



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Estudo do comportamento de metais pesados nas
frações $< 2 \mu\text{m}$ e $< 63 \mu\text{m}$ nos sedimentos de fundo do rio
Arienga – Barcarena – Pará**

Dissertação apresentada por:

HELENICE QUADROS DE MENEZES

**Belém
2011**

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

M543e Menezes, Helenice Quadros de

Estudo do comportamento de metais pesados nas frações $< 2 \mu\text{m}$ e $< 63 \mu\text{m}$ nos sedimentos de fundo do rio Arienga – Barcarena – Pará / Helenice Quadros de Menezes; Orientador: José Augusto Martins Corrêa - 2011

xiii, 80 f.: il.

Dissertação (mestrado em geoquímica e petrologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2011.

1. Sedimentos (Geologia) – Barcarena (PA). 2. Metais pesados. 3. Rio Arienga. I. Corrêa, José Augusto Martins, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22° ed.: 551.304098115



**Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências**

Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE METAIS
PESADOS NAS FRAÇÕES $< 2 \mu\text{M}$ E $< 63 \mu\text{M}$ NOS
SEDIMENTOS DE FUNDO DO RIO ARIENGA –
BARCARENA – PARÁ**


DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

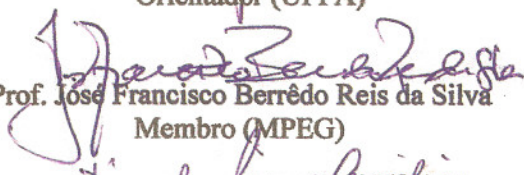
HELENICE QUADROS DE MENEZES

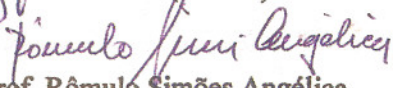
Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA

Data de Aprovação: 18 / 05 / 2011

Banca Examinadora:


Prof. José Augusto Martins Correa
Orientador (UFPA)


Prof. José Francisco Berrêdo Reis da Silva
Membro (MPEG)


Prof. Rômulo Simões Angélica
Membro (UFPA)

Aos meus pais, irmãos e esposo cujo amor e apoio incondicionais, tornaram menos árdua a caminhada até a conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela presença contínua em minha vida, facilitando a superação de obstáculos e abrindo novos caminhos;

Aos meus pais, irmãos, sobrinha e esposo pela compreensão e apoio;

Ao CNPq pelo apoio financeiro e ao UFPA/IG/PPGG pela oportunidade de concretização de mais um importante passo em minha caminhada rumo à vitória;

Ao Professor José Augusto Martins pela confiança que dedicou a mim e pela presteza durante o desenvolvimento deste trabalho;

Ao Professor Jean Michel Lafon pelo apoio durante a realização de minhas análises;

Aos Técnicos dos Laboratórios de Raio-X, Absorção Atômica, Sedimentologia e Análises Químicas da UFPA/IG/PPGG, pela colaboração nas práticas laboratoriais, em especial ao Professor Natalino e o Sr^o Lopes pela paciência e dedicação;

À Silvana Veloso e ao Augusto Saraiva pelo apoio na leitura de minhas amostras;

À Liliane Porto e Monaliza Maia pela colaboração na execução desse trabalho;

As minhas queridas amigas do Programa de Pós Graduação pela força, incentivo e paciência.

À minha amiga Márcia Bessa por todos os anos de amizade e dedicação.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da Área de Estudo.....	5
Figura 2 - Foz do rio Arienga durante a preamar.	10
Figura 3 - Instalações da USIPAR às margens do rio Arienga. Notar o sistema de dragagem da margem esquerda do rio Arienga para construção do atracadouro da USIPAR.	11
Figura 4 - Esquema do processo produtivo do ferro gusa.	18
Figura 5 - Barreiras de contenção com bóias para impedir o avanço da mancha de óleo.	20
Figura 6 - Derrame de lama vermelha no rio Murucupi, proveniente do beneficiamento de caulim.	21
Figura 7 - Águas do rio Murucupi após acidente ambiental na empresa Alunorte.	22
Figura 8 - Distribuição dos pontos de amostragem ao longo do rio Arienga.	24
Figura 9 - Coleta de amostra com draga de Petersen ao longo do rio Arienga.	25
Figura 10 - Amostra seca.	26
Figura 11 - Desagregação da amostra em grau de porcelana.	26
Figura 12 - Separação das frações silte-argila utilizando o cilindro de Atterberg.	27
Figura 13 - Suspensão da fração argila sendo centrifugada.	28
Figura 14 - Preparação da amostra para a determinação mineralógica.	29
Figura 15 - Composição granulométrica dos sedimentos de fundo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal.	34
Figura 16 - Distribuição granulométrica ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal. A seta laranja indica a direção foz-nascente.	35
Figura 17 - Difratoograma da amostra AR-01. Análise da mineralogia total segundo o método do pó.	36
Figura 18 - Difratoograma da amostra IG_B-01. Análise da mineralogia total segundo o método do pó.	36
Figura 19 - Difratoograma da amostra AR-02. Lâmina orientada (C) normal, (A) saturada em etilenoglicol e (B) aquecida a 550 °C.	37
Figura 20 - Distribuição da concentração de matéria orgânica ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal. A seta laranja indica a direção foz-nascente.	39
Figura 21 - Distribuição do teor de carbono orgânico nos sedimentos ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal.	40

Figura 22 - Distribuição dos elementos mais abundantes (Fe_2O_3 , Al_2O_3 e SiO_2) ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal. Notar a pouca variação do alumínio e ferro ao longo do rio. A linha laranja indica a direção foz-nascente.	42
Figura 23 - Distribuição da concentração de P_2O_5 , TiO_2 , CaO , Na_2O , K_2O e MgO ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal. A linha laranja indica a direção foz-nascente.	42
Figura 24 - Diagrama mostrando a correlação entre o elemento Fe e a matéria orgânica.	47
Figura 25 - Distribuição em base log da concentração dos elementos traço ao longo do rio Arienga na fração $< 63 \mu\text{m}$	48
Figura 26 - Distribuição em base log da concentração dos elementos traço ao longo do rio Arienga na fração $< 2 \mu\text{m}$	48
Figura 27 - Distribuição da concentração de Ni, nas frações $< 2 \mu\text{m}$ e $< 63 \mu\text{m}$, ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal.	50
Figura 28 - Diagrama mostrando a comparação entre as concentrações de Ni e Al, neste trabalho, nas ilhas e na orla da baía do Guajará e nas ilhas do rio Guamá.	51
Figura 29 - Distribuição da concentração de Pb ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal nas frações $< 2 \mu\text{m}$ e $< 63 \mu\text{m}$	53
Figura 30 - Diagrama mostrando a comparação entre as concentrações de Pb e Al, neste trabalho, nas ilhas e na orla da baía do Guajará e nas ilhas do rio Guamá.	54
Figura 31 - Distribuição da concentração de Zn ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal nas frações $< 2 \mu\text{m}$ e $< 63 \mu\text{m}$	56
Figura 32 - Diagrama mostrando a comparação entre as concentrações de Zn e Al, neste trabalho, nas ilhas e na orla da baía do Guajará, nas ilhas do rio Guamá e na média da escória de alto forno.	57
Figura 33 - Distribuição da concentração de Cu ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal nas frações $< 2 \mu\text{m}$ e $< 63 \mu\text{m}$	59
Figura 34 - Diagrama mostrando a comparação entre as concentrações de Cu e Al, neste trabalho, nas ilhas e na orla da baía do Guajará, nas ilhas do rio Guamá e na média da escória de alto forno.	60
Figura 35 - Distribuição da concentração de Ba ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal nas frações $< 2 \mu\text{m}$ e $< 63 \mu\text{m}$	62
Figura 36 - Diagrama mostrando a comparação entre as concentrações de Ba e Al, neste trabalho, nas ilhas da baía do Guajará, nas ilhas do rio Guamá e na escória de alto forno.	63

Figura 37 - Distribuição da concentração de V ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal nas frações $< 2 \mu\text{m}$ e $< 63 \mu\text{m}$	65
Figura 38 - Diagrama mostrando a comparação entre as concentrações de V e Al, neste trabalho, nas ilhas da baía do Guajará, nas ilhas do rio Guamá e na escória de alto forno.	66
Figura 39 - Distribuição da concentração de Co ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal nas frações $< 2 \mu\text{m}$ e $< 63 \mu\text{m}$	68
Figura 40 - Diagrama mostrando a comparação entre as concentrações de Cu e Al, neste trabalho, nas ilhas e na orla da baía do Guajará e nas ilhas do rio Guamá.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos níveis altimétricos da região de Barcarena.	8
Tabela 2 - Coluna estratigráfica da região de Barcarena.	9
Tabela 3 - Valores de referência de folhelhos para os elementos estudados.	16
Tabela 4 - Classificação dos parâmetros pelo índice de geoacumulação, conforme o grau de poluição.	17
Tabela 5 - Composição química da escória de alto forno.	19
Tabela 6 - Composição química da lama de alto forno.	19
Tabela 7 - Localização dos pontos amostrados.	23
Tabela 8 - Resultados da análise granulométrica nos sedimentos ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal. Valores expressos em %. Peso inicial 50 g.	34
Tabela 9 - Concentração de matéria orgânica nos sedimentos ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal.	38
Tabela 10 - Concentração de carbono orgânico nos sedimentos ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal.	40
Tabela 11 - Composição química dos sedimentos de fundo ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal. Valores em % - peso.	41
Tabela 12 - Concentração dos elementos traço analisados na fração < 63 µm (Silte + argila) dos sedimentos de fundo do rio Arienga. Valores em mg.Kg ⁻¹	44
Tabela 13 - Concentração dos elementos traço analisados na fração < 2 µm (argila) dos sedimentos de fundo do rio Arienga. Valores em mg.Kg ⁻¹	45
Tabela 14 - Magnificação da concentração média dos metais analisados na fração < 2 µm. ...	46
Tabela 15 - Matriz de correlação entre elementos maiores, traço e matéria orgânica.	47

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vi
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	5
3.1 LOCALIZAÇÃO.....	5
3.2 CLIMA	6
3.3 SOLOS	6
3.4 VEGETAÇÃO.....	7
3.5 RELEVO	7
3.6 GEOLOGIA	8
3.7 HIDROLOGIA	9
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
4.1 SEDIMENTOS E A CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL	12
4.2 A INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DOS SEDIMENTOS NO ENRIQUECIMENTO DE METAIS	13
4.3 INDICADORES DE QUALIDADE AMBIENTAL.....	15
4.4 RESÍDUOS DA ATIVIDADE SIDERÚRGICA	17
5 MATERIAIS E MÉTODOS	23
5.1 AMOSTRAGEM.....	23
5.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	25
5.3 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA	28
5.4 ANÁLISES QUÍMICA	30
5.4.1 Matéria orgânica.....	30

5.4.2	Elementos maiores.....	31
5.4.3	Elementos traço	32
5.4.4	Tratamento dos dados.....	32
6	RESULTADOS E DISCUSÕES.....	33
6.1	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	33
6.2	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA	35
6.3	MATÉRIA ORGÂNICA	37
6.4	CARBONO ORGÂNICO	39
6.5	ELEMENTOS MAIORES	41
6.6	ELEMENTOS-TRAÇO	43
6.1.1	Níquel.....	49
6.1.2	Chumbo	51
6.1.3	Zinco	54
6.1.4	Cobre	57
6.1.5	Bário.....	60
6.1.6	Vanádio.....	63
6.1.7	Cobalto.....	66
6.7	ÍNDICE DE GEOACUMULAÇÃO	69
7	CONCLUSÕES.....	70
	REFERÊNCIAS	71

RESUMO

Os corpos d'águas superficiais, dos grandes centros urbanos e industriais, vêm sofrendo progressivamente o impacto da ação humana. Que causa dentre outros problemas ambientais o *input* do teor de metais pesados que se acumulam nos sedimentos de fundo causando sérios danos ao sistema aquático. Com o intuito de estudar o grau de contaminação dos sedimentos de fundo do rio Arienga, importante rio da cidade de Barcarena – PA, e avaliar possíveis contaminações por rejeitos tóxicos oriundos da atividade siderúrgica do pólo industrial da cidade, foram realizadas análises granulométricas, mineralógicas e químicas em 9 amostras coletadas ao longo do rio e 1 na foz do igarapé Bacabal. Os resultados granulométricos dos sedimentos mostraram a predominância da fração silte sobre as demais (areia e argila). Apenas nos três primeiros pontos coletados, em virtude da proximidade com a foz, houve a predominância da fração areia. O estudo mineralógico das amostras revelou o caráter essencialmente quartzoso da fração $< 63 \mu\text{m}$ e a presença de caulinita, illita e esmectita na fração $< 2 \mu\text{m}$. A análise de matéria orgânica apresentou teor médio de $5,90 \pm 1,87 \text{ mg.Kg}^{-1}$. As análises para determinação dos elementos traço foram realizadas tanto na fração $< 63 \mu\text{m}$, quanto na fração $< 2 \mu\text{m}$. Observou-se que houve um enriquecimento considerável na concentração dos metais na fração mais fina do sedimento ($< 2 \mu\text{m}$): o Ni passou de uma média de $11,10 \pm 1,89 \text{ mg.Kg}^{-1}$ na fração $< 63 \mu\text{m}$ para uma média de $37,94 \pm 1,94 \text{ mg.Kg}^{-1}$ na fração $< 2 \mu\text{m}$; o Pb aumentou seu teor médio de $14,61 \pm 2,37 \text{ mg.Kg}^{-1}$ para $46,02 \pm 2,49 \text{ mg.Kg}^{-1}$; o Zn passou de uma concentração média de $41,60 \pm 6,33 \text{ mg.Kg}^{-1}$ para $107,40 \pm 7,78 \text{ mg.Kg}^{-1}$; o Cu aumentou sua concentração média de $12,38 \pm 2,28 \text{ mg.Kg}^{-1}$ para $30,37 \pm 5,70 \text{ mg.Kg}^{-1}$; para o V, o Co e o Ba, o aumento na concentração média foi de respectivamente $92,10 \pm 9,35 \text{ mg.Kg}^{-1}$; $9,08 \pm 1,45 \text{ mg.Kg}^{-1}$ e $344,70 \pm 46,76 \text{ mg.Kg}^{-1}$ para respectivamente $140,80 \pm 7,19 \text{ mg.Kg}^{-1}$; $16,82 \pm 1,58 \text{ mg.Kg}^{-1}$ e $428,50 \pm 36,81 \text{ mg.Kg}^{-1}$. Ficando clara a afinidade de todos os metais analisados com a fração argila. A determinação do Índice de Geoacumulação (I_{Geo}) demonstrou que o rio Arienga, embora esteja situado em uma área de risco, não encontra-se contaminado para os metais estudados, sendo portanto os valores encontrados provavelmente devidos a geologia local.

Palavras-chave: Sedimentos (Geologia) – Barcarena (PA). Metais pesados. Rio Arienga.

ABSTRACT

The bodies of surface water in large urban centers and industrial have been under increasingly the impact of human action. What cause other environmental problems among the input content of heavy metals that accumulate in bottom sediments, causing serious damage to the aquatic system. In order to study the level of contamination of bottom sediments of the river Arienga important river city Barcarena – PA, and evaluate possible contamination by toxic wastes from the steel industry the industrial hub of the city were analyzed for textural, mineralogical and chemical in nine samples collected along the river and one at the mouth of the creek Bacabal. The results of the sediment grain size showed the predominance of silt over the others (sand and clay). Only the first three points collected by virtue of proximity to the mouth, was the predominant sand fraction. O mineralogical study of samples revealed an essentially quartzose fraction $< 63 \mu\text{m}$ and the presence of kaolinite, smectite and illite in the fraction $< 2 \mu\text{m}$. The organic matter analysis showed an average of $5.90 \pm 1.87 \text{ mg.Kg}^{-1}$. Analyses for determination of trace elements was carried out both in the fraction $< 63 \mu\text{m}$ and in the fraction $< 2 \mu\text{m}$. It was observed that there was a considerable enrichment of heavy metals in the finer fraction of sediment ($< 2 \mu\text{m}$): Ni increased from an average of $11.10 \pm 1.89 \text{ mg.Kg}^{-1}$ in the fraction $< 63 \mu\text{m}$ for a average of $37.94 \pm 1.94 \text{ mg.Kg}^{-1}$ in the fraction $< 2 \mu\text{m}$; Pb increased its average $14.61 \pm 2.37 \text{ mg.Kg}^{-1}$ to $46.02 \pm 2.49 \text{ mg.Kg}^{-1}$, the Zn concentration increased from an average of $41.60 \pm 6.33 \text{ mg.Kg}^{-1}$ to $107.40 \pm 7.78 \text{ mg.Kg}^{-1}$, the Cu concentration increased an average of $12.38 \pm 2.28 \text{ mg.Kg}^{-1}$ to $30.37 \pm 5.70 \text{ mg.Kg}^{-1}$, for V, Co and Ba increase in the average concentration was respectively of $92.10 \pm 9.35 \text{ mg.Kg}^{-1}$, $9.08 \pm 1.45 \text{ mg.Kg}^{-1}$ and $344.70 \pm 46.76 \text{ mg.Kg}^{-1}$ to respectively $140.80 \pm 7.19 \text{ mg.Kg}^{-1}$, $16.82 \pm 1.58 \text{ mg.Kg}^{-1}$ and $428.50 \pm 36.81 \text{ mg.Kg}^{-1}$. Getting a clear affinity for all metals analyzed with the clay. The determination of the Index of Geoaccumulation (I_{Geo}) showed that the river Arienga, although situated in an area of risk, isn't contaminated to the metals studied, and therefore the values found were probably due to local geology.

Keywords: Sediments (Geology) – Barcarena (PA), Heavy metals. River Arienga

1 INTRODUÇÃO

O município de Barcarena situa-se no nordeste do Estado do Pará e pertence à mesorregião metropolitana de Belém e à microrregião de Belém. De acordo com estimativas do IBGE, o município alcançou em 2009 uma população de 92.567 habitantes distribuída em uma área de 1.310,33 Km² (IBGE, 2009). As principais atividades econômicas da região são a indústria, a agricultura e o extrativismo. As atividades com maior envolvimento dos habitantes referem-se às culturas extrativistas, à agricultura de subsistência, à pesca e à caça. No entanto, para Pacheco Jr. (2003), é a intensa atividade industrial, em constante expansão, que merece destaque em Barcarena, em função da dimensão de seu pólo industrial que apresenta uma área total de 3000 ha., e uma área industrial de 240 ha, reunindo empresas de expressão mundial: Albras, Alunorte, Soinco da Amazônia, Imerys Rio Capim Caulim, Pará Pigmentos S.A. (PPSA) e a Usina Siderúrgica do Pará (USIPAR). Com a instalação dessa última, na bacia hidrográfica do rio Arienga, o pólo industrial de Barcarena transformou-se também em um dos maiores produtores e exportadores de ferro gusa do mundo (Fenzl et al., 2008). Para dar suporte ao escoamento da produção industrial, funciona em Barcarena o maior terminal portuário do Estado, o porto de Vila do Conde. Inaugurado em 1985, o porto possui atualmente uma área total de 3.920.347,00 m² e em virtude de sua localização estratégica, em frente à baía do Marajó e próximo ao oceano Atlântico, conquistou rapidamente importância no cenário nacional como o maior em movimentação de cargas no Norte do Brasil. No ano de 2007 o complexo portuário de Vila do Conde movimentou 12 milhões de toneladas em produtos (Leme, 2008).

A hidrografia de Barcarena é bastante extensa, o município é banhado por uma série de rios e igarapés que, desde a instalação do complexo industrial, têm sofrido com os constantes acidentes ambientais envolvendo derrame de resíduos tóxicos provenientes das empresas do pólo industrial. Tais resíduos provocam a contaminação das águas com a consequente intoxicação de organismos aquáticos, e a impossibilidade dos moradores locais utilizarem os corpos de água por longos períodos. Embora as empresas possuam suas estações de tratamento de efluentes e comissões para prevenção de acidentes ambientais, a existência delas na área de influência direta das bacias hidrográficas dos rios tem preocupado as autoridades e principalmente os moradores locais, pois despejos industriais em corpos d'água, contendo lama vermelha oriunda do processo de produção da alumina e os vazamentos de

resíduos de caulim, têm sido um problema constante para o ecossistema local, bem como para a saúde dos moradores que utilizam essas águas (Pereira et al. 2007).

De acordo com Lemos (2009), um dos acidentes ambientais que repercutiu nacionalmente ocorreu em dezembro desse mesmo ano. Quando uma forte explosão nas proximidades da bacia do rio Arienga, assustou os moradores que acionaram a Delegacia do Meio Ambiente (DEMA) e a Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA). Na ocasião a empresa responsável pelo acidente, a Usina Siderúrgica do Pará (USIPAR), foi multada e interditada por um determinado período.

A bacia hidrográfica do rio Arienga se localiza a sudoeste do município de Barcarena limitando-se também com o município de Abaetetuba e está na área de influência direta de uma importante empresa de beneficiamento de ferro gusa. Assim, partindo de sua localização e dos recorrentes acidentes ambientais envolvendo as empresas do parque industrial de Barcarena, o rio Arienga pode estar sendo poluído por rejeitos tóxicos.

De acordo com o Christophoridis et al. (2009), os sedimentos de fundo podem atuar como sumidouro ou como uma fonte potencial de compostos tóxicos para o sistema aquático. Uma vez que eles mostram uma grande capacidade de acumular metais pesados e poluentes orgânicos mesmo quando esses se encontram em baixas concentrações na coluna d'água e alterações nas condições ambientais (tais como mudanças de pH e de Eh) podem novamente disponibilizar esses contaminantes na coluna d'água tornando-os biodisponíveis aos organismos bentônicos e introduzindo-os dessa forma na cadeia alimentar.

Segundo Lemes (2003), a troca de íons entre a coluna d'água e o sedimento de fundo aumenta consideravelmente na fração $< 2 \mu\text{m}$ (fração argila), não só pela existência de uma maior área superficial dessa fração, como também porque nela ocorrem os argilominerais de diferentes grupos, alguns com elevada capacidade de troca de cátions. Assim, fatores como tamanho da partícula e o grau de cristalinidade dos argilominerais influenciam na sorção e na retenção de contaminantes na superfície das partículas.

A tendência observada é que, quando o tamanho do grão diminui, aumenta a concentração de nutrientes e contaminantes no sedimento de fundo. Para Soares et al. (1999) e Birch et al. (2001), o uso da fração constituída por partículas menores que $62 \mu\text{m}$ (silte + argila) na determinação de metais pesados é altamente recomendado, pois esses metais ao atingirem o sedimento de fundo de um ecossistema aquático ligam-se preferencialmente a essa fração que dessa maneira contém o registro da contaminação por metais pesados ocorrida ao longo dos anos nesse sistema.

De acordo com Silva et. al. (2002), uma importante ferramenta na avaliação de ambientes geoquímicos impactados por metais traço é o Índice de Geoacumulação (I_{Geo}), pois através da utilização da composição média dos folhelhos como referência (*background*) global é possível comparar o grau de contaminação de diferentes áreas. Silva (2008), revelou em seu estudo que o I_{Geo} nos sedimentos de fundo do arroio João Correa-Rs, indicam que tal ambiente encontra-se de pouco a moderadamente poluído para a maioria dos metais analisados.

Portanto, os resultados obtidos com este trabalho servirão como instrumento no auxílio à formulação de políticas públicas que visem ao adequado gerenciamento da bacia hidrográfica do rio Arienga, evitando que ela seja alvo de futuros impactos ambientais. Dada a importância desse rio, não apenas para o município de Barcarena como para todo o Estado do Pará, como reserva de água doce em eminente risco de contaminação.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

De forma geral, esse trabalho objetiva estudar o comportamento de metais pesados nas frações $< 2 \mu\text{m}$ e $< 63 \mu\text{m}$ do sedimento superficial de fundo do rio Arienga Barcarena – PA.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar o grau de enriquecimento de metais traço nas frações $< 2 \mu\text{m}$ e $< 63 \mu\text{m}$ dos sedimentos;
- Avaliar o índice de geoacumulação de metais pesados nos sedimentos;
- Estabelecer relações entre as concentrações dos elementos e sua origem;

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

3.1 LOCALIZAÇÃO

O município de Barcarena pertence à mesorregião Metropolitana de Belém e à microrregião de Belém. Sua sede municipal (Figura 1) possui as seguintes coordenadas geográficas: 01° 30' 24" de latitude Sul e 48° 37' 12" de longitude a Oeste de Greenwich. Ao norte Barcarena tem como limite a Baía do Guajará e o município de Belém; ao sul os municípios de Moju e Abaetetuba; a leste a Baía do Guajará e o município de Acará; a oeste a Baía do Marajó (SEPOF, 2007).

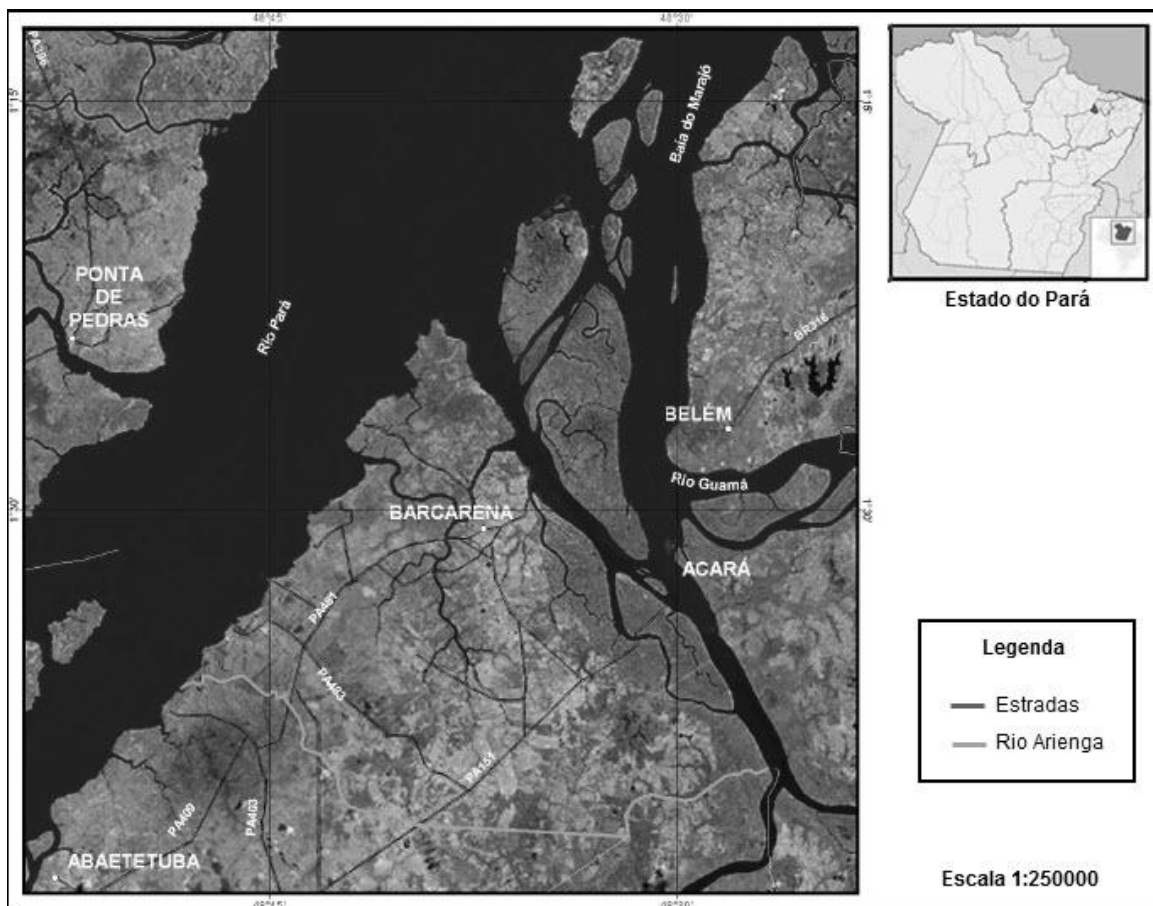


Figura 1 - Localização da Área de Estudo.

