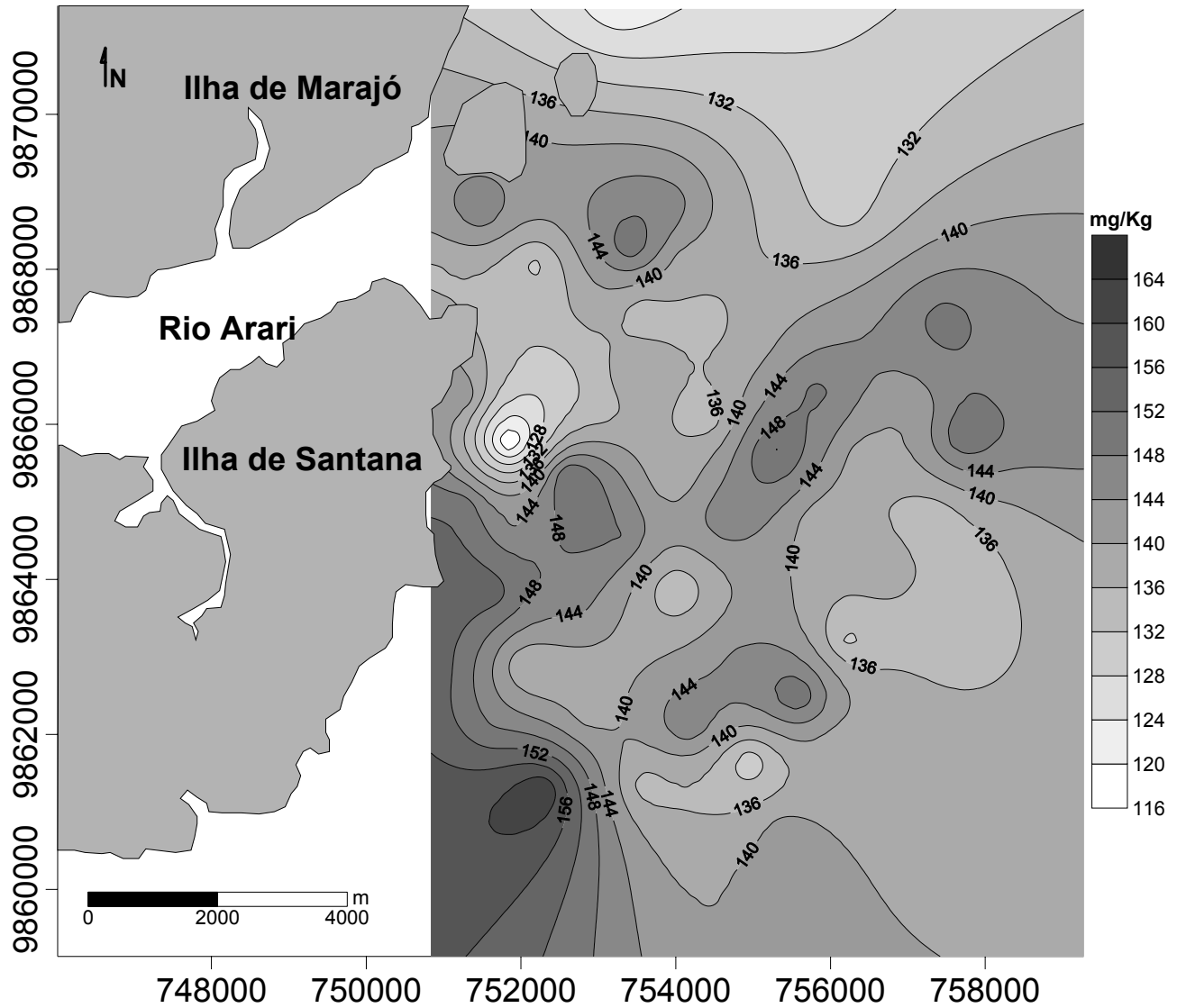


Figura 6.2.16: Mapa de distribuição de V total na Área 2.

No trabalho realizado por Nascimento (1995), nos canais de Belém, as concentrações aprensetaram média de 89 mg/Kg revelando um aporte considerável de vanádio para a baía do Guajará.

O vanádio concentra-se nas áreas estão na fração lama (silte) do sedimento, comportamento melhor presenciado na Área 1.

6.2.6.4 Cromo

O cromo é produzido em larga escala e extensivamente empregado em ligas com ferro e com metais não-ferrosos e em revestimentos obtidos por eletrodeposição (Lee, 2003). O cromo é um dos mais tóxicos dos elementos traços. Compostos de Cr^{+6} são aproximadamente 100 vezes mais tóxicos que os sais de Cr^{+3} , mas o Cr^{+6} é facilmente reduzido pelo Fe^{+2} , sulfetos dissolvidos e certos compostos orgânicos (Förstner & Wittmann, 1983; Moore & Ramamoorthy, 1984). Processos de galvanização com emissões não controladas podem contaminar as águas com Cr^{+6} e águas residuárias de curtume e produtos têxteis contendo corantes contaminados são fontes de contaminação de Cr^{+3} (Moore & Ramamoorthy, 1984).

Segundo Malavolta (1980), a maior parte do cromo não é disponível, pois se acha presente nos compostos insolúveis como óxidos combinados de Fe e Al.

A concentração média de cromo na Área 1 é 91 mg/Kg com concentração máxima de 129 mg/Kg no ponto BG 20, entre a margem direita e a ilha da Barra, e a menor concentração foi encontrada no ponto BG 77 com o valor de 54 mg/Kg localizado no rio Guamá próximo a ilha do Combú.

Os pontos com maiores concentrações estão na margem direita da baía, média de 95,6 mg/Kg. No furo do Maguari e nas proximidades da foz e do terminal da Sotave as concentrações são maiores (108 mg/kg) que nas proximidades do canal do Uma e porto de Miramar (93,5 mg/Kg). O ponto BG 17 próximo a ilha Jaraquinha é um ponto anômalo na margem esquerda (112 mg/Kg). No rio Guamá estão às menores concentrações (75,22 mg/Kg). A distribuição do cromo esta na figura 6.2.17.

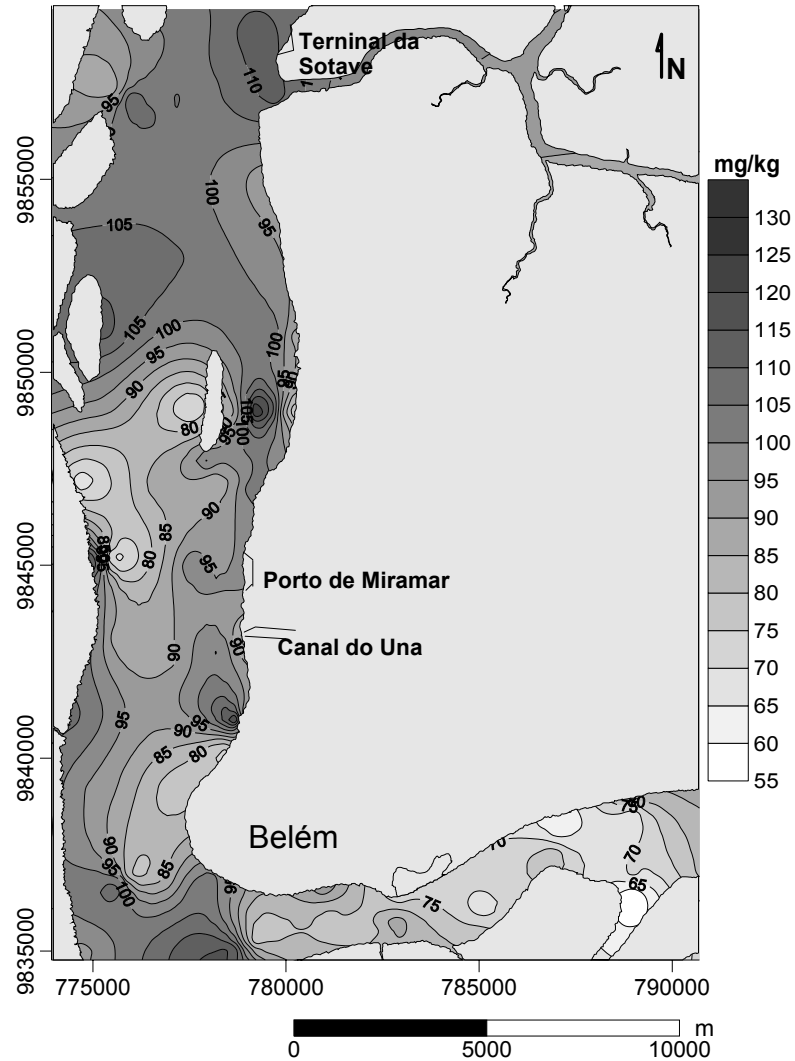


Figura 6.2.17: Mapa de distribuição de Cr total na Área 1.

A distribuição do cromo na Área 2, apesar de um pouco elevada, é relativamente homogênea com a média de 102 mg/Kg. No ponto BM 46, localizado a direita da ilha de Santana, a concentração é de 122 mg/Kg no BM 56, o mais ao norte e nas proximidades da ilha de Marajó, foi encontrado a menor concentração da área 2 com 85 mg/Kg. A figura 6.2.18 mostra que os teores de Cr são mais elevados no interior da baía e próximo da ilha de Santana.. Na baía do Marajó (Área 2) possui valores (102,52 mg/Kg) mais elevados que os encontrados na Área 1, devido ao fato de ser uma região que sofre pouco impacto estes valores tendem ser de origem natural. A distribuição do cromo nas duas áreas acompanha a distribuição granulométrica dos sedimentos, onde predomina a fração lama há maior concentração do metal, salvo duas exceções uma no meio da baía do Marajó e outra no rio Guamá.

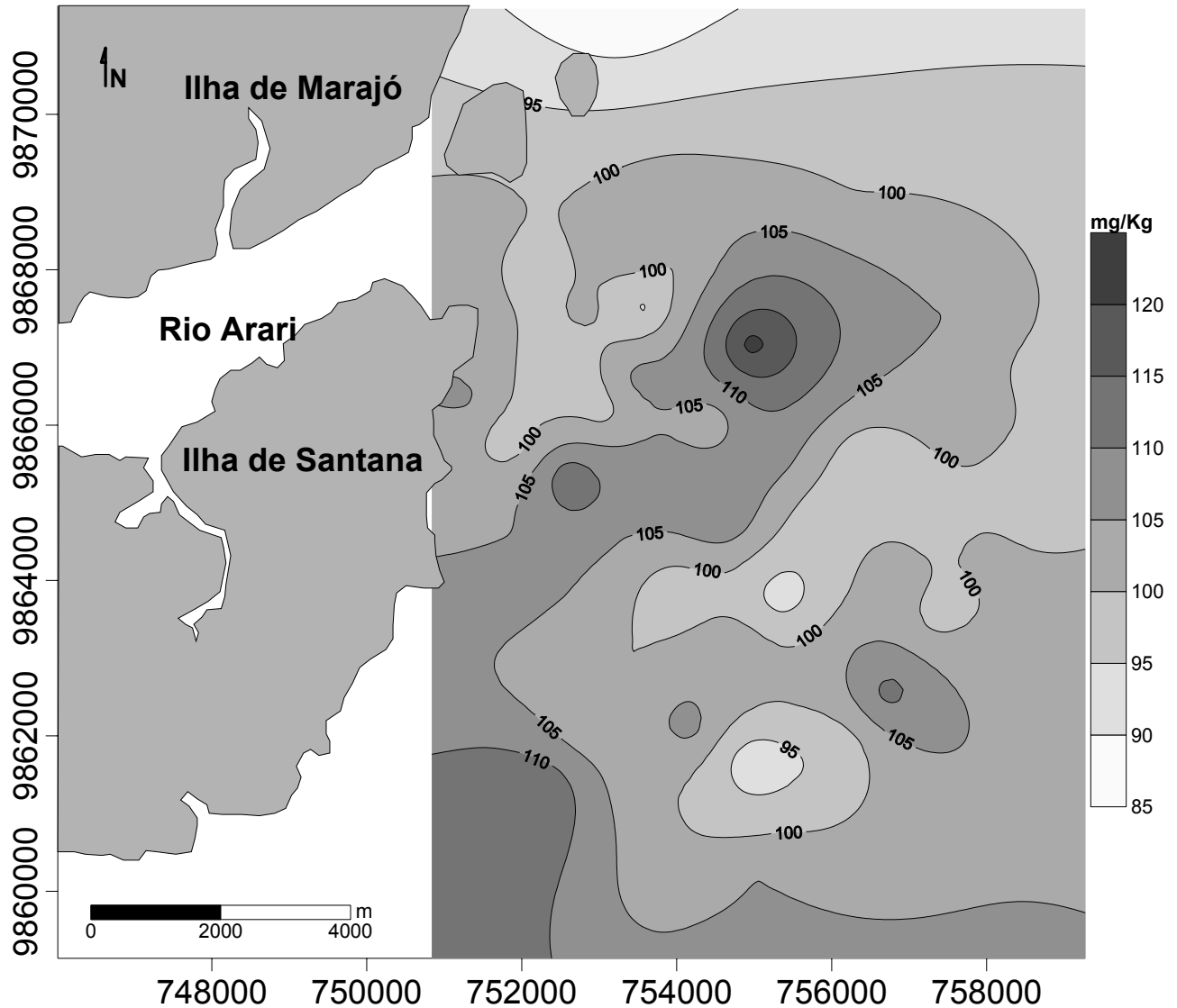


Figura 6.2.18: Mapa de distribuição de Cr total na Área 2.

Os altos teores de cromo na foz do Maguari e terminal da Sotave podem ser por influência das indústrias de curtume do distrito de Icoaraci e Outeiro uma vez que as bacias de contenção de efluentes podem transbordar e atingir-lo. Os trabalhos de Mazzeo (1991) e Nascimento (1995) realizados nos canais de Belém indicam valores de 436 mg/Kg e 87mg/Kg, respectivamente para o cromo mostrando uma queda nas concentrações dos canais, mas com teores elevados o suficiente para influenciar as concentrações de cromo da área estudada. Pereira (2001), na orla de Belém, encontrou uma média de 65 mg/Kg, Carvalho (2002), na margem próxima a Icoaraci, 66 mg/Kg e Saraiva (2007), na baía do Guajará, com valor de 60 mg/Kg foi presenciado um leve enriquecimento de Cr no sedimento da baía do Guajará e rio Guamá (91mg/Kg). O cromo concentra-se no sedimento de granulometria mais fina, melhor demonstrado na Área 1. Fica

concentrado principalmente na foz do Maguari, nas proximidades da ilha Jararaquinha (BG 17) e entre a ilha da Barra (BG 20) e a margem direita.

6.2.6.5 Zinco

O zinco é o vigésimo quarto elemento mais abundante e é produzido em grande escala usado principalmente como proteção contra corrosão, na fabricação de ligas na indústria automobilística e em fundição. Exerce um papel importante em diversas enzimas e do ponto de vista biológico é o segundo elemento de transição mais importante (Lee, 2003).

Possui uma semelhança com metais de transição em relação à capacidade de formar complexos com amônia, amina, íons haletos e cianetos. Sendo um elemento intermediário entre aceptores fortes e fracos na sua interação química com ligantes (Moore & Ramamoorthy, 1984).

O zinco pode ser retirado da solução pela presença de óxidos de ferro e manganês (Nriagu & Coker, 1980).

O zinco apresentou concentração média na Área 1 de 69 mg/kg, a concentração máxima encontrada foi de 105 mg/Kg no ponto BG 17 e a menor concentração foi de 35 mg/Kg no ponto BG 77. Como ocorreu com os demais metais, no ponto BG 17 às concentrações são elevadas, assim como na foz do Maguari e no ponto BG 57 (102 mg/Kg). Nas proximidades do canal do Una, porto de Miramar e Sotave, as concentrações variam de 73 a 83 mg/Kg. Na foz do Maguari de 78 a 90 mg/Kg assim como os pontos BG 12 e BG 14 que estão próximos do BG 17. As menores concentrações encontram-se ao longo do rio Guamá. A figura 6.2.19 mostra como o zinco está distribuído na Área 1.

