

**RONALDO DE ALMEIDA**

**ANALISE GEOESTATÍSTICA DAS CONCENTRAÇÕES DE MERCÚRIO NO  
LAGO PURUZINHO - AMAZÔNIA OCIDENTAL**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
RONDÔNIA VISANDO A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL E MEIO AMBIENTE**



**Fundação Universidade Federal de  
Rondônia – UNIR Núcleo de Ciência e Tecnologia  
Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio  
Ambiente 2006**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



**Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR**

**Núcleo de Ciência e Tecnologia - NCT**

**ANALISE GEOESTATÍSTICA DAS CONCENTRAÇÕES DE MERCÚRIO NO  
LAGO PURUZINHO - AMAZONIA OCIDENTAL**

**Ronaldo de Almeida**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
RONDÔNIA VISANDO A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL E MEIO AMBIENTE**

**Orientador: Dr. José Vicente Elias Bernardi**

**Porto velho, 2006**

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE  
FEDERAL DE RONDÔNIA



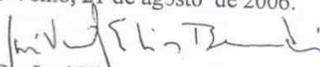
NÚCLEO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
DESENVOLVIMENTO REGIONAL E MEIO AMBIENTE

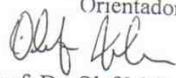
ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

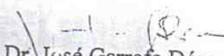
**Ronaldo de Almeida**

A Banca de defesa de Mestrado presidida pelo orientador Prof. Dr. José Vicente Elias Bernardi e constituída pelos examinadores Prof. Dr. Olaf Malm e Prof. Dr. José Garrofe Dórea reuniu-se no dia 21 de agosto de 2006, às 16:00 horas no Auditório da UNIR-CENTRO para avaliar a Dissertação de Mestrado intitulada "Análise Geoestatística das Concentrações de Hg no lago Puruzinho - Amazônia Ocidental (Amazonas Brasil)" do mestrando Ronaldo de Almeida. Após a explanação do candidato e arguição pela Banca Examinadora, a referida dissertação foi avaliada e de acordo com as normas estabelecidas pelo Regimento do Curso de Pós-Graduação Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente - PGDRA foi considerada aprovada.

Porto Velho, 21 de agosto de 2006.

  
Prof. Dr. José Vicente Elias Bernardi  
Orientador

  
Prof. Dr. Olaf Malm  
Examinador

  
Prof. Dr. José Garrofe Dórea  
Examinador

#### FICHA CATALOGRÁFICA

Almeida, R.

ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DAS CONCENTRAÇÕES DE MERCÚRIO NO  
LAGO PURUZINHO - AMAZÔNIA OCIDENTAL

Porto Velho: s. n., 2006.

83. pg.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Rondônia – UNIR.

Núcleo de Ciência e Tecnologia. Porto Velho, 2006.

Área de concentração: Monitoramento ambiental

Orientador: Prof. Dr. José Vicente Elias Bernardi

1. Mercúrio. 2. Sedimento. 3. Geoestatística. 4. Amazônia.

RONALDO DE ALMEIDA  
**ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DAS CONCENTRAÇÕES DE MERCÚRIO NO  
LAGO PURUZINHO - AMAZÔNIA OCIDENTAL**

BANCA EXMINADORA

---

Olaf Mal (Examinador)

---

José Garrofe Dórea (Examinador)

---

José Vicente Elias Bernardi (Orientador)

Dissertação Defendida em \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus tios e tias, primos e primas que sempre me incentivam na caminhada e, especialmente dedico ao meu pai Elizeu de Almeida “in memoriam”, que devido às circunstâncias anda longe, cavalgando em campos verdejantes. Foi um homem que, cujos atos nunca tiveram um senão, sempre me acreditou e incentivou, mesmo não compreendendo muito bem o que eu fazia. Sou eu di novo **Pai!!!** As coisas por aqui continuam bem. Estou dando mais um passo, vou ser mestre na Academia. Sei que o **Senhor Pai**, é igual a **Mãe**, não entende muito bem essas coisas, mas o **Senhor** sempre quis que a “gente” (o naldo o Aroldo a Edi e a Lena) fosse “muito estudado”, lembra!!! Lembro - me com o frescor de agora quando amanhecia o dia lá no Sítio Pingo de Ouro e, o senhor **Pai**, me dizia religiosamente todos os dias às seis horas e trinta minutos da manha quando voltava do curral “fio levanta “toma” café pra nós i pra roça, vem” O Aroldo esse tava em pé fazia era hora!! Há caboclinho ajeitado!!! Ai, a gente tomava café, o café era café-café mesmo!!! Num era esse negócio di toma suco e cume presunto, café é café e pronto!!! Lá na roça entre uma tomada de água e outra, o senhor sempre dizia que a gente tinha que terminar os estudos, pois é pai um dia gente chega lá – “bença **Pai**” Tô cum saudade. Á minha mãezinha Vitalina de Almeida por ser a minha mãezinha por me incentivar na minha luta, mas que chora até hoje quando parto, mesmo sabendo que vou voltar – “bença **mãe**” “To cum saudade”.

Ao meu irmão Aroldo de Almeida pela sua “fibra” e as minhas duas irmãs, Lucilene de Almeida e Edilene de Almeida, por cuidarem da nossa casa e da nossa mãe. Sem estas pessoas eu jamais teria dados mais este passo. Pra Vocês eu tiro o meu chapéu.

E a minha namorada Silvana, pelo apoio amor e carinho.

## **AGRADECIMENTOS:**

Aos meus orientadores e professores, José Vicente Elias Bernardi e Wanderley Rodrigues Bastos por terem me dado uma oportunidade de participar no seu grupo de pesquisa e também em outros grupos, por terem me orientado, por terem acreditado e por continuarem me acreditando. Tenho certeza professores que um dia lembrarei com saudades ao retransmitir vossos ensinamentos que levarei por toda a minha vida. Tô devendo essa.

Aos amigos do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental por terem me aceitado entre eles de forma fraterna, e por terem contribuído na realização deste trabalho. O que não dá para perdoar é essa mania de perguntar “e ai defende quando”? Obrigado por tudo. Sintam – se abraçados.

À minha prima Irene Becária e ao seu esposo Marcio – meu primo – seus filhos Francisco e Izabela – meus primos- por me acolherem em sua casa e por me incentivarem.

Aos novos amigos do Instituto de Biofísica da Universidade Federal do Rio de Janeiro pela amizade e companheirismo durante as coletas.

Ao Lídio Sohn, “in memoriam” por ter nos apresentado com sua presença, talento e sensibilidade durante a expedição. Descanse em pais meu velho

Ao SEBRAE a Agência de Vigilância Sanitária por ter apoiado na nossa expedição que gerou este trabalho e muitos outros que ainda serão gerados.

“O fator que determina uma vida não é a inteligência,  
mas sim o caráter”.

(Albert Einstein)

## **SUMÁRIO**

### **AGRADECIMENTOS**

### **LISTA DE FIGURAS**

### **LISTA DE TABELAS**

### **RESUMO**

### **ABSTRACT**

1. INTRODUÇÃO	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Aspectos históricos	19
2.2. Fontes de emissão de mercúrio no ambiente	20
2.3. Propriedades físicas e químicas do mercúrio	21
2.4. Formação do metilmercúrio	21
2.5. Estudos sobre mercúrio na região amazônica	22
2.6. O Papel dos Lagos e Igarapés na dinâmica do mercúrio na Bacia do rio Madeira	23
2.7. O uso dos sedimentos límnicos como indicador de poluição	24
3. Objetivos	27
3.1. Objetivo geral	27
3.2 Objetivos específicos	27
4. Área de estudo	28
4.0 Escolha da Área	28
4.1 Acesso à área de estudo	28
4.2 Descrição geral da área de estudo	28
4.3 Ciclo Hidrológico da área do lago Puruzinho	29
4.4 Geologia	30
4.5 Geomorfologia	30
4.5.1 Planície Amazônica do rio Madeira	30
4.6 Clima	31
4.7 Vegetação	31
4.8 Pedologia	31
4.9 Depósitos Holocênicos	32
4.10 Aspectos humanos	32

5. MATERIAIS E MÉTODOS	33
5.1 Origem dos dados	33
5.2 Georeferenciamento e escolha da grade amostral	33
5.3 Desenho Amostral	34
5.4 Parâmetros físico – químicos	35
5.4 Coleta e preparação das amostras	35
5.4.1 Sedimentos	35
5.4.2 Solos	35
5.5 Preparação das amostras	35
5.5.1 Solubilização das amostras	35
5.6. Determinação de Hg por espectrofotometria de absorção atômica acoplada ao gerador de vapor frio.	36
5.7. Controle de qualidade	37
5.8 Determinação de matéria orgânica por ignição	37
5.9 Análise geoestatística	38
5.9.1. Fundamentação teórica da análise espacial a partir de métodos geoestatísticos	38
5.9 2. Geoestatística	39
5.9.3. Conceitos gerais da geoestatística	40
5.9.4. Variograma	41
5.9.5 Parâmetros do variograma	41
5.9.6. Anisotropia	42
5.9.7. Modelos de variograma e sua aplicação prática	43
5.9.8 Modelo efeito pepita	44
5.9.9. Modelo potência	45
5.9.10. Krigagem	45
5.9.11 Métodos de krigagem	46
5.9.12 Krigagem por indicação	47
5.10 Tratamento com estatística clássica	47
5.10.1 Análise exploratória dos dados	47
5.10.2 Análise Geoestatística dos dados Hg e matéria orgânica	47
5.10.3. Validação do modelo	48

5.10.4 Krigagem Por Indicação	48
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
6.1 Caracterização limnológica das águas do lago Puruzinho	49
6.2 Estatística descritiva das variáveis	52
6.3 Análise Geoestatística dos dados de Hg e matéria orgânica período de cheia	53
6.4. Validação cruzada para Hg no sedimento período de cheia	57
6.5. Distribuição espacial de matéria orgânica no período de cheia	58
6.6 Validação cruzada para matéria orgânica	60
6.7. Análise Geoestatística dos dados de Hg e matéria orgânica no período de seca.	61
6.8. Validação cruzada para Hg período de seca	65
6.9. Distribuição vertical de Hg no sedimento de fundo	66
6.10. Mercúrio no Solo	68
6.11 Discussões Gerais	70
7. CONCLUSÕES	75
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01.</b> Área de estudo	29
<b>Figura 02.</b> Lago Puruzinho evidenciando as localizações geográficas onde foram coletadas as amostras de solo, sedimento nos períodos de cheia e seca.	34
<b>Figura 03 .</b> Modelo esférico de um semivariograma ideal (Fonte: GPS global).	41
<b>Figura 04.</b> Convenções direcionais utilizadas na Geoestatística	42
<b>Figura 05.</b> - Representação gráfica da anisotropia geométrica em duas dimensões.FONTE: Spring 1998 Modificada de Deutsch e Journel (1992), p. 24.	43
<b>Figura 06.</b> Análise de tendência dos valores de condutividade no período de cheia.	50
<b>Figura 07.</b> Análise de tendência dos valores de condutividade no período de Seca.	51
<b>Figura 08.</b> Modelo gaussiano para $\text{cdf} > 87,96 \mu\text{gHg.Kg}^{-1}$ no sedimento de fundo do lago Puruzinho, período de cheia.	54
<b>Figura 09.</b> Modelo gaussiano para níveis de corte $>67,13 \mu\text{gHg.Kg}^{-1}$ de Hg no sedimento de fundo do lago Puruzinho, período de cheia.	55
<b>Figura 10.</b> Diagrama de probabilidade utilizando Krigagem indicativa para níveis de corte $\text{cdf}>87,96 \mu\text{gHg.Kg}^{-1}$ no período de cheia.	56
<b>Figura 11.</b> Diagrama de probabilidade utilizando Krigagem indicativa para níveis de corte $\text{cdf}>67,13 \mu\text{gHg.Kg}^{-1}$ no período de cheia.	57
<b>Figura 12.</b> Modelo exponencial para distribuição de matéria orgânica em sedimentos de fundo do lago Puruzinho, níveis de corte $\text{cdf}>8\%$ .	59
<b>Figura 13.</b> Diagrama de probabilidade para concentração de matéria orgânica durante o período de cheia no sedimento de fundo do lago Puruzinho, nível de corte $\text{cdf} > 8\%$ .	60
<b>Figura 14.</b> Modelo variográfico gaussiano para Hg em sedimentos de fundo do lago Puruzinho no período de seca, nível de corte $\text{cdf} > 67,13\mu\text{gHg.Kg}^{-1}$ .	62
<b>Figura 15.</b> Diagrama de probabilidade de se obter valores maiores que $67,13 \mu\text{gHg.Kg}^{-1}$ obtido a partir de krigagem indicativa.	62
<b>Figura 16.</b> Modelo variográfico para a concentração de matéria orgânica no sedimento de fundo do lago Puruzinho, nível de corte $\text{cdf} > 8\%$ .	64

**Figura 17.** Diagrama de probabilidade para concentração de matéria orgânica no sedimento de fundo do lago Puruzinho, nível de corte  $cdf > 67,13 \mu\text{Hg.Kg}^{-1}$ . 65

**Figura 18.** Concentração de mercúrio em  $\mu\text{Hg.Kg}^{-1}$  no perfil (P1) de sedimento de fundo na entrada do lago Puruzinho. 67

**Figura 19.** Concentração mercúrio em  $\mu\text{Hg.Kg}^{-1}$  perfil (P3) de sedimento de fundo na parte central do lago Puruzinho. 67

**Figura 20.** Concentração de mercúrio em  $\mu\text{Hg.Kg}^{-1}$  perfil (P2) de sedimento de fundo saída do lago Puruzinho. 68

**Figura 21.** Concentração de Hg  $\mu\text{g.Kg}^{-1}$  em solos marginais ao lago Puruzinho no período de seca.(HA = Camada variando entre 5 – 20cm de profundidade HO = Camada superficial do solo rica em matéria orgânica). 69

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01.</b> Controle de qualidade analítica utilizando amostra de referência IAEA-356	37
<b>Tabela 02.</b> Estatística descritiva dos parâmetros limnológicos no período de cheia	49
<b>Tabela 03.</b> Estatística descritiva dos parâmetros limnológicos no período de seca	49
<b>Tabela 04.</b> Teste W de Shapiro Wilks para verificar normalidade dos dados	52
<b>Tabela 05.</b> Estatística univariada para Hg e matéria orgânica nos períodos de seca e cheia no lago Puruzinho.	53
<b>Tabela 06.</b> Parâmetros do modelo variográfico e valores de corte pra obtenção dos mapas de probabilidade, por meio de KI, no período de cheia.	54
<b>Tabela 07.</b> Validação cruzada para os modelos ajustados para Hg no sedimento de fundo do lago Puruzinho, período de cheia.	58
<b>Tabela 08.</b> Validação cruzada dos dados de matéria orgânica	60
<b>Tabela 09.</b> Parâmetros do modelo variográfico e valores de corte pra obtenção dos mapas de probabilidade, por meio de KI, no período de seca.	61
<b>Tabela 10.</b> Validação cruzada para Hg em sedimentos de fundo do lago Puruzinho, diferentes níveis de corte.	66
<b>Tabela 11.</b> Valores médios de Hg ( $\mu\text{gHg.Kg}^{-1}$ ) em perfis no sedimento.	66

## RESUMO

### ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DAS CONCENTRAÇÕES DE MERCÚRIO NO LAGO PURUZINHO - AMAZÔNIA OCIDENTAL

O objetivo deste trabalho é avaliar espacialmente as concentrações de Hg e avaliar sua relação com matéria orgânica do sedimento de fundo do lago Puruzinho. Realizou-se ainda uma caracterização limnológica das águas do lago. Os parâmetros físico-químicos foram determinados “in loco”. As concentrações de mercúrio no sedimento de fundo foram determinadas através de espectrofotometria de absorção atômica acoplada ao gerador de vapor frio (FIMS 400). A matéria orgânica foi determinada pelo método de ignição. Métodos geoestatísticos que envolvem a modelagem variográfica foram adotados neste trabalho. O algoritmo de krigagem indicativa foi utilizado na construção de mapas. A análise variográfica permitiu observar a ampliação e a retração das áreas de concentrações de mercúrio e matéria orgânica no sedimento. Os mapas utilizando krigagem por indicação indicam a formação de zonas preferências de concentração de mercúrio e matéria orgânica. Os valores onde se observam as maiores correlações espaciais tanto para o período de cheia quanto para o período de seca são para mercúrio níveis de corte  $> 67,13 \mu\text{g.Kg}^{-1}$  e 8% para matéria orgânica. A área central do lago foi a mapeada como zona onde ocorre a maior concentração, tanto de Hg quanto de matéria orgânica. Os valores de Hg encontrado no lago Puruzinho tiveram média  $84,24 \mu\text{gHg.Kg}^{-1}$  e a média de matéria orgânica encontrada no sedimento foi 7,88 % no período de cheia, enquanto que no período de seca a média de mercúrio foi de  $71,51 \mu\text{gHg.Kg}^{-1}$  e 8,40% a média de matéria orgânica. Observa-se pelos mapas de probabilidade que a deposição de mercúrio parece ser mais eficiente no período de cheia, enquanto que a remoção predomina no período de seca.

Palavras – chave: . Mercúrio, Sedimento, Geoestatística, Amazônia.

## ABSTRACT

### MERCURY CONCENTRATIONS GEOSTATISTICAL ANALYSIS IN PURUZINHO LAKE - AMAZÔNIA OCIDENTAL

The aim of this work is evaluate special distribution of the total mercury concentrations and to relate with bottom sediment and organic matter of the Puruzinho lake. It was realized a lake's waters limnological characterization. By physical-chemical parameters determinated "in loco". The mercury concentrations in bottom sediment were determinated by cold vapor generation coupled atomic absorption spectrofotometry (FIMS 400). The organic matter was determinated by the ignition method. It was also used in this work geostatistics methods that involve variographic modelling. The indicative kriging algorithm was used in maps construction. The variographic analysis allowed the observation of the enlargement and the retraction of mercury concentrations and organic matter in the sediment areas. The maps obtained by indicative kriging indicate the mains areas for accumulation of mercury concentration and organic matter. The areas with significative space correlations for the wet season as well as for the dry season correspondent to cut off  $cdf > 67.13 \mu\text{gHg.Kg}^{-1}$  and 8% for organic matter. The lake central area was identified as zone which major area mercury and organic matter concentrations. The average values found at the Puruzinho lake in wet season was  $84.24 \mu\text{g.Kg}^{-1}$  in mercury concentrations and 7.88% in bottom sediment organic matter. In the dry season the mercury average was of  $71.51 \mu\text{gHg.Kg}^{-1}$  and the organic matter average was 8.40%. It was observed by the probability maps that the mercury deposition seems to be more efficient in the wet season, while the mercury removal prevails in the dry season.

Keywords: . Mercúry, Sediment botton, Geoestatistical, Amazon.

## 1. INTRODUÇÃO

Os estudos que dizem respeito ao mercúrio na Amazônia, vêm se intensificando cada vez mais. A princípio, imaginava-se que as atividades garimpeiras representavam perigo eminente a saúde das populações que viviam do garimpo e, das populações que vivem na bacia amazônica explorando seus recursos naturais. Era de se esperar que, caso algum risco ocorresse ou ainda vier ocorrer à saúde das populações, a sub-bacia do rio Tapajós e a sub-bacia do rio Madeira seriam os principais locais para tal evento. Uma vez que, estas áreas foram e ainda são as regiões onde o mercúrio é largamente empregado no processo de separação de ouro.

Portanto, muitos pesquisadores, desde 1980, têm direcionado seus projetos de pesquisas para estas duas sub-bacias e ainda incluindo a sub-bacia do rio Negro. Esta última, por apresentar em seus diversos compartimentos ambientais, valores de Hg comparáveis as duas sub-bacias, citadas anteriormente.

Os anos se passaram e, ainda não foi possível afirmar se na bacia amazônica, as populações amazonidas padecerão do mesmo mal que padecera a população da baía de Minamata no Japão nos idos 1950. Por enquanto, o isolamento geográfico e a malária, continuam sendo os principais problemas das populações que, tradicionalmente ocupam a vasta hiléia Amazônica.

Poderíamos concluir que a presença de mercúrio em diversos compartimentos ambientais não traz problemas à saúde das populações tradicionais da Amazônia. Na realidade não se pode dizer isso. Há dificuldades em estabelecer relações entre a exposição ao mercúrio e a presença de doenças nas populações ribeirinhas. Entre as dificuldades observa - se a presença de um conjunto de patologias tropicais, somado ao consumo de bebidas alcoólicas que, confundem o diagnóstico e, ausência de um estudo mais aprofundado dos reais efeitos do mercúrio sobre estas populações (DOREA, 2003).

À medida que, os estudos sobre mercúrio na região Amazônica avançam tem - se o seguinte cenário; o garimpo e o desmatamento seguido da queima de floresta, constituem importante fonte de emissão de mercúrio para os sistemas aquáticos. A erosão do solo enriquece os sedimentos de fundo com Hg. O metil-mercúrio, forma mais tóxica deste elemento corresponde entre 80 – 90 % do mercúrio total encontrado na ictiofauna amazônica. As concentrações de Hg no cabelo das pessoas que vivem em áreas onde a alimentação é basicamente peixe são bem além das concentrações máximas recomendadas pela Organização Mundial de Saúde (WHO). Considera-se ainda a contribuição na emissão natural de Hg gasoso dos solos da região amazônica e as atividades vulcânicas ocorridas

Nos Andes bolivianos.

Os compartimentos abióticos como solo e sedimentos vêm sendo estudados por vários autores e algumas questões já estão sendo elucidadas. Por exemplo, emissão de mercúrio do solo (ALMEIDA et al. 2005); a emissão de mercúrio devido ao desmatamento seguido de queimada de floresta (LACERDA, 1998) a erosão como fator de transporte e enriquecimento por mercúrio em sedimentos (ROULET et al. 1998); metilação em sedimentos e raízes de macrófitas aquáticas (ROULET et al. 2001), (GUIMARÃES et al. 2000).

Quanto à biota, trabalhos mais aprofundados são necessários para investigar os reais efeitos do Hg nos organismos. Os trabalhos realizados até o momento demonstram que há bioacumulação de Hg na biota, mas não avalia os reais efeitos sobre a mesma, tais como: influência na reprodução, alimentação.

No entanto, o estudo da distribuição de mercúrio em sedimentos considerando como dependente da sua localização geográfica, ou seja, o espaço não foi abordado até o momento. Alguns fatores dificultam um estudo espacial de Hg na Amazônia. Este tipo de estudo não pode ser abordado a partir de amostragens pontuais, o que caracteriza vários trabalhos na região. A necessidade de conhecer uma área tão vasta como a região amazônica, onde surgiam garimpos a uma velocidade espantosa, levou os pesquisadores a desenvolver trabalhos de prospecção ambiental e avaliar os potenciais riscos que o Hg pode causar a saúde humana, não sendo possível estabelecer uma grade com maior esforço amostral, dificultando a análise espacial de Hg na região.

Até por volta de 1998, as pesquisas sobre mercúrio na Amazônia têm nas suas discussões, o lançamento de Hg proveniente da garimpagem e as conseqüências que podem se originar deste processo e transferência do metil-mercúrio na cadeia alimentar, indo acumular nos níveis mais elevados da teia trófica. Estas questões continuam sendo investigadas atualmente. Mas, pequenas porções geográficas e, seu contingente humano passa a ser alvo de estudos mais detalhados, constituindo os chamados estudos de caso. O enfoque neste tipo de estudo é multidisciplinar. A realização da pesquisa abarca os compartimentos bióticos e abióticos destas áreas. Cada um destes compartimentos pode ser investigado em uma escala menor. Neste contexto, a análise espacial pode melhor ser empregada como ferramenta para avaliação da distribuição de Hg em sedimentos de fundo em lagos.