3.2 CLIMA

A região de Barcarena possui clima quente e úmido, com temperatura média anual de 27°C, e conforme a classificação de Koppen o clima da região é de floresta tropical úmida da classe Afi (A - clima tropical chuvoso; f – ocorrências de chuva todo o ano; i – a oscilação anual da temperatura média é menor que 5 °C). As precipitações apresentam média anual de 2.500 mm, sendo que o período mais chuvoso ocorre entre dezembro e maio, atingindo as maiores taxas de precipitação em março, com valores de até 425 mm e o período menos chuvoso entre junho e novembro, nesse período a precipitação fica abaixo de 110 mm por volta do mês de agosto. A região de Barcarena apresenta muita instabilidade atmosférica, com forte convecção e precipitação na forma de pancadas. Sendo a umidade relativa do ar superior a 85 % durante todos os meses do ano (Benvenuti, 1995).

3.3 SOLOS

De acordo com SEPOF (2007), a porção continental do município de Barcarena é formada predominantemente por solos do tipo Latossolo Amarelo Distrófico, resultante da Formação Barreiras e responsável por compor relevo plano sob floresta densa. Devido à variação no teor de argila nesses solos, são caracterizados como de textura média a muito argilosa com alta capacidade de troca catiônica. No município há também a ocorrência do solo Podzol Hidromórfico, esses são constituídos por sedimentos arenosos predominantemente do Quaternário, assim não apresentam cores neutras acinzentadas (Almeida, 2005). Outro tipo de solo encontrado na região é o Concrecionário Laterítico constituído por sedimentos argilosos ou areno-argilosos, com presença de concreções ferruginosas. Encontrado sob vegetação densa, característico de superfícies planas ou suavemente onduladas (Bandeira, 2006).

Na porção insular segundo SEPOF (2007), há a ocorrência de solos Hidromórficos indiscriminados, eutróficos e distróficos, textura indiscriminada e Hidromórficos Gleisados, como o Gley Pouco Húmico e Aluvial, eutróficos e distróficos, textura indiscriminada.

3.4 VEGETAÇÃO

Para Silva (2003), anteriormente a implantação do pólo industrial, o município de Barcarena era caracterizado por matas densas, ou seja, antes de sua industrialização Barcarena apresentava uma expressiva cobertura vegetal, pouco ou nada alterada, com predominância de mata primária. No entanto, após o início de seu processo industrial, o município começou a passar por um intenso processo de desmatamento, que vem convertendo as áreas de matas em grandes capoeiras e áreas subutilizadas (Juquira e cultivo de pastos).

Ainda de acordo com Silva (2003), há, atualmente, em Barcarena a existência de cinco geoclasses vegetais: vegetação secundária, composta por mata densa de difícil acesso, com vegetação de grande porte (aproximadamente 20m de altura); capoeira alta ou capoeirão, formada por mata menos densa, com algum espaçamento entre as árvores o que torna o acesso um pouco menos difícil, apresenta vegetação de porte médio (aproximadamente 12 m de altura); capoeira baixa ou capoeira, nessa a vegetação é esparsa e de pequeno porte (atinge aproximadamente 5 m de altura), o que proporciona facilidade ao acesso; solo exposto, essa geoclasse está relacionada a áreas de incidência de atividade industrial, áreas urbanizadas, recém desmatadas e a áreas onde ocorre a extração de argila; áreas de juquira/cultivo/pastos, foram definidas por áreas de vegetação composta por arbustos, de porte aproximado a 70 cm, desenvolvidas em locais onde anteriormente ocorria a prática de agricultura e pastagens.

3.5 RELEVO

A topografia de Barcarena é dividida em cinco planos altimétricos, de acordo com o padrão regional, que se caracteriza pela presença de relevo suavemente ondulado a plano, conforme mostra a Tabela 1 (RIMA ALBRAS/ALUNORTE, 1984).

Nessa região as várzeas altas são compostas por restingas, diques e cordões arenosos, com níveis altimétricos variando de 3 a 12 m, enquanto as várzeas baixas e relativamente planas são representadas por igapós e lagos, junto às margens dos rios, com níveis altimétricos variando entre 0 a 3 m. Os terraços são elevações que ficam fora do alcance das águas e seus níveis altimétricos variam entre 5 a 12 m e as terras firmes são representadas por terrenos do baixo Planalto Amazônico que estão fora da ação das águas dos rios e das marés, nessas áreas o nível varia entre 10 e 14 m (RIMA ALBRAS/ALUNORTE, 1984).

Tabela 1 - Descrição dos níveis altimétricos da região de Barcarena.

NÍVEL ALTIMÉTRICO	DESCRIÇÃO
0-3	Várzea baixa, alagável constantemente
3-5	Várzea alta, alagável periodicamente
5-12	Terraços
12-15	Falésias do rio Pará
10-14	Terras firmes de nível superior

Fonte: Adaptado de RIMA ALBRAS/ALUNORTE (1984).

3.6 GEOLOGIA

A região de Barcarena e adjacências fazem parte da zona estuarina Amazonas – Tocantins – Guamá e está assentada sobre espesso pacote sedimentar de idade Cenozóica (Tabela 2). O arcabouço estratigráfico do município apresenta-se pouco variável, sua porção continental apresenta, sobretudo, sedimentos do Terciário (Formação Barreiras), já nas margens dos rios estão os sedimentos do Quaternário (SEPOF, 2007).

A Formação Barreiras concentra-se na porção continental estando exposta na maior parte do município. Sendo composta por arenitos, siltitos e argilitos, de coloração cinza amarelada e espessura de até 100 m, apresentando concreções lateríticas (Mioceno Superior). Há ainda a ocorrência de arenitos ferruginosos “Grés do Pará” e níveis conglomeráticos quartzosos. As porções norte e nordeste do município são caracterizadas pela presença de sedimentos argilo-arenosos de coloração, nas porções inferiores, que normalmente varia do amarelo ao avermelhado apresentando pouco ou nenhuma estrutura primária (Melo Junior, 2002). Nas margens dos rios, há a ocorrência de sedimentos quaternários inconsolidados, areno-siltosos de granulometria fina, de coloração que varia do vermelho ao amarelo, com espessura máxima de 12 m, que constituem os sedimentos do Pós Barreiras. Nessa região os sedimentos do Pós Barreiras são caracterizados por duas fácies sedimentares: arenito ferruginizado, com blocos ferruginosos de tamanhos variados envolvidos por uma matriz areno-argilosa. Há arenitos diversos que incluem arenitos creme-amarelados, aparentemente desprovidos de estruturas sedimentares; arenitos de cor amarela a alaranjada, de granulometria predominantemente fina, bem selecionados e sem estruturação, além de areias predominantemente brancas, com porções de cor amarelo-alaranjada, de granulometria fina, moderada a bem selecionada (Farias et al. 1992).

Não foi detectada na região de Barcarena, até a profundidade de 250 m, a ocorrência de sedimentos da Formação Pirabas (Melo Junior, 2002).

Tabela 2 - Coluna estratigráfica da região de Barcarena.

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	UNIDADE	DESCRIÇÃO
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	HOLOCENO	SEDIMENTOS MODERNOS	Sedimentos recentes quartzosos com matéria orgânica; argila e silte
		PLEISTOCENO	PÓS-BARREIRAS	Sedimentos areno-argilosos inconsolidados, quartzosos, siltico-argilosos com arenitos ferruginosos intercalados
	TERCIÁRIO	MIOCENO-PLIOCENO	GRUPO BARREIRAS	Arenitos de granulometria variada, mal selecionados, argilosos, intercalados a siltitos e argilitos de cores variadas, tendo-se ainda níveis de concreções ferruginosas
		OLIGO-MIOCENO	FORMAÇÃO PIRABAS	Calcários e margas, intercalados com folhelhos cinza-esverdeados com variado conteúdo calcífero

Fonte: Sauma Filho (1996).

3.7 HIDROLOGIA

O município é banhado por uma série de rios, furos e igarapés. De acordo com SEPOF (2007), o município de Barcarena tem como principal “acidente hidrográfico” a baía do Marajó que, em sua maior abertura para nordeste, compõe, com outras contribuições hídricas, o “Golfão Marajoara”. Além desses dois elementos alguns “furos” separam a porção continental da porção insular do município, entre os quais o “furo” do Arrozal, que nasce ao sul de Barcarena, e a separa da Ilha Carnapijó e recebe o rio Barcarena e o rio Itaporanga. Já o rio o “Furo” e a Baía Carnapijó cortam o município de sudeste para noroeste. Outro rio de grande destaque na área é o Moju, cuja foz limita-se com o município de Acará. A sudoeste, o

rio Arienga (Figura 2) limita com o município de Abaetetuba e, a sudeste, o limite com Moju é feito através do Igarapé Cabresto.

O rio Arienga objeto desse estudo tem em suas proximidades a área portuária e a industrial de Barcarena e a apenas 1 km de sua margem esquerda estão instalados empreendimentos minero-metalúrgicos (Figura 3) que atuam principalmente na produção de ferro gusa e em sua margem direita existem algumas famílias que utilizam as águas do rio para as mais diversas atividades: usos domésticos, irrigação de lavouras de subsistência e a pesca (Faial et al, 2008).



Figura 2 - Foz do rio Arienga durante a preamar.



Figura 3 - Instalações da USIPAR às margens do rio Arienga. Notar o sistema de dragagem da margem esquerda do rio Arienga para construção do atracadouro da USIPAR.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 SEDIMENTOS E A CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

Nos sistemas aquáticos, os sedimentos constituem uma fase mineralógica com partículas de tamanhos, formas e composição química diferentes. Esses materiais, em sua maioria, são depositados nos rios, nos lagos ou no fundo dos oceanos ao longo do tempo. Processos biogeoquímicos, tais como reações de precipitação e transformações biológicas, controlam o acúmulo e a redistribuição de espécies como fitoplâncton, algas e peixes na biota aquática, caracterizando o sedimento como parte integrante do sistema natural (Hutchinson et al. 1943).

Os sedimentos de fundo, então, destacam-se na caracterização ambiental do ecossistema aquático por constituírem um compartimento importante na avaliação da intensidade e formas de impactos aos quais esses ecossistemas estão sendo submetidos, pois são considerados sumidouros e também possíveis fontes de contaminação desses ambientes aquáticos. Os sedimentos, em virtude das condições ambientais do meio aquático, podem, portanto, liberar metais pesados para a coluna d'água, afetando a qualidade do corpo hídrico, ou podem ainda acumular esses metais por adsorção em argilominerais ou complexá-los na matéria orgânica, facilitando a entrada dessas substâncias na cadeia alimentar através de organismos bentônicos (Nascimento, 2007).

Outra importante característica do compartimento sedimentar na caracterização ambiental é o fato dos sedimentos funcionarem como um arquivo de informações de mudanças ambientais ocorridas ao longo do tempo. Em geral, estas mudanças são frequentemente influenciadas por atividades humanas como desenvolvimento industrial, desflorestamento, mineração e aumento de poluição (Xue et al. 2007).

De acordo com Lokeshwari & Chandrappa (2007), através da análise química dos sedimentos é possível verificar o histórico da acumulação de metais ocorrida ao longo do tempo, isso porque com o decorrer dos anos formam-se camadas de sedimentos, cada uma contendo compostos que representam a quantidade destes elementos lançados no corpo d'água em diferentes períodos.

A mobilidade dos contaminantes que chegam ao sedimento é controlada por uma série de fatores físicos, químicos e biológicos, como sorção, hidrodinâmica e reações com os metais. E dependendo da estabilidade físico-química do ambiente em que ocorre o soterramento esses contaminantes podem permanecer ligados por longos períodos aos

suportes sedimentares ou podem ser liberados a biota aquática aumentando seu efeito nocivo (Fronza, 2006).

Assim os sedimentos funcionam como um meio acumulador de poluentes ou como uma possível fonte de contaminação, e, por isso, possuem um papel importante na identificação e no controle das fontes poluidoras, bem como na distribuição desses poluentes. Por essa razão, são cada vez mais utilizados em levantamentos geoquímicos voltados para o diagnóstico e monitoramento ambiental de sistemas aquáticos (Birch et al. 2001).

O compartimento sedimentar tem sido amplamente utilizado como ferramenta em estudos ambientais. Silva (2002), ao analisar os sedimentos de fundo da bacia do rio Moji-Guaçu, que nasce no estado de Minas Gerais e percorre as regiões central e nordeste do estado de São Paulo, demonstrou que houve um aumento na concentração de metais nesse rio. O *input* de metais está possivelmente associado ao crescente desenvolvimento urbano e industrial, bem como ao uso indiscriminado de pesticidas na área de influência da bacia.

Leite et al. (2008), utilizou o sedimento de fundo no diagnóstico ambiental realizado na microbacia Piraíba, em Belém. As análises químicas dos sedimentos mostraram que há elevadas concentrações de metais traço sugerindo possível contaminação por fonte antrópica, uma vez que essa microbacia vem sendo ao longo dos anos impactada por despejos provenientes de curtume.

Porto (2009), ao estudar a qualidade do sedimento de fundo do rio Barcarena, no Pará, constatou que há um aumento na concentração de elementos traço e matéria orgânica no sentido nascente – foz. Observou-se que as maiores concentrações de metais pesados e elementos traço ocorrem nas proximidades do núcleo urbano e do Porto São Francisco que se encontram localizados na área de influência direta da bacia desse rio, sugerindo uma possível contribuição humana.

4.2 A INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DOS SEDIMENTOS NO ENRIQUECIMENTO DE METAIS

A hidrodinâmica dos corpos aquáticos realiza uma seleção progressiva do tamanho dos grãos e da composição química encontrada nesses ambientes. Em relação ao transporte pode-se dizer que existem dois tipos de sedimentos os arenosos e os finos. Sendo os finos compostos por silte e argila, esse último componente em virtude de sua grande área superficial contribui para a adsorção de metais nesse compartimento (Salomons et al. 1988).

De acordo com Bubb & Lester (1991), o grau de enriquecimento de metais nos sedimentos depende diretamente do tamanho de suas partículas, bem como da quantidade e da qualidade do material orgânico. Sedimentos com granulometria mais fina, e ricos em matéria orgânica tendem a favorecer uma maior adsorção de metais. Para Moreira e Boaventura (2003), o estudo das frações mais finas dos sedimentos além de ser útil para estimar o grau de contaminação dos ambientes aquáticos permite diferenciar as fontes naturais das antropogênicas. Santos (2007), ao estudar os sedimentos do estuário do rio São Francisco observou que a variação granulométrica regeu a concentração dos parâmetros geoquímicos analisados.

Um método bastante eficiente para investigar a significância da composição granulométrica na concentração de metais (ou outros contaminantes) em sedimentos baseia-se no isolamento de cada fração granulométrica e na determinação de metais em cada fração. Quináglia (2006) ao analisar a fração total e a fração fina ($< 63 \mu\text{m}$) dos sedimentos do sistema estuarino da Baixada Santista constatou que de modo geral houve o enriquecimento de metais na fração $< 63 \mu\text{m}$.

Embora haja uma preferência pelo uso da fração $< 63 \mu\text{m}$ (silte + argila) em estudos ambientais sobre a composição química e a qualidade dos sedimentos superficiais de fundo. Trabalhos recentes mostram que o enriquecimento na concentração de metais ocorre principalmente na fração $< 2 \mu\text{m}$ (somente argila), onde ocorrem os argilominerais como as esmectitas que possuem elevada capacidade de troca catiônica. Martins et al. (2004), afirmam que a variação de teores entre as diferentes faixas texturais é esperada, pois a cada vez que se concentra o material fino ocorre também a concentração de contaminantes, uma vez que ao isolar a fração argila são minimizados os efeitos de interferentes como o quartzo que está presente na fração silte e na areia fina. Porto (2009) constatou a preferência dos contaminantes pela fração mais fina do sedimento (argila) em seu estudo no rio Barcarena-Pa. Cotta et al. (2006) demonstraram em seu trabalho com os sedimentos do rio Betari-SP que a fração mais fina desse compartimento funcionou como um importante meio acumulador de metais como o Pb, o Zn e o Cu.

Percebe-se então que para se obter a real concentração de metais, assim como de outros contaminantes, armazenadas nos sedimentos de fundo ao longo do tempo, em determinado corpo d'água, é necessário que se analise a fração mais fina desse sedimento, preferencialmente a argila, pois é nessa fração que esses elementos encontram-se concentrados, podendo vir a comprometer de maneira significativa a qualidade da água desse corpo.

4.3 INDICADORES DE QUALIDADE AMBIENTAL

Originário do Latim *Indicare*, o termo indicador apresenta vários significados: apontar, descobrir, destacar, anunciar, estimar. Os indicadores são, portanto, dados que permitem quantificar, qualificar ou mesmo mensurar o que se deseja. Facilitando a compreensão e a interpretação das informações obtidas, sendo usado para avaliar o comportamento ambiental. Já os índices são parâmetros que medem os indicadores, atribuindo-lhes valores numéricos (Garcias, 1999).

No estudo da qualidade ambiental dos sedimentos de fundo é utilizado o índice de geoacumulação (I_{Geo}), que funciona como um indicador da contaminação por metais no ambiente aquático (Müller, 1979). Esse índice estabelece uma relação entre as concentrações de metais encontradas na área de estudo e valores de referência (*background*). Assim, em áreas que não apresentam valores de *background* utiliza-se para efeito de comparação os resultados obtidos por Turekian & Wedepohl (1961) referentes à média mundial para metais associados às argilas (Tabela 3). Santos & Neto (2009), utilizaram o I_{Geo} para estimar o grau de contaminação antropogênica nos testemunhos coletados na Baía de Guanabara-Rj e observaram que de acordo com esse índice a Baía encontra-se de moderada a fortemente poluída por cobre e zinco, e de não poluída a moderadamente poluída para níquel, cromo e chumbo. Silva (2008), ao utilizar o I_{Geo} para mensurar a contaminação dos sedimentos da microbacia do arroio João Correa-Rs, conclui que a área encontra-se moderadamente poluída para o cádmio e não poluído a moderadamente poluído para os elementos cromo, níquel e chumbo.

Tabela 3 - Valores de referência de folhelhos para os elementos estudados.

Elementos	Folhelho	Elementos	Folhelho
Si	27,3 %	P	700 µm/g
Al	8,0 %	Ba	580 µm/g
Fe	4,7 %	V	130 µm/g
Ca	2,2 %	Ni	68 µm/g
MG	1,5 %	Zn	95 µm/g
Na	1,0 %	Cu	45 µm/g
K	2,7 %	Co	19 µm/g
Ti	0,5 %	Pb	20 µm/g

Fonte: Adaptado de Santos (2007).

Calcula-se o índice de geoacumulação a partir da Equação 1:

$$I_{Geo} = \log_2 (C_N/1,5C_B) \quad (Eq.1)$$

Onde:

C_N = Concentração do elemento n na fração argila (< 2 µm) do sedimento a ser classificado;

C_B = Concentração média de *background* para argilas na crosta terrestre (folhelho médio padrão);

1,5 = fator de correção para possíveis variações do *background* causado por diferenças litológicas.

O valor obtido permite classificar os níveis de enriquecimento em uma escala de sete intervalos (Tabela 4) com intensidades progressivas de contaminação.

Tabela 4 - Classificação dos parâmetros pelo índice de geoacumulação, conforme o grau de poluição.

Intensidade da Poluição	Classe do IGeo	IGeo Média Background
Extremamente Poluído	6	> 5
Fortemente à Extremamente Poluído	5	> 4 a 5
Fortemente Poluído	4	> 3 a 4
Moderadamente à Fortemente Poluído	3	> 2 a 3
Moderadamente Poluído	2	> 1 a 2
Não Poluído à Moderadamente Poluído	1	> 0 a 1
Praticamente Não Poluído	0	< 0

Fonte: Adaptado de Moreira e Boaventura (2003).

4.4 RESÍDUOS DA ATIVIDADE SIDERÚRGICA

A indústria siderúrgica brasileira desponta no cenário mundial como uma das maiores produtoras e exportadoras de ferro gusa, principal matéria prima do aço. Em 2006 a produção nacional de ferro gusa alcançou aproximadamente 32,4 milhões de toneladas. As empresas brasileiras estão localizadas principalmente no Estado de Minas Gerais que produz 60 % do gusa nacional. O Estado do Pará com suas 11 indústrias – 10 na cidade de Marabá e 1 na cidade de Barcarena – produz cerca 25 % do ferro gusa brasileiro (SINDIFERPA, 2008).

A produção de ferro gusa no município de Barcarena é realizada pela Usina Siderúrgica do Pará (USIPAR), que iniciou sua produção no ano de 2006 com 500 mil toneladas por ano e pretende a partir de 2012 comandar uma produção anual de 3 milhões de toneladas de ferro gusa e 2 milhões de toneladas de aço (Cosipar, 2009). A usina encontra-se instalada na bacia do rio Arienga, fato que provoca preocupação aos moradores locais, pois os resíduos gerados a partir dessa atividade são potencialmente tóxicos ao ambiente e, por conseguinte, à saúde humana (Faial et al., 2008).

O processo produtivo do ferro gusa (Figura 4) gera uma diversidade de resíduos sólidos, líquidos e gasosos que em virtude de serem potencialmente tóxicos podem comprometer sensivelmente o ambiente onde essas empresas se instalam. Dentre os principais resíduos sólidos estão os pós de granulometria fina, ricos em óxidos de ferro que com o manuseio forma uma névoa de poeiras dificultando sua reutilização no processo produtivo (Liduário et al. 2005).

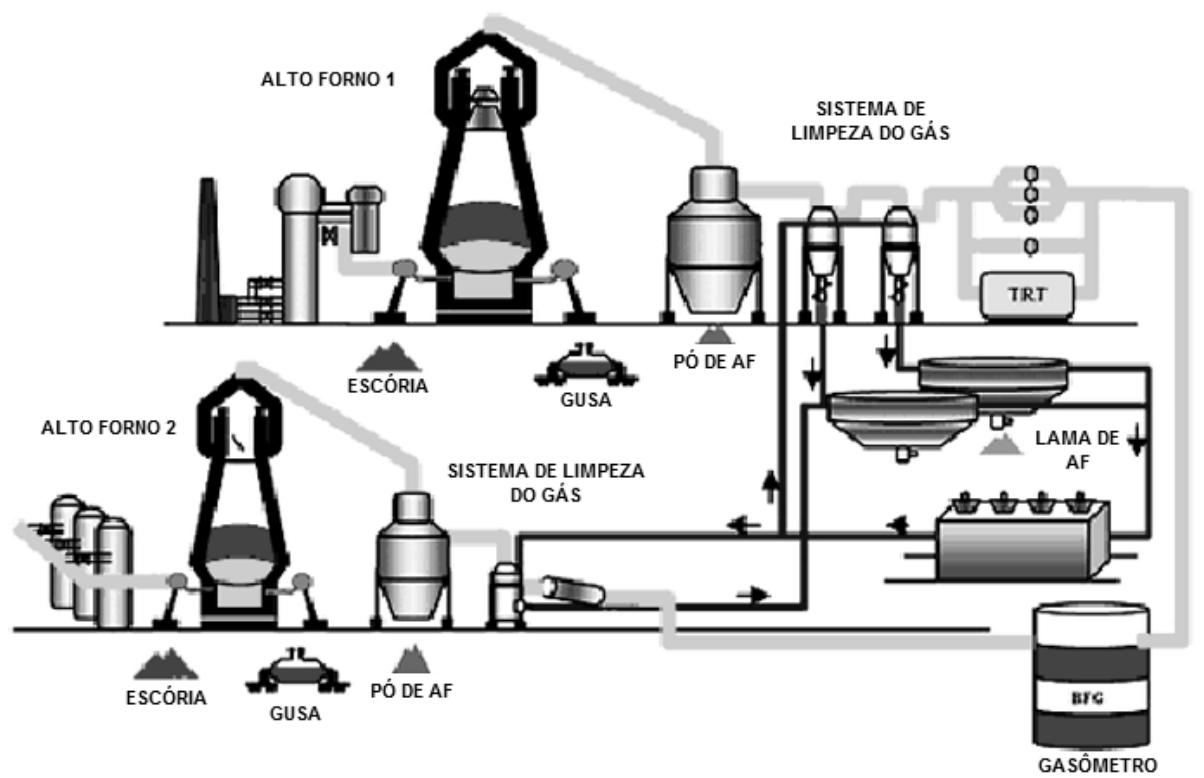


Figura 4 - Esquema do processo produtivo do ferro gusa.

Fonte: Adaptado de ArcelorMittal, 2007.

Há também a formação da escória a partir da fusão das impurezas do minério de ferro com o fundente e as cinzas do coque ou carvão vegetal. De acordo com Coelho (1998), para cada 4 toneladas de ferro gusa produzidas, é gerada, em média, 1 tonelada de escória. A composição química da escória de alto forno (Tabela 5) varia dentro de limites estreitos, sendo formada em maior concentração por óxidos de silício (SiO_2), cálcio (CaO), alumínio (Al_2O_3) e magnésio (MgO). Tem-se ainda em menor proporção os óxidos de ferro (Fe_2O_3), titânio (TiO_2) entre outros (Ferreira et al. 2001).

Tabela 5 - Composição química da escória de alto forno

Componente	Teor % - Peso	Componente	Teor % - Peso
SiO ₂	37,42	K ₂ O	0,35
CaO	36,80	Na ₂ O	0,26
Al ₂ O ₃	10,10	TiO ₂	0,34
Fe ₂ O ₃	0,22	P ₂ O ₅	0,01
MgO	0,71	*P.F	0,89

Fonte: Cerqueira et al. 2008.

*P.F = Perda ao fogo.

Outro co-produto da produção de ferro gusa é a lama (Tabela 6) gerada após a etapa lavagem do gás do alto forno. Ela é formada por vários óxidos dentre os quais se destacam em quantidade os óxidos de ferro (Fe₂O₃), silício (SiO₂), cálcio (CaO) e alumínio (Al₂O₃) (Vieira et al. 2007).

Tabela 6 - Composição química da lama de alto forno

Componente	Teor % - Peso	Componente	Teor % - Peso
Fe ₂ O ₃	57,91	MgO	0,77
SiO ₂	4,94	K ₂ O	0,29
CaO	2,97	P ₂ O ₅	0,15
Al ₂ O ₃	2,22	TiO ₂	0,12
SO ₃	1,89	P.F	26,22
Na ₂ O	1,18	_____	_____

Fonte: Adaptado de Vieira et al. 2007.

Toda essa variedade de compostos químicos pode causar sérios danos ao ambiente aquático como os ocorridos após um acidente envolvendo a empresa USIPAR em dezembro de 2007, ano seguinte à sua instalação. De acordo com o Portal ORM (2007), dois dias após os moradores terem ouvido uma forte explosão nas proximidades do rio Arienga, apareceram vários peixes mortos nesse rio e um forte odor que os habitantes associaram à creolina. Ainda segundo o Portal ORM (2007), em análise preliminar no local a Delegacia de Meio Ambiente (DEMA) constatou vestígios da explosão de uma caldeira dentro da USIPAR, sendo constatado o lançamento de resíduos avermelhados na água do manancial do Bacabal, dentro da área dessa empresa.

Acidentes ambientais envolvendo as empresas do complexo industrial do município de Barcarena são recorrentes e de diversas naturezas. Em 2004, por exemplo, os moradores de

Vila do Conde sofreram com uma chuva de fuligem preta que cobriu a areia das praias, residências, estabelecimentos comerciais e igrejas do vilarejo. Cogitou-se, na ocasião, a emissão do produto pelas chaminés de indústrias mineradoras como resultado de queima de químicos (Freitas, 2007).

Já no ano de 2000 a balsa Miss Rondônia que transportava aproximadamente 1,8 milhões de litros de óleo BPF (derivado do petróleo utilizado em caldeiras), após acidente afundou próximo ao Terminal de Vila do Conde. Durante tentativa de resgate parte do óleo vazou causando sérios danos ambientais à região, uma vez que o óleo BPF tem como principal característica o baixo ponto de fluidez e a tendência a precipitar na coluna d'água atingindo o sedimento de fundo (Boulhosa & Mendes, 2009). Outro acidente envolvendo o derramamento de combustível no município de Barcarena ocorreu em 2008 quando um empurrador de balsa que transportava aproximadamente 30 mil litros de óleo naufragou no rio Pará e deixou uma mancha de 18 quilômetros de extensão na baía do Guajará e atingiu pelo menos três praias fluviais do município que ficaram impróprias para o banho. Para impedir o avanço do produto nas águas do rio foram montadas barreiras de contenção com bóias (Figura 5) pelo Centro de Defesa Ambiental da Petrobras (Jornal O liberal, 2008).