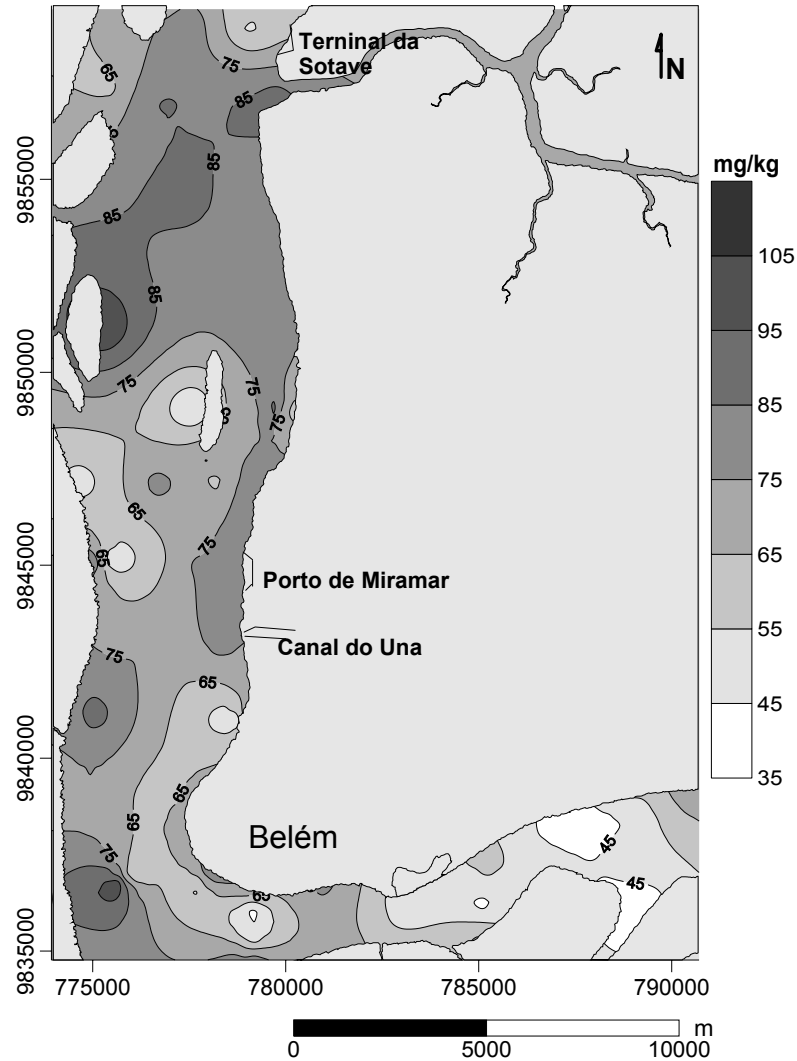


Figura 6.2.19: Mapa de distribuição de Zn total na Área 1.

O Zn na Área 2 teve uma média de 85 mg/Kg e os pontos de maior e menor concentração foram respectivamente: o ponto BM 30 com 112 mg/Kg e o ponto BM 25 com 23 mg/Kg. As regiões com menores concentrações de zinco encontram-se na proximidade da ilha de Santana e ao norte próximo a ilha de Marajó. As maiores concentrações encontram-se mais afastadas do arquipélago nas mediações do ponto BM 30. A figura 6.2.20 mostra que a distribuição das concentrações do zinco em grande parte oscilou em 82 mg/Kg e 87 mg/Kg.

A distribuição das concentrações nas áreas analisadas acompanha a distribuição granulométrica, na fração lama (silte + argila) encontram-se as maiores concentrações de zinco.

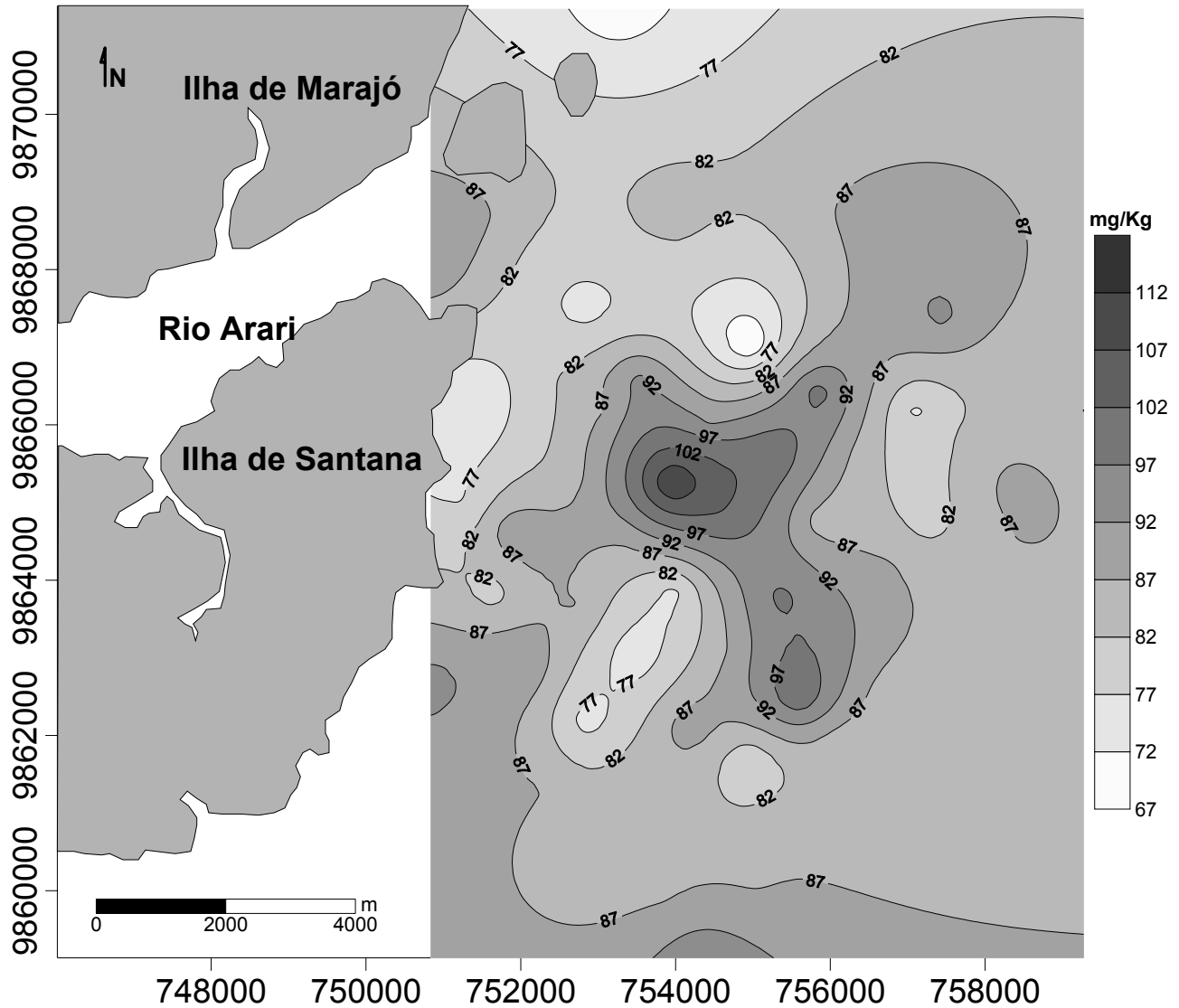


Figura 6.2.20: Mapa de distribuição de Zn total na Área 2.

Nos trabalhos realizados por Mazzeo (1991) e Nascimento (1995) nos canais de Belém obteve-se médias de 61 mg/Kg e 155 mg/Kg, respectivamente, com concentrações mais altas que as encontradas na baía e no rio Guamá, provavelmente devido à maior diluição. Comparando com os trabalhos realizados na baía por Pereira (2001), Carvalho (2002) e Saraiva (2007) esses autores encontraram médias de 74 mg/Kg, 70 mg/Kg e 74 mg/Kg não apresentando alterações significativas.

6.2.6.6 Níquel

O níquel é moderadamente abundante e produzido em grandes quantidades. Utilizado na preparação de várias ligas, tanto ferrosas como não-ferrosas. Também é usado no refino do petróleo e em fertilizantes. Encontrado na forma Ni^{+2} na maioria de seus complexos. O níquel tem papel fundamental no metabolismo bioquímico e se presente em excesso, pode apresentar efeitos carcinogênicos (Lee, 2003; Silva, 2002; Moore & Ramamoorthy, 1984).

Ele pode entrar no ambiente aquoso através de descargas industriais e é fortemente adsorvido pelos óxidos e hidróxidos de ferro e manganês. Forma complexos estáveis com vários ligantes orgânicos. Sob condições anaeróbicas sulfetos podem controlar a sua solubilidade (Hem, 1970 *apud* Carvalho, 2002).

Nos sedimentos esse elemento pode ser depositado por precipitação, complexação, adsorção sobre as argilas e também por agregação a biota. Parte do níquel é transportada pelos rios e estuários até os oceanos (World Health Organization, 1991)

A concentração média encontrada na Área 1 foi de 32 mg/Kg com a máxima de 47 mg/Kg no ponto BG, 36 localizado na margem esquerda da baía, em frente ao porto de Miramar e a concentração mínima de 13 mg/Kg no ponto BG 63, localizado na foz do rio Guamá.

As maiores concentrações estão ao norte, com destaque para as proximidades do ponto BG 17 que se localiza na margem esquerda, entre Miramar e Sotave, até a desembocadura do Maguari, onde a concentração varia de 39 a 43 mg/Kg; as menores concentrações encontram-se no rio Guamá, com variação de 13 a 29 mg/kg, provavelmente devido a influência do rio Aura e do canal do Tucunduba. A figura 6.2.21 mostra a distribuição do Ni na Área 1.

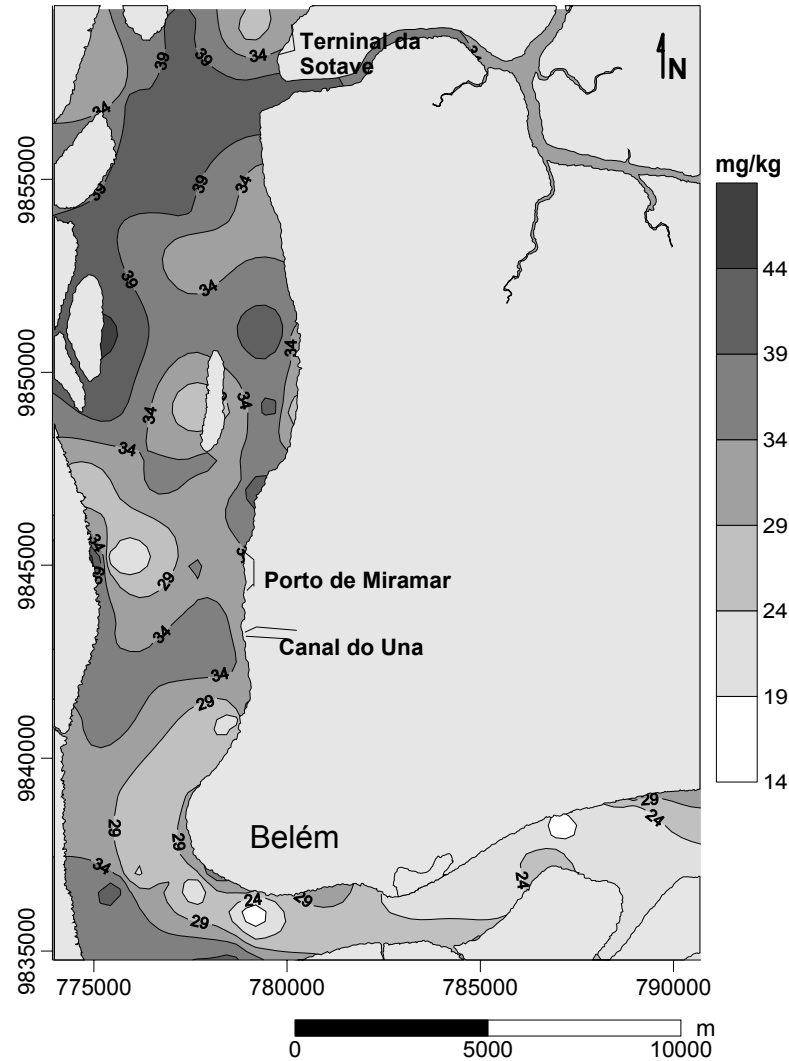


Figura 6.2.21: Mapa de distribuição de Ni total na Área 1.

Na área 2 obteve-se uma média de 40 mg/Kg e os pontos de maior e menor concentração foram respectivamente o BM 38 com 48 mg/Kg e os pontos: BM 26 e BM 15 com 31 mg/Kg. As maiores concentrações de níquel encontram-se em duas regiões: nas proximidades do ponto BM 20 e ponto BM 38, que estão retratadas na figura 6.2.22. As concentrações próximas as ilhas são menores que as encontradas nas regiões mais afastadas.

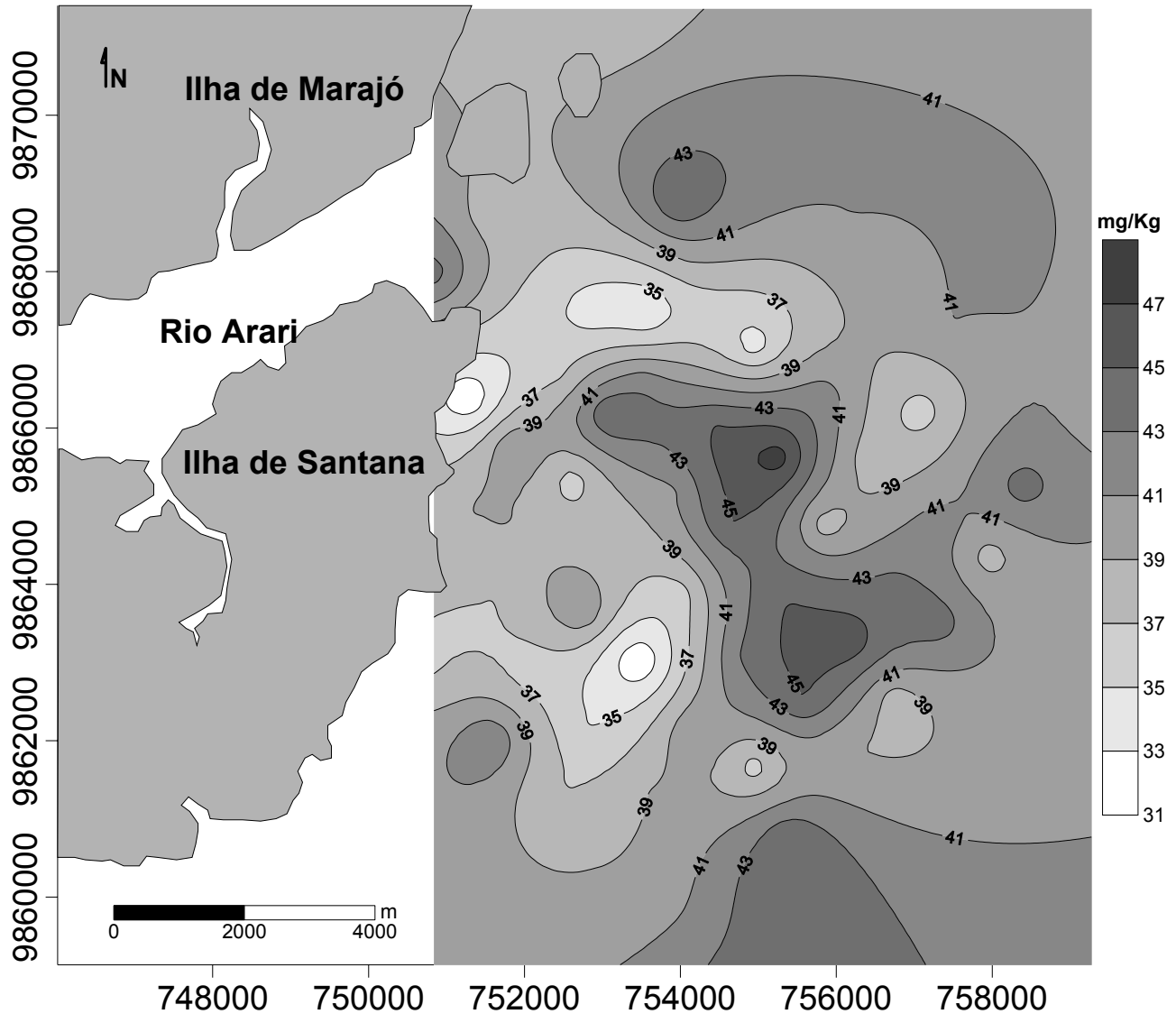


Figura 6.2.22: Mapa de distribuição de Ni total na Área 2.