Na Amazônia e demais partes do globo os pesquisadores têm se debruçado sobre o estudo de Hg. As perguntas feitas por estes pesquisadores são as mais diversas. Partem de

níveis celulares chegando ao ecossistema. As respostas para estas perguntas devem levar em consideração a incorporação de uma variável que possa auxiliar no entendimento da dinâmica do mercúrio – o espaço. A incorporação do espaço nos estudos de poluentes é de fundamental importância, uma vez que, a distribuição de um elemento é fortemente dependente do espaço. Neste trabalho tem-se uma preocupação em estudar a variável mercúrio em função da sua distribuição espacial no sedimento de fundo do lago Puruzinho.

Até o momento poucos trabalhos têm abordado a distribuição espacial de mercúrio considerando-a como matéria de dependência espacial em ecossistemas amazônicos. Dependência espacial significa dizer que, o valor em qualquer ponto amostrado, depende de algum modo, do valor de sua vizinhança. Tão mais próximos estão os pontos de um valor amostrado, maior será a sua influência.

Este procedimento é possível graças ao uso de ferramentas como a Geoestatística que possibilita através da análise variográfica, capturar máxima variabilidade dos dados e estabelecer a dependência espacial permitindo estimar através da Krigagem os valores em locais não amostrados.

A base teórica para o entendimento da análise introduzida no parágrafo acima está descrita na metodologia deste trabalho.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O objetivo desta revisão é analisar os aspectos históricos do uso de mercúrio pelo homem. Relacionar os aspectos teóricos e históricos do emprego do uso do mercúrio em garimpos de ouro na Amazônia e suas principais conseqüências para o meio ambiente. Faz também um resgate histórico dos principais estudos sobre mercúrio nas sub-bacias dos rios Tapajós e Negro, por fim enfatiza a sub-bacia do rio Madeira desembocando nas discussões sobre a presença de mercúrio em lagos e pequenos afluentes que sofrem influência direta do ciclo hidrológico do rio Madeira. Aborda as fontes naturais de emissão de Hg e sua contribuição para o ciclo biogeoquímico do Hg na região amazônica.

### **2.1 Aspectos históricos**

A concentração de elementos-traço tanto na crosta terrestre quanto nos organismos tem aumentado significativamente com a industrialização do mundo contemporâneo, como exemplo, cita-se o elemento mercúrio (ESTEVEZ, 1998). Porém, o uso do mercúrio e a sua ampla aplicação remontam há tempos pré-históricos que, injusto seria não fazer um breve retrospecto histórico sobre este elemento e suas principais características físico-químicas.

O nome mercúrio é uma homenagem ao planeta Mercúrio. Na Mitologia Romana, Mercúrio é o mensageiro dos deuses, filho do deus Júpiter e de Maia, a filha do titã Atlante. Para evitar qualquer confusão entre - planeta, metal e deuses - os gregos passaram a chamar o metal de “Hidrargyros”, elemento de composição com o sentido de água mais *argirus* = prata (do latim *argentum* = prata). Portanto, uma análise etimológica da palavra, já revela uma característica única do mercúrio, ou seja, de ser um líquido prateado e denso em condições normais de temperatura e pressão (AZEVEDO, 2003).

Os primeiros relatos sobre Hg estão relacionados ao cinábrio (sulfeto de mercúrio HgS), principal minério do mercúrio, usado pelos hindus e chineses na antiguidade. Foi encontrado em tumbas do Egito datadas de antes de 1500 a.C e em tumbas da Grécia. Nesta época o principal emprego do mercúrio era decorativo. O uso de mercúrio para recuperar outros metais (processo conhecido como amalgamação) foi descrito, cerca de 500 a.C. (Grame Pollock, 1998 apud AZEVEDO, 2003).

Entretanto, Fenícios e Cartagineses (2700 a.C.) já conheciam o processo de amalgamação quando comercializavam o mercúrio nas minas de Almaden na Espanha (MALM, 1998).

Durante a idade média o mercúrio foi utilizado para formar ligas geralmente com a prata e com ouro (amalgamação). Porém, os alquimistas eram os que mais se encantavam com o mercúrio e tentavam em vão produzir ouro a partir do Pb. Acreditando que nesse processo era necessária a participação do mercúrio (AZEVEDO, 2003). Somente no final do século XVIII é que o mercúrio viria a ser reconhecido primeiramente como elemento químico, pelo francês Antoine Laurent de Lavoisier (ENCICLOPÉDIA COLUMBIA, 2001).

## **2.2 Fontes de emissão de mercúrio no ambiente**

Podem se agrupar as fontes de emissões de mercúrio para a biosfera em naturais e antrópicas. Entre as fontes naturais destacam-se: emissão por vulcões, degaseificação da crosta terrestre e *spray* marinho. As emissões antrópicas podem ser entendidas como intencionais e não intencionais. A emissão de mercúrio contido em combustíveis fósseis pode ser entendida como processo não intencional, enquanto que, emissões de mercúrio usado em produtos e processo como extração de ouro pode ser entendida como emissão intencional (UNEP, 2001). As fontes antropogênicas que mais contribuem para emissão de mercúrio no ambiente são: Queima de combustíveis fósseis, indústrias de cloro-soda, indústrias de celulose, termômetros, uso na medicina e na extração de ouro, indústrias siderúrgicas e lixiviação dos solos pelo processo de uso na agricultura (LACERDA &

MARINS, 1997).

### 2.3 Propriedades físicas e químicas do mercúrio

O mercúrio pode existir em uma variedade de estados físicos e químicos. Esta propriedade apresenta problemas especiais àqueles interessados em avaliar os seus possíveis riscos à saúde pública. O mercúrio, junto com o cádmio e o zinco, pertence ao grupo IIb da tabela periódica. Além de seu estado elementar  $Hg^0$ , o mercúrio existe no estado +1 mercúrio (I) e no estado +2 mercúrio (II); estados em que o átomo do mercúrio perdeu um e dois elétrons, respectivamente. Os compostos químicos do (mercúrio) (II) são muito mais estáveis do que aqueles do (mercúrio) (I) (EHC, 1976).

As diferentes formas químicas e físicas deste elemento têm suas propriedades tóxicas intrínsecas e diferentes aplicações na indústria, na agricultura, e na medicina. O mercúrio volátil é altamente tóxico. Porém, é na forma catiônica e também quando ligados a cadeias curtas de átomos de carbono que está sua forma mais tóxica. O mecanismo de ação tóxica deriva da forte afinidade dos cátions pelo enxofre. Assim, os grupos sulfidril – SH, que ocorrem nas enzimas que controlam a velocidade das reações metabólicas de importância crítica no corpo humano, ligam-se rapidamente aos cátions de metais pesados como o mercúrio, afetando a ação da enzima como um todo, não podendo atuar com normalidade e em consequência atua negativamente para a saúde humana (EHC, 1976), (MICARINI et al. 2000), (COLIN, 2004).

### 2.4 Formação do metil – mercúrio

Embora o mercúrio na forma química  $Hg^{2+}$  encontra-se ligado fortemente aos sedimentos e não seja de baixa redissolução na água, têm surgido problemas ambientais em vários ambientes aquáticos devido à conversão do metal em metilmercúrio e a subsequente bioacumulação e biomagnificação na teia alimentar aquática (COLIN, 2004).

Com os ânions são mais capazes de formar ligações covalentes com os íons nitrato, óxido ou sulfato, o íon mercúrico  $Hg^{2+}$  forma moléculas covalentes em vez de sólidos iônicos. Assim o ânion metila,  $CH_3^-$  com  $Hg^{2+}$  forma um composto covalente dando lugar ao dimetilmercúrio ( $Hg(CH_3)_2$ ), um líquido molecular volátil. O processo de formação do dimetilmercúrio ocorre em sedimentos de rios e lagos, especialmente em condições anaeróbicas, quando bactérias e microorganismos convertem  $Hg^{2+}$  em  $Hg(CH_3)_2$ . O agente

ativo do processo de metilação é um constituinte comum dos microorganismos; um derivado da vitamina B12 com um ânion  $\text{CH}_3^-$  ligado a um cobalto, chamado metilcobalamina (EHC,1990; AZEVEDO, 2003; COLIN, 2004).

Devido sua volatilidade o dimetilmercúrio evapora-se da água com relativa rapidez, a menos que seja transformado, sob condições ácidas na forma monometílica. Compostos menos voláteis como  $\text{CH}_3\text{HgCl}$  e  $\text{CH}_3\text{HgOH}$ , representados de forma genérica por  $\text{CH}_3\text{HgX}$ , sob algumas dessas formas ele é solúvel no tecido biológico, podendo atravessar a barreira do sangue-cérebro e a barreira placentária. Os compostos de metilmercúrio são formados pela mesma via do dimetilmercúrio, porém, ainda mais rapidamente. Em soluções aquosas neutras ou ácidas, a produção de metilmercúrio predomina sobre a de dimetilmercúrio.

No ambiente a metilação pode acontecer na água, sedimentos ou solo. Na água e nos sedimentos a metilação é afetado pela: quantidade de oxigênio dissolvido presente na água; a quantidade de enxofre; o pH da água ou do sedimento e ainda pela presença de partículas de argilas ou material orgânico (MADEP, 2004).

Em quantidades limitadas de oxigênio na coluna da água ou na superfície dos sedimentos, ocorre uma maior formação de metil - mercúrio. A presença de enxofre é importante uma vez que as sulfobactérias dependem do enxofre e são envolvidas no processo de metilação. A metilação esta associada a níveis baixos de pH, e ainda se houver partículas de argila na água, o mercúrio pode ficar adsorvido às partículas, e pode não estar disponível para metilação (EPA, 1996); (MALM, 1993). Características favoráveis a metilação, tais como baixo pH, sedimento anóxico e presença de matéria orgânica são observadas no lago Puruzinho.

## **2.5 Estudos sobre mercúrio na região amazônica**

A atividade de mineração de ouro e o desmatamento são os principais contribuidores de emissão e liberação de Hg na Amazônia (LACERDA, 1995) e (VEIGA et al. 1994). Estas duas atividades têm ocorrido em larga escala na Amazônia como um todo, porém em algumas bacias hidrográficas do sistema amazônico as relações destas atividades estão marcadamente relacionadas com a concentração de mercúrio em seus ecossistemas (AKAGI et al.1995; MALM, 1998).

Os estudos da dinâmica de mercúrio na Amazônia enfocam três principais grandes sub-bacias inseridas dentro do sistema da bacia Amazônica, a saber: sub-bacia do rio

Tapajós, sub-bacia do rio Madeira, sub-bacia do rio Negro.

Os primeiros estudos sobre Hg na Amazônia foram realizados na sub - bacia do rio Tapajós, em virtude do uso de mercúrio no processo de separação do ouro, metal abundante naquela região (MALM et al. 1995<sup>a</sup>; MALM et al.1995<sup>b</sup>; MALM et al.1997). O emprego de mercúrio na sub-bacia do Tapajós data primeiramente do século XVIII mas, somente em 1970 se dá a corrida de ouro na Amazônia época em que a sub - bacia do Tapajós é mais intensamente explorada e o Hg passa a ser mais largamente empregado (KLIGERMAN et al. 2001).

A exploração de ouro na bacia do rio Madeira viria acontecer 15 anos mais tarde, por volta de 1987. Embora durante o período Colonial, por volta de 1929, já houvesse um início de atividade ainda muito incipiente de exploração de ouro na região do vale do Guaporé, na bacia do rio Corumbiara (TEIXEIRA & RIBEIRO, 1998).

Na bacia do rio Madeira, a atividade garimpeira ainda é praticada, principalmente no trecho Porto Velho – Guajará Mirim e, provavelmente, seja ainda hoje a principal fonte de emissão de Hg para este ambiente lótico. O desmatamento e a queima de florestas são atividades intensamente praticadas nas sub - bacias do rio Madeira. Maior ênfase pode ser dada as sub - bacias dos rios Machado e Jamari, nesta ordem. Como consequência deste processo, pode estar ocorrendo o transporte atmosférico e hídrico de Hg destas áreas de garimpagem da região do alto rio Madeira indo depositar em lagos e igarapés de floresta inundada na região do baixo rio Madeira. A consequência da deposição do mercúrio em ambientes aquáticos é a acumulação no sedimento seguido do processo de organificação sendo então, biodisponível para toda a biota e as comunidades associadas a estes ambientes lacustres (PFEIFFER et al.1989).

Os ambientes de lago da região do baixo rio Madeira além de ter características deposicionais e, condições físicoquímica particulares que, influenciam a acumulação do Hg em seus sedimentos. Servem como local de estocagem deste elemento, e como fonte de exportação de Hg para outros ambientes. Despertando, portanto a preocupação em estudar tais ambientes associados ao mercúrio (ALMEIDA, et al. 2005).

## **2.6 O Papel dos Lagos e Igarapés na dinâmica do mercúrio na Bacia do rio Madeira.**

Os igarapés são definidos como rios de primeira e segunda ordem; componente primário da tributação de rios pequenos, médios ou grandes (AB`SABER, 1996). Estes igarapés e pequenos lagos associados ao rio Madeira compõe um complexo ecossistema

aquático, onde as interações entre o meio físico e meio biótico são cada vez mais interdependentes. As relações entre os organismos e os demais compartimentos, como o sedimento, são muito mais estreitos em ambientes lênticos.

Uma componente importante neste contexto é a componente antrópica. As populações que ocupam a vasta hiléia amazônica são definidas por (AB`SABER, 1996) como população ribeirinha. Estas populações têm seus costumes ditados pelo ciclo hidrológico dos grandes rios da bacia amazônica, que interferem nos pequenos rios e igarapés, afluentes de um rio maior, como o rio Madeira. São nestas áreas que estas populações constroem suas casas. Nestes locais a agricultura de subsistência e pesca são formas de obtenção dos recursos alimentares.

Para a prática de agricultura de subsistência são necessários o roço, a derrubada e a queimada. Estas práticas associadas aos processos de volatilização e lixiviação podem contribuir para a concentração de Hg na biota via processos biogeoquímicos afetando a carga de Hg em ambientes terrestres, atmosférico e ecossistemas aquáticos. Não há trabalhos na região que avaliem especificamente a contribuição da prática da agricultura de subsistência para o enriquecimento de sedimentos de lagos por Hg. Contudo, pode se inferir que mesmo em pequena escala tal atividade contribua no processo de acumulação de Hg em sedimentos devido aos processos erosivos do solo, uma vez que esta atividade é praticada em áreas onde o solo não é indicado à prática de plantio devido sua fragilidade.

A agricultura e pecuária em grande escala que, tem como consequência a queima da floresta e erosão dos solos, em maior volume podem contribuir mais significativamente para o processo de enriquecimento do sedimento por mercúrio via enxurradas (ROULET et al. 2000).

Na bacia do rio Madeira existe dezenas de pequenos lagos e rios. Estes são importantes vias de comunicação entre o ambiente terrestre e grandes rios. Compõe a vasta planície de inundação e acumulação da bacia do rio Madeira. Como estes lagos são ambientes lênticos com características deposicionais facilitam a acumulação de poluentes nos seus sedimentos. Durante o período de cheia os lagos recebem a água branca do rio Madeira, rica em materiais em suspensão, que podem também contribuir com o aporte de Hg. Quando estão em comunicação direta com os rios principais promovem a exportação e importação de nutrientes e poluentes orgânicos e inorgânicos (ALMEIDA et al. 2005).

## **2.7 O uso dos sedimentos línminicos como indicador de poluição**

O sedimento de lagos e rios pode ser entendido como o resultado da integração de todos os processos que ocorrem em um ecossistema aquático (MALM, 1993; COLIN, 2004). Estes sedimentos podem conter materiais em grandes quantidades, que foram depositados por processos biológicos e químicos, sendo que, a proporção entre partículas de origem alóctones e autóctones pode variar de acordo com as características do ambiente (MOZETO, 2004). Os sedimentos depositados no fundo de rios e lagos guardam um registro histórico do grau de contaminação de um corpo d'água. Sendo possível, determinar não somente os valores de contaminação, mas também em que época e com que frequência esta contaminação aconteceu (MARVIM et al. 2003). Portanto, o uso do sedimento como forma para avaliar a contaminação ambiental constitui uma ferramenta importante, pois é de fácil utilização, mesmo quando a contaminação ocorre em concentrações muito baixas (TORRES, 1992; FOSTIER, 1997).

As concentrações de mercúrio em rios e lagos amazônicos devem ser avaliadas a partir de análises de sedimentos em áreas com impacto direto no ecossistema aquático; como atividade de exploração de ouro, ou indiretas como atividades agropastoris (ROULET et al. 1999). O mercúrio depositado no sedimento, no entanto, pode ter sido lançado diretamente nos rios como ocorre na exploração de ouro (PFEIFFER et al. 1991; PFEIFFER & LACERDA, 1989), ou pela enxurrada devido à erosão do solo onde o Hg está depositado e, então transportado adsorvido as partículas de solo até os sistemas aquáticos adjacentes (ROULET et al. 1999).

No sedimento os poluentes como o Hg podem interagir com compartimentos ambientais podendo permanecer imóvel no sedimento ou ser disponibilizado para coluna d'água e acabar sendo incorporado na cadeia trófica (MALM, 1993). A ressuspensão de sedimentos e transporte via plâncton contaminado por mercúrio podem enriquecer outras áreas de um ambiente lântico (RAMALHOSA et al. 2006). Podendo chegar às populações humanas, sendo as populações ribeirinhas, mais expostas a este risco via ingestão de pescado (BASTOS et al. 2004).

A interação entre o sistema aquático e o sistema terrestre, também deve ser considerada, os solos adjacentes aos sistemas aquáticos são depósito de mercúrio atmosférico e sedimentar oriundo dos Andes. Como exemplo, podemos citar os solos ricos ferro e alumínio da bacia do rio Madeira (LECHLER et al. 2000) ou ricos em matéria orgânica da bacia do rio Negro (ROULET et al. 1998); (OLIVEIRA, 2001). Estes solos atuam como depósito de Hg que, por erosão e lixiviação acabam atingindo os ecossistemas

aquáticos adjacentes como lagos e pequenos igarapés. Sendo os lagos ambientes deposicionais e que, apresentam condições físicas e químicas favoráveis ao processo de metilação por bactérias anaeróbias e aeróbias.

Considerando as propriedades físicoquímica do mercúrio, as principais fontes deste elemento para biota e áreas com características favoráveis a acumulação de mercúrio no sedimento é possível elaborar a seguinte hipótese para iniciar um estudo de mercúrio no lago Puruzinho. A distribuição de mercúrio e matéria orgânica no sedimento estaria sendo influenciada pelos períodos de cheia e seca de forma que ocorre uma compartimentalização formando zonas preferenciais de concentração tanto de mercúrio quanto de matéria orgânica.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Estudar a distribuição espacial da variável Hg a partir do estabelecimento da dependência espacial.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Estabelecer possíveis relações entre a distribuição da matéria orgânica e as concentrações de Hg no sedimento de fundo do Rio Puruzinho;

Elaborar mapas de distribuição espacial da variável Hg utilizando interpolador não linear - krigagem indicativa;

Estabelecer valores indicativos de Hg em sedimento de fundo do lago Puruzinho nos períodos de cheia e seca.

Estabelecer valores indicativos de matéria orgânica em sedimento de fundo do lago Puruzinho nos períodos de cheia e seca.

Elaborar mapas de distribuição de probabilidade de ocorrência de Hg e matéria orgânica no período de cheia e seca.

## **4. ÁREA DE ESTUDO**

### **4.0 Escolha da Área**

A escolha da área de estudo vem da discussão e de levantamentos realizados nos lagos da região do baixo rio Madeira entre 2001 a 2004. Observa-se na região denominada como baixo Madeira um grande número de lagos que além de ricos em peixes, principal fonte de proteína, são vias de acesso a terra firme onde estão os castanhais e os melhores solos para o cultivo. O lago Puruzinho é um exemplo desta descrição.

No que diz respeito à dinâmica espacial do mercúrio no sedimento. Constituí um importante ambiente deposicional, situado à margem esquerda do rio Madeira, recebe uma carga de sedimento do vindo do rio Madeira por consequência do período de cheia e ao mesmo tempo recebe uma contribuição das áreas alagadas pela própria chuva que cai na bacia do lago Puruzinho.

### **4.1 Acesso à área de estudo**

O acesso a área de estudo se dá por via fluvial. Saindo de Humaitá pelo rio Madeira, sentido Manicoré - Amazonas é possível avistar a entrada do rio Puruzinho imediatamente à montante da ilha das Pupunhas. O rio Puruzinho é um dos poucos afluentes da margem esquerda do rio Madeira, dista apenas 30 minutos de voadeira (aproximadamente 13 km) da cidade de Humaitá no estado do Amazonas.

Navegando pelo estreito canal formado pelo rio Puruzinho chega-se ao Lago Puruzinho onde se situa a população tradicional a qual o rio empresta o nome. É esta comunidade a base logística deste trabalho.

### **4.2 Descrição geral da área de estudo**

A descrição geral da área de estudo (Fig. 01) segue a descrição do projeto RADAM BRASIL (IBGE, 1974). A escala de mapeamento adotada pelo projeto RADAM BRASIL é de 1:250.000. Como área deste trabalho compreende uma pequena parte da folha 20 SB PURUS. Portanto, realizou-se neste trabalho um levantamento de detalhes na área de estudo no que diz respeito a acidentes geográficos, igarapés e atividade antrópica em uma escala 1:10.000.

Para o estudo de mercúrio fez-se uma amostragem na escala 1:50.000 que, a partir de métodos de interpolação foi possível produzir mapas de concentração na escala de 1:10.000. A área do lago Puruzinho está inserida na Folha 20 SB. Purus. A Folha 20 SB Purus situa-se entre os paralelos 4° e 8° e meridianos 60° e 66° Wgr. A drenagem principal desta Folha é constituída pelo rio Madeira e rio Purus e seus afluentes.

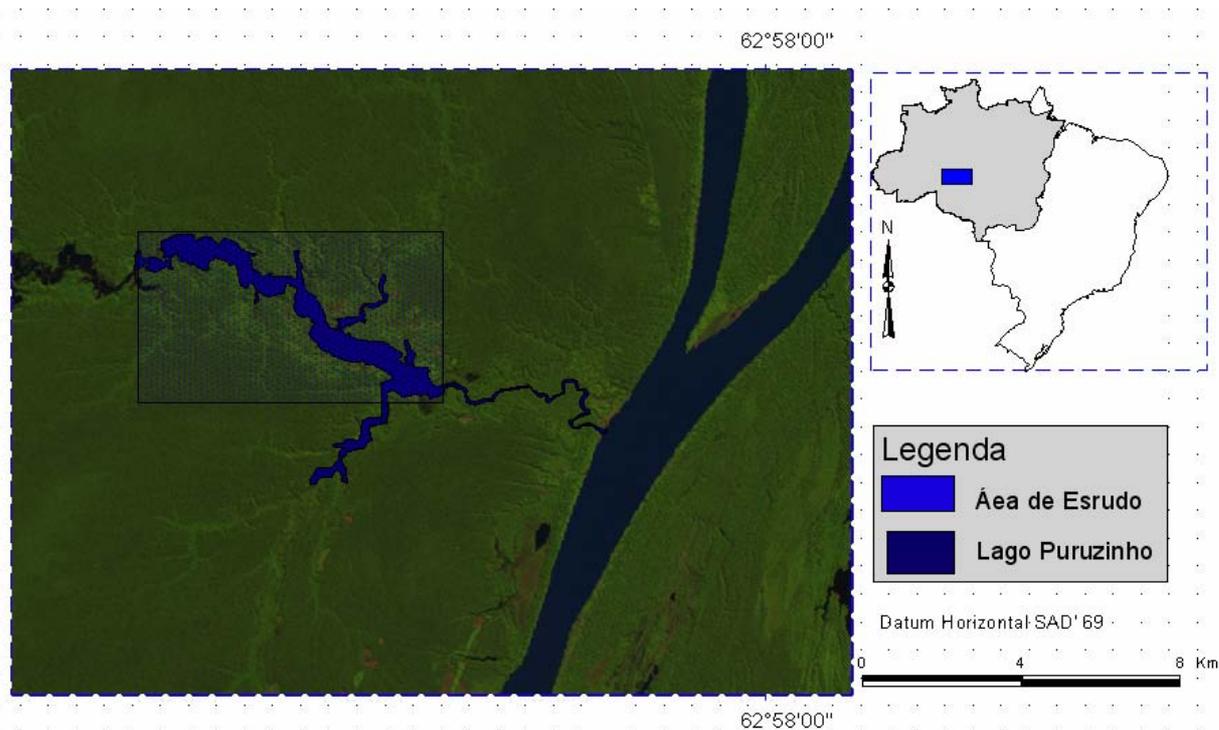


Figura 01. Área de estudo

A porção da folha SB 20 PURUS ocupada pelo rio Puruzinho situa-se entre as latitudes 7° 23' 00" S e longitudes 63° 00' 00" W sua foz no rio Madeira e 7° 34' 15" S 63° 06' 51" W limitando-se com os campos de Humaitá (formação vegetacional de cerrado). O rio Puruzinho drena uma área de formação vegetacional de cerrado até o seu curso médio, daí em diante drena uma área coberta por floresta ombrófila densa na parte mais externa da área de acumulação e inundação e, floresta aluvial pluvial compreendida dentro da área de inundação sazonal do rio Puruzinho.