Figura 5 - Barreiras de contenção com bóias para impedir o avanço da mancha de óleo.

Fonte: Edvaldo Pereira/Jornal Diário do Pará, 2008.

Outra modalidade de acidente ambiental bastante comum no município é a que envolve o vazamento de resíduos dentro da própria empresa, um exemplo disso foi o ocorrido em abril de 2009. Após o transbordamento da bacia de rejeitos da empresa Alunorte, ocorreram alterações físicas e químicas nas águas do rio Murucupi que corta a Vila dos Cabanos (Jornal Diário do Pará, 2009). De acordo com inquérito da Delegacia do Meio Ambiente (DEMA) a área foi contaminada por uma lama vermelha, proveniente do beneficiamento da bauxita, rica em arsênio, ferro, alumínio, titânio, cromo, chumbo e mercúrio (Figura 6). Esse acidente teria causado a contaminação do ecossistema aquático com a conseqüente morte de peixes e de fitoplânctons. Além disso, moradores das comunidades de Itupanema, Laranjal, Vila Nova, Pioneiro, Burajuba, Boa Vista, Cajueiro e São Lourenço ficaram impedidos de utilizar as águas do rio em virtude da contaminação que alterou a coloração da água (Figura 7).



Figura 6 - Derrame de lama vermelha no rio Murucupi, proveniente do beneficiamento de caulim.

Fonte: Adaptado de IBAMA, 2009.



Figura 7 - Águas do rio Murucupi após acidente ambiental na empresa Alunorte.

Fonte: Adaptado de Jornal Diário do Pará, 2009.

Desde a implantação do pólo industrial do município de Barcarena diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos na região a fim de se identificar possíveis danos ao meio ambiente. Em seu trabalho Benvenuti (1995) verificou que houve um aumento na concentração de flúor na vegetação, no solo e nas águas superficiais próximas a empresa Albrás no município de Barcarena. De acordo com Pereira et al. (2007) as águas do rio Murucupi apresentam os valores físico-químicos de pH e oxigênio dissolvido em desconformidade com a legislação vigente, bem como apresentam elevadas concentrações de ferro e alumínio. Ambas as situações podem estar associadas à influência antropogênica da produção de alumínio na bacia desse rio.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 AMOSTRAGEM

A amostragem do sedimento de fundo do rio Arienga foi realizada em 14 de outubro de 2008. Os pontos de amostragem foram georreferenciados (Tabela 7) através do sistema de posicionamento do tipo GPS (Sistema de Posicionamento Global), totalizando 10 pontos de coleta (Figura 8).

Para a coleta foi utilizado um coletor de aço inox do tipo draga de Petersen (Figura 9), que permite amostrar os 10 primeiros centímetros de profundidade, ou seja, amostra o topo da coluna sedimentar.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos (zip lock), previamente identificados com o ponto de coleta. No laboratório as amostras foram secas à temperatura de 50°C, pois essa temperatura evita a modificação da estrutura dos argilominerais e o endurecimento excessivo do sedimento.

Tabela 7 - Localização dos pontos amostrados

Pontos	Latitude	Longitude
AR-01	1°36'15"	48°47'53"
AR-02	1°36'07"	48°47'32"
AR-03	1°36'11"	48°47'03"
IG_B-01	1°36'10"	48°47'02"
AR-04	1°36'16"	48°46'32"
AR-05	1°36'06"	48°45'57"
AR-06	1°36'28"	48°45'36"
AR-07	1°36'37"	48°45'22"
AR-08	1°36'46"	48°45'14"
AR-09	1°36'50"	48°45'06"

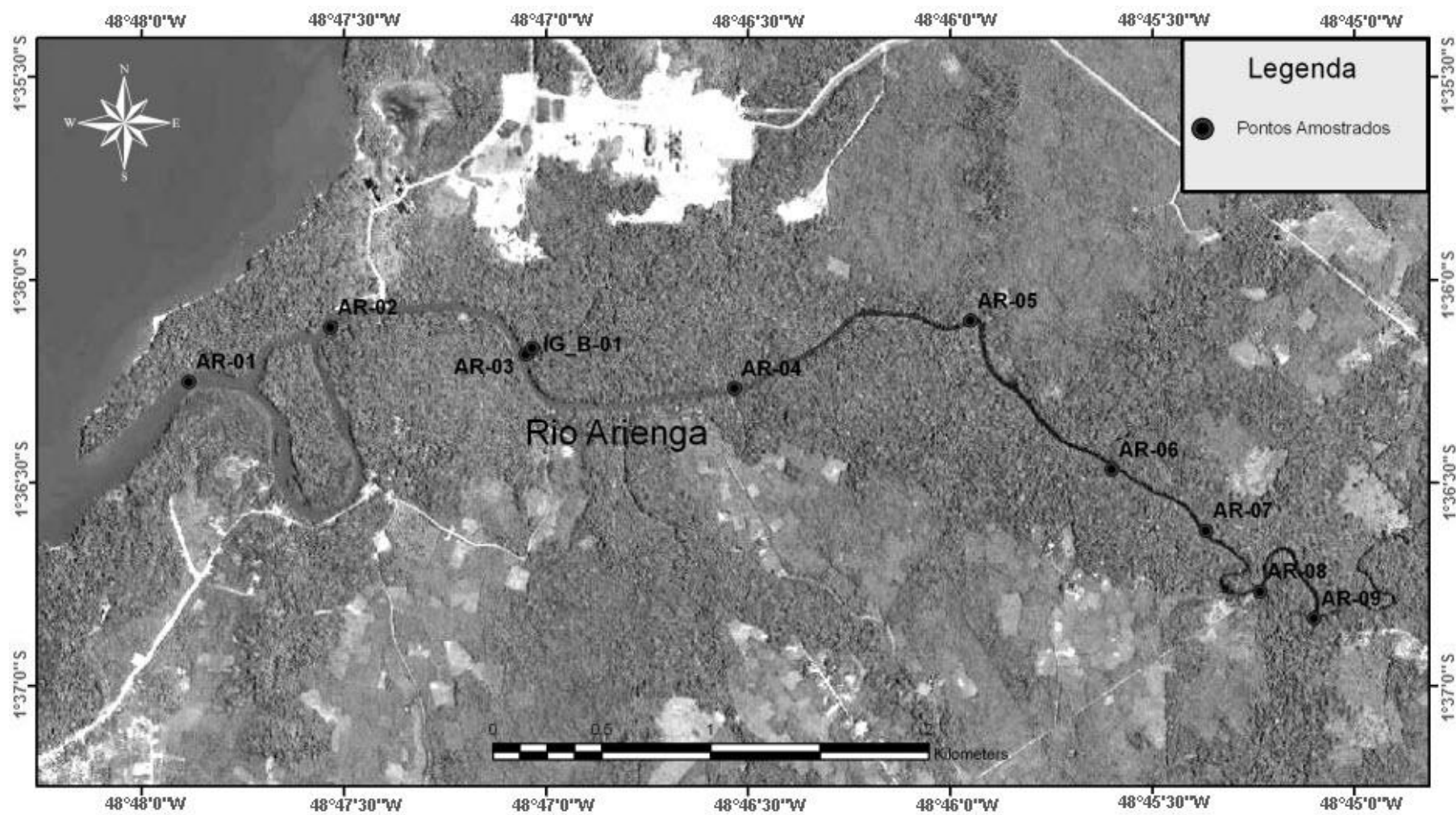


Figura 8 - Distribuição dos pontos de amostragem ao longo do rio Arienga.



Figura 9 - Coleta de amostra com draga de Petersen ao longo do rio Arienga.

5.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Após os processos de secagem (Figura 10), desagregação (Figura 11) e homogeneização. Pesou-se 50 g de cada amostra, com o objetivo de separá-las em frações $< 2 \mu\text{m}$, $2 - 63 \mu\text{m}$ e $> 63 \mu\text{m}$, correspondentes as frações argila, silte e areia respectivamente.



Figura 10 - Amostra seca.



Figura 11 - Desagregação da amostra em grau de porcelana.

O processo de separação das frações ocorreu da seguinte forma: separou-se a fração areia das demais através do peneiramento a úmido, utilizando uma peneira de aço inoxidável. A areia retida na peneira foi levada a estufa até secura total, quando então foi pesada. Já o silte foi separado da argila por decantação em cilindros de Atterberg (Figura 12).



Figura 12 - Separação das frações silte-argila utilizando o cilindro de Atterberg.

A suspensão da fração argila foi centrifugada a 2000 rotações/min, por um período de 10 min, para eliminar a excessiva quantidade de água (Figura 13). Tanto a fração silte quanto a argila foram secas em estufa e posteriormente pesadas.

Todo o processo de determinação granulométrica foi realizado no Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências com a utilização de uma centrífuga da marca Sigma, modelo 6-15.



Figura 13 - Suspensão da fração argila sendo centrifugada.

5.3 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

Para a caracterização mineralógica as amostras de sedimento foram desagregadas e colocadas em porta amostra específico (Figura 14). Após essa etapa de preparação as amostras foram submetidas à difração de raio X utilizando o método do pó (Moore & Reynolds Jr, 1997). Todo o procedimento foi realizado no Laboratório de Difração de raios-X do Instituto de Geociências com a utilização de um difratômetro da marca PANalytical, modelo X-PERT PRO MPD (PW 3040/60).

A aquisição dos dados foi realizada através do software X-PERT Data Collector, versão 2.1 A.



Figura 14 - Preparação da amostra para a determinação mineralógica.

Ainda seguindo a metodologia proposta por Moore & Reynolds Jr (1997), foram preparadas lâminas orientadas com a fração $< 2 \mu\text{m}$, analisadas por difração de raio X. Primeiramente as lâminas foram analisadas sem nenhum tipo de tratamento (amostra normal), em seguida foram submetidas à saturação em atmosfera de etileno glicol por 24 horas (amostra glicolada) e por fim foram aquecidas em forno mufla a 550°C por 2 horas (amostra aquecida).

A identificação dos minerais presentes nas amostras foi realizada utilizando a metodologia proposta por Moore & Reynolds Jr (1997).

5.4 ANÁLISES QUÍMICA

5.4.1 Matéria orgânica

A determinação do percentual de matéria orgânica dos sedimentos foi realizada a partir dos valores obtidos para carbono orgânico utilizando-se a Equação 2:

$$\text{MO (\%)} = \text{CO (\%)} \times 1,724 \quad (\text{Eq.2})$$

O percentual de carbono orgânico foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Loring e Rantala (1992). Em um vidro de relógio pesou-se 0,5 g do sedimento seco e peneirado (fração < 63 µm). Posteriormente a amostra foi transferida para um Erlenmeyer de 500 ml, no qual se adicionou 10 ml da solução de dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) a 1 N e 20 ml de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄). O Erlenmeyer com a amostra foi então levado a chapa aquecedora onde permaneceu por 30 min, após esse período foi adicionada água deionizada até aproximadamente 200 ml e 10 ml de ácido fosfórico (H₃PO₄) a 85 % v/v. Então o excesso de K₂Cr₂O₇ foi titulado com sulfato ferroso amoniacal {(NH₄)₂Fe(SO₄)₂.6H₂O} a 0,5 N utilizando-se como indicador a difenilamina (15 gotas) até o ponto de viragem quando ocorreu a alteração da coloração verde para cinza azulado e por fim para verde brilhante.

O cálculo do carbono orgânico foi realizado utilizando-se a Equação 3:

$$\% \text{CO} = 10(1-T/S) \cdot F \quad (\text{Eq.3})$$

Onde:

S = Padronização do Branco (volume de solução ferrosa)

T = Titulação da amostra (volume de solução ferrosa)

F = Fator derivado como segue:

$F = (1,0 \text{ N}) \times (12 / 4000) \times 1,72 \times (100/\text{peso da amostra}) = 1,03$ quando o peso da amostra é exatamente 0,5 g. Onde $12 / 4000 = \text{meq. em peso de carbono}$ e $1,72 = \text{fator para a MO do carbono}$.

5.4.2 Elementos maiores

Para a determinação dos elementos maiores (Al, Si, Fe, Ti e P) a amostra previamente seca (a 110°C) foi pesada em cadinho de platina ao qual se adicionou fundente anidro (tetraborato de lítio – $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$) homogeneizando-se cuidadosamente. Em seguida a mostra foi levada ao forno mufla para ser calcinada por aproximadamente 20 min a 1000°C . Após o resfriamento o material fundido foi dissolvido com ácido clorídrico 2 N e filtrado em papel quantitativo de filtração lenta para balão volumétrico de 250 ml (solução estoque).

O material retido nesse papel de filtro foi levado, em seu respectivo cadinho de platina, ao forno mufla a 1000°C por 1 h para que fosse então determinada a concentração do Silício (Si). Após o resfriamento o cadinho (sílica + impurezas) foi pesado para a obtenção do P_1 . Em seguida o resíduo do cadinho foi umedecido com 2 gotas de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) e 10 ml de ácido fluorídrico (HF) também concentrado (40 %), o cadinho seguiu então para o banho de areia até desprendimento de fumos brancos quando então adicionou-se mais 10 ml de HF e novamente levou-se o cadinho ao banho de areia até secura total. Após esse processo (etapa de fluorização) o cadinho foi levado novamente ao forno mufla a 1000°C por 1 h para obtenção do P_2 . Então por diferença de peso ($P_1 - P_2$) determinou-se o teor de silício (expresso em SiO_2).

Com a solução estoque determinou-se a concentração de ferro total por espectrometria com ortofenantrolina. O resultado foi expresso em Fe_2O_3 .

A partir da solução estoque realizou-se a determinação titrimétrica do alumínio (expresso em Al_2O_3), a determinação do fósforo através do método espectrométrico azul de molibdênio e também do titânio (expresso em TiO_2) pelo método espectrométrico com peróxido de hidrogênio (H_2O_2).

Já a análise dos elementos Na, Mg, K e Ca foi realizada por Espectrometria de Absorção Atômica após os procedimentos de abertura total e parcial da amostra.

5.4.3 Elementos traço

Para a determinação dos elementos traço no sedimento foram utilizadas duas frações: a inferior a 2 μm (somente argila) e a fração inferior a 63 μm (silte + argila) secas e desagregadas em grau ágata. Ambas as frações foram encaminhadas ao Laboratório comercial ACME Analytical Laboratories Ltda. As amostras foram digeridas em uma mistura de ácidos (HNO_3 -HF e HClO_4) e analisadas por ICP-MS para 41 elementos.

5.4.4 Tratamento dos dados

Para realizar o tratamento dos dados obtidos utilizou-se os softwares Excel 2007 e o Statistica 6.0. O primeiro foi utilizado na elaboração de gráficos que facilitaram a visualização dos resultados, o segundo foi utilizado para a realização de uma análise de correlação que permitiu a melhor distribuição dos dados obtidos.

Essa análise de correlação foi realizada a partir da construção de uma matriz de correlação, utilizando como instrumento de comparação o coeficiente de correlação de Pearson (r), que se traduz como uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. Considerou com sendo uma boa correlação entre os elementos analisados valores de $r \geq 0,65$ e uma correlação negativa os valores de $r \geq - 0,65$.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A análise granulométrica do sedimento de fundo, ou seja, a quantificação relativa do tamanho dos grãos representa um importante dado para a interpretação e a determinação do acúmulo de contaminantes nesse compartimento (Fronza, 2006). Para Lemes et al. (2003), o estudo granulométrico nos permite identificar quais regiões são mais susceptíveis ao acúmulo de metais, pois quanto menor o tamanho dos grãos maior será a probabilidade de se encontrar elevadas concentrações desses contaminantes, uma vez que a grande área superficial das frações menores contribui enormemente para a adsorção de metais.

Os resultados obtidos a partir da análise granulométrica (Tabela 8) mostram, de maneira geral, que houve a predominância da fração silte sobre as demais. Assim a maioria das amostras enquadrou-se na textura franco siltosa do triângulo textural (Figura 15). Apenas nos três primeiros pontos houve o predomínio da fração areia, sendo a maior concentração dessa fração encontrada no ponto AR-01 (26,20 g). Isso pode ser justificado pela proximidade desse ponto com a foz do rio Arienga que é caracterizada como um ambiente de alta energia. A maior percentual de silte foi verificada no ponto AR-09 (62,48 %) e o maior teor de argila foi observado no ponto AR-05 (24,06 %). A amostra coletada na foz do igarapé do Bacabal (ponto IG_B-01) obedeceu à mesma tendência das coletadas ao longo do rio Arienga, apresentando maior quantidade de silte sobre as demais frações (Figura 16).

Os dados granulométricos obtidos neste trabalho foram semelhantes aos encontrados por Saraiva (2007) na baía do Guajará, em Belém, onde também houve o predomínio da fração silte sobre as demais, com a maioria das amostras enquadradas na textura silte arenosa do triângulo textural.

Tabela 8 - Resultados da análise granulométrica nos sedimentos ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal. Valores expressos em %. Peso inicial 50 g.

Amostras	F. Areia	F. Silte	F. Argila	Total
AR-01	52,40	41,80	5,60	99,80
AR-02	47,36	44,18	8,42	99,96
AR-03	48,66	36,32	15,02	100,00
IG_B-01	41,48	46,20	12,32	100,00
AR-04	23,22	61,08	15,70	100,00
AR-05	23,08	52,84	24,06	99,98
AR-06	27,44	57,68	14,88	100,00
AR-07	34,22	51,96	13,82	100,00
AR-08	31,06	61,18	7,72	99,96
AR-09	25,90	62,48	11,60	99,98

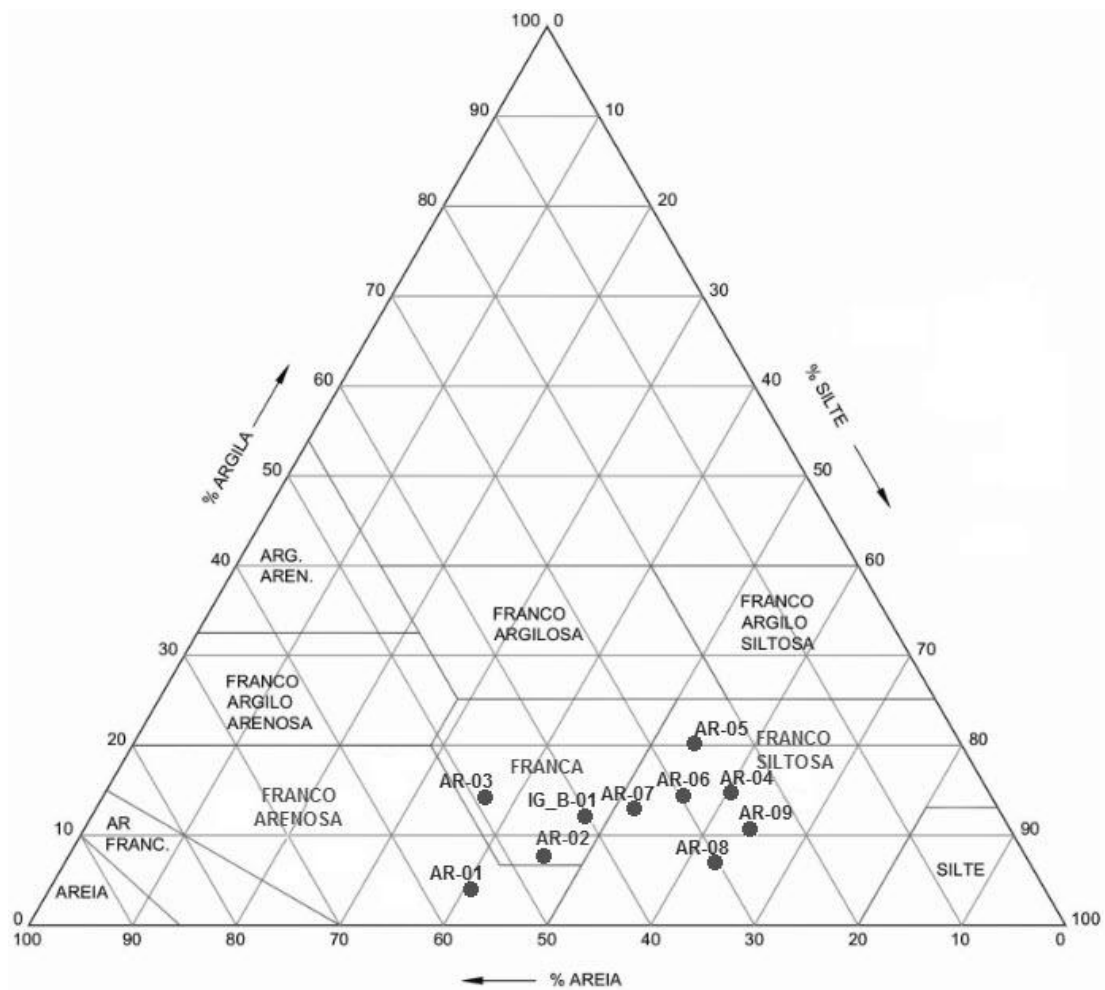


Figura 15 - Composição granulométrica dos sedimentos de fundo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal.

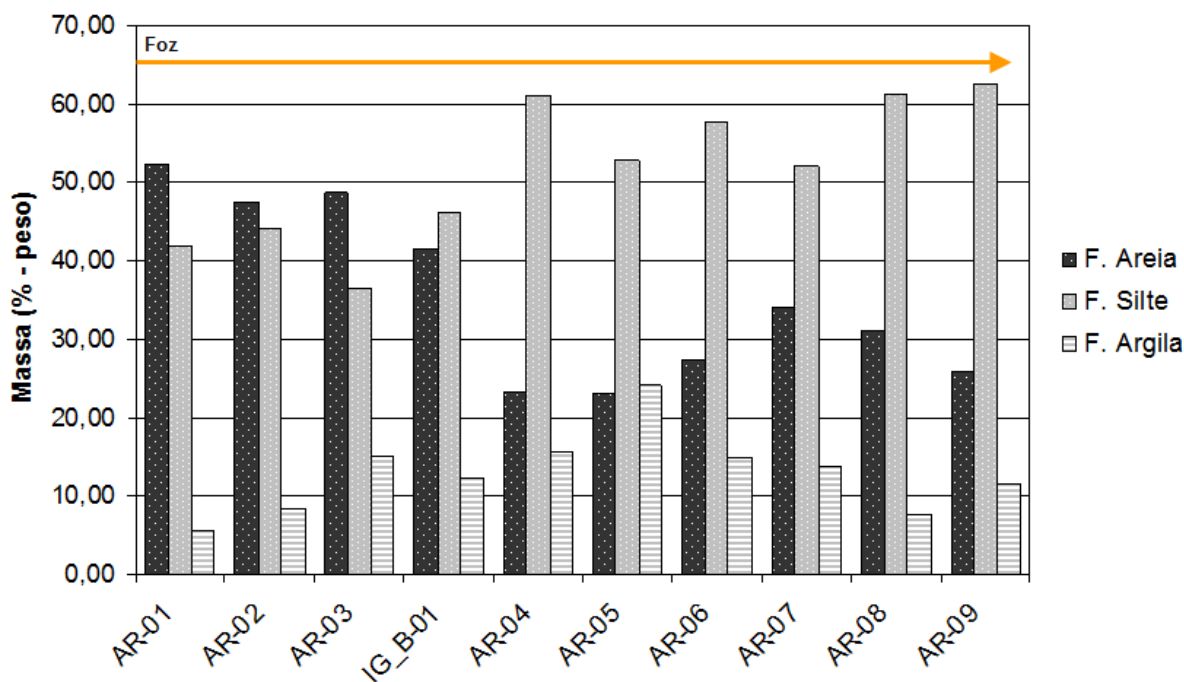


Figura 16 - Distribuição granulométrica ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal. A seta laranja indica a direção foz-nascente.

6.2 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

A fração $< 63 \mu\text{m}$ do sedimento de fundo do rio Arienga mostrou-se essencialmente quartzosa, apresentando ainda illita, microclinó e caulinita (Figura 17). No ponto IG_B-01 houve ainda a presença de esmectita conforme a Figura 18. Essa composição mineralógica é bastante semelhante à encontrada por Porto (2009) ao estudar a mineralogia dos sedimentos de fundo do rio Barcarena na bacia hidrográfica adjacente.

A análise por difração de raios X da fração $< 2 \mu\text{m}$ a partir de lâminas orientadas secas à temperatura ambiente apresentaram reflexões a $7,2 \text{ \AA}$ e $3,5 \text{ \AA}$ evidenciando a presença de caulinita. As reflexões a 10 \AA e 5 \AA revelaram a presença de illita, já a reflexão a 15 \AA mostra a existência de esmectita. A presença de minerais do grupo das esmectitas está confirmada pelo deslocamento do pico de 15 \AA para 17 \AA ao submeter as lâminas à uma atmosfera de etilenoglicol. Quando as lâminas foram aquecidas à temperatura de 550°C , por 2 horas, houve o desaparecimento dos picos a $7,2 \text{ \AA}$ e $3,5 \text{ \AA}$ confirmando a presença de caulinita que tem seu retículo cristalino destruído a essa temperatura. Com o aquecimento ocorreu uma intensificação do pico a 10 \AA confirmando a presença de esmectita. A mineralogia na fração $< 2 \mu\text{m}$ seguiu o mesmo comportamento mineralógico ao longo de todo

o rio Arienga sendo composta predominantemente por Caulinita, apresentando ainda illita e esmectita (Figura 19).

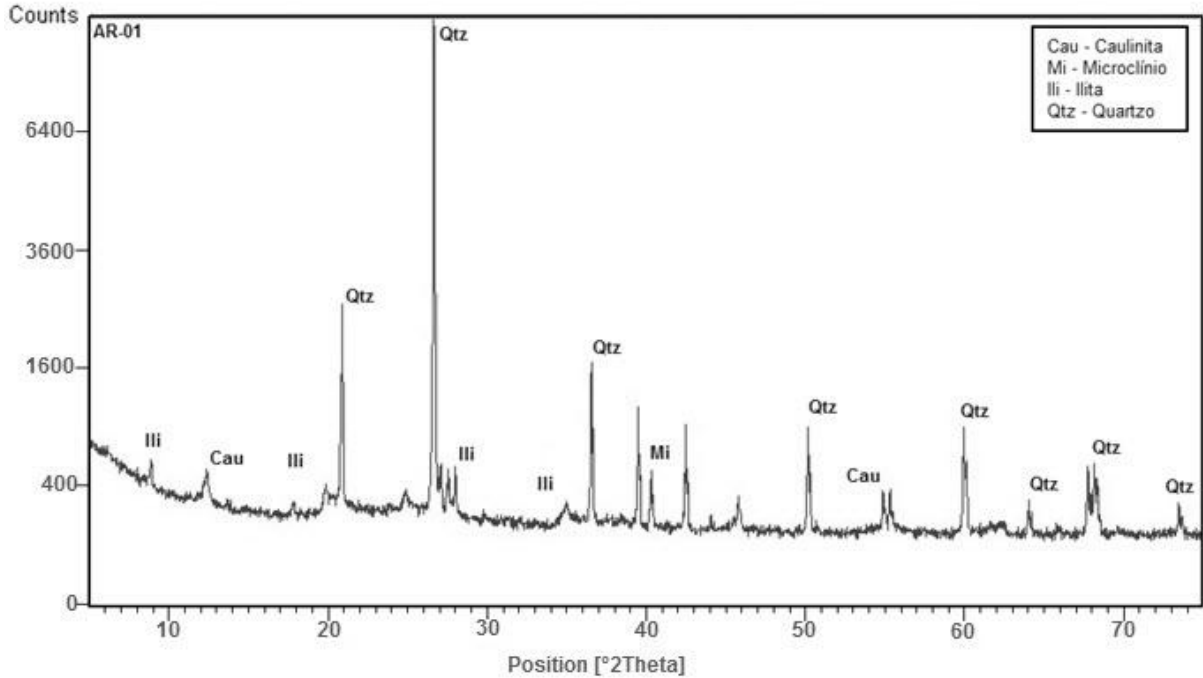


Figura 17 - Difratoograma da amostra AR-01. Análise da mineralogia total segundo o método do pó.