A distribuição das concentrações nas áreas analisadas acompanha a distribuição granulométrica, na fração mais fina encontram-se as maiores concentrações.

Nos trabalhos realizados por Mazzeo (1991) e Nascimento (1995) nos canais de Belém obtiveram-se médias de 37 mg/Kg e 17 mg/Kg respectivamente. Mesmo que as concentrações encontradas por Nascimento sejam menores não se descarta a contribuição significativa dos canais para as concentrações encontradas na Área 1. Nos trabalhos realizados na baía por Pereira (2001) (39 mg/Kg), Carvalho (2002) (24 mg/Kg) e Saraiva (2007) (19 mg/Kg), nota-se uma tendência de queda nas concentrações ao longo dos anos que foi interrompida retomando ao aumento das concentrações.

6.2.6.7 Chumbo

Geralmente o chumbo não constitui um problema ambiental até venha a se dissolver e produzir a forma iônica. O íon estável de chumbo é a espécie 2^+ , mas em ambientes altamente oxidantes pode formar o íon 4^+ . Em níveis elevados o Pb^{2+} é um veneno metabólico (Baird, 2002). Uma vez absorvido passa à corrente sanguínea e mais de 95% fica ligado aos eritrócitos, causando aumento da fragilidade e redução do tempo de vida das células (Silva, 2002).

Chumbo em águas pode ser encontrado tanto na forma solúvel como em suspensão e seus teores geralmente são baixo devido a sua baixa solubilidade. O comportamento do chumbo em águas naturais é uma combinação de equilíbrios da precipitação com ligantes orgânicos e inorgânicos. O grau de mobilidade do chumbo depende do estado físico-químico dos complexos formados (Moore & Ramamoorthy, 1984).

O íon hidróxido ($Pb(OH)^+$) é comum em águas naturais e sua interação com os metais pesados altera a mobilidade deles. A sorção de chumbo em sedimentos esta relacionada ao teor orgânico e o tamanho do grão. As fontes com valor mais significativo têm sido a mineração de metais, indústria e esgotos. Em áreas não contaminadas a concentração varia de 2-50 mg/Kg, dependendo das condições naturais (Moore & Ramamoorthy, 1984).

O chumbo apresenta concentração média de 27 mg/Kg. A concentração máxima de 66 mg/Kg no ponto BG 45, localizado na margem esquerda ao sul da área, enquanto que a concentração mínima de 14 mg/Kg, ponto BG 77, foi encontrada no rio Guamá, próximo à ilha do Combú (Figura 6.2.23).

As maiores concentrações foram encontradas no sul da área, na margem esquerda e próximo a orla de Belém. Nas proximidades do canal do Una, porto de Miramar e Sotave as concentrações variam entre 29 e 34 mg/Kg e na desembocadura do Maguari entre 40 e 44 mg/Kg, seguindo o padrão geral apresentado pelos metais, as menores concentrações estão no rio Guamá, com variação de 14 a 24 mg/Kg.

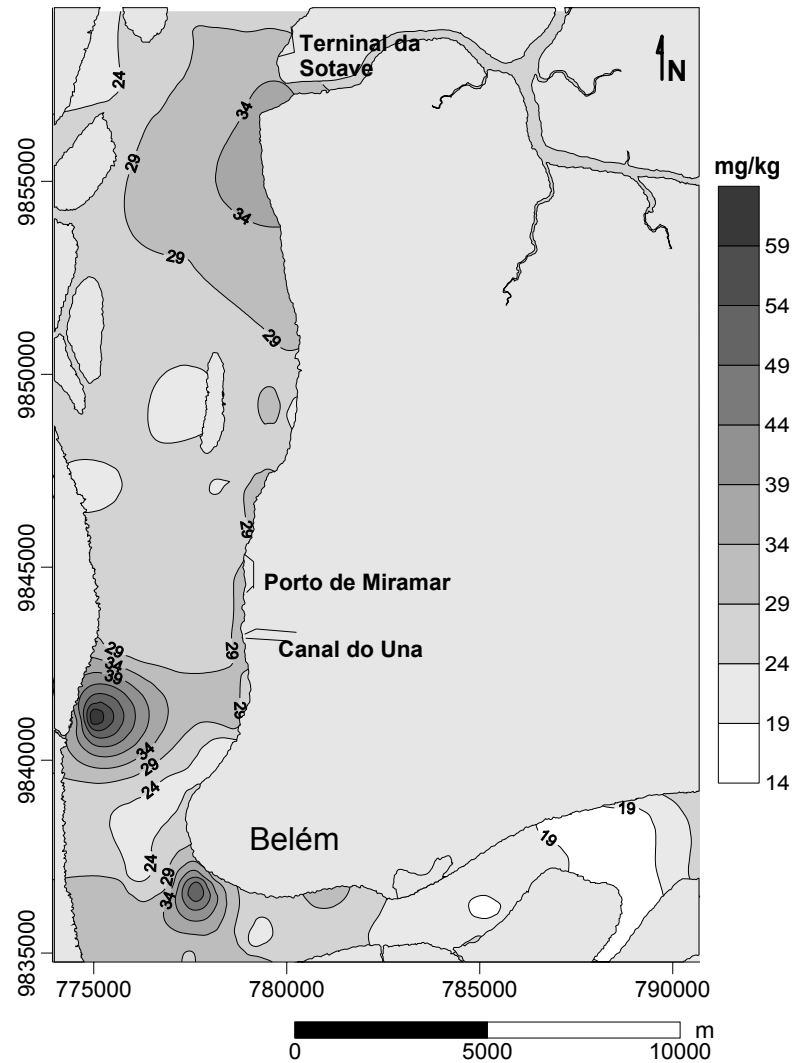


Figura 6.2.23: Mapa de distribuição de Pb total na Área 1.

O chumbo na Área 2 teve uma média de 28,02 mg/Kg e os pontos de maior e menor concentração foram respectivamente o ponto BM 32 com 34 mg/Kg e o ponto BM 15 com 21 mg/Kg (Figura 6.2.24). A região em que há maior enriquecimento de chumbo situa-se a leste da ilha de Santana e a sudeste encontram-se os pontos de menor concentração. Na maior parte da Área 2 o chumbo apresenta uma distribuição homogênea como na Área 1.

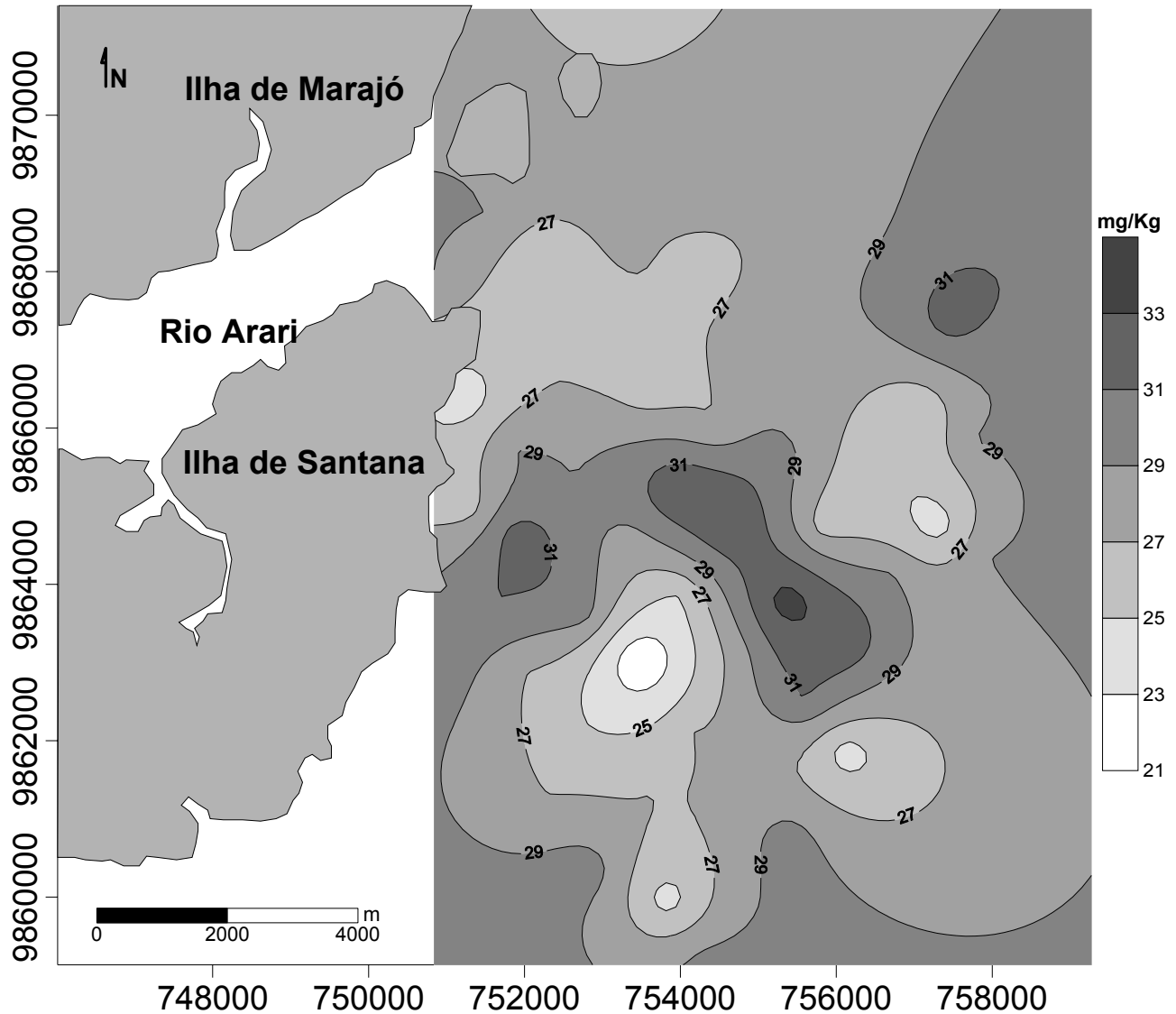


Figura 6.2.24: Mapa de distribuição de Pb total na Área 2.

Na Área 2 note-se perfeitamente que a distribuição das concentrações mais elevadas encontram-se onde a fração fina do sedimento predomina, já na Área 1 não é possível notar perfeitamente este comportamento.

Em trabalho realizado nos canais de Belém por Nascimento (1995) foi encontrado uma média de 77 mg/Kg revelando uma grande contribuição dos canais no aporte de chumbo para a área analisada. Comparando os valores das concentrações de nos sedimentos de fundo com os trabalhos realizados anteriormente por Pereira (2001) 38 mg/Kg, Carvalho (2002) 59 mg/Kg e Saraiva (2007) 33 mg/Kg o valor é similar ao de Pereira (2001) e Saraiva (2007) e inferior ao encontrado por Carvalho (2002).

6.2.6.8 Cobre

O cobre é utilizado como fungicida ou como pigmento par fabricação de tintas, estando presente em afluentes industriais e domésticos. É utilizado na indústria elétrica, de construção e automotiva devido sua propriedades como maleabilidade, ductilidade, condutividade e resistência à corrosão (Moore & Ramamoorthy, 1984).

Em ambientes aquáticos o cobre pode existir em três formas particulada, coloidal e solúvel. A fase dissolvida pode conter tanto o cobre livre como o cobre complexado com ligantes orgânico e inorgânico (Moore & Ramamoorthy, 1984).

A razão da absorção do cobre em sedimento varia com o tipo de argila/sedimento, pH e a presença de óxidos de Fe/Mn. A dessorção do sedimento para a água depende do pH, da salinidade e da presença natural ou sintética de agentes quelantes (Moore & Ramamoorthy, 1984).

A média de Cu na Área 1 foi de 17 mg/Kg com um máximo de 30 mg/Kg no ponto BG 17 localizado na margem esquerda da baía e um mínimo de 7 mg/Kg no ponto BG 77, no rio Guamá. Na figura 6.2.25 observa-se que as maiores concentrações encontram-se mais ao norte e na margem esquerda da baía. O cobre se concentra mais na margem esquerda entre o porto de Míamar e o terminal da Sotave. Nas proximidades do Una a concentração varia entre 16 e 19 mg/Kg e nas proximidades do porto de Míamar e o terminal da Sotave varia entre 19 e 22 mg/Kg. Na foz do Maguari a concentração varia entre 22 e 25 mg/Kg, revelando um aporte considerável do continente. No rio Guamá encontram-se as menores concentrações, situadas entre 7 a 16 mg/Kg.

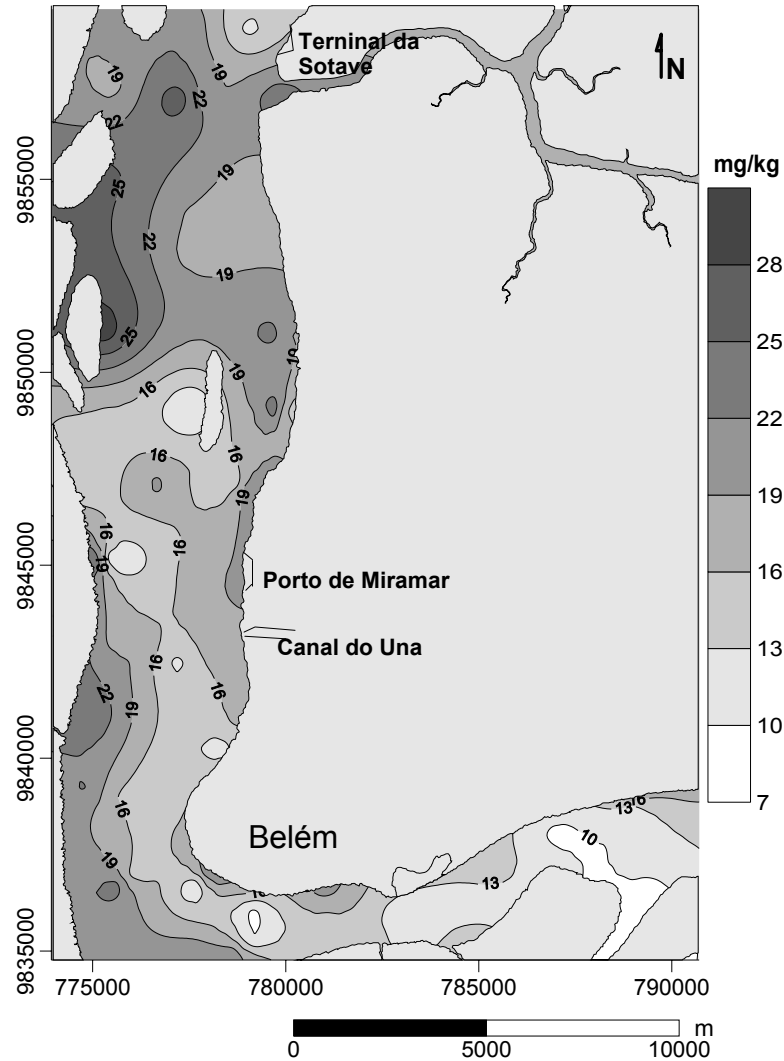


Figura 6.2.25: Mapa de distribuição de Cu total na Área 1.