Na área de maior acumulação e inundação o rio atinge cerca de 400 m de largura no período de estiagem podendo dobrar sua largura durante o inverno amazônico, é nesta parte do curso do rio que ele adquire características geomorfológicas e geoquímicas típicas de lago. É este ambiente lântico foco deste trabalho. Pois, compreende uma área de aproximadamente 4.8 km<sup>2</sup> e, reúne características deposicionais físicas e químicas que influenciam na acumulação de poluentes nos sedimentos depositados no fundo deste ambiente lacustre.

#### 4.3 Ciclo Hidrológico da área do lago Puruzinho

A área de estudo a exemplo das demais áreas de acumulação de água na bacia do rio Madeira esta sujeita a quatro fases no seu ciclo hidrológico. Seca, enchente, cheia, vazante. O período de seca ocorre entre junho a outubro. Durante este período o nível do

lago e drasticamente reduzido. A partir de outubro começa o período de enchente. As águas das chuvas da região começam acumular na área do lago culminando na elevação do nível fluviométrico no final de dezembro. Até o final de janeiro o rio Madeira atinge seu pico máximo e suas águas podem atingir o lago Puruzinho e permanecer por semanas ou até meses. Este período caracteriza o período de cheia. A partir do mês de maio as águas do lago começam a baixar, este período se estende até junho é o período de vazante.

#### **4.4 Geologia**

Quanto a geologia a área do rio Puruzinho corta uma área denominada pelo projeto RADAM como Área de Inundação e Acumulação (HAi) que é constituída por Aluviões indiferenciados ou antigos: argilas, siltes e areias muito finas e grosseiras com diminuição granulométrica para o topo; predominam areias finas localmente com estratificações plano-paralelas horizontal e cruzada tabular de médio e pequeno porte; intercalações de material sílico e argiloso níveis de concentração ferruginosas com lâminas limoníticas, pelotas de argila dispersas e ocasionalmente lentes de conglomerados; brancos a marrom-escuro com tonalidades vermelho e amareladas; depósitos de canal e transbordamento em terraços fluviais e paleovales.

A área de estudo ocupa 0,20% do total da Área de Inundação e Acumulação (HAi) que possui 2378,35 Km<sup>2</sup>. Estas áreas caracterizam-se por serem aplainadas, geralmente deprimidas, com cobertura arenosa, periódica ou permanentemente inundada. As restrições ao seu uso dizem respeito, sobretudo ao tipo de solo e ao acúmulo de águas das chuvas ou pela ocorrência superficial ou sub superficial do lençol freático (IBGE, 1974).

#### **4.5 Geomorfologia**

##### **4.5.1 Planície Amazônica do rio Madeira**

A área do Igarapé Puruzinho esta inserida dentro da área mapeada como Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental compreendida na depressão interplanáltica Meridional, que é uma subunidade da unidade morfoestrutural da Planície do Rio Madeira, Folha SB 20 PURUS.

O igarapé Puruzinho tem sua foz no rio Madeira próximo a ilha das Pupunhas. A exemplo dos demais rios que alimentam o rio Madeira pela margem esquerda, o rio Puruzinho é um rio curto, tem seu curso inferior afogado formando um grande lago pouco antes da desembocadura. O lago escoá para o rio Madeira através de um pequeno rio (tipo

furo) atingindo o Rio Madeira após percorrer um caminho sinuoso com cerca de 8 km de extensão e área 1,6 km<sup>2</sup>.

A formação destes canais tipo furos são recentes em termos geológicos são da mesma época em que se formou a superfície plana desta região e datam do período Holocênico quando se instalou o clima úmido na região (IBGE, 1974).

#### **4.6 Clima**

O clima da região é do tipo Af de Köppen, com temperatura média de 26°C (mínima 19°C e máxima 39°C). A condição isotérmica (variação muito baixa de temperatura) é consequência do vapor d'água sempre alto na atmosfera: a umidade relativa do ar varia de 77 a 88 %, com média anual de 84 % (LEOPOLDO et al. 1987). A precipitação anual varia de 1.800 a 2.800 mm, com uma estação chuvosa de dezembro a maio e a estação seca de junho a novembro; os meses mais chuvosos são março e abril (> 300 mm de chuvas) e os mais secos, julho, agosto e setembro (< 100 mm) (IBGE, 1974).

#### **4.7 Vegetação**

Quanto à vegetação a área do lago está situada em uma área de floresta tropical aberta sub-região aluvial da Amazônia. A vegetação no entorno do lago é do tipo pioneira com presença de gramíneas. São áreas periodicamente inundadas. O ambiente neste local encontra-se em fase de sucessão. Durante o período de inundação as águas ocupam extensas áreas onde é possível observar as marcas da água nos troncos das árvores.

Durante o período de estiagem é possível observar as formações gramíneas nas margens do lago. Estas formações crescem a beira do lago até o início das chuvas, onde são novamente submersas pelas primeiras águas que se acumulam e avolumam na bacia. É possível observar a presença de vegetação arbustiva no início do período de inundação em uma faixa de transição entre a área de vegetação gramínea e lenhosa. Toda área de vegetação arbustiva permanece inundada no período de cheia e início da vazante.

#### **4.8 Pedologia**

A descrição pedológica que se segue tem por finalidade dar idéia do material que originou os solos da área de estudo. De acordo com a folha PURUS SB 20 a área de estudo apresenta.

#### **4.9 Depósitos Holocênicos**

O solo é formado por depósitos sedimentos recentes, apresentam se como solos do tipo Gleissolos (Hidromórficos Gleyzados Eutróficos e Distróficos). São solos desenvolvidos sobre sedimentos recentes do Quaternário, de textura argilo - siltosa, sustentando uma vegetação de Floresta Aberta Aluvial ou uma Formação Pioneira Graminosa. Esses solos são formados durante o período de inundação (IBGE, 1974). A deposição de sedimentos em algumas áreas é tão rápida que, é possível observar camadas de matéria orgânica ainda não decomposta entre as camadas de sedimento.

#### **4.10 Aspectos humanos**

Por fim, a descrição da área de estudo se completa pela descrição de alguns aspectos humanos na bacia do lago Puruzinho. Reside no entorno do lago uma população de 164 pessoas divididas em 20 famílias. Basicamente estas famílias vivem da pesca, extrativismo e da agricultura de subsistência (OLIVEIRA, 2006). Esta população mantém uma relação direta com o lago, é do lago que vem o peixe e, é por ele que sai a produção de farinha de mandioca e açaí, uma das poucas fontes de complementação de renda daquela população.

O modo de agricultura praticado é o sistema de “pousio”, ou seja, faz se um roçado plantando e colhendo naquele ano. Nos dois anos seguintes a vegetação secundária avança tomando conta do que antes era área de plantio. No terceiro ano repete-se o roço seguido de queimada. Esta prática tem sido usada pela população local nos últimos 40 anos.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 Origem dos dados

Os dados geoquímicos utilizados neste trabalho foram obtidos através do levantamento realizado durante a execução do Projeto “Estudo Interdisciplinar do Lago Puruzinho”. Os levantamentos se deram em três etapas compreendendo uma área com aproximadamente 4,84 km<sup>2</sup> que, corresponde à lâmina d’água do lago.

A primeira etapa foi realizada no período de cheia e consistiu na coleta de sedimentos superficiais em 30 pontos espacialmente distribuídos em 11 transectos ao longo do eixo longitudinal do lago. Na segunda etapa (período de seca) estabeleceu-se novamente 11 transectos na mesma forma que foi estabelecida a amostragem da primeira etapa. A distância média estabelecida entre os pontos de amostragem compreendendo os dois períodos de amostragem foi de 500m no eixo maior (Longitude) e, no eixo menor (Latitude) as distâncias entre pontos no sentido transversal ao lago variaram de acordo com a largura do lago, sendo os pontos em cada transecto situados às margens e centro do lago, perfazendo três pontos em cada transecto.

Nas coletas de campo foram determinados “*in loco*” parâmetros físico-químicos da água em todos os pontos amostrados. Os parâmetros avaliados foram: Condutividade elétrica, temperatura da água, pH e oxigênio dissolvido. Os parâmetros físico-químicos foram determinados à profundidade mínima de 0,20 m.

Na tentativa de obter-se uma representatividade significativa do material amostrado (solo e sedimento), foi coletado cerca de 1kg de material por amostra.

Na terceira etapa foram realizados 3 perfis verticais no sedimento de fundo no eixo central do lago de forma que o primeiro perfil foi efetuado na entrada do lago, o segundo no ponto médio do eixo principal e o terceiro perfil na saída do lago.

### 5.2 Georeferenciamento e Escolha da grade amostral

Estabeleceu-se ainda em laboratório os limites do lago a serem amostrados, a partir de imagens de satélite LANDSAT 7 TM composição colorida RGB Bandas 3, 4 e 5 com data de passagem de 16 de julho de 2003. Fez-se posteriormente uma checagem para se obter a verdade de campo e delimitar o perímetro da área utilizando receptor de GPS (Sistema de Posicionamento global por satélite), a partir de um aparelho receptor para GPS, modelo GARMIN<sup>®</sup>’s , modelo GPS 12 XL Personal Navigator<sup>™</sup> . Os limites da área

a ser amostrada foram digitalizados em ArcView 3.2, onde foi construído um mapa base da área a ser amostrada na escala de trabalho 1:10.000.

Por não haver um conhecimento prévio dos aspectos geográficos da área, fez-se um levantamento de dados das possíveis áreas de amostragem e posteriormente se estabelecer o desenho amostral.

Os parâmetros adotados para georeferenciamento dos pontos amostrados foram:

**Sistemas de Coordenadas Geográficas** - com segundos expressos até três casas decimais;  
**Datum:** Datum Horizontal oficial adotado pelo IBGE: SAD 69 (South América Datum 1969).

### 5.3 Desenho Amostral

Para elaboração do desenho experimental da área fez se uso da metodologia proposta por Bernardi et al. (2001), onde, utilizando receptor de GPS (*Global Position System*) estabeleceu-se 11 transectos em uma área de 10Km de extensão sendo 3 pontos por transecto, somando um total de 33 pontos para parâmetros físico-químicos e sedimentos distribuídos em uma malha regular, com intervalos ao longo da coordenada “X” paralela ao leito do rio de 1000m e, ao longo da coordenada “Y,” transversal a área amostrada (Fig. 02). Desta forma estabeleceram-se coletas às margens esquerda, direita e um ponto central no canal principal do rio.

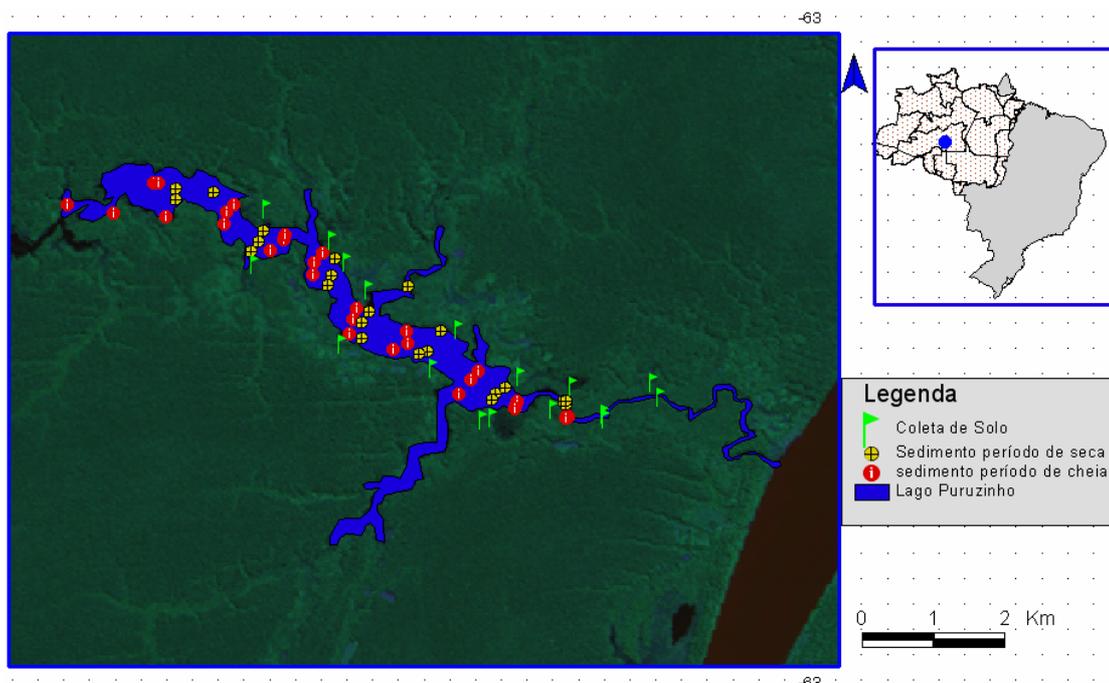


Figura 02. Lago Puruzinho evidenciando as localizações geográficas onde foram coletadas as amostras de solo e sedimento nos períodos de cheia e seca.

## **5.4 Parâmetros físico – químicos**

As variáveis limnológicas selecionadas (pH, condutividade elétrica, temperatura e oxigênio dissolvido) foram amostradas “*in loco*”, no hepilímio a 20 cm de profundidade. Utilizando os respectivos aparelhos (pHmetro: SCHOTT – pH/mV Meter-handylab); Condutividade Elétrica (Condutivímetro: SCHOTT – Hand-Held Conductivity Meter-handylab LF1); Oxigênio Dissolvido, Temperatura (Oxímetro: SCHOTT – Dissolved Oxygen Meter-handylab OX1).

### **5.4.1 Coleta e preparação das amostras**

#### **5.4.1.1 Sedimentos**

As amostras de sedimentos de fundo foram realizadas utilizando coletor pontual de sedimento – draga de Eckman. Este equipamento permite a coleta da camada mais reativa do sedimento – 5 cm de profundidade. Os perfis de sedimentos foram realizados utilizando perfilador construído na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Este equipamento é composto de um tubo de PVC de 70 mm de diâmetro por 70 cm de altura. A profundidade máxima do perfil durante a coleta foi de 50 cm de profundidade. Após a coleta os perfis de sedimentos foram fatiados de 5 em 5 cm de espessura e acondicionadas em sacos plásticos e mantidos resfriados até a preparação da amostra para análise.

#### **5.4.2 Solos**

A amostragem de solo foi realizada na segunda etapa do projeto (período de seca). Fez-se uma amostragem da camada orgânica do solo que variou ente 1-7 cm. Ao todo foram 13 pontos distribuídos nas margens esquerda e direita do lago de forma que, no final da amostragem cada ponto estava equidistante 1000m no sentido do eixo principal do lago e a distâncias no sentido transversal ao lago que variavam de acordo com a largura do lago. A amostragem foi realizada com trado holandês e acompanhada de uma descrição das características morfoestruturais dos solos. Na tentativa de obter-se uma representatividade significativa do material amostrado, foi coletado cerca de 1kg de solo por amostra.

## **5.5 Preparação das amostras**

### **5.5.1 Solubilização das amostras**

Os elementos amostrais (solos e sedimentos) passaram por um processo gravimétrico de separação (peneiração a úmido). Reduzindo-os a uma fração menor que 0,075mm ou 200 *mesh*. Em seguida foram secos em estufa a 48° C. O material após

secagem sofre um processo de maceração em cadinhos de porcelana.

Do material macerado retirou-se uma alíquota de 500mg em duplicata para análise de Hg por espectrofotometria de absorção atômica acoplada ao gerador de vapor frio. Para a solubilização das amostras utilizou-se uma técnica proposta por (BASTOS et al. 1998), onde se adicionou em 500mg de peso seco da amostra 1mL de água ultra pura (MILLI-Q 18.2 MΩ) e logo após 5mL de água régia (HCl:HNO<sub>3</sub> 3:1), levando-se ao banho Maria por 30 min. a 60°C. Resfriou-se em banho de gelo e adicionou-se 8mL de permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub>) a 5%, levando-se novamente ao banho Maria por mais 30 min. a 60°C.

Deixou-se repousar por 12 horas e em seguida fez a neutralização com cloridrato de hidroxilamina (HONH<sub>3</sub>Cl+NaCl) a 12%, filtrando por gravidade em papel de filtro (Whatman 44). Aferidas a um volume final (14ml) as amostras foram então submetidas à espectrofotometria de absorção atômica acoplada ao gerador de vapor frio.

#### **5.6. Determinação de Hg por espectrofotometria de absorção atômica acoplada ao gerador de vapor frio.**

A técnica de geração de vapor frio é específica para a determinação de mercúrio total. O mercúrio é o único elemento metálico cujo vapor existe na forma atômica, na temperatura ambiente, graças à sua alta volatilidade. Assim, o método se baseia na redução, a partir de cloreto estânico ou borohidreto de sódio, da forma iônica (Hg<sup>2+</sup>) à Hg<sup>0</sup> (estado fundamental) e arraste dessa forma na fase vapor até à célula de absorção. Como o elemento já chega à célula de absorção na forma atômica, esta não necessita ser aquecida. Daí, ser chamada a técnica do “vapor frio” (CALIXTO & CURTIUS, 2005).

Nas análises realizadas neste trabalho utilizou-se como agente redutor da reação, Borohidreto de sódio (NaBH<sub>4</sub>) a 0,2% e como acidificante ácido clorídrico (HCl) a 3%. Após a redução do Hg<sup>2+</sup> para a forma de vapor Hg<sup>0</sup> (estado fundamental) ocorre a determinação da absorbância do elemento de acordo com a concentração da amostra, que é dada pela regressão linear entre a absorção e a concentração (μg.L<sup>-1</sup>) a partir da curva de calibração do aparelho (BASTOS, 1997; MALM et al.1999; SEGADÉ & TYSON 2003).

O equipamento utilizado na análise de Hg foi espectrofotômetro de absorção atômica acoplado ao gerador de vapor frio da Perkin-Elmer (FIMS 400). Equipado com um sistema de injeção de fluxo (FIAS) com amostrador automático (AS90) utilizando software (Winlab-Perkin Elmer). De acordo com Bastos (1997) tal equipamento foi desenhado

especificamente para medidas da absorção de radiação pelo Hg. Utiliza-se como fonte de radiação uma lâmpada de mercúrio e como detector, uma fotocélula com sensibilidade máxima 253,7 nm de comprimento de onda. Uma célula cilíndrica de vidro, de 4 cm de diâmetro e 260mm de comprimento fica posicionada entre a lâmpada de Hg e o detector recebendo aquecimento de aproximadamente 50°C. Para evitar condensação de vapores de água dentro da célula.

### 5.7. Controle de qualidade

A contaminação de vidraria, frascos e reagentes é o principal problema de um laboratório (BASTOS, 1997). Para diminuir os riscos de contaminação das amostras por vidrarias e reagentes faz-se um rigoroso controle de qualidade. Toda vidraria utilizada passou por prévia descontaminação, por imersão em solução de ácido nítrico HNO<sub>3</sub> (5%) durante 48 horas e enxaguada com água destilada (BASTOS, 1997).

No procedimento analítico deste trabalho, todas as amostras foram analisadas em duplicata. Utilizando-se brancos para o controle da qualidade analítica. Para maior confiabilidade dos dados produzidos, foi analisado amostras de referência interna de sedimentos liofilizados, cujas concentrações de mercúrio são conhecidas, os resultados obtidos validam a acurácia do método (tabela 01). As amostras certificadas são obtidas da IAEA (International Atomic Energy Agency). Tais práticas garantem a precisão analítica e confiabilidade nos resultados. A calibração do aparelho foi realizada com soluções padrões de Hg nas concentrações de 5, 10, 20, 30 e 50µg.L<sup>-1</sup>.

Tabela 01. Controle de qualidade analítica utilizando amostra de referência IAEA-356.

Amostra referência	Valor de referência		Valor do Lab. de Biogeoquímica (UNIR)	
	Média (µg.g <sup>-1</sup> )	I. C. 95%	Média (µg.g <sup>-1</sup> )	Erro (%)
IAEA-356	7,62	6,74– 7,98	6,95	8

### 5.8 Determinação de matéria orgânica por ignição

A matéria orgânica das amostras de solo e sedimento foi determinada pelo método de Ignição. Pesou-se 5 g da amostras e fez se a oxidação pelo aquecimento a 375°C em forno mufla. A matéria orgânica é estimada pela diferença de peso da seguinte forma:

## 5.9 Análise geoestatística

Os dados de Hg e matéria orgânica foram tratados utilizando procedimentos geoestatísticos. Permitindo a análise de dados e construção de mapas de probabilidades.

### 5.9.1. Fundamentação Teórica da análise espacial a partir de métodos geoestatísticos

Neste trabalho tem se uma preocupação em estudar a variável concentração mercúrio em função da sua distribuição espacial no sedimento de fundo do lago Puruzinho. Até o momento poucos trabalhos têm abordado a distribuição espacial de mercúrio considerando-a como matéria de dependência espacial em ecossistemas amazônicos.

Dependência espacial significa dizer que, o valor em qualquer ponto, depende de algum modo, de sua vizinhança. E pode ser expressa pela equação seguinte:  $[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$ ; onde Z é o valor da variável em estudo e  $(x_i)$  a localização x,y (latitude e longitude respectivamente) (GUERRA, 1998).

A compreensão da análise espacial utilizando geoestatística e algoritmos de Krigagem são fundamentais para o entendimento deste trabalho. Para tanto, se fez uma rápida explicação de tais ferramentas neste capítulo, abordando suas principais características e quais são as possíveis respostas funcionais que se pode extrair a partir destas análises. Parte se do pré-suposto que as variáveis em estudo neste trabalho têm dependência espacial e que os dados espaciais, assim como os processos ambientais, apresentam a característica de continuidade no espaço.

*Percentual de matéria orgânica % = [(peso da amostra (g) – peso após a Ignição) / peso da amostra (g)] x 100.*

A compreensão da distribuição de dados espaciais é preocupação de varias áreas das Ciências para citar: Geologia, Epidemiologia, Agronomia, Biologia. Todas estas áreas têm em comum a necessidade de compreensão do espaço (CAMARA et al. 2004). Porém, cada área do conhecimento leva em consideração problemas específicos na compreensão do espaço.

A epidemiologia se preocupa com a distribuição de um determinado agente etiológico - por exemplo. A Biologia se preocupa com a distribuição de determinadas espécies de animais e vegetais. Não sendo raros os casos, em que, um fenômeno estudado em uma área do conhecimento, tenha explicação em outra.

Câmara et al. (2004) descreve três formas de dados espaciais. Dados que

representam eventos ou padrões pontuais; áreas com contagens e superfícies contínuas.