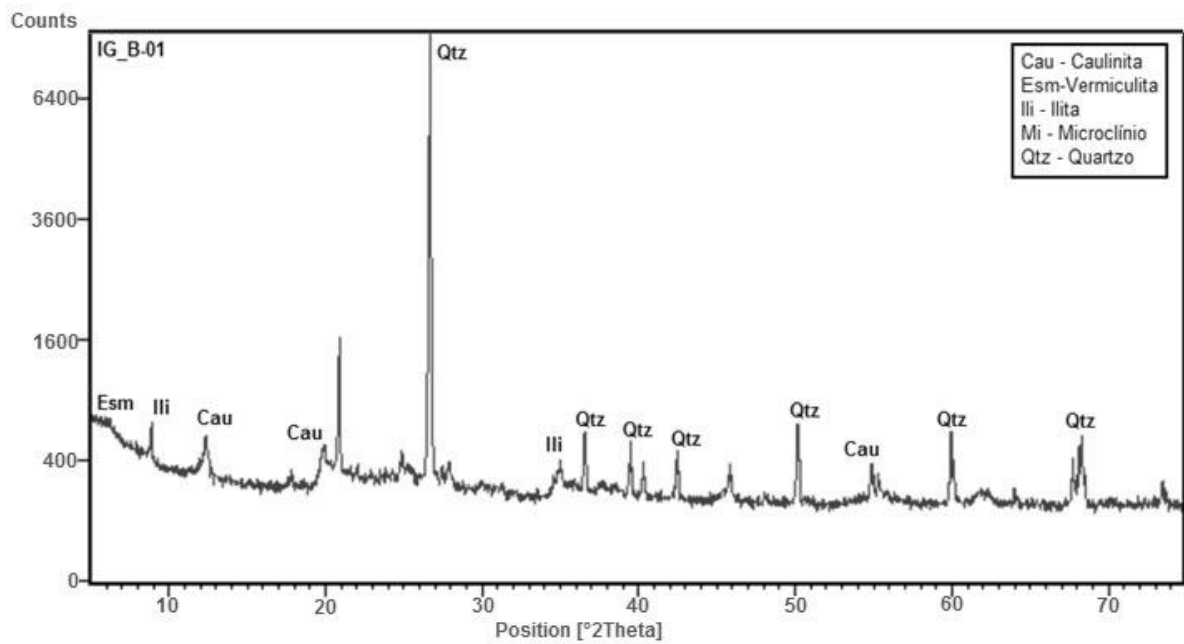


Figura 18 - Difratoograma da amostra IG_B-01. Análise da mineralogia total segundo o método do pó.

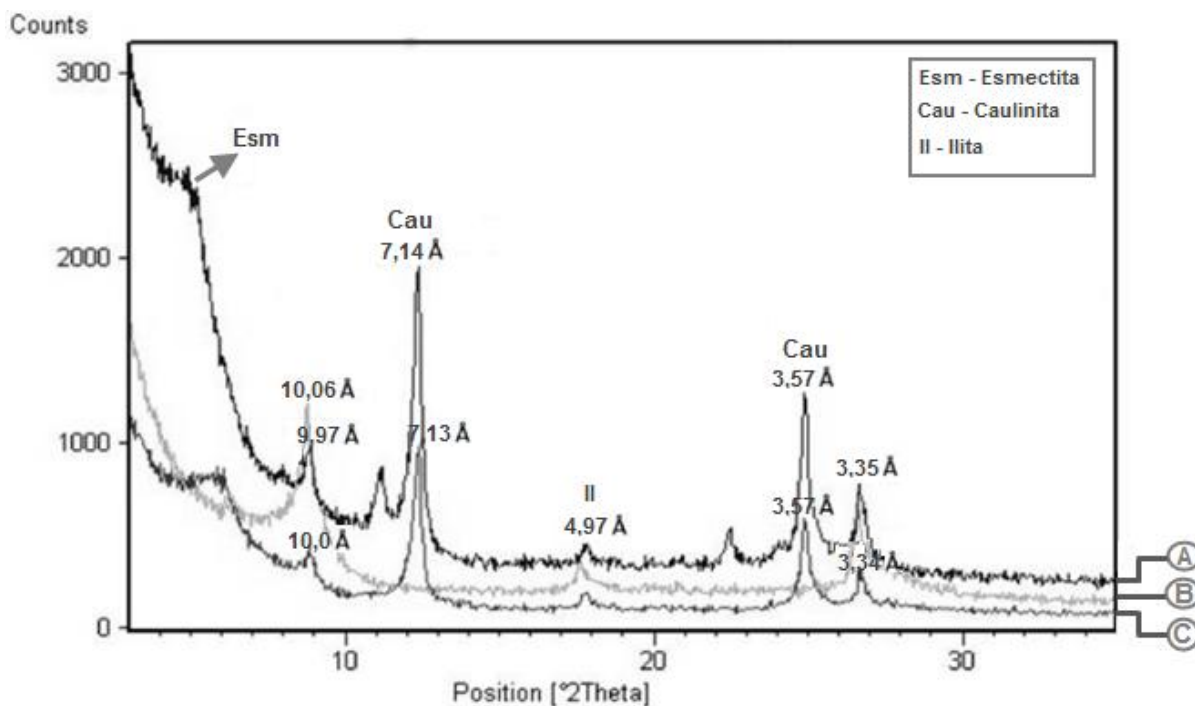


Figura 19 - Difratoograma da amostra AR-02. Lâmina orientada (C) normal, (A) saturada em etilenoglicol e (B) aquecida a 550 °C.

6.3 MATÉRIA ORGÂNICA

Segundo Poletto & Merten (2006), a matéria orgânica em virtude de seu baixo peso molecular, grande área superficial e elevada quantidade de cargas negativas superficiais, possui papel importante na troca de cátions, assim como na formação de complexos com poluentes. Esta habilidade da matéria orgânica em capturar cátions é reconhecida por diversos autores (Bendell-Young & Harvey, 1992; Tipping & Hurley, 1992; Tessier et al. 1996; Sauvé et al. 2000). A distribuição dos metais entre o sedimento e a água intersticial é controlada, basicamente, pela presença de partículas finas (silte-argila) e pela quantidade e qualidade da matéria orgânica (Johannesson et al. 2001).

De acordo com Lima (2008), as maiores quantidades de compostos orgânicos estão situadas na camada logo abaixo da superfície dos sedimentos, ainda segundo o autor, está localização provavelmente está relacionada ao metabolismo microbiano mais intenso na interface água/sedimento. Jönsson et al. (2005), afirmam que a assinatura geoquímica representada pela MO preservada nos sedimentos é um registro capaz de proporcionar modelos de evolução ambiental de sistemas sedimentares. Para eles a quantidade, tipologia, composição elementar, isotópica e molecular da MO contida nos sedimentos, fornece

evidências sob quais condições ambientais viveu a biota e quais os impactos sofridos pelo ecossistema em diferentes épocas de sedimentação.

Jesus et al. (2008), mostraram em seu estudo sobre sedimentos de fundo do Sistema Estuarino da Baía de Vitória no Espírito Santo que o aumento da concentração de matéria orgânica em sedimentos de fundo desse sistema está relacionado à fração fina do sedimento (silte-argila).

O teor de matéria orgânica ao longo do rio Arienga de maneira geral aumentou a partir da foz (Tabela 9), havendo algumas oscilações de valores em alguns pontos de coleta. Os menores valores foram observados nos pontos AR-01 (4,71 %) e AR-02 (3,10 %). Os pontos IG_B-01 e AR-09 foram aqueles que apresentaram os maiores teores de matéria orgânica 9,37 % e 8,56 % respectivamente. No geral a matéria orgânica apresentou média de $5,90 \pm 1,87$ % (Figura 20). A origem do material orgânico encontrado nos sedimentos do rio Arienga, deve-se provavelmente em decorrência de fatores naturais, pois nesse rio não há grandes descargas de esgotos domésticos.

Tabela 9 - Concentração de matéria orgânica nos sedimentos ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal.

Ponto Amostrado	Matéria Orgânica (% - peso)
AR-01	4,71
AR-02	3,10
AR-03	4,71
IG_B-01	9,37
AR-04	5,95
AR-05	5,51
AR-06	5,89
AR-07	6,37
AR-08	4,72
AR-09	8,56
Média	5,90
SD	1,87

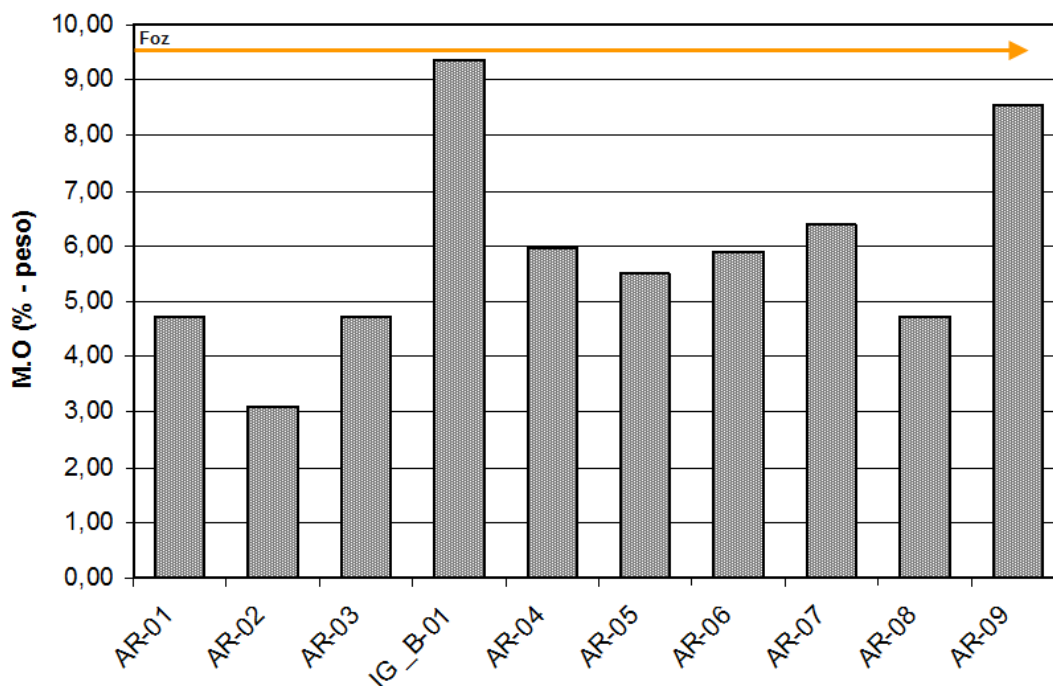


Figura 20 - Distribuição da concentração de matéria orgânica ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal. A seta laranja indica a direção foz-nascente.

6.4 CARBONO ORGÂNICO

De acordo com Neves (2005), o carbono orgânico, um dos principais constituintes da matéria orgânica, é um importante nutriente na produção biológica primária do ambiente aquático. A deposição do carbono orgânico nos sedimentos estuarinos e costeiros desempenha grande importância geoquímica quanto à visualização de mudanças ambientais ocorridas ao longo do tempo, em um ecossistema aquático (JÖNSSON et al. 2005),.

Oliveira et al. (2005), observaram em seu estudo, nos sedimentos dos riachos do parque estadual do Itacolomi e arredores no estado de Minas Gerais, que a concentração de carbono orgânico aumentou com a diminuição da granulometria dos sedimentos, apresentando valor médio de 1,17 % na fração mais fina e 0,58 % na fração mais grosseira.

A partir da Tabela 10 é possível verificar que o teor máximo de carbono orgânico foi observado na foz do igarapé Bacabal no ponto IG_B-01 (5,43 %) e o mínimo ao longo do rio Arienga no ponto AR-02 (1,80 %). Assim como ocorreu com a matéria orgânica houve também certa variação na distribuição da concentração do carbono orgânico nos pontos coletados (Figura 22) a média alcançada foi de $3,42 \pm 1,10$ %. Os baixos teores de material orgânico nos sedimentos do rio Arienga, como já mencionado, provavelmente, devem-se ao fato de inexistirem grandes núcleos populacionais em suas proximidades, sendo, portanto,

baixos os volumes de efluentes domésticos, sem tratamento, lançados diretamente nas águas do rio.

Tabela 10 - Concentração de carbono orgânico nos sedimentos ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal.

Ponto Amostrado	Carbono Orgânico (% - peso)
AR-01	2,73
AR-02	1,80
AR-03	2,73
IG_B-01	5,43
AR-04	3,45
AR-05	3,20
AR-06	3,42
AR-07	3,70
AR-08	2,74
AR-09	4,97
Média	3,42
SD	1,10

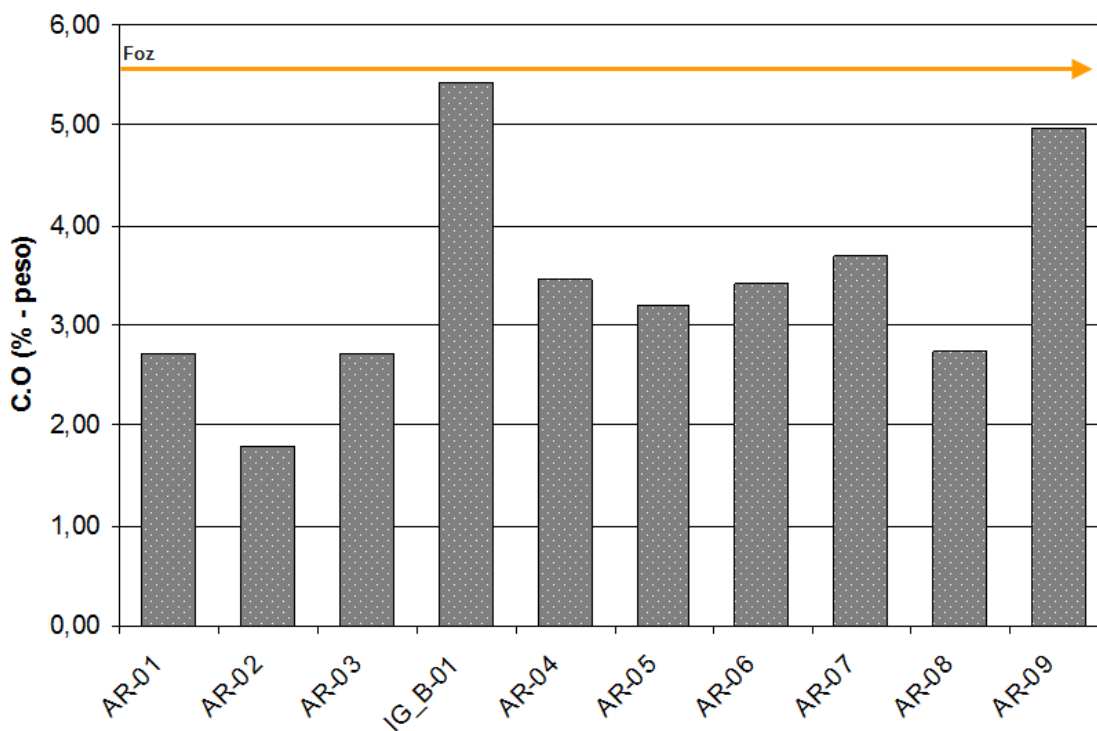


Figura 21 - Distribuição do teor de carbono orgânico nos sedimentos ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal.

6.5 ELEMENTOS MAIORES

As análises químicas da fração < 2 µm dos sedimentos de fundo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal mostraram que essa fração é composta, em média, principalmente por SiO₂ (53,81 %); Al₂O₃ (22,13 %) e Fe₂O₃ (7,27 %).

Seguida respectivamente por K₂O, TiO₂, MgO, CaO, P₂O₅ e Na₂O (Tabela 11). A elevada concentração SiO₂ assim como a abundante presença de Al₂O₃ se deve a verificada presença de argilominerais, principalmente caulinita na composição mineralógica das amostras. A Figura 23 mostra o comportamento dos elementos mais abundantes ao longo do rio Arienga. Já a Figura 24 exhibe o comportamento dos elementos que apresentaram as menores concentrações. A distribuição dos teores dos elementos maiores mostrou-se bastante homogênea, não havendo grandes variações em suas concentrações.

Amostras	P ₂ O ₅	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	H ₂ O ⁺	Total
AR-01	0,21	1,00	8,60	19,68	59,52	0,35	0,18	2,00	1,00	8,50	101,04
AR-02	0,21	1,18	8,37	21,74	56,30	0,32	0,16	1,87	0,99	9,22	100,36
AR-03	0,19	1,13	7,84	21,50	51,86	0,35	0,16	1,98	1,05	12,24	98,30
IG_B-01	0,14	1,07	6,34	21,87	52,79	0,34	0,18	2,04	1,10	13,78	99,65
AR-04	0,19	1,10	7,66	22,84	48,47	0,24	0,17	1,94	1,03	14,49	98,13
AR-05	0,48	1,17	5,99	23,18	47,98	0,22	0,45	2,24	1,15	15,42	98,28
AR-06	0,16	1,12	7,33	22,82	50,44	0,18	0,15	1,93	0,99	13,37	98,49
AR-07	0,18	1,11	7,49	22,69	51,76	0,2	0,15	1,96	1,05	13,64	100,23
AR-08	0,17	1,25	6,86	22,33	56,32	0,15	0,16	1,80	0,95	9,05	99,04
AR-09	0,16	1,14	6,23	22,67	52,68	0,18	0,14	1,78	0,98	16,70	102,66

Tabela 11 - Composição química dos sedimentos de fundo ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal. Valores em % - peso.

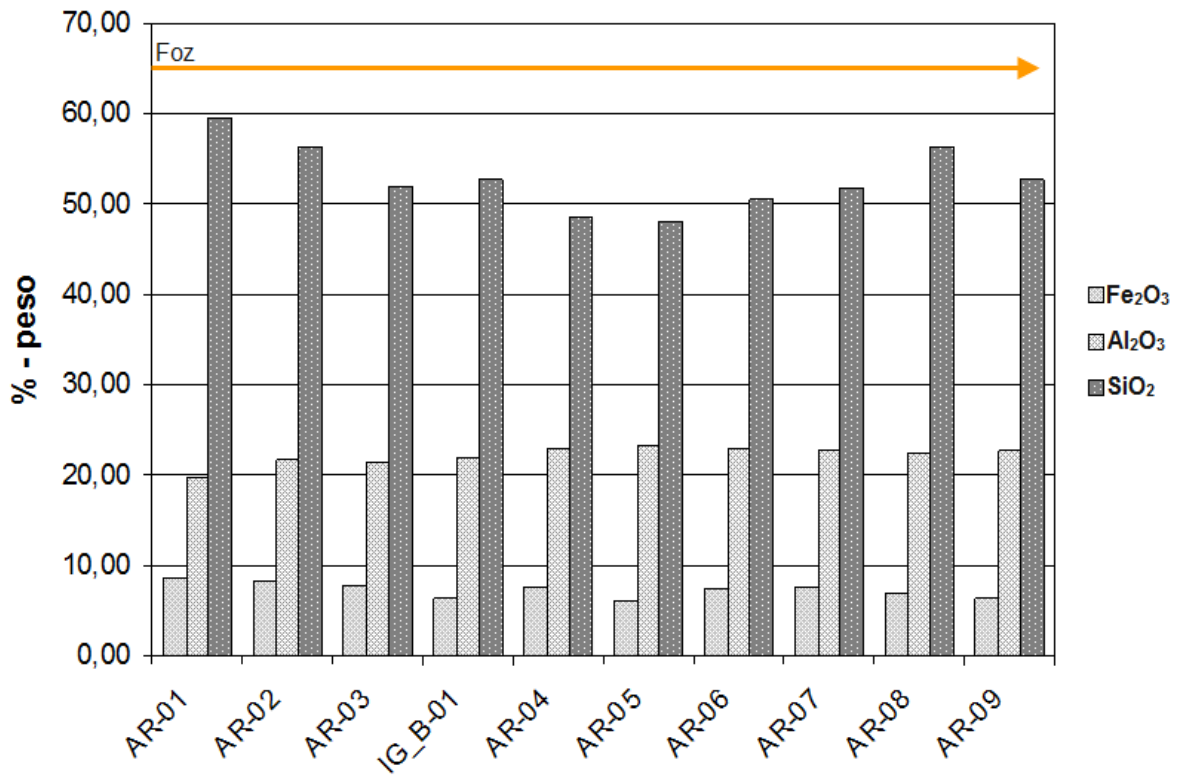


Figura 22 - Distribuição dos elementos mais abundantes (Fe₂O₃, Al₂O₃ e SiO₂) ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal. Notar a pouca variação do alumínio e ferro ao longo do rio. A linha laranja indica a direção foz-nascente.

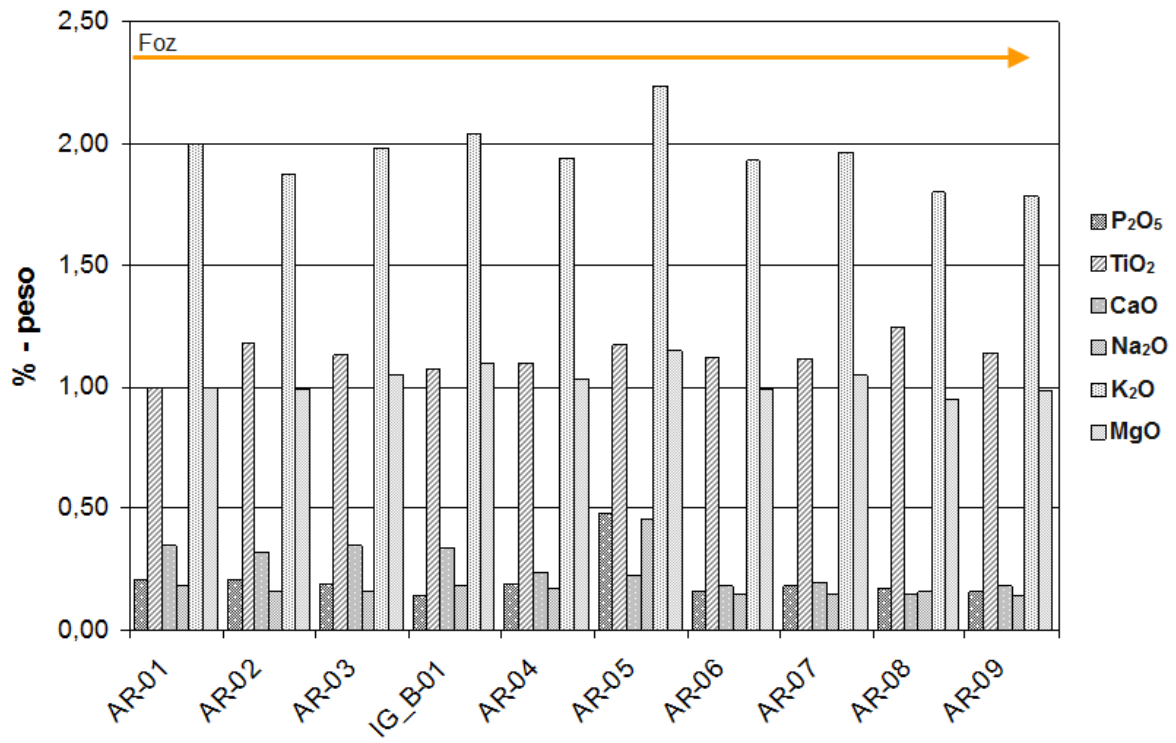


Figura 23 - Distribuição da concentração de P₂O₅, TiO₂, CaO, Na₂O, K₂O e MgO ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal. A linha laranja indica a direção foz-nascente.

6.6 ELEMENTOS-TRAÇO

O termo elementos-traço é normalmente utilizado para definir metais catiônicos e aniônicos que encontram-se presentes em baixas concentrações no ambiente (Santana, 2008). Para Ribeiro (2002), os elementos-traço encontram-se no ambiente aquático distribuídos entre a fase aquosa (coluna d'água e água intersticial), a fase sólida (suspensa e sedimentada) e entre os microorganismos. A troca entre essas fases é dinâmica, variando de um sistema para o outro e o tempo de residência dos elementos-traço em cada ambiente dependerá de vários processos, responsáveis pela sua fixação ou remobilização.

Em ambientes naturais os elementos-traço encontram-se associados, principalmente, aos silicatos e aos minerais primários e, portanto, com baixo grau de mobilidade. Já em ambientes impactados pela ação humana esses elementos estão ligados a outras fases do sedimento, como carbonatos, óxidos, hidróxidos e sulfetos, apresentando dessa maneira maior mobilidade (Sahuquillo et al. 2002).

As principais fontes desses elementos para o ambiente aquático continental são o intemperismo de rochas, as atividades industriais, atividades de mineração, efluentes domésticos e também águas superficiais provenientes de áreas cultivadas com adubos químicos (Souza et al. 2006).

Kennish (1992) afirma que a descarga de contaminantes, enriquecidos por elementos-traço, no ambiente aquático pode alterar a dinâmica, assim como a estrutura das comunidades bióticas em virtude dos efeitos biológicos adversos gerados por esses poluentes no crescimento, metabolismo e nos mecanismos reprodutivos das populações desses ambientes.

Para Azevedo & Chasin (2003), a maioria dos elementos-traço pode sofrer enriquecimento por bioacumulação via cadeia alimentar partindo das plantas e invertebrados, chegando aos peixes e mamíferos. Via de regra, quanto maior o nível trófico do organismo, maior será a concentração desses elementos (Da Silva, 1997).

Diversos autores demonstraram que a maneira mais adequada para se mensurar a concentração dos elementos-traço no ambiente aquático é através do estudo dos sedimentos de fundo, mais precisamente da fração mais fina desses sedimentos. Barreto et al. (2007), sugerem em seu trabalho acerca da distribuição de elementos-traço nos sedimentos superficiais de fundo na sub-bacia hidrográfica do rio Poxim no Estado de Sergipe, que esses elementos quando chegam aos corpos d'água, tendem a acumular-se nos sedimentos de fundo, sendo a fração mais fina desse sedimento a principal acumuladora desses elementos.

Assim de acordo com o autor a fração mais fina dos sedimentos é a mais indicada na determinação do teor desses elementos no ambiente aquático. Existindo, portanto, uma correlação inversa entre o tamanho das partículas e a concentrações de elementos-traço nos sedimentos.

Conceição (2004) mostrou em seu trabalho realizado no rio Itajaí-Mirim, Santa Catarina, que os elementos Ni, Cd e Cr apresentaram correlação positiva com as frações mais finas do sedimento. Moreira & Boaventura (2003) utilizaram as frações finas do sedimento de fundo da bacia do lago Paranoá, Distrito Federal, como importantes ferramentas de localização e avaliação ambiental. O estudo mensurou a capacidade de adsorção de poluentes metálicos nas amostras a partir da variação da quantidade de matéria orgânica e da composição mineralógica dos sedimentos.

Neste trabalho, determinou-se a concentração dos elementos traço (Ni, Pb, Zn, Cu, V, Co e Ba) na fração inferior a 63 µm (silte + argila) e na fração inferior a 2 µm (somente argila), a fim de comparar possíveis alterações nas concentrações desses elementos devido à mudança na granulometria dos sedimentos (Tabelas 12 e 13).

Tabela 12 - Concentração dos elementos traço analisados na fração < 63 µm (Silte + argila) dos sedimentos de fundo do rio Arienga. Valores em mg.Kg⁻¹.

