



**UnB – Universidade de Brasília**  
**FUP – Faculdade UnB Planaltina**

**GERALDO LOPES MARTINS**

**FLUXO DO MERCÚRIO  $Hg^0$  NA INTERFACE ÁGUA-  
ATMOSFERA PELA LAGOA BONITA – ESECAE II  
PLANALTINA/DF**

Planaltina/DF

2013

## FICHA CATALOGRÁFICA

Martins, Geraldo Lopes

Fluxo do Mercúrio  $Hg^0$  na Interface Água-Atmosfera pela Lagoa Bonita – ESECAE II, Planaltina/DF, /Geraldo Lopes Martins. Planaltina – DF, 2013. 84f . il - color

Monografia - Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília.

Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental.

Orientador: Jose Vicente Elias Bernardi

1. Mercúrio 2. Lagoa Bonita 3. Fluxo  $Hg^0$  4. ESECAE II I. Martins, Geraldo. II. Título.

---

GERALDO LOPES MARTINS

**FLUXO DO MERCÚRIO Hg<sup>0</sup> NA INTERFACE ÁGUA-  
ATMOSFERA PELA LAGOA BONITA – ESECAE II  
PLANALTINA/DF**

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
banca examinadora da Faculdade UnB Planaltina  
como quesito para graduação no título de  
Bacharel em Gestão Ambiental.*

Orientador: Prof. Dr. José Vicente Elias Bernardi

Planaltina-DF

2013

---

GERALDO LOPES MARTINS

**FLUXO DO MERCÚRIO Hg<sup>0</sup> NA INTERFACE ÁGUA-  
ATMOSFERA PELA LAGOA BONITA – ESECAE II  
PLANALTINA/DF**

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora da Faculdade UnB  
Planaltina como quesito para graduação no título de Bacharel em Gestão Ambiental.*

*Banca Examinadora:*

*Planaltina – DF, 30 de agosto de 2013*

---

Prof<sup>o</sup> .Dr<sup>o</sup> Dr. José Vicente Elias Bernardi – UnB/FUP  
(Orientador)

---

Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Rômulo José da Costa Ribeiro – UnB/FUP  
(Examinador Interno)

---

Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Jurandir Rodrigues de Souza – UnB/IQ  
(Examinador Externo)

---

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me conceder a graça de concluir esta tarefa e por me presentear com inúmeros Amigos Professores, sem os quais não seria possível qualquer evolução;

A cada um dos professores da FUP que se dispuseram a transmitir conhecimento e muitas vezes ensinamentos de vida, aqui nomeados pela Professora Monica Celeida Nogueira, incansável batalhadora, e pelo professor José Vicente E. Bernardi, meu orientador, representantes ímpares deste valoroso corpo docente;

A todos os companheiros de caminhada, pois tornaram saudosos cada um dos momentos vividos, muitos a quem tenho o privilégio de elencar como ‘amigos’, de forma especial ao Adalberto Chaves, ao Ray Pinheiro e ao Tiago Kisaka, “amigos que não temem uma fria!”

Àqueles que me encorajaram e ajudaram nos momentos difíceis ou que de me deram razão para superá-los.

A todos os colaboradores da UnB que de alguma forma me auxiliaram nesta batalha.

Obrigado !

**Resumo:**

O mercúrio é um elemento que, embora não seja essencial à vida, se encontra presente em todos os compartimentos de nosso planeta. Esta ocorrência, sob a forma elementar ou associado a outros elementos, é danosa aos seres vivos e de modo especial àqueles que ocupam posições mais elevadas nas cadeias tróficas. O mercúrio possui características que lhe permitem transpor as barreiras entre os tecidos celulares, resultando em sua bioacumulação nos tecidos dos organismos da cadeia e, com isso, a biomagnificação. O ambiente onde este elemento possui maior mobilidade é o atmosférico, ficando sujeito ao deslocamento das massas de ar e sendo redistribuído por todo o planeta, razão pela qual é chamado de ‘poluente global’ e tendo na forma inorgânica  $Hg^0$ , ou mercúrio elementar, a sua principal ocorrência (~ 97% da massa de mercúrio presente no compartimento). Várias são as formas de aporte deste elemento à atmosfera, porém uma das maiores é o fluxo natural advindo da hidrosfera. Este trabalho foca-se na aferição do fluxo do  $Hg^0$  emitido pela Lagoa Bonita – Planaltina/DF, maior corpo natural de água do Distrito Federal, resultado do afloramento do lençol freático em um sinclinal que determina a microbacia que a forma. Essa lagoa era parte de propriedade privada desde 1850 e na atualidade se encontra protegida pela parcela II da ESECAE (Estação Ecológica das Aguas Emendadas). Para a pesquisa foi elaborado um receptáculo de captura do fluxo de  $Hg$  (protótipo) e realizadas duas campanhas de 24 horas para a coleta de dados, sendo utilizado o equipamento portátil *LUMEX\_RA-915<sup>+</sup>*, com os dados submetidos a rotinas de testes estatísticos (ANOVA e PCA) no intuito da avaliação da característica de processo nictemeral e de sazonalidade para o fluxo. A estimativa do valor de fluxo chega a  $0.614981 \text{ ng} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ , o que equivale a um montante de 10.198 kg de mercúrio elementar incrementados à atmosfera por ano pela lagoa.

Palavras-chave: Mercúrio; Lagoa Bonita; Fluxo  $Hg^0$ ; ESECAE II.

---

**Abstract:**

Mercury is an element which, although not essential to life, is present in every compartment of our planet. This occurrence, in elemental form or combined with other elements, is harmful to living beings, and especially those who occupy higher positions in food webs. Mercury has features that allow you to overcome the barriers between the cellular tissues, resulting in their bioaccumulation in the tissues of organisms in the chain and thus the biomagnification. The environment in which this element has greater mobility is atmospheric, subject to the displacement of air masses and being redistributed across the planet, which is why it is called 'global pollutant' and having Hg<sup>0</sup> inorganic or elemental mercury, the Its main event (~ 97% of the mass of mercury present in the compartment). There are several forms of this element contribution to the atmosphere, but is one of the largest natural flow arising from the hydrosphere. This paper focuses on measuring the flow of Hg<sup>0</sup> emitted by Lagoa Bonita - Planaltina / DF, largest natural body of water of the Federal District, the result of upwelling of groundwater in a syncline which determines the watershed that way. This lagoon was part privately owned since 1850 and today is protected by the portion of ESECAE II (Estação Ecológica de Aguas Emendadas). For the study we prepared a receptacle capture the flow of Hg (prototype) and conducted two campaigns of 24 hours for data collection being used portable equipment LUMEX\_RA-915 + with the data submitted to routine statistical tests (ANOVA and PCA) with the aim of evaluating the characteristic process for diurnal and seasonal flow. The estimate of the flow reaches 0.614981 ng \* m<sup>-2</sup> \* h<sup>-1</sup>, which is equivalent to an amount of 10,198 kg of elemental mercury to the atmosphere annually incremented by the pond.

Keywords: Mercury; Lagoa Bonita; Flow Hg<sup>0</sup>; ESECAE II.

---

# SUMÁRIO:

---

SUMÁRIO:.....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE TABELAS .....	xi
1 - Introdução: .....	1
2 – Justificativa .....	3
3 – Objetivo .....	4
3.1    Objetivo Geral .....	4
3.2    Objetivos Específicos.....	4
4 – Revisão Bibliográfica .....	4
4.1 - Características químicas do Hg.....	6
4.2 – Mercúrio no Ambiente .....	7
5 – Materiais e Métodos .....	9
5.1 – Caracterizações da Área de Estudos .....	9
5.1.1 – Clima e Pluviosidade .....	11
5.1.2 – Geologia.....	11
5.1.3 – Geomorfologia .....	12
5.1.4 – Solos .....	13
5.1.5 – Uso e Ocupação da Bacia .....	15
5.2 – Pontos de Coletas e Análises.....	16
5.2.1 – Locação dos Pontos e Amostragens .....	16
5.2.2 – Características dos Pontos .....	19
5.3 – Equipamentos Utilizados: .....	20
5.3.1 – As Câmaras .....	20
5.3.2 – Análise do Hg <sup>0</sup> .....	22
5.3.3 – Análise Físico-química – pH: .....	24



---

5.3.4 – Análise Físico-química – Turbidez: .....	24
5.3.5 – Análise Físico-química – Demais parâmetros: .....	25
5.4 – Amostragens .....	26
5.5 – Elaboração dos Mapas .....	27
5.6 - Análises Estatísticas .....	27
6 – Resultados e Discussão .....	29
6.1 – Primeira Campanha .....	29
6.1.1 – Estatística Descritiva .....	29
6.1.2 – Estatística por Grupos e ANOVA .....	30
6.1.3 – Análise de Componentes Principais (ACP) .....	34
6.2 – Segunda Campanha .....	36
6.2.1 – Estatística Descritiva .....	36
6.2.2 – Estatística por Grupos e ANOVA .....	37
6.2.3 – Análise de Componentes Principais (ACP) .....	39
6.3 – Comparações entre as Campanhas .....	42
6.3.1 – Teste T e ANOVA TWO-WAY .....	42
6.3.2 – Análise de Componentes Principais (ACP) .....	43
6.4 – Determinação do fluxo médio de Hg <sup>0</sup> .....	45
6.5 – Estimativa do volume de Hg <sup>0</sup> liberado .....	46
7 – Conclusão .....	47
8 - Recomendações .....	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	49
ANEXOS.....	54

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cinábrio: aspecto físico - fonte: (REIS, 2008) .....	1
Figura 2 - Localização das principais minerações de Mercúrio no mundo – Fonte: mindat.org (RALPH, et al.). Nota: Os pontos grafados com sinal + indicam um conjunto de minerações ativas. ....	5
Figura 3 - Mapa da localização da Microbacia Hidrográfica da Lagoa Bonita.....	9
Figura 4 - Distribuição dos empurrões e carregamentos regionais associados à geologia regional do Distrito Federal. Fonte Atualizado de Freitas-Silva & Campos, 1998. In ZEE DF VOL II (SEDUMA/GDF, 2009).....	12
Figura 5 - Tipos de solo encontrados na microbacia da Lagoa Bonita – Fonte (MORAES, et al., 2008).....	14
Figura 6 - Mapa de Uso do Solo da Microbacia Lagoa Bonita – Planaltina/DF Elaborado sobre imagem Google Earth de 2012.( gvSIG 1.12.0).....	16
Figura 7 - Aspecto da Lagoa - nebulosidade predominante durante a 1ª. Campanha. ...	17
Figura 8 - Locação dos pontos de coleta sobre imagem do Google Earth de 30/ago./2011. Os pontos na cor verde são referentes à primeira campanha e os pontos na cor vermelha são referentes à segunda campanha. Os polígonos mostram a variação da área superficial da lagoa. ....	18
Figura 9 - Projeto da câmara para coleta do Hg <sup>0</sup> liberado pelo espelho de água da Lagoa .....	21
Figura 10 - Foto da Câmara confeccionada e pronta para uso - PROTÓTIPO.....	22
Figura 11 - Analisador Espectrometro Lumex RA 915 <sup>+</sup> Fonte www.ohiolumex.com, em 15 de maio de 2013 .....	23
Figura 12 - Peagâmetro HACH - sensION + pH 31 (Fonte: <a href="http://www.hach.com/sension-ph31-glp-laboratory">http://www.hach.com/sension-ph31-glp-laboratory</a> ).....	24
Figura 13 - Turbidímetro Digital portátil marca HACH - modelo 2100P. (Fonte: <a href="http://www.hach.com/2100p-portable-turbidimeter/product?id=7640450099">http://www.hach.com/2100p-portable-turbidimeter/product?id=7640450099</a> ) .....	24
Figura 14 - Horiba U-53 Medidor Multi-Parametro de Qualidade de Água. (Fonte: <a href="http://www.instrumart.com/products/33121">http://www.instrumart.com/products/33121</a> ) .....	25
Figura 15 - Processo de drenagem do ar contido na câmara .....	26
Figura 16 - Gráfico Box Plot para a distribuição da variável Hg <sup>0</sup> ANOVA: Grupos Dia-Noite / Limnética-Litorânea .....	33
Figura 17 – Análise das Componentes Principais: Primeira Coleta Projeção das Variáveis no plano fator (1x2): 59.81% .....	35

Figura 18 – Análise das Componentes Principais: Primeira Coleta Projeção dos Casos (Dia e Noite) no plano fator (1x2); 59.81% .....	36
Figura 19 - Análise das Componentes Principais: Segunda Coleta Projeção das Variáveis no plano fator (1x3): 51.83% .....	41
Figura 20 - Análise das Componentes Principais: Segunda Coleta Projeção dos Casos (Dia e Noite) no plano fator (1x3): 51.83% .....	41
Figura 21 - Análise das Componentes Principais: Primeira e Segunda Coleta Projeção das Variáveis no plano fator (1x2): 52.48% .....	44
Figura 22 - Análise das Componentes Principais: Primeira e Segunda Coleta Projeção dos Casos (Campanha – C_01 e C_02) no plano fator (1x2): 51.83% .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do Mercúrio (Hg).....	6
Tabela 2 - Isótopos mais estáveis do Hg.....	7
Tabela 3 - Hg Contaminação: por tipo de Hg, fontes, formas de contaminação. vias de eliminação e toxicidade.....	8
Tabela 4 - Coordenadas dos Pontos de coleta (Primeira e Segunda Campanha) .....	17
Tabela 5 - Dimensões das câmaras de coleta .....	21
Tabela 6 - Estatística Descritiva: Primeira Coleta de Dados (Janeiro_2013) .....	29
Tabela 7 - Correlações entre Hg <sup>0</sup> as demais variáveis (primeira coleta) Correlações realçadas são significativas: $p < 0,05000$ N = 48 .....	30
Tabela 8 - Análise de Grupos (2 vias) Estatística Descritiva (primeira coleta) .....	30
Tabela 9 - Análise de variância (primeira coleta).....	32
Tabela 10 - Teste LSD; Variável: Turbidez (primeira coleta) .....	32
Tabela 11 - Teste LSD; Variável: Hg (ng / m <sup>3</sup> ) (primeira coleta).....	32
Tabela 12 - Correlações intra-grupo (primeira coleta) Grupo: Turno Dia/Noite: Dia - Zona Litorânea/Limnética: Litorânea .....	33
Tabela 13- p-valores para Correlações dentro do grupo (primeira coleta) Grupo: Turno Dia/Noite: Dia - Zona Litorânea/Limnética: Litorânea .....	33
Tabela 14 - Autovalores da matriz de correlação e estatísticas relacionadas.....	34
Tabela 15 - Fator coordenado das variáveis, com base na correlação: (primeira coleta).....	34
Tabela 16 - Estatística Descritiva - Segunda Coleta de Dados (jun/2013) .....	36

---

Tabela 17 - Correlações entre as variáveis (segunda coleta).....	37
Tabela 18 - Análise de Grupos (Two way) – Estatística Descritiva (segunda coleta)....	38
Tabela 19 - Correlações intra-grupos para a variável Hg <sup>0</sup> (segunda coleta) Grupo: Turno Dia/Noite: Dia Zona Litorânea/Limnética: Limnética .....	39
Tabela 20 - p-valores para Correlações dentro do grupo para a variável Hg <sup>0</sup> (segunda coleta). Grupo: Turno Dia/Noite: Dia Zona Litorânea/Limnética: Limnética .....	39
Tabela 21 - Autovalores da matriz de correlação e estatísticas relacionadas. Segunda Campanha.....	40
Tabela 22 - Fator coordenado das variáveis, com base na correlação: Segunda Campanha.....	40
Tabela 23- Teste T: Comparação de Grupos para o agrupamento das campanhas 1 e 2; Grupos Variável 'Campanha' = C_01 e C_02.....	43
Tabela 24 - Teste ANOVA/MANOVA TWO-WAY .....	43
Tabela 25 - Autovalores da matriz de correlação e estatísticas relacionadas. Análise conjunta Primeira e Segunda Campanha.....	43
Tabela 26 - Fator coordenado das variáveis, com base na correlação: Primeira e Segunda Campanha.....	44
Tabela 27 - Estatística Descritiva: Fluxo do Hg <sup>0</sup> na interface água/atmosfera no espelho da Lagoa Bonita – Primeira Campanha. ....	46
Tabela 28 - Estatística Descritiva: Fluxo do Hg <sup>0</sup> na interface água/atmosfera no espelho da Lagoa Bonita – Segunda Campanha. ....	46
Tabela 29 - Estimativa do total de mercúrio Hg <sup>0</sup> liberado à atmosfera pelo espelho da Lagoa Bonita (valores em quilogramas - Kg) .....	46
Tabela 30 - Características Topográficas da Miceobaca da Lagoa Bonita .....	54
Tabela 31 – Dados da Primeira Campanha de Coleta - Janeiro/2013 – pag.1 .....	55
Tabela 32 - Dados da Primeira Campanha de Coleta - Junho/2013 - pag.2 .....	56
Tabela 33 - Dados da Segunda Campanha de Coleta - Junho/2013 - pag.1 .....	57
Tabela 34 - Dados da Segunda Campanha de Coleta - Junho/2013 - pag.2 .....	58
Tabela 35 - Dados da Segunda Campanha de Coleta - Junho/2013 - pag.3 .....	59
Tabela 36 - Correlações entre Hg <sup>0</sup> as demais variáveis (primeira coleta) Correlações realçadas são significativas: p<0,05000 N = 48 .....	59
Tabela 37 - Análise de variância (Primeira Coleta) - Efeitos realçados são significativos: p <0,05000.....	60

---

Tabela 38 - Correlações intra-grupos (primeira coleta) - Grupo: Turno Dia / Noite: Dia - Zona Litor / Limné: Litorânea Correlações marcadas são significativos a $p < 0,05000$	60
Tabela 39 - p-valores para Correlações dentro do grupo (primeira coleta) - Grupo: Turno Dia / Noite: Dia - Zona Litor / Limné: Litorânea Correlações marcadas são significativos a $p < 0,05000$	61
Tabela 40 - Autovalores da matriz de correlação e estatísticas relacionados (primeira coleta) Apenas variáveis ativas.	61
Tabela 41 - Análise de variância (Segunda Coleta) - Efeitos realçados são significativos: $p < 0,05000$ .	62
Tabela 42 - Teste de LSD; Variável: OxiRed (mV) (segunda coleta) Diferenças realçadas são significativas: $p < 0,05000$ .	62
Tabela 43 - Teste de LSD; Variável: Cond. (mS / cm) (segunda coleta)	62
Tabela 44 - Correlações intra-grupo (segunda coleta) Grupo: Turno Dia / Noite: Dia Zona Litor / Limné:.. Limnetica Correlações realçadas são significativos: $p < 0,05000$	63
Tabela 45 - p-valores para Corrs dentro do grupo. Grupo: Turno Dia / Noite: Dia Zona Litor / Limné:.. Limnetica . Correlações marcadas são significativos: $p < 0,05000$	63
Tabela 46 - Autovalores da matriz de correlação e estatísticas relacionadas. Apenas variáveis ativas.	64
Tabela 47 – Estatística Descritiva 2-Way – Duas Campanhas.	64
Tabela 48 - Teste T: Comparação de Grupos para o agrupamento das campanhas 1 e 2; Grupos Variável 'Campanha' = C_01 e C_02.	66
Tabela 49 - Teste ANOVA/MANOVA TWO-WAY – (completa).	66
Tabela 50 - Autovalores da matriz de correlação e estatísticas relacionadas. Análise conjunta Primeira e Segunda Campanha – (completa)	67
Tabela 51 - Características do isótopos de mercúrio ( $^{xxx}\text{Hg}$ ):	67

---

---



## 1 - Introdução:

Inúmeros são os fatores que contribuem para a contaminação e degradação dos corpos hídricos, mesmo que de fontes indiretas ou que não possam ser facilmente detectadas e/ou relacionadas com estas contaminações, sejam elas de origem natural ou antropogênica. Dentre estes fatores ressalta-se a presença do mercúrio (Hg), um metal com elevado potencial de toxicidade (BISINOTI, 2005). Sua ocorrência no meio ambiente se dá em associação com outros elementos, sendo o mais comum o enxofre e resultando no minério denominado cinábrio (HgS), com colorações que vão de tons avermelhados à cor preta quando submetida à luz solar (REIS, 2008).



**Figura 1 - Cinábrio: aspecto físico - fonte: (REIS, 2008)**

Suas maiores jazidas em exploração se encontram ao sul da Europa (Itália e Espanha). Na região da China seus usos como fonte de pigmentos de cor vermelha ou como componente de medicamentos que culturalmente teriam eficácia no prolongamento da vida datam de mais de três mil anos (MICARONI, et al., 2000) (MALM, 1991). Deste minério, sob tratamento térmico, é obtido o Hg na forma metálica, cuja principal característica física é a de ser o único metal no estado líquido em condições normais de temperatura e pressão (REIS, 2008).