Na Área 2 a média obtida para as concentrações de cobre foi de 21 mg/Kg. A maior concentração foi 26 mg/Kg no ponto BM 38 localizado no meio da baía e a mínima 12 mg/Kg no ponto BM 15 localizado mais ao sul. Pode-se observar na figura 6.2.26, uma tendência de enriquecimento a medida em há um afastamento das ilhas rumo baía adentro e como ocorre na Área 1 o cobre se concentra na fração mais fina (lama) do sedimento.

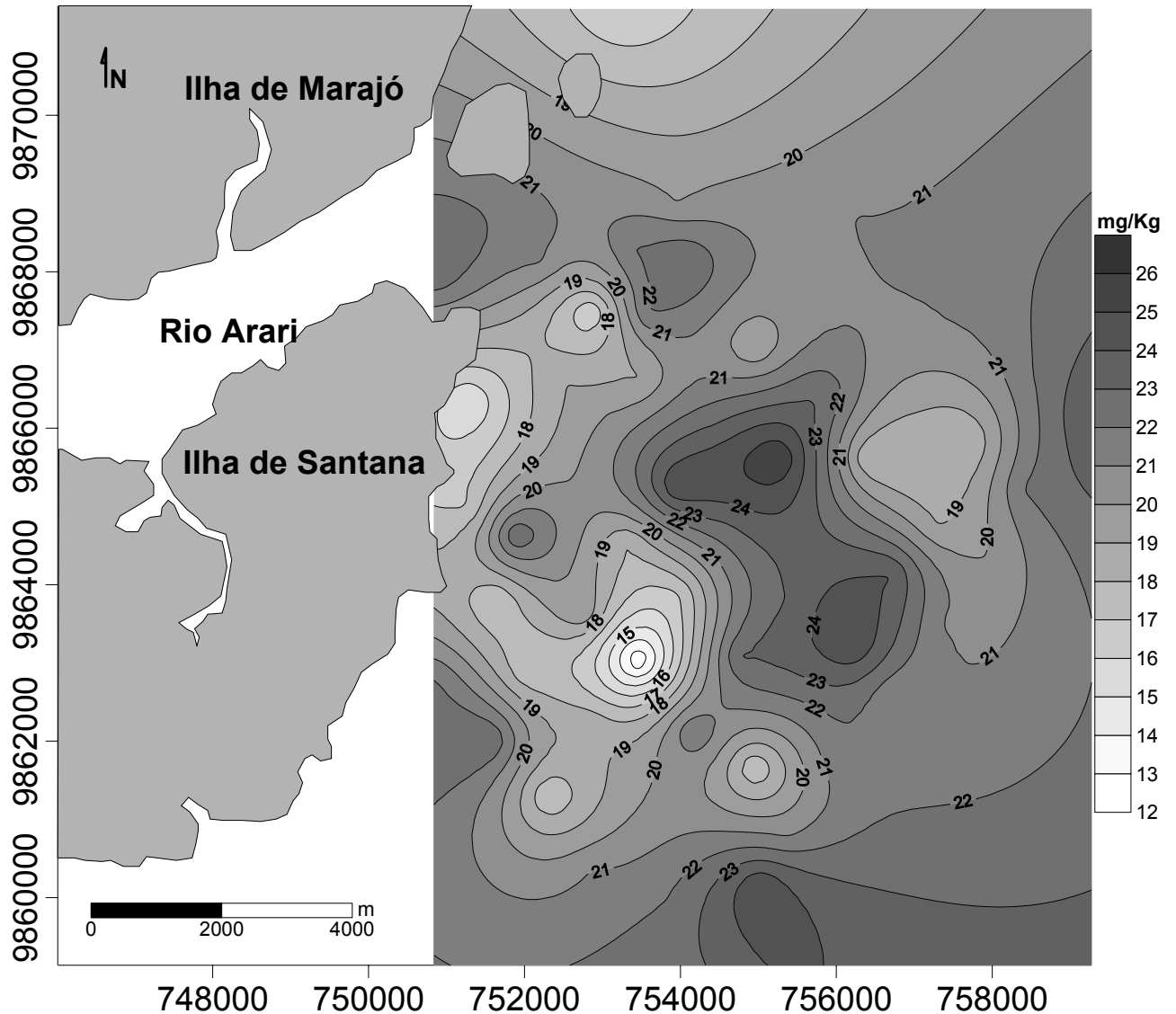


Figura 6.2.26: Mapa de distribuição de Cu total na Área 2.

Nos trabalhos realizados nos canais de Belém foram encontradas as seguintes concentrações: 29 mg/Kg (Mazzeo,1991) e 70 mg/Kg (Nascimento, 1995) evidenciando o enriquecimento do metal nos canais, mas que não é acompanhado pela baía como é possível observar pelos trabalhos de Pereira (2001), Carvalho (2002) e Saraiva (2007) que obtiveram as seguintes médias: 16 mg/Kg, 16 mg/kg e 18 mg/Kg, respectivamente; porém, valores são similares aos encontrados na Área 1.

6.3 CORRELAÇÕES

Com o objetivo de se verificar as associações entre as variáveis, foi utilizado o tratamento estatístico envolvendo a análise de correlação linear. Para o estudo estatístico deste trabalho, foi utilizado o software Statistica 6.0 da Statsoft.

Nas tabelas 6.3.1 e 6.3.2 estão as matrizes de correlação da Área 1 e Área 2.

Tabela 6.3.1: Matriz de correlação da Área 1. n = 78

	Ba	Cr	Cu	Fe ₂ O ₃	Ni	Pb	V	Zn	N	C	P-t	P-org
Ba	1,00											
Cr	0,54	1,00										
Cu	0,67	0,81	1,00									
Fe ₂ O ₃	0,68	0,89	0,89	1,00								
Ni	0,71	0,79	0,85	0,86	1,00							
Pb	0,50	0,64	0,64	0,64	0,56	1,00						
V	0,53	0,93	0,80	0,88	0,73	0,63	1,00					
Zn	0,82	0,74	0,88	0,88	0,88	0,66	0,76	1,00				
N	0,54	0,43	0,55	0,52	0,65	0,39	0,40	0,62	1,00			
C	0,05	0,04	0,09	0,04	0,19	-0,02	-0,04	0,06	0,40	1,00		
P-t	0,35	0,52	0,47	0,55	0,44	0,39	0,58	0,47	0,37	0,05	1,00	
P-org	0,28	0,35	0,32	0,34	0,37	0,52	0,38	0,39	0,28	0,10	0,32	1,00

Tabela 6.3.2: Matriz de correlação da Área 2. n = 44

	Ba	Cr	Cu	Fe ₂ O ₃	Ni	Pb	V	Zn	N	C	P-t	P-org
Ba	1,00											
Cr	0,14	1,00										
Cu	-0,10	0,31	1,00									
Fe ₂ O ₃	0,02	0,54	0,62	1,00								
Ni	-0,15	0,08	0,65	0,50	1,00							
Pb	-0,20	0,42	0,46	0,59	0,47	1,00						
V	0,06	0,67	0,19	0,46	0,00	0,44	1,00					
Zn	-0,07	0,44	0,61	0,67	0,62	0,60	0,33	1,00				
N	0,05	0,18	0,59	0,34	0,48	0,25	0,03	0,39	1,00			
C	0,23	0,07	0,24	0,33	0,36	0,18	-0,09	0,16	0,40	1,00		
P-t	-0,02	0,33	0,23	-0,01	-0,07	0,13	0,19	0,16	0,23	-0,24	1,00	
P-org	-0,06	0,07	-0,25	-0,21	-0,21	-0,12	0,13	-0,11	-0,23	-0,34	-0,22	1,00

Na Área 1 devido a boa correlação entre o ferro e os demais metais é possível supor que os metais possuem associação direta com os óxidos e hidróxidos de ferro. A quantidade e o

ambiente proporcionam condições em que o ferro forme complexo, uma vez que óxidos de ferro são importantes agentes ligantes de metais em ambientes aquáticos.

Não há correlação significativa entre os metais e o nitrogênio, o carbono e o fósforo assim como não ocorre entre os mesmos. Entre as correlações em que mais se destacam estão o Cr-(V-Cu-Fe-Ni) e a correlação entre Zn-(Cu-Ni-Fe-Ba-V-Cr). Associações características destes metais. Além das correlações entre V-(Cr-Fe-Cu-Ni) e Ba-(Zn-Ni). O tipo de sedimento formado pelo intemperismo incidente na região explica as correlações entre níquel e cromo.

As altas correlações do ferro com o cromo ($r = 0,89$), cobre ($r = 0,89$), vanádio ($r = 0,88$), zinco ($r = 0,88$) e níquel ($r = 0,86$) mostram que estes metais estão associados aos óxidos de ferro. O bário deve estar adsorvido nos óxidos de ferro para possuir correlação com o zinco ($r = 0,82$) na ausência de carbonatos na área.

Na Área 2 segue, em menor intensidade o comportamento da Área 1 as correlações mais significativas ocorrem entre os metais, exceto o bário, e o ferro. Não é possível notar correlações entre o nitrogênio, carbono e o fósforo. Também não mostram tendências em formar associação com os metais.

Devido à falta de correlação entre o carbono e os metais desconsidera-se uma associação direta entre a matéria orgânica e os metais e seus complexos presentes nas duas áreas, entretanto algumas concentrações elevadas de metais coincidem com altos teores de matéria orgânica.

7 CONCLUSÕES

- Os teores de carbono orgânico na Área 1 ultrapassaram os 3%, acarretando mais de 5% no teor de matéria orgânica, se concentrando nas proximidades por onde é lançado, canal do Una, “furo” do Maguari e rio Aura e sua origem é predominantemente continental. A análise de matéria orgânica na Área 2 revelou um quadro de homogeneização em toda a área estudada, influenciada pelas correntes oceânicas e do rio Arari as quais dispersam as quantidades de material orgânico pelo estuário. O teor não chegou a 2%, matéria orgânica <3%, o que caracteriza sua origem como oceânica.
- Em relação ao nitrogênio e o fósforo, constatou-se que nas duas áreas os teores de nitrogênio orgânico foram semelhantes. Na Área 1 tanto o fósforo quanto o P-org tiveram concentrações mais elevadas que na Área 2 devido a maior influencia antrópica. Concentrando-se nas proximidades do canal do Una, “furo” do Maguari e rio Aura e conseguindo atravessar a baía concentrando na margem esquerda.
- Comparando com os trabalhos realizados anteriormente percebe-se que os teores de nitrogênio e fósforo mantem-se constantes e o de carbono sofreu aumento.
- A dinâmica das correntes é a reponsável pela re-suspenção dos sedimentos e pela redistribuição ao longo dos estuários. Na Área 1 provoca um efeito de diluição nas concentrações, comparando com as concentrações encontradas nos canais de Belém.
- Nas duas áreas os valores das concentrações encontradas nos sedimentos de fundo seguem na seguinte ordem: $Fe_2O_3 > Ba > V > Cr > Zn > Ni > Pb > Cu$. Na Área 1 foram encontrados valores mais elevados de metais isoladamente enquanto que na Área 2 é homogênea; nas duas áreas os metais tem uma leve tendência de se concentrar onde existe a fração granulométrica mais fina.
- Por meio do levantamento histórico da Área 1 nota-se o constante enriquecimento do ferro, cromo e vanádio. Os índices de níquel que haviam diminuído tornaram a crescer. As concentrações de chumbo e zinco estão diminuindo, provavelmente houve uma diminuição

dos lançamentos destes metais. A concentração de cobre vem se mantendo constante. Em relação a crosta as concentrações da Área 2 para o ferro, vanádio, zinco e chumbo são bem elevadas.

- Pelo valor de *background* em sedimento sugerido por Salomons & Förstner (1984), para o Fe(4,42%), Cr (83 mg/Kg) e Pb (20 mg/Kg) nas duas áreas os valores são superiores, para estes metais. Os valores na Área 1 são: Fe (6,82%), Cr (91 mg/Kg) e Pb (27 mg/Kg); na Área 2 os valores são respectivamente (8,31%), (102 mg/Kg) e (28 mg/Kg).
- Apesar de receber um *input* de materiais poluentes oriundos dos lançamentos dos canais de drenagem urbana o que explicaria as concentrações encontradas, a Área 1 não possui índices alarmantes de contaminação.
- Devido a baixa influencia antropogênica na Área 2 as elevadas concentrações encontradas devem ser de origem natural, uma vez que grande parte dos metais, em ambas as áreas, é provavelmente oriunda de sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, D. D do. 2007 *Campos e florestas das bacias dos rios Atuí e Anajás ilha do Marajó, Pará*. Museu Paraense Emílio Goeldi. Coleção Adolpho Ducke, 110 p.
- BAHIA, V. E. *Estudo hidrogeológico da área localizada entre o depósito de lixo metropolitano de belém (aurá) e o lago água preta*. 117 p. 2003, Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém-PA, 2003.
- BAIRD, C. 2002. *Química ambiental*, Bookman 2ª Ed, p.622.
- BEMERGUY, R. L. et al. 2003. *Cartografia Digital Aplicada à Integração dos Elementos Geomorfológicos da Ilha de Marajó*. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2003, Rio de Janeiro. Apresentação em painel. Rio de Janeiro: UERJ, V. 1, p. 42-43.
- BERREDO, J. F.; MENDES, A. C.; SALES, M. E. C.; SARMENTO, J. P. 2001. *Nível de Contaminação por óleo nos sedimentos de fundo e na água do Rio Pará, decorrente do Acidente com a balsa Miss Rondônia*. In: PROST, M. T.; MENDES, A. (Eds.). *Ecosistema Costeiro: Impactos e Gestão*. Belém: Museu Paraense Emilio Goeldi, p. 153-165.
- BERREDO, J. F.; TAKIYAMA, L. R. ; SIQUEIRA, G. W.; MENDES, M. R.; LACERDA, C. A.; MARQUES, A. L. B. 2005. *Evolução do conhecimento geoquímico e do impacto da poluição na costa norte brasileira*. Projeto PIATAM mar II: Síntese do Conhecimento - Zona Costeira Amazônica.
- BOSTELMANM, E. 2006. *Avaliação da concentração de metais em amostras de sedimento do reservatório Billings, braço rio Grande, São Paulo, Brasil*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares – Associada à Universidade de São Paulo, 116 p.
- BREPHOL D. 2000. *Fósforo: Intercâmbio entre a água e o sedimento de uma enseada rasa estuarina com aporte antrópico no estuário da Lagoa dos Patos (RS-Brasil)*. Fundação Universidade do Rio Grande (RS), 117 p.
- BORDOVSKIY, O. K.; 1965. *Accumulation of organic matter in bottom sediments*. Marine Geology v 3,p. 33-82.
- BURONE, L.; MUNIZ, P.; PIRES-VANIN, A. M. S.; RODRIGUES, M. 2003. *Spatial distribution of organic matter in the surface sediments of Ubatuba Bay (Southeastern – Brazil)*. Anais da Academia Brasileira de Ciências v 75(1),p 77-90.
- CARVALHO, Z. L. 2002. *Caracterização Geoquímica de Sedimento de Fundo nas Proximidades do Distrito de Icoaraci – PA*. 75 p. 2002, Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém-PA.

CETESB – Disponível em:

http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/oleo/a_toxicologicos.asp Acesso em: 02 maio 2007.

CETESB – Disponível em:

<http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/impactos/efeitos.asp> Acesso em: 22 maio 2007

CETESB - Disponível em:

<http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/oleo/intemperismo.asp> Acesso em: 22 maio 2007

CORDEIRO, C. A. 1987 *Estudo da Salinização no Estuário do rio Pará no trecho Belém-Mosqueiro*. 109 p. 1987, Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém-PA.