Dados que representam eventos ou padrões pontuais – representam fenômenos expressos através de ocorrências identificadas como pontos localizados no espaço, denominados processos pontuais. ( $p_1, p_2, \dots$ ) dos eventos de interesse dentro da área de estudo. O termo evento, refere-se a qualquer tipo de fenômeno localizável no espaço que, dentro de nossa escala de investigação, possa estar associado a uma representação pontual. Exemplos incluem: Epidemiologia: residência de casos de doenças; Sociologia: local de ocorrência de ofensas criminais; Demografia: localização de cidades; Biologia: localização de espécies vegetais de interesse (CÂMARA & CARVALHO, 2004).

Áreas com contagens e Taxas agregadas – São dados de levantamentos populacionais, censos e estatística da saúde que originalmente referem - se a indivíduos.

Superfícies contínuas - estimadas a partir de um conjunto de amostras de campo, que podem estar regularmente ou irregularmente distribuídas. Este tipo de superfície é geralmente usado para analisar dados de levantamentos ambientais e, portanto é a análise que será focada neste trabalho. Este tipo de análise adota procedimentos geoestatísticos, cuja hipótese central é o conceito de estacionariedade (CÂMARA & CARVALHO, 2004). A hipótese de estacionariedade é muito importante, pois prevê um modo para obter replicação de um único conjunto de dados correlacionados nos permite calcular parâmetros importantes e fazer conclusão estatística válida (KRIVORUCHKO & GOTWAY, 2004).

## **5.9. 2. Geoestatística**

Enquanto a estatística clássica assume que as amostras são independentes entre si e, portanto há igual probabilidade de ocorrência. Na geoestatística as amostras são dependentes da posição espacial e, portanto não há igual probabilidade de ocorrência para todos os pontos amostrados. A geoestatística aplicada aos dados que foram coletados em pontos cujas coordenadas são conhecidas, dentro da área, possibilita a obtenção da estrutura da variância dos dados (GONÇALVES et al. 2001).

As variáveis geológicas como teores de elementos, quando observadas, apresentam características interessantes: cada observação está associada a um ponto bem definido no espaço (por suas coordenadas  $x, y, z$ ) e existem variações espaciais mais ou menos evidentes no domínio considerado; quando observadas a pequena escala, estas variações apresentam-se aparentemente erráticos, como se fossem totalmente aleatórias; no entanto, pode-se notar um comportamento médio, mais ou menos bem definido para estas variações, ou seja, existe uma certa estrutura espacial que caracteriza a variável considerada (GRIP, 1992). A

estas variáveis damos o nome de variáveis regionalizadas (VR) (LAMDIM, 1998).

A geoestatística utiliza o conceito de funções aleatórias (FA) a fim de construir um modelo para a realidade física, fazendo aparecer estas duas características aparentemente contraditórias: aleatório e estruturado.

Desta forma, o valor ( $z$ ) de uma variável regionalizada, observado no ponto  $x$  (por exemplo, a concentração medida de um elemento-traço em uma amostra),  $z(x)$ , é interpretado como uma função aleatória  $Z(x)$ .  $Z(x)$  é aleatória, pois é uma variável aleatória (VA), mas é função porque  $Z(x)$  e  $Z(x+h)$  - dois valores da VR  $Z(x)$  nos pontos  $x$  e  $x+h$  - não são independentes: existe uma correlação entre eles, que caracteriza a estrutura espacial do fenômeno estudado (GRIP, 1992).

### **5.9.3. Conceitos gerais da geoestatística**

A geoestatística é um conjunto de ferramentas e métodos estatísticos que foram desenvolvidos primeiramente por Georges Matheron na França nos idos 1960. A fundamentação básica da geoestatística está na Teoria das Variáveis Regionalizadas formalizada pelo próprio Matheron em 1961, a partir de estudos práticos desenvolvidos por Daniel G. Krige (KRIVORUCHKO & GOTWAY, 2004).

A metodologia geoestatística permite extrair de uma aparente aleatoriedade dos dados coletados, a partir de uma função de correlação, as características estruturais probabilísticas do fenômeno regionalizado (GUERRA, 1998). O grau de relação entre pontos numa certa direção pode ser expresso pela covariância, sendo os pontos regularmente espaçados por múltiplos inteiros de  $h$  (distância). O vetor  $h$  apresentando-se infinitamente pequeno faz com que a variância seja mínima e a covariância máxima.

Haverá um valor  $h$  para o qual tanto a variância e covariância podem apresentar valores aproximadamente iguais, porém na medida em que,  $h$  aumenta a covariância diminui enquanto a variância aumenta, porque ocorre progressivamente maior independência entre os pontos à distâncias cada vez maiores. A semivariância distribui-se de 0, quando  $h=0$ , até um valor aproximadamente igual a variância das observações, se os dados forem estacionários (LAMDIM & STURARO, 2002). Desta forma utilizando geoestatística é possível estimar os valores de um atributo dentro de um contexto regido por um fenômeno natural com distribuição no espaço e, desse modo, supõe que os valores das variáveis, consideradas como regionalizadas, sejam espacialmente correlacionados (LANDIM & STURARO, 2002; KRIVORUCHKO & GOTWAY, 2004).

#### 5.9.4. Variograma

O variograma teórico ou simplesmente, semivariograma é a ferramenta que mostra a medida do grau de dependência espacial entre as amostras, ao longo de um suporte específico. É usado na determinação dos valores de covariância, entre amostras e entre cada amostra e o ponto a ser estimados, necessários para o cálculo dos ponderadores das amostras utilizadas numa inferência (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989; FELGUEIRAS, 1999).

#### 5.9.5 Parâmetros do variograma

Os parâmetros do semivariograma são utilizados na interpretação do fenômeno regionalizado, são eles: alcance (*range*), patamar (*sill*), efeito pepita (*nugget*) (Fig. 03).

Alcance - O alcance refere-se à distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. O patamar corresponde ao valor do semivariograma para o seu alcance. O efeito pepita demonstra a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. A contribuição é a diferença entre o patamar e o efeito pepita (SPRING, 1998).

Patamar - A variância aumenta com a distância, assim o semivariograma pode ser considerado como uma função inversa da covariância. Quando o semivariograma atinge a variância máxima, pode se dizer que ele atingiu o patamar. O patamar é composto de duas partes: uma descontinuidade na origem e um patamar parcial. O efeito de pepita pode estar relacionado a erros de medidas ou variação em micro - escala.

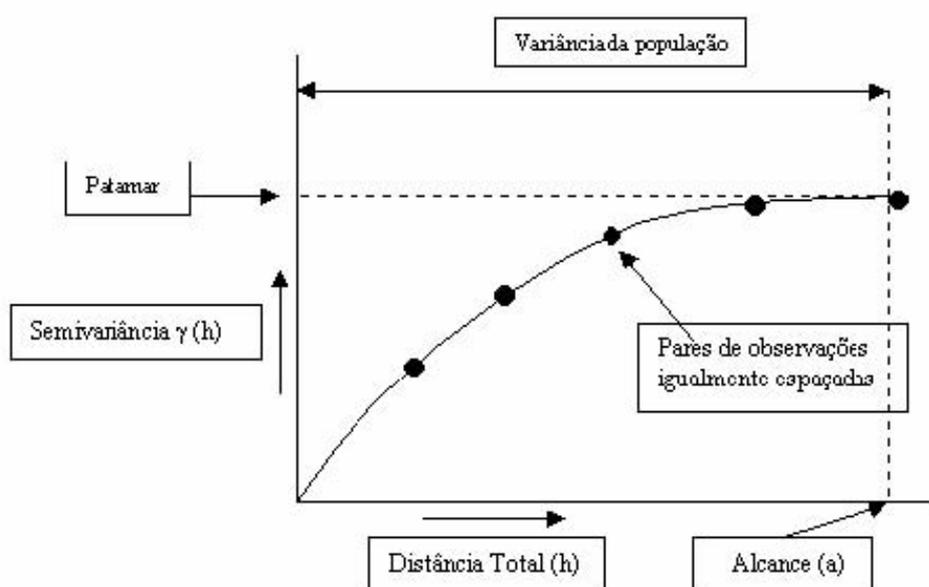


Figura 03. Modelo esférico de um semivariograma ideal (Fonte: GPS global).

### 5.9.6. Anisotropia

A anisotropia, freqüente na natureza, representa a variabilidade ou a distribuição de um fenômeno em uma determinada direção mais intensamente que em outra direção. É possível modelar a variabilidade espacial a partir do estudo da orientação relativa da variável. Assim a dependência espacial pode ocorrer em função da distância (Euclidiana) ou em função da distancia e direção, no primeiro caso a variabilidade espacial é dita isotrópica, no segundo caso é dita anisotrópica. (CAMARGO et al. 2000).

A construção de variogramas em varias direções pode identificar áreas de maior continuidade (Fig. 04). Quando se faz a construção do variograma e não há mudança no alcance diz se que, a distribuição espacial do fenômeno é isotrópica, ou seja, não possui uma direção preferencial. Neste caso, um único modelo é suficiente para descrever a variabilidade espacial do fenômeno em estudo. Ao passo que, modelos que apresentam diferentes alcances em diferentes direções caracterizam uma distribuição do fenômeno de forma anisotrópica.

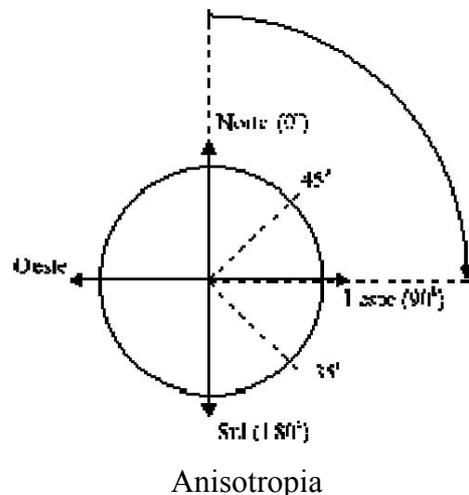


Figura 04. Convenções direcionais utilizadas na Geoestatística

De acordo com o comportamento da anisotropia na modelagem variográfica ela pode ser dita Geométrica e Zonal. A anisotropia dita Geométrica é refletida pelo mesmo Patamar (C) com diferentes Alcances (a) do mesmo modelo. Enquanto que na anisotropia zonal tem se os mesmo alcances (a) e diferentes Patamares (C) (Fig. 05).

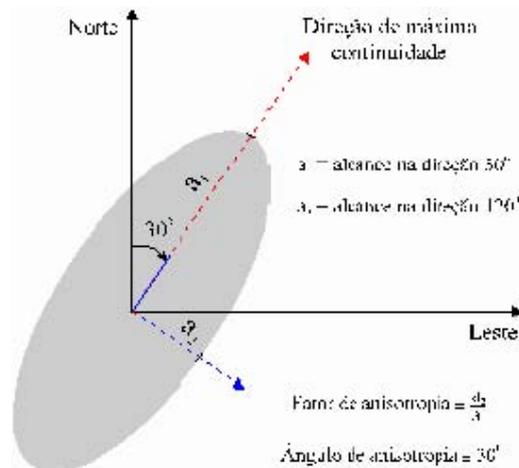


Figura 05. - Representação gráfica da anisotropia geométrica em duas dimensões. FONTE: Spring 1998, Modificada de Deutsch e Journel (1992), p. 24.

A razão entre o alcance na direção de menor continuidade ( $a_2$ ) e o alcance na direção de maior continuidade ( $a_1$ ) definem o fator de anisotropia geométrica. Neste caso, o fator de anisotropia geométrica é sempre menor que a unidade e o ângulo de anisotropia é igual ao ângulo da direção de máxima continuidade (SPRING, 1998).

### 5.9.7. Modelos de variograma e sua aplicação prática

Os modelos variográficos são utilizados para dar respostas quantitativas da variação de um fenômeno regionalizado no espaço (SPRING, 1998). Os modelos teóricos de variogramas podem ser divididos em duas formas: modelos de patamar, denominados modelos transitivos e modelos sem patamar, ou seja, a variância continua aumentando com a distância. Os modelos sem patamar são utilizados para modelar fenômenos que possuem capacidade infinita de dispersão.

Os modelos transitivos mais utilizados são: esférico (Sph), modelo exponencial (Exp) e modelo gaussiano (Gau). Os modelos de variogramas esféricos e exponenciais são os que melhor se aplicam as variáveis indicadoras de contaminação. Entre os modelos sumarizados neste trabalho, a maior ênfase será dada aos modelos exponencial e gaussiano os quais são utilizados neste trabalho para construção dos mapas de indicação das variáveis Hg e matéria orgânica.

### 5.9.8 Modelo efeito pepita

Os modelos de efeito pepita ocorrem quando ocorre uma descontinuidade na origem. Tal modelo pode ser assim definido:

Modelo efeito pepita.

$$(\mathbf{h}) = \begin{cases} 0 & \text{se } |\mathbf{h}| = 0 \\ 1 & \text{se } |\mathbf{h}| \neq 0 \end{cases}$$

Modelo exponencial

$$\text{Exp}(\mathbf{h}) = \begin{cases} 0 & , \quad |\mathbf{h}| = 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{|\mathbf{h}|}{\alpha}\right) & , \quad |\mathbf{h}| \neq 0 \end{cases}$$

Modelo esférico

$$\text{Sph}(\mathbf{h}) = \begin{cases} 0 & , \quad |\mathbf{h}| = 0 \\ 1,5\left(\frac{|\mathbf{h}|}{\alpha}\right) - 0,5\left(\frac{|\mathbf{h}|}{\alpha}\right)^3 & , \quad 0 < |\mathbf{h}| \leq \alpha \\ 1 & , \quad |\mathbf{h}| > \alpha \end{cases}$$

Modelo gaussiano

O modelo gaussiano é um modelo transitivo, muitas vezes usado para modelar fenômenos extremamente contínuos (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989). O que caracteriza este modelo é seu comportamento parabólico próximo à origem e pode ser definido pela seguinte equação:

$$\text{Gau}(\mathbf{h}) = \begin{cases} 0 & , \quad |\mathbf{h}| = 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{|\mathbf{h}|^2}{\alpha}\right) & , \quad |\mathbf{h}| \neq 0 \end{cases}$$

O modelo gaussiano atinge o patamar assintoticamente e o parâmetro  $\alpha$  (alcance ou range) é definido como o alcance prático ou distância na qual o valor do modelo é 95% do patamar (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989).

### 5.9.9. Modelo potência

O modelo potência não é um modelo transitivo, portanto não atinge o patamar. Em geral, este tipo de modelo é utilizado para modelar fenômenos com capacidade infinita de dispersão.

A definição matemática do modelo de potencia é como se segue:

$$\text{Pot}(|\mathbf{h}|) = \begin{cases} 0 & , |\mathbf{h}|=0 \\ c \cdot |\mathbf{h}|^e & , |\mathbf{h}| \neq 0 \end{cases}$$

Onde:

$c$  é o coeficiente de declividade,

$e$  é o expoente

### 5.9.10. Krigagem

Krigagem é o nome dado a uma classe de técnicas estatísticas para ótima predição do espaço (LANDIM, 1998). É entendida como uma série de técnicas de análise de regressão que procura minimizar a variância estimada a partir de um modelo prévio, leva em conta a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço. São chamados preditores de Krigagem ótimo, pois são estatisticamente não - enviesando (best linear unbiased estimator, BLUE), a média, o valor predito e o verdadeiro valor coincidem.

A variância da krigagem é utilizada para definir intervalos de confiança do tipo gaussiano (LANDIM & STURARO, 2002). Desenvolvida originalmente em 1959 em estudos meteorológicos, mas em 1963 foi adaptado à indústria de mineração para ajudar os engenheiros a tornar mais lucrativo o processo de exploração. Desde então, vem sendo utilizada em muitas disciplinas, inclusive Agronomia, ciências ambientais e da saúde (KRIVORUCHKO & GOTWAY, 2004).

O método de Krigagem usa o semivariograma, uma função da distância e direção que separam dois locais, para quantificar a autocorrelação com o espaço nos dados. A função semivariograma é usada para definir os pesos que determinam a contribuição de cada conjunto de dados na predição de valores novos nos locais não amostrados. Este é outro modo no qual krigagem difere dos métodos determinísticos: Ao invés de assumir uma forma funcional para os pesos (por exemplo, distância inversa) os dados são usados

para determinar esta forma pelo semivariograma (KRIVORUCHKO & GOTWAY, 2004).

### **5.9.11 Métodos de krigagem**

Para o processo de krigagem é necessária a quantificação da dependência espacial. Uma vez quantificada a dependência espacial, pode se utilizar métodos de interpolação entre as observações, permitindo o mapeamento da variável Hg, a partir do algoritmo de krigagem. Esta técnica permite a estimativa de valores de forma não tendenciosa e com variância mínima (GONÇALVES et al. 2001).

Os algoritmos de krigagem podem ser ditos predictores lineares e não lineares. A krigagem simples, krigagem Ordinária, e krigagem Universal são todos predictores lineares, isso implica em dizer que em qualquer local é obtido como média ponderada de dados vizinho. Enquanto que a Krigagem indicativa é dita não linear. A diferença entre estes três modelos está nas suposições sobre o valor médio da variável em estudo (KRIVORUCHKO & GOTWAY, 2004).

A krigagem simples requer um valor médio conhecido (ou superfície média) como contribuição para o modelo, enquanto krigagem ordinária assume uma constante, mas desconhece a média e estimativa o valor médio como uma constante na vizinhança.

Desta forma estes modelos são modelos de aproximação de uma superfície espacial com desvios na constante média onde os desvios estão espacialmente correlacionados. Embora a suposição de uma constante média seja simples, as superfícies que podem ser modeladas podem ser complexas.

A Krigagem Universal modela a partir de médias locais como uma soma de funções polinomiais de baixa ordem e então estima os coeficientes deste modelo. Este tipo de modelo é apropriado quando houver tendências fortes ou gradientes nas medidas (por exemplo, como com temperatura onde há um aumento sistemático de norte para sul) (LOURENÇO & LAMDIM. 2001).

Se os dados seguem uma distribuição Gaussiana o melhor estimador é o linear. Para distribuições não Gaussianas o melhor predictor é um predictor não linear. Assim, krigagem simples, ordinária e universal só estão ótimos para dados de distribuição Gaussiana (KRIVORUCHKO & GOTWAY, 2004). Enquanto que para dados com distribuição não gaussianas o melhor predictor e a krigagem indicativa (FELGUEIRAS, 1999).

### **5.9.12 Krigagem por indicação**

A krigagem por indicação geralmente é utilizada para determinar um valor médio em um local não amostrado. Podendo também utilizar-se de outros valores como base para as estimativas de valores abaixo ou acima de determinado nível de corte (LAMDIM & STURARO, 2002).

A krigagem indicativa consiste basicamente na aplicação da krigagem ordinária para a variável transformada, ou seja, a variável resultante da aplicação da função não linear, chamada de codificação por indicação  $f(z) = 0$  ou  $1$  que transforma cada valor do conjunto amostral  $Z(u)$  em valores por indicação (FELGUEIRAS, 1999). Para (LANDIM & STURARO, 2002) o conceito da transformação indicativa é dos mais simples, visto que os variogramas indicativos são os mais fáceis de modelar. Esta técnica tem como principal vantagem ser não paramétrica, não requerendo um conhecimento prévio da distribuição para a variável aleatória (VA).

A krigagem por indicação possibilita a estimativa da função de distribuição da VA, permitindo a determinação de incertezas e a inferência de valores do atributo, em localizações espaciais não amostradas. Diferentemente da krigagem linear, o procedimento de krigagem por indicação modela atributos com alta variabilidade espacial, sem a necessidade de se ignorar os dados amostrados cujos valores estão muito distantes de uma tendência (FELGUEIRAS, 1999).

## **5.10 Tratamento com estatística clássica**

Procedimentos de estatística clássica também foram adotados neste trabalho para análise descritiva das variáveis em estudo. O software utilizado foi o Statistic 6.0.

### **5.10.1 Análise exploratória dos dados**

A análise exploratória foi adotada como processo precedente a análise geoestatística, tais ferramentas são essenciais ao desenvolvimento das etapas da modelagem espacial, em geral sensível ao tipo de distribuição, à presença de valores extremos (outliers) e à ausência de estacionariedade. Desta forma ferramentas gráficas como histogramas e Box – plots foram adotadas na investigação de valores extremos.

### **5.10.2 Análise Geoestatística dos dados Hg e matéria orgânica**

Após a análise exploratória dos dados procedeu-se a análise geoestatística, utilizando o módulo “*geoestatistical wizard*” do software Arcgis 9.0, fez-se a construção e

análise dos modelos variográficos. Análise de anisotropia, efeito pepita e, estacionariedade também foram considerados nesta fase.

A entrada de dados foi organizada no software Arcgis 9.0<sup>®</sup> de forma a receber fontes de dados raster (Imagem RGB LandSat TM 7), dados de GPS coletados em campo e dados vetoriais obtidos através da digitalização de imagens.

A análise variográfica consistiu no cálculo de semivariogramas experimentais para as variáveis, matéria orgânica e Hg considerando os períodos sazonais (seca e cheia). O Semivariograma experimental expressa o comportamento espacial da variável regionalizada ou de seus resíduos e demonstra: a) O tamanho da zona de influência em torno de uma amostra; b) a anisotropia; e c) a continuidade ou não na origem.

Para cada semivariograma levantado, escolheu - se valores adequados para os parâmetros: número de *lags* (*lag* refere-se a uma distância pré-definida, a qual é utilizada no cálculo do semivariograma), incremento e tolerâncias angulares. A etapa seguinte consistiu em validar os modelos teóricos escolhidos e executar a krigagem.

### **5.10.3. Validação do modelo**

A validação do modelo variográfico é de suma importância na modelagem Geoestatística, pois do bom ajuste do variograma depende a predição dos valores obtidos na Krigagem. Neste trabalho fez-se a reestimação dos valores conhecidos através dos parâmetros ajustados ao modelo do semivariográfico. Antes de executar a krigagem verificou se, os resultados da validação para identificar problemas como “outliers” como proposto por (DRUCK et al. 2004).

### **5.10.4 Krigagem Por Indicação**

A krigagem por indicação para os dados de Hg e matéria orgânica, foi realizada a partir da adoção de valores de corte. Definiu-se então a partir do módulo “Geoestatistical Wizard” do ARCGIS 9.0 um modelo teórico de semivariograma para representar a variabilidade espacial da variável por indicação.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Caracterização limnológica das águas do lago Puruzinho

Os dados limnológicas das águas do lago Puruzinho nos períodos de cheia e seca estão sumarizados na tabela 02 e 03 respectivamente.

O lago Puruzinho apresentou no período de cheia condutividade variando entre 7,5 a 11  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  esta característica é típica de rio de água preta. Enquanto que no período de seca a condutividade elétrica da água variou entre 12,70 e 16,10  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  característica de rio de água clara.

Tabela 02. Estatística descritiva dos parâmetros limnológicos no período de cheia.

Parâmetros	N	Média	Mínimo	Máximo	DP
pH	29	4,97	4,66	5,85	0,23
OD (mg/L)	29	3,40	2,69	3,82	0,31
Temp. (°C)	29	29,81	28,00	32,30	1,32
Prof. (m)	29	11,02	8,00	12,50	0,92
Cond. ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	29	8,36	7,50	11,00	0,68

OD = oxigênio dissolvido, Temp. (°C) = temperatura da água, Prof. (m) = profundidade, Cond. ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) = condutividade elétrica da água. N= número de amostras. DP= desvio padrão.

Tabela 03. Estatística descritiva dos parâmetros limnológicos no período de seca.

Parâmetros	N	Média	Mínimo	Máximo	DP
pH	30	5,48	5,00	6,70	0,32
OD (mg/L)	30	5,42	4,79	6,50	0,49
Temp. da água (°C)	30	30,85	28,70	35,70	1,57
Prof. (m)	30	0,89	0,30	2,30	0,57
Cond. ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	30	14,27	12,70	16,10	0,63

OD = oxigênio dissolvido, Temp.(°C) = temperatura da água, Prof. (m) = profundidade, Cond. ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) = condutividade elétrica da água. . N= número de amostras. DP= desvio padrão.