O mercúrio pode ser agrupado em duas formas químicas: inorgânica ou orgânica. Para a primeira forma, seus estados de oxidação normais são o  $\text{Hg}^0$ , o  $\text{Hg}^+$  e o  $\text{Hg}^{2+}$ , e para a segunda os compostos como o etilmercúrio (EtHg), o metilmercúrio (MeHg), o dimetilmercúrio (DMeHg) dentre outros (TAVARES, 2007). Na forma do metilmercúrio

este metal apresenta seu maior potencial de toxicidade (BISINOTI, 2005), pois possui elevada estabilidade e é solúvel em lipídios, além de possuir características iônicas que lhe tornam capaz de permear as membranas celulares dos organismos vivos, resultando no processo de bioacumulação nos tecidos destes organismos, bem como na biomagnificação (ou magnificação trófica) desta contaminação nos indivíduos dos níveis mais elevados da cadeia (RODRIGUES, et al., 2010) (BAÊTA, 2004).

A principal forma do mercúrio presente na atmosfera é a inorgânica  $Hg^0$ , ou mercúrio elementar, estimando-se em 97% do volume total (NUNES, 2009). As demais formas encontradas, como o mercúrio gasoso divalente ( $Hg^{2+}$ ) e o mercúrio particulado ( $Hg_p$ ), possuem densidades rarefeitas devido às suas instabilidades, sendo rapidamente reduzidos à forma elementar, minimizando seu tempo de permanência na atmosfera, que chega a ser de apenas algumas horas (POISSANT, et al., 2002). O  $Hg^0$ , por ser mais estável, possui um longo tempo de permanência neste compartimento ambiental, alcançando períodos entre 1 e 2 anos, sendo diluído e movimentado por toda a atmosfera pelo deslocamento das massas de ar, o que lhe confere a característica de ser um poluente global (SILVA, 2004) (MAGARELLI, 2006).

O volume total de mercúrio incrementado à atmosfera anualmente é superior a 7500  $Mg^i$ , sendo 5207  $Mg$  oriundos de fontes naturais e de re-emissões, enquanto as fontes antrópicas concentradas são responsáveis pela emissão de 2320  $Mg$  (PIRRONE, et al., 2010). Os montantes de mercúrio que transitam entre os compartimentos ambientais e que se originam das fontes naturais dependem essencialmente de suas concentrações em cada ambiente, das condições climáticas e da tipologia do uso e ocupação destes territórios (NUNES, 2009).

Vários trabalhos buscam avaliar os fluxos de  $Hg^0$  nas interfaces pedosfera/atmosfera e hidrosfera/atmosfera, como (MAGARELLI, 2006), (OLIVEIRA, et al., 2007), (SILVA, 2004) e (BISINOTI, 2005), entre tantos, porém ainda aquém da necessidade de dados sobre o tema. A importância da mensuração destes volumes se mostra especialmente na carência de informações regionalizadas, uma vez que esse aporte é extremamente diverso e suscetível a constantes variações, afetado por uma vasta gama de fatores bióticos e abióticos.

---

<sup>i</sup> **Mg**: Mega grama, múltiplo da unidade de massa (o Grama), equivale a  $10^6$  gramas, o mesmo que uma tonelada.



## 2 – Justificativa

Estudos e pesquisas focados no ciclo do mercúrio têm se tornado uma das áreas mais interessantes e desafiadoras na quimiodinâmica global, que consiste no estudo dos mecanismos de transformações e mobilidade das substâncias químicas, oriundas de fontes antropogênicas ou naturais, nos compartimentos ambientais e através destes (MAGARELLI, 2006). Enquanto nos compartimentos hidrosfera e pedosfera a espécie de maior abundância é o  $\text{Hg}^{2+}$  (BISINOTI, 2005) no compartimento atmosfera a principal forma de mercúrio é o  $\text{Hg}^0$ , com 97% do volume observado (NUNES, 2009), entretanto a avaliação dos montantes aportados a este compartimento ainda deixa a desejar, mesmo com a realização de diversos estudos e pesquisas com essa finalidade, dada a importância destas informações.

Para a ciência quaisquer trabalhos que agreguem informações aos bancos de dados referentes ao elemento mercúrio são relevantes e contribuem para a descrição de cenários do seu ciclo biogeoquímico, além de servirem de base ao estudo das fontes e emissões de Hg, no caso deste trabalho as emissões naturais. Especificamente, dentro da quimiodinâmica, o ciclo biogeoquímico do Hg caracteriza as diversas rotas pelas quais esse elemento e seus compostos podem seguir, destacando-se a liberação das frações deste metal presente nos solos e na água pela ação de processos físicos, químicos e biológicos, como a metilação e a demetilação do mercúrio insolúvel (BISINOTI, et al., 2004) e resultando na liberação de consideráveis parcelas de  $\text{Hg}^0$ , devendo assim ser objeto pesquisas e aferições que contribuirão para os inventários deste metal.

No Brasil, são poucos os dados referentes aos níveis de  $\text{Hg}^0$  na atmosfera, sendo que a quase totalidade dos existentes são relativos a estudos e pesquisas realizadas na região amazônica, em razão de projetos de pesquisa direcionados às atividades garimpeiras de ouro (Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2011), o que justifica as iniciativas de pesquisa e estudos relativos à verificação e a quantificação dos fluxos de  $\text{Hg}^0$  nas interfaces pedosfera/atmosfera e hidrosfera/atmosfera.

Assim, este trabalho focou-se na verificação do fluxo do  $\text{Hg}^0$  liberado pela lamina d'água de um reservatório natural, a Lagoa Bonita em Planaltina-DF, em uma dada uma condição climática, de sua possível variação nictemeral<sup>ii</sup> bem como da estimativa do

---

<sup>ii</sup> Nictemeral: relativo a um período de uma noite e um dia.

montante deste fluxo, sendo necessário para tanto o desenvolvimento de um mecanismo de captura do  $\text{Hg}^0$  liberado e confinamento estável para aferição em períodos de tempo.

### **3 – Objetivo**

#### **3.1 *Objetivo Geral***

Efetuar uma aferição dos valores de  $\text{Hg}^0$  em liberação para a atmosfera, por meio da medição do volume liberado, em vários pontos de coleta preestabelecidos, na Lagoa Bonita, identificando a partir de ferramentas estatísticas as relações de variação nictemeral para os valores observados.

#### **3.2 *Objetivos Específicos***

- Aferir as concentrações de  $\text{Hg}^0$  liberadas pela Lagoa por medições in loco por período de 24 horas;
- Determinar, a partir de análises estatísticas, a existência de um comportamento de variação nictemeral para os fluxos de  $\text{Hg}^0$ , aferidos em campanhas de campo.
- Avaliar os valores de  $\text{Hg}^0$  liberados pela Lagoa, determinando o valor do fluxo em massa/área e estimando o montante total emitido pela Lagoa para uma dada situação climática.

### **4 – Revisão Bibliográfica**

O mercúrio, cujo símbolo químico é Hg em razão de sua nomenclatura grega *Hydrargyrum* que significa ‘prata líquida’ (MALM, 1991), usada por Aristóteles e do termo latinizado dessa nomenclatura – *hydrargyrus* – ‘água de prata’, usada por Dioscórides. É um elemento encontrado em todos os compartimentos ambientais.

Possui características físico-químicas singulares, como a capacidade dissolver outros metais, o ouro (Au) e a prata (Ag) por exemplo, razão pela qual foi amplamente utilizado para a obtenção destes metais via amalgamas (POISSANT, et al., 2002) e ainda a particularidade de ser o único metal no estado líquido em condições normais de temperatura e pressão (MARRERO V., 2004), seu ponto de fusão é de  $-38,89\text{ }^\circ\text{C}$ . O mercúrio é solúvel em lipídeos e em  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (sob de ebulição); é facilmente solúvel em  $\text{HNO}_3$  e insolúvel em HCl (AGENCY, 1999).

O Hg é classificado como um metal pesado, pois possui densidade superior a  $5 \text{ g.cm}^{-3}$ , e como os demais metais pesados possui forte tendência para a formação de complexos estáveis de ligações covalentes (JACKSON, 1998). O sal sulfeto de mercúrio (HgS) é a sua forma mais estável e o Hg de sua composição corresponde a 82% da sua massa (MARRERO V., 2004). O aquecimento do cinábrio, como é denominado este minério (HgS), seguido da condensação dos seus vapores é o método utilizado para a obtenção do mercúrio metálico (REIS, 2008), sendo esta técnica criada pelos gregos a cerca de 2.300 anos (~ 300 a.C.) (MALM, 1991).

O mercúrio já era conhecido desde a Antiguidade e a utilização do cinábrio como fonte de pigmentos de cor vermelha, pelos Chineses e pelos Indianos, data de mais de três mil anos (MICARONI, et al., 2000), sendo conhecida a existência textos que relatam a crença dos antigos chineses no poder de prolongamento da vida pelo uso de medicamentos e compostos de cinábrio e de mercúrio (MALM, 1991) bem como de registros de haver sido encontrado em túmulos egípcios de cerca de 2.500 a.C. (NAUTILUS.FIS). Historicamente as maiores jazidas deste minério, em operação de prospecção, encontram-se ao sul da Europa, mais precisamente na Itália e na Espanha, na região de Almaden, onde sua mineração teve início a mais de dois mil anos (MICARONI, et al., 2000), havendo na atualidade importantes plantas industriais na Argélia, na Austrália, nos EUA, no leste europeu e no México (Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2011) e outras como podemos visualizar na figura 2.



**Figura 2** - Localização das principais minerações de Mercúrio no mundo – Fonte: mindat.org (RALPH, et al.).  
Nota: Os pontos grafados com sinal + indicam um conjunto de minerações ativas.

#### 4.1 - Características químicas do Hg

O mercúrio, registro CAS 7439-97-6<sup>iii</sup>, é um elemento químico natural, número atômico 80, da classe dos metais. Não apresenta odor característico quando no estado metálico, dissolvido em água ou no ar (AGENCY, 1999). As características de ser facilmente volatilizado com a temperatura, de ser inodoro e incolor facilitam e aumentam os riscos de contaminações por este elemento (JUNG, 2004). Abaixo uma tabela com as principais características do mercúrio.

**Tabela 1 - Características do Mercúrio (Hg)**

Densidade:	13,534 g/cm <sup>3</sup> (25°C)
Pressão de vapor a 25 °C:	2 * 10 <sup>-3</sup> mm Hg
Solubilidade:	0,28 µmol/L em H <sub>2</sub> O (25 °C). Insolúvel em HCl, HBr, HI. Solúvel em HNO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (sob ebulição).
Ponto de fusão:	-38,87 °C (234,13 K)
Ponto de ebulição:	356,72 °C (629,72 K)
Estado físico:	Líquido em condições normais de temperatura e pressão
Cor:	Prata branca
Massa molecular:	200,59
Viscosidade:	1,55 Pa·s a 20°C <sup>iv</sup>
Tensão superficial:	484 dinas/cm (25°C) <sup>v</sup>
Condutividade elétrica (G)	1,04 * 10 <sup>6</sup> S/m <sup>vi</sup>
Condutividade térmica	8,34 W/(m * k) <sup>vii</sup>
Rede cristalina:	Hexagonal de empacotamento compacto
Raios médios:	Hg <sup>1+</sup> .....: 127 pm Hg <sup>2+</sup> .....: 112 pm Atômico .... : 160 pm Covalente .... : 144 pm
Fatores de conversão:	
- ppm (v/v) para mg/m <sup>3</sup>	1ppm = 8,18 mg/m <sup>3</sup> (25°C)
- mg/m <sup>3</sup> para ppm (v/v)	1 mg/m <sup>3</sup> = 0,122 ppm (25°C)

Fonte: resumo combinado de (NAUTILUS.FIS) e (AGENCY, 1999)

<sup>iii</sup>O número CAS ou registro CAS refere-se a uma identificação numérica única atribuída a um composto químico, um polímero, uma sequência biológica ou uma liga. É criado no banco de dados do Chemical Abstracts Service, uma divisão da Sociedade Americana de Química (Chemical American Society).

<sup>iv</sup> Pa·s : Pascal-segundo é a unidade de medida da viscosidade no Sistema Internacional de Unidades. 1 Pa·s corresponde exatamente a 1 N·s/m<sup>2</sup> ou 1 kg/(m·s).

<sup>v</sup> dina·cm<sup>-1</sup> : dina por centímetro é a unidade de medida da tensão superficial para líquidos equivalente a 1·10<sup>-3</sup> N·m<sup>-1</sup> (ou 1 mN· m<sup>-1</sup>) no SI.

<sup>vi</sup> S/m : Siemens por metro é a unidade de medida do SI para a condutividade elétrica (ou resistência específica do material) , equivale ao o inverso da resistividade (ou resistência específica do material), ou seja, 1/ohm.

<sup>vii</sup> W/(m \* k): Watt por metro por Kelvin é a unidade de condutividade térmica do SI.

O mercúrio possui 41 isótopos conhecidos, dos quais apenas 07 são estáveis e os de número atômico (Z) 199, 200, 201 e 202 correspondem a 83% de sua ocorrência na natureza. Na Tabela 2 observamos as características destes sete isótopos e no anexo a tabela completa, obtida junto ao Instituto de Física da Universidade de Coimbra/Portugal.

**Tabela 2 - Isótopos mais estáveis do Hg.**

Isótopo	Abundância Natural (%)	Massa Atômica	Meia-Vida
<sup>196</sup> Hg	0,15%	195,96581	estável
<sup>198</sup> Hg	9,97%	197,96674	estável
<sup>199</sup> Hg	16,87%	198,96825	estável
<sup>200</sup> Hg	23,10%	199,96830	estável
<sup>201</sup> Hg	13,18%	200,97028	estável
<sup>202</sup> Hg	29,86%	201,97062	estável
<sup>204</sup> Hg	6,87%	203,97347	estável

Fonte: Departamento de Física da Universidade de Coimbra/Lisboa-Pt. (NAUTILUS.FIS)

#### 4.2 – Mercúrio no Ambiente

O mercúrio é um elemento presente em diversos minerais (pelo menos 25), embora sua exploração economicamente viável seja realizada somente através do Sulfeto de Mercúrio II (HgS), denominado Cinábrio, com ocorrência verificada em regiões de atividades vulcânicas recentes. Mesmo sendo conhecida a utilização do Mercúrio desde os tempos antigos a problemática em função de seu uso só se confirmou a relativamente pouco tempo, podendo ser associado inicialmente à colonização das Américas, a partir do século XVI, onde seu uso foi intensificado pela mineração de prata e ouro (MICARONI, et al., 2000) (LACERDA, et al., 1998).

A forma Hg<sup>2+</sup> é a espécie de mercúrio mais abundante nos meios aquáticos e quando complexados alcançam elevada estabilidade. Seus compostos organometálicos se formam pela ligação com S, P, N ou C, em geral por ligações covalentes. A elevada afinidade por ligandos altamente polarizados, as bases fracas de Lewis como os sulfuretos, se justifica pela polarização do Hg<sup>2+</sup>, um fraco ácido de Lewis, como se observa na formação do HgS, extremamente favorecida por esse aspecto (JACKSON, 1998).

As principais formas pelas quais o mercúrio é introduzido ao meio hídrico são a deposição de material particulado atmosférico, o escoamento superficial das águas pluviais que lixiviam o solo após sua lavagem e os lançamentos pontuais de efluentes urbanos e

industriais nos corpos receptores. Assim como os demais metais tóxicos, o mercúrio é transportado pelos fluxos de água em compostos dissolvidos ou em espécies associadas a partículas sólidas (GALVAO M., et al., 2009). O mercúrio que então se encontra nos compartimentos aquáticos na forma dissolvida torna-se rapidamente disponível para a biota pela metilação e (ou) pela absorção biológica (BAÊTA, 2004)

O mercúrio elementar ( $Hg^0$ ) é a forma de maior abundância na atmosfera e sua oxidação pela ação do oxigênio e do ozônio o reconduzem à forma  $Hg^{2+}$  sendo assim transportado à superfície terrestre (continental e oceânica) por deposições secas e úmidas ficando disponível para a metilação bacteriana (NUNES, 2009), (POISSANT, et al., 2002). A forma composta do metilHg é a de maior importância nos compartimentos ambientais por seu elevado potencial de toxicidade para os organismos (BISINOTI, 2005), de modo especial aos mamíferos nos quais, por sua capacidade de permear as membranas celulares dos organismos e afinidade de ligação aos aminoácidos, se acumula principalmente no sistema nervoso central causando disfunções que podem culminar em paralisias e óbito (RODRIGUES, et al., 2010) (LACERDA, et al., 2007).

Além da Neurotoxicidade (SNC) o Hg também apresenta Nefrotoxicidade, afeta os rins; Teratogenicidade, como no caso da chamada doença de Minamata; ou ainda a elevação considerável do risco de hipertensão e de ataques cardíacos, com danos ao sistema cardiovascular (WHO, 2008). Na tabela 3 informações sobre as principais contaminações por Hg.

**Tabela 3 - Hg Contaminação: por tipo de Hg, fontes, formas de contaminação, vias de eliminação e toxicidade.**

<b>Mercúrio:</b>	<b>Fontes</b>	<b>Formas de Contaminação</b>	<b>Via de Eliminação</b>	<b>Toxicidade</b>
▪ <b>Elementar (metálico)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vulcões</li> <li>• Combustão</li> <li>• Desperdício</li> <li>• Incineração</li> <li>• Termômetros</li> <li>• Amálgamas</li> <li>• Remédios</li> <li>• Usos populares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inalação</li> </ul>	Urina / Fezes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sist. Nervoso Central</li> <li>- Rins</li> <li>- Pulmões</li> <li>- Pele (acrodinia em crianças)</li> </ul>
▪ <b>Inorgânico (cloreto de mercúrio)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lâmpadas</li> <li>• Fotografia</li> <li>• Desinfetantes</li> <li>• Cosméticos</li> <li>• Medicina popular</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingestão</li> <li>• Via dérmica</li> </ul>	Urina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sist. Nervoso Central</li> <li>- Rins</li> <li>- Trato Gastro-Intestinal</li> <li>- Pele (acrodinia em crianças)</li> </ul>

▪ <b>Orgânico (metil etil)</b>	• Peixes, etc.;	• Ingestão	- Sist. Nervoso Central - Cardiovascular	
	• Fungicidas	• Parenteral		Fezes
	• Conservantes	• Transplacentária		

Fonte: Extraído de Children's Health and the Environment – (WHO, 2008).

**Nota:** Acrodinia: intoxicação manifestada por inflamação das extremidades, do tórax e do nariz, tornando-os tumefactos, ruborizados, doloridos, e que se faz acompanhar de problemas nervosos e circulatórios.

## 5 – Materiais e Métodos

### 5.1 – Caracterizações da Área de Estudos

A microbacia hidrográfica da Lagoa Bonita está situada na porção nordeste do Distrito Federal, entre os meridianos 23L208494mE / 23L214584mE e os paralelos 8274169mS / 8278699mS, na região administrativa de Planaltina – RA VI. Sua cota de elevação máxima é 1031m e sua cota mínima é 944 m, com uma elevação média de 984,7 metros. A declividade média da bacia é de 2,42% e declividade máxima observada de 13,65% (Tabela 30 - Anexo). Possui uma área de drenagem de 1604,3 ha, com sua foz em UTM 23L210744.54mE\_8274603.74mS, fazendo parte e contribuindo para a bacia hidrográfica do ribeirão Mestre d'Armas, que por sua vez é contribuinte do rio São Bartolomeu cuja bacia hidrográfica é a maior do Distrito Federal.

Esta microbacia engloba a Lagoa Bonita, antiga Lagoa Mestre d'Armas, o maior corpo natural de água do Distrito Federal além de uma importante parcela da ESECAE, em franco processo de recuperação de processos antrópicos.