CORRÊA, I. C. S. 2005. *Aplicação do diagrama de Pejrup na interpretação da sedimentação e da dinâmica do estuário da Baía de Marajó-PA*. Pesquisas em Geociências, v. 32, n. 2, p. 109 – 118.

CHESTER, R. & STONES, J. H. 1975. *Trace elements in sediments from the lower Severn estuary and Bristol channel*. Marine Pollution Bulletin, v.6, p.92-96.

DeMASTER, D. J; KUEL, S. A.; NIITROUER, C. A. 1986. *Effects of suspended sediments on geochemical processes near the mouth of the Amazon River: examination of biological silica uptake and the fate of particle-reactive elements*. Continental Shelf Research. v 6. n.1/2, p. 107-125.

ESTEVES, F.A. 1988. *Fundamentos de liminologia*. Rio de Janeiro, Interciência. 575p.

FÖRSTNER, U.; MÜLLER, G. 1973. *Heavy Metal Accumulation in River Sediments: A response to Environmental Pollution*. GEOFORUM, n. 14, p. 53-61.

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. 1983. *Metal pollution in the aquatic environment*. Berlin Heidelberg New York Tokyo, Spring-Verlag. 486p.

FORSTNER,U., 1989. *Contaminated sediments lectures*. Notes in Earth Ciencias. Berlin n.21, p. 141-160.

FÖRSTNER, U.SALOMONS, W.; STIGLIANI, W. M. 1995. *Biogedynamics of Pollutants in Soils and Sediments*. Springer, Berlim, 1995.

FRANÇA, C. F. de; SOUZA FILHO, P. W.; 2003. *Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da ilha de Marajó (PA) em imagem landsat*. Revista Brasileira de Geociências. n.33(2-Suplemento), junho; p.127-136.

GREGÓRIO, A. M. da S.; MENDES, A. C.; 2008. *Characterization of sedimentary deposits at the confluence of two tributaries of the Pará River estuary(Guajará Bay, Amazon)*. Continental Shelf Research.

- LACERDA, D. L.; MARINS, R. V. 2006. *Geoquímica de sedimentos e o monitoramento de metais na plataforma continental nordeste oriental do Brasil*. *Geochemica Brasiliensis*, v 20(1),p.123-135.
- LEE, J. D. 2003. *Química Inorgânica não tão Concisa*. Editora Edgard Blücher 3 ed., 527p.
- LEITE, W.R.M. 2008. *Concentrações de nutrientes em sedimentos de fundo da baía do Marajó- implicações para levantamentos ambientais*. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade do Estado do Pará, 64 p.
- LIMA, E. A. R. 2009. *Fontes e Distribuição de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos em Sedimentos de Fundo e Testemunhos Sedimentares da Zona Costeira Amazônica: Regiões de Belém e Barcarena (PA) e Santana (AP)*. Tese de Doutorado, Centro de Estudos Gerais, Instituto De Química, Programa De Pós-Graduação em Geoquímica Ambiental, Universidade Federal Fluminense, 180p.
- LIMA, W.N.; KOBAYASHI, C. N. 1988. *Sobre o quimismo predominante nas águas do Sistema Flúvio-Estuarino de Barcarena, PA*. *Geochimica Brasiliensis*, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 53-71.
- LIMA, A. M. M.; OLIVEIRA, L. L.; FONTINHAS, R. L.; LIMA, R. J. S. 2005. *Ilha do Marajó: revisão histórica, hidroclimatologia, bacias hidrográficas e propostas de gestão*. *Holos Environment* v. 5 n.1, p. 65.
- LIMA, E.A.R de; SIQUEIRA, G.W.; LIMA, W.N.de; MENDES, A.S. 2004. *Aplicação datécnica de infravermelho na identificação e caracterização da matéria orgânica nos sedimentos de fundo da plataforma continental do Amazonas*. *Geochimica Brasiliensis*. n.18(1), p.046-053.
- LIMA, R. R. 1956. *A agricultura na várzea do estuário do Amazonas*. *Bol. Tec. Do Inst. Agron. Do Norte*, vol 33. Belém. 164p.
- MALAVOLTA, E. 1980. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo, Agronômica Ceres, 251p.
- MARINS, R.V.; FILHO, F.J.P.; ROCHA, C.A.S. 2007. *Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do rio Jaguaribe - costa nordeste oriental brasileira*. *Química Nova*. v.30, n.5, p.1208-1214.
- MARTORANO, L. G.; PEREIRA, L. C.; CEZAR, E. G. M.; PEREIRA, I. C. B. 1993. *Estudos climatológicos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thorntwhite, Mather)*. Belém, SUDAM/EMBRPA, SNLCS, 53 p.
- MAZZEO, T.E. 1991. *Avaliação ambiental das vias de drenagem da região metropolitana de Belém (PA) quanto à distribuição dos elementos Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn*. 1991, 141 p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém-PA.
- MOORE, J. W.; RAMAMOORTHY, S. 1984. *Heavy metals in natural waters*. New York, Springer-Verlag. 265p.

- MOTA, M. C. S.; 2008. *Caracterização sedimentar de fundo da baía de Marajó, área adjacente a ilha de Santana e foz do rio Arari (ilha de Marajó - Pará)*. Trabalho de Conclusão de Curso (Oceanografia) – Universidade Federal do Pará, Belém, p.65, 2008.
- NASCIMENTO, F.S. 1995. *Dinâmica da distribuição dos poluentes metálicos e orgânicos nos sedimentos de fundo dos canais de drenagem de Belém –PA*. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica , Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém-PA, 127 p., 1995.
- NASCIMENTO, F.S.; FENZL, N. 1997. *Geoquímica de metais pesados em sedimentos do rio Guamá e dos principais canais de drenagem de Belém Pará- Brasil*. Acta Amazônica, Manaus, v. 27, n. 4, p. 275-267.
- NASCIMENTO, F.S.; Kurzweil H.; Wruss W.; FENZL, N. 2006. *Cadmium in the Amazonian Guajara' Estuary: Distribution and remobilization*. Environmental Pollution v.140, p. 29 a 42.
- NRIAGU, J; COKER, R. D. 1980. *Trace metals in humic and fulvic acids from lake Ontario sediments*. Environmental Science and Technology. v.4, p. 443-446.
- PEREIRA, J.C.; GUIMARÃES-SILVA, A.K.; NALÍNI, H.A.J.; PACHECO-SILVA, E.; LENA, J.C. 2007. *Distribuição, Fracionamento E Mobilidade De Elementos Traço Em Sedimentos Superficiais*. Química Nova v.30, n.5, p. 1249-1255.
- PEREIRA, K.R. Caracterização Geoquímica de sedimentos e águas superficiais da orla de Belém entre o canal do Una e o Val de Cans (PA). 2001. 81p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, centro de Geociências, Belém-PA, 2001.
- PINHEIRO, R.V.L. 1987. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará-Belém (PA)*. Dissertação Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica – PPGG, Universidade Federal do Pará, 159 p.
- PROTAZIO, L.; TANKA, S.M.C.N.; CAVALCANTE, P.R.S. 2004. *Avaliação de procedimentos de extração seqüencial de fósforo em sedimento*. Revista Analytica, nº 8, Dezembro/Janeiro, p.35-41.
- ROSSETI,D.F. 2001. *Late Cenozoic sedimentary Evolution in northeastern Pará, Brazil, Within the Context of Sea Level Changes*. Journal of South American Earth Sciences, v. 14, p. 77-89.
- STEIN, R. 1991. *Accumulation of organic carbon in marine sediments. Results from the Deep Sea Drilling Project/Ocean Drilling Program*. Lecture Notes in Earth Sciences, Berlin: Springer-Verlag, v 34, p 217.
- SAITO, Y.; NISHIMURA, A.; MATSUMOTO E. 1989. *Transgressive sand sheet covering the shelf and upper slope off Sendai, Northeast Japan*. Marine Geology v 89, p. 245-258.
- SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U. 1984. *Metal in the hydrocycler*. Berlin Heidelberg New York Tokyo, Spring-Verlag. 349p.

- SANT'ANNA, J. A. 1998. *Rede Básica de Transportes da Amazônia*. In: Texto paradiscussão no 562. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, 65p.
- SANTOS, A.; TANCREDI, A.C.N.S.; SILVA, M.S. 1986. *Caracterização biogeoquímica da parte sul do estuário do rio Amazonas*. Acta Limnol. Brasil. v.1, p. 113-126.
- SARAIVA, A.L.L. 2007. *Estudo sedimentológico e geoquímico em sedimentos de fundo na baía de Guajará-Belém (PA)*. 2007. 122p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém-PA.
- SILVA, M. R. C. 2002. *Estudo de sedimento da bacia hidrográfica do Moji-Guaçu, com ênfase na determinação de metais*. Dissertação Mestrado- Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, 113 p.
- STUMM, W. & MORGAN, J. J. 1981. *Aquatic chemistry*. 2 ed. New York, Wiley-Interscience. 583p.
- SWAIN, F.M. 1977. *Stratigraphic Micropaleontology of Atlantic Basin and Borderlands*. Delaware: Elsevier, 603p.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Nickel. In: **International programme on chemical safety**. Environmental health criteria 108, 1991. Disponível em: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc108.htm#SubSectionNumber:8.1.2>
Acesso em: 15 agosto 2009.
- ZHANG,H.; DAVISON, W.; KOBAYASHI, T. 1998. *In situ measurement of dissolved phosphorus in natural waters using DGT*. Analytical Chimica Acta v.370, p. 29-38.

ANEXO A

Pontos e coordenadas na baía de Guajará e rio Guamá

Pontos	UTM LAT	UTM LONG	Pontos	UTM LAT	UTM LONG
BG1	779033,2	9858836	BG43	778798,64	9841066,24
BG2	777389,696	9859154,7	BG44	778706,34	9841041,8
BG3	777091,35	9859405,8	BG45	774966,61	9841106,87
BG4	781062,348	9857555,82	BG46	774536,09	9841054,37
BG5	779736,954	9857136,42	BG47	778358	9840308,91
BG6	778421,715	9857194,01	BG48	777478,92	9838957,66
BG7	777847,812	9857114,06	BG49	777100,99	9839127,35
BG8	777200,695	9857085,97	BG50	775607,29	9839102,03
BG9	776593,103	9857101,07	BG51	774765,22	9839228,95
BG10	775971,251	9857066,45	BG52	774374,64	9839163,53
BG11	779418,745	9855037,65	BG53	778079,43	9837011,1
BG12	777340,019	9854123,55	BG54	777650,12	9836656,59
BG13	775345,025	9855073	BG55	776861,3	9836767,65
BG14	777417,886	9853064,12	BG56	776010,01	9836952,98
BG15	780163,996	9850931,16	BG57	775661,64	9836704,71
BG16	779643,711	9851009,29	BG58	778633,29	9835015,48
BG17	775309,106	9851041,65	BG59	777547,01	9835008,2
BG18	780038,383	9849025,07	BG60	774771,42	9834971,84
BG19	779776,65	9849065,46	BG61	779224,44	9834774,88
BG20	779199,957	9849039,43	BG62	779121,7	9835292,02
BG21	778805,708	9849037,54	BG63	779101,01	9836037,7
BG22	777583,146	9849072,96	BG64	779038,72	9836557,97
BG23	775301,538	9849123,76	BG65	781071,67	9836043,41
BG24	773926,927	9849271,63	BG66	781007,01	9836657,37
BG25	777937,692	9847673,13	BG67	782377,6	9835509,47
BG26	779097,547	9846980,85	BG68	782831,9	9835793,03
BG27	778674,218	9847191,13	BG69	782853,47	9836389,01
BG28	778130,436	9847179,84	BG70	785038,04	9835423,8
BG29	776629,826	9847096,82	BG71	785075,85	9836129,99
BG30	774682,737	9847142,38	BG72	785210,05	9837086,61
BG31	778844,62	9844764,48	BG73	785206,9	9837619,1
BG32	778207,512	9845068,49	BG74	786900,96	9837523,73
BG33	777558,428	9845010,19	BG75	787039,27	9837962,39
BG34	777062,86	9845113,78	BG76	787028,16	9838424,94
BG35	775443,607	9845131,21	BG77	788974,04	9836408,4
BG36	775105,105	9845107,64	BG78	788951,34	9836989,23
BG37	778887,722	9843042,42	BG79	788971,9	9838645,14
BG38	778273,993	9842872,8	BG80	788939,13	9838985,97
BG39	777156,292	9842456,87	BG81	790706,83	9837036,56
BG40	776263,493	9842783,26	BG82	790497,16	9839174
BG41	775531,66	9843118,31	BG83	775541,65	9857335,05
BG42	775170,029	9843151,36			

Pontos e coordenadas na baía do Marajó

Pontos	UTM LAT	UTM LONG	Pontos	UTM LAT	UTM LONG
BM1	750871,23	9862809,62	BM31	754609,60	9864780,92
BM2	751584,38	9862015,79	BM32	755347,95	9863798,90
BM3	752298,14	9861295,54	BM33	756215,53	9863216,78
BM4	752854,66	9860359,60	BM34	756741,04	9862568,99
BM5	753822,23	9859968,50	BM35	757349,68	9863512,87
BM6	754336,41	9859135,32	BM36	756716,05	9864165,37
BM7	755023,00	9860163,51	BM37	755831,49	9864756,33
BM8	753577,85	9861342,40	BM38	755264,91	9865620,30
BM9	752829,08	9862185,15	BM39	754453,79	9866054,12
BM10	752034,47	9862899,16	BM40	753511,67	9866628,04
BM11	751652,11	9863820,77	BM41	752860,14	9867484,89
BM12	751283,29	9864991,95	BM42	752195,33	9868092,74
BM13	751888,53	9864624,99	BM43	751488,92	9868716,81
BM14	752751,13	9863638,09	BM44	753418,53	9868283,70
BM15	753466,76	9863027,57	BM45	753563,63	9867479,55
BM16	754161,44	9862115,55	BM46	754961,22	9867037,65
BM17	754953,60	9861660,81	BM47	755841,54	9866442,44
BM18	755376,90	9860771,31	BM48	756391,48	9865621,55
BM19	756121,08	9861860,30	BM49	757300,16	9864741,98
BM20	755581,16	9862499,80	BM50	757947,88	9864361,00
BM21	754745,64	9863098,62	BM51	758385,37	9865235,75
BM22	754000,60	9863880,10	BM52	757718,50	9865837,67
BM23	753317,69	9864547,49	BM53	757092,69	9866213,33
BM24	752612,47	9865341,42	BM54	754094,00	9868128,30
BM25	751849,96	9865770,96	BM55	753969,91	9868875,48
BM26	751283,39	9866360,43	BM56	753246,27	9871359,10
BM27	750839,20	9867970,09	BM57	756221,61	9868743,88
BM28	752468,72	9866623,29	BM58	757447,73	9867365,96
BM29	753061,19	9866173,89	BM59	758523,13	9866704,78
BM30	753938,69	9865250,28	BM60	759272,98	9866158,51

Anexo B

Resultados de da Área 1 (valores em mg/Kg, e Wt.% para o Fe₂O₃)