Os gráficos das (Fig. 06 e Fig. 07) são os resultados da verificação de tendência nos valores de condutividade elétrica da água. Os pontos assinalados em verde são os

valores de condutividade, projetados no sentido longitudinal do lago. Os pontos vermelhos são localizações geográficas de cada ponto coletado. Observa-se no período de cheia a tendência no aumento da condutividade em direção ao rio Madeira (Fig. 06).

O período de seca demonstra uma tendência ainda mais acentuada na condutividade, porém em sentido contrário ao período de cheia (Fig. 07).

Durante o período de cheia a tendência na condutividade se dá devido a áreas de influência formadas pelo rio Madeira. Neste período, o rio Madeira causa um freiamento das partículas em suspensão que transportam íons adsorvidos. Esta área de influência varia conforme o regime fluviométrico do rio Madeira.

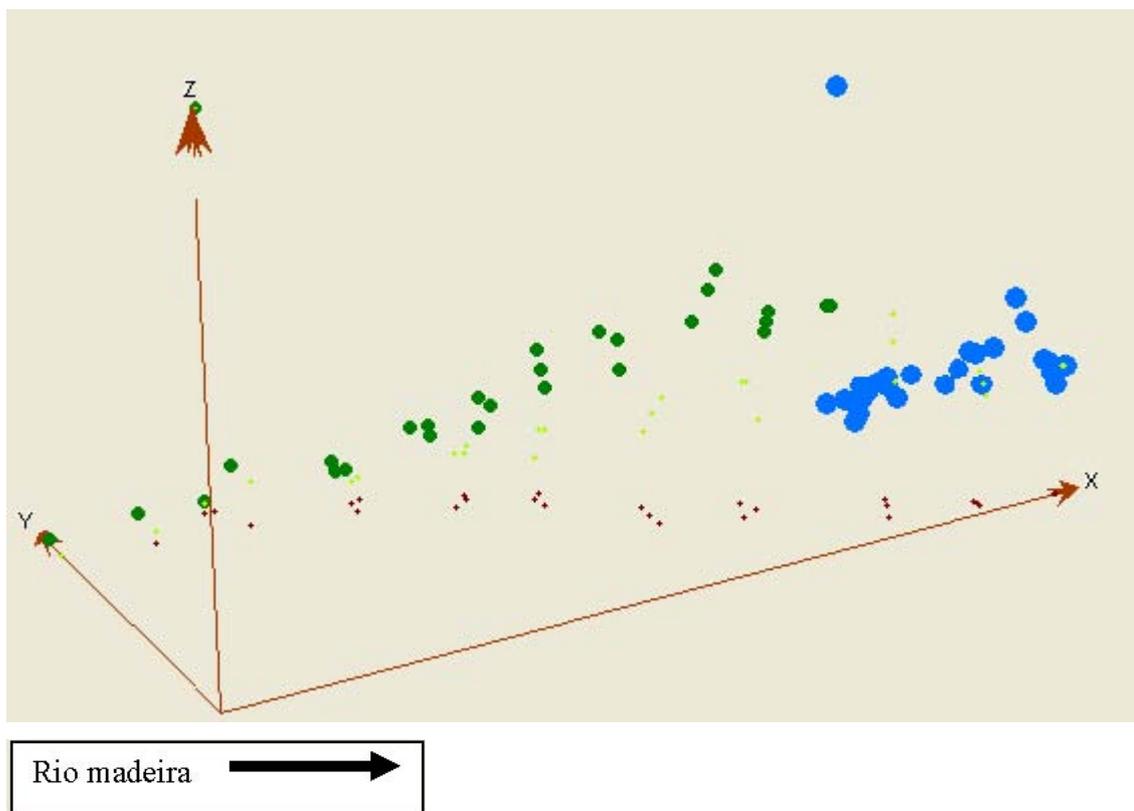


Figura 06. Análise de tendência dos valores de condutividade no período de cheia.

Durante o período de cheia, no espaço de tempo em que foi realizada a amostragem, a parte mais inferior do lago (mais próxima ao rio Madeira) era a área que demonstrava maior influência das águas do rio Madeira (Fig. 06).

Durante o período de seca não ocorre influência direta das águas do rio Madeira, contudo, é o período em que se observa maior condutividade média do lago  $14,27\mu\text{S. cm}^{-1}$ . Nesta época do ano, o que contribui para o aumento na condutividade é a ressuspensão do sedimento e a ação das águas do igarapé a montante do lago que estão em fase de reescavação das margens dos rios. Tem se então, neste período grandes quantidades de

materiais em suspensão, com predominância de materiais inorgânicos.

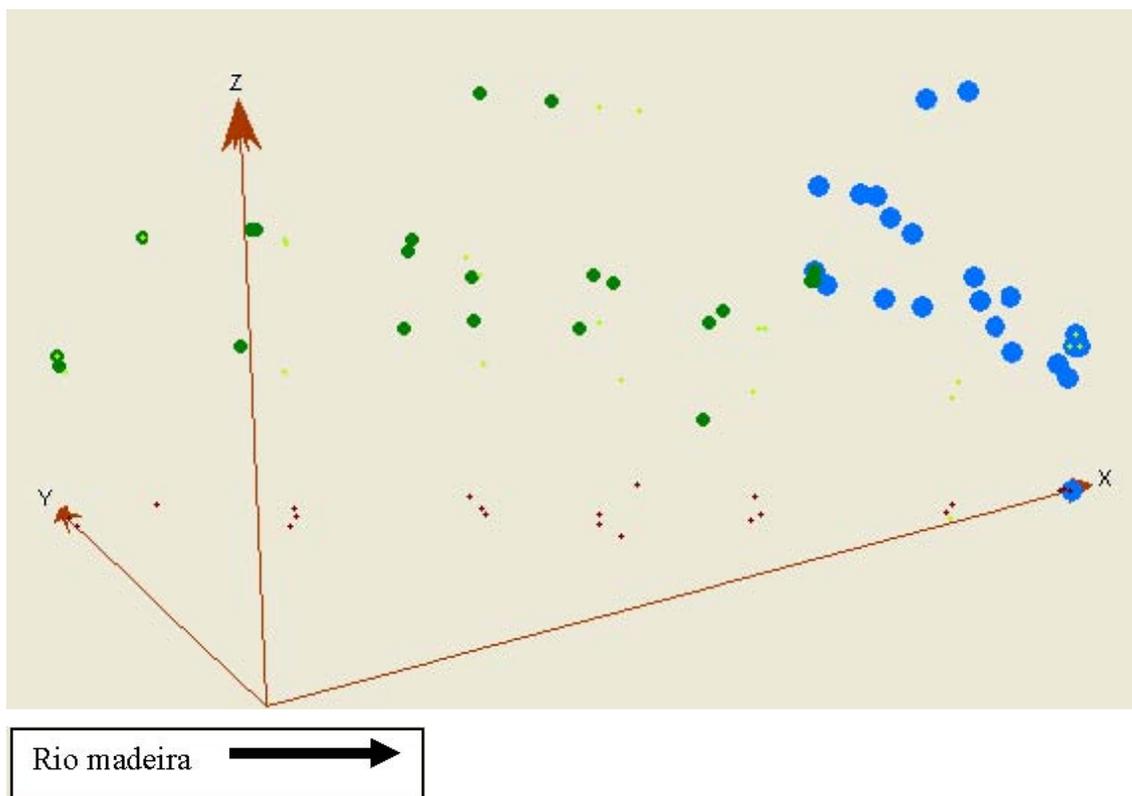


Figura 07. Análise de tendência dos valores de condutividade no período de Seca.

Os valores de pH também se alteram entre o período de cheia e seca. Durante o período de cheia as águas do lago caracterizam pelo baixo pH, variando entre 4,66 e 5,85; portanto mais ácidas do que o período de seca que variou entre 5 e 6,70. A maior acidez no período de cheia pode estar relacionada com entrada de material orgânico de origem alóctone e compostos de substâncias húmicas.

Os valores de oxigênio dissolvido apresentaram média diferente para o período de cheia e seca. Durante o período de cheia a profundidade média do lago é de 10m, enquanto que durante o período de seca a profundidade média é de 1,0m. Esta ampla variação na profundidade entre período de cheia e seca tem importante papel na dinâmica do oxigênio dissolvido.

No período de cheia há uma maior entrada de matéria orgânica que, consome o oxigênio dissolvido presente na água no processo de decomposição aeróbica. Neste período a decomposição anaeróbica da matéria orgânica também ocorre, uma vez que no momento da amostragem o sedimento coletado tinha odor característico de matéria orgânica em decomposição via processos anaeróbicos e a partir de 3,20m de profundidade constatava-se a completa ausência de oxigênio dissolvido.

Durante o período de seca a profundidade varia entre 0,30 – 2,10m e há movimentação da coluna de água. Durante o período de seca a matéria orgânica já passou pelo processo de decomposição ou já foi incorporado ao sedimento de fundo, aumentando assim a concentração de oxigênio dissolvido na coluna de água.

## 6.2 Estatística descritiva das variáveis

As variáveis utilizadas na análise geoestatística são: matéria orgânica e Hg. Entretanto, fez ao mesmo tempo testes de Shapiro Wilks para checar normalidade dos dados que estão sumarizados na tabela (04).

Observa – se que as variáveis Hg, matéria orgânica não obedecem a uma distribuição normal, tanto para o período de seca quanto para o período de cheia.

Tabela 04. Teste W de Shapiro Wilks para verificar normalidade dos dados.

Variáveis	Período de cheia			Período de seca		
	N	W	P	N	W	P*
Hg	29	0,978	0,801	30	0,945	0,121
M.O. (%)	29	0,960	0,346	30	0,934	0,060

\*Valor menor que 0,05 para demonstrar normalidade dos dados.

Uma vez que, a análise através da Krigagem por indicação não requer a condição de normalidade, pois, tal interpolador é do tipo não linear. Emprega – se o algoritmo da KI para a interpolação sem realizar qualquer tipo de transformação para Hg e matéria orgânica. Procederam-se ainda estatística descritiva univariada de Hg e matéria orgânica no lago Puruzinho (Tabela 05). Nesta tabela destaca-se a média para Hg no período de cheia  $84,24 \mu\text{g.Kg}^{-1}$  menor que a mediana  $87,96 \mu\text{g.Kg}^{-1}$ . Isto indica que há uma distribuição de valores acima da média na população amostrada, enquanto que a mediana do período de seca  $67,13 \mu\text{g.Kg}^{-1}$  menor do que a média  $74,51 \mu\text{g.Kg}^{-1}$  do mesmo período. Para matéria orgânica a média e mediana são muito próximos os valores caracterizando bem o centro de distribuição dos dados.

Tabela 05. Estatística univariada para Hg e matéria orgânica nos períodos de seca e cheia no lago Puruzinho

Variável	Matéria orgânica (%)		Mercúrio ( $\mu\text{g.Kg}^{-1}$ )	
	Seca	Cheia	Seca	Cheia
Período de coleta	Seca	Cheia	Seca	Cheia
N amostral	30	29	30	29
Média	8,40	7,88	71,51	84,24
Variância	14,185	6,50	822,29	475,49
Desvio Padrão	3,76	2,55	28,67	21,80
Coeficiente de variação	0,44	0,32	0,41	0,26
Coef. assimetria	0,738	0,18	0,07	-0,06
Curtose	- 0,096	- 0,07	0,167	- 0,06
Mediana	8,11	8,20	87,96	67,13
Máximo	17,95	14,34	146,40	129,08
Mínimo	3,49	3,42	32,19	44,02

### 6.3 Análise Geoestatística dos dados de Hg e matéria orgânica período de cheia

A construção de variogramas para diferentes níveis de corte é importante para conhecer a distância e a direção em que a variável em estudo se comporta como variável regionalizada. Desta forma, observa-se que as variáveis Hg e matéria orgânica possuem um campo aleatório e um campo regionalizado. Conhecer este campo regionalizado é importante para construção de mapas de probabilidade. O mapa de probabilidade expressa, em termos de probabilidades o risco ou a chance de se encontrar um determinado valor de interesse.

A (tabela 06) sumariza os valores dos parâmetros bem como os modelos utilizados no processo de ajuste dos variogramas para Hg e matéria orgânica no período de cheia. Diferentes curvas de distribuição de frequência acumulada (cdf) foram utilizadas no processo de construção dos mapas de probabilidades.

Tabela 06. Parâmetros do modelo variográfico e valores de corte pra obtenção dos mapas de probabilidade, por meio de KI, no período de cheia.

Modelo	Variável	Cdf	Patamar	Efeito pepita	Alcance metros
Gausiano	Hg	>87,96	0,35	0,10	2924
Gausiano	Hg	>67,13	0,20	0,11	3680
Gausiano	Hg	>84,00	0,30	0,09	2900
Exponencial	MO	>8%	0,21	0,13	2130

O modelo variográfico ajustado para Hg no período de cheia determinando como nível de (cdf > 87,96  $\mu\text{g.Kg}^{-1}$ ), é do tipo gaussiano atingindo patamar (C+Co) próximo ao valor da semivariância. O alcance máximo que indica a maior distância em que ocorre a correlação espacial foi 2924m. A presença de efeito pepita (0.098) indica a variação dos dados em distâncias menores que o espaço amostrado. A concentração 87,96  $\mu\text{gHg.Kg}^{-1}$  representa a concentração média das amostras obtidas no período de cheia.

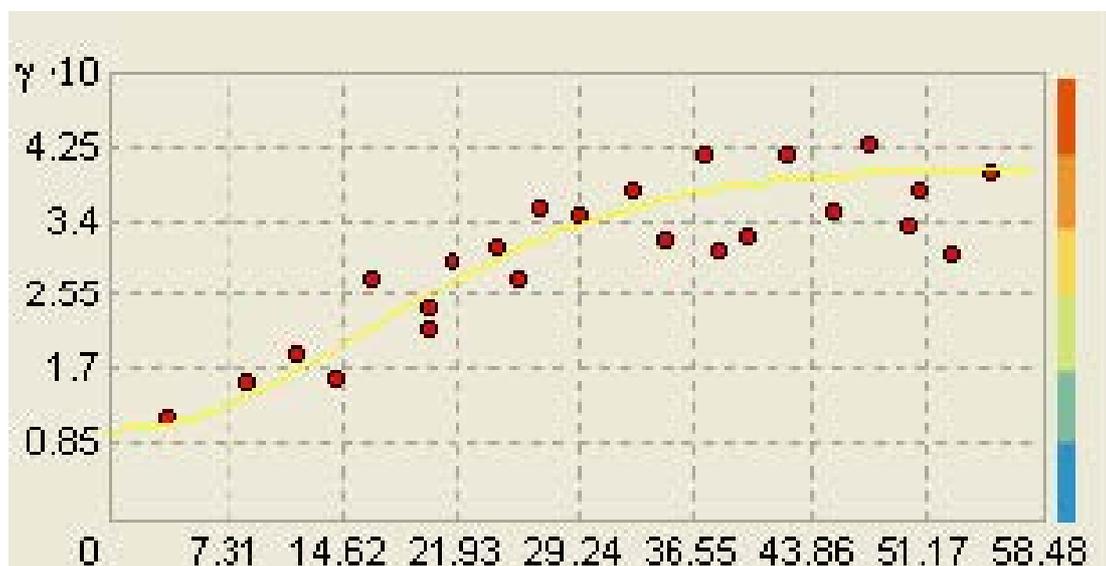


Figura 08. Modelo gaussiano para cdf > 87,96  $\mu\text{g.Kg}^{-1}$  no sedimento de fundo do lago Puruzinho, período de cheia. (distância =  $h \cdot 10^2$  m).

A escolha do nível de corte cdf > 67,13  $\mu\text{g.Kg}^{-1}$  para produzir mapas de indicação das concentrações de Hg em sedimentos de fundo do lago Puruzinho no período de cheia deve se ao fato de que este valor é o mesmo valor da mediana de Hg no período de seca.

Desta forma é possível estimar a probabilidade de encontrar áreas no lago, cujo valor seria maior do que o valor da mediana encontrada no período de seca. Permitindo avaliar a retração e a ampliação das áreas de concentração de Hg.

O modelo variográfico construído para  $cdf > 67,13 \mu\text{g.Kg}^{-1}$  de Hg está representado na figura 09. Observa-se que o modelo é do tipo gaussiano, atingindo alcance máximo de 3680m, o crescimento da semivariância é menos assintótico do que o modelo cujo nível de corte é  $87,96 \mu\text{g.Kg}^{-1}$  de Hg. O modelo mostrado na (Fig. 09) indica haver uma menor semivariância em função da distância. Ou seja, à medida que, aumenta a distância, a probabilidade de ocorrência do valor de corte pode ser encontrada em uma maior área do que no modelo da (Fig. 08), cujo valor de corte, é a mediana dos dados para Hg no período de cheia.

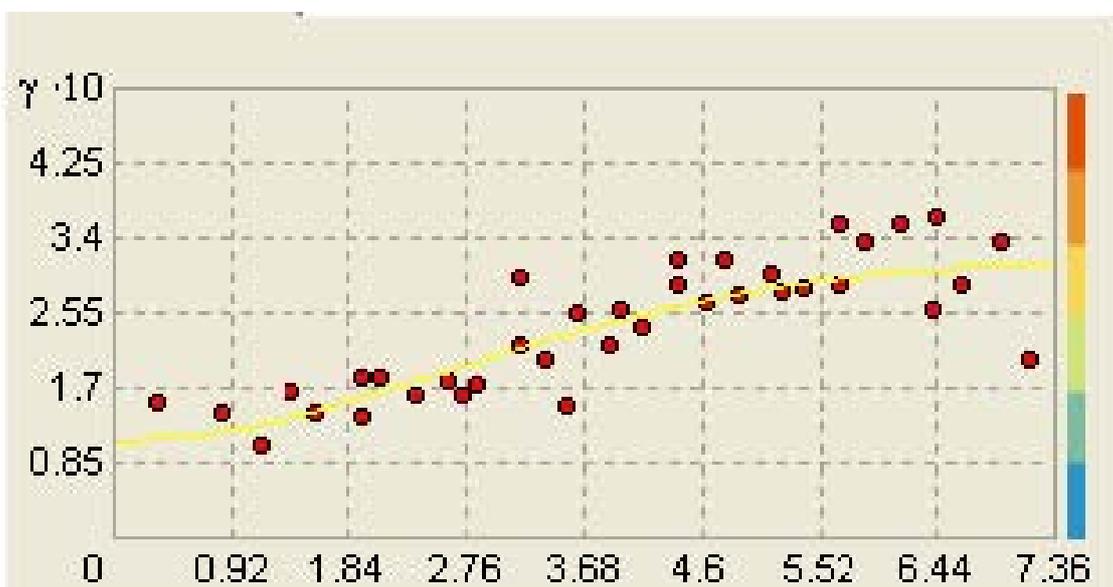


Figura 09. Modelo gaussiano para níveis de corte  $>67,13 \mu\text{g.Hg.Kg}^{-1}$  no sedimento de fundo do lago Puruzinho, período de cheia. (distância =  $h \cdot 10^3$  m).

A (Fig. 10) mostra o mapa de indicação de probabilidade para valores maiores que  $87,96 \mu\text{g.Kg}^{-1}$  no sedimento de fundo do lago Puruzinho. Observa-se na (Fig. 10) uma área onde há a probabilidade entre 80 – 100 % de se encontrar um valor maior do que  $87,96 \mu\text{g.Kg}^{-1}$ . Na área próxima a saída do lago, ou seja, em direção ao furo que liga o lago ao rio Madeira, a chance de encontrar um valor maior que  $87,96 \mu\text{g.Kg}^{-1}$  situa-se entre 10 – 40 %. Existindo uma área intermediária onde a probabilidade de se encontrar um valor maior que  $87,96 \mu\text{g.Kg}^{-1}$  é de 40 – 60%.

Desta forma é possível observar três zonas de concentração de Hg no lago Puruzinho. A parte central do lago onde se tem a indicação das maiores probabilidades (80 – 100%). A zona próxima ao furo, ou seja, a saída do lago em direção ao rio madeira; onde observa - se a menor probabilidade de ocorrência de Hg (10 – 40%) e, uma terceira zona de concentração onde ocorrem as concentrações intermediárias entre (40 – 80%) de probabilidades de ocorrer valores maiores que  $87,96 \mu\text{g. kg}^{-1}$ .

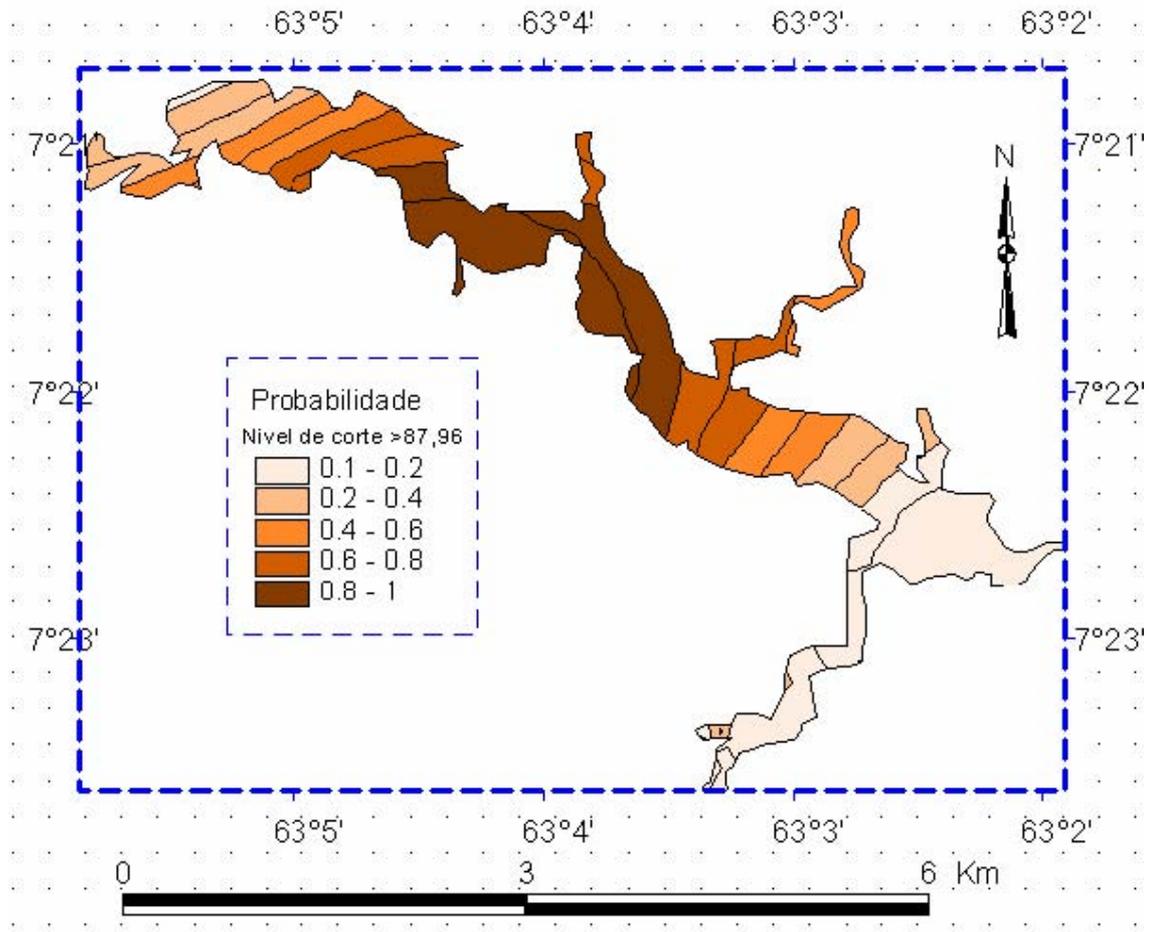


Figura 10. Diagrama de probabilidade utilizando Krigagem indicativa para níveis de corte  $\text{cdf} > 87,96 \mu\text{gHg.Kg}^{-1}$  período de cheia.