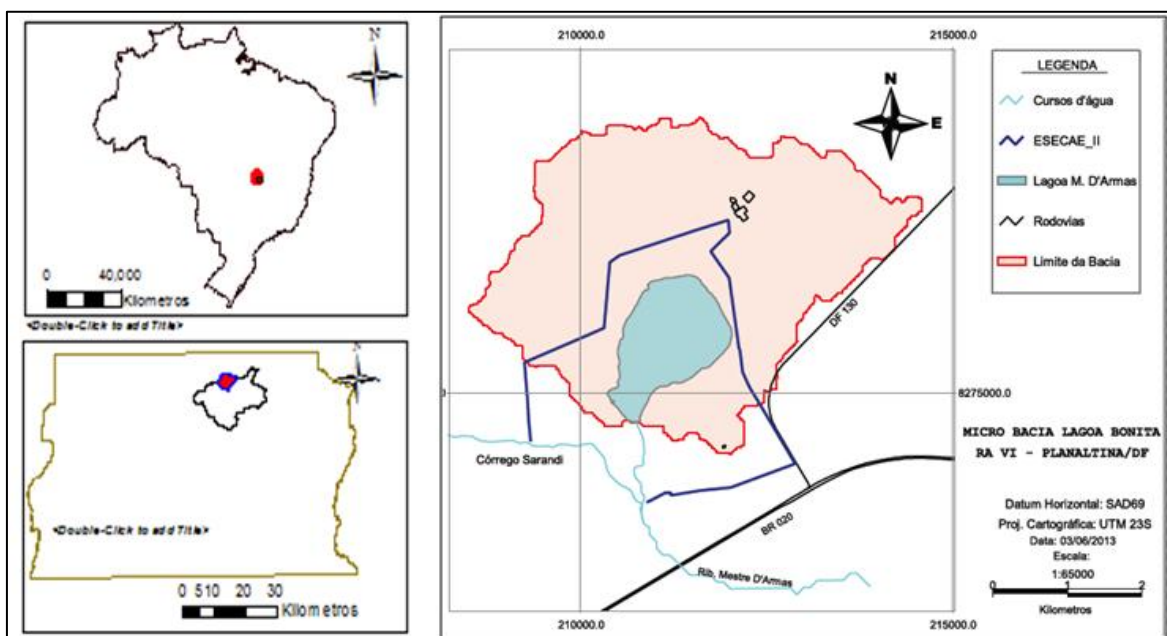


Figura 3 - Mapa da localização da Microbacia Hidrográfica da Lagoa Bonita

Historicamente a bacia da Lagoa Bonita sofreu diversos impactos, pois era parte de uma grande gleba privada, cujo primeiro registro formal data de 1850, denominada Fazenda Lagoa Bonita que foi fracionada judicialmente em 1924 (REZENDE, et al., 2008). Sua utilização seguia o chamado modelo tradicional de uso no cerrado, para uso de pastagem extensiva com a queima do cerrado para rebrota.

Em 1974 a parcela que continha a Lagoa, que permaneceu com o nome de Fazenda Lagoa Bonita, foi objeto de projetos agropecuários e de fruticultura aprovados pelo já extinto Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), tendo sido iniciado neste ano o seu desmatamento (REZENDE, et al., 2008). O primeiro projeto constou do desmate de 70 ha de cerrado *stricto sensu* localizados á margem esquerda (oeste) da Lagoa para o plantio de um mangueiral com 5.000 pés, que foi denominado “Manga Rosa I”, e de 20.000 mudas de eucalipto. Ao final de 1976 teve início o segundo projeto, cujo foco era a bovinocultura, foram desmatados 338 ha de cerrado *stricto sensu* na parte direita da Lagoa (leste). Em 1979 foram removidos 80 ha de cerrado *stricto sensu* para o chamado “Projeto Abacate”, na região da cabeceira da Lagoa e em 1980 erradicados 40 ha de campo sujo para o “Projeto Manga Rosa II”, desta vez ao sul da Lagoa, nas proximidades de onde se localiza o atual Centro de Informação Ambiental (REZENDE, et al., 2008).

O decreto n.º 6.004 de 10 de junho de 1981, contendo o ato declaratório de áreas de utilidade pública para desapropriação, anexa a área da Lagoa Bonita (num total de 779,2162 ha) ao polígono da Reserva Biológica das Águas Emendadas, que em 16 de junho de 1988 pelo decreto n.º 11.137 passa a ser denominada Estação Ecológica de Águas Emendadas – ESECAE.

A Lagoa Bonita possui formato periforme, com uma superfície de 189,3 ha, o que representa 11,8% da área da microbacia, apresentando ligeira oscilação em razão da sazonalidade climática. Seu diâmetro maior é de 2,0 km e o menor de 1,3 km, perfazendo um perímetro médio de 6,03 km, situa-se entre os meridianos 23L210356 mE/ 23L212034mE e os paralelos 8274588mS / 8276579mS; com sua foz em UTM 23L210747 – 8274588 (cálculos e medições realizadas por interpolação de medidas, por fotos de satélite e ferramentas do Google Earth®). Centraliza as drenagens de sua bacia, acumulando o volume de afloramento do lençol freático na depressão de seu relevo e desaguando no córrego Sarandi.



---

Segundo Barbosa-Oliveira (et al., 2007 ) a Lagoa possui uma profundidade média de 1,8m e um volume de cerca de  $1,9 \times 10^6 \text{m}^3$ . Suas águas são límpidas e transparentes e seu fundo recoberto por macrófitas, em especial as das famílias Mayacaceae e Lentibulanaceae. Sua comunidade zooplantônica é bem diversificada e em seu ambiente oligotrófico foram observadas 32 espécies (STARLING, 2000) (BARBOSA-OLIVERIA, et al., 2007). O pH característico deste corpo hídrico é ácido, em torno de 5,67, resultados obtidos até o final da década de 1990 (SOUZA, et al., 2008).

### ***5.1.1 – Clima e Pluviosidade***

Segundo as classificações de Köppen-Geiger, o clima na região nordeste do Distrito Federal é tropical de savana (Aw), apresentando duas estações bem definidas: uma seca, com baixa taxa de precipitação, baixa nebulosidade, elevada taxa de evaporação e com baixos índices de umidade relativa do ar, que vai de maio a setembro; e outra chuvosa, em contraste com a primeira, indo de outubro a abril. A temperatura média no mês mais frio é superior a 18°C enquanto que nos meses mais quentes essa média é superior a 22°C (MAIA, et al., 2008). Os índices de precipitação médios anuais se mantêm entre 1.450 mm e 1.650 mm para a região desta microbacia.

### ***5.1.2 – Geologia***

O Distrito Federal tem sua região política delimitada sobre parte central da região denominada Faixa de Dobramentos e Cavalgamentos Brasília, mais precisamente na transição entre suas porções internas e externas, de acordo com o Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal – ZEE\_VOL II (SEDUMA/GDF, 2009). Um detalhamento da distribuição da geologia regional explicita os quatro grupos que ocorrem no Distrito Federal: Araxá, Bambuí, Canastra e Paranoá, cujas áreas equivalem a 5%, 15%, 15% e 65% respectivamente da área total do território do DF (MARTINS, et al., 2004). Destes o grupo Canastra é o mais antigo, tendo originado entre 1,3 e 1,4 bilhões de anos e seguido, na formação, pelo Grupo Paranoá.

Na microbacia da Lagoa Bonita é observada uma zona de contato dos Gupos Canastra e Paranoá com a ocorrência de um sinclinal, em razão de um fenômeno de cavalgamento descrito como Sistema de Cavalgamento São Bartolomeu/Maranhão que resulta no posicionamento do Canastra sobre o Paranoá (SEDUMA/GDF, 2009)

(FONSECA, 2007) e o ponto inferior deste sinclinal abriga a formação da Lagoa. Quanto às unidades estratigráficas presentes na bacia há a predominância de ocorrência da unidade PPC (Psamo-pelito-carbonatada – Grupo Paranoá), com a presença de materiais silto-argilosos, arenosos e carbonáticos (calcíticos e dolomíticos). Ao sul da bacia ocorrem afloramentos do Grupo Canastra, embora seus limites não tenham sido ainda totalmente determinados e sendo comprovada sua presença na localidade do Centro de Informação, onde o poço artesiano foi escavado nesta unidade geológica, bem como na torre de monitoramento e observação que se encontra sobre quartzitos do Grupo Canastra (MORAES, et al., 2008).

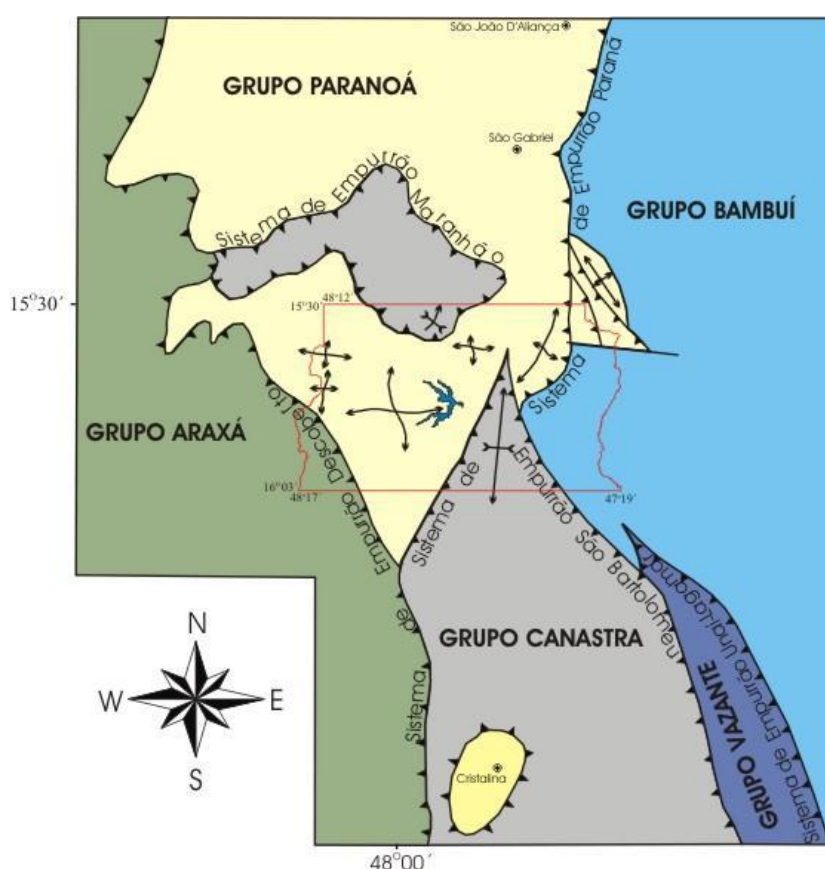


Figura 4 - Distribuição dos empurrões e carregamentos regionais associados à geologia regional do Distrito Federal. Fonte Atualizado de Freitas-Silva & Campos, 1998. In ZEE DF VOL II (SEDUMA/GDF, 2009)

### 5.1.3 – Geomorfologia

Quanto à compartimentação geomorfológica do Distrito Federal, esta consta de 13 unidades geomorfológicas que por suas características comuns foram agrupadas em três macrounidades típicas da Região de Cerrados: Região de Chapada, Região Dissecada de Vale e Área de Dissecação intermediária (SEDUMA/GDF, 2009) (MARTINS, et al., 2004b).

- 
- Região de Chapada: representando aproximadamente de 34% da superfície do Distrito Federal se caracteriza por uma topografia de plana a plana ondulada, ocorrendo em cotas altimétricas superiores a 1000 metros, sendo recobertas por latossolos e couraças vesiculares/pisolíticas (MARTINS, et al., 2004b). O termo couraças se refere a tipos específicos de lateritas, que é a denominação genérica para solos com características comuns como as plintitas, os solos ferralíticos e outros solos de morfologia variada, que podem ser vesicular, concrecionária, vermicular, pisolítico (LANZA, 2012) ;
  - Região Dissecada de Vale: este compartimento engloba de 35% da área do Distrito Federal e é correspondente zonas de depressão litológicas, regiões onde se localizam os cursos de água das bacias (MARTINS, et al., 2004b).
  - Áreas de Dissecação Intermediária: ocupando os de 31% restantes do território do Distrito Federal, esse compartimento se caracteriza por áreas fracamente dissecadas, apresentando em suas partes elevadas a presença de lateritos, latossolos e de colúvios/elúvios finos com abundância de fragmentos de quartzo (MARTINS, et al., 2004b).

A microbacia da Lagoa Bonita encontra-se totalmente inserida na Região Dissecada de Vale.

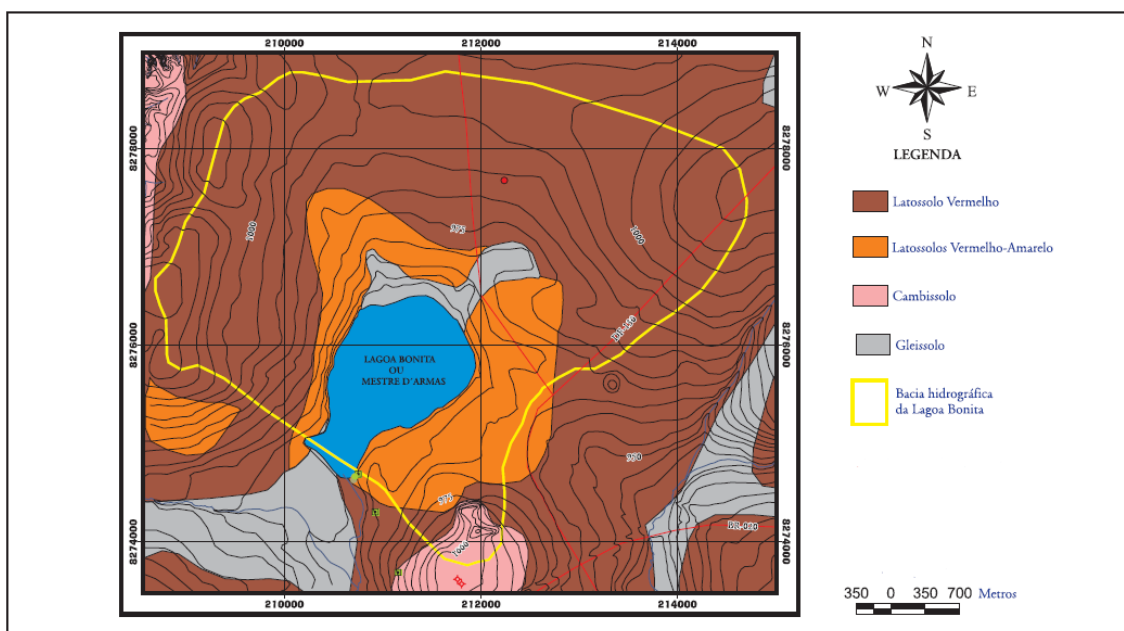
#### **5.1.4 – Solos**

Segundo a definição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS/Embrapa, solo é um conjunto de corpos naturais que contém sólidos, líquidos e gases, são mensuráveis nas três dimensões e estão em constante processo de modificação. São formados por elementos orgânicos e inorgânicos, podendo servir de substrato a organismos vivos e estando suscetíveis à ação destes organismos, inclusive das ações do homem (EMBRAPA, 2009).

Vários são os processos, bióticos e abióticos, que resultam na formação dos solos e que determinam sua constituição e seu comportamento no ambiente. A intensidade e as interações entre estes processos originam solos com características químicas, físicas, biológicas e morfológicas distintas, tornando-os passíveis de classificação e de avaliações pedológicas que definem suas aptidões e orientam suas destinações (LACERDA, 2008).

No Distrito Federal as três principais classes de solos presentes são os Latossolos Vermelhos (38,65%), os Latossolos Vermelho-Amarelos (15,83%) e os Cambissolos (31,01%), totalizando 85,49% da sua área. Nos 14,51% restantes da área observa-se a ocorrência dos argissolos (Podzólicos), gleissolos (Solos Glei), Neossolos Litólicos (Solos Litólicos), Neossolos Quartzarênicos (Areias Quartzosas), nitossolos Vermelhos (Terra Roxa Estruturada Similar), Plintossolos (Lateritas Hidromórficas) e pequenas manchas de outras classes de solos de pouca expressão territorial (LACERDA, 2008).

Os solos encontrados na bacia hidrográfica da Lagoa Bonita são: o Latossolo Vermelho, o Latossolo Vermelho-Amarelo, o Gleissolo e o Cambissolo. Suas prováveis distribuições podem ser observadas na Figura 5, consoante com o SiBCS-Embrapa.



**Figura 5** - Tipos de solo encontrados na microbacia da Lagoa Bonita – Fonte (MORAES, et al., 2008).

Os Latossolos são solos fortemente intemperizados, dos quais foram removidas a sílica e as bases trocáveis de seu perfil, por essa razão possuem concentrações de óxidos, hidróxidos e oxi-hidróxidos de Fe e Al (como hematita), goethita, minerais resultantes do grupo caulinita e outros. O mineral persistente neste solo é o quartzo, pois é altamente resistente ao intemperismo (REATTO, et al., 2004). Os horizontes A, B e C destes solos apresentam pouca diferenciação, baixa variação em seus teores de argila, pH na faixa de 4,5 a 5,5 e teor de alumínio é considerável, de médio a alto (FONSECA, 2007)

Os Latossolos Vermelhos foram desenvolvidos sobre os sedimentos Argilosos de sobre calcários, dos substratos Psamo Pelito Carbonatada (puros, com lentes de calcário ou

---

com filitos) da unidade Psamo Pelito Carbonatada – Grupo Paranoá. (MARTINS, et al., 2002). Sua vegetação característica é em geral o Cerrado e Cerradão.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos são solos que derivam do mesmo substrato que o anterior, substratos Psamo Pelito Carbonatada (puros, com lentes de calcário ou com filitos) da unidade Psamo Pelito Carbonatada – Grupo Paranoá, sendo que seu material de origem são os rególitos argilosos sobre camadas lateríticas finas, podendo ser também derivados sobre rochas do Grupo Canastra, nas chapadas de cotas inferiores. (MARTINS, et al., 2002). A cobertura vegetal deste tipo de solo é Cerrado *stricto sensu*, Campo Limpo e Campo Sujo.

Os Gleissolos são em geral solos pouco desenvolvidos, com drenagem de fraca a muito fraca. Encontrados nas cotas inferiores dos terrenos, como em depressões próximas aos cursos d'água ou junto às nascentes. Possuem elevado teor de matéria orgânica, originando-se sobre rególitos submetidos a prolongados encharcamento que normalmente se devem à elevação do lençol freático. Sua utilização é restrita devido às características de elevada plasticidade e baixa permeabilidade que limitam o desenvolvimento das espécies vegetais (SEDUMA/GDF, 2009).

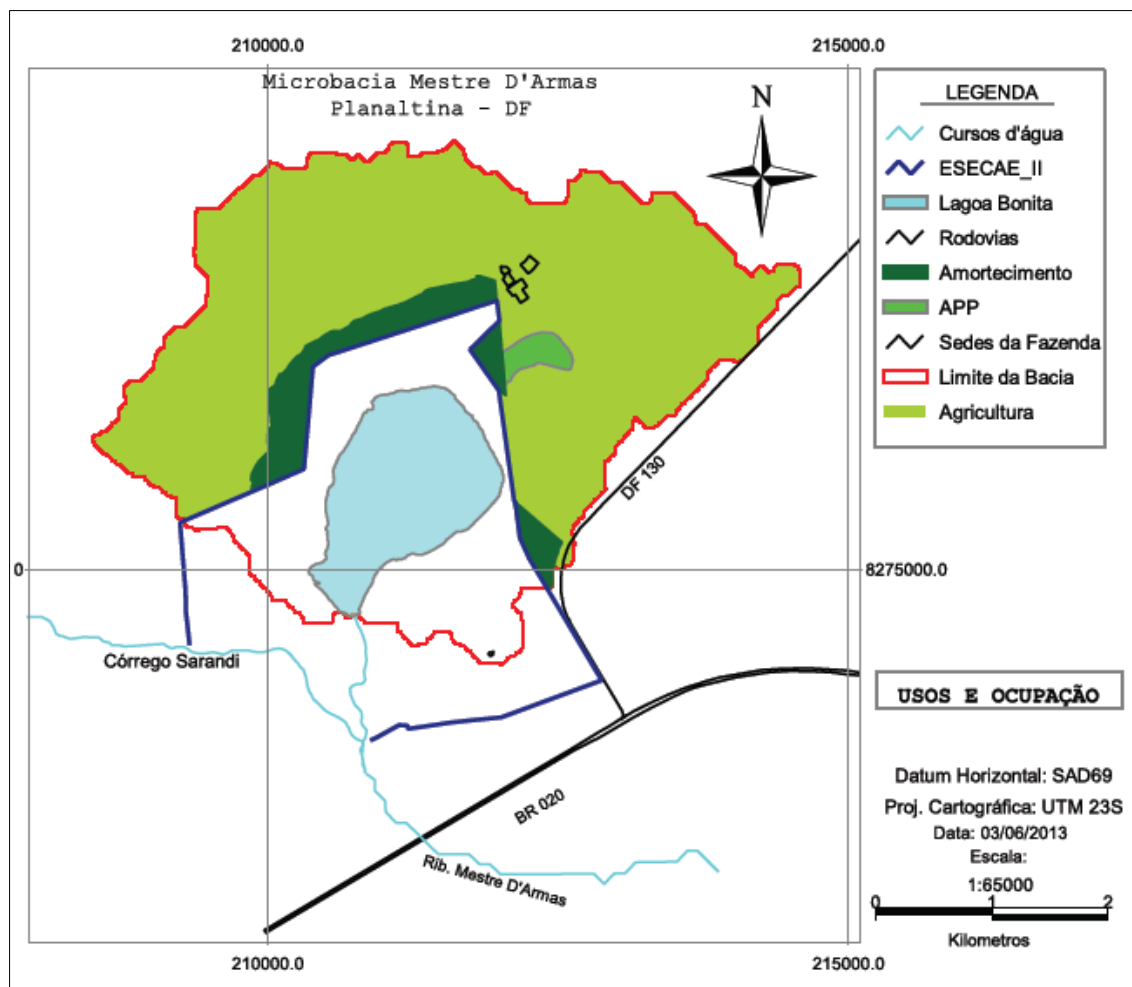
Os Cambissolos são solos pouco desenvolvidos com horizonte B câmbico apresentando minerais primários de fácil intemperização. Possuem baixa espessura de suas camadas, normalmente inferior a 70 cm. Diferenciação entre os horizontes A, (B), C bem definida e sem zona de mesclagem. A vegetação característica deste solo é o Campo Limpo (MARTINS, et al., 2004b).