	Ba	Cr	Cu	Fe₂O₃ %	Ni	Pb	V	Zn
BG1	417	112	12	5,95	26	29	128	53
BG2	641	100	22	8,34	41	29	133	84
BG3	543	104	20	8,39	39	26	134	72
BG4	527	100	21	8,05	40	28	136	77
BG5	575	112	24	9,05	44	37	149	90
BG6	576	106	19	8,55	41	31	132	84
BG7	577	100	21	8,49	43	30	140	79
BG8	543	106	27	8,76	43	30	136	85
BG9	595	102	24	8,39	39	28	144	85
BG10	507	110	21	8,03	42	28	125	75
BG11	570	92	17	6,83	31	37	114	78
BG12	561	103	19	8,58	40	32	144	90
BG13	547	101	26	7,98	39	28	137	79
BG14	532	105	18	7,05	29	29	138	75
BG15	537	89	19	7,04	32	30	127	76
BG16	577	105	23	8,77	45	29	141	84
BG17	649	112	30	9,47	46	28	162	105
BG18	512	77	14	5,38	25	20	107	60
BG19	581	107	25	8,8	41	34	149	92
BG20	527	129	19	8,14	39	28	155	71
BG21	546	92	18	7,43	30	27	120	72
BG22	409	67	9	4,36	23	19	96	43
BG23	567	93	16	7,55	43	28	125	72
BG24	543	99	17	6,94	38	28	122	71
BG25	538	101	16	7,33	36	29	120	76
BG26	553	104	22	8,36	43	32	134	85
BG27	577	92	14	6,51	31	24	117	72
BG28	543	84	13	6,18	31	23	107	61
BG29	576	88	20	6,95	36	25	119	79
BG30	482	66	13	4,66	24	22	89	50
BG31	513	98	21	7,32	34	30	116	83
BG32	579	92	17	6,82	30	26	121	76
BG33	537	100	18	7,27	36	27	128	76
BG34	581	89	15	6,62	27	27	116	67
BG35	449	66	10	4,38	18	26	88	46
BG36	512	119	26	9,55	47	28	150	83
BG37	462	83	17	5,95	29	30	110	75
BG38	565	101	19	7,76	40	28	137	78
BG39	552	90	12	6,29	36	28	111	67
BG40	525	85	19	7,05	34	26	121	75
BG41	544	87	17	6,7	33	25	114	70
BG42	552	99	21	7,46	39	29	128	73
BG43	539	90	17	6,25	36	26	110	68
BG44	400	125	17	6,97	21	34	185	45
BG45	603	103	25	8,22	40	66	142	91
BG46	548	106	23	11,08	31	34	137	79
BG47	516	74	12	5,41	25	19	99	61
BG48	520	79	16	5,92	31	27	101	72
BG49	471	76	13	5,17	24	20	104	59
BG50	565	90	16	6,11	29	25	114	68

BG51	567	95	23	8,08	35	27	132	76
BG52	536	99	19	8,09	29	27	125	66
BG53	585	101	23	7,96	39	31	133	84
BG54	478	103	10	6,56	18	58	135	52
BG55	546	86	16	6,77	30	27	107	65
BG56	535	77	15	4,89	22	22	96	57
BG57	585	108	23	11,17	41	32	180	102
BG58	517	116	20	9,12	39	33	140	74
BG59	546	114	21	8,47	38	28	140	72
BG60	606	93	19	8,3	35	32	122	78
BG61	588	95	18	7,38	36	32	125	81
BG62	460	77	10	4,57	24	21	109	50
BG63	441	82	9	4,7	13	25	112	41
BG64	569	89	17	6,92	31	26	124	73
BG65	496	79	16	5,9	28	28	117	70
BG66	586	95	21	7,07	34	33	130	78
BG67	561	79	14	5,5	26	23	100	62
BG68	501	89	11	4,76	25	23	123	53
BG69	444	71	13	4,8	21	23	84	51
BG70	565	79	15	5,54	30	25	100	67
BG71	481	66	10	3,95	19	16	90	41
BG72	511	75	15	5,07	22	24	98	57
BG73	506	70	14	5,3	24	23	95	57
BG74	514	80	12	5,14	27	21	98	53
BG75	387	64	8	3,53	17	18	76	36
BG76	419	59	11	3,56	18	16	77	40
BG77	383	54	7	3,38	20	14	73	35
BG78	526	71	11	4,93	24	17	94	51
BG79	466	66	10	4,06	19	15	94	45
BG80	470	89	19	6,45	33	25	108	55
BG81	524	81	12	6,13	21	26	107	55
BG82	543	87	17	7,16	32	26	124	73
BG83	545	86	18	6,38	29	23	111	63

Resultados metais total da Área 2 (valores em mg/Kg)

Pontos	Ba	Cr	Cu	Fe ₂ O ₃ %	Ni	Pb	V	Zn
BM1	580	106	22	8,72	37	30	155	93
BM2	540	109	23	8,66	43	28	149	89
BM3	677	115	17	8,29	37	27	164	87
BM4	613	108	21	8,83	39	30	150	82
BM5	635	101	22	8,43	40	24	141	86
BM6	649	108	23	8,82	43	30	140	96
BM7	613	105	25	8,49	44	29	141	86
BM8	562	101	20	8,05	39	27	134	86
BM9	611	100	19	7,45	35	25	139	75
BM10	546	103	17	8,13	36	27	136	92
BM11	619	108	17	7,82	37	31	154	80
BM12	585	102	17	7,64	39	26	150	77
BM13	592	105	23	8,76	39	32	144	91
BM14	583	104	20	8,08	41	30	145	87
BM15	586	100	12	6,67	31	21	139	74
BM16	598	107	22	8,35	41	27	148	90
BM17	581	91	17	7,53	36	27	129	77
BM18	586	100	21	8,72	45	30	142	86
BM19	572	96	22	8,23	39	24	137	83
BM20	582	101	22	8,95	45	31	152	102
BM21	576	105	23	8,47	43	28	144	88
BM22	597	96	17	7,64	36	25	132	76
BM23	614	105	18	8,54	38	28	148	88
BM24	595	114	20	9,38	36	29	153	84
BM25	-	97	-	0,12	41	29	115	23
BM26	661	106	15	7,86	31	24	143	72
BM27	587	102	23	8,64	44	29	135	91
BM28	566	97	19	8,2	37	27	130	82
BM29	653	98	20	8,68	45	28	134	87
BM30	644	108	25	9,1	41	33	137	112
BM31	525	110	23	9,35	45	33	147	101
BM32	578	92	23	8,41	45	34	141	98
BM33	594	104	25	9,33	46	32	131	93
BM34	622	112	21	8,81	38	28	138	84
BM35	547	98	21	8,75	44	28	134	86
BM36	525	103	24	8,74	43	29	140	88
BM37	618	96	23	8,46	38	26	137	85
BM38	563	108	26	9,28	48	30	153	101
BM39	575	102	23	8,53	45	27	134	91
BM40	726	107	19	8,73	42	25	140	93
BM41	580	101	16	7,95	34	25	138	75
BM42	554	98	21	8,22	37	25	131	80
BM43	716	102	22	8,83	38	29	147	88
BM44	640	104	22	8,8	38	28	151	81
BM45	576	94	22	7,23	33	27	134	78
BM46	454	122	19	8,83	34	29	137	67
BM47	638	109	23	9,36	42	28	149	99
BM48	588	96	18	8,07	38	26	138	85
BM49	574	98	19	8,36	42	24	132	80
BM50	579	101	20	8,64	38	29	135	86
BM51	592	98	22	8,84	44	29	142	89

BM52	627	102	18	9,21	40	29	152	83
BM53	602	102	19	8,09	36	25	140	76
BM54	626	100	23	8,48	39	25	138	81
BM55	603	104	20	7,92	45	29	146	84
BM56	548	85	16	7,22	37	26	121	69
BM57	720	101	21	8,19	41	28	130	88
BM58	561	105	21	9,02	41	32	150	93
BM59	595	99	22	8,78	41	29	144	82
BM60	520	100	24	8,85	40	31	147	82

Nutrientes da Área 1. (N, C, M.O estão em Wt.% e P e P-org estão em mg/Kg)

Pontos	N	C	C/N	M.O	P	P-org
BG1	*	*	-	*	224	164
BG2	0,12	1,05	9	1,8	411	142
BG3	0,11	0,62	6	1,07	319	75
BG4	0,12	2	17	3,45	409	38
BG5	0,1	0,78	8	1,34	117	187
BG6	0,09	1,2	13	2,07	606	231
BG7	0,09	2,1	23	3,62	44	157
BG8	0,13	3,16	24	5,45	413	114
BG9	0,05	0,77	15	1,33	377	160
BG10	0,06	1,19	20	2,05	323	95
BG11	0,1	3,25	33	5,6	252	111
BG12	0,1	0,93	9	1,6	333	179
BG13	0,13	3,14	24	5,42	340	233
BG14	0,07	0,59	8	1,02	367	83
BG15	0,11	1,68	15	2,89	343	111
BG16	0,11	1,56	14	2,69	391	127
BG17	0,08	0,15	2	0,26	366	181
BG18	0,08	1,25	16	2,15	98	74
BG19	0,12	1,64	14	2,82	368	32
BG20	0,08	1,4	18	2,41	169	111
BG21	0,08	1,44	18	2,48	307	155
BG22	0,05	0,67	13	1,15	113	58
BG23	0,13	1,99	15	3,43	513	125
BG24	0,1	1,26	13	2,17	399	110
BG25	0,09	1,01	11	1,75	342	121
BG26	0,15	1,05	7	1,81	381	170
BG27	0,1	2,34	23	4,04	401	193
BG28	0,08	2,72	34	4,7	126	65
BG29	0,11	2,01	18	3,46	367	104
BG30	0,06	0,96	16	1,65	205	61
BG31	0,12	1,72	14	2,97	322	164
BG32	0,11	2,05	19	3,54	283	101
BG33	0,11	1,57	14	2,7	311	167
GB34	0,13	0,9	7	1,55	144	129
BG35	0,05	0,41	8	0,7	158	298
BG36	0,08	2,93	37	5,06	207	121
BG37	0,1	2,56	26	4,41	295	169
BG38	0,12	3,08	26	5,32	574	164
BG39	0,11	3,24	29	5,59	421	399
BG40	0,07	0,67	10	1,15	357	203
BG41	0,07	0,84	12	1,45	243	159
BG42	0,14	2,04	15	3,52	391	212
BG43	0,09	1,41	16	2,43	324	103
BG44	0,05	0,54	11	0,94	693	247
BG45	0,09	1,11	12	1,91	349	320
BG46	0,09	1,34	15	2,3	505	71
BG47	0,05	0,71	14	1,22	285	57
BG48	0,1	1,42	14	2,44	324	171
BG49	0,03	0,32	11	0,54	172	96
BG50	0,06	2,68	45	4,63	278	185
BG51	0,1	0,89	9	1,54	504	85
BG52	0,09	0,99	11	1,7	395	87

BG53	0,1	1,12	11	1,93	398	136
BG54	*	*	-	*	310	-
BG55	0,07	0,93	13	1,6	407	156
BG56	0,04	0,78	20	1,34	158	19
BG57	0,09	1,3	14	2,25	608	246
BG58	0,06	1,13	19	1,95	341	119
BG59	0,09	2,98	33	5,14	413	77
BG60	*	*	-	*	367	135
BG61	0,09	1,22	14	2,11	158	252
BG62	0,04	1	25	1,73	321	25
BG63	0,01	0,3	30	0,51	121	52
BG64	0,11	1,61	15	2,77	300	128
BG65	0,05	0,96	19	1,66	439	116
BG66	0,12	2,08	17	3,59	380	112
BG67	0,02	0,63	32	1,09	313	57
BG68	-	1,08	-	1,86	179	52
BG69	0,07	1,45	21	2,5	182	61
BG70	0,09	1,6	18	2,76	337	55
BG71	0,07	1,96	28	3,37	193	104
BG72	0,08	1,78	22	3,06	262	90
BG73	0,09	1,6	18	2,75	159	79
BG74	0,08	1,45	18	2,49	284	50
BG75	0,05	1,6	32	2,76	136	81
BG76	0,06	2,45	41	4,22	226	54
BG77	0,05	1,71	34	2,94	106	24
BG78	0,06	2,01	34	3,47	134	55
BG79	0,06	2,03	34	3,5	216	57
BG80	0,05	2,7	54	4,66	259	204
BG81	0,03	0,82	27	1,41	219	48
BG82	0,09	2,31	26	3,97	358	81
BG83	0,04	0,9	23	1,54	273	120

(*) não realizados, (-) não detectado

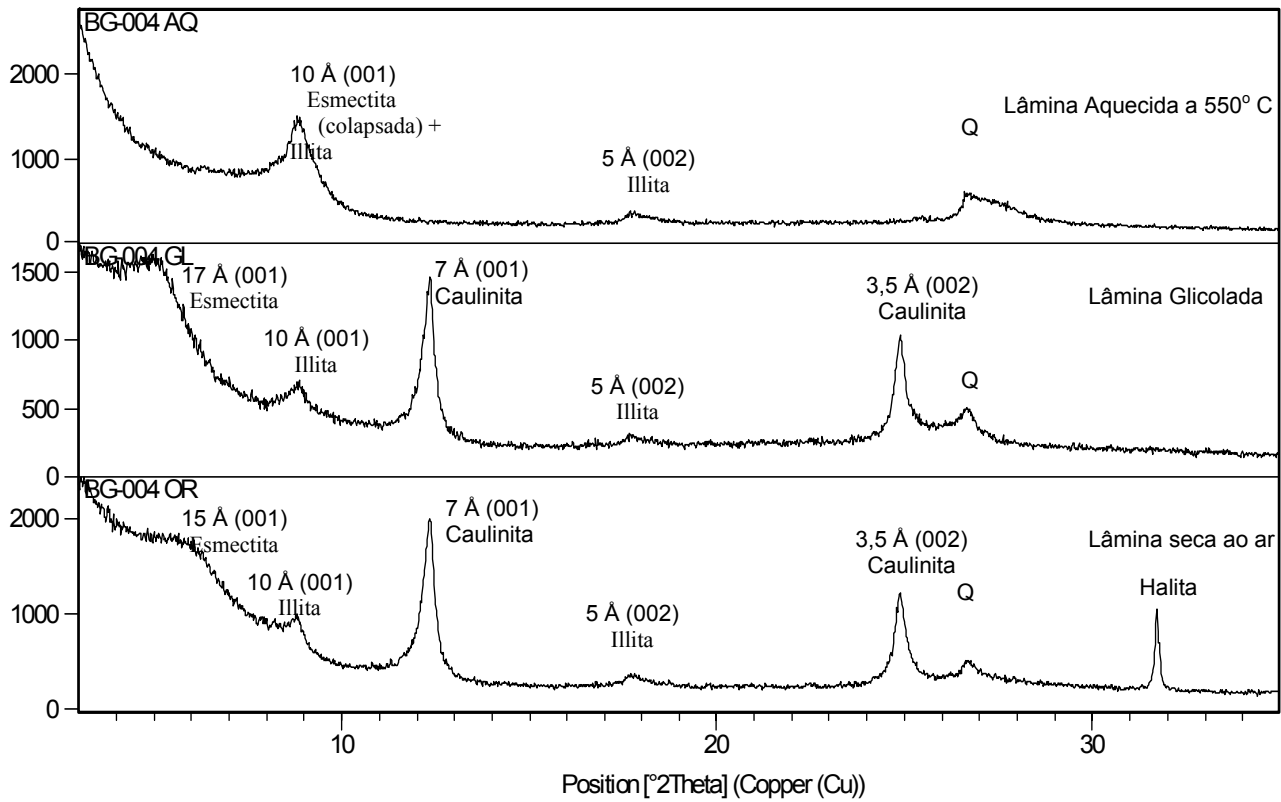
Nutrientes da Área 2. (N, C, M.O estão em Wt.% e P e P-org estão em mg/Kg)