O mesmo padrão em relação à formação das três áreas de probabilidade pode ser observado para o mapa de indicação adotando como nível de corte  $\text{cdf} > 67,13 \mu\text{g.Kg}^{-1}$  (Fig.11). Porém a zona de concentração amplia significativamente, o que já demonstrava o variograma para este nível de corte, uma vez que seu alcance é maior do que o modelo variográfico para nível de corte  $\text{cdf} > 87,96 \mu\text{g.Kg}^{-1}$ . Considerando o nível de corte maior que  $67,13 \mu\text{g.Kg}^{-1}$  de Hg, 80% da área total mapeada apresenta entre 80 – 100% a

probabilidade de ocorrer tal valor de concentração.

#### 6.4. Validação cruzada para Hg e matéria orgânica

A validação cruzada é uma forma de medir a incerteza da predição dos dados. A (tabela 07) sumariza os parâmetros da validação cruzada utilizando algoritmo krigagem indicativa no período de cheia. O valor médio da predição do erro próximo de zero, indica que os valores são não enviesados. Igual informação pode ser obtida analisando a raiz quadrada do erro padronizado. Portanto, o erro médio padronizado é maior que a raiz média quadrada do erro predito. Isto demonstra o que a variabilidade dos dados é ligeiramente superestimada. A raiz média quadrada do erro predito é a medida da predição dos dados de um ponto observado e determina a média para o intervalo de confiança. Finalmente, a raiz média quadrada padronizada próximo de um (1) indica o bom ajuste entre os pontos observados e pontos estimados.

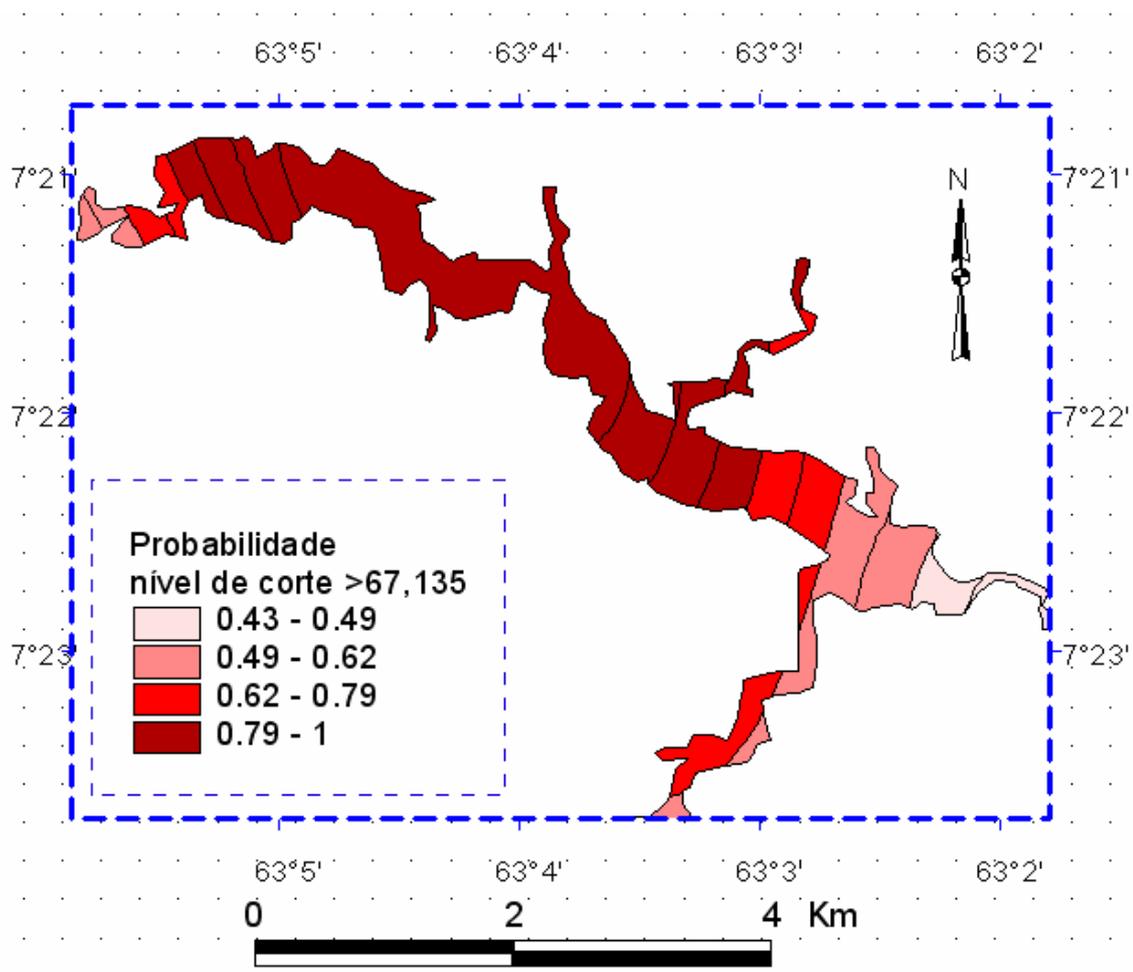


Figura 11. Diagrama de probabilidade utilizando Krigagem indicativa para níveis de corte  $cdf > 67,13 \mu\text{gHg.Kg}^{-1}$  no período de cheia.

Tabela 07. Validação cruzada para os modelos ajustados para Hg no sedimento de fundo do lago Puruzinho, período de cheia.

Parâmetros da validação cruzada	cdf >84,24 $\mu\text{gHg.Kg}^{-1}$	cdf >87,93 $\mu\text{gHg.Kg}^{-1}$	cdf >67,13 $\mu\text{gHg.Kg}^{-1}$
Média	0,010	0.013	0,008
Raíz media quadrada	0,370	0.376	0,411
Erro médio padrão	0,3475	0.3546	0,352
Média padronizada	0,01995	0.02376	0,009
Raíz média quadrada padronizada	1,047	1.036	1,133

### 6.5. Distribuição espacial de matéria orgânica no período de cheia

Os sedimentos que tem na sua composição entre 8 – 10 % de matéria orgânica são considerados sedimentos orgânicos (ESTEVES, 1998). O valor 8% de matéria orgânica presente no sedimento foi adotado como nível de corte. Desta forma os mapas de indicação para matéria orgânica representam à probabilidade de se obter no sedimento valores superiores a 8% de matéria orgânica.

A (Fig.12) mostra o variograma para matéria orgânica utilizando como nível de corte  $\text{cdf} > 8,0\%$  de matéria orgânica. O modelo ajustado foi o modelo exponencial (Fig. 12). Tal modelo apresenta um crescimento rápido demonstrando uma certa continuidade nos dados, porém foi escolhido devido ao seu melhor ajuste. A construção do mapa de probabilidade se deu a partir da interpolação por KI. O alcance máximo foi 2130m. Há efeitos de variação em micro escala isso pode ser observado no efeito pepita 130. Indicando ocorrer variações nas concentrações de matéria orgânica em distâncias menores do que o espaço amostrado.

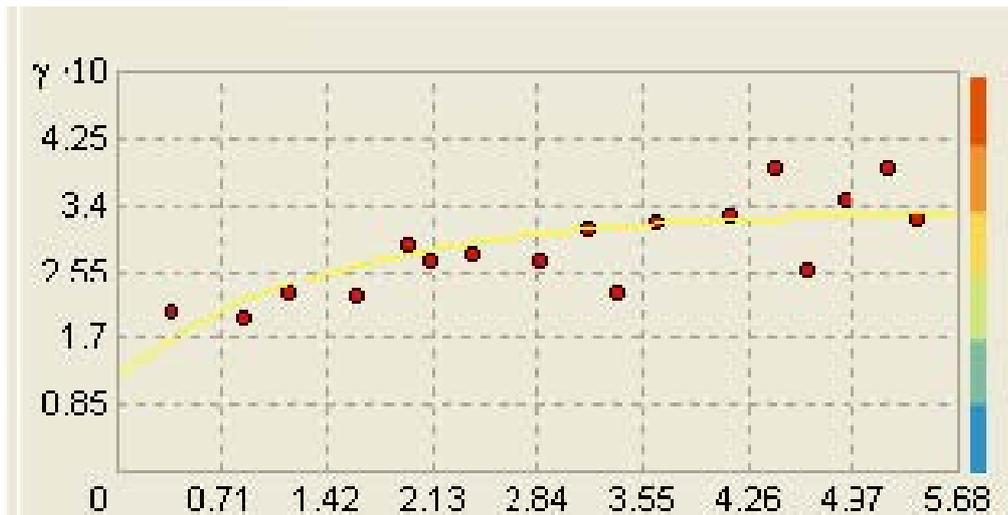


Figura 12. Modelo exponencial para distribuição de matéria orgânica em sedimentos de fundo do lago Puruzinho, níveis de corte cdf >8%. (distância =  $h \cdot 10^3$  m).

O mapa de probabilidade indica áreas onde tem se a chance de ocorrer valores maiores que 8% de matéria orgânica (Fig. 13). Observa-se no mapa de probabilidade uma área onde a chance de se encontrar um valor maior que 8% de matéria, esta entre 76 - 93%. A exemplo do mapa para a distribuição de Hg, o mapa de probabilidade para matéria orgânica apresenta as maiores concentrações na parte central do lago. Isso demonstra que esta área, além de ser área de acumulação de matéria orgânica também é área de concentração de Hg no sedimento.

A área mais próxima à saída do lago apresenta as menores probabilidades de concentração de matéria orgânica com destaque para a margem direita onde a probabilidade de ocorrer um valor menor que 8% de matéria orgânica é menor ou igual a 25%.

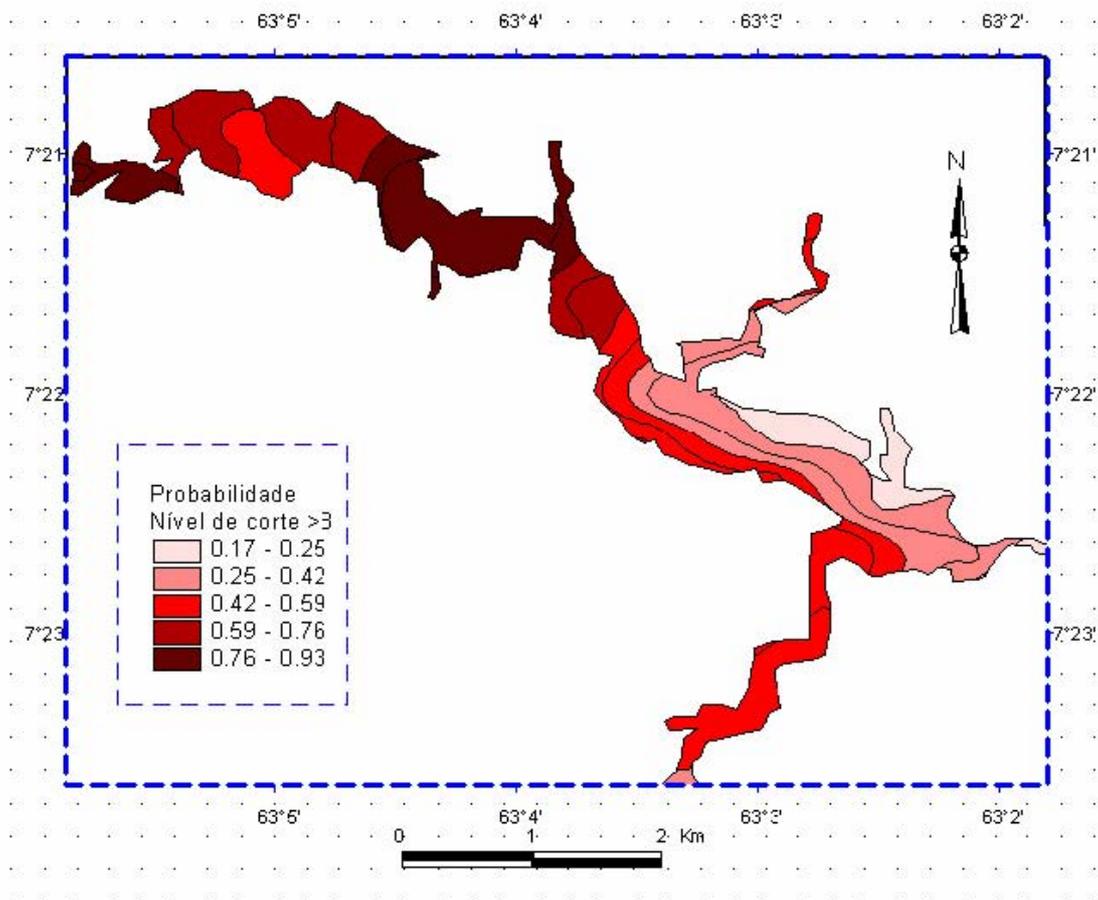


Figura 13. Diagrama de probabilidade para concentração de matéria orgânica durante o período de cheia no sedimento de fundo do lago Puruzinho, nível de corte cdf > 8%.

### 6.6 Validação cruzada para matéria orgânica

A validação cruzada (tabela 08) para os dados de matéria orgânica período de cheia demonstra o bom ajuste do modelo observado pelo valor da raiz quadrada média padronizada. Os dados mostraram se não enviesados, pois a média (-0,01021) está próxima a zero. A superestimaram da predição também é bem pequena, uma vez que a raiz quadrada da média é ligeiramente superior ao erro padronizado da média.

Tabela 08. Validação cruzada dos dados de matéria orgânica.

Parâmetros da validação cruzada	Nível de corte > 8%
Média	-0,010
Raíz media quadrada	0,473
Erro médio padrão	0,463
Média padronizada	-0,014
Raíz média quadrada padronizada	1,021

### 6.7. Análise Geoestatística dos dados de Hg e matéria orgânica no período de seca.

Os modelos variográficos ajustados para variável mercúrio no período de seca estão sumarizados na tabela 09. Após construir modelos para níveis de corte  $cdf > 67,13 \mu\text{g.Kg}^{-1}$ , representando o valor da mediana;  $cdf > 71,15 \mu\text{g.Kg}^{-1}$  representando a média; e  $84,24 \mu\text{g.Kg}^{-1}$  representando a média do período de cheia. Escolheu se o modelo gaussiano e nível de corte maior que a mediana, portanto  $cdf > 67,13 \mu\text{g.Kg}^{-1}$ .

Tabela 09. Parâmetros do modelo variográfico e valores de corte pra obtenção dos mapas de probabilidade, por meio de KI, no período de seca.

Modelo	Variável	Cdf	Patamar	Efeito pepita	Alcance metros
Gaussiano	Hg	>84,24	0,21	0,04	2250
Gaussiano	Hg	>67,13	0,39	0,09	3960
Gaussiano	Hg	>71,15	0,43	0,02	2900
Gaussiano	MO	>8%	0,45	0,05	4350

O modelo gaussiano ajustado para o nível de corte é igual a mediana (Fig. 14). O variograma experimental demonstra correlação espacial a uma distância máxima de 3960 m. A direção é orientada em relação ao fluxo do lago Puruzinho. O variograma apresentou um patamar máximo 392 e efeito pepita 91.

No mapa de probabilidade obtido a partir do modelo gaussiano para valores maiores que  $67,135 \mu\text{g.Kg}^{-1}$  (Fig. 15), estão representadas as áreas onde, observa se que, as maiores indicações de probabilidades de se obter um valor maior que  $67,13 \mu\text{g.Kg}^{-1}$  de Hg esta localizada na parte central e superior do lago. As menores probabilidades estão nas áreas próximas à saída do lago, ou seja, na parte mais inferior.

Este padrão de distribuição de Hg no sedimento de fundo do lago é o mesmo padrão observado no período de cheia. Contudo, durante o período de cheia a área onde ocorrem as maiores chances de se obter um valor maior do que  $67,13 \mu\text{g.Hg.Kg}^{-1}$  são maiores do que a área obtida no período de seca. Observa – se que há uma retração nas áreas de concentração de Hg no período de seca.

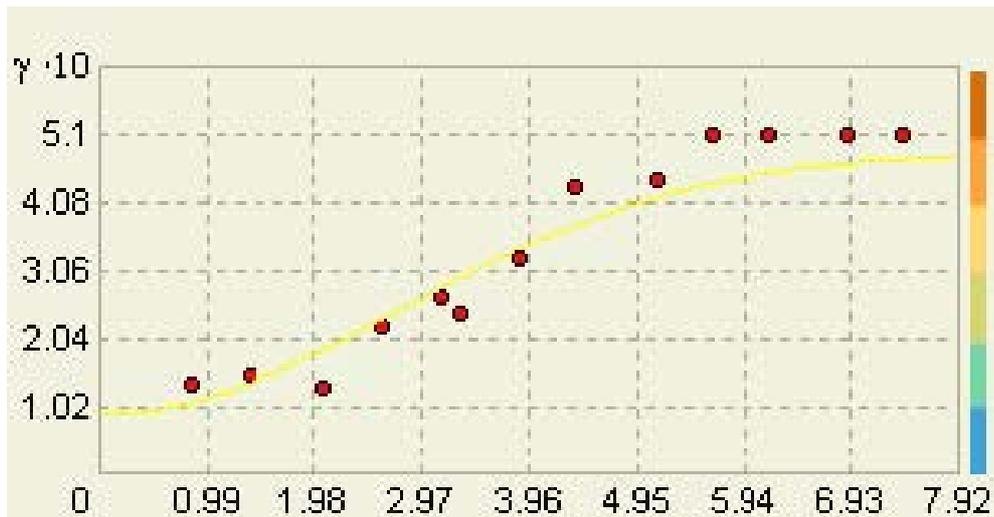


Figura 14. Modelo variográfico gaussiano para Hg em sedimentos de fundo do lago Puruzinho no período de seca, nível de corte cdf > 67,13 µg.Kg

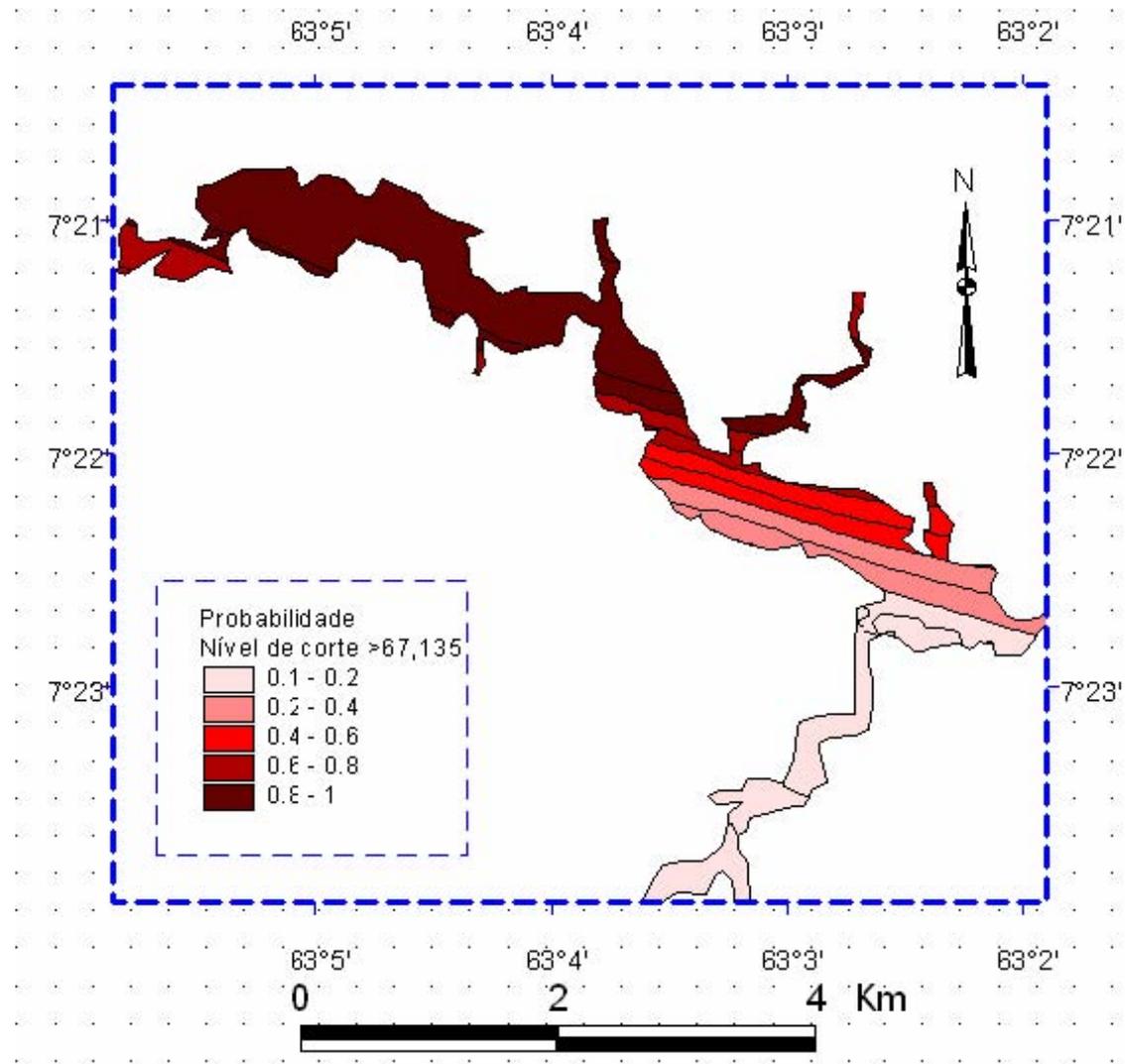


Figura 15. Diagrama de probabilidade de se obter valores maiores que 67,13 µgHg.Kg<sup>-1</sup> obtido a partir de krigagem indicativa, período de seca.

Comparando o mapa da (Fig. 11) período de cheia, com o mapa da (Fig. 15) período de seca, ambos para o mesmo nível de corte,  $>67 \mu\text{g.Kg}^{-1}$  de Hg, observa-se que a área

onde há maior probabilidade (80 – 100%) de ocorrer valores maiores que  $67,13 \mu\text{g.Kg}^{-1}$  do período de seca é menor que a área do período de cheia. Isto pode ser um indicador de que o mercúrio depositado no sedimento no período de cheia seja removido no período de seca. Isto pode estar relacionado a influência de fatores externos e internos, os quais estão sujeitos os ambientes lacustres.

Durante o período de cheia predomina os fatores externos como arraste de material orgânico e inorgânico alóctone ao lago, enquanto que processos internos como ressuspensão e recirculação do sedimento são processos que predominam no período de seca. Outra forma de remoção do mercúrio do sedimento seria a conversão do mercúrio a metil – mercúrio. Uma vez que as condições físicas e químicas do sedimento são favoráveis a este processo.

A concentração de matéria orgânica no período de seca está melhor e mais amplamente distribuída. Isto pode ser demonstrado no maior alcance do variograma obtido para matéria orgânica no período de seca (Fig.16). A partir da análise do variograma para matéria orgânica no período de seca observa-se que há uma forte dependência espacial das concentrações de matéria orgânica no sedimento de fundo.

Os fatores naturais determinantes desta dependência não podem ser medidos nem preditos através do variograma, uma vez que o variograma apenas modela a estrutura da variabilidade dos dados em relação a sua distribuição geográfica. Mas, pode-se inferir que a ampla distribuição da matéria orgânica no período de seca possa ser determinada pelas condições topográficas do fundo do lago.

Embora não se tenha realizado um estudo batimétrico do lago Puruzinho, as medidas de profundidade em cada ponto amostrado permitem observar que no período de seca as áreas onde se tem a indicação das maiores concentrações de matéria orgânica estão relacionadas com as áreas mais profundas do lago.