### **5.1.5 – Uso e Ocupação da Bacia**

A microbacia da Lagoa Bonita possui uma área de 1604,27 hectares, distribuídos com seguinte utilização: 973,04 ha utilizados em projetos de agricultura; 111,33 ha em áreas de proteção (dos quais 15,13 em APP) e 520,10 hectares, da área da bacia da Lagoa Bonita são ocupados pela ESECAE, área de proteção integral, definida pelo decreto n.º 6.004 de 10 de junho de 1981.

Segundo o Zoneamento Ecológico-Econômico do DF, volume III, a bacia da Lagoa Bonita possui aptidão para atividades agrícolas em praticamente toda a área externa à ESECAE, sendo definida como Zona Rural de Uso Controlado pelo PDOT/2009, ressaltando-se a necessidade no cumprimento do que prescreve o Código Florestal quanto a

obrigatoriedade da existência de reserva legal em vegetação nativa equivalente a 20% da área da propriedade (SEDUMA/GDF, 2009b).



**Figura 6** - Mapa de Uso do Solo da Microbacia Lagoa Bonita – Planaltina/DF  
Elaborado sobre imagem Google Earth de 28/12/2012.

## 5.2 – Pontos de Coletas e Análises

### 5.2.1 – Locação dos Pontos e Amostragens

A determinação dos pontos para a coleta e as análises foi elaborada de forma a contemplar a zona litorânea e a zona liminética da Lagoa Bonita. A campanha de coleta foi efetuada nos dias 26 e 27 de janeiro de 2013, ocasião em que foram distribuídos 06 (seis) pontos de coleta (03 em cada zona), nos quais foram realizados oito ciclos de amostragens, num total de 48 leituras. Os trabalhos foram iniciados às 16h40min do dia 26 e concluídos às 17h30min do dia 27, resultando em um intervalo médio de 02h49min entre as leituras do ponto.

Em razão da ocorrência de forte nebulosidade e chuvas na maior parte do período (somente um intervalo pode ser considerado como não nublado) optou-se pela realização de uma segunda campanha de aferições.



**Figura 7** - Aspecto da Lagoa - nebulosidade predominante durante a 1ª. Campanha.

Esta campanha foi realizada nos dias 14 e 15 de junho de 2013, na qual foram distribuídos 07 pontos de coleta e realizados 07 ciclos de leituras, totalizando 49 amostragens, com início às 10h45min do dia 14 e término às 11h30min do dia 15, com intervalo médio entre leituras de 03h23min. A locação dos pontos de coleta é mostrada na Figura 8 e cujas coordenadas constam da Tabela 04.

**Tabela 4** - Coordenadas dos Pontos de coleta  
(Primeira e Segunda Campanha)

<b>Primeira Campanha</b>			
<b>P01_1</b>	23L	210954 m E	8275061 m S
<b>P02_1</b>	23L	211661 m E	8275397 m S
<b>P03_1</b>	23L	211833 m E	8275730 m S
<b>P04_1</b>	23L	211611 m E	8275887 m S
<b>P05_1</b>	23L	211253 m E	8275589 m S
<b>P06_1</b>	23L	210888 m E	8275451 m S
<b>P07_1</b>	23L	210737 m E	8274604 m S
<b>Segunda Campanha</b>			
<b>P01_2</b>	23L	210812 m E	8274874 m S
<b>P02_2</b>	23L	212002 m E	8275787 m S
<b>P03_2</b>	23L	211505 m E	8275339 m S
<b>P04_2</b>	23L	211326 m E	8276109 m S
<b>P05_2</b>	23L	210858 m E	8275667 m S

P06_2	23L	210752 m E	8275350 m S
P07_2	23L	210704 m E	8275156 m S



**Figura 8** - Localização dos pontos de coleta sobre imagem do Google Earth de 30/ago./2011. Os pontos na cor verde são referentes à primeira campanha e os pontos na cor vermelha são referentes à segunda campanha. Os polígonos mostram a variação da área superficial da lagoa.



---

### 5.2.2 – Características dos Pontos

Após a locação dos pontos foi possível averiguar suas características, que são as seguintes:

#### Primeira Campanha:

- Ponto 01: Profundidade de 127 cm; caracterizado como zona litorânea; alta densidade de algas e média densidade de macrófitas na superfície;
- Ponto 02: Profundidade de 207 cm; caracterizado como zona litorânea; alta densidade de algas e alta densidade de macrófitas na superfície;
- Ponto 03: Profundidade de 164 cm; caracterizado como zona litorânea; muito alta densidade de algas e alta densidade de macrófitas;
- ponto 04: Profundidade de 266 cm; caracterizado como zona limnética; baixa densidade de algas e sem presença de macrófitas superficiais;
- Ponto 05: profundidade de 292 cm; caracterizado como zona limnética; baixa densidade de algas e sem presença de macrófitas superficiais;
- Ponto 06: profundidade de 240 cm; caracterizado como zona limnética; baixa densidade de algas e sem presença de macrófitas superficiais;

#### Segunda Campanha:

- Ponto 01: profundidade de 132 cm; caracterizado como zona litorânea; alta densidade de algas e média densidade de macrófitas na superfície;
- Ponto 02 profundidade de 172 cm; caracterizado como zona litorânea; alta densidade de algas e alta densidade de macrófitas na superfície;
- Ponto 03: profundidade de 172 cm; caracterizado como zona litorânea; alta densidade de algas e alta densidade de macrófitas na superfície;
- Ponto 04: profundidade de 238 cm; caracterizado como zona limnética; baixa densidade de algas e sem presença de macrófitas superficiais;
- Ponto 05: profundidade de 261 cm; caracterizado como zona limnética; baixa densidade de algas e sem presença de macrófitas superficiais;
- Ponto 06: profundidade de 1,84 cm; caracterizado como zona limnética; baixa densidade de algas e baixa densidade de macrófitas superficiais;
- Ponto 07: profundidade de 201 cm; caracterizado como zona limnética; baixa densidade de algas e raras de macrófitas superficiais.

Em todos os pontos a água apresentava-se translúcida, sendo possível a verificação visual das características acima.

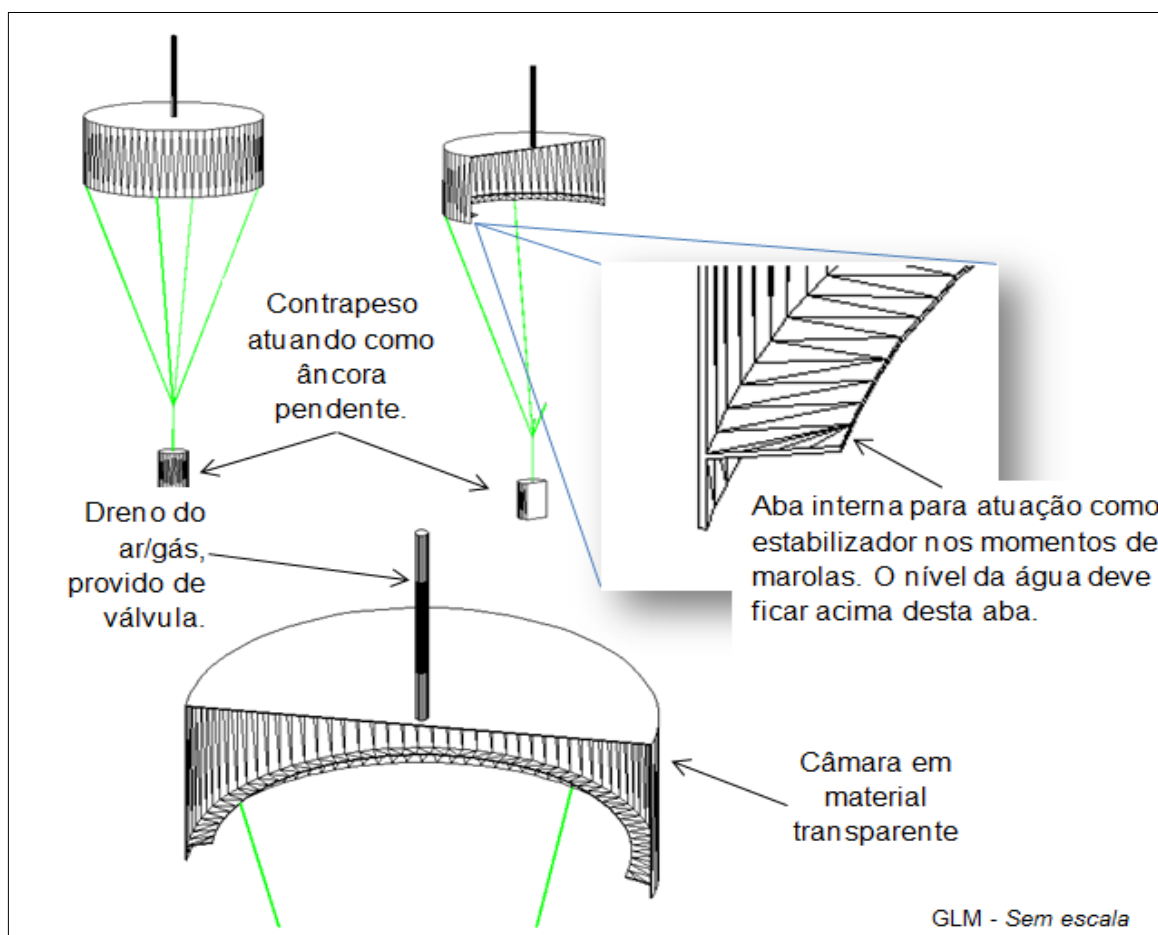
### ***5.3 – Equipamentos Utilizados:***

#### ***5.3.1 – As Câmaras***

Trabalhos como o de SILVA (2004) utilizam a Lei de FICK como base para a avaliação do fluxo do mercúrio na interface água/atmosfera. Este procedimento leva em conta o gradiente de concentração ( $\Delta C$ ) e a velocidade de transferência do gás ( $K$ ) sendo o fluxo  $F$  igual ao produto de  $-K$  por  $\Delta C$ , onde  $\Delta C = (C_{\text{atm}}/H - C_{\text{água}})$  e  $H$  a constante de Henry, adimensional, obtida pela linearização dos valores da solubilidade do mercúrio metálico em razão da temperatura. Tais procedimentos levam em conta a concentração do Hg na água superficial e concentração na atmosfera, porém para o ar o tempo de resposta é relativamente grande, 5 a 10 horas para a coleta, SILVA (2004), como o fluxo liberado sofre alterações de uma vasta gama de fatores este tempo pode ser demasiadamente longo. Assim, optamos pela utilização do equipamento LUMEX 915<sup>+</sup> por tornar capaz a verificação do volume do mercúrio constante de uma amostra do ar diretamente no local da coleta, em pequenos intervalos de tempo.

Para nosso trabalho fez-se necessário o desenvolvimento de um equipamento específico que fosse capaz de acumular de forma eficaz o mercúrio gasoso desprendido da Lagoa Bonita e que permitisse sua análise in loco sendo ainda capaz de fornecer repetitividade e continuidade para o experimento.

Com essas necessidades buscou-se elaborar um projeto que permitisse contornar a problemática da dinâmica superficial da Lagoa em razão do vento, que ocasiona turbulência e marolas com energia suficientes para a deriva das câmaras. Assim chegou-se ao seguinte projeto para o protótipo das câmaras:

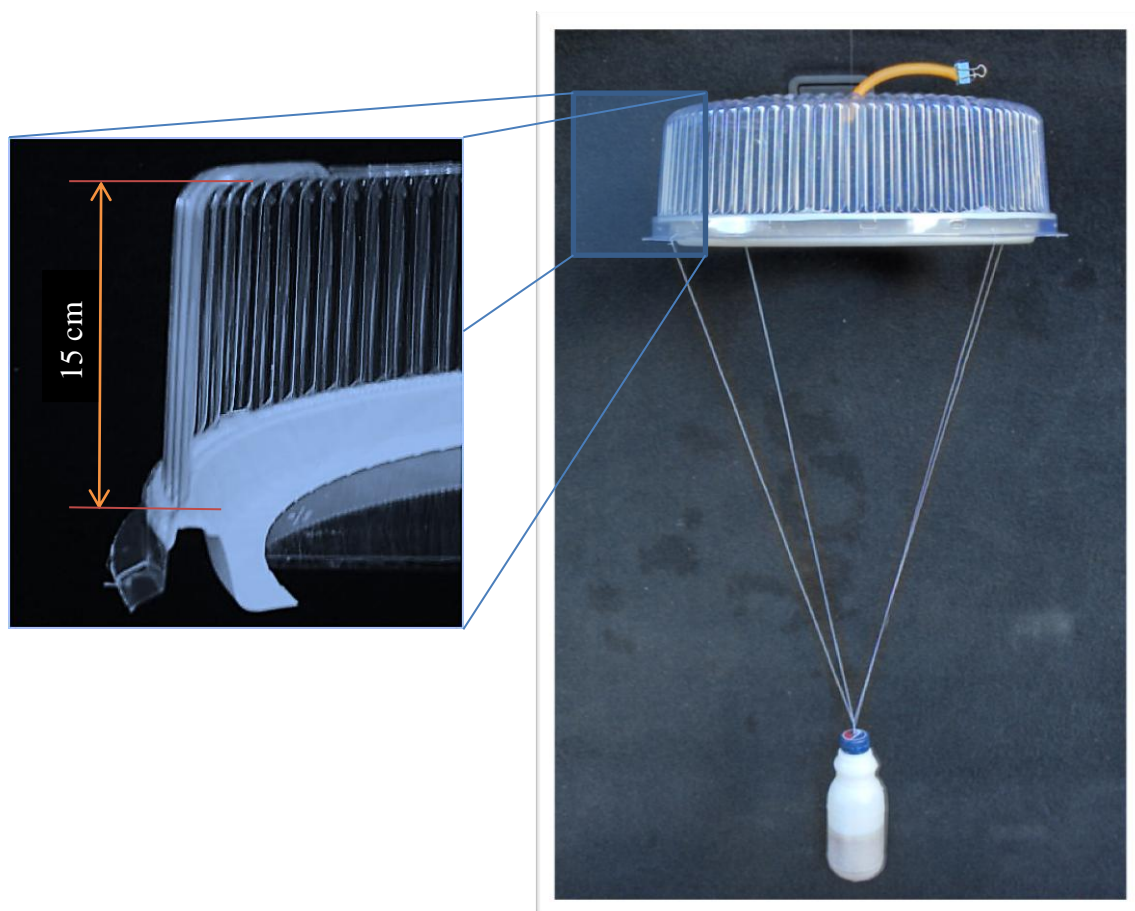


**Figura 9** - Projeto da câmara para coleta do Hg<sub>0</sub> liberado pelo espelho de água da Lagoa

Com estas características predefinidas buscou-se um material adequado para a confecção das câmaras. Encontrou-se no mercado caixas circulares em Pet - polietileno tereftalato – com características, dimensões e volume adequados ao projeto, que foram adaptadas estruturalmente confeccionando o protótipo necessário. Foi montada uma câmara piloto, Tabela 05 - Figura 06, que foi instalada na Lagoa, onde permaneceu por aproximadamente 48 horas, tendo se mantido intacta mesmo após a ocorrência de chuvas e ventos. Foram então montadas as demais câmaras para a sequência dos trabalhos.

**Tabela 5** - Dimensões das câmaras de coleta

Altura útil	15 cm
Diâmetro da base	32 cm
Área da base	804 cm <sup>2</sup>
Volume	12,06 Litros



**Figura 10** - Foto da Câmara confeccionada e pronta para uso - PROTÓTIPO

### 5.3.2 – *Análise do $Hg^0$*

Para a aferição dos valores do fluxo de mercúrio liberados pela Lagoa e acumulados no interior das câmaras durante o intervalo entre as análises foi utilizado o Analisador Zeeman Portátil de Mercúrio, modelo RA-915+, da Ohio Lumex®, devido a sua elevada confiabilidade e à praticidade de utilização sendo possível a execução das leituras in loco. Por trabalhar com as linhas de gás e a célula analítica do analisador aquecida, tem a capacidade de analisar gás/ar com até 30% de água, viabilizando sua utilização em campanhas de campo.

Este equipamento possibilita medir somente o mercúrio elementar ( $Hg^0$ ) sem o uso do conversor ou apenas o mercúrio total ( $Hg_T$ ), com o uso do conversor e alteração da frequência de medição através de software (OHIOLUMEX Co., 2012).

O princípio de funcionamento do Lumex RA-915+<sup>®</sup> se baseia no efeito Zeeman, que consiste essencialmente na divisão da linha de ressonância do mercúrio ( $\lambda = 254\text{nm}$ ) de uma lâmpada de mercúrio, por um campo magnético permanente, em três componentes polarizadas de Zeeman ( $\pi$ ,  $\sigma^-$  e  $\sigma^+$ ) e quando a radiação se propaga através deste campo magnético modulador de polarização um fotodetector retém somente a radiação das componentes  $\sigma$ , uma sendo que uma componente passa a trafegar pela célula analítica e outra fora desta célula. Se não houver presença de vapor de mercúrio nesta célula as intensidades das componentes  $\sigma$  serão idênticas e ocorrendo a presença do vapor haverá diferença entre as intensidades sendo tanto maior a diferença quanto maior for a concentração de vapor na célula analítica. Se a concentração de mercúrio da amostra for muito baixa, a sensibilidade do ensaio pode ser melhorada, o analisador Lumex RA-915+<sup>®</sup> possui um limite de detecção de  $2\text{ng/m}^3$  (para o ar e gases) em razão da utilização de uma célula de multi-caminhos com um comprimento efetivo de aproximadamente 10 m, aumentando a percentagem dos átomos de mercúrio na absorção da radiação na célula  $\sigma$ -analítica e assim que melhorando sua sensibilidade de análise (RODRIGUEZ, 2009) (OHIOLUMEX Co., 2012).

O equipamento possui ainda uma célula interna de calibração interna que permite eventuais verificações e testes em campo (OHIOLUMEX Co., 2012)



**Figura 11** - Analisador Espectrometro Lumex RA 915+  
Fonte [www.ohiolumex.com](http://www.ohiolumex.com), em 15 de maio de 2013

### 5.3.3 – Análise Físico-química – pH:

Para a verificação do pH, potencial hidrogeniônico, foi utilizado um Peagâmetro de bancada, marca HACH, modelo sensION<sup>+</sup> pH 31, devidamente calibrado com soluções Tampão pH 4, pH 7 e pH 10 e aferidos com padrões pH 4,5 e pH 6,86;



**Figura 12** - Peagâmetro HACH - sensION + pH 31  
(Fonte: <http://www.hach.com/sension-ph31-glp-laboratory>)

### 5.3.4 – Análise Físico-química – Turbidez:

O equipamento utilizado para a aferição da turbidez das amostras de água foi o turbidímetro digital portátil da marca HACH, modelo 2100P, com modo de medição em Unidades Nefelométricas de Turbidez – UNT (ou NTU em inglês), cuja precisão é de  $\pm 2\%$ .



**Figura 13** - Turbidímetro Digital portátil marca HACH - modelo 2100P.  
(Fonte: <http://www.hach.com/2100p-portable-turbidimeter/product?id=7640450099>)

### 5.3.5 – Análise Físico-química – Demais parâmetros:

Para as demais análises físico-químicas (Temperatura, OxiRed, Condutividade, Oxigênio Dissolvido – OD, % OD e Sólidos Totais Dissolvidos – STD) e a locação dos pontos, foi utilizado um Medidor Multi Parametros de Qualidade de Água – HORIBA, modelo U-53. Cujas características dos parâmetros lidos são:

- OxiRedP Faixa: -2000 mV a 2000 mV; Precisão:  $\pm 15$  mV;
- OD Faixa: 0 a 50,0 mg / L; Precisão: até  $\pm 0,2$  mg / L;
- COND Faixa: 0 a 10 S / m; Precisão:  $\pm 1\%$  FS;
- STD Faixa: 0 a 100 g / L; Precisão:  $\pm 5$  g / L;
- Faixa de temperatura: -5 a 55 ° C; Sensor: JIS Classe B Sensor Termômetro Platinum;
- GPS (U-52G, **53G-U**, U-54G): 12 canais paralelos, sist. PDOP (alta precisão), erro inferior a 30 m ou (2 DRMs).