Pontos	C	N	C/N	M.O	P	P-org
BM 1	1	0,11	9	1,73	477	2
BM 2	0,78	0,1	8	1,34	507	2
BM 3	1,22	0,1	12	2,11	418	-
BM 4	1,04	0,1	10	1,79	537	1
BM 5	1,08	0,11	10	1,86	491	2
BM 6	0,89	0,11	8	1,54	504	1
BM 7	1	0,11	9	1,73	517	5
BM 8	0,78	0,1	8	1,34	465	5
BM 9	0,78	0,09	9	1,34	441	2
BM 10	0,48	0,04	12	0,83	363	2
BM 11	0,71	0,08	9	1,22	369	6
BM 12	1	0,08	13	1,73	428	-
BM 13	0,96	0,09	11	1,66	536	10
BM 14	0,89	0,09	10	1,54	130	15
BM 15	0,93	-	-	1,6	93	15
BM 16	0,71	0,09	8	1,22	122	17
BM 17	0,96	0,05	19	1,66	161	12
BM 18	1,22	0,09	14	2,11	148	11
BM 19	0,33	0,1	3	0,58	159	17
BM 20	0,91	0,1	9	1,57	141	10
BM 21	0,93	0,11	8	1,6	147	16
BM 22	1,15	0,1	12	1,98	118	17
BM 23	0,78	0,01	78	1,34	139	19
BM 24	0,85	0,04	21	1,47	130	15
BM 25	0,93	0,01	93	1,6	105	18
BM 26	0,78	0,07	11	1,34	115	20
BM 27	1,21	0,13	9	2,08	137	12
BM 28	1,08	0,12	9	1,86	120	-
BM 29	1,32	0,12	11	2,27	144	3
BM 30	1,08	0,08	14	1,86	140	-
BM 31	1,22	0,13	9	2,11	134	4
BM 32	1,08	0,12	9	1,86	179	-
BM 33	1	0,11	9	1,73	207	1
BM 34	1,45	0,13	11	2,49	156	2
BM 35	1,41	0,12	12	2,43	128	2
BM 36	1,08	0,08	14	1,86	104	1
BM 37	1,22	0,09	14	2,11	93	1
BM 38	0,93	0,08	12	1,6	56	-
BM 39	0,89	0,05	18	1,54	88	-
BM 40	1,26	0,09	14	2,17	172	1
BM 41	0,93	0,07	13	1,6	55	-
BM 42	0,82	0,07	12	1,41	81	-
BM 43	1,08	0,1	11	1,86	113	2
BM 44	1,19	0,1	12	2,05	110	1
BM 45	0,48	0,06	8	0,83	40	-
BM 46	0,85	0,04	21	1,47	41	-
BM 47	0,96	0,08	12	1,66	155	-
BM 48	1	0,09	11	1,73	114	5
BM 49	0,93	0,07	13	1,6	87	4
BM 50	1,15	0,09	13	1,98	140	<1
BM 51	1,22	0,08	15	2,11	72	<1

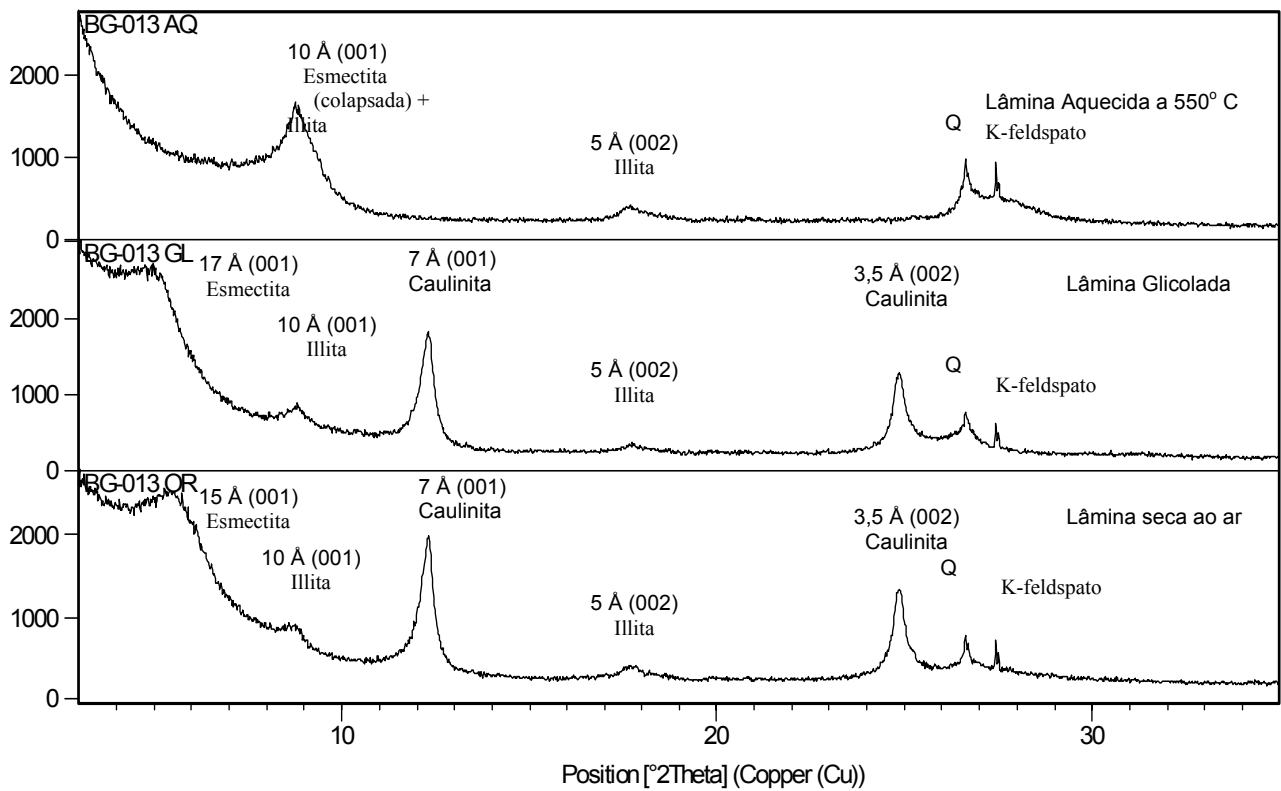
BM 52	0,93	0,08	12	1,6	94	4
BM 53	1,08	0,02	54	1,86	105	3
BM 54	1,08	0,07	15	1,86	129	-
BM 55	1,22	0,08	15	2,11	73	5
BM 56	0,71	0,04	18	1,22	53	1
BM 57	1,11	0,08	14	1,92	129	4
BM 58	1	0,07	14	1,73	115	9
BM 59	0,71	0,1	7,1	1,22	108	<1
BM 60	1,3	0,08	16	2,24	165	-

(-) não detectado

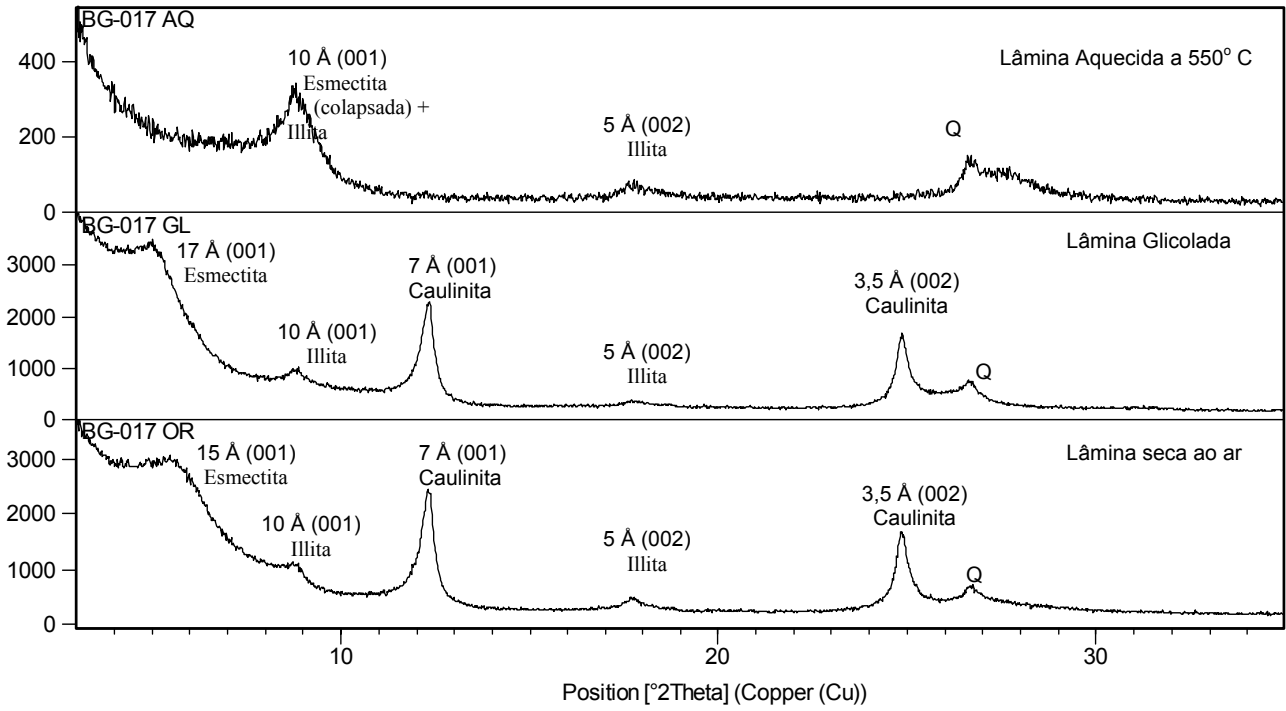
ANEXO C



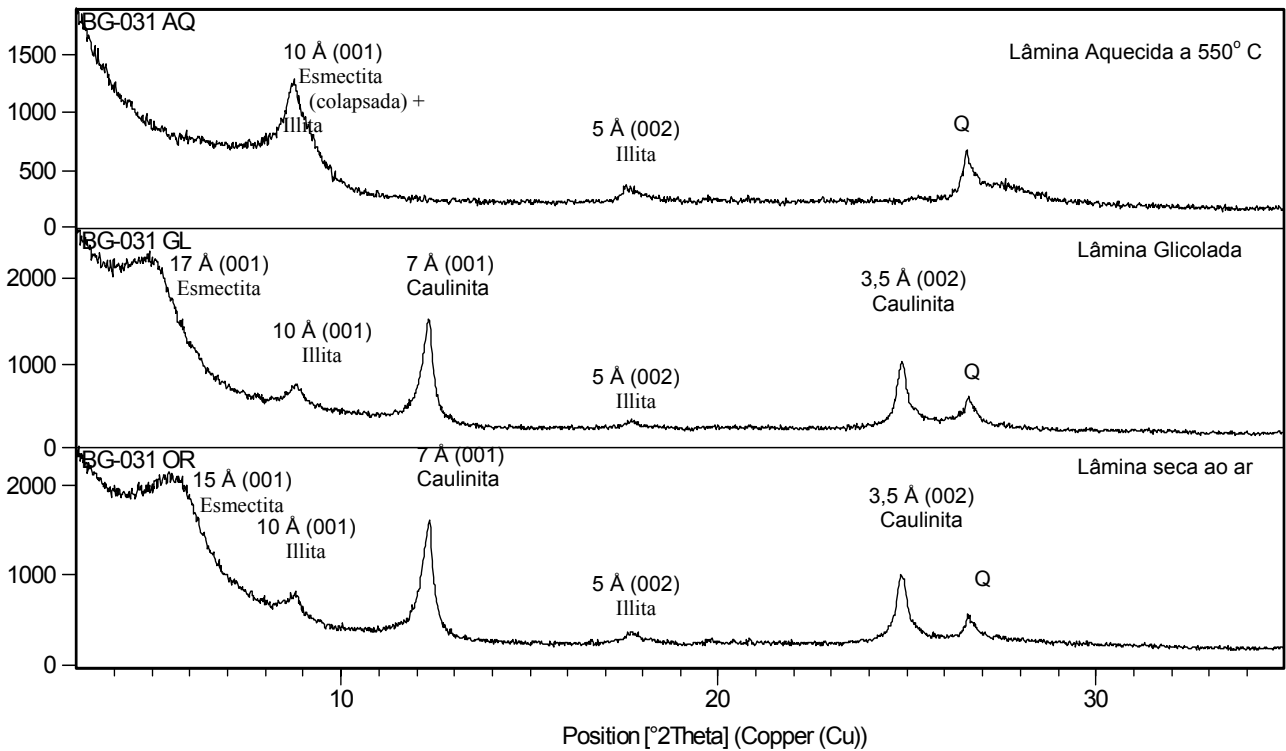
Difratograma da amostra BG 4



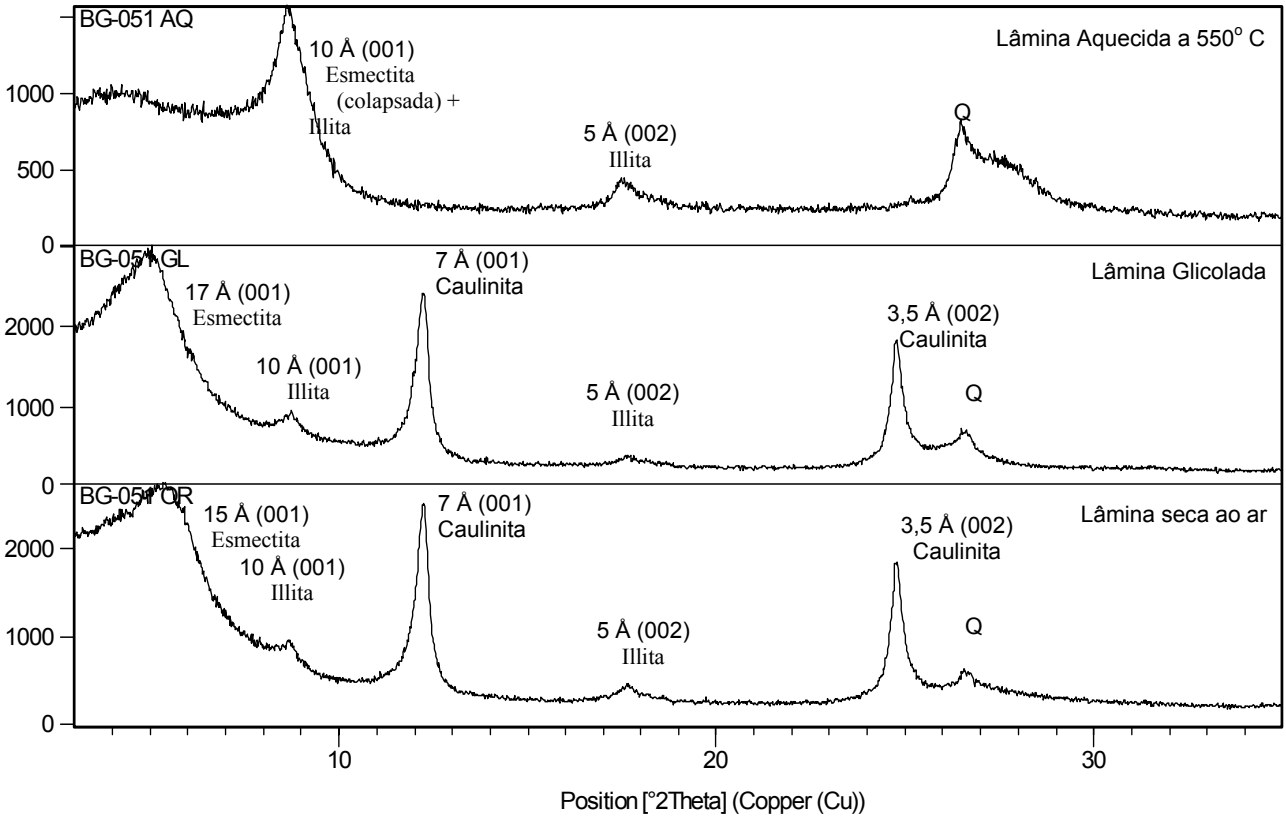
Difratograma da amostra BG 13



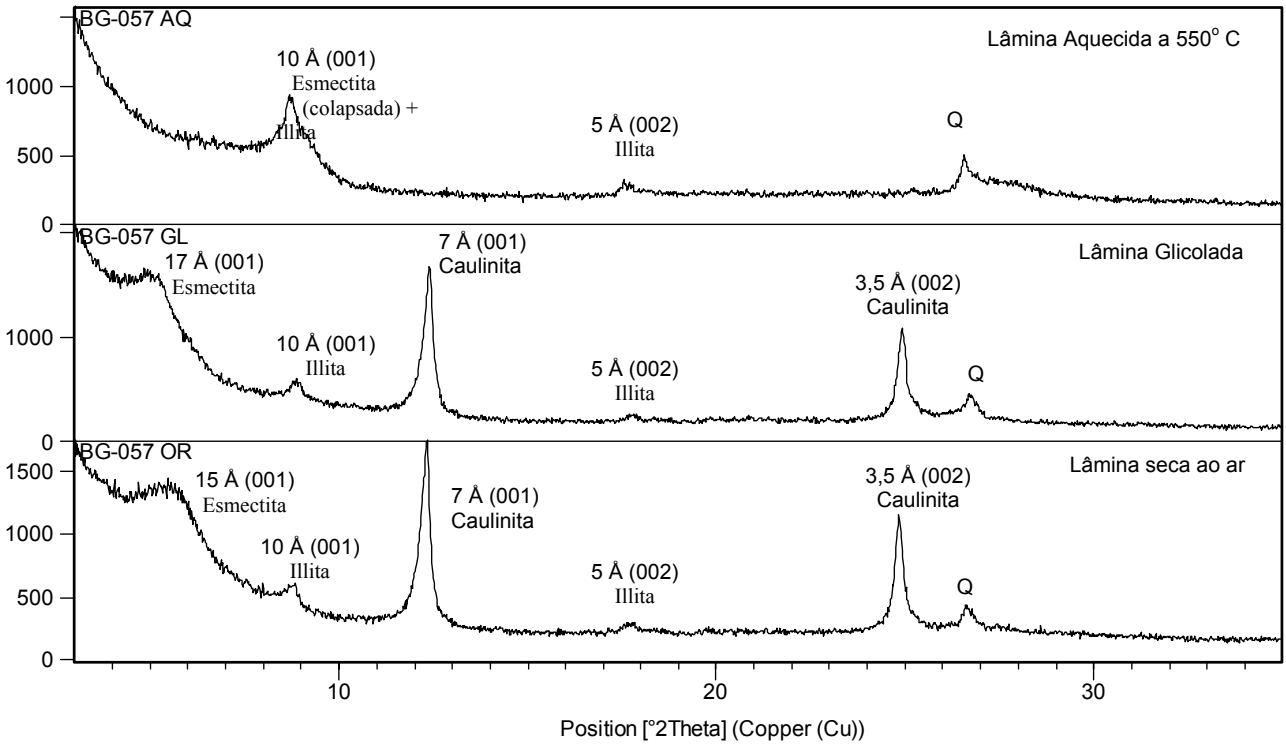
Difratograma da amostra BG 17



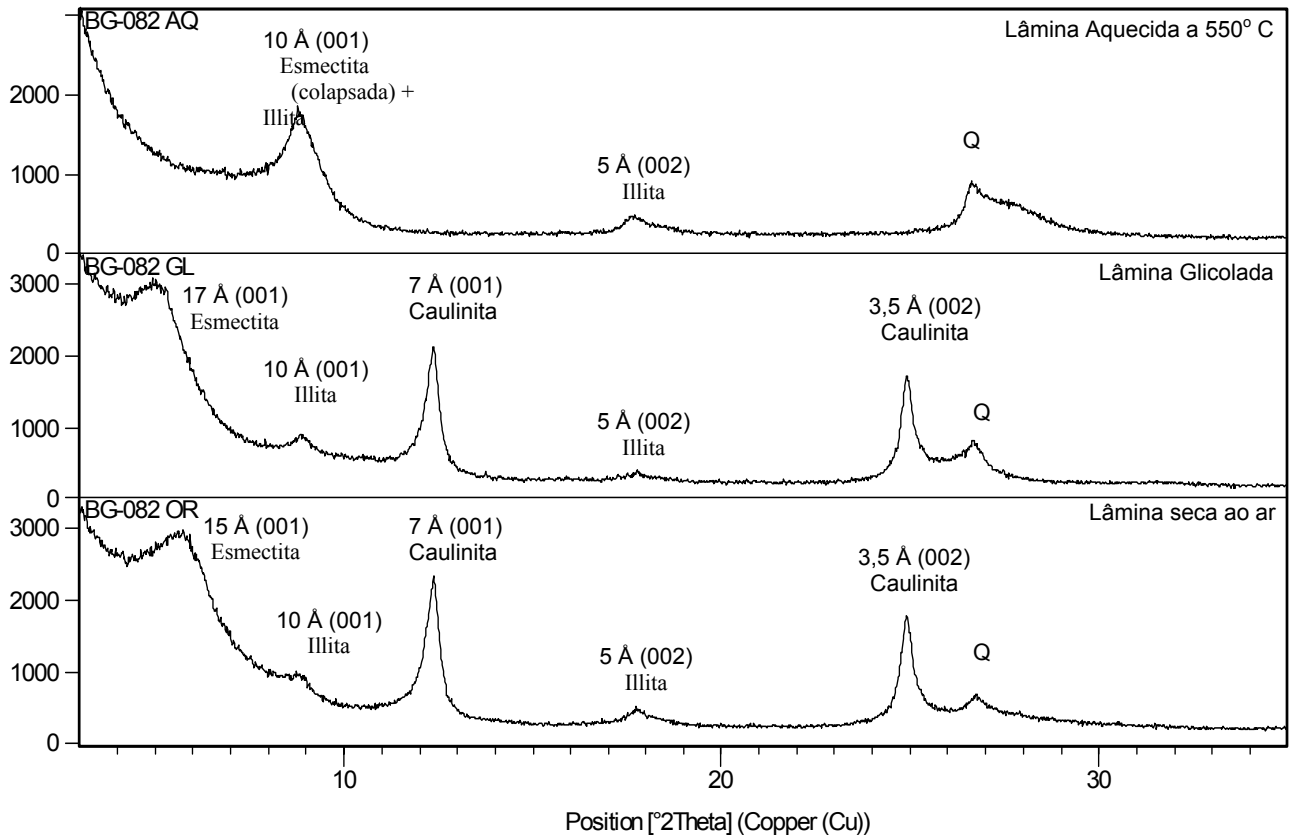
Difratograma da amostra BG 31



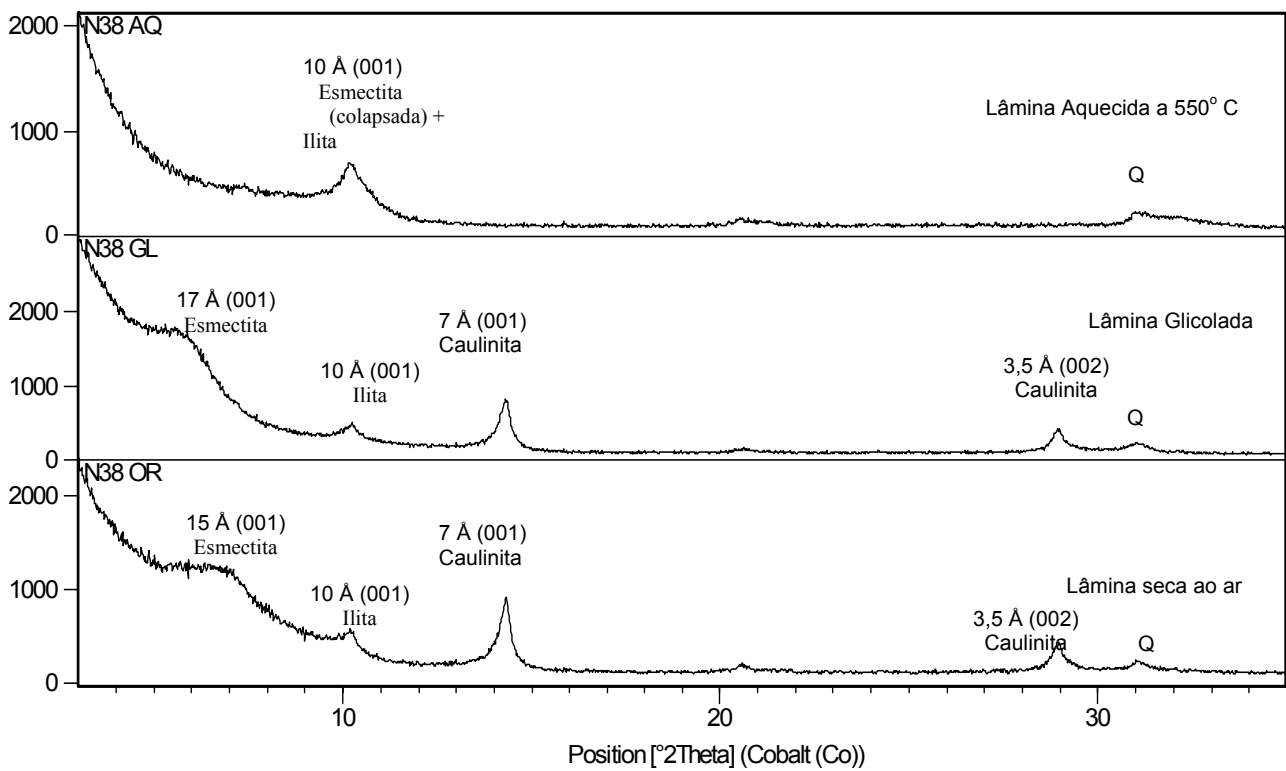
Difratograma da amostra BG 51



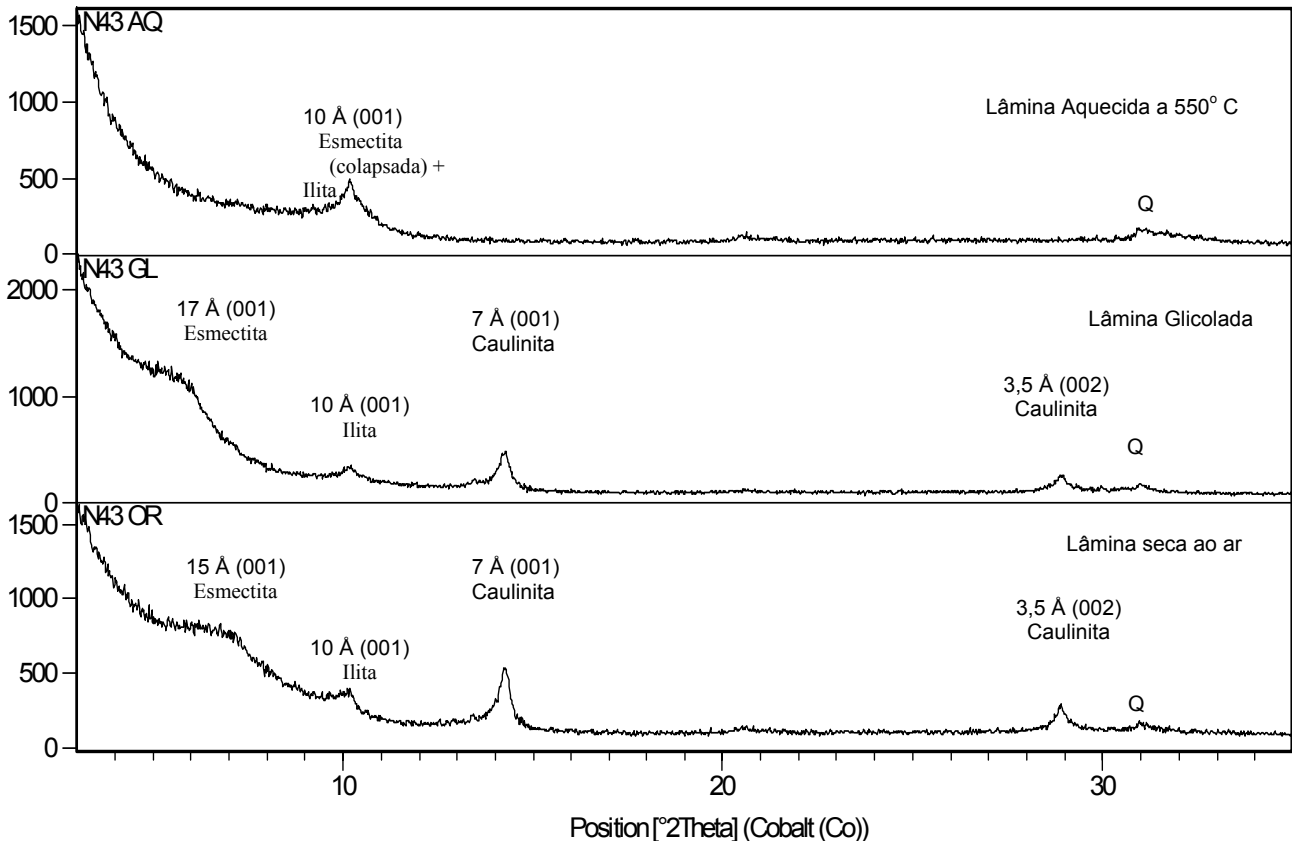
Difratograma da amostra BG 57



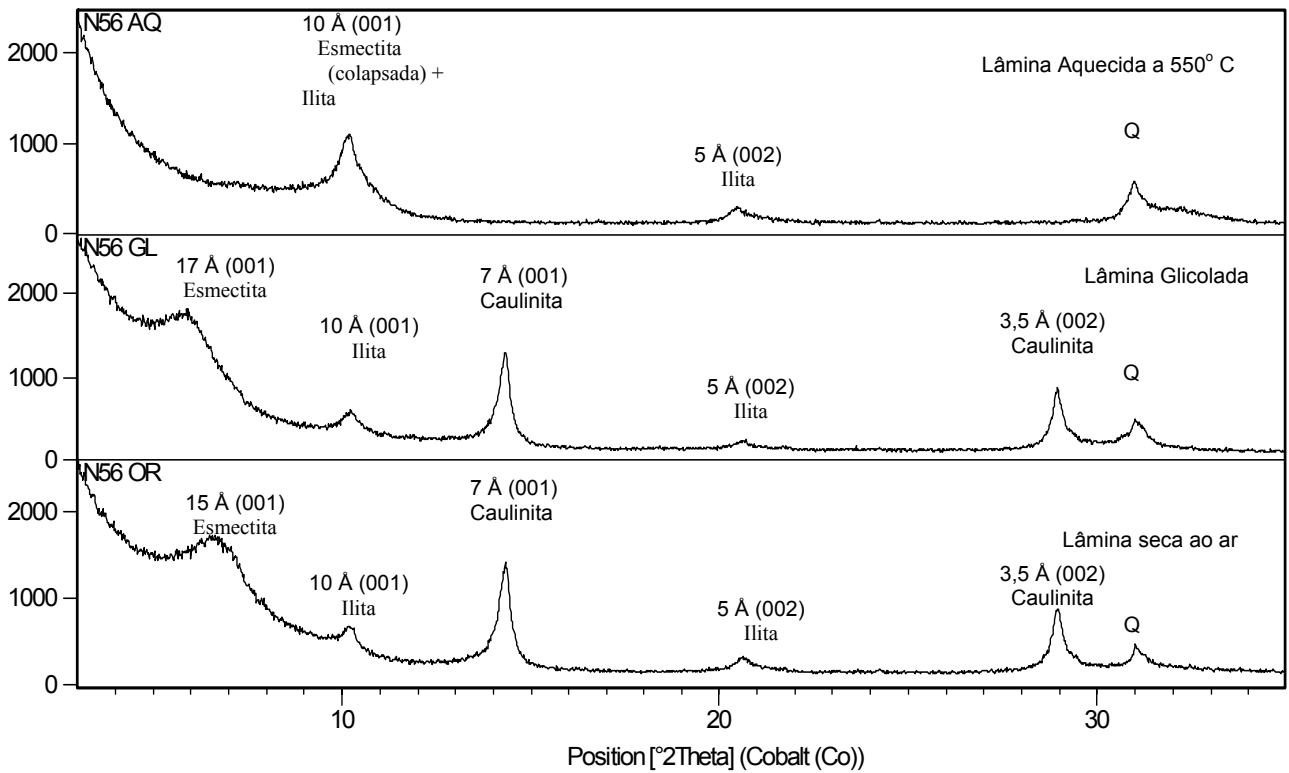
Difratograma da amostra BG 82



Difratograma da amostra BM 38



Difratograma da amostra BM 43



Difratograma da amostra BM 56