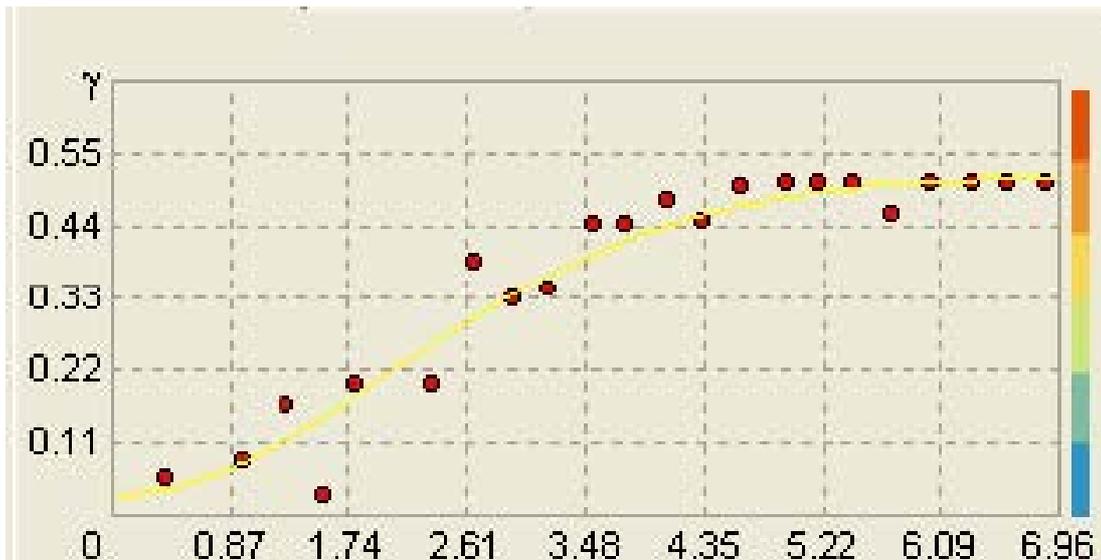


Figura 16. Modelo variográfico para a concentração de matéria orgânica no sedimento de fundo do lago Puruzinho, nível de corte cdf > 8%. (distância =  $h \cdot 10^3$  m)

A distribuição da matéria orgânica no período da seca pode ainda ser dependente do período de cheia. Todo material de origem orgânica, depositado no fundo do lago no período de enchente passa por um processo de decomposição durante o período de cheia e é incorporado ao sedimento no período de seca. Desta forma a distribuição da matéria orgânica no sedimento no período de seca tem uma área maior de concentração em relação ao período de cheia.

A distribuição para matéria orgânica no período de seca apresenta um padrão onde se observa três principais zonas de probabilidades de ocorrência de matéria orgânica. A primeira área é a parte central do lago onde tem se uma maior área e, onde é possível estimar 80 – 100% a chance de se encontrar uma concentração maior que 8% de matéria orgânica (Fig. 17).

Considerando que a distribuição espacial da matéria orgânica do sedimento no período de cheia e seca, se dá de forma compartimentalizada no fundo do lago, da mesma forma que a distribuição de Hg; é de se esperar que o mercúrio adsorvido a matéria orgânica no período de cheia se difunda no sedimento ou ainda possa ser liberado para a coluna d'água sendo então exportado para áreas fora do lago.

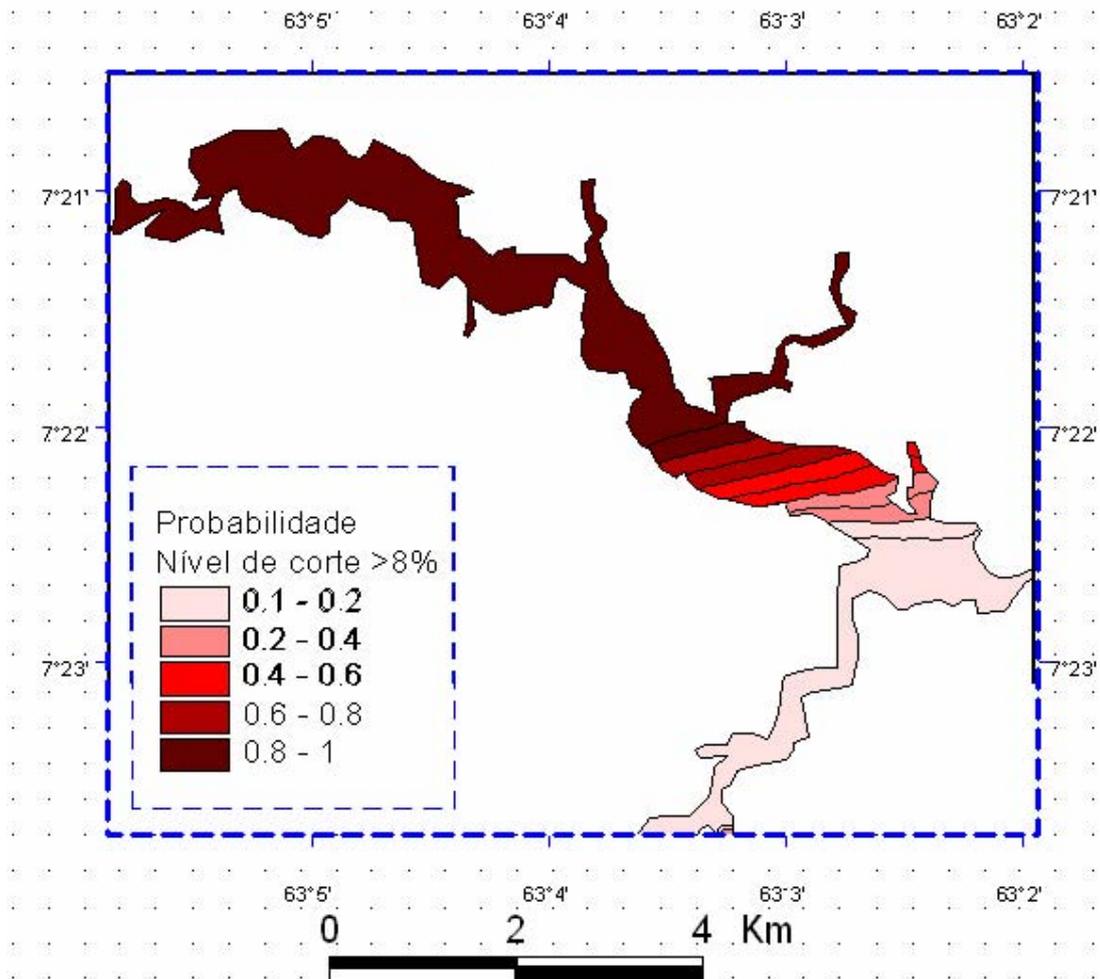


Figura 17. Diagrama de probabilidade para concentração de matéria orgânica no sedimento de fundo do lago Puruzinho, nível de corte  $cdf > 8\%$ .

### 6.8. Validação cruzada para Hg período de seca

A exemplo da validação para variáveis Hg e matéria orgânica para o período de cheia fez-se também a validação para o período de seca para estas duas variáveis. A (tabela 10) sumariza os parâmetros da validação cruzada utilizando KI no período de seca. Observa-se que os dados são não-enviesados já que o valor médio da predição do erro está próxima de zero. A superestimação dos dados é pequena, isto pode ser demonstrado analisando a raiz quadrada do erro padronizado. Portanto, o erro médio padronizado é maior que a raiz média quadrada do erro predito. A raiz média quadrada do erro predito é a medida da predição dos dados de um ponto observado e determina a média para o intervalo de confiança. Finalmente, a raiz média quadrada padronizada próxima de um (1) indica o bom ajuste entre os pontos observados e pontos estimados.

Desta forma pode-se dizer que o modelo adotado como nível de corte  $cdf > 67,13$

$\mu\text{g.Kg}^{-1}$  teve a melhor validação entre os modelos construídos para prever a concentração de Hg a partir do algoritmo krigagem indicativa no período de seca.

Tabela 10. Validação cruzada para Hg em sedimentos de fundo do lago Puruzinho, diferentes níveis de corte.

Parâmetros da validação cruzada	$67,13 \mu\text{gHg.Kg}^{-1}$	84,24	71,15
		$\mu\text{gHg.Kg}^{-1}$	$\mu\text{gHg.Kg}^{-1}$
Média	-0,0003952	-0,009933	-0,0007262
Raiz média quadrada	0,3647	0,4975	0,2655
Erro médio padrão	0,33353	0,3742	0,194
Média padronizada	-0,01425	-0,00194	-0,0003766
Raíz média quadrada padronizada	1,115	1,942	1,38
N= 30			

### 6.9. Distribuição vertical de Hg no sedimento de fundo

Os valores médios de mercúrio dos perfis de sedimento estão sumarizados na tabela 11. Os valores médios de mercúrio do perfil da entrada do lago (P1) e da parte central (P3) apresentaram valores semelhantes entre si. Na saída do lago (P2), foram observados os menores valores.

Tabela 11. Valores médios de Hg ( $\mu\text{g.Kg}^{-1}$ ) em perfis no sedimento

Perfil	Média ( $\mu\text{g.Kg}^{-1}$ )	D. P.	Mín. ( $\mu\text{g.Kg}^{-1}$ )	Máx. ( $\mu\text{g.Kg}^{-1}$ )
P1	53,25	17,31	27,84	93,34
P2	38,67	5,78	26,37	43,96
P3	54,08	12,56	33,77	72,99

O padrão de distribuição vertical das concentrações de Hg nos perfis de sedimento reflete, provavelmente, a entrada recente do Hg oriundo de atividades antrópicas, como uso do solo na nascente do igarapé Puruzinho para o plantio de soja e pequenas áreas próximas ao lago, soma se a isso as atividades garimpeiras nas áreas adjacentes ao lago Puruzinho, próximo ao rio madeira. Os valores observados no perfil vertical mais a montante do lago apresentam as concentrações mais elevadas a uma profundidade de 25 cm com posterior decréscimo às profundidades maiores que 30 cm (Figura 18).

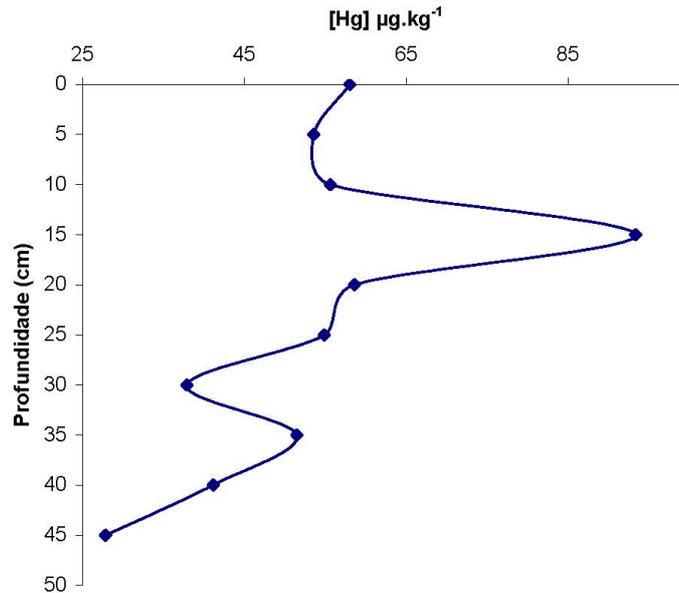


Figura 18. Concentração de mercúrio em  $\mu\text{g.Kg}^{-1}$  no perfil (P1) de sedimento de fundo na entrada do lago Puruzinho.

A parte central do lago apresentou os valores mais altos na superfície em relação aos demais perfis. O perfil da parte central do lago situa – se na região mapeada como área de maior concentração, o que indica deposição temporal. A ampla variação dos valores de mercúrio nos perfis de sedimento (Figura 18, 19 e 20) pode estar relacionada a um enriquecimento superficial recente do sedimento de fundo.

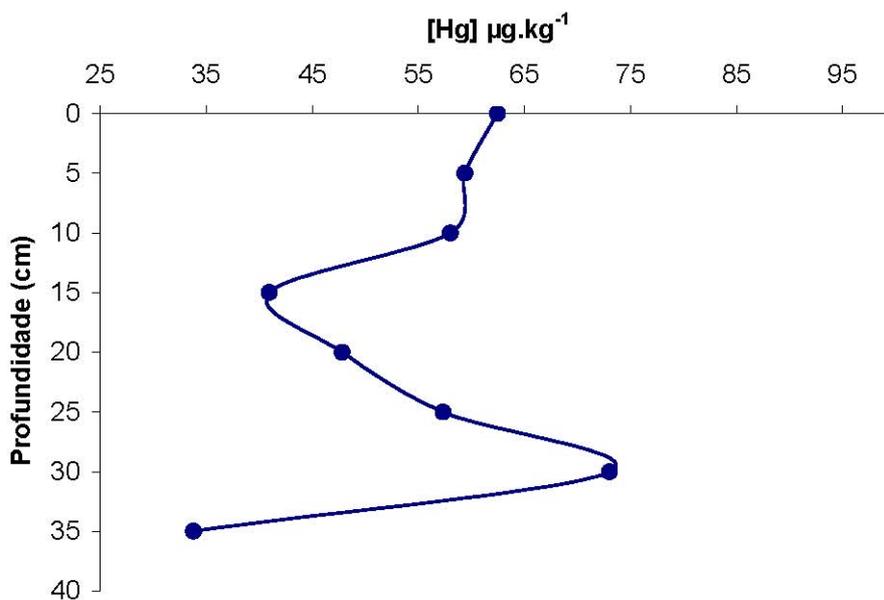


Figura 19. Concentração mercúrio em  $\mu\text{g.Kg}^{-1}$  perfil (P3) de sedimento de fundo na parte

central do lago Puruzinho.

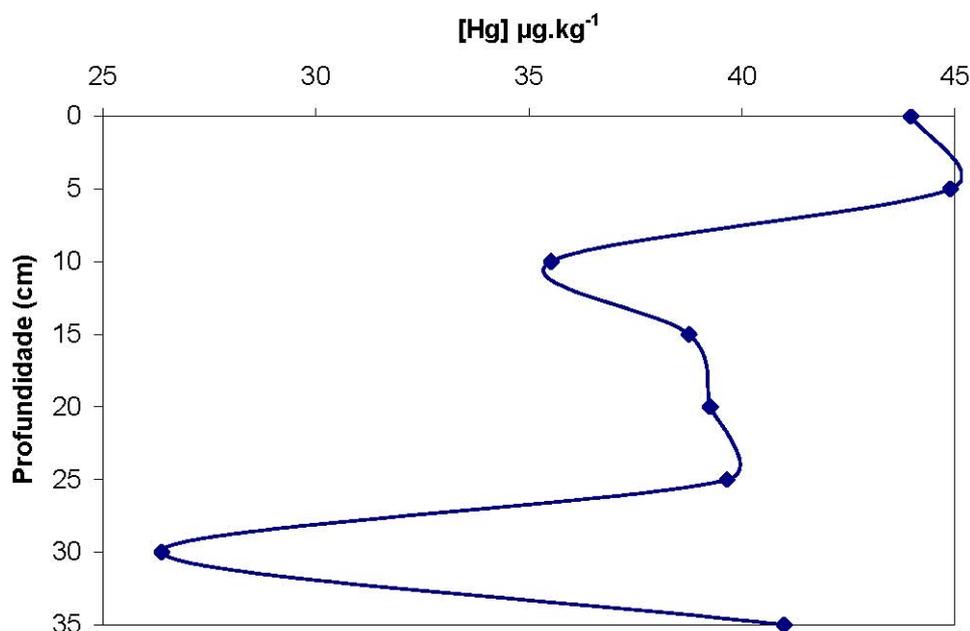


Figura 20. Concentração de mercúrio em  $\mu\text{g.Kg}^{-1}$  perfil (P2) de sedimento de fundo saída do lago Puruzinho.

### 6.10. Mercúrio no Solo

As concentrações de Hg em solos estão apresentadas na (Fig. 21). Observa-se na figura as concentrações de Hg em duas camadas do solo. A primeira camada é composta de material mais orgânico (Ho) e a segunda camada composta do material que já passou por um processo de mineralização (Ha). Nos pontos amostrados a camada orgânica apresentou valores inferiores aos valores obtidos na camada entre 10 – 20 cm. A área amostrada compreende com exceção dois pontos assinalados na (Fig. 21), área de inundação sazonal com solo aluvionar.

A camada orgânica é de origem recente, podendo não ter corrido o tempo necessário para acumulação. A lixiviação é outro processo que pode estar contribuindo para a remoção do Hg da camada superior para a camada inferior, enriquecendo – a. Os solos de terra firme da Amazônia apresentam em geral valores mais elevados do que o sedimento, sendo, portanto importante fonte contribuidora do acúmulo de Hg no sedimento (ROULET et al. 2000).

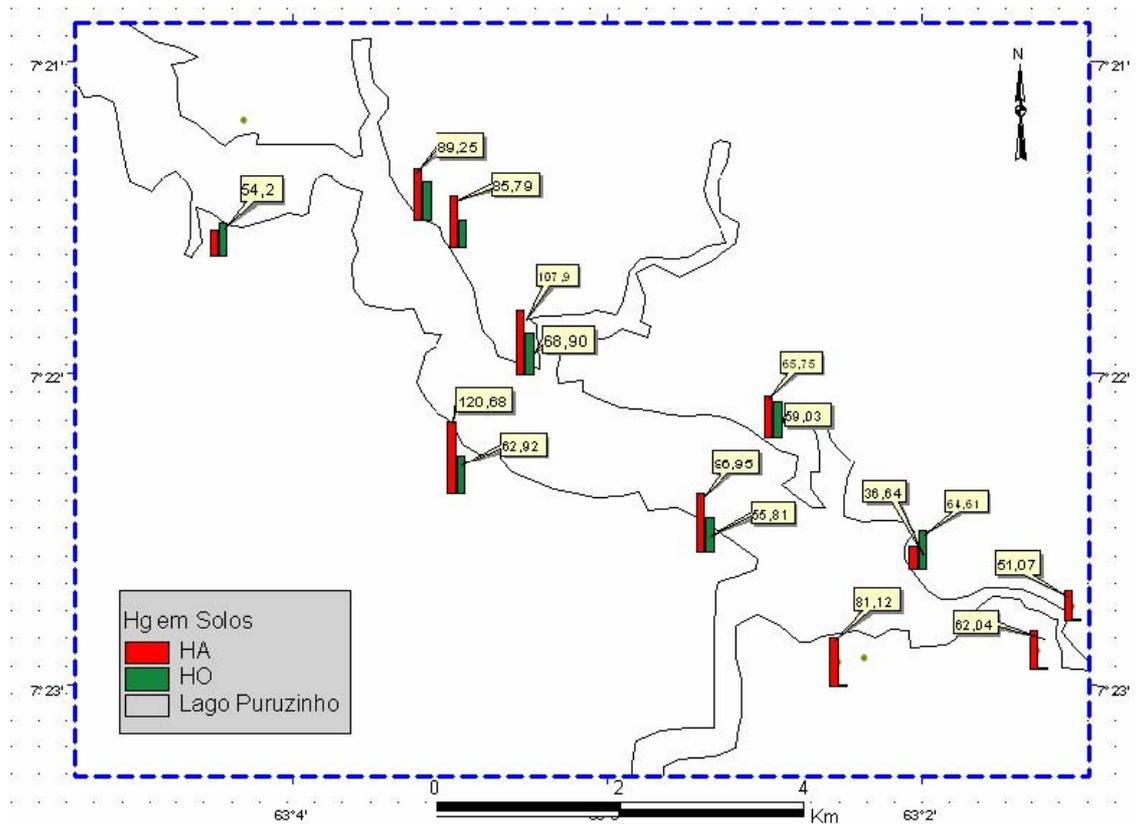


Figura 21. Concentração de Hg  $\mu\text{g.Kg}^{-1}$  em solos marginais ao lago Puruzinho no período de seca. (HA = Camada variando entre 5 – 20cm de profundidade HO = Camada superficial do solo rica em matéria orgânica)

Nos solos sazonalmente inundados do lago Puruzinho, não se observa este padrão. Os valores médios de Hg no solo são inferiores aos sedimentos. O que poderia levar a conclusão de que a contribuição do Hg estocado no solo para o enriquecimento do sedimento por mercúrio seja pequena.

Neste trabalho não foi possível avaliar o papel da floresta inundada na dinâmica do mercúrio no sedimento de lago. Contudo, sabe-se que as águas do rio Madeira transportam materiais em suspensão, na sua maioria sedimentos andinos ricos em mercúrio adsorvido (MAURICE - BOURGOIN et al. 2003). Parte deste sedimento é depositada sobre o solo e a vegetação da área sazonalmente inundada.

O mercúrio depositado pode ser removido no início do período de enchente quando as primeiras águas carregam para dentro do lago o material depositado no período de cheia da estação anterior. Desta forma os solos da planície de inundação do lago Puruzinho estão constantemente sujeitos às inundações e remoção da sua camada orgânica responsável pelo acúmulo recente de Hg, portanto o Hg que entra no solo via inundação ou via enxurradas é

constantemente removido junto com a camada orgânica e transportado para a área permanentemente inundada.

### **6.11. Discussões Gerais**

Das análises espaciais realizadas nos dados de Hg e matéria orgânica, considerando o período de seca e cheia tem se que: a distribuição dos valores de Hg não ocorre da mesma forma nos períodos de seca e cheia. As áreas onde se observa os maiores valores de mercúrio expandem no período de cheia e sofre uma retração no período de seca.

O padrão de distribuição apresentado nos mapas de probabilidade sugere que, durante o período de cheia predomina o processo de deposição de Hg e no período de seca predomina o processo de remobilização do Hg no sedimento.

O período de enchente é o período onde há o maior aporte de material alóctone, sobretudo, matéria orgânica. Predomina neste período os processos de lixiviação e erosão. Anterior ao período de cheia, o período de enchente, caracteriza se pela elevação do nível fluviométrico até a sua estabilização culminando no período caracterizado como cheia, onde o nível fluviométrico permanece estabilizado. Neste período as áreas do entorno do lago permanecem inundadas apresentando se ricas em materiais orgânicos em decomposição.

O material orgânico no lago pode estar na forma dissolvida na coluna d'água, seria o carbono orgânico dissolvido, ou pode estar depositado no sedimento enriquecendo – o.

Durante o período de seca a pouca profundidade facilita a movimentação da coluna d'água e ressuspensão do sedimento. O sedimento, que fora enriquecido durante o período de cheia é então transportado para outras áreas do lago, é quando ocorre a recirculação do sedimento.

Pode ainda o Hg adsorvido ao sedimento ser exportado para o sistema aquático adjacente. No caso em estudo, o sistema aquático é o rio Madeira. O exposte de mercúrio após a ressuspensão do sedimento pode se dar com maior eficiência próximo as áreas que se comunicam diretamente com o canal tipo furo que liga o rio Madeira e o lago Puruzinho. Nestas áreas há um maior fluxo de água do que nas áreas da parte mais central do lago, isto leva a um aumento na energia do lago facilitando o transporte de Hg removido com o sedimento do fundo do lago.

Quanto à distribuição espacial da matéria orgânica no sedimento, a krigagem por indicação evidencia que as áreas de maior concentração são também as áreas onde ocorrem as maiores concentrações de Hg no sedimento. A observação direta dos mapas de

probabilidade mostra que as áreas indicativas para maior concentração de mercúrio também – o é para presença de matéria orgânica em concentrações maiores que 8%.

O padrão de acumulação de matéria orgânica e mercúrio, observado nos sedimentos do lago Puruzinho indica que a distribuição de Hg não se da de forma caótica, ou seja, há processos direcionadores na acumulação, tanto de mercúrio quanto de matéria orgânica. Embora não seja possível estabelecer uma relação direta entre a concentração de matéria orgânica e mercúrio no sedimento, pode - se explorar as seguintes explicações possíveis à formação zonas preferências de deposição e acumulação de Hg e matéria orgânica:

Existem no lago zonas preferenciais de acumulação de matéria orgânica e Hg. A própria morfologia do lago pode estar contribuindo para formar áreas preferências de acumulação de matéria orgânica e mercúrio no lago; as áreas de deposição de Hg e matéria orgânica coincidem, porém a remoção do mercúrio e matéria orgânica é dificultada. Neste caso, processo de acumulação seria mais eficiente do que os processos de remoção.

As áreas terrestres mais próximas às zonas de maior concentração têm um importante papel na concentração de matéria orgânica e Hg para estas áreas do lago. Resta ainda uma questão. Qual período do ano estes fatores poderiam estar atuando, caso realmente um dos três ou quem sabe os três fatores conjugados possa direcionar este processo de acumulação.