**Figura 14** - Horiba U-53 Medidor Multi-Parametro de Qualidade de Água. (Fonte: <http://www.instrumart.com/products/33121>)

#### 5.4 – Amostragens

A amostragem consistiu na purga do volume de ar contido na câmara, através do tubo de dreno, diretamente com o RA-915<sup>+</sup> e a leitura da concentração de Hg<sup>0</sup> contido neste, em nanogramas por metro cúbico (ng.m<sup>-3</sup>). Em seguida foi realizada a leitura dos parâmetros físico-químicos com o Horiba U53-G e coletada uma amostra, em recipientes plásticos tipo Pet de 300 ml, da água subsuperficial para verificação de turbidez e pH em laboratório. Todas as coletas foram precedidas da verificação do valor de fundo para a concentração de Hg<sup>0</sup>, que consistiu na leitura do ar atmosférico a uma altura de cerca de 1,00 m da superfície da lagoa no intervalo aproximado de 30 segundos. Em nenhuma das leituras foi observado valor diferente de 0 (zero) ao final deste tempo, indicando que a concentração atmosférica se encontrava abaixo do limite de detecção do RA-915<sup>+</sup>, ou seja, inferior a 2 ng/m<sup>3</sup>.

Para a coleta das amostras de água, estas foram precedidas de tríplice lavagem do frasco com a água subsuperficial do ponto a cada ciclo de coleta e assinalados o horário, número do ponto e número do ciclo em questão, sendo mantidas em refrigeração até a análise.



Figura 15 - Processo de drenagem do ar contido na câmara



### 5.5 – *Elaboração dos Mapas*

Para a determinação da bacia hidrográfica da Lagoa Bonita a imagem ASTM\_EMBRAPA SD-23-Y (MIRANDA, 2005) processadas pelo software ArcMap – ArcGIS versão 10.0 – onde foram aplicadas as ferramentas 3D Analyst (create TIN from features; Funcional Surface;), e rotinas dos pacotes Spatial Analyst Tools (Hidrology\_fill; Hidrology\_Flow Direction; Hidrology\_Flow Accumulation; Hidrology\_Watershed) e Spatial Analyst Tools (Conditional\_CON). Resultando na elaboração do mapa de localização do perímetro da bacia conforme Figura 3.

Para o mapa de uso e ocupação foi efetuada a sobreposição do polígono da bacia hidrográfica sobre imagens do Google Earth<sup>®</sup> de 28/12/2012.

### 5.6 - *Análises Estatísticas*

Concluída a coleta dos dados, estes foram submetidos análises e testes estatísticos por meio das ferramentas do software STATISTICA<sup>®</sup> v10. Essa análise abrangeu o conjunto dos valores das variáveis aferidas nas campanhas de campo e os obtidos em laboratório, com avaliações por campanha e com o conjunto total dos dados.

Na primeira campanha foram realizadas 48 coletas de dados (distribuídas em 08 ciclos de coletas em cada um dos 06 pontos) e na segunda campanha foram realizadas 49 coletas de dados (distribuídas em 07 ciclos de coletas em cada um dos 07 pontos) totalizando 97 pontos amostrais nos quais os parâmetros aferidos foram: Temperatura, pH, OxiRed, Condutividade, Turbidez, OD, %OD, STD e Hg<sup>0</sup>. Foram também observados o Turno (se dia ou noite) e a Zona em que o ponto se situa (se Litorânea ou Limnética) e registrados como variáveis categóricas bem como o tempo entre as leituras de cada ponto, obtendo-se o Intervalo (i).

Além destas variáveis foram criadas, por meio de relações e correspondências, outras 03 variáveis: [*Conc\_acum.hora*] para informar o do valor da Concentração de Hg<sup>0</sup> Acumulada por hora, que indica o incremento desta concentração no interior da câmara, em ng/m<sup>3</sup>; [*Hg\_camara*] que informa a quantidade de mercúrio presente na câmara em ng; e [*Fluxo\_m2/h*] que informa valor do fluxo de mercúrio elementar (Hg<sup>0</sup>) transferido da superfície para a atmosfera em nanogramas por metro quadrado por hora. Estas variáveis foram obtidas pelos seguintes cálculos:

- [**Conc\_acum.hora**] :  $Hg^0$  ( $ng/m^3$ ) /  $h$ : tomou-se o valor da concentração aferida pelo RA-915+ dividida pelo intervalo (i) em horas decimais.

$$[Hg^0(ng/m^3)] / i \quad (1)$$

- [**Hg\_camara**] :  $Hg^0$  ( $ng$ ): tomou-se o valor aferido pelo RA-915+ dividido por 1000 litros e multiplicado pelo volume da câmara.

$$([Hg^0 (ng/m^3)] / 1000L) * 12,06 L \quad (2)$$

- [**Fluxo\_m<sup>2</sup>/h**] :  $Hg^0$  ( $ng$ ) / ( $m^2 * h$ ) : tomou-se o volume de  $Hg^0$  presente na câmara [**Hg\_camara**] dividido pelo intervalo de tempo (i) em horas decimais dividido pela área de base da câmara, para obtenção da taxa de fluxo por  $cm^2$  e multiplicou-se por 10.000 para se obter a equivalência em  $m^2$ .

$$([Hg^0 (ng)] / i) / 804 cm^2 * 10.000 cm^2 \quad (3)$$

Primeiramente estes dados foram processados, sendo realizadas as análises de estatística básica (ou descritiva) onde se obteve o valor médio de cada parâmetro aferido, seu desvio e erro padrão, além de destacado o valor máximo e o valor mínimo observado para uma caracterização generalizada do corpo hídrico.

A seguir foram realizados os testes de análise de variância ANOVA, na busca das interações e relações entre as variáveis, diferenciando-as segundo os grupos de interesse do trabalho que são os turnos diurno e noturno e a zona de localização do ponto, Litorânea ou Limnética.

Com a ferramenta de estatística por grupo foram selecionadas as variáveis aferidas e os grupos turno e zona, resultando no conjunto de dados onde são detalhados os valores de média e desvio padrão para cada variável segundo os grupos. Seguindo-se da análise de variância, do teste LSD e da análise de correlações entre grupos.

Finalmente a análise das componentes principais (ACP), ou PCA termo mais utilizado. As correlações entre os dados analisados devem possuir significância e elevado grau de determinação, porém por vezes observam-se baixas correlações que em muitos casos são significativas, não sendo possível indicar sua causa e efeito. Nestas situações a estatística multivariada se torna o instrumental mais adequado para responder a questões sobre a variabilidade, a redução e a importância das variáveis (BERNARDI, et al., 2009).

A análise das componentes principais (ACP) é uma destas ferramentas, ressaltando-se que é tão somente um instrumento de avaliação o que exige do analista um conhecimento adequado das variáveis em análise. Conforme Bernardi (et al., 2009:p.81):

*Em estudos ambientais com muitas amostras e variáveis, sejam elas físicoquímicas, biológicas e/ou temporais, que devem ser levadas em consideração, uma das formas de avaliar integradamente um complexo de dados é a metodologia estatística multivariada, onde as variáveis podem ser analisadas em conjunto. Para evitar conclusões indesejáveis, o pesquisador deve ter, porém, um bom conhecimento a respeito das variáveis em questão, pois a análise multivariada é apenas uma forma exploratória de classificação e ordenação, em suma um instrumento e não um modal epistêmico em si.*

Para se iniciar a análise das componentes principais efetuou-se o cálculo dos autovalores e seus respectivos autovetores de uma matriz de variâncias e covariâncias, ou das correlações entre as variáveis. Escalonam-se os autovalores em ordem decrescente, sendo o primeiro o de maior percentagem da variabilidade. Os autovetores associados a esses autovalores correspondem às componentes principais e são o produto das cargas de suas variáveis (BERNARDI, et al., 2001). De modo geral dois ou três vetores apresentam representatividade suficiente para a análise, com valores da ordem de 70% da variabilidade apresentada.

## 6 – Resultados e Discussão

### 6.1 – Primeira Campanha

#### 6.1.1 – Estatística Descritiva

Para os dados da primeira campanha, com a aplicação da estatística descritiva, obtiveram-se as seguintes informações:

**Tabela 6 - Estatística Descritiva: Primeira Coleta de Dados (Janeiro\_2013)**

	Temp °C	pH	OxiRed mV	Cond. mS/cm	Turb. NTU	OD mg/L	%OD	STD	Hg ng/m <sup>3</sup>
Amostras	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Média	23.02	5.45	420.60	0.0041	0.81	8.16	97.2271	0.0028	11.48

Mínimo	21.97	5.14	325.00	0.0030	0.46	6.56	77.9000	0.0020	2.00
Máximo	24.32	6.18	455.00	0.0050	1.70	11.28	132.0000	0.0030	33.00
Desv. Padrão	0.495	0.231	24.950	0.0004	0.270	1.103	12.911	0.0004	5.957

Desta análise pode se concluir que o corpo hídrico da Lagoa Bonita preserva as características físico-químicas narradas em trabalhos anteriores, apresentando-as como nos padrões de ambientes aquáticos com baixo grau de impacto. Suas águas se mantêm ácidas, conforme SOUZA (2008), com valor médio de 5,45 e as demais características, como Turbidez, OD e STD em níveis indicadores desta boa qualidade. Ainda nas análises descritivas, realizou-se a verificação das correlações entre as variáveis, conforme a Tabela.

**Tabela 7 - Correlações entre Hg<sup>0</sup> as demais variáveis (primeira coleta)**  
Correlações realçadas são significativas:  $p < 0,05000$  N = 48

	Hg <sup>0</sup> (ng/m <sup>3</sup> )		Hg <sup>0</sup> (ng/m <sup>3</sup> )
Temp (°C)	<b>0.423768</b>	Turb.(NTU)	-0.171994
pH	0.153296	OD (mg/L)	-0.016637
OxiRed (mV)	<b>-0.505963</b>	%OD	0.014073
Condutiv. (mS/cm)	0.022934	STD	-0.143827

**Nota:** A tabela completa se encontra em anexo (Tabela 36).

Observando os dados relativos à variável de interesse deste trabalho, verificamos a existência de correlação significativa entre esta e as variáveis Temperatura e OxiRed, indicando um valor de p é menor que 0,05 para estas relações.

### 6.1.2 – Estatística por Grupos e ANOVA

Complementando as análises anteriores procedeu-se o uso das rotinas de estatística por grupos. Foram escolhidas as variáveis aferidas em campo como variáveis dependentes e as variáveis Turno\_Dia/Noite e Zona\_Litorânea/Limnética como grupos e então selecionados os códigos para os grupos de variáveis (duas vias) resultando na tabela 8.

**Tabela 8 - Análise de Grupos (2 vias) Estatística Descritiva (primeira coleta)**

	(N)	Temp (°C) (Média)	Temp (°C) (Desv.Pad..)	pH (Média)	pH (Desv.Pad..)	OxiRed (mV) (Média)	OxiRed (mV) (Desv.Pad..)
Noite	24	22.8892	0.2891	5.4917	0.286321	430.5417	17.2551
Litorânea	12	22.8500	0.3802	5.5233	0.341023	426.1667	23.5327
Limnética	12	22.9283	0.1641	5.4600	0.230059	434.9167	5.1954

Dia	24	23.1554	0.6174	5.4154	0.155982	410.6667	27.7217
Litorânea	12	23.1842	0.8288	5.4350	0.196862	406.9167	33.2250
Limnética	12	23.1267	0.3293	5.3958	0.106212	414.4167	21.7317
Todos os grupos	48	23.0223	0.4955	5.4535	0.231319	420.6042	24.9525
	(N)	Cond. (mS/cm) (Média)	Cond. (mS/cm) (Desv.Pad..)	Turbidez (NTU) (Média)	Turbidez (NTU) (Desv.Pad..)	OD (mg/L) (Média)	OD (mg/L) (Desv.Pad..)
Noite	24	0.004167	0.000381	0.805417	0.240850	8.144167	1.056668
Litorânea	12	0.004250	0.000452	0.787500	0.217470	8.522500	1.070294
Limnética	12	0.004083	0.000289	0.823333	0.270734	7.765833	0.936361
Dia	24	0.004125	0.000448	0.822500	0.302816	8.168750	1.170356
Litorânea	12	0.004083	0.000515	0.952500	0.303798	8.743333	1.201418
Limnética	12	0.004167	0.000389	0.692500	0.250132	7.594167	0.836817
Todos os grupos	48	0.004146	0.000412	0.813958	0.270804	8.156458	1.103107
	(N)	STD (Média)	STD (Desv.Pad..)	Hg (ng/m <sup>3</sup> ) (Média)	Hg (ng/m <sup>3</sup> ) (Desv.Pad..)	%OD (Média)	%OD (Desv.Pad..)
Noite	24	0.002875	0.000338	9.83333	4.824455	96.8417	12.34095
Litorânea	12	0.002750	0.000452	9.08333	5.632024	101.2000	12.45559
Limnética	12	0.003000	0.000000	10.58333	3.964807	92.4833	11.03893
Dia	24	0.002792	0.000415	13.12500	6.602453	97.6125	13.71354
Litorânea	12	0.002583	0.000515	12.16667	6.322159	104.4667	13.81701
Limnética	12	0.003000	0.000000	14.08333	7.012435	90.7583	9.99040
Todos os grupos	48	0.002833	0.000377	11.47917	5.957258	97.2271	12.91166

Nota: N = 48 (Sem dados perdidos)

Nesta tabela observamos as médias de cada variável e seus respectivos desvios, segundo os agrupamentos Noite [Litorânea/Limnética] e Dia [Litorânea/Limnética] onde se constata as similaridades no comportamento das variáveis Temperatura, OxiRed, e Hg<sup>0</sup> quanto ao turno, denotando acréscimo pelo dia, assim como também observado na variável OD, porém em menor escala. Quanto à Zona somente as variáveis Temperatura e Turbidez apresentaram comportamentos díspares, com valores maiores na zona litorânea pelo dia e maiores na zona limnética pela noite, o que era esperado em razão das profundidades, as demais se mostraram homogêneas com acréscimo ou decréscimo da zona limnética para a litorânea tanto no período do dia quanto da noite. Vale ressaltar o comportamento da variável Hg<sup>0</sup> que apresenta valor maior tanto em razão da zona, mais profunda na limnética, quanto do turno, se dia ou noite.

A seguir foi efetuada a análise de variância ANOVA – One Way, onde não foi observada variância significativa para as variáveis Temperatura, pH, Condutividade, Turbidez e Hg<sup>0</sup>, contradizendo o esperado pela análise de correlações entre as variáveis.

**Tabela 9 - Análise de variância (primeira coleta)**  
ANOVA – One Way

	F	p
Temp.	1.251363	0.302711
pH	0.626590	0.601671
Hg <sup>0</sup> (ng/m <sup>3</sup> )	1.616229	0.199211

**Nota:** A tabela completa se encontra em anexo (Tabela 37).

Pelos valores obtidos de F e p das variáveis Temperatura, pH e Hg<sup>0</sup> (maiores que 0,050) não há consonância com a análise anteriormente realizada e poderia de se optar pela hipótese nula (H0) para essas correlações, porém como já referido, segundo BERNARDI (et al. 2009), por vezes observam-se baixas correlações em casos que são significativos. Assim foi então efetuado o teste LSD (Post-hoc) para estas variáveis onde pode se observar que as variáveis de Turbidez e Hg<sup>0</sup> apresentam diferença significativa de variância. No caso da turbidez para as zonas limnética e litorânea no turno do dia e no caso do Hg<sup>0</sup> para a zona limnética no turno do dia e a zona litorânea no turno da noite.

Teste LSD para a variável Turbidez:

**Tabela 10 - Teste LSD; Variável: Turbidez (primeira coleta)**

	{1} (M=.78750)	{2} (M=.82333)	{3} (M=.95250)	{4} (M=.69250)
Noite Litorânea {1}		0.739605	0.130680	0.380027
Noite Limnética {2}	0.739605		0.234381	0.228496
Dia Litorânea {3}	0.130680	0.234381		<b>0.019390</b>
Dia Limnética {4}	0.380027	0.228496	<b>0.019390</b>	

**Nota:** Diferenças realçadas são significativas: p <0,05000

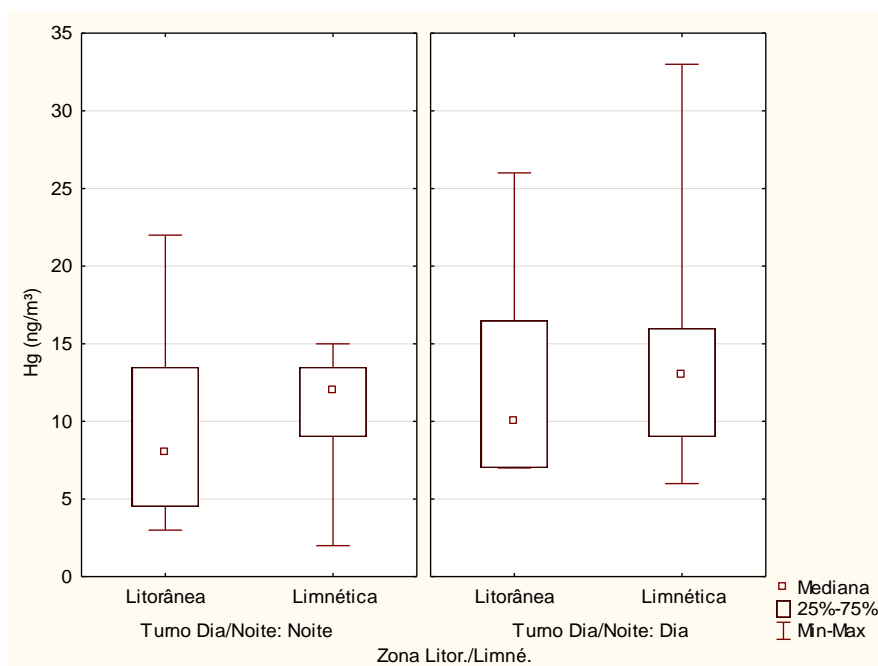
Teste LSD para a variável Hg<sup>0</sup>:

**Tabela 11 - Teste LSD; Variável: Hg (ng / m<sup>3</sup>) (primeira coleta)**

	{1} (M=9.0833)	{2} (M=10.583)	{3} (M=12.167)	{4} (M=14.083)
Noite Litorânea {1}		0.532745	0.202934	<b>0.041874</b>
Noite Limnética {2}	0.532745		0.510338	0.149447
Dia Litorânea {3}	0.202934	0.510338		0.426040
Dia Limnética {4}	<b>0.041874</b>	0.149447	0.426040	

**Nota:** Diferenças realçadas são significativas: p <0,05000

Para a variável  $Hg^0$  a diferença entre a zona limnética no turno do dia e a zona litorânea no turno da noite é tênue, porém pode ser observada no gráfico a seguir.



**Figura 16** - Gráfico Box Plot para a distribuição da variável  $Hg^0$   
ANOVA: Grupos Dia-Noite / Limnética-Litorânea

Foi então efetuada a análise de correlações, com a opção por correlações e covariâncias entre os grupos (Turno Dia/noite e Zona Litorânea/Limnética), confirmando assim as relações significativas entre as variáveis  $Hg^0$ , Temperatura e OxiRed como pode ser observado nas tabelas de Correlações entre grupos e de p-valores para grupos.

#### Correlações Intra-Grupos:

**Tabela 12** - Correlações intra-grupo (primeira coleta)

Grupo: Turno Dia/Noite: Dia - Zona Litorânea/Limnética: Litorânea

	Temp (°C)	pH	OxiRed (mV)	Cond. (mS/cm)	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	%OD	STD	Hg (ng/m <sup>3</sup> )
Hg (ng/m <sup>3</sup> )	0.5771	-0.102	-0.7136	-0.1722	-0.3051	0.1388	0.2158	-0.535	1.0000

**Nota:** Correlações realçadas são significativas a  $p < 0,05000$  – Tabela completa em anexo (Tabela 38)

#### p-valores para as correlações dentro do grupo:

**Tabela 13**- p-valores para Correlações dentro do grupo (primeira coleta)

Grupo: Turno Dia/Noite: Dia - Zona Litorânea/Limnética: Litorânea

	Temp (°C)	pH	OxiRed (mV)	Cond. (mS/cm)	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	%OD	STD
Hg (ng/m <sup>3</sup> )	0.04940	0.75354	0.00915	0.59253	0.33496	0.66714	0.50053	0.07293

**Nota:** Correlações realçadas são significativas a  $p < 0,05000$  – Tabela completa em anexo (Tabela 39)

### 6.1.3 – Análise de Componentes Principais (ACP)

Estabelecidas as correlações, realizou-se a Análise de Componentes Principais, no intuito de verificar a ocorrência da variação nictemeral na emissão do  $Hg^0$  pelo espelho d'água da Lagoa Bonita. Submetendo-se a matriz dos dados relativos às variáveis aferidas em conjunto com a variável categórica Turno\_Dia/Noite.

Inicialmente foram inseridas as variáveis aferidas na campanha e acrescidas as variáveis calculadas (Conc\_acum/hora, Hg\_camara e Fluxo\_m<sup>2</sup>/hora) como “variáveis suplementares”, pois estas são produtos da variável  $Hg^0$  e estão diretamente relacionadas a ela, porém seu comportamento precisa ser averiguado. Como suplementares têm tratamento à parte dos cálculos estatísticos e não interferem nos resultados. Calculados os autovalores constata-se que os três primeiros vetores têm em conjunto a representatividade de 74,57% das variações, ou cargas, das variáveis em estudo.

**Tabela 14 - Autovalores da matriz de correlação e estatísticas relacionadas**

Vetor	Autovalor	% Total (variância)	Acumulado (Autovalor)	Acumulado (%)
1	2.833482	31.483132	2.833482	31.483132
2	2.549917	28.332407	5.383398	59.815539
3	1.327881	14.754232	6.711279	74.569770

Nota: Tabela completa no anexo (Tabela 40).

As potenciais variáveis determinantes para cada um dos vetores é obtida na tabela 15. Observa-se ainda que as variáveis suplementares possuem o mesmo peso nos fatores, além de grande proximidade com a variável  $Hg^0$  em razão de serem produtos desta última.

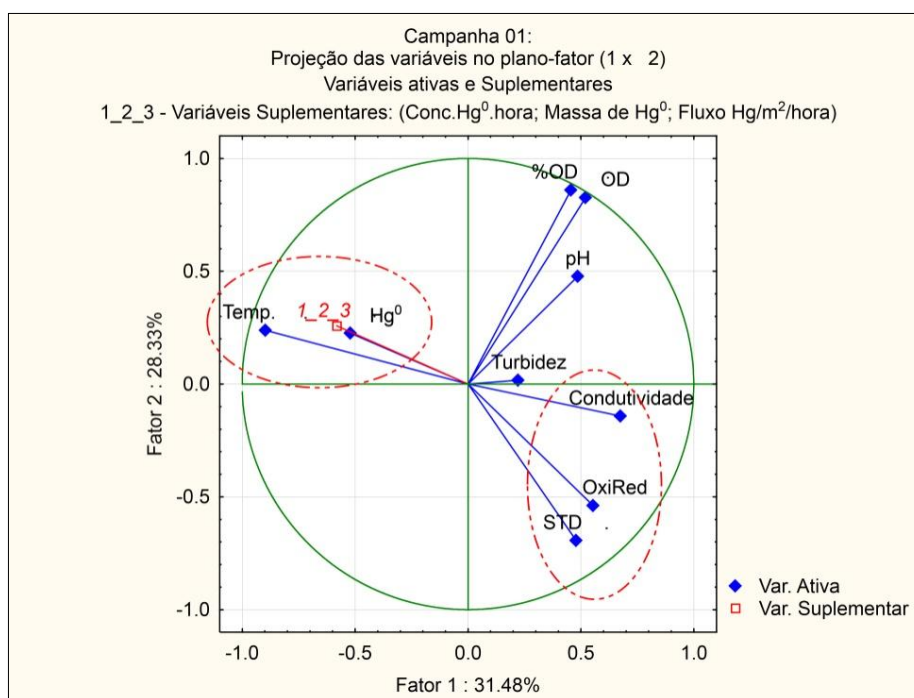
**Tabela 15 - Fator coordenado das variáveis, com base na correlação: (primeira coleta)**

	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Temp (°C)	-0.896989	0.237915	-0.024146
pH	0.486251	0.476874	-0.330063
OxiRed (mV)	0.554378	-0.538693	-0.063668
Condutividade (mS/cm)	0.675175	-0.142172	-0.317484
Turbidez (NTU)	0.221679	0.016328	0.878592
OD (mg/L)	0.520523	0.826562	0.022280
STD	0.478876	-0.693666	-0.224754
Hg (ng/m <sup>3</sup> )	-0.521335	0.226045	-0.538692
%OD	0.456135	0.860094	0.019546
*Conc_acum.hora (ng/m <sup>3</sup> )	-0.581949	0.258252	-0.534529
*Hg_Camara (ng)	-0.581949	0.258252	-0.534529
*Fluxo_m2/h (ng)	-0.581949	0.258252	-0.534529

Nota: Variáveis ativas e suplementares - \*Variável Suplementar

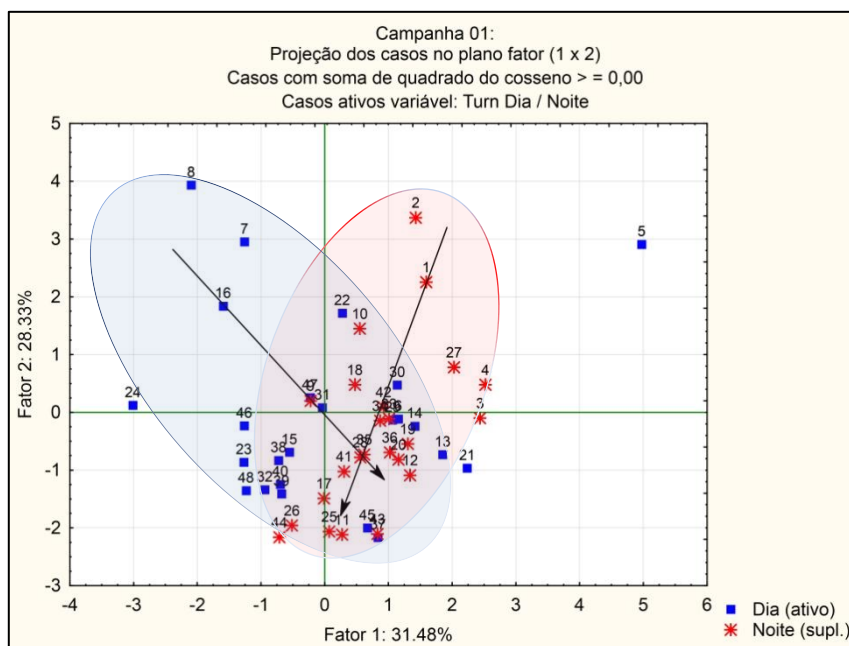


Pelo gráfico na Figura 17 podemos verificar visualmente que de fato as variáveis Temperatura, OxiRed e OD\_%OD influenciam no comportamento da variável  $Hg^0$ , sendo no caso da temperatura essa influência é diretamente proporcional, enquanto no caso da variável OxiRed a influência é inversamente proporcional. O peso relativo do primeiro vetor é de 31,48% e do segundo vetor de 28,33%, denotando alta relevância deste plano vetor.



**Figura 17** – Análise das Componentes Principais: Primeira Coleta  
 Projeção das Variáveis no plano fator (1x2): **59.81%**

Analisando-se a distribuição dos casos no plano-fator (1x2), gráfico da Figura 18, é possível constatar a separação das características dos conjuntos, confirmando a existência do comportamento nictemeral para a emissão do  $Hg^0$ . Percebe-se um adensamento do primeiro para o quarto quadrante dos dados relativos aos casos suplementares (Noite) enquanto que os dados relativos aos casos ativos (Dia) esse adensamento se dá do segundo para o terceiro quadrante.



**Figura 18** – Análise das Componentes Principais: Primeira Coleta  
 Projeção dos Casos (Dia e Noite) no plano fator (1x2); **59,81%**

## 6.2 – Segunda Campanha

### 6.2.1 – Estatística Descritiva

Tal como na primeira campanha, os dados da segunda campanha, foram submetidos à aplicação da estatística descritiva, obtendo-se as seguintes informações:

**Tabela 16** - Estatística Descritiva - Segunda Coleta de Dados (jun/2013)

	Temp (°C)	pH	OxiRed (mV)	Cond. (mS/cm)	Turb. (NTU)	OD (mg/L)	%OD	STD	Hg <sup>0</sup> (ng/m <sup>3</sup> )
Amostras	49	49	49	49	49	49	49	49	49
Média	<b>20.52</b>	<b>5.49</b>	<b>394.63</b>	<b>0.004143</b>	<b>0.85</b>	<b>7.9492</b>	<b>94.77</b>	<b>0.00284</b>	<b>8.25</b>
Mínimo	18.3	5.00	304.00	0.003	0.50	6.4288	77.20	0.002	3.00
Máximo	21.37	5.88	425.00	0.005	2.01	9.92	117.46	0.003	18.00
Desv. Padrão	0.661	0.208	22.135	0.000408	0.347	1.0066	11.739	0.00037	3.443

Da mesma forma que na primeira coleta, os dados indicam que a Lagoa possui características de corpo hídrico sujeito a baixo impacto, água com pH ácido e ótimos níveis de OD.

Para a segunda campanha, os dados também foram submetidos a análise de correlações entre variáveis, resultando somente em uma correlação significativa para a variável  $Hg^0$  ( $p < 0,050$ ), sendo entre esta variável e a variável pH.

**Tabela 17 - Correlações entre as variáveis (segunda coleta)**

	Temp (°C)	pH	OxiRed (mV)	Cond. (mS/cm)	Turb. (NTU)
Temp (°C)	1.000000	0.474260	0.549897	-0.096269	-0.186424
pH	0.474260	1.000000	0.069018	0.274988	-0.208789
OxiRed (mV)	0.549897	0.069018	1.000000	-0.051709	-0.104011
Cond. (mS/cm)	-0.096269	0.274988	-0.051709	1.000000	0.396223
Turb. (NTU)	-0.186424	-0.208789	-0.104011	0.396223	1.000000
OD (mg/L)	-0.305300	-0.132350	-0.342446	0.196174	0.585547
%OD	-0.287418	-0.137093	-0.348584	0.163185	0.573065
STD	-0.022457	0.138576	0.131214	0.292826	-0.161575
$Hg^0$ (ng/m <sup>3</sup> )	0.248390	0.289857	0.062163	0.004235	-0.268204

	OD (mg/L)	%OD	STD	$Hg^0$ (ng/m <sup>3</sup> )
Temp (°C)	-0.305300	-0.287418	-0.022457	0.248390
pH	-0.132350	-0.137093	0.138576	0.289857
OxiRed (mV)	-0.342446	-0.348584	0.131214	0.062163
Cond. (mS/cm)	0.196174	0.163185	0.292826	0.004235
Turb. (NTU)	0.585547	0.573065	-0.161575	-0.268204
OD (mg/L)	1.000000	0.997736	-0.068524	-0.090246
%OD	0.997736	1.000000	-0.096472	-0.081853
STD	-0.068524	-0.096472	1.000000	0.112756
$Hg^0$ (ng/m <sup>3</sup> )	-0.090246	-0.081853	0.112756	1.000000

**Nota:** Correlações realçadas são significativas a  $p < 0,05000$  ; N = 49

### 6.2.2 – Estatística por Grupos e ANOVA

Foram realizadas as rotinas de estatística por grupos com as variáveis aferidas em campo na segunda campanha de coleta de dados, como variáveis dependentes e também

com as variáveis categóricas Turno\_Dia/Noite e Zona\_Litorânea/Limnética como grupos. Utilizado o detalhamento de grupo em duas vias, obtendo-se os seguintes dados detalhados por categoria e subgrupo.

**Tabela 18 - Análise de Grupos (Two way) – Estatística Descritiva (segunda coleta)**

	Temp (°C) (Média)	(N)	Temp (°C) (Desv.Pad..)	pH (Média)	pH (Desv.Pad..)	OxiRed (mV) (Média)	OxiRed (mV) (Desv.Pad..)
Dia	20.59565	23	0.620468	5.530435	0.233423	392.0870	24.88869
Litorânea	20.41818	11	0.810948	5.421818	0.259839	386.2727	33.91782
Limnética	20.75833	12	0.334279	5.630000	0.158056	397.4167	11.32542
Noite	20.44692	26	0.699673	5.470000	0.182822	396.8846	19.60475
Litorânea	20.13462	13	0.839133	5.380769	0.171584	399.0000	18.14295
Limnética	20.75923	13	0.323122	5.559231	0.151463	394.7692	21.49090
All Groups	20.51674	49	0.661092	5.498367	0.208110	394.6327	22.13471
	Cond. (mS/cm) (Média)	(N)	Cond. (mS/cm) (Desv.Pad..)	Turb. (NTU) (Média)	Turb. (NTU) (Desv.Pad..)	OD (mg/L) (Média)	OD (mg/L) (Desv.Pad..)
Dia	0.004174	23	0.000388	0.863478	0.404358	7.809839	0.947165
Litorânea	0.004182	11	0.000405	1.115455	0.469326	8.308182	1.000748
Limnética	0.004167	12	0.000389	0.632500	0.071239	7.353025	0.638591
Noite	0.004115	26	0.000431	0.843462	0.296809	8.072477	1.059398
Litorânea	0.004154	13	0.000555	0.982308	0.286710	8.383846	1.115254
Limnética	0.004077	13	0.000277	0.704615	0.244050	7.761108	0.940384
All Groups	0.004143	49	0.000408	0.852857	0.347743	7.949198	1.006610
	%OD (Média)	(N)	%OD (Desv.Pad..)	STD (Média)	STD (Desv.Pad..)	Hg <sup>0</sup> (ng/m <sup>3</sup> ) (Média)	Hg <sup>0</sup> (ng/m <sup>3</sup> ) (Desv.Pad..)
Dia	93.31130	23	11.18558	0.002783	0.000422	9.73913	3.387375
Litorânea	99.48546	11	11.39883	0.002545	0.000522	8.45455	3.173756
Limnética	87.65167	12	7.68437	0.003000	0.000000	10.91667	3.260182
Noite	96.05808	26	12.27999	0.002885	0.000326	6.92308	2.965442
Litorânea	99.37692	13	12.75757	0.002769	0.000439	5.46154	2.066212
Limnética	92.73923	13	11.29344	0.003000	0.000000	8.38462	3.069703
All Groups	94.76878	49	11.73901	0.002837	0.000373	8.24490	3.443173

**Nota:** N = 48 (Sem dados perdidos)

Por esta análise obteve-se as médias de cada variável e seus respectivos desvios, segundo os agrupamentos Noite [Litorânea/Limnética] e Dia [Litorânea/Limnética] bem como se constata as variáveis com similaridades. Novamente vale ressaltar o comportamento da variável Hg<sup>0</sup> que apresenta valor maior tanto em razão da zona, mais

profunda na limnética, quanto do turno, se dia ou noite, embora os valores observados sejam menores que o aferido na primeira campanha. Outro destaque é a temperatura média que se mostrou um decréscimo superior a 2.5 °C, o que representa mais de 10% de seu valor.

Executada a análise de variância ANOVA – One Way, somente as variáveis OxiRed e Condutividade ( $p=0.532039$  e  $p=0.926220$ , respectivamente) não apresentaram variações significativas, o que também foi apresentado na análise de correlação entre as variáveis. Assim, para estas duas variáveis, foi executado o teste LSD (Post-hoc), anexo, que corroborou os resultados apresentados. Todas as demais variáveis apresentaram variações significativas,  $p\text{-value} < 0,050$ . Tabelas 41, 42 e 43 anexo.

Foi então efetuada a análise de correlações, com a opção por correlações e covariâncias entre os grupos (Turno Dia/noite e Zona Litor/Limn), confirmando assim as relações entre as variáveis  $Hg^0$ , OD e %OD como pode ser observado nas tabelas de Correlações intra grupos e de p-valores para grupos.

#### Correlações Intra-Grupos:

**Tabela 19** - Correlações intra-grupos para a variável  $Hg^0$  (segunda coleta)  
Grupo: Turno Dia/Noite: Dia Zona Litorânea/Limnética: Limnética

	Temp (°C)	pH	OxiRed (mV)	Cond. (mS/cm)	Turb. (NTU)	OD (mg/L)	%OD	STD	$Hg^0$ (ng/m <sup>3</sup> )
$Hg^0$ (ng/m <sup>3</sup> )	-0.3371	-0.2911	0.0084	0.2269	-0.2965	<b>0.6830</b>	<b>0.6526</b>	0.00	1.0000

**Nota:** Correlações realçadas são significativas:  $p < 0,05000$   
Tabela completa no anexo (Tabela 44)

#### Valores de p para os grupos:

**Tabela 20** - p-valores para Correlações dentro do grupo para a variável  $Hg^0$  (segunda coleta).  
Grupo: Turno Dia/Noite: Dia Zona Litorânea/Limnética: Limnética

	Temp (°C)	pH	OxiRed (mV)	Cond. (mS/cm)	Turb. (NTU)	OD (mg/L)	%OD	STD	$Hg^0$ (ng/m <sup>3</sup> )
$Hg^0$ (ng/m <sup>3</sup> )	0.2838	0.3586	0.9793	0.4783	0.3494	<b>0.0144</b>	<b>0.0214</b>		

**Nota:** Correlações realçadas são significativas:  $p < 0,05000$   
Tabela completa no anexo (Tabela 45).

### 6.2.3 – Análise de Componentes Principais (ACP)

Novamente foi executada a Análise de Componentes Principais para verificar a ocorrência da variação nictemeral na emissão do  $Hg^0$  pelo espelho d'água da Lagoa Bonita, submetendo-se a matriz dos dados relativos às variáveis aferidas em conjunto com a variável categórica Turno\_Dia/Noite.

Foram acrescentadas as variáveis calculadas (Conc\_acum/hora, Hg\_camara e Fluxo\_m<sup>2</sup>/hora) como “variáveis suplementares”, pois estas são produtos da variável Hg<sup>0</sup> e estão diretamente relacionadas a ela e como suplementares têm tratamento à parte nos cálculos estatísticos, não interferindo nos resultados.

Calculados os autovalores, Tabela 21, observa-se que os três primeiros vetores têm em conjunto a representatividade de 72,51% das variações, ou cargas, das variáveis em estudo.

**Tabela 21** - Autovalores da matriz de correlação e estatísticas relacionadas.  
Segunda Campanha.

Vetor	Autovalor	% Total (variância)	Acumulado (Autovalor)	Acumulado (%)
1	3.439540	38.21711	3.439540	38.2171
2	1.861494	20.68326	5.301034	58.9004
3	1.225170	13.61300	6.526204	72.5134

**Nota:** Tabela completa no anexo (Tabela 46).

Com a análise de fatores as principais variáveis para a determinação das cargas dos vetores podem ser identificadas, conforme a Tabela 22. Mais uma vez podemos observar que as variáveis suplementares (\*) apresentam os mesmos momentos, embora possam valores diferentes em grandeza, pois estas são produtos da variável Hg<sup>0</sup>, razão pela qual foram excluídas dos cálculos estatísticos para a determinação das componentes.

**Tabela 22** - Fator coordenado das variáveis, com base na correlação:  
Segunda Campanha.

	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Temp (°C)	0.704289	-0.416000	-0.329212
pH	0.343241	-0.631238	0.274100
OxiRed (mV)	0.690243	-0.341776	-0.483422
Cond. (mS/cm)	-0.185047	-0.584688	-0.278411
Turb. (NTU)	-0.749956	-0.287320	-0.541333
OD (mg/L)	-0.879274	-0.385750	0.054168
%OD	-0.885647	-0.359946	0.067042
STD	0.406067	-0.322241	0.017332
Hg <sup>0</sup> (ng/m <sup>3</sup> )	0.173803	-0.605433	0.655498
*Conc_acum.hora (ng/m <sup>3</sup> )	0.371033	-0.662743	0.440790
*Hg <sup>0</sup> _Camara (ng)	0.371033	-0.662743	0.440790
*Fluxo_m2/h (ng)	0.371033	-0.662743	0.440790

**Nota:** Variáveis ativas e suplementares - \*Variável Suplementar

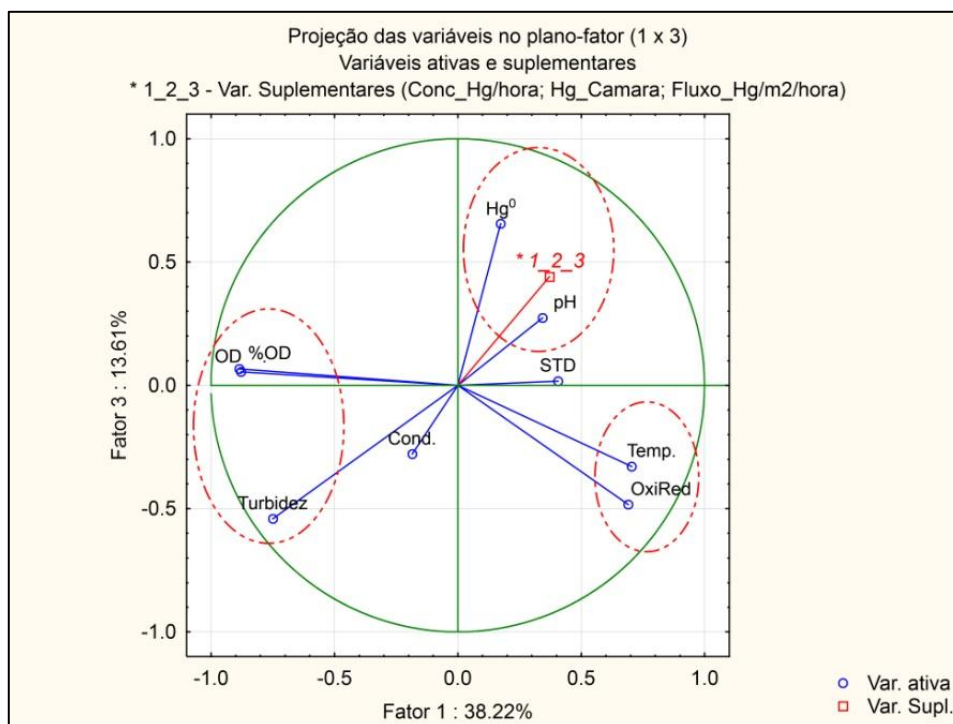


Figura 19 - Análise das Componentes Principais: Segunda Coleta  
Projeção das Variáveis no plano fator (1x3): **51.83%**

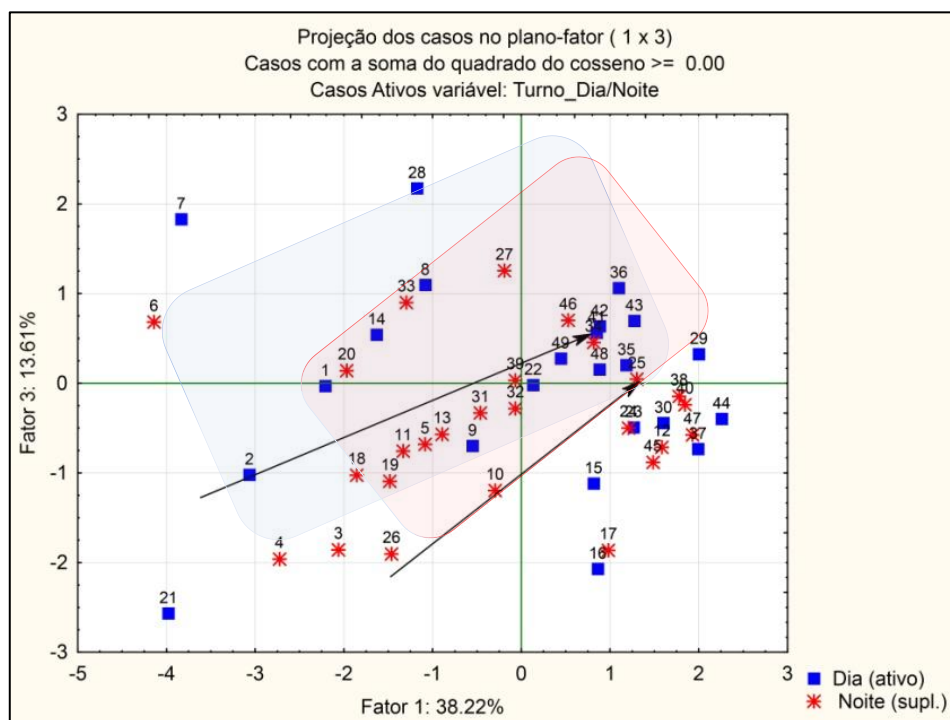


Figura 20 - Análise das Componentes Principais: Segunda Coleta  
Projeção dos Casos (Dia e Noite) no plano fator (1x3): **51.83%**

Com os gráficos dos fatores 1x3 para a projeção das variáveis, Figura 18, e dos casos, Figura 19, podemos verificar que, diferentemente do ocorrido na primeira campanha, os vetores relativos às variáveis  $Hg^0$  e Temperatura não estão mais proporcionalmente ligados, agregando seus momentos de inércia, e posicionam suas cargas (loadings) em quadrantes distintos.

Pela avaliação dos resultados da estatística descritiva por grupos, houve variação considerável entre a média das temperaturas da primeira campanha para a segunda campanha, com um decréscimo superior a 10%. Conforme esperado, esta redução da temperatura média culminou na redução dos valores de  $Hg^0$  liberados para a atmosfera reduzindo da mesma forma a amplitude da variação nictemeral, veja-se a Figura 19 onde estão plotados como casos ativos as amostras diurnas e como casos suplementares as amostras noturnas. Com base nestas análises se observa ainda que o pH passa a ter maior importância na liberação do  $Hg^0$  em temperaturas menores, embora não seja possível através deste trabalho a previsão da alteração do mecanismo de liberação do  $Hg^0$  mediante maior acidificação ou alcalinização do corpo hídrico, pois não foi observada alteração significativa do pH da água.

### ***6.3 – Comparações entre as Campanhas***

Após a realização das análises referentes às duas campanhas procedeu-se uma análise do conjunto dos dados obtidos por agrupamento, para a verificação da similaridade do comportamento das variáveis aferidas (ou suas divergências estatísticas).

#### ***6.3.1 – Teste T e ANOVA TWO-WAY***

Os dados foram relacionados em dois grupos, sendo criada a variável categórica “Campanha” cujos valores ‘texto’ atribuídos foram: *C\_01* para a campanha de janeiro de 2013 e *C\_02* para a campanha de junho de 2013. Foram assim realizadas as análises de estatísticas descritivas (Tabela 47 no anexo) e a seguir os testes de comparação entre grupos (*T-tests: grouping*) para todas as variáveis no qual somente as variáveis Temperatura, OxiRed e  $Hg^0$  apresentaram variâncias significativas (*p-value* < 0,050), denotando um comportamento diferenciado para as duas ocasiões de coleta dos dados. O valor do grau de liberdade *df* é a soma dos valores de *df* de *C\_01* e *C\_02* com valor de 95, para um total de 97 amostras. A tabela completa dos valores de todas as variáveis se encontra no anexo.



**Tabela 23-** Teste T: Comparação de Grupos para o agrupamento das campanhas 1 e 2; Grupos Variável 'Campanha' = C\_01 e C\_02.

	t-value	p	F-ratio (Variances)	p (Variances)	df	Valid N (C_01)	Valid N (C_02)
Temp (°C)	21.08752	0.000000	1.779731	0.050038	95	48	49
OxiRed (mV)	5.42567	0.000000	1.270809	0.411157	95	48	49
Hg (ng/m <sup>3</sup> )	3.28196	0.001443	2.993471	0.000235	95	48	49

**Nota:** Tabela completa no anexo (Tabela 48).

A seguir foi realizado o teste ANOVA TWO-WAY para a análise de variâncias das variáveis aferidas, agrupadas pelas variáveis categóricas Campanha (C\_01 / C\_02) e Turno (Dia / Noite), cujos valores corroboraram o teste T entre os grupos, resultando nas mesmas variáveis com comportamento distinto de variações, e valores de F e p significativos ( $p < 0,050$ ).

**Tabela 24 - Teste ANOVA/MANOVA TWO-WAY**

	F	p
Temp (°C)	151.3924	0.000000
OxiRed (mV)	13.8751	0.000000
Hg (ng/m <sup>3</sup> )	7.4089	0.000167

**Nota:** Correlações realçadas são significativas a  $p < 0,05000$ ; N = 97  
Tabela completa no Anexo (Tabela 49)

### 6.3.2 – Análise de Componentes Principais (ACP)

Complementando as avaliações realizou-se a Análise de Componentes Principais com avaliação de todo o conjunto dos dados. Calculamos os Autovalores e a matriz de correlações entre as variáveis para elencar os possíveis agrupadores dos vetores resultantes. Os momentos de inércia dos três primeiros vetores (ou componentes principais) são responsáveis por 68,33% da inércia total do conjunto das variáveis em análise.

**Tabela 25 - Autovalores da matriz de correlação e estatísticas relacionadas.**  
Análise conjunta Primeira e Segunda Campanha

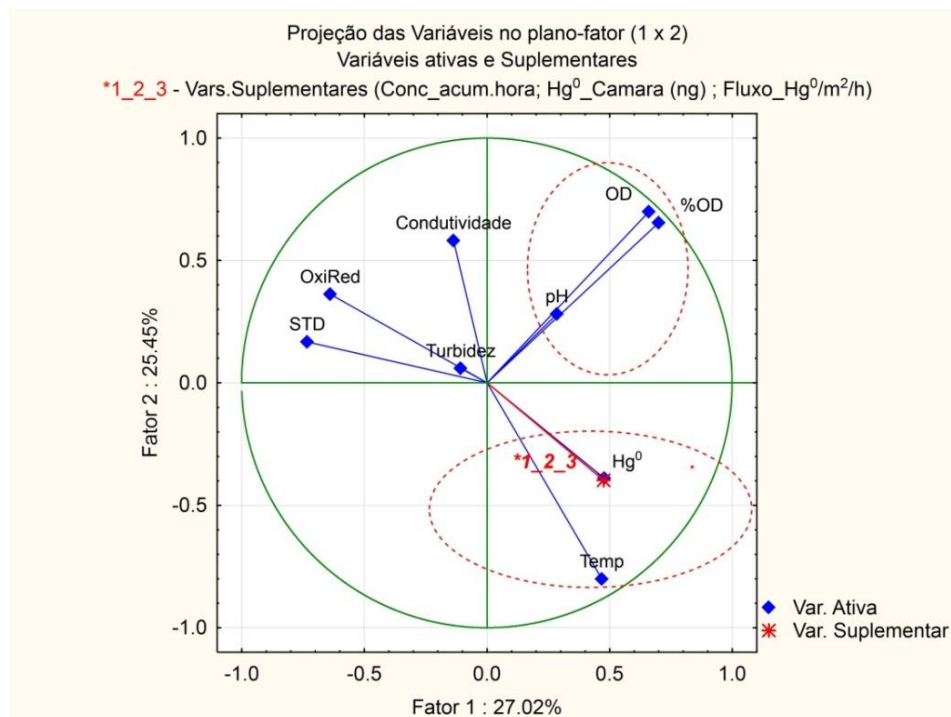
Vetor	Autovalor	% Total (variância)	Acumulado (Autovalor)	Acumulado (%)
1	2.432157	27.02396	2.432157	27.0240
2	2.290859	25.45399	4.723016	52.4780
3	1.426674	15.85193	6.149690	68.3299

**Nota:** Tabela completa no anexo (Tabela 50)

**Tabela 26 - Fator coordenado das variáveis, com base na correlação:  
Primeira e Segunda Campanha.**

	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Temp (°C)	0.467786	-0.801166	0.054378
pH	0.285472	0.281601	-0.432601
OxiRed (mV)	-0.639097	0.362137	0.258337
Condutividade (mS/cm)	-0.135952	0.581426	-0.631119
Turbidez (NTU)	-0.107335	0.059279	0.539948
OD (mg/L)	0.660594	0.699550	0.181600
%OD	0.700690	0.654015	0.187550
STD	-0.732990	0.167518	-0.335178
Hg (ng/m <sup>3</sup> )	0.478293	-0.389630	-0.547250
*Conc_acum.hora (ng/m <sup>3</sup> )	0.475875	-0.397313	-0.577093
*Hg_Camara (ng)	0.475875	-0.397313	-0.577093
*Fluxo_m2/h (ng)	0.475875	-0.397313	-0.577093

Como podemos visualizar pela Análise das Componentes Principais (ACP) realizada com todo o conjunto de dados referentes às duas campanhas não houve alteração dos principais vetores componentes em relação à primeira campanha, sendo apenas verificado um efeito rotacional do segundo e quarto quadrantes, ou seja, em 180 graus em relação ao eixo do conjunto das componentes no primeiro quadrante, a resultante das variáveis OD, %OD e pH. Demonstrando que de fato existe a ocorrência de variação significativa destas variáveis, de modo especial ao Hg<sup>0</sup>, objeto deste trabalho.



**Figura 21 - Análise das Componentes Principais: Primeira e Segunda Coleta  
Projeção das Variáveis no plano fator (1x2): 52.48%**

Na Figura 21 observamos a homogeneização na dispersão dos casos e sua notória divisão em subespaços, fruto das variações sazonais e de ciclo nictemeral.

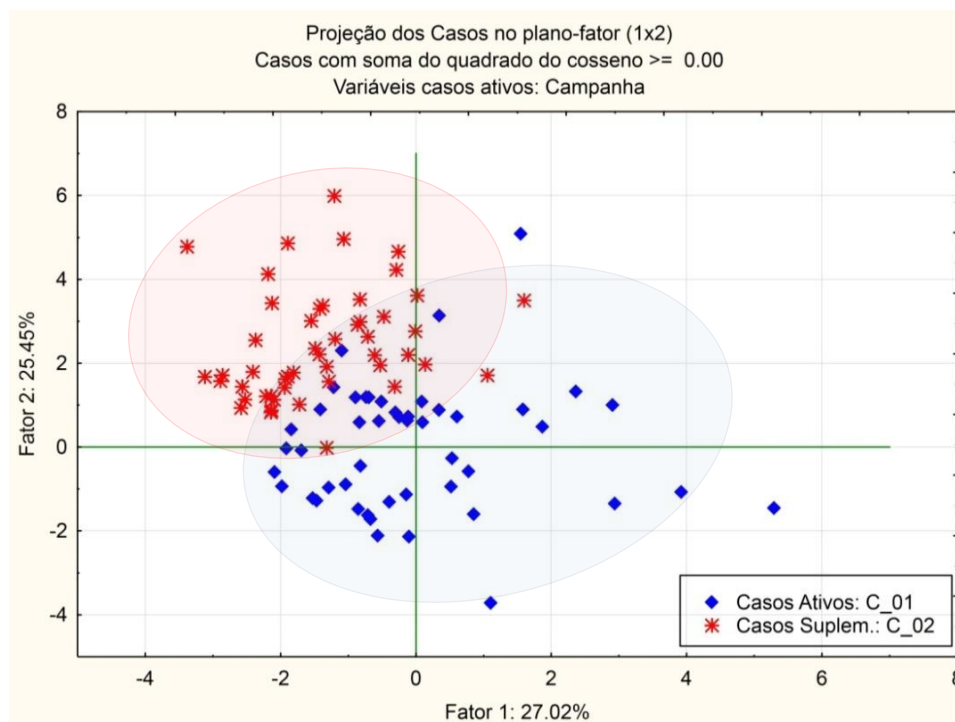


Figura 22 - Análise das Componentes Principais: Primeira e Segunda Coleta  
Projeção dos Casos (Campanha – C\_01 e C\_02) no plano fator (1x2): **51.83%**

#### 6.4 – Determinação do fluxo médio de $Hg^0$

O último objetivo deste trabalho consiste na determinação do fluxo do mercúrio entre a superfície da Lagoa Bonita e a atmosfera.

Os cálculos foram efetuados utilizando as fórmulas 1, 2 e 3 descritas no tópico 5.6 e tendo como base os valores aferidos nas campanhas de campo (vide tabela em Anexo) e resultaram nos seguintes valores (em nanogramas por metro quadrado por hora).

Para a primeira campanha observou-se um fluxo com valor médio de **0.614981**  $ng * m^{-2} * h^{-1}$ , com variância de 0.093378  $ng$ , para o ciclo de 24 horas. Na Tabela 26 os valores para o período da noite e do dia, onde se constata um incremento superior a 30% do fluxo diurno em relação ao noturno.

**Tabela 27** - Estatística Descritiva: Fluxo do Hg<sup>0</sup> na interface água/atmosfera no espelho da Lagoa Bonita – Primeira Campanha.

	(Média) ng.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup>	(N)	(Variância) ng	(Mínimo) ng.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup>	(Máximo) ng.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup>
<b>C_01</b>	<b>0.614981</b>	48	0.093378	0.084906	1.500000
<b>Noite</b>	<b>0.532924</b>	24	0.062980	0.084906	1.137931
<b>Dia</b>	<b>0.697037</b>	24	0.113784	0.285714	1.500000

Para a segunda campanha o valor médio do fluxo foi de **0.365984** ng \* m<sup>-2</sup> \* h<sup>-1</sup>, com variância de 0.020619 ng, também para um ciclo de 24 horas. Na Tabela os valores para o período da noite e do dia, com incremento de 36% do fluxo diurno em relação ao noturno.

**Tabela 28** - Estatística Descritiva: Fluxo do Hg<sup>0</sup> na interface água/atmosfera no espelho da Lagoa Bonita – Segunda Campanha.

	(Média) ng.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup>	(N)	(Variância) ng	(Mínimo) ng.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup>	(Máximo) ng.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup>
<b>C_02</b>	<b>0.365984</b>	49	0.020619	0.135000	0.750000
<b>Noite</b>	<b>0.312774</b>	26	0.016500	0.135000	0.668317
<b>Dia</b>	<b>0.426134</b>	23	0.019108	0.154506	0.750000

### 6.5 – Estimativa do volume de Hg<sup>0</sup> liberado

Com base nos valores dos fluxos médios nas duas campanhas de coleta de dados e adotando a superfície de 189.3 hectares estima-se que nas condições climáticas da primeira campanha o montante anualizado de mercúrio Hg<sup>0</sup> liberado para a atmosfera é de ligeiramente superior a dez quilogramas (10.198 kg), com um erro padrão de 0.731403 kg. Nas condições climáticas da segunda campanha este montante passa a aproximadamente seis quilogramas (6.069 kg) e erro padrão de 0.340164 kg. Os valores anualizados estimados para os turnos aferidos são os constantes da Tabela 28.

**Tabela 29** - Estimativa do total de mercúrio Hg<sup>0</sup> liberado à atmosfera pelo espelho da Lagoa Bonita (valores em quilogramas - Kg)

	Vol/ano (Média)	(N)	Vol/ano (Std.Err.)	Vol/ano (Desv Pad)
<b>C_01</b>	10.19803	48	0.731403	5.067308
<b>Noite</b>	8.83732	24	0.849475	4.161562
<b>Dia</b>	11.55874	24	1.141800	5.593653
<b>C_02</b>	6.06899	49	0.340164	2.381146
<b>Noite</b>	5.18664	26	0.417744	2.130086
<b>Dia</b>	7.06644	23	0.477965	2.292241
<b>Média das duas campanhas</b>	8.11223	97	0.450800	4.439868

**Nota:** Valores em quilogramas (kg); N = quantidade de amostras.

## 7 – Conclusão

Para o  $Hg^0$ , objeto deste trabalho, constata-se uma diferença significativa entre as medições realizadas no período diurno e noturno, em ambas as campanhas de coleta de dados, alcançando diferença de valores superiores a 30 % entre estes períodos. Ficando desta forma evidenciada e caracterizada a ocorrência do efeito nictemeral para as emissões do mercúrio, bem como pode ser observada variação sazonal.

Embora aparentemente os montantes de mercúrio liberados pela lagoa para a atmosfera sejam baixos estes são significativos e equivalem a até 26,5% do total de Hg emitido pela queima de gás natural para a geração de energia elétrica no Brasil em um mesmo período ( $38.5 \text{ kg ano}^{-1}$ ) ou ainda no melhor cenário, da segunda campanha, o valor emitido representa quase o dobro do montante de mercúrio emitido pelo parque industrial do país em suas aplicações energéticas ( $3.3 \text{ kg ano}^{-1}$ ) (LACERDA, et al., 2007).

A região da microbacia da Lagoa Bonita, mesmo contando com uma importante parcela protegida pela ESECAE, possui grande parte de sua área de drenagem sob o uso para a agricultura intensiva e esse é origem para contribuições do elemento mercúrio, que é componente de defensivos agrícolas e de conservantes para sementes e insumos, requerendo uma assim especial atenção, pois suas partículas são lixiviadas e carregadas pelo lençol freático e pelos escoamentos superficiais, conjuntamente com as deposições úmidas e secas da atmosfera. Outros estudos realizados, como o de KISAKA (2013), demonstram ser a região da lagoa Bonita e sua microbacia, suscetível a variações nas concentrações do mercúrio e atuando passiva e ativamente como fonte deste metal para o corpo hídrico da lagoa.

Os valores obtidos são estimativas realizadas em apenas duas ocasiões de leitura, podendo alcançar valores muito mais elevados que os observados nestes experimentos, ou inferiores a este. Vale ressaltar que nas duas ocasiões programadas para os trabalhos as condições climáticas foram atípicas e extremadas. Na primeira campanha os índices de nebulosidade permaneceram elevados na quase totalidade do período dos trabalhos, como pode ser visto na planilha de campo (Tabela 31 – anexo), com ocorrendo eventos de precipitação em pelo menos metade dos turnos, o que certamente interferiu nos resultados obtidos. Na segunda campanha, mesmo em período de tradicional estiagem para a região, também houve ocorrência de chuvas consideráveis nos dias antecedentes aos trabalhos.

## **8 - Recomendações**

Recomenda-se a continuidade dos estudos e pesquisas ligadas às concentrações do mercúrio na bacia da Lagoa Bonita, ampliando os objetos e concatenando os levantamentos já elaborados em outras matrizes (solo, água, vegetação, peixes, etc.);

A realização de outras campanhas de pesquisa que contemplem situações climáticas diferenciadas para a elaboração de cenários melhores definidos para os mecanismos de liberação do  $Hg^0$  para a atmosfera;

O estudo dos mecanismos de escoamento superficial e dos processos de movimentação do lençol freático, fonte da lagoa, para correlacionamento com o estoque de mercúrio no corpo hídrico e de seus periféricos (sedimentos, vegetação aquática e demais organismos);

---

---

---

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

**AGENCY** Chemical and Physical Information [Seção do Livro] // Toxicological Profile For Mercury. - [s.l.] : Agency for Toxic Substances and Disease Registry , 1999. - disponível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp46-c3.pdf>.

**BAÊTA A. P.** Mercúrio Total e Metilmercúrio em Diferentes Espécies de Peixes da Baía de Guanabara. - Rio de Janeiro : [s.n.], Agosto de 2004. - p. 133. - Dissertação de Mestrado.

**BARBOSA-OLIVERIA C. [et al.]** Variação Espacial das Características Físicas e Químicas das Águas da Lagoa Bonita (DF, Brasil) [Artigo]. - Caxambú/MG : [s.n.].

**BERNARDI J. V. E. [et al.]** Aplicação da Análise das Componentes Principais na Orientação dos Parâmetros Físico-Químicos no Alto Rio Madeira e Afluentes, Amazônia Ocidental [Periódico] // Geochimica Brasiliensis. - 2009. - Vol. 23. - pp. 79-90.

**BERNARDI J. V. E., FOWLER H. G. e LANDIM P. M. B.** Um Estudo de Impacto Ambiental Utilizando Análises Estatísticas Espacial e Multivariada [Periódico] // HOLOS Environment. - 2001. - 2 : Vol. 1. - pp. 162-172. - ISSN : 1519-8421.

**BISINOTI M. C.** Biogeoquímica aquática do mercúrio orgânico na Bacia do Rio Negro, Amazônia. - Campinas : [s.n.], 2005. - p. 183. - Tese de Doutorado - IQ\_UNICAMP.

**BISINOTI M. C. e JARDIM W. F.** O Comportamento do Metilmercúrio (MetilHg) no Ambiente [Periódico] // Química Nova. - Campinas : [s.n.], 2004. - No. 4 : Vol. 27. - pp. 593-600.

**EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos** Sistema Brasileiro de Classificação de Solos [Livro]. - Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 2009. - 2a. : p. 412. - Revisão 2009. - ISBN 85-85864-04-4.

**FONSECA P. C. M.** Análise dos Instrumentos EIA e RIVI na Gestão do Espaço Urbano: Sub-bacia do Ribeirão Mestre d'Armas [Livro]. - Brasília : [s.n.], 2007. - p. 164. - Dissertação de Mestrado - UnB.

**GALVAO M. R. [et al.]** Aualidade dos Recursos Hídricos da Amazônia - Rio Tapajós: Avaliação de Caso em Relação aos Elementos Químicos e Parâmetros Físico-químicos

[Periódico] // Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science. - 2009. - Vol. 4. - pp. 75-92. - num. 2. - issn 1980-993X.

**JACKSON T. A.** Mercury in Aquatic Ecosystems [Seção do Livro] // Metal Metabolism in Aquatic Enviroments / ed. LANGSTON W. J. e BEBIANNO M. J.. - Londres : Chapman & Hall, 1998. - 1a.. - ISBN 0 41280370-4.

**JUNG A.** Avaliação do Risco de Exposição ao Mercúrio Elementar em uma Unidade de Terapia Intensiva. - Porto Alegre : [s.n.], 2004. - p. 64. - Tese de Mestrado em Engenharia - UFRS.

**KISAKA T. B.** Análise Quantitativa De Mercúrio No Bioma Cerrado - Estudo De Caso Na Lagoa Bonita, Planaltina, DF. - Brasília : [s.n.], 2013. - Monografia .

**LACERDA L. D. e MALM O.** Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas // Estudos Avançados. - 2008. - Vol. 22. - pp. 173-190.

**LACERDA L. D. e SALOMONS W.** Mercury from gold and silver mining; A chemical time-bomb? / ed. Springer-Verlag. - Berlim : [s.n.], 1998. - ISBN 3-540-61724-8.

**LACERDA L. D., SANTOS A. F. e MARINS R. V.** Emissão De Mercúrio Para A Atmosfera Pela Queima De Gás Natural No Brasil [Periódico] // Química Nova. - 2007. - n.2 : Vol. 30. - pp. 366-369.

**LACERDA M. P. C.** Solos [Seção do Livro]// Águas Emendadas / A. do livro FONSECA FERNANDO OLIVEIRA (org.). - Brasília : SEDUMA, 2008.

**LANZA D. A.** Mapeamento, Caracterização e Correlação de Superfícies de Aplainamento no Norte de Minas Gerais e Leste de Goiás. - Campinas - SP : [s.n.], 2012.

**MAGARELLI G.** Fluxos de Mercúrio Gasoso na Interface Solo/Atmosfera na Bacia do Rio Negro Utilizando Câmaras Dinâmicas de Fluxo. - Campinas : [s.n.], 2006. - p. 132. - Tese de Doutorado - IQ\_INICAMP.

**MAIA J. M. F. e BAPTISTA G. M. M.** Clima [Seção do Livro] // Águas Emendadas / A. do livro FONSECA FERNANDO OLIVEIRA. - Brasília : Seduma, 2008. - 2a..



---

**MALM O.** Contaminação Ambiental e Humana na região Garimpeira de Ouro do Rio Madeira, Amazônia [Livro]. - Rio de Janeiro : Instituto de Biofísica "Carlos Chagas Filho", 1991. - p. 126.

**MARRERO V. Y.** Predição da Concentração de Mercúrio em Tucunaré Usando Modelos de Balanço de Massa e Bioenergético [Livro]. - Rio de Janeiro : PUC-Rio, 2004.

**MARTINS E. S. [et al.]** As Relações da Geologia com os Solos da APA de Cafuringa - DF, Escala 1:100.000 // Boletim de Pesquisa e desenvolvimento. - Planaltina : Embrapa Cerrados, 2002. - p. 35. - ISSN 1676-918X ; n. 62.

**MARTINS E. S. [et al.]** Evolução Geomorfológica do Distrito Federal // Documentos / Embrapa Cerrados - n. 122. - Planaltina - DF : Embrapa Cerrados, julho de 2004b. - p. 57. - ISSN 1517-5111.

**MARTINS E. S. [et al.]** Unidades de Paisagem do Distrito Federal, escala 1:100.000 // Documentos / Embrapa Cerrados - N. 124. - Planaltina : Embrapa Cerrados, 2004. - 1a.. - p. 23. - ISSN 1517-5111.

**MICARONI R. C. C. M., BUENO M. I. M. S. e JARDIN W. F.** Compostos de Mercúrio. Revisão de Métodos de Determinação, Tratamento e Descarte. [Periódico] // Química Nova. - 2000. - Vol. 23(4). - pp. 487-485.

**Ministério do Meio Ambiente - MMA** Perfil do Gerenciamento de Mercúrio no Brasil, incluindo seus Resíduos // Diagnóstico Preliminar sobre o Mercúrio no Brasil - 2013. - Brasília : [s.n.], 2011. - p. 107. - ISBN.

**MIRANDA E. E.** BRASIL EM RELEVOS. - Campinas : Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. - <<http://embrapa.br>> acesso em 09/fev/2013.

**MORAES L. L. e CAMPOS J. E. G. V.4** - Geologia [Seção do Livro] // Águas Emendadas / A. do livro FONSECA FERNANDO OLIVEIRA. - Brasília : Seduma, 2008. - 2a..

**NAUTILUS.FIS** Departamento de Física - Universidade de Coimbra [Online] // NAUTILUS.FIS. - 05 de março de 2013. - <http://nautilus.fis.uc.pt/st2.5/> ; <http://nautilus.fis.uc.pt/st2.5/scenes-p/elem/e08093.html>.

**NUNES B. L. O.** Quantificação de Emissões de Mercúrio provenientes de Fontes Naturais [Livro]. - 2009. - p. 93.

**OHIOLUMEX Co.** User's Manual RA 915+ [Online]. - 15 de fevereiro de 2013. - [http://www.ohiolumex.com/download/manual\\_RA\\_915.pdf](http://www.ohiolumex.com/download/manual_RA_915.pdf).

**OLIVEIRA L. C. [et al.]** Distribuição de Mercúrio em Diferentes Solos da Bacia do Médio Rio Negro-AM: Influência da Matéria Orgânica no Ciclo Biogeoquímico do Mercúrio [Artigo]. - Araraquara-SP : [s.n.], 2007. - No. 2 : Vol. 30. - pp. 274-280.

**PIRRONE N. [et al.]** Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources [Artigo] // Atmospheric Chemistry and Physics. - July de 2010. - Vol. 10. - pp. 5951-5964.

**POISSANT L., DOMMERGUE A. e FERRARI C. P.** Mercury as a Global Pollutant [Seção do Livro] // European Research Course on Atmospheres (ERCA). - 2002. - Vol. 05.

**RALPH J. e CHAU I.** mindat.org - the mineral and locality database [Online]. - 17 de março de 2013. - <http://www.mindat.org/min-1052.html>.

**REATTO A. [et al.]** Mapa Pedológico Digital - SIG Atualizado do Distrito Federal escala 1:100.000 e uma Síntese do Texto Explicativo [Livro]. - Planaltina : Embrapa Cerrados, 2004. - p. 31. - Documentos / Embrapa Cerrados. - ISSN 1517-5111; n. 120.

**REIS A. T. L. S.** Impacto do Mercúrio na Saúde Humana: Aveiro Como Caso de Estudo [Livro]. - Oliveira de Azemés : [s.n.], 2008.

**REIS P. C.** Estudo da Remoção e Fixação de Mercúrio Usando Hidroxiapatitas Modificadas Como Adsorventes Específicos [Livro]. - Rio de Janeiro : COPPE/UFRJ, 2008.

**REZENDE A. V. e PAPA D. A.** Revegetação Natural de Áreas Antropizadas [Seção do Livro] // Águas Emendadas. - Brasília/DF - Brasil : [s.n.], 2008.

**RODRIGUES A. P. C. [et al.]** Bioacumulação de Mercúrio em Quatro Espécies de Peixes Tropicais Oriundos de Ecossistemas Estuarinos do Estado do Rio de Janeiro, Brasil [Periódico] // Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ. - Rio de Janeiro : [s.n.], 2010. - Vol. 33. - pp. 54-62. - ISSN 0101-9759 / ISSN 1982-3908.

---

**RODRIGUEZ L. H. S.** Comparación De Dos Métodos De Determinación De Mercurio Total En Cabello Por Espectroscopías De Absorción Atómica Con Generador De Hidruros Y Diferencial De Efecto Zeeman Con Piroizador. - Bogotá : [s.n.], 2009. - p. 182. - Tese de Mestrado em Toxicologia - Universidade Nacional da Colombia.

**SEDUMA/GDF** Meio Físico // Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal. - Brasília : SEDUMA, 2009. - Vol. II. - p. 172. - disponível em <http://www.zee-df.com.br/Arquivos%20e%20mapas/Volume%20II%20-%20Meio%20F%C3%ADsico.pdf>.

**SEDUMA/GDF** Uso do Solo, Jurídico-Institucional, Articulação com a RIDE e Aspectos Fundiários // Zoneamento Ecológico-Econômico do Distrito Federal. - Brasília : SEDUMA/GDF, 2009b. - Vol. III. - p. 121. - Subproduto 3.2 - Relatório do Diagnóstico.

**SILVA G. S.** A Biodinâmica do Mercúrio na Bacia do Rio Negro (AM) e Fluxos na Interface Água/Atmosfera [Livro]. - Campinas : [s.n.], 2004. - p. 120. - Tese de Doutorado/UNICAMP.

**SOUZA M. G. M., RODRIGUES M. S. e GOMES P. P.** Microflora da Lagoa Bonita [Seção do Livro] // Águas Emendadas / A. do livro FONSECA FERNANDO OLIVEIRA. - Brasília : SEDUMA, 2008. - 2a. : Vol. cap. 6.

**STARLING F. L. R. M.** Comparative Study of the Zooplankton Composition of Six Lacustrine Ecosystems in Central Brazil During the Dry Season [Periódico] // Revista Brasileira de Biologia. - São Carlos/SP : [s.n.], 2000. - 1 : Vol. 60. - pp. 101-111. - ISSN 0034-7108.

**TAVARES G. I.** Desenvolvimento e Avaliação de Sistema em Fluxo Para Especiação de Mercúrio [Livro]. - Santa Maria : UFSM, 2007.

**WHO** Children's Health and the Environment // WHO Training Package for the Health Sector. - [s.l.] : World Health Organization, July de 2008. - p. 68. - disponível em [www.who.int/ceh](http://www.who.int/ceh) em 03/maio/2013.

## ANEXOS

**Tabela 30 - Características Topográficas da Miceobaca da Lagoa Bonita**

<b>MICROBACIA LAGOA BONITA - Planaltina/DF</b> <b>(foz: 23L210744.54 m E 8274603.74 m S)</b>	
<b>Perímetro</b>	24.165 km
<b>Área</b>	1604.3 ha
<b>Elevação mínima</b>	944 m.
<b>Elevação mínima X</b>	212494.161
<b>Elevação mínima Y</b>	8276110.850
<b>Elevação máxima</b>	1031 m.
<b>Elevação máxima X</b>	208767.295
<b>Elevação máxima Y</b>	8276542.279
<b>Elevação média</b>	984.672 m
<b>Elevação moda</b>	959 m
<b>Elevação desvio padrão</b>	16.849553 m
<b>Declividade máxima</b>	7.77° (23.65%)
<b>Declividade média</b>	1.38° (2.42%)
<b>Declividade desvio padrão</b>	0.78730475°

Tabela 31 – Dados da Primeira Campanha de Coleta - Janeiro/2013 – pag.1

Ponto	Hora coleta	Temp (°C)	pH	OxiRed (mV)	Conductiv. (mS/cm)	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	%OD	STD	Hg (ng/m <sup>3</sup> )	Prof. (m)	Turno Dia/Noite	Sol/Chuva	Zona Litor./Limné.
P_01/1	20:54:00	23.14	5.89	383	0.005	0.47	9.51	113.70	0.003	22	1.27	Noite	Chuva	Litorânea
P_01/1	00:11:00	23.10	6.18	417	0.004	0.74	9.45	111.90	0.002	14	1.27	Noite	Chuva	Litorânea
P_01/1	02:30:00	22.47	6.08	416	0.005	0.89	7.39	87.30	0.003	13	1.27	Noite	Chuva	Litorânea
P_01/1	05:04:00	22.19	5.22	416	0.005	0.60	10.11	118.00	0.003	8	1.27	Noite	Chuva	Litorânea
P_01/1	07:53:00	21.97	5.99	420	0.005	0.96	11.28	132.00	0.003	7	1.27	Dia	Chuva	Litorânea
P_01/1	10:54:00	22.28	5.53	411	0.004	0.78	8.37	98.50	0.003	11	1.27	Dia	Chuva	Litorânea
P_01/1	14:09:00	23.79	5.50	382	0.004	1.05	9.38	113.30	0.002	26	1.27	Dia	Sol	Litorânea
P_01/1	16:30:00	24.18	5.40	325	0.004	0.57	9.92	120.70	0.002	20	1.27	Dia	Nublado	Litorânea
P_02/1	21:21:00	23.35	5.53	385	0.004	1.21	7.92	94.90	0.003	14	2.07	Noite	Chuva	Litorânea
P_02/1	00:24:00	22.98	5.44	439	0.004	0.48	9.34	111.30	0.002	8	2.07	Noite	Chuva	Litorânea
P_02/1	02:41:00	22.69	5.37	432	0.004	0.95	6.75	80.10	0.003	6	2.07	Noite	Chuva	Litorânea
P_02/1	05:15:00	22.38	5.39	435	0.004	0.96	8.03	94.80	0.003	4	2.07	Noite	Chuva	Litorânea
P_02/1	08:06:00	22.35	5.42	452	0.004	1.25	8.52	100.50	0.003	7	2.07	Dia	Chuva	Litorânea
P_02/1	11:03:00	22.63	5.31	430	0.004	1.70	8.84	104.80	0.003	9	2.07	Dia	Chuva	Litorânea
P_02/1	14:20:00	23.33	5.33	406	0.004	0.98	7.66	91.80	0.003	14	2.07	Dia	Sol	Litorânea
P_02/1	16:45:00	23.88	5.32	396	0.004	0.67	8.87	107.40	0.002	19	2.07	Dia	Nublado	Litorânea
P_03/1	21:43:00	23.38	5.49	443	0.004	0.66	7.07	84.90	0.003	8	1.64	Noite	Chuva	Litorânea
P_03/1	00:35:00	23.02	5.24	455	0.004	0.92	8.95	106.70	0.002	5	1.64	Noite	Chuva	Litorânea
P_03/1	02:50:00	22.85	5.27	450	0.004	0.85	8.93	106.20	0.003	4	1.64	Noite	Chuva	Litorânea
P_03/1	05:25:00	22.65	5.18	443	0.004	0.72	8.82	104.60	0.003	3	1.64	Noite	Chuva	Litorânea
P_03/1	08:14:00	22.46	5.20	450	0.005	0.85	8.90	105.10	0.003	7	1.64	Dia	Chuva	Litorânea
P_03/1	11:12:00	23.08	5.46	409	0.004	0.86	9.17	109.40	0.002	7	1.64	Dia	Chuva	Litorânea
P_03/1	14:29:00	23.94	5.41	399	0.004	0.69	7.09	85.80	0.003	11	1.64	Dia	Sol	Litorânea
P_03/1	16:50:00	24.32	5.35	403	0.003	1.07	6.92	84.30	0.002	8	1.64	Dia	Nublado	Litorânea

Tabela 32 - Dados da Primeira Campanha de Coleta - Junho/2013 - pag.2

Ponto	Hora coleta	Temp (°C)	pH	OxiRed (mV)	Conductiv. (mS/cm)	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	%OD	STD	Hg (ng/m <sup>3</sup> )	Prof. (m)	Turno Dia/Noite	Sol/Chuva	Zona Litor./Limné.
P_04/1	22:02:00	23.25	5.46	442	0.004	0.56	6.68	80.00	0.003	2	2.66	Noite	Chuva	Limnética
P_04/1	00:45:00	23.13	5.26	436	0.004	0.93	6.90	82.50	0.003	13	2.66	Noite	Chuva	Limnética
P_04/1	03:02:00	22.96	5.94	438	0.004	1.06	8.65	103.10	0.003	9	2.66	Noite	Chuva	Limnética
P_04/1	05:40:00	22.95	5.70	437	0.004	0.77	7.33	87.30	0.003	14	2.66	Noite	Chuva	Limnética
P_04/1	08:22:00	22.81	5.53	432	0.004	0.50	8.53	101.40	0.003	8	2.66	Dia	Chuva	Limnética
P_04/1	11:31:00	23.04	5.52	421	0.004	0.65	9.03	107.80	0.003	6	2.66	Dia	Chuva	Limnética
P_04/1	14:38:00	23.35	5.39	418	0.004	0.46	8.57	102.80	0.003	13	2.66	Dia	Sol	Limnética
P_04/1	17:01:00	23.57	5.32	418	0.004	0.83	7.08	85.20	0.003	13	2.66	Dia	Nublado	Limnética
P_05/1	22:18:00	22.83	5.35	442	0.004	1.28	8.86	105.40	0.003	15	2.92	Noite	Chuva	Limnética
P_05/1	00:58:00	22.88	5.44	432	0.004	0.53	8.65	103.00	0.003	9	2.92	Noite	Chuva	Limnética
P_05/1	03:13:00	22.73	5.14	432	0.004	0.92	8.68	103.00	0.003	9	2.92	Noite	Chuva	Limnética
P_05/1	05:50:00	22.83	5.44	438	0.004	0.67	8.24	97.90	0.003	5	2.92	Noite	Chuva	Limnética
P_05/1	08:36:00	22.67	5.16	431	0.005	0.92	7.26	86.10	0.003	10	2.92	Dia	Chuva	Limnética
P_05/1	11:50:00	22.82	5.28	349	0.004	1.33	7.14	84.90	0.003	8	2.92	Dia	Chuva	Limnética
P_05/1	14:47:00	23