Amostras	Ni	Pb	Zn	Cu	V	Co	Ba
AR-01	9,1	14,9	35	12,8	76	7,9	281
AR-02	8,4	9,4	34	9,1	86	7,8	309
AR-03	11,8	13,2	46	13,7	103	10,0	366
IG_B-01	12,1	14,6	39	15,3	100	11,1	404
AR-04	12,7	15,8	47	13,1	98	9,8	368
AR-05	12,8	15,9	51	14,9	99	10,5	397
AR-06	12,2	14,1	43	12,0	90	8,9	348
AR-07	13,2	15,5	46	13,1	95	10,1	371
AR-08	8,3	14,9	32	8,2	78	6,5	265
AR-09	10,4	17,8	43	11,6	96	8,2	338
Média	11,10	14,61	41,60	12,38	92,10	9,08	344,70
SD	1,89	2,37	6,33	2,28	9,35	1,45	46,76

Tabela 13 - Concentração dos elementos traço analisados na fração < 2 µm (argila) dos sedimentos de fundo do rio Arienga. Valores em mg.Kg⁻¹

Amostras	Ni	Pb	Zn	Cu	V	Co	Ba
AR-01	38,9	46,0	112	43,5	144	18,2	485
AR-02	38,9	43,0	115	34,2	144	18,2	463
AR-03	42,2	42,7	113	32,5	156	17,4	436
IG_B-01	37,4	43,5	99	32,2	146	17,7	455
AR-04	37,5	50,6	103	30,6	136	16,9	427
AR-05	38,2	46,7	113	27,8	139	17,8	456
AR-06	38,2	46,2	101	24,5	140	16,0	392
AR-07	36,6	46,1	105	26,0	133	17,8	409
AR-08	36,7	48,7	95	25,1	139	14,4	387
AR-09	34,8	46,7	118	27,3	131	13,8	375
Média	37,94	46,02	107,40	30,37	140,80	16,82	428,50
SD	1,94	2,49	7,78	5,70	7,19	1,58	36,81

Ao comparar os resultados obtidos nas duas frações dos sedimentos nota-se que houve um considerável enriquecimento na concentração dos metais na fração < 2 µm (Tabela 14). Metais como o Ni e o Pb tiveram a média de suas concentrações mais que triplicadas na fração mais fina dos sedimentos. O Ni passou de uma média de 11,10 mg.Kg⁻¹ para 37,94 mg.Kg⁻¹, o Pb teve sua média aumentada de 14,61 mg.Kg⁻¹ para 46,02 mg.Kg⁻¹. Elementos como o Zn e o Cu mais que duplicaram suas médias com a diminuição da granulometria dos sedimentos. O Zn aumentou de 41, 66 mg.Kg⁻¹, em média, para 107,40 mg.Kg⁻¹, o Cu variou de uma média de 12,38 mg.Kg⁻¹ para 30,37 mg.Kg⁻¹. Os metais V e Co também mostram um considerável enriquecimento na fração argila dos sedimentos suas médias aumentaram de 92,10 mg.Kg⁻¹, 9,08 mg.Kg⁻¹ para respectivamente 140,80 mg.Kg⁻¹, 16,82 mg.Kg⁻¹. Dentre os elementos traço analisados o Ba foi o que apresentou o menor enriquecimento na fração mais fina (344,70 mg.Kg⁻¹ → 428,50 mg.Kg⁻¹).

Percebe-se, então, ao comparar os resultados obtidos nas duas frações, que os metais analisados estão preferencialmente associados à fração mais fina do sedimento, pois todos os elementos analisados, sem exceção, apresentaram concentração superior na fração < 2 µm, chegando em alguns casos a mais que triplicaram suas concentrações nesse fração. Isso ocorre provavelmente pela presença do quartzo associada ao silte na fração < 63 µm, como evidenciado na análise mineralógica.

Tabela 14 - Magnificação da concentração média dos metais analisados na fração < 2 μm .

Elemento	Valor médio na fração < 63 μm (mg.Kg^{-1})	Valor médio na fração < 2 μm (mg.Kg^{-1})	Magnificação na fração mais fina (vezes)
Ni	11,10	37,94	3,4
Pb	14,61	46,02	3,2
Zn	41,60	107,40	2,5
Cu	12,38	30,37	2,5
V	92,10	140,80	1,5
Co	9,08	16,82	1,8
Ba	344,70	428,50	1,3

A Tabela 15 mostra as correlações existentes entre os elementos maiores, os traço e a matéria orgânica. Percebe-se que a maioria dos elementos se correlacionou, quer seja positiva ou negativamente, indicando que de maneira geral há uma relação entre os elementos analisados. Quando a correlação ocorre de forma positiva presume-se que o aumento da concentração desse elemento é diretamente proporcional ao aumento do outro ao qual está correlacionado deduz-se, então, que esses elementos estão de alguma forma associados nos sedimentos. Como é o caso dos metais Ni, Pb, Cu e Co que apresentaram boa correlação positiva com o Al (valores de r acima de 0,65) sugerindo que esses elementos possivelmente encontram-se retidos na estrutura dos argilominerais. Já quando a correlação é negativa interpreta-se de forma inversa, ou seja, a concentração do elemento estudado tende a diminuir à medida que a do outro, cuja correlação mostrou-se negativa, aumenta como é o caso dos metais Ni, Pb, Cu, Co e Al que se correlacionaram negativamente com o Fe sugerindo que esses metais não estão retido na estrutura dos óxidos-hidróxidos de Fe, pois suas concentrações tendem a diminuir em ambientes com elevados teores do metal Fe.

O material orgânico dos sedimentos de fundo do rio Arienga não apresentou boa correlação com nenhum dos metais analisados, sugerindo que estes não se encontram presentes nos sedimentos sob a forma de complexos orgânicos. O metal Fe apresentou correlação negativa com a matéria orgânica ($r = -0,68$) revelando que a concentração desse elemento comporta-se de maneira inversa ao material orgânico (Figura 24).

Tabela 15 - Matriz de correlação entre elementos maiores, traço e matéria orgânica.

	Ni	Pb	Zn	Cu	V	Co	Ba	Al	Fe	M.O
Ni	1,00									
Pb	0,73	1,00								
Zn	-0,22	-0,44	1,00							
Cu	0,99	0,73	-0,26	1,00						
V	-0,74	-0,28	0,07	-0,72	1,00					
Co	0,98	0,73	-0,26	0,98	-0,70	1,00				
Ba	-0,87	-0,68	0,28	-0,91	0,54	-0,89	1,00			
Al	0,70	0,74	-0,22	0,72	-0,54	0,70	-0,62	1,00		
Fe	-0,69	-0,71	0,16	-0,66	0,37	-0,70	0,41	-0,65	1,00	
M.O	0,45	0,55	-0,18	0,43	-0,33	0,44	-0,31	0,29	-0,68	1,00

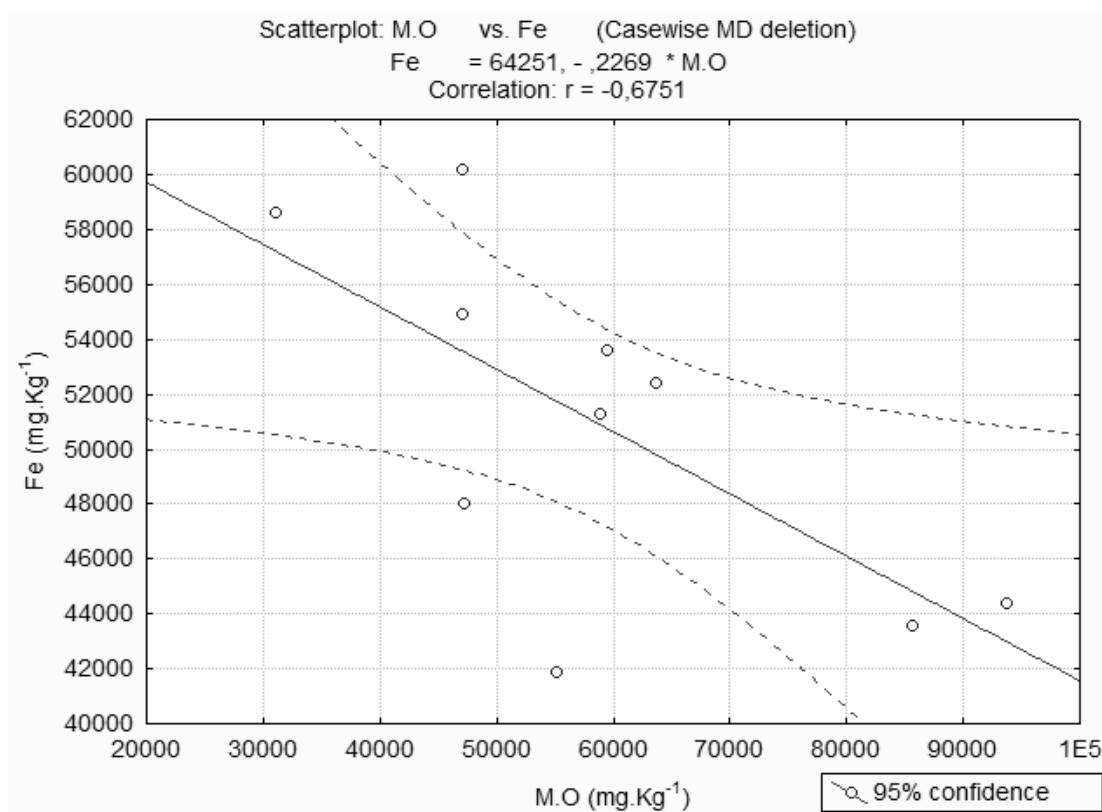


Figura 24 - Diagrama mostrando a correlação entre o elemento Fe e a matéria orgânica.

As Figuras 25 e 26 mostram a distribuição das concentrações dos elementos traço ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal nas frações com granulometria $< 63 \mu\text{m}$ e $< 2 \mu\text{m}$. Observa-se que em ambas as frações o comportamento dos elementos analisados é bastante semelhante. É possível verificar ainda, a partir das figuras, o significativo aumento da concentração desses elementos na fração argila, atribuído à elevada área superficial

verificada nos grãos mais finos, bem como a presença de argilominerais, com diferentes capacidades de troca catiônica, nessa fração.

Os metais, Ni, Pb, Cu e Co mostraram-se com comportamento bastante semelhante entre si. O Zn e o V mostraram comportamentos regulares com alguma variação ao longo do rio Arienga, já o Ba apresentou distribuição irregular ao longo do rio, sendo esse o elemento mais abundante dentre os analisados.

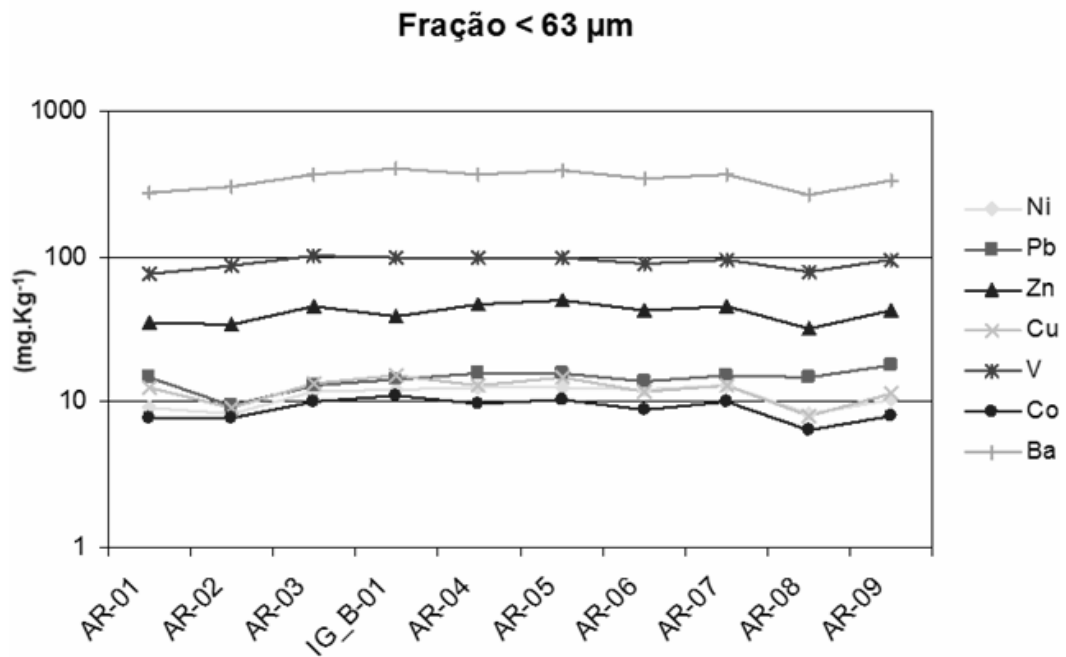


Figura 25 - Distribuição em base log da concentração dos elementos traço ao longo do rio Arienga na fração < 63 μm .

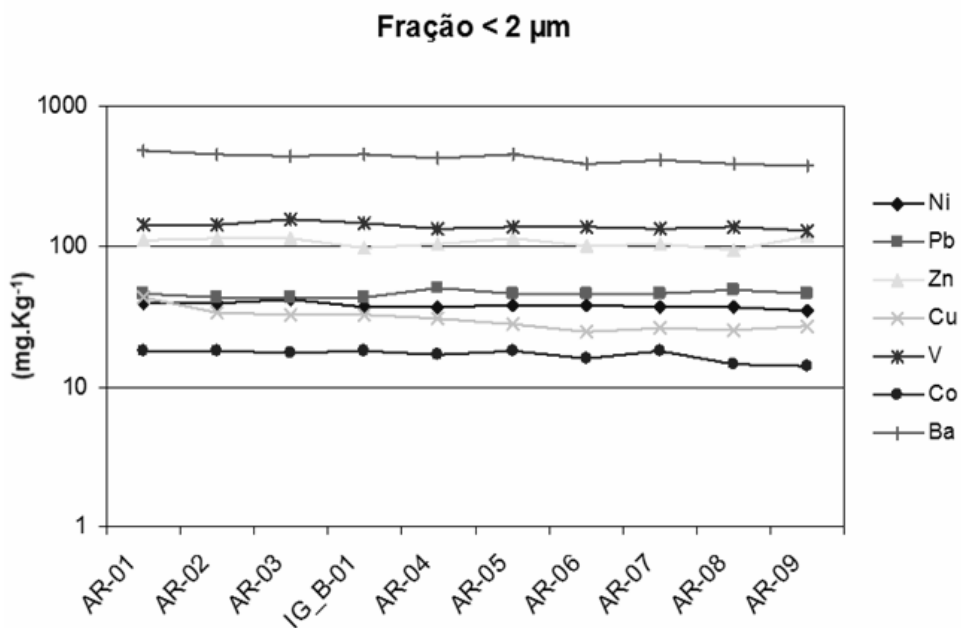


Figura 26 - Distribuição em base log da concentração dos elementos traço ao longo do rio Arienga na fração < 2 μm .

6.1.1 Níquel

O níquel ocorre naturalmente na crosta terrestre combinado com outros elementos, principalmente sob a forma de minérios de sulfeto (NiS ; Fe_5S_6 à $\text{Fe}_{16}\text{S}_{17}$; CuFeS_2). Esse metal também é encontrado como minérios de silicatos hidratados juntamente com o magnésio e como óxido de ferro-níquel (Homem, 2001). O Ni reconhecido como o 24º metal em abundância na crosta terrestre é necessário em baixas quantidades para o bom funcionamento do organismo humano, assim como de outros seres vivos. No entanto a exposição prolongada a altas concentrações de Ni pode causar sérios danos à saúde humana como alergias, rinite e sinusite. Além disso, elevadas concentrações de níquel em tecidos têm sido associadas a quadros clínicos de infarto do miocárdio, toxemia e alguns tipos de câncer como o de mama e o de pulmões. Algumas das principais fontes não naturais desse elemento para o meio são: a indústria mineradora, a galvanoplastia e as tintas. (OMS, 1998).

Soares et. al. (2004) constataram em seu trabalho, com os sedimentos de fundo do arroio do Salso em Porto Alegre-RS, que em áreas onde há evidências do lançamento de efluentes domésticos houve um maior enriquecimento do elemento Ni na fração mais fina desses sedimentos, chegando a apresentar um considerável grau de contaminação em vários pontos.

Nas amostras coletadas ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal o Ni foi o elemento que apresentou maior fator de enriquecimento na fração mais fina dos sedimentos chegando mais que triplicar seu teor nessa fração, conforme mostrado na Tabela 11. A média desse elemento na fração $> 63 \mu\text{m}$ foi de $9,70 \pm 1,89 \text{ mg.Kg}^{-1}$, enquanto na fração $> 2 \mu\text{m}$ foi de $37,94 \pm 1,94 \text{ mg.Kg}^{-1}$, não havendo grande variação na distribuição desse metal em ambas as frações (Figura 27).

O Ni apresentou boa correlação com os elementos Pb (+0,73), Cu (+0,99) e Co (+0,98), sugerindo que esses metais encontram-se de alguma forma associados nos sedimentos do rio Arienga. O metal Ni apresentou ainda boa correlação com o Al (0,70) sugerindo que este provavelmente encontra-se retido na estrutura dos argilominerais. Já com o elemento Fe a correlação revelou-se negativa (-0,69) e, portanto o Ni não deve estar associado a óxidos-hidróxidos de Fe. A correlação desse elemento com a matéria orgânica não foi expressiva, indicando que sua presença nos sedimentos não está associada à complexos orgânicos.

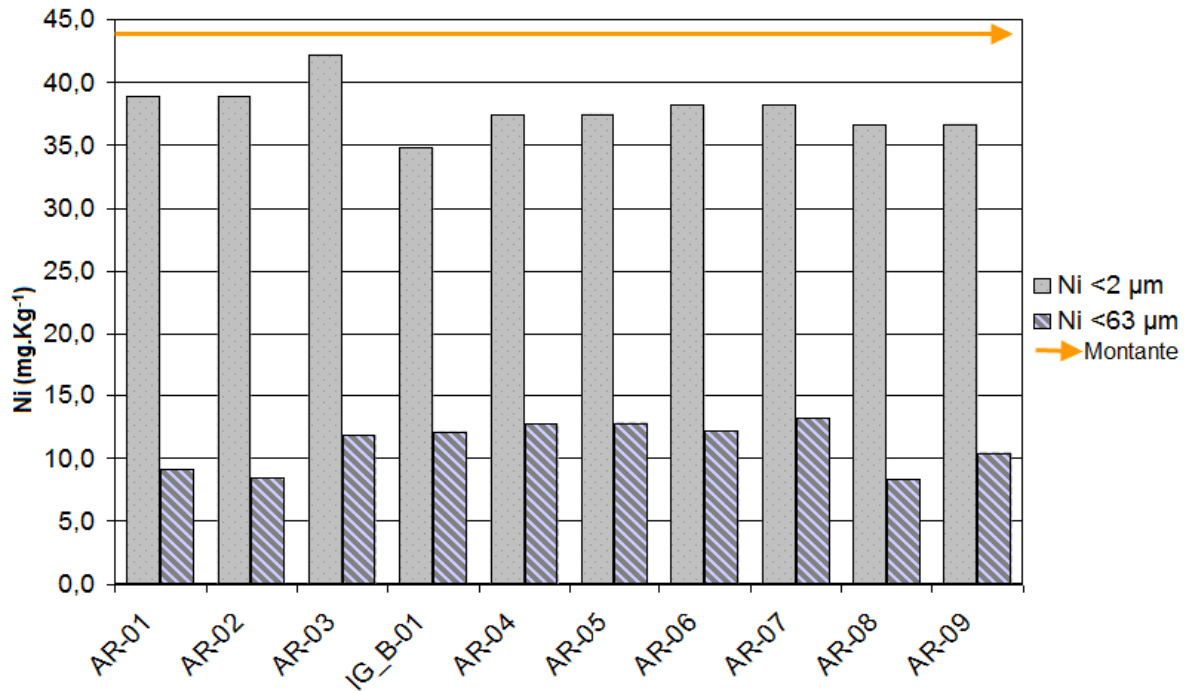


Figura 27 - Distribuição da concentração de Ni, nas frações < 2 μm e < 63 μm, ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal.

A Figura 28 mostra a relação existente entre as concentrações de Ni e as de Al, na fração < 63 μm, nas amostras do rio Arienga, nas amostras da região das ilhas da baía do Guajará (Saraiva, 2007), nas amostras da orla da baía do Guajará (Carvalho, 2002), nas amostras da região das ilhas do rio Guamá (Nascimento, 2007) e na média observada na escória de alto forno. Percebe-se que todas as amostras apresentaram uma mesma tendência, fato já esperado, pois tanto os sedimentos depositados no rio Arienga quanto aqueles depositados na orla de Belém, possuem uma fonte comum. Nota-se ainda que a baía do Guajará, responsável por receber grande parte do esgoto *in natura* da cidade de Belém e já comprovadamente contaminada, apresenta sua orla mais comprometida pela poluição que a região das ilhas que, mesmo em menor escala, já apresenta fortes indícios de contribuição antropogênica. A região das ilhas do rio Guamá mostrou-se mais comprometida pela ação humana que a região das ilhas da baía. O rio Arienga que está distante do centro urbano da cidade de Barcarena recebe, pouquíssima contribuição humana e, portanto, ainda mantém baixas concentrações de níquel, que talvez representem valores de base da área (*background*).

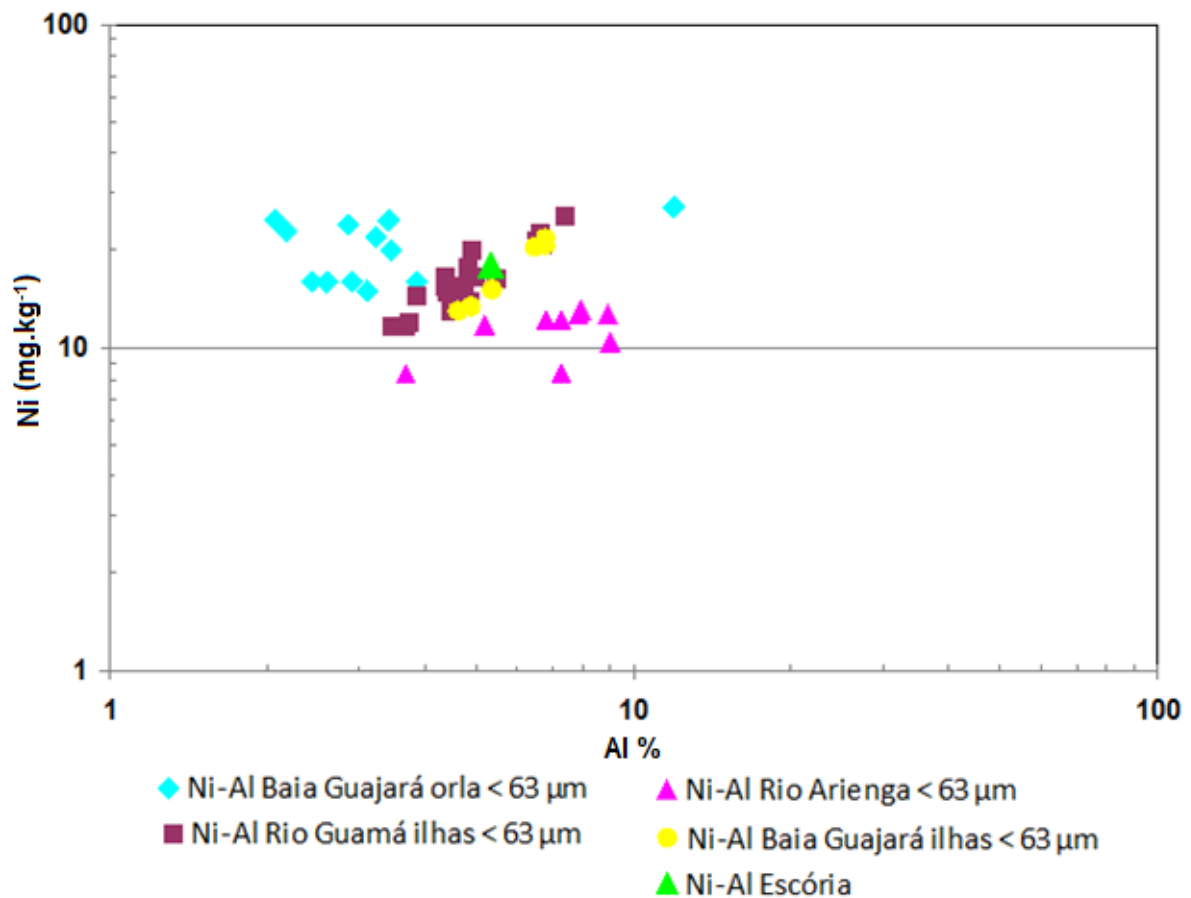


Figura 28 - Diagrama mostrando a comparação entre as concentrações de Ni e Al, neste trabalho, nas ilhas e na orla da baía do Guajará e nas ilhas do rio Guamá.

6.1.2 Chumbo

O chumbo não possui funções nutricionais, bioquímicas ou fisiológicas conhecidas e é tóxico para a maioria dos organismos vivos (Goyer, 1996). Ainda segundo Goyer (1996), ao ser lançado no ambiente, esse metal apresenta um tempo de residência longo quando comparado à maioria dos poluentes. Em condições naturais o chumbo é encontrado em baixas concentrações. Os principais usos desse elemento estão relacionados às indústrias extrativa, petrolífera, de baterias, tintas e corantes, cerâmica, cabos, tubulações e munições (Porto, 2009). Esse metal pode ser introduzido no organismo através da inalação (ar atmosférico), ingestão (água, alimentos e solo contaminados) e por via dérmica. Os efeitos da intoxicação por chumbo são: tontura, irritabilidade, dor de cabeça, alucinações, tremor muscular, perda de memória e da concentração. A intoxicação aguda caracteriza-se por sede intensa, sabor metálico na boca, inflamação gastro-intestinal, vômitos e diarreias. Em crianças, o chumbo provoca retardamento físico e mental, perda da concentração e diminuição da capacidade

cognitiva. Em adultos são comuns problemas nos rins e o aumento da pressão arterial (Toxicological profile for lead, 2007). Um estudo realizado com amostras de sangue de crianças e adultos em comunidades próximas a antigas refinarias de Pb, no município de Adrianópolis (PR), revelou níveis alarmantes desse metal em crianças mesmo após terem cessado as atividades de extração e refino desse metal no local há quase uma década. De acordo com o estudo grande parte das crianças que tiveram seu sangue analisado apresentou em seu organismo o dobro da concentração de Pb recomendada pela Organização Mundial da Saúde (10 µg/dL). Os altos teores desse metal encontrados nas populações dos povoados estudados foram atribuídos à contaminação do solo local por Pb oriundo dos processos de extração e beneficiamento do metal por décadas na região (Figueiredo et al. 2004).

Ao longo do rio Arienga e na foz do igarapé Bacabal, houve certa variação na distribuição da concentração de Pb, em ambas as frações analisadas. Os maiores teores desse metal foram observados a partir do ponto AR-04 (em direção a nascente). Semelhante ao que aconteceu com o Ni, o Pb também mais que triplicou sua concentração na fração mais fina do sedimento passando de uma média de $14,61 \pm 2,37 \text{ mg.Kg}^{-1}$, na fração $< 63 \text{ }\mu\text{m}$, para uma média $46,02 \pm 2,49 \text{ mg.Kg}^{-1}$, na fração $< 2 \text{ }\mu\text{m}$ (Figura 29).

O Pb demonstrou boa correlação positiva com o Ni, com o Cu e com o Co, apresentando para todos o mesmo fator de correlação (+0,73), o que sugere uma provável associação desses elementos nos sedimentos de fundo do rio Arienga. Houve ainda uma forte correlação positiva do Pb com o Al (+0,74), revelando a preferência desse elemento por áreas enriquecidas em Al. Por outro lado, a correlação com o Fe mostrou-se negativa (-0,71) sugerindo que o Pb, assim como ocorreu com o Ni, não deve está associado aos óxidos-hidroxidos de Fe. Não houve uma correlação significativa do Pb com a matéria orgânica.

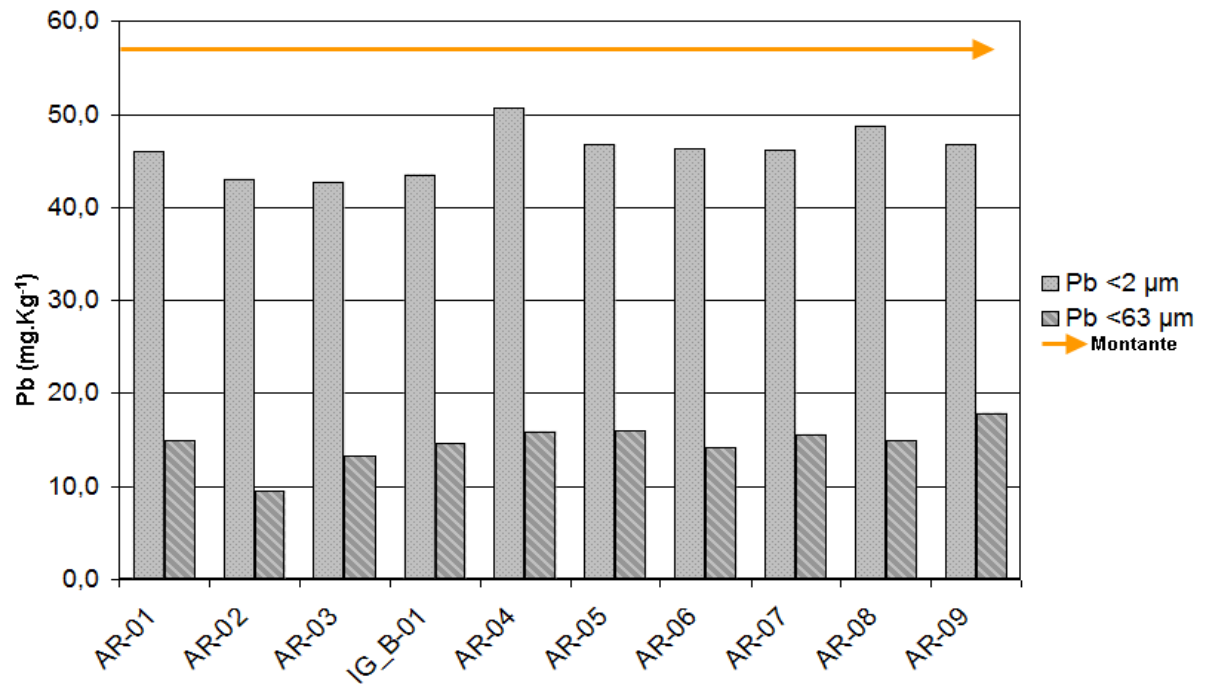


Figura 29 - Distribuição da concentração de Pb ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal nas frações < 2 μm e < 63 μm.

Através da Figura 30 é possível observar a comparação entre as concentrações de Pb e de Al (fração < 63 μm) nas amostras deste trabalho, nas amostras da região das ilhas da baía do Guajará (Saraiva, 2007), nas amostras da orla da baía do Guajará (Carvalho, 2002), nas amostras da região das ilhas do rio Guamá (Nascimento, 2007), assim como no valor médio desse metal obtido na escória de alto forno. Da mesma maneira que aconteceu com o Ni, o metal Pb também revelou-se mais abundante na orla da baía do Guajará, no entanto a região das ilhas dessa baía que apresenta-se pouco impactada pelo Ni mostrou-se mais enriquecida por Pb que a região das ilhas da rio Guamá. Revelando que a contaminação por esse metal na baía do Guajará já alcançou áreas mais distantes da orla de Belém. Dentre os ambientes estudados, o rio Arienga é o que apresenta menor concentração de Pb nos sedimentos. Isso, provavelmente, se deve a baixa concentração populacional na bacia desse rio e a relativa distância do pólo industrial da cidade, a microbacia do rio Arienga abriga uma única grande indústria que ao que tudo indica ainda não está comprometendo a qualidade dos sedimentos desse rio.

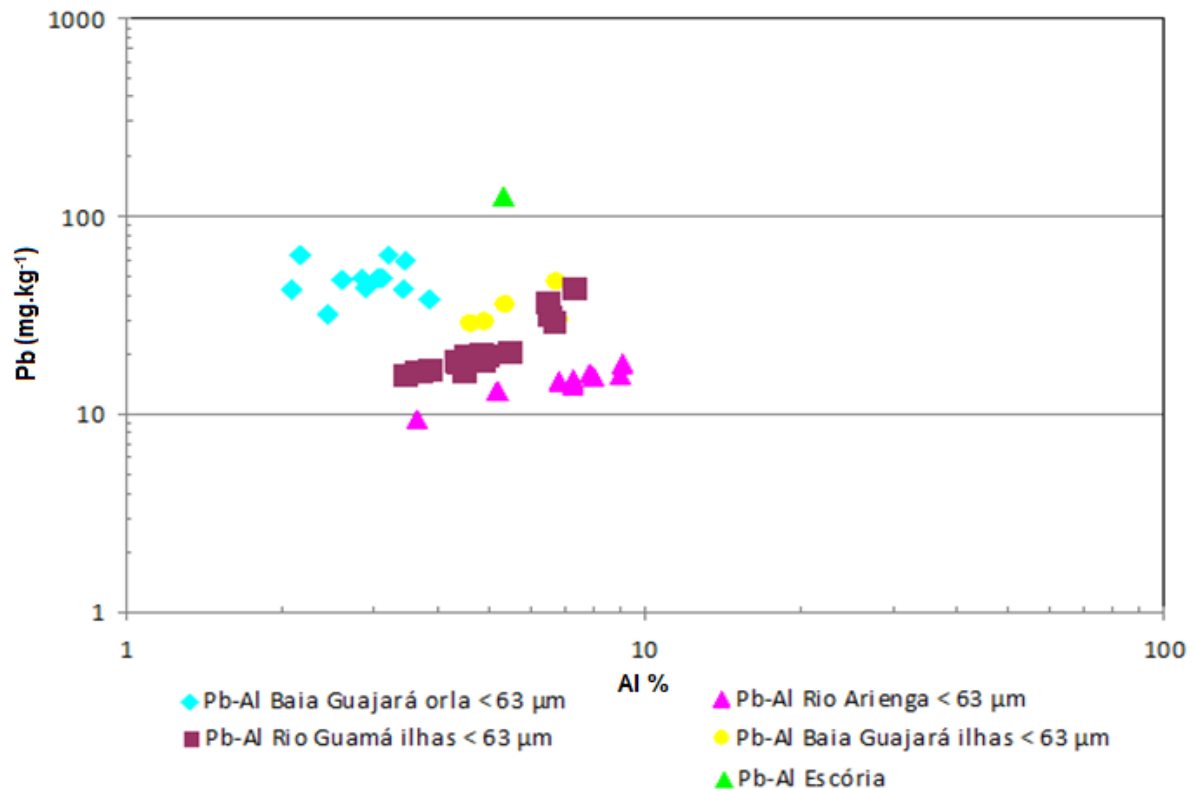


Figura 30 - Diagrama mostrando a comparação entre as concentrações de Pb e Al, neste trabalho, nas ilhas e na orla da baía do Guajará e nas ilhas do rio Guamá.

6.1.3 Zinco

O Zn é um dos elementos mais comuns na crosta terrestre sendo mais encontrado na natureza sob a forma de sulfeto de zinco. Os principais compostos de Zn são o óxido (ZnO), utilizado nas indústrias de cerâmica e nas de borrachas e ainda na produção de tintas (Jesus, 2001). O sulfato de zinco (ZnSO₄) possui aplicação principalmente na indústria têxtil e no enriquecimento de solos pobres em zinco. O cloreto de zinco é usado para preservar madeiras bem como desodorizante em diversos fluidos (Barcellos, 1995). De acordo com Maranhoto (2009), o Zn é um elemento essencial ao bom funcionamento do organismo, desempenhando papel importante na saúde da pele, no sistema imunológico e no desenvolvimento sexual. E ainda é fundamental na síntese de DNA e RNA. A carência de Zn no organismo traz uma série de consequências à saúde: falta de apetite e perda de paladar, atraso no crescimento de crianças e adolescentes e no desenvolvimento sexual, cegueira noturna, problemas de cicatrização na pele, vômitos, diarreias e baixa imunidade a doenças. No entanto, embora essencial a ingestão prolongada de altos níveis de Zn pode provocar anemia, dano ao

pâncreas, e decréscimo no nível de lipoproteína de alta densidade (HDL) colesterol (Toxicological profile for zinc, 2005).

No rio São Francisco na cidade de Três Marias-MG, que tem instalado em suas proximidades uma empresa de beneficiamento de metais. Lá, constatou-se um considerável aumento na concentração de Zn nas águas desse rio no período chuvoso, enquanto que nos sedimentos altas concentrações desse metal foram verificadas apenas em alguns pontos analisados, não sendo verificada a presença do metal Zn nos músculos de peixes analisados (Mozeto et al. 2007).

A concentração de Zn ao longo do rio Arienga, na fração $< 2 \mu\text{m}$, mostrou-se crescente em direção a montante. Já na fração mais grossa os maiores valores foram observados na jusante. Mas em ambas as frações não houve grandes variações no teor desse metal (Figura 31). A média obtida na fração mais fina dos sedimentos foi de $107,4 \pm 7,78 \text{ mg.Kg}^{-1}$, enquanto na fração $< 63 \mu\text{m}$ o valor médio foi de $41,6 \pm 6,33 \text{ mg.Kg}^{-1}$. Percebe-se que a concentração de Zn na fração argila ficou 2,5 maior que na fração $< 63 \mu\text{m}$ (silte+argila).

Houve forte correlação positiva do Zn com os elementos Ba e V (+0,80), indicando que esses metais encontram-se de alguma forma ligados nos sedimentos. O Zn não apresentou boa correlação tanto com Al (+0,57) quanto com a M.O (+0,27). Sugerindo que o metal provavelmente não está adsorvido na estrutura dos argilominerais ou complexado ao material orgânico. Já a correlação com o Fe revelou-se negativa (-0,36) indicando que o aumento da concentração de Zn é acompanhado pela diminuição do teor de Fe nos sedimentos e que, portanto o elemento Zn não deve apresentar-se retido na estrutura dos óxidos-hidróxidos de Fe presentes nos sedimentos de fundo.

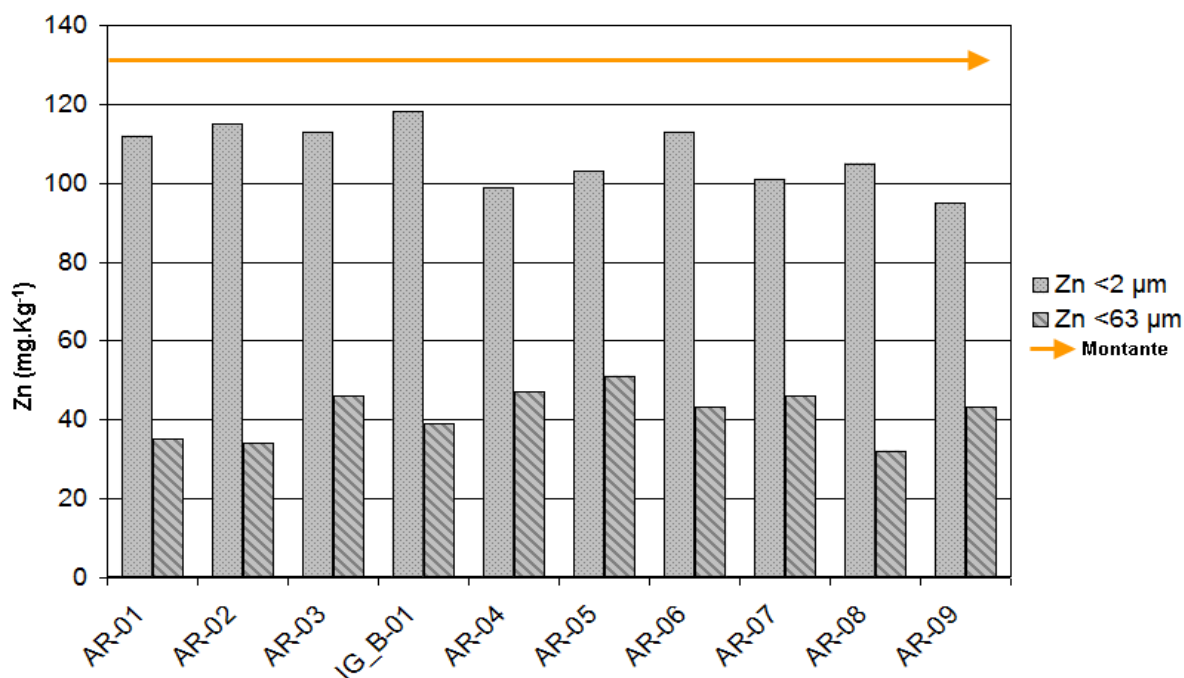


Figura 31 - Distribuição da concentração de Zn ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal nas frações <math>< 2 \mu\text{m}</math> e <math>< 63 \mu\text{m}</math>.

Na Figura 32 são comparadas as concentrações de Zn e de Al (fração <math>< 63 \mu\text{m}</math>) nas amostras deste trabalho, nas amostras da região das ilhas da baía do Guajará (Saraiva, 2007), nas amostras da orla da baía do Guajará (Carvalho, 2002), assim como nas amostras da região das ilhas do rio Guamá (Nascimento, 2007) e na média obtida para a escória de alto forno principal rejeito da usina siderúrgica. Semelhante ao que aconteceu com o Ni e com o Pb o metal Zn também revelou-se menos enriquecido nos sedimentos do rio Arienga, mesmo estando esse metal dentre os constituintes do principal resíduo proveniente do processo siderúrgico. Esse fato sugere que essa indústria embora presente na bacia do rio Arienga, ainda não oferece risco ao ambiente aquático. Nascimento (2007), Carvalho (2002) e Saraiva (2007), em estudos realizados na região das ilhas do rio Guamá e da baía do Guajará apresentaram resultados superiores os encontrados na orla dessa última, mas de maneira geral o ambiente mais comprometido pela contaminação por Zn foi a orla de Belém.

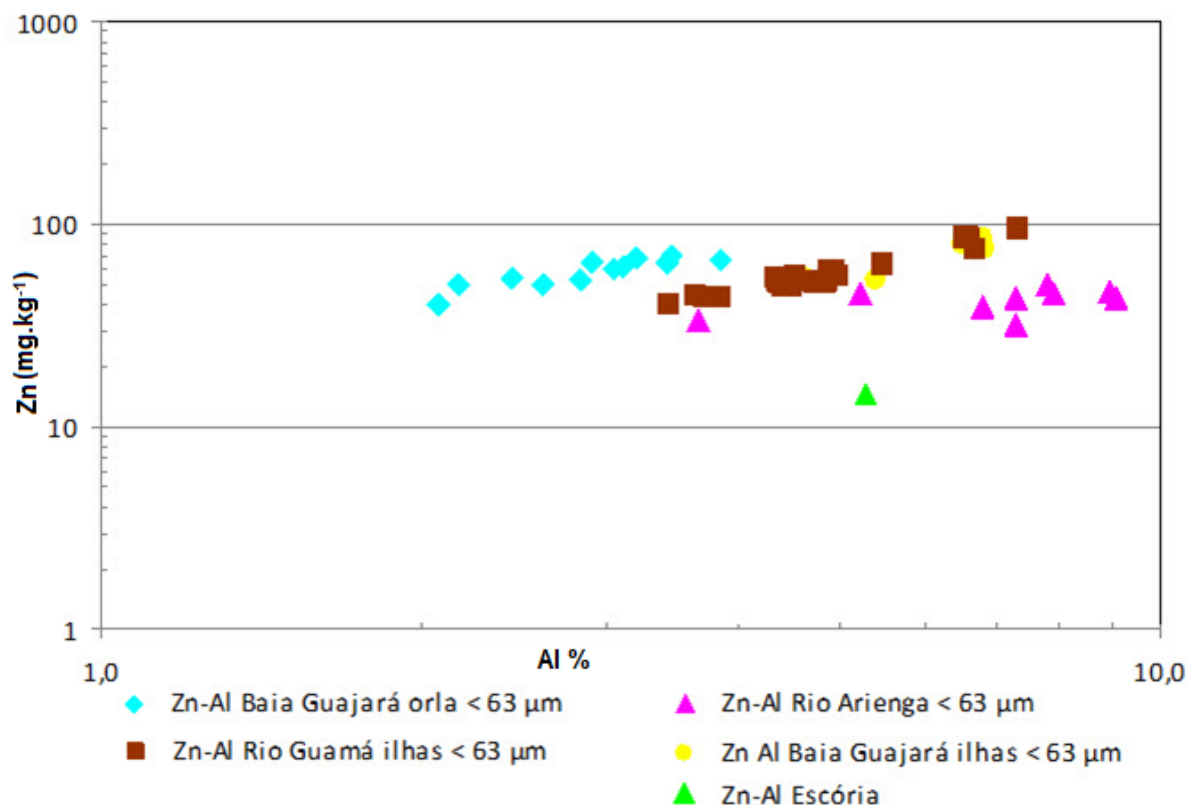


Figura 32 - Diagrama mostrando a comparação entre as concentrações de Zn e Al, neste trabalho, nas ilhas e na orla da baía do Guajará, nas ilhas do rio Guamá e na média da escória de alto forno.

6.1.4 Cobre

O Cu ocorre na natureza, geralmente, na forma de Cu^{2+} , na qual se comporta como metal de transição. Apenas poucos minerais contêm Cu^{1+} ou Cu^0 . Esse elemento ocorre principalmente como calcocita (Cu_2S) e covelita (CuS). A calcopirita (CuFeS_2) é o mais abundante mineral de Cu, sendo amplamente encontrado disperso nas rochas e concentrado nos depósitos minerais de Cu. O metal Cu, também, ocorre como corpo de minério segregado, associado a outro sulfeto, como a pirita ou galena. Ocorre também como cuprita (Cu_2O) e malaquita ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$) e estes são mais solúveis que os sulfetos. No entanto, a solubilidade dos sulfetos de cobre aumenta em meios ácidos e em soluções oxidantes (Oliveira, 2007).

O Cu está relacionado entre os metais essenciais aos seres vivos, pois em pequenas concentrações participa de inúmeros processos metabólicos e sua ausência causa problemas de saúde como a anemia. No entanto elevadas concentrações são danosas para organismos aquáticos, o excesso deste elemento pode ocasionar sérios danos à saúde humana como problemas ao fígado e aos rins. O metal Cu normalmente está presente em pequenas

concentrações em águas superficiais, devido à adsorção de minerais de argila, óxidos de Fe e resíduos orgânicos, e maiores teores são geralmente decorrentes de despejos industriais e domésticos, ou ainda devido a sua utilização como algicida, destacando esse uso como uma das principais fontes antropogênicas desse metal aos sistemas aquáticos (Toxicological profile for copper, 2004).

Torres (2009) associou o aumento recente da concentração de Cu nas camadas mais superficiais dos perfis sedimentares aos efluentes gerados pela atividade de carcinicultura (cultivo de camarões) desenvolvida na região estuarina do rio Jaguaribe-CE, especificamente no canal do Cumbe. Os resultados obtidos mostraram que os teores mais elevados desse elemento estão associados à presença de sedimentos com textura mais fina e ao aumento na concentração de material orgânico gerado a partir dessa atividade econômica.

Similarmente ao que ocorreu com a concentração de Zn ao longo do rio Arienga, o teor de Cu também aumentou 2,5 vezes na fração argila. Nessa fração do sedimento a média de Cu chegou a $30,37 \pm 5,70 \text{ mg.Kg}^{-1}$, enquanto na fração mais grossa não ultrapassou $12,38 \pm 2,28 \text{ mg.Kg}^{-1}$. A Figura 33 mostra que houve certa variação desse elemento em ambas as frações. O ponto AR-01, mais próximo da foz, foi que se mostrou mais enriquecido por Cu na fração $< 2 \mu\text{m}$, já na fração $< 63 \mu\text{m}$ o ponto com maior teor de Cu foi o IG_B-01 correspondente à foz do igarapé Bacabal.

O metal Cu apresentou boa correlação com Al (+0,72), podendo apresentar-se nos sedimentos adsorvido a estrutura dos argilominerais. Enquanto com o Fe a correlação mostrou-se negativa (-0,66) sugerindo a preferência do Cu por áreas onde há menor ocorrência desse elemento. Com a matéria orgânica o Cu não se correlacionou significativamente (+0,43).

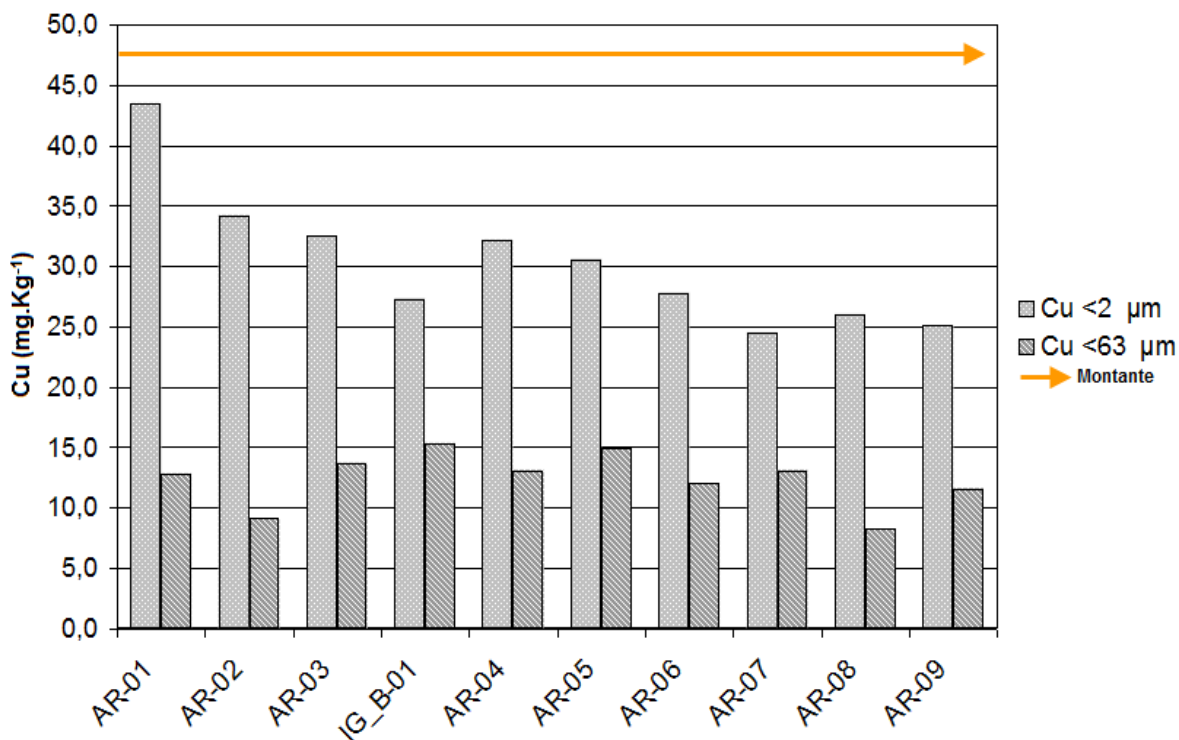


Figura 33 - Distribuição da concentração de Cu ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal nas frações < 2 μm e < 63 μm.

A Figura 34 mostra a comparação entre as concentrações de Cu e de Al (fração < 63 μm) nas amostras deste trabalho, nas amostras da região das ilhas da baía do Guajará (Saraiva, 2007), nas amostras da orla da baía do Guajará (Carvalho, 2002), assim como nas amostras da região das ilhas do rio Guamá (Nascimento, 2007) e na média obtida para a escória de alto forno. É possível observar que as quatro áreas, ora comparadas, apresentaram valores bem semelhantes para a concentração de Cu. Tomando-se como parâmetro de ambiente contaminado, a região das ilhas da baía do Guajará, nota-se que as outras regiões avaliadas, inclusive o rio Arienga, apresentam-se já em processo de contaminação, pois esses ambientes quando comparados revelaram a formação de um único grupo. A bacia hidrográfica do rio Arienga pode já está sofrendo as conseqüências da contaminação pela escória de alto forno, já que esse subproduto da siderurgia apresenta o Cu em sua composição.

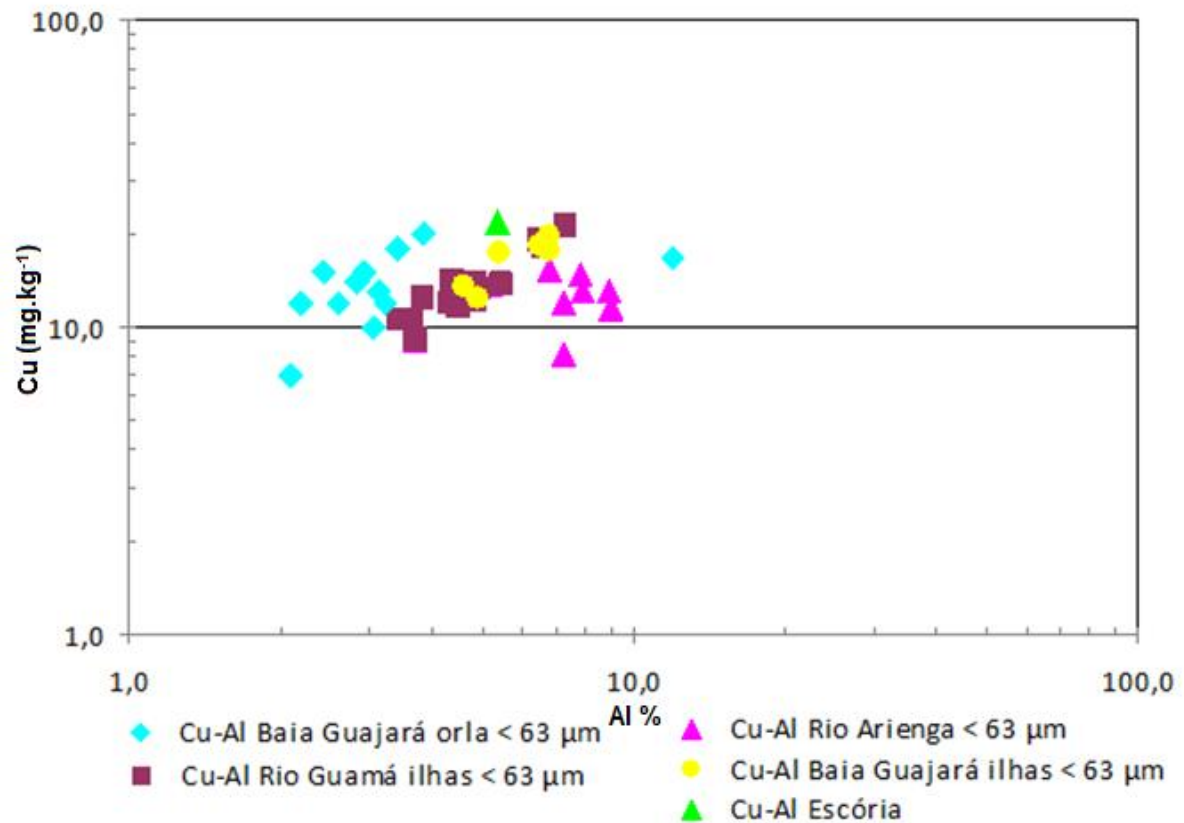


Figura 34 - Diagrama mostrando a comparação entre as concentrações de Cu e Al, neste trabalho, nas ilhas e na orla da baía do Guajará, nas ilhas do rio Guamá e na média da escória de alto forno

6.1.5 Bário

O Ba não existe livre na natureza, em virtude de sua elevada reatividade, no entanto, ocorre naturalmente na forma de uma mistura de sete isótopos estáveis, ou seja, em estado combinado. Sendo as principais formas a barita (sulfato de bário) e a witherite (carbonato de bário), podendo estar presente em pequenas quantidades em rochas ígneas, como feldspato e micas e também pode ser encontrado como um componente natural de combustíveis fósseis (ECO-SSL, 2005). O Ba possui vários usos industriais como em artigos de pirotecnia, esmaltes, tintas e cerâmicas. Possui, ainda, importantes aplicações nas indústrias siderúrgica, química, de papel, de borracha e de plásticos (DNPM, 2009). Embora não seja um metal considerado cumulativo o Ba é considerado um elemento altamente tóxico. Em concentrações entre 550 e 600 mg pode ser fatal ao ser humano causando sérios problemas ao coração e ao sistema nervoso (Fukuzawa, 2008). Os sintomas da intoxicação por esse metal são: náuseas, vômitos, diarreia, dor abdominal, agitação, ansiedade, tremores, fibrilação muscular,

chegando, em casos mais graves, a provocar crises convulsivas e até mesmo levar ao coma e a morte (Alves, 2009).

No ano de 2003, foi observado um surto de diarreia e manifestações neurológicas na região de Itaquaquecetuba no estado de São Paulo após várias pessoas terem sido contaminadas por carbonato de bário, composto altamente tóxico comumente utilizado para matar roedores (BEPA, 2004).

O Ba pode ainda trazer problemas ao cultivo de vegetais, pois em elevadas concentrações no solo esse metal pode inibir o crescimento das plantas, uma vez que interfere na nutrição do vegetal, assim como pode causar efeitos adversos aos microorganismos presentes no solo (Lima, 2009).

Braga (2007), encontrou elevadas concentrações de Ba ao analisar o material particulado oriundo da chaminé de uma usina siderúrgica, Várzea da Palma – MG. Os resultados obtidos foram superiores ao de 750 mg/L estabelecido pela CETESB (2005) como valor de referência para solo. As altas concentrações, na área de estudo, foram atribuídas à variada aplicação dos compostos de bário na indústria siderúrgica.

Dentre os elementos analisados, o Ba foi o que apresentou menor grau de enriquecimento na fração < 2,0 μm , não ultrapassando mais que 1,3 vezes a concentração na fração < 63 μm . As maiores disparidades foram observadas nos pontos AR-01 e AR-02, conforme a Figura 35, nos demais pontos a variação foi pequena. A média de Bário variou de $344,70 \pm 46,76 \text{ mg.Kg}^{-1}$, na fração < 63 μm , para $428,50 \pm 36,81 \text{ mg.Kg}^{-1}$, na fração < 2,0 μm .

O metal Ba apresentou correlação negativa com o Al (-0,62) e com a matéria orgânica (-0,31), assim conclui-se que neste caso, o Ba não se encontra associado aos argilominerais ou complexado ao material orgânico. Com Fe a correlação foi positiva, mas também pouco expressiva (+0,41), indicando ser baixa a possibilidade desse metal está associado a áreas com elevados teores de Fe.

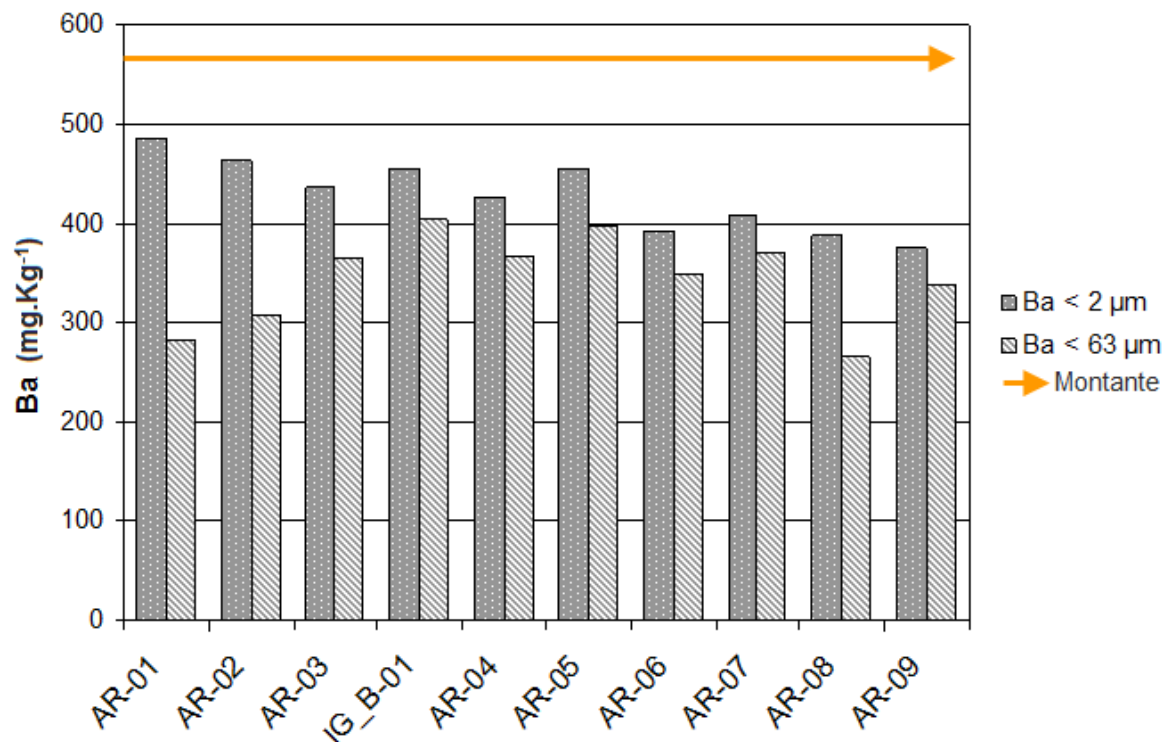


Figura 35 - Distribuição da concentração de Ba ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal nas frações < 2 μm e < 63 μm.

Comparando-se as concentrações de Ba e de Al (fração < 63 μm) nas amostras deste trabalho, nas amostras da região das ilhas da baía do Guajará (Saraiva, 2007), das ilhas do rio Guamá (Nascimento, 2007), bem como na média obtida na escória de alto forno (Figura 36), percebe-se que a esta última mostra-se bastante enriquecida pelo metal Ba formando um grupo isolado daquele composto pelos demais que mostraram valores bem semelhantes desse metal. Sugerindo que nessas regiões ainda não há *input* de bário. Mesmo esse metal estando entre os principais constituintes da escória, não foi detectado nenhum vestígio de contaminação nos sedimentos do rio Arienga, sendo os valores encontrados atribuídos  geoquímica local.

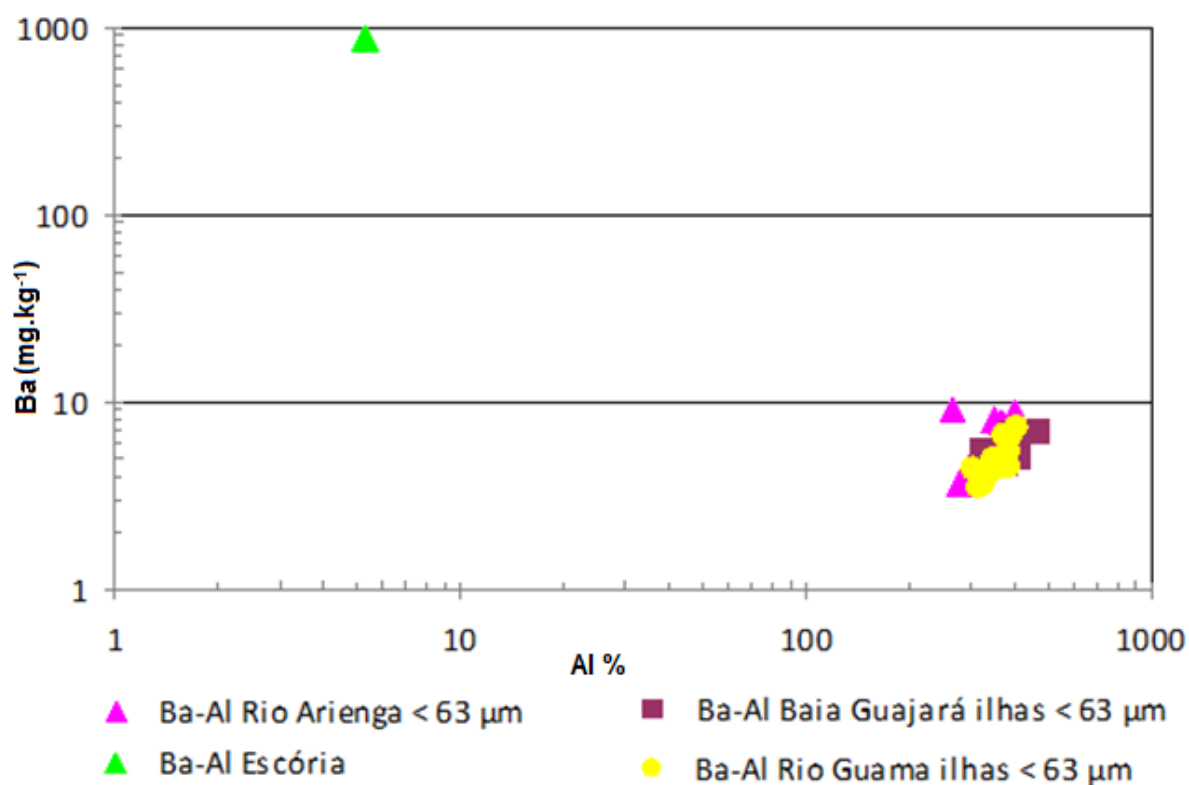


Figura 36 - Diagrama mostrando a comparação entre as concentrações de Ba e Al, neste trabalho, nas ilhas da baía do Guajará, nas ilhas do rio Guamá e na escória de alto forno.

6.1.6 Vanádio

O V pertence ao grupo 5b (metais de transição) da tabela periódica. É o 22º elemento em abundância na crosta terrestre, aproximadamente 150 mg/kg. O V é encontrado em cerca de 65 minerais diferentes dentre os quais destacam-se: carnotita (uranovanadato de potássio e sódio), roscoelita (silicato básico de potássio, vanádio, alumínio e magnésio), vanadinita (clorovanadato de chumbo), patronita (sulfeto de vanádio). Podendo ainda ser encontrado em alguns minerais de fosfato de ferro, em alguns tipos de petróleo cru, na forma de complexos orgânicos (Neves, 2005). Esse elemento é amplamente utilizado pela indústria na fabricação de aço, especialmente na forma de ferro-liga, e seus compostos químicos são utilizados como agente catalisadores em processos que envolvem a indústria petrolífera, a química, a de fibras e a de borrachas (Silva & Teixeira, 2008). O V é considerado como um dos principais indicadores da poluição do ar, pois está associado à combustão do carvão e de combustíveis fósseis (Neves, 2005).

A essencialidade do V foi comprovada para algumas espécies animais como os frangos que sem esse elemento em sua alimentação apresentam distúrbios no crescimento das penas e também em ratos nos quais o consumo desse elemento favorece o crescimento e a função reprodutora. Para o homem a essencialidade do V ainda não foi comprovada. No entanto estudos recentes publicados na Venezuela mostram que elevadas concentrações de V podem causar mudanças genéticas em seres humanos, em plantas e animais. De acordo com esses estudos a exposição ao metal pode causar alterações nos vasos sanguíneos, na pressão arterial e no transporte de cálcio no organismo humano (Tierramérica, 2001).

Para Nascimento (2008), a elevada concentração de V, nos sedimentos de fundo, em alguns pontos da bacia de Piranhas-Açu no Rio Grande do Norte, deve-se a *inputs* antropogênicos e também a granulometria mais fina em alguns pontos da área de estudo que sofrem influência da atividade petrolífera desenvolvida na região.

Comparando a concentração do metal V entre as duas frações granulométricas estudadas, nota-se que na fração $< 63 \mu\text{m}$ houve uma tendência de aumento do teor de V na direção nascente-foz. Em contrapartida, na fração $< 2 \mu\text{m}$ a tendência de aumento na concentração desse metal ocorreu na direção oposta, mas em ambas as frações o maior teor de V foi observado no ponto AR-03 (Figura 37). O incremento de V na fração mais fina do sedimento foi da ordem de 1,5 vezes. A média do elemento V foi de $140,80 \pm 7,19 \text{ mg.Kg}^{-1}$ na fração mais fina e $92,0 \pm 9,35 \text{ mg.Kg}^{-1}$ na fração mais grosseira.

A correlação do V mostrou-se negativa com o Al (-0,54) e também com a matéria orgânica (-0,33). Sugerindo que esse metal não está associado a áreas com grandes concentrações de argilominerais e material orgânico. Já com o Fe (+0,37), embora positiva, a correlação revelou-se pouco expressiva, assim o V não deve está associado a oxi-hidróxidos de Fe.

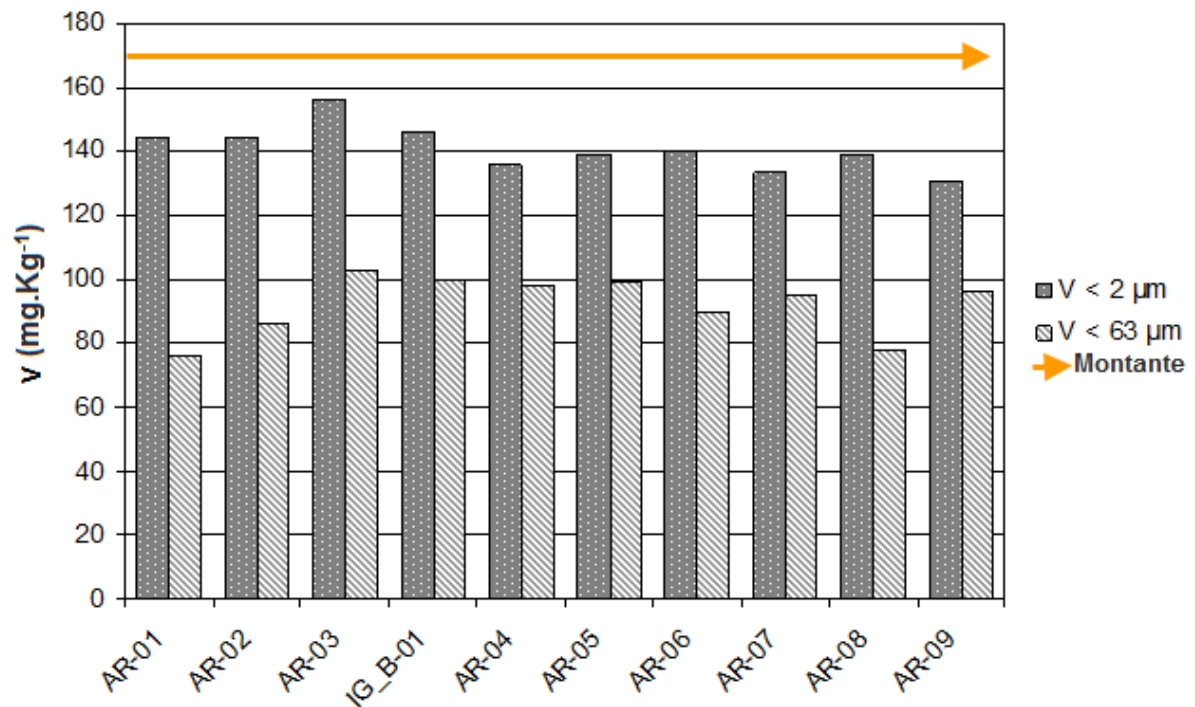


Figura 37 - Distribuição da concentração de V ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal nas frações < 2 μm e < 63 μm.

Na Figura 38, pode ser observada a comparação realizada entre os teores obtidos para V e Al (fração < 63 μm) no rio Arienga, na região das ilhas da baía do Guajará (Saraiva, 2007), na região das ilhas do rio Guamá (Nascimento, 2007), e também na média observada na escória de alto forno. A figura mostra que as áreas estudadas apresentam concentrações de V bem semelhantes, entre si, formando um único grupo. Ficando bem evidente que os sedimentos dessas regiões tiveram origem da mesma rocha mãe. A média encontrada na escória de alto forno é bem inferior aquela observada nos sedimentos do rio Arienga, embora esse rio não apresente indícios de contaminação por esse metal é importante salientar que cuidados devem ser tomados para que resíduos provenientes da siderurgia não cheguem ao rio, pois, a longo prazo, essa situação pode ser alterada já que os sedimentos funcionam como meio acumulador de metais.

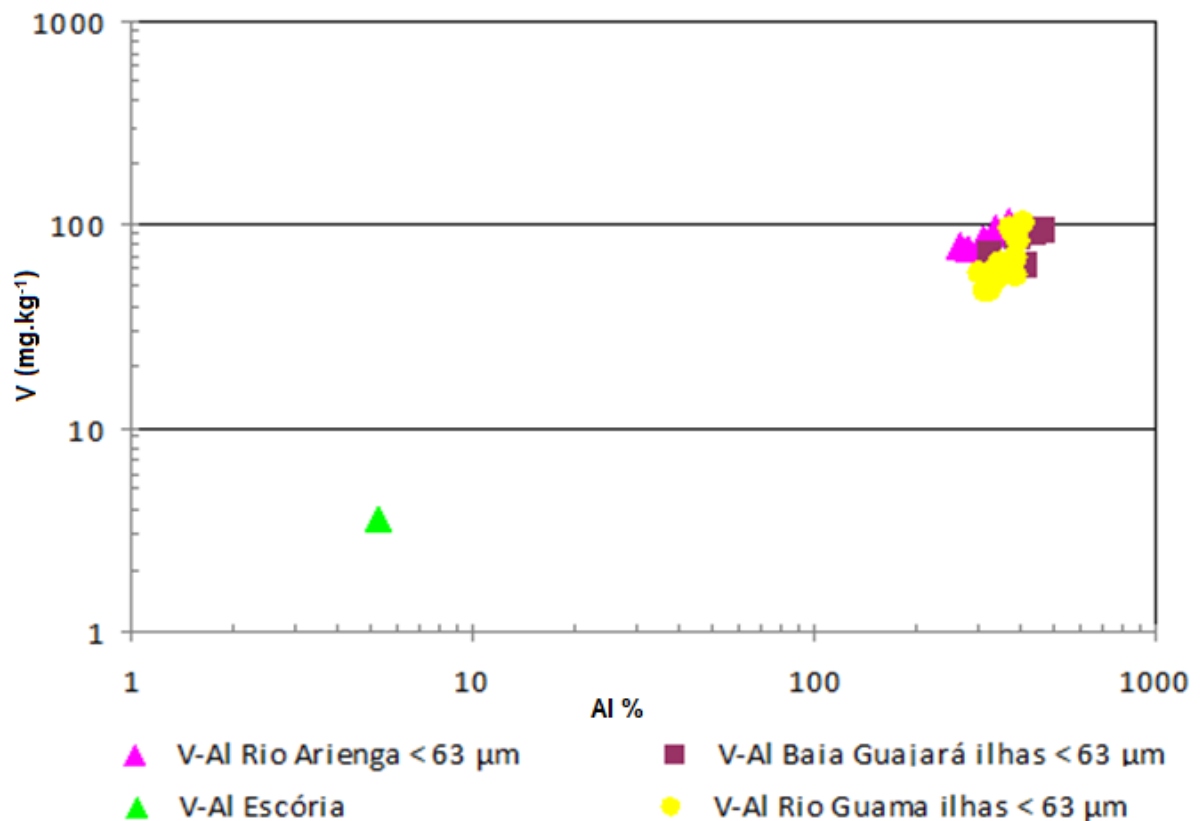


Figura 38 - Diagrama mostrando a comparação entre as concentrações de V e Al, neste trabalho, nas ilhas da baía do Guajará, nas ilhas do rio Guamá e na escória de alto forno.

6.1.7 Cobalto

O Co é encontrado naturalmente na crosta terrestre em concentrações muito baixas agregado a outras substâncias, como a minérios de níquel, prata, chumbo, cobre e ferro, concentrado em rochas básicas e ultrabásicas. Esse metal se assemelha ao Ni em várias de suas propriedades físicas e químicas, embora seja menos abundante. Sua ocorrência se dá principalmente como cobalita (CoAsS). E ainda em minerais com estruturas semelhantes a da pirita, como a catierita (CoS_2) e a pirita de níquel ($\text{Fe,Ni,Co} \text{S}_2$). O Co é facilmente solubilizado durante a alteração e, diferentemente do Ni, não forma minerais residuais da família dos silicatos. Sua distribuição no solo é determinada pela fase dos óxidos de Fe e Mn (Oliveira, 2007).

É um elemento com grande resistência a corrosão, por esse motivo, adquire grande importância para o uso industrial. Seus usos mais comuns são: para conferir cor a lentes de óculos, esmaltes e para dar cor azul a porcelanas, como eletrodos de baterias, ligas de aplicações magnéticas. É também muito utilizado na agricultura e na medicina. Embora seja

considerado um metal biologicamente essencial a organismos vivos, pois está relacionado à composição da estrutura da vitamina B-12, a exposição a altas doses desse elemento entre outros problemas ocasiona alterações na visão e tireoidismo (Toxicological profile for cobalt, 2004).

Parra (2006) ao estudar o solo das cabeceiras do rio Conceição, município de Santa Bárbara-MG. Encontrou concentrações de Co acima dos valores de alerta para solos estabelecidos pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) que é de 25 mg.Kg^{-1} . O que de acordo com o autor indica que o Co encontrado nos solos da região provavelmente não é de origem natural e pode vir a causar sérios danos ambientais.

Em relação às concentrações de Co nas frações $< 2 \mu\text{m}$ e $< 63 \mu\text{m}$, dos sedimentos do rio Arienga, percebe-se, na Figura 39, que ocorreu maior variação dos teores desse metal na fração $< 63 \mu\text{m}$, nessa fração as maiores concentrações de Co foram observadas nos pontos intermediários. Enquanto, na fração mais fina ($< 2 \mu\text{m}$) os pontos a jusante foram os que mostraram-se mais enriquecidos pelo Co, nessa fração, composta apenas pela argila, a oscilação dos teores do metal foram pouco significativas. A média de Co na fração $< 2 \mu\text{m}$ foi de $16,82 \pm 1,58 \text{ mg.Kg}^{-1}$, já na fração $< 63 \mu\text{m}$ o valor médio, observado, foi de $9,08 \pm 1,45 \text{ mg.Kg}^{-1}$, havendo, portanto, um aumento de 1,8 vezes na fração mais fina dos sedimentos.

O metal Co apresentou boa correlação com o Al (+0,70), mostrando que esse metal pode estar retido na estrutura dos argilominerais, como os do grupo das esmectitas, que possui elevada capacidade de troca catiônica e estão presentes nos sedimentos do rio Arienga. Já com o Fe, a correlação revelou-se negativa (-0,70), concluindo-se, então que dificilmente, o Co estará associado a áreas com elevados teores de Fe.

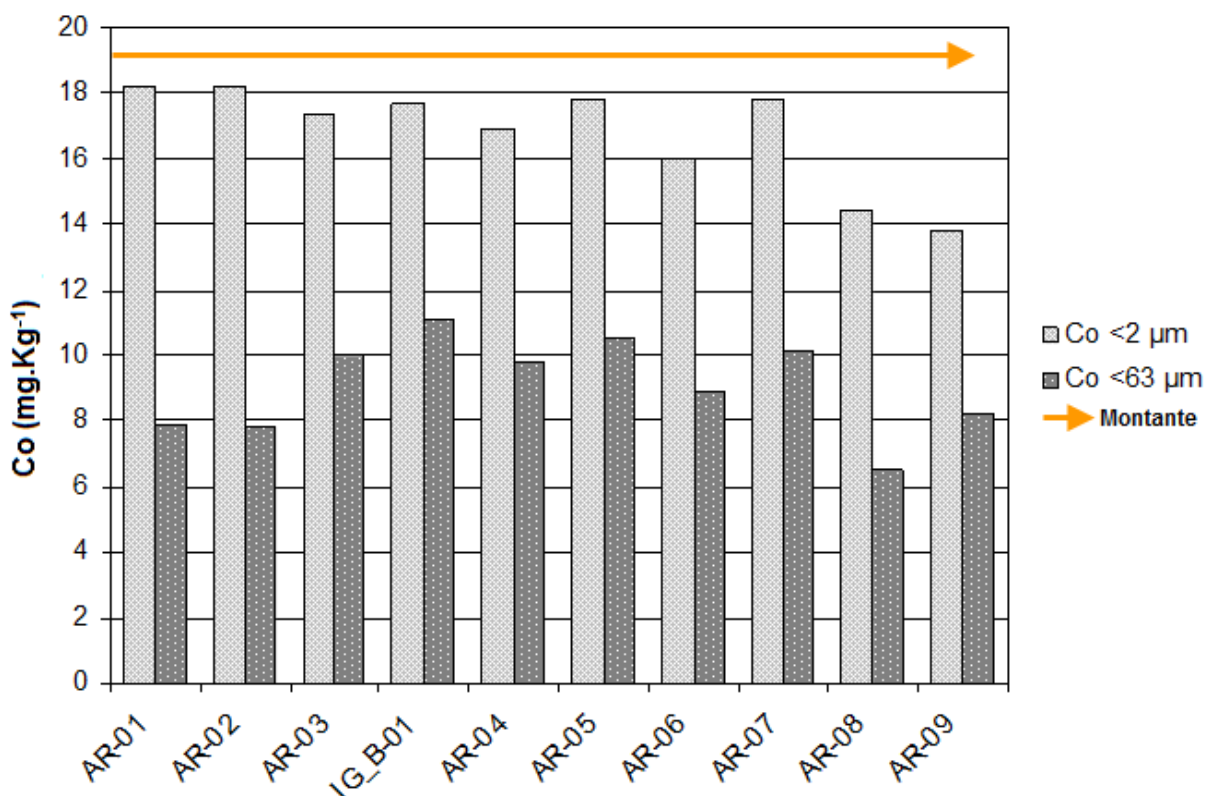


Figura 39 - Distribuição da concentração de Co ao longo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal nas frações < 2 μm e < 63 μm.

Na Figura 40 é possível observar a comparação entre as concentrações de Co e de Al (fração < 63 μm) nas amostras deste trabalho, nas amostras da região das ilhas da baía do Guajará (Saraiva, 2007), nas amostras da orla da baía do Guajará (Carvalho, 2002), assim como nas amostras da região das ilhas do rio Guamá (Nascimento, 2007). Nota-se, claramente, que a área correspondente à baía do Guajará Orla encontra-se bem mais enriquecida por Co que as demais áreas estudadas, essas últimas formaram um único grupo que se distanciou bastante daquele formado pela Orla da referida baía, já sabidamente contaminada por metais. Assim, pode-se concluir que a bacia hidrográfica do rio Arienga encontra-se livre da contaminação por Co, e que os teores encontrados são oriundos da geoquímica local. Vale ressaltar, que esse metal não está dentre os constituintes da escória de alto forno.

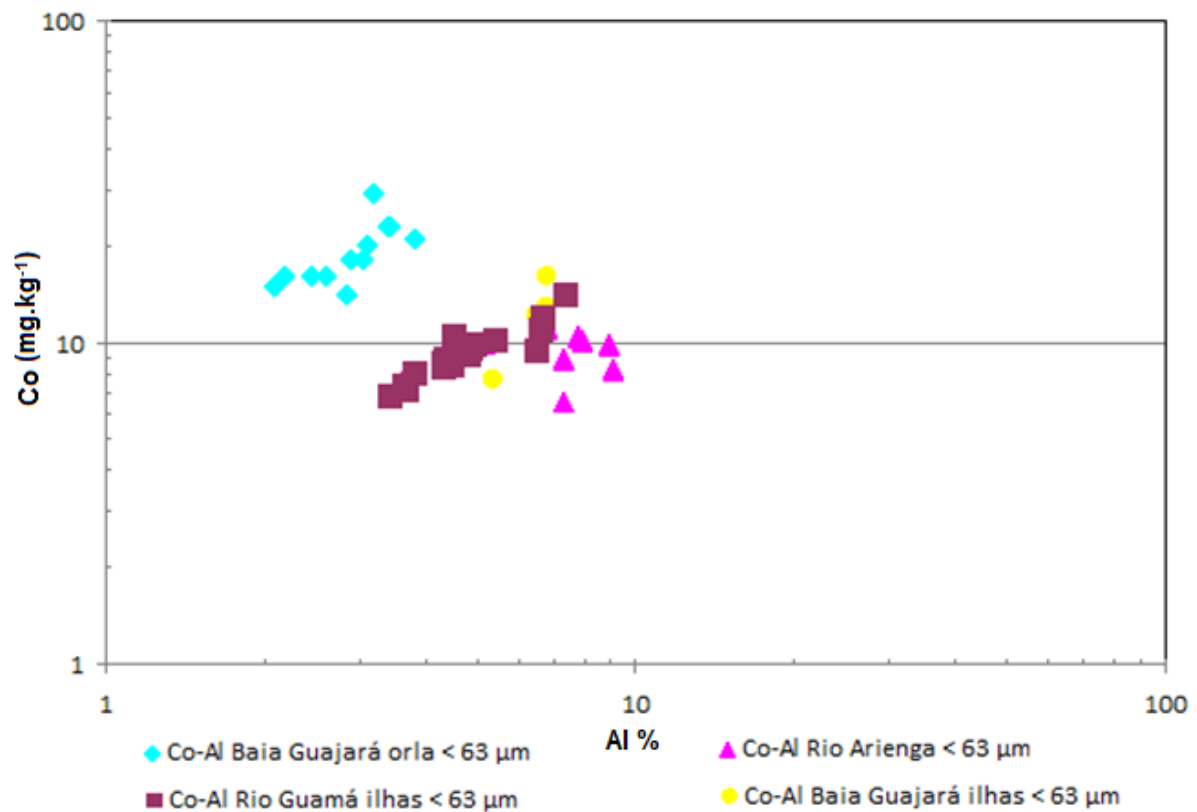


Figura 40 - Diagrama mostrando a comparação entre as concentrações de Cu e Al, neste trabalho, nas ilhas e na orla da baía do Guajará e nas ilhas do rio Guamá

6.7 ÍNDICE DE GEOACUMULAÇÃO

Baseado no índice de geoacumulação proposto por Müller (1979), pode-se verificar que embora o rio Arienga esteja situado em uma região de intensa atividade industrial, seus sedimentos ainda não estão sendo impactados por resíduos provenientes dessas atividades, embora os acidentes ambientais nessa região sejam recorrentes, de acordo com o índice de geoacumulação os sedimentos de fundo do rio Arienga não são considerados poluídos, pois todos os elementos estudados apresentaram $I_{Geo} = 0$. O que não significa que em um futuro próximo esta situação não possa ser alterada, caso não se busquem meios efetivos de combater os acidentes ambientais nos parques das empresas do município de Barcarena, evitando que contaminantes cheguem aos corpos d'água da região. A tendência é que no futuro, os sedimentos comecem a refletir as mudanças ambientais decorrentes desses impactos, já que uma de suas principais características é funcionar como meio acumulador de poluentes.

7 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos após a separação granulométrica dos sedimentos de fundo do rio Arienga e foz do igarapé Bacabal revelaram predominância da fração silte sobre as demais. A análise mineralógica refletiu o caráter essencialmente quartzoso da fração < 63 μm . Mostrou também a presença de caulinita, illita e esmectita na fração < 2 μm .

De maneira geral, houve enriquecimento de matéria orgânica da foz em direção à nascente, com os maiores teores observados nos pontos IG_B-01 e AR-09. Quanto à concentração dos elementos maiores, o rio Arienga apresentou elevada concentração de SiO_2 , seguida respectivamente de Al_2O_3 e Fe_2O_3 .

A concentração de elementos traço foi analisada tanto na fração < 63 μm quanto na fração < 2 μm . Observou-se, então, um considerável enriquecimento de todos os metais analisados na fração mais fina do sedimento. Metais como o Ni e o Pb mais que triplicaram suas concentrações na fração argila. Os elementos Ni, Pb, Cu e Co apresentaram boa correlação com o Al. Já com o Fe a correlação desses metais revelou-se negativa, e nenhum deles apresentou correlação expressiva com a matéria orgânica. Portanto, esses elementos provavelmente estão absorvidos à estrutura dos argilominerais.

Ao comparar as concentrações dos metais traço detectados na fração < 63 μm dos sedimentos do rio Arienga com aqueles verificados, nas amostras da região das ilhas da baía do Guajará (Saraiva, 2007), nas amostras da orla da baía do Guajará (Carvalho, 2002), nas amostras da região das ilhas do rio Guamá (Nascimento, 2007), bem como com a média observada para a escória de alto forno percebeu-se que no rio Arienga a presença dos metais é oriunda da geoquímica local, não estando o rio impactado pela ação humana. Essa conclusão ficou ainda mais evidente ao se determinar o I_{Geo} dos metais estudados. De acordo com esse índice, o rio Arienga não encontra-se poluído, já que todos os metais apresentaram I_{Geo} igual a zero.

Embora, situada em uma área de eminente risco de contaminação por metais, em decorrência da proximidade do pólo industrial do município de Barcarena, a bacia hidrográfica do rio Arienga ainda encontra-se livre da contaminação de origem antropogênica. Isso se deve principalmente à baixa densidade populacional observada nessa bacia e, portanto ao baixo volume de esgoto doméstico lançado no rio Arienga.

REFERÊNCIAS

- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). 2004. Toxicological profile for cobalt. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Disponível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp33.html>. Acesso em 23 jan. 2010.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). 2004. Toxicological profile for cooper. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Disponível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp132.pdf>. Acesso em 23 jan. 2010.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). 2007. Toxicological profile for lead. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Disponível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.html>. Acesso em 23 jan. 2010.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). 2005. Toxicological profile for zinc. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Disponível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp60.html>. Acesso em 23 jan. 2010.
- Almeida, F.M. 2005. Estudo dos recursos hídricos subterrâneos da região de Barcarena – Abaetetuba: como um fundamento para o zoneamento ecológico do baixo Tocantins. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Alves, L. 2009. Metais pesados: Bário. Brasil Escola. Disponível em: <http://www.brasilecola.com/quimica/bario.htm>. Acesso em 10 dez. 2009.
- ARCELORMITTAL. 2007. Lama de alto forno. Disponível em: www.cst.com.br/.../lama/lama.asp. Acesso em 13 out. 2009.
- Azevedo, F. A.; Chasin, A.A.M. 2003. Metais: gerenciamento da toxicidade. São Paulo. Editora Atheneu. 554 p.
- Bandeira, I.C.N. 2006. Características hidrogeológicas de Barcarena – PA: como base para o planejamento urbano municipal. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Barcellos, C. 1995. Geodinâmica de Cádmio e Zinco na baía de Sepetiba. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental) – Centro de Geociências, Universidade Federal Fluminense. Niterói – RJ.

- Barreto, M. S., Alves, J. P. H., Passos, E. A., Garcia, C. A. B. 2007. Distribuição de metais pesados na fração fina (<63 µm) dos sedimentos superficiais da sub-bacia hidrográfica do rio Poxim – SE. In 30^a REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA. Disponível em: <http://sec.s bq.org.br/cdrom/30ra/resumos/T1577-1.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2010.
- Basílio, M. S. 2005. Geoquímica dos sedimentos associados aos minérios de ferro da região leste-sudeste do quadrilátero ferrífero, MG e seu potencial para adsorção e dessorção de metais traço. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais do Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais.
- Bendell-Young, L.I., & Harvey, H.H. 1992. The relative importance of manganese and iron oxides and organic matter in the sorption of the trace metals by surficial lake sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* (56), 1175-1186.
- Benvenuti, S.M.P. 1995. Avaliação da poluição do flúor em solos e plantas das redondezas da fábrica de alumínio Albrás, Barcarena – PA. Dissertação (Mestrado em geoquímica e Petrologia) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- BEPA - Boletim Epidemiológico Paulista. Surto de diarreia e manifestações neurológicas por alimento contaminado com carbonato de bário. 2003. Itaquaquecetuba, São Paulo. Disponível em: http://www.cve.saude.sp.gov.br/agencia/bepa1_surtod.htm. Acesso em: 4 jan. 2010.
- Birch, G.F.; Taylor, S.E.; Matthai, C. 2001. Small-Scale Spatial and temporal variance in the concentration of heavy metal in aquatic sediments: a review and some new concepts. *Environmental Pollution*. 113: 357-372.
- Boulhosa, M.B.M. & Mendes, A.C. 2009. Mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo através de imagens SPOT 5, na região portuária de vila do conde - Barcarena - PA. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal, p. 3597-3603.
- Braga, L.L. 2007. Avaliação do impacto ambiental da usina de beneficiamento de minério de Fe e Si, Várzea da Palma, MG, Brasil – Distribuição e transporte dos contaminantes. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Programa de Pós Graduação em Geologia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte - MG.
- Bubb, J.M. & Lester, J.N. 1991. The impact of heavy metals on Lowland Rivers and the implications for man and environment. *Sci. Tot. Environ.*, 100: 207- 233.
- Carvalho, L. Z. 2002. Caracterização geoquímica de sedimentos de fundo nas proximidades do Distrito de Icoaraci - PA. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, UFPA. Belém.
- Cerqueira, V.R.; Paiva, A.E.M.; Azevedo, E.; Cabral, A.A.; Mercury, R.J.M. 2008. Caracterização de argamassa constituída de escória de alto forno maranhense ativada por silicato de sódio. In: 18^o CBECiMat - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, Porto de Galinhas, PE, Brasil.

- Christophoridis, C.; Dedepsidis, D.; Fytianos, K. 2009. Occurrence and distribution of selected heavy metals in the surface sediments of Thermaikos Gulf, N. Greece. Assessment using pollution indicators. *Journal of Hazardous Materials* 168 (2009) 1082–1091.
- Coelho, P.E. 1998. Da escória ao vidro. *Revista Limpeza Pública*, São Paulo, v. 49, p. 36-45.
- Conceição, G. 2004. Distribuição de elementos-traço em sedimentos superficiais do rio Itajaí-Mirim em Santa Catarina. Dissertação (Mestrado) – Universidade Regional de Blumenau – Furb. Centro de Ciências Tecnológicas – CCT. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.
- COSIPAR – Companhia Siderúrgica do Pará. 2009. Usipar investe no gusa e mira no aço. Disponível em: <http://www.cosipar.com.br/usipar/>. Acesso em 22 ago. 2009.
- Cotta, J. A. O., Rezende, M. O. O., Piovani, M. R. 2006. Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no parque estadual turístico do Alto Ribeira-Petar/SP. *Quim. Nova*, Vol. 29, N°. 1, 40-45.
- Da Silva, E.M., Barros, A. F., Chastinet, C.B.e A., Navarro, M.F.T., Mota, M.F.V. 1997. Concentração de metais no terraço marinho de Jauá-Interlagos (Camaçari, Bahia) In: VI Congresso Brasileiro de Geoquímica - Salvador. Anais do VI Congresso Brasileiro de Geoquímica. v.1. p.85-86
- DNPM – Departamento Nacional de Pós Graduação Mineral. Balanço Mineral Brasileiro. Disponível em: www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/niobio.pdf. Acesso em: 10 set. 2009.
- ECO-SSL, 2005. Ecological Soil Screening Levels for Barium Interim Final. U.S. Environmental Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response. 1200 Pennsylvania Avenue, N.W. Washington, DC 20460.
- Faial, K.C.F.; Medeiros, A.C.; Carneiro, B.S.; Faial, K. R. F.; Mendes, R.A.; Lima, M.O.; Cunha, L.M.; Sá, L.L.C.; Jesus, I.M.; Vale, E.R. 2008. Avaliação da mortalidade de peixes no rio Arienga, Abaetetuba-PA. In: 48° Congresso Brasileiro de Química, Rio de Janeiro.
- Farias, E.S.; Nascimento, F.S.; Ferreira, M.A.A. 1992. Estágio de Campo III. Relatório Final, área Belém/Outeiro – Centro de Geociências. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Fenzl, N.; Morales, G.P.; Bahia, V.E. 2008. Impactos ambientais nos recursos hídricos causados por empreendimentos de mineração e alternativas para sua atenuação. Núcleo de Altos Estudos Amazônicos (NAEA). Universidade Federal do Pará.
- Ferreira, E.B.; Zanotto, E.D.; Scudeller, L.A.M. 2001. Nano vitrocerâmica de escória de aciaria. *Química Nova*, Vol 25, N° 5, 731.735.2002.

- Figueiredo, B. R.; Capitani, E. M.; Gitahy L. C. 2004. Exposição humana à contaminação por chumbo e arsênio no vale do ribeira (SP-PR). In: II Encontro da ANPPAS, Indaiatuba, São Paulo.
- Freitas, V.P. 2007. Direito ambiental em evolução. (ed.) Juruá. Curitiba, p. 332 -333.
- Fronza, Lice. 2006. Capacidade de liberação de hidrocarbonetos dos sedimentos de áreas contaminadas do estuário da Lagoa dos Patos – RS. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Geológica) – Departamento de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.
- Fukuzawa, C. M. 2008. Influência da litologia nas águas e sedimentos do rio Piranga – Formador do Rio Doce. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto-MG.
- Garcias, C.M. 1999. Indicadores de qualidade ambiental urbana. In: Simpósio Sobre Indicadores Ambientais, 02. Curitiba, PR.
- Goyer, R.A. 1996. Lead toxicity: current concerns. *Environmental Health Perspectives*, New York. 100: 177-187.
- Guimarães, M.S.D.; Catanzaro, L.F.; Baptista Neto, J.A; Vilela, C.G.; Brehme, I. 2007. Caracterização textural dos sedimentos superficiais de fundo e dinâmica sedimentar na baía de Guanabara, Rio de Janeiro. Ano IV, nº 2, 2007. ISSN 1980-4490. Disponível em: <http://www.ffp.uerj.br/tamoios/2007.2/pdf/Artigo6.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2010.
- Hutshinson, G.E.; Wollack, A.; Setlow, J.K. 1943. The metal contaminated aquatic sediments. *Journal Science American*. V 29. p. 241-533.
- IBGE. 2009. Estimativas de População. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2009/default.shtm>. Acesso em: 30 ago. 2009.
- Jesus, C.A.G. 2001. DNPM. Balanço Mineral Brasileiro. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/zinco.pdf>. Acessado em: 13 de Ago. 2009.
- Jesus, H.C.; Santana, E.J.; Ceotto, C.S.; Barros, A.C.; Silva, L.B. 2008. Avaliação da poluição e distribuição temporal de metais pesados em testemunhos de sedimentos do sistema estuarino da baía de Vitória – ES. In: 48º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA – QUÍMICA NA PROTEÇÃO AO MEIO AMBIENTE E À SAÚDE. Rio de Janeiro.
- Johannesson, L.T.; Stevens, R.L.; Eriksson, K. 2001. The influence of an urban stream on sediment geochemistry in Göteborg Harbour, Sweden-Springer-Verlag. Disponível em: <http://www.springerlink.com/content/hgg16rd1l1kvrl1nyn/>. Acesso em: 25 dez. 2009.
- Jönsson, A., Lindström, M., Carmam R., Mörth C. M., Meili, M., Gustafsson, O., 2005. Evaluation of the stockholm archipelago sediments, northwestern Baltic Sea Proper, as a trap for freshwater runoff organic carbon. *Journal Marine Systems*, 56: 167-178.

- Jornal Diário do Pará, 2008. Óleo que vazou de navio naufragado atinge praias fluviais. Disponível em: www.diariodopara.com.br. Acesso em 13 jul. 2009.
- Jornal Diário do Pará, 2009. Relatório confirma que acidente ambiental em Barcarena causou alterações físicas e químicas no rio Murucupí. Disponível em: www.diariodopara.com.br. Acesso em 15 jul. 2009.
- Jornal O liberal, 2008. Rebocador naufraga e provoca vazamento de 30 mil litros de óleo. Disponível em: <http://www.orm.com.br/oliberal/>. Acesso em: 02 set. 2008.
- Kennish, M.J. 1992. Ecology of Estuaries: Anthropogenic Effects. CRC Press. 494 p.
- Leite, W.R.M.; Barroso, D.F.R.; Santos, D.C.; Siqueira, G.W.; Lima, W.N.; Negrão, M.R. 2008. Diagnóstico químico-ambiental sobre ocorrência de metais pesados em sedimentos de fundo sob impacto de despejos de curtume (Microbacia do Piraíba, Município de Belém - PA). In: 48º CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA - Rio de Janeiro.
- Leme, Nereu, 2008. Chevrolet Flexpedition Portos Abertos chega ao final. Disponível em: <http://www.flexpedition.com.br>. Acesso em: 26 nov. 2009.
- Lemes, M.J.L.; Figueiredo Filho, P. M.; Pires, M. A. F. 2003. Influência da mineralogia dos sedimentos das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo na composição química das águas de abastecimento público. Quím. Nova vol.26 n°.1 São Paulo – SP.
- Lemos, Araceli. Capitalismo insustentável – Suspeita de crime ambiental, USIPAR é interditada pela SEMA. Disponível em: <http://www.uniblog.com.br/aracelilemos>. Acesso em: 20 nov. 2009.
- Liduario, A.S.; Farias, L.A.; Albuquerque, A.C.; Andrade, M.A.S. 2005. Utilização da escória de alto forno moída no concreto convencional e compactado a rolo. Tecnologia em Metalurgia e Materiais. São Paulo. V.2, n.1, p. 35-39.
- Lima, A.L. 2009. Bário no Sistema solo-planta. Dissertação (Ciência do Solo). Programa de Pós Graduação em Agronomia. Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Campus de Jaboticabal.
- Lima, E. A. M., 2008. Avaliação da qualidade dos sedimentos e prognóstico geoquímico ambiental, da zona estuarina do rio Botafogo, Pernambuco. Tese (Doutorado) – CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.
- Lokeshwari, H. & Chandrappa, G. T. 2007. Effects of heavy metal contamination from anthropogenic sources on Dasarahalli tank, India H. 2007 Lakes & Reservoirs: Research and Management, v.12, p.121–128.
- Long, E.R. & Morgan, L.G. 1991. The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the National Status and Trends Program. NOAA Technical Memorandum NOS OMA 52, National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle, WA, 175 pp + apêndices.

- Loring, D. M.; Rantala, R. T. T. 1992. Manual for the geochemical analyses of marina sediments and suspended particulate matter. *Earth – Science Reviews*, v.32, p.235-283.
- Macdonald, D.D.; Ingersoll, C.G.; Berger, T.A. 2000. Development and evaluation of consensus – based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Arch. Environm. Contam. Toxicol*, 39:20-31.
- Maranhoto, C. 2009. Zinco o metal essencial. Disponível em <http://www.centrovegetariano.org/Article521Zinco%2B%2596%2Bo%2Bmetal%2Bessen%2Bcial.html>. Acesso em 27 fev. 2010.
- Martins, R.D, Paula Filho, F.J.de, Maia, S.R.R, Lacerda, L.D, Marques, S. M. 2004. Distribuição de mercúrio total como indicador de poluição urbana e industrial na costa brasileira. *Quim. Nova*, Vol. 27, No. 5, 763-770, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v27n5/a16v27n5.pdf>. Acesso em: 11 Jan. 2010.
- Melo Junior, H. R. 2002. Mapeamento da vulnerabilidade e análise de risco de contaminação como instrumento de proteção das águas subterrâneas em áreas industriais: caso da ALBRAS, Barcarena-PA, Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Moore, D. M. & Reynolds Jr, R. C. 1997. X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. 2° ed. New York, Oxford University Press, 378 p.
- Moreira, R.C.A. & Boaventura, G.R. 2003. Referência geoquímica regional para a interpretação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos da bacia do Lago Paranoá – DF - *Química Nova*, Vol 26, N° 6, São Paulo.
- Mozeto, A. A.; Nascimento, M. R. L.; Silva, E. F. A.; Fioravanti, M. I. A. 2007. Avaliação da contaminação por metais metalóides (água, sedimento e peixe) no rio São Francisco em Três Marias (MG-Brasil): Projeto de pesquisa participativa com a comunidade local. Relatório final. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo.
- Müller, G. Schwermetalle in den sedimenten desrheins-veränderungen seit. *Umschav.* 79: 133-149, 1979.
- Nascimento, L.A. 2008. Diagnóstico da possível influência da atividade petrolífera em sedimentos de fundo da bacia Piranhas-Açu, região Baixo Açu/RN. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo PPGCEP. Natal – RN.
- Nascimento, S. M. 2007. Caracterização da Assinatura Isotópica de Pb Atual e da Concentração de Metais Pesados em Sedimentos de Fundo da Foz do Rio Guamá e da Baía do Guajará, Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Neves, A. F. 2005. Vanádio no material particulado atmosférico na região de Ressurgência de Cabo Frio - RJ. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro.

- Oliveira, M.R. 2007. Investigação da contaminação por metais pesados da água e do sedimento de corrente nas margens do rio São Francisco e tributários, a jusante da represa da CEMIG, no município de Três Marias, Minas Gerais. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Oliveira, M.R.; Roeser, H. M. P.; Horn, A. H. 2005. Concentração de metais pesados nos sedimentos de corrente no parque estadual do Itacolomi e arredores-MG. *Geonomos*. 13 (1, 2): 83-90.
- OMS - Organização Mundial da Saúde 1998. Elementos traço na nutrição e saúde humanas, S.P. Editora Roca Ltda. 318 p.
- Pacheco Jr, A. C. 2003 Estudo experimental do comportamento dos fenóis em aquífero livre da área de Barcarena/PA. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Parra, R. R. 2006. Análise geoquímica de água e de sedimentos afetados por minerações na bacia hidrográfica do rio Conceição, Quadrilátero ferrífero, Minas Gerais - Brasil. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais). Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais.
- Pereira, J. C.; Silva, A. K. G.; Nalini JR, H. A.; Silva, E. P.; Lena, J. C. 2007. Distribuição, fracionamento e mobilidade de elementos traço em sedimentos superficiais. Departamento de Química, Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto– MG, Brasil. *Quim. Nova*, Vol. 30, N°. 5, 1249-1255. Disponível em: <http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2007/vol30n5/36-AR06375.pdf>. Acesso em: 03 jan 2010.
- Pereira, S. F.; Lima, M. A.; Freitas, K. H.; Mescouto, C. S.; Saraiva, A. F. 2007. Estudo químico ambiental do rio Murucupi – Barcarena/PA, Brasil: área impactada pela produção de alumina. *Revista Ambi-Água*, p. 62-82. Disponível em: <http://www.doaj.org/doaj?func=abstract&id=240555&recNo=8&toc=1>. Acesso em: 15 jul. 2008.
- Passos, E.A. 2005. Distribuição de sulfeto volatilizado em meio ácido e metais pesados em sedimentos do estuário do rio Sergipe Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Sergipe.
- Poleto, C.; Merten, G.H. 2006. Qualidade dos sedimentos. Porto Alegre. ABRH. 397 p.
- Portal ORM. 2007. SEMA e DEMA investigam a mortandade de peixes. Disponível em: <http://www.orm.com.br/oliberal/>. Acesso em: 10 ago. 2008.
- Porto, L.J.L.S. 2009. Estudo da qualidade dos sedimentos de fundo no rio Barcarena – Pará, Dissertação (Mestrado em Geologia e Petrologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Quinaglia, G.A. 2006. Caracterização dos níveis basais de concentração de metais nos sedimentos do sistema estuarino da Baixada Santista. Tese (Doutorado em Química) – Universidade de São Paulo.

- Ribeiro, A.P. 2002. Determinação de elementos-traço e outros elementos de interesse em sedimentos lacustres da estação de tratamento de esgoto de Barueri, São Paulo, por ativação neutrônica. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. IPEN. São Paulo.
- RIMA ALBRAS/ALUNORTE. 1984. Relatório de Impacto Ambiental, Belém.
- Salomons, W.; Kerdijk, H.; Van Pagee, H.; Klomp, R.; Schreur, A. 1988. Behavior and impact assessment of heavy metals in estuarine and coastal zones. In: SEELIGER, U., LACERDA, L. D.; PATCHINEELAM, S.R. (eds.), Metals in coastal environments of Latin America. Berlin: Springer-Verlag, p. 157-198.
- Santana, G.P. 2008. Metal pesado. Disponível em: http://www.cq.ufam.edu.br/artigos/elemento_metal_pesado.html. Acesso em: 16 jan. 2010.
- Santos, C.S.dos. & Neto, J.A.B. 2009. Concentrações de metais pesados em testemunho sedimentar da Baía de Guanabara-RJ. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. Disponível em http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo11/017.pdf. Acesso em 15 Jan. 2010.
- Santos, E.S. 2007. Aplicação de marcadores geoquímicos para a avaliação dos impactos das barragens nos sedimentos do estuário do rio São Francisco (AL/SE). Tese (Doutorado em Geociências - Geoquímica Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, UFF. Niterói.
- Saraiva, A.L.M. 2007. Estudo sedimentológico e geoquímico em sedimentos de fundo da baía de Guajará (Belém – Pará). Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará, UFPA. Belém.
- Sauma Filho, M. 1996. As águas subterrâneas de Belém e adjacências: influência da Formação Pirabas e parâmetros físico-químicos para medida de qualidade. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Sahuquillo, A.; López-Sanches, J. F.; Rauret, G.; Ure, A. M.; Muntau, H.; Quevauviller, Ph. 2002. Methodologies for Soil and Sediment Fractionation Studies; Quevauviller, Ph., ed.; RSC: Cambridge, cap. 2.
- Sauvé, S., Hendershot, H., Allen, H.E. 2000. Solid-solution partitioning metal in contaminated soils: dependence of pH total metal burden and organic matter. Environ. Sci. Technol. (34), 1125-1131.
- Secretaria Executiva de Estado de Planejamento Orçamento e Finanças (SEPOF), Estatística Municipal de Barcarena. 2007. Disponível em: <http://www.sepof.pa.gov.br/>. Acesso em: 15 mar. 2009.

- Silva, B.C.E & Teixeira, J.A.A.B. 2008. Vanádio. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2008/vanadio.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2010.
- Silva, I.M. 2008. Comparação dos índices de qualidade da água e usos do fator de contaminação e índice de geoacumulação para os sedimentos da Microbacia do Arroio João Correa, São Leopoldo, RS, Brasil. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento Ambiental) – Programa de Pós Graduação em Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, Rio Grande do Sul, São Leopoldo.
- Silva, M.R.C. 2002. Estudo de sedimentos da bacia hidrográfica do Moji-Guaçu, com ênfase na determinação de metais. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade São Paulo, São Carlos.
- Silva, R.P.C. 2003. As Transformações na área industrial de Barcarena: a partir da implantação da empresas de transformação mineral, Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Silva, W.L, Matos, R.H.R, Kristosch, G.C. 2002. Geoquímica e índice de geoacumulação de mercúrio em sedimentos de superfície do estuário de Santos - Cubatão (SP). *Quim. Nova*, Vol. 25, N° 5, 753-756, 2002.
- Silvério, P.F. 2003. Bases técnico-científicas para a derivação de valores-guia de qualidade de sedimentos para metais: experimentos de campo e laboratório. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo.
- SINDIFERPA – Sindicato das Indústrias de Ferro Gusa do Estado do Pará. 2008. Crise atinge ferro-gusa de Marabá. Disponível em: http://www.sindiferpa.com.br/noticias_20081030.htm. Acesso em: 11 set. 2009.
- Smith, S.L.; Macdonald, D.D.; Keenleyside, K.A.; Ingersoll, C.G.; Field, J. 1996. A preliminary evaluation of sediment quality assessment values for freshwater ecosystems. *J. Great Lakes Res.* 22:624–638.
- Soares, H.M.V.M; Boaventura, R.A.R; Machado, A.A.S.C; Esteves da Silva, J.C.G.1999. Sediments as monitors of heavy metal contamination in the Ave river basin (Portugal): multivariate analysis of data. *Environmental Pollution*.
- Soares, M. C. C.; Mizusaki, A. M. P.; Guerra, T.; Vignol, M. L. 2004. Análise geoquímica dos sedimentos de fundo do Arroio do Salso, Porto Alegre-RS. *Pesquisas em Geociências*, 31(1): 39-50.
- Souza, D.O.; Silveira, E.G.; Bastos, W.R. Estudo de metais pesados no igarapé dos Tanques - área urbana da cidade de Porto Velho – RO. Disponível em:http://www.unir.br/html/pesquisa/Pibic_XIV/pibic2006/arquivos/Areas/Exatas%20e%20da%20Terra/html/Darilly%20de%20Oliveira%20de%20Souza.htm. Acesso em: 23 dez. 2009.

- Tessier, A., Fortin, D., Belzile, N., Devitre, R.R., Leppard, G.G. 1996. Metal sorption to diagenetic iron and manganese oxyhydroxides and associated organic matter: narrowing the gap between field and laboratory measurements. *Geochimi and Cosmochimi Acta* 60 (3), 387-404.
- TIERRAMÉRICA, 2001. Venezuela: Pesquisa sobre os efeitos do vanádio. Disponível em <http://www.tierramerica.net/2002/1110/pecobreves.shtml>. Acesso em: 30 jan. 2010.
- Tipping, E & Hurley, M. A. 1992. A unifying model of cation binding by humic substances. *Geochimi and Cosmochimi Acta* (56), 3627-3641.
- Torres, R. F. 2009. Disponibilidade dos metais cobre e chumbo em um canal de maré receptor de efluentes de carcinicultura. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Turekian, K. K. & Wedepohl, K. H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72: 175 – 192.
- Vieira, C. M. F.; Dias, C. A. C. M.; Mothé, A. M.; Sánchez, R.; Monteiro, S. N. 2007. Incorporação de lama de alto forno em cerâmica vermelha. In: 51º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, Salvador, BA.
- Xue, B.; Yao, S. & Xia, W. 2007. Environmental changes in Lake Taihu during the past century as recorded in sediment cores. *Hydrobiologia*. N°.581, p.117–123.
- WDESMU. 2002. Development of freshwater sediment quality values use in Washington State, Phase I Task 6: Final Report. Washington Department of Ecology Sediment Management Unit. p.19.
- WISCONSIN DEPT. OF NATURAL RESOURCES. 2003. Consensus-based sediment quality guidelines. Recommendations for use & application. Interim guidance.