Durante o período de cheia o fundo do lago constitui um ambiente anóxico, desfavorecendo a ação dos bioturbadores. Os solos da margem esquerda é também a parte mais utilizada pelo plantio no sistema de “pousio”. O uso contínuo dessas áreas para agricultura de subsistência, causa a lixiviação do solo pela enxurrada que, arrasta Hg adsorvidos as partículas orgânicas e inorgânicas para dentro do sistema aquático, indo depositar-se no sedimento (ROULET et al. 2000). A contribuição desta atividade não pode ser estimada. Acredita – se que até o momento tenha contribuído muito pouco para formação de áreas de acumulação.

Os teores de Hg encontrados no sedimento de fundo do lago Puruzinho não pode ser fruto direto da atividade garimpeira, como é o caso do Rio Madeira que tem um histórico de uso Hg no processo de extração de ouro. Mas, indiretamente o rio Madeira pode contribuir significativamente para a entrada do mercúrio no lago Puruzinho.

Este processo pode se dar como se segue. Indiretamente via atmosfera devido a queima de floresta com conseqüente liberação do mercúrio contido na vegetação como propõe (CORDEIRO et al. 2002) para a região do Charco do Pantanal; ou pela de deposição dos vapores de Hg que é queimado no processo de extração de ouro - conhecido

como “pátio” - no garimpo do Rio Madeira como esta descrito em (PFEFFER et al. 1989) ou ainda de acordo com estes mesmos autores, ser fruto da deposição de sedimento do próprio rio Madeira, quando em períodos de cheia invade áreas de floresta depositando sedimentos com Hg adsorvido às partículas em suspensão. É possível que o Hg encontrado no lago Puruzinho, principalmente a parte mais próxima de sua foz no rio Madeira, seja creditada a este processo.

Porém, mais uma explicação sobre a formação de zonas preferências de concentração é necessária. O rio Madeira quando invade a planície de acumulação e inundação, como já foi dito anteriormente, traz material em suspensão que acaba sendo depositado no sedimento. O material transportado tem diferentes tamanhos de partículas e as águas do rio Madeira não atingem a área total do lago de uma única vez. O nível do rio sobe paulatinamente inundando as áreas mais próximas ao rio Madeira, em seguida avança novamente por um curto período de tempo e depois retrai diminuindo a área do lago ocupada pelas águas do rio Madeira.

O constante subir e descer do nível fluviométrico deposita os sedimentos mais grosseiros logo na entrada do lago criando uma maior área de deposição do sedimento do rio Madeira. A parte mais fina do sedimento rico em sítios de adsorção, portanto mais eficientes no transporte de mercúrio é depositada na parte central do lago quando as águas do rio Madeira perdem parte de sua energia. Desta forma a contribuição do rio Madeira na acumulação de Hg no sedimento é em relação a qualidade e não pela quantidade de sedimento depositado.

Outro fluxo do material particulado que deve ser considerado é aporte de materiais na sua maioria orgânico que entram no lago devido a inundação de áreas cobertas por vegetação acima da área do lago. Estes materiais acabam sendo carreados para o sistema de lago na micro - bacia do igarapé Puruzinho. Quando este material entra no lago inicia se o processo de deposição que pode ser ainda mais eficiente quando do freiamento das partículas em suspensão. O freiamento das partículas em suspensão e causado pelo rio Madeira neste ambiente. A deposição deste material nas áreas acima das áreas onde há o freiamento das partículas pode contribuir para a acumulação de Hg nos sedimentos das áreas que sofrem estas influências.

As explicações acima podem ser verdadeiras para esclarecer as concentrações de Hg encontradas no sedimento de fundo da área amostrada do lago Puruzinho. Podendo ainda somar-se a isso, fatores como, a ocupação do solo em áreas acima do lago e as condições físico-químicas da água do rio, como: pH, condutividade elétrica da água e

oxigênio dissolvido. A área amostrada apresenta condições particulares em relação a tais parâmetros, que por sua vez, são fortemente associados ao aumento do nível do Rio Madeira que transforma um ambiente lótico (condições de rio) em lântico (condições de lago) e as características de drenagem da área em estudo.

Pfeiffer et al. (1989) propõe que: as condições físico-químicas de rios e igarapés de floresta inundada tais como, pH variando entre 4,7 a 6,0 e condutividade elétrica da água entre  $5\text{-}20\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  são condições favoráveis a organificação do Hg deixando-o biodisponível, havendo portando uma exportação para o Rio Madeira.

Fadini & Jardim (2002), estudando as concentrações de Hg na bacia do Rio Negro encontraram valores cinco vezes maiores de que em áreas onde há atividade garimpeira. É possível, segundo estes autores, que um mecanismo oxidativo - decorrente da associação entre os baixos valores de pH e a alta concentração de matéria orgânica e a intensa incidência dos raios solares, seja responsável pela retenção do Hg na coluna d'água.

A esta baixa nos valores de pH soma-se, um déficit de oxigênio dissolvido na água, pois durante um ciclo de 24 horas observou se que as concentrações de oxigênio dissolvido tende a zero nas regiões mais profundas no hipolímio. Não se observando oxigênio dissolvido na coluna d'água partir de 2,75 a 3,0m de profundidade. Formando portanto, um hipolímio anóxico.

Este déficit de oxigênio deve-se a pouca movimentação da coluna d'água e ao aporte de material orgânico que consome oxigênio no processo de oxidação da matéria orgânica. É de esperar que os processos de decomposição no fundo deste lago – que tem uma profundidade média de 11,03m - ocorram em ambiente anóxico com liberação de gás sulfídrico. Segundo Madep (2004), estas características podem contribuir para a organificação do Hg.

As concentrações de Hg encontradas no Rio Puruzinho, tanto em termos de valores médios ou de valores máximos e mínimos não diferem dos valores já encontrados por alguns autores em outros lagos da bacia do Rio Madeira e no próprio Rio Madeira em anos anteriores (BASTOS, 2004).

Vergotti (2001) analisou as concentrações de mercúrio em sedimentos de fundo de cinco lagos próximos à calha do Rio Madeira, encontrou teores de Hg que variam entre 40 e  $150\mu\text{g}\cdot\text{Kg}^{-1}$ . Estes níveis de concentrações são observados para maioria dos ambientes de lagos na bacia do Rio Madeira.

Bastos et al. (2005) estudando 8 lagos marginais ao rio Madeira e o próprio

sedimento do rio Madeira, encontraram concentrações para sedimento variando entre 25,00 e 117,09 $\mu\text{g.Kg}^{-1}$ . Os sedimentos do rio Madeira apresentaram concentração média de mercúrio de 46,10 $\mu\text{g.Kg}^{-1}$ . Os lagos estudados por Bastos et al (2005) têm uma comunicação direta com o rio Madeira. A grande implicação disso é que o Hg transportado pelo sedimento do rio Madeira deposita – se no fundo destes lagos com características favoráveis a organificação do Hg. Depois podem ser removidos do sedimento e exportados para outros ecossistemas aquáticos.

## 7. CONCLUSÕES

Ocorre uma mudança nas condições físico-químicas das águas do lago Puruzinho entre o período de seca e cheia.

Esta mudança está relacionada a fatores externos como a entrada de material orgânico, mas também sofre uma forte influência do rio Madeira.

As concentrações médias de mercúrio não diferem entre os períodos de cheia e seca, mas espacialmente observa-se diferença na distribuição de Hg nos períodos de cheia e seca.

Durante o período de cheia as zonas de concentração se amplia em relação ao período seco. O processo de deposição de Hg predomina no período de cheia enquanto que no período de seca o processo dominante é a remobilização do mercúrio devido a ressuspensão do sedimento.

A krigagem por indicação demonstrou haver uma compartimentalização do lago Puruzinho em relação à concentração de matéria orgânica e Hg.

Durante o período de seca a matéria orgânica encontra-se mais dependente espacialmente do que no período de cheia. A análise variográfica permitiu observar que os valores maiores que  $67,13 \mu\text{gHg.Kg}^{-1}$  têm uma maior correlação espacial tanto para o período de seca quanto para o período de cheia.

Os valores indicativos maiores que 8% para matéria orgânica no sedimento de fundo estão amplamente distribuídos no sedimento de fundo do lago Puruzinho. A Geoestatística mostrou-se como uma ferramenta confiável para análise de dependência espacial de Hg e matéria orgânica do sedimento de fundo do lago Puruzinho.

A formação de zonas com maior e menor concentração de Hg demonstra que existe o risco de se realizar amostragens pontuais.

Para realização de amostras pontuais é necessário um bom conhecimento “apriori” dos lagos estudados para que a distribuição de pontos no lago seja representativa de cada área. A concentração de mercúrio nos perfis verticais de sedimento apresenta a primeira camada mais rica em mercúrio com decréscimo a partir de 0,20 m de profundidade. As concentrações de mercúrio em solos marginais são inferiores as concentrações do sedimento do fundo do lago.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB' SABER, A. **A Amazônia: do discurso à práxis**. Editora Universidade de São Paulo. São Paulo. 1996.

AKAGI, H.; NAGANUMAB, A. Human exposure to mercury and the accumulation of methylmercury that is associated with gold mining in the Amazon Basin, Brazil. **Journal of Health Science**, Tokio v.46, n.5, p.323–328, 2000.

ALMEIDA, M. D., VAISMAN, R. M., Lacerda, L.D., ALMEIDA, R., OLIVEIRA, R. C., GOMES, J. P., Fatores que Influenciam o Fluxo de Mercúrio Gasoso Total (MGT) de Solos em Porto Velho – Rondônia. **X Congresso Brasileiro de Geoquímica e II Simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul**, Porto de Galinhas, p.1-4, 2005.

ALMEIDA, R., OLIVEIRA, R. C., GOMES, J. O., NASCIMENTO, E. L., DE CARVALHO, D. P., BASTOS, W. R., BERNARDI, J. V. E., LAMDIM, P. M. B., Avaliação da Concentração de Mercúrio em Sólidos em Suspensão e perfis de Sedimento de Fundo no Lago Puruzinho, Amazônia Ocidental. In. **X Congresso Brasileiro de Geoquímica e II Simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul**, Porto de Galinhas, p.1-3, 2005.

AZEVEDO, A. F. **Toxicologia do Mercúrio**. São Carlos: Rima. São Paulo: InterTox. 2003.

BASTOS, W. R. **Métodos de digestão utilizando microondas para determinação automatizada de Hg em amostras ambientais e humanas: implantação de laboratórios e avaliação da qualidade analítica**. 1997. Dissertação (Mestrado em Biofísica)- Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BASTOS, W. R. **Ocorrência ambiental do mercúrio e sua presença em populações ribeirinhas do baixo rio Madeira – Amazônia**. 2004. 113. f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

BASTOS, W. R. FONSECA, M.F., PINTO, F. N., REBELO, M. F., SANTOS, S. S.

SILVEIRA, E.G., TORRES, J. P. M., MALM, MALM, O., PFEFFER, W. C. Mercury persistence in indoor environments in the Amazon Region, Brazil. **Environmental Research**, Nova York, v.96, n.2, p.235-238, 2004.

BASTOS, W. R., MALM, O. PFEIFER, W. C., and CLEARY, D., Establishment and analytical quality control of laboratories for Hg determination in biological and geological samples in the Amazon Brazil. **Ciência e Cultura Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science**. v. 50, p. 255-260. 1998.

BASTOS, W. R; OLIVEIRA, J. P; OLIVEIRA, R. C; ALMEIDA, R. NASCIMENTO, E. L; BERNARDI, J. V. E; LACERDA, L. D; SILVEIRA, E, PFEIFFER, W.G C. Mercury in environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v.368, n.1, p.2006.

BERNARDI, J.V.E., FOWLER, H. G., LANDIM, P M B. Um estudo de impacto ambiental utilizando análises estatísticas espacial e multivariada. **Holos E Environment**, Rio Claro, v. 1, n. 2, p. 162-172, 2001.

CALIXTO, R; CURTIUS, A. J. Uma brevíssima história da análise elementar por métodos espectrométricos. (adaptada de History of Analytical Chemistry, Ferenc Szabadváry, Pergamon Press, London, 1966).

CÂMARA, G; MONTEIRO, A. M; DRUCK S. F., CARVALHO, M. S. Análise espacial e geoprocessamento. In \_ Druck, S., Carvalho, M.S., Câmara, G., Monteiro, A.V.M., (eds) "Análise Espacial de Dados Geográficos". Brasília, EMBRAPA, 2004.

COLIN, Baird. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 621pg. 2004.

CORDEIRO, R.C., TURCQ B., RIBEIRO, M.G., LACERDA L.D., CAPITANEO J. SILVA, O. A., SIFEDDINE A., TURCQ P.M. Forest fire indicators and mercury deposition in an intense land use change region in the Brazilian Amazon (Alta Floresta, MT) **The Science of the Total Environment**, Amsterdam v.293, n.1, p.247–256,2002.

DOREA, J., G. Fish are central in the diet of Amazonian riparians: Should we worry about their mercury concentrations? **Environmental Research**, New York,v.92, n1. p. 232-244. 2003.

DRUCK, S., CÂMARA, G., MONTEIRO, A.V. M., CARVALHO, M. S., (eds) "Análise Espacial de Dados Geográficos". Brasília, EMBRAPA, 2004.

**EPA.** ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Characterization and Eh/pH-Based Leaching Tests of Mercury-Containing Mining Wastes from the Sulfur Bank Mercury Mine, Lake County, California EPA/600/R-02/032Sept.2001. Disponível em:<<http://www.epa.gov/ordntrnt/ORD/NRMRL/Pubs/.pdf>>

Acesso em: 05/05/2004.

ESTEVES, F. A.; Fundamentos de Limnologia 2ª ed. Interciência. Rio de Janeiro. p. 602. 1998.

FELGUEIRAS, C. A. Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas **de informações geográficas**: paradigma geoestatístico por indicação. São José dos Campos. 1999 181 f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

FOSTIER, A. H.; GUIMARÃES, J. R. D.; FORTI, M. C.; MELFI, A. J.; VELOSO, S.; FERREIRA, J. R.; MATTOS, D. P.; KRUG, F. J. Comparação entre os sedimentos de fundo e ictiofauna carnívora, utilizados como indicadores no monitoramento dos níveis de mercúrio em lagos do Estado do Amapá (Região Amazônica) **Revista Brasileira de Ecologia**, São Paulo, v. 1. p. 72-75. 1997.

GONÇALVES, A.C. A., FOLEGATTI, M. V., MATA, J. DE D. V; Análise exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum**. Maringá, v.23, n.5, p. 1149-1157, 2001.

GPS GLOBAL. Geoestatística.

Disponível em: <<http://www.gpsglobal.com.br/artigos/geoestat.html#01>>

Acesso em: 14/05/04.

GRIP, A. H. Utilização de geoestatística para tratamento de dados de prospecção geoquímica. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.22, n.2, p. 248 – 251, 1992.

GUERRA, P. A. G. Geoestatística operacional. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral. 145 p.1988.

GUIMARÃES, J.R.D., ROULET, M., LUCOTTE, M. AND MERGLER, D. Mercury methylation potentials along a lake-forest transect in the Tapajós river floodplain, Brazilian Amazon: seasonal and vertical variations. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.261, n.1, p.91-98, 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Variograma – Geoestatística.

Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/variograma.htm>>

Acesso em: 12/06/2004.

(IBGE). INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Projeto Radam Brasil. Levantamento de Recursos Naturais. Folha SB. 20 Purus, V. 16. 2003. Rio de Janeiro.

ISAAKS, E. H., SRIVASTAVA, M. R. Applied geostatistics. Oxford, New York, 1989. Oxford University Press.

JARDIM, W., F., FADINI, P., S.A. origem do mercúrio nas águas do Rio Negro. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v.30, n.177, p. 62-64, 2001.

KLIGERMAN, D. C., ROVERE, E. L., AND COSTA, M. A., Management Challenges on Small-Scale Gold Mining Activities in Brazil, **Environmental Research**, New York, v. 87, n.3, p.181-198, 2001.

KRIVORUCHKO, K; GOTWAY, C.A; 2004. Creating Exposure Maps Using Kriging Health GIS News and Information. Disponível em: [http://www.esri.com/software/arcgis/arcgisxtensions/geostatistical/research\\_papers.html](http://www.esri.com/software/arcgis/arcgisxtensions/geostatistical/research_papers.html) acesso: 26/02/2006

LACERDA, L. D. Amazon mercury emission. **Nature**, Cambridge, v.374, p. 20 – 21. 1995. LACERDA L. D., MARINS, R. V. Anthropogenic mercury emissions to the atmosphere in Brazil: the impact of gold mining, **Journal Of Geoquimical Exploration**, Amsterdam, v. 58, n.2, p. 223 – 229. 1997.

LANDIM, P.M.B. & STURARO, J.R. Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, texto Didático 06, 19 pp. 2002. Disponível em: <<http://www.rc.Unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 23/02/2006.

LEOPOLDO P. R.; FRANKEN W., SALAT, E. I; RIBEIRO M. N. Towards a water balance in the Central Amazonian region. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Birkhauser, v.43, n.3,1987.

LOURENÇO, R W; LANDIM, P. M. B. Krigagem como método de interpolação para modelagem de dados geográficos. **Ciência Geográfica**, Bauru/SP, v.1, n.18, p. 12-20, 2001.

MALM, O. A poluição por mercúrio, uso de equipamentos antipoluentes, e uma avaliação da contaminação em áreas de garimpo de ouro na Amazônia. In \_\_\_ Mathis, A.; Rebag, R.; (Organizadores). **Conseqüências da garimpagem no âmbito social e ambiental da Amazônia**. p. 113 – 129. 1993.

MALM, O., BRANCHES, F.J.P., AKAGI, H., CASTRO, M.B., PFEIFFER, W.C., HARADA, M., BASTOS, W.R., KATO, H., Mercury and methylmercury in fish and human hair from the Tapajós River Basin, Brazil. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.175, n.3, p141-150, 1995.

MALM, O; CASTRO M. B., BASTOS W. R., BRANCHES, F. J. P., GUIMARÃES, J. D., ZUFFO, C. E. AND PFEIFFER W. C. An assessment of Hg pollution in different gold mining areas, Amazon Brazil **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 175, n.2, p. 127-140, 1995.

MALM, O. Gold Mining as a Source of Mercury Exposure in the Brazilian Amazon **Environmental research**, Tokio, v.77, p.73–78, 1998.

MARVIM, C., PAINTER, S., ROSSMANN, R. Spatial an temporal patterns in mercury contamination in sediments of the laurentiam great lakes. **Environmental Research**. Nova

York, v. 95, n.3, 351-362, 2004.

MASSACHUSETTS DEPARTMENT ENVIRONMENTAL PROTECTION (MADEP).

Disponível em: <<http://www.mass.gov/dep/files/mercury/hgch2.htm#env>>

Acesso em: 17/03/2004.

MAURICE-BOURGOIN, L; ALTO, R.; RHÉAULT, I.; GUYOT, J.L. Use of <sup>210</sup>Pb Geochronology to explore the century-scale mercury contamination history and the importance of floodplain accumulation in Andean tributaries of the Amazon river. Short Papers – **IV South American Symposium on Isotope Geology**, Salvador, v.1, p.449-452, 2003

MICARINI, R. C. C. M.; BUENO, M. I. M. S., JARDIM, W.F. Compostos de mercúrio. Revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n.4, p. 487 – 495, 2000.

MOZETO, A. A. Sedimentos e particulados lacustres: Amostragens e análises biogeoquímicas. IN \_\_\_ Bicudo, C. E. M & Bicudo, D.C. (org.) **Amostragem em Limnologia**. Rima; São Carlos-SP. 371p. 2000.

OLIVEIRA, S.M.B., MELFI, A.J., FOSTIER, A.H., FORTI, M.C., FÁVARO, D.I.T., ROULET, R. Soils as an important sink for mercury in the Amazon. **Water, Air, and Soil Pollution**, Amsterdam, v.26, n.3, p.321-337, 2001.

OLIVEIRA, R. C. **Estudo da relação mercúrio e dieta alimentar através da análise multivariada na população do lago Puruzinho - Amazônia. 2006. 90 f.** Dissertação (Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho Rondônia.

PFEIFFER, W. C., MALM O; SOUZA C. M. M; LACERDA, L. D; SILVEIRA, E. G; BASTOS, W. R. Mercury in the Madeira River Ecosystem, Rondônia, Brazil **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.38, n.3, p. 239-245, 1991.

PFEIFFER, W. C. & LACERDA, L. D., MALO., SOUZA, M. M.M., SILVEIRA, E. G.,

BASTOS, W. R. Mercury concentrations in inland waters of gold-mining areas in Rondônia, Brasil, **The science total environment, Amsterdam**, v. **87**, n.1, p. 233 – 240, 1989.

ROULET, M., LUCOTTE, M., CAUNEL, R., FARELLA, N., COURCELLES M., GUIMARÃES J. -R. D; MERGLER, D. AMORIM M. Increase in mercury contamination recorded in lacustrine sediments following deforestation in the central Amazon. **ChemicalGeology**, Amsterdam, v.165, n.3, p.243 – 266, 2000.

ROULET, M., LUCOTTE, M, CAUNEL, R., FARELLA, N., SERIQUE, G., COELHO, H., PASSOS, C.J.S. Effects of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems, **Water, Air, Soil Pollution**, Amsterdam, v.112, n.3 p. 297 – 313. 1999.

ROULET, M.; LUCOTTE, M.; SAINT-AUBIN, S.; HEAULT, I.; FARELLA, I.; SILVA, E.J.; DEZENCOURT, J.; SOUZA PASSOS, C.J.; SOARES, G.S.; GUIMARÃES, J.R.; MERGLER, D.; AMORIM, M. The geochemistry of mercury in central Amazon soils developed on the Alter do Chão formation of the lower Tapajós river valley, Pará State, Brazil. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 223, n.1, 1998.

ROULET, M; GUIMARÃES, J.R.D; LUCOTTE, M. Methylmercury production and accumulation in sediments and soils of an Amazonian floodplain effect of seasonal inundation. **Water, Air and Soil Pollution**, Amsterdam, v.128, n.1, p.41-61, 2001.

SEGADE, S. R., TYSON, J. F. Determination of inorganic mercury total mercury in biological and environmental samples by flow injection – cold vapor – atomic absorption spectrometry using sodium borohydride as the sole reducing agent, **Spectrochimica Acta, Amsterdam**, v.58, n.5, p. 797 – 807, 2003.

TEIXEIRA, M. A. D; FONSECA, D. R; **História Regional (Rondônia)**, Porto Velho. Rondoniana. 1998.

THE COLUMBIA ENCYCLOPEDIA. Mercury, chemical element, 6<sup>th</sup> ed. 2001.

Disponível em: <<http://www.bartleby.com/65/me/mercury.html>>

Acesso em: 21/05/2004.

TORRES, J.P.M. **Estudo sobre a ocorrência e a distribuição de metais pesados no Rio Paraibuna, Juiz de Fora, Minas Gerais.** 1992. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) Universidade Federal do Rio de Janeiro - Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho. Rio de Janeiro.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Global Mercury Assessment. 2001. Disponível em: <<http://www.chem.unep.ch/mercury/report/gma-report-toc.htm>> Acesso em: 20/03/2004.

VEIGA, M. M.; MEECH, J.A., ONATE. N., Deforestation: A major sources of mercury pollution in the Amazon. **Nature**, Cambridge, v.368, p 816-817,1994.

VERGOTTI, M. **O mercúrio em lagos da bacia do Rio Madeira.** 2002, 50 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo.

**WHO.** ENVIRONMENTAL HEALTH CRITERIA. Methylmercury. World health. Organization, .101. 1990.

Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc101.htm>>

Acesso em: 23/05/2004.

**WHO.** ENVIRONMENTAL HEALTH CRITERIA 1. Mercury. World health. Organization, Geneve, Switzerland, 1-

131.1976.<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc086>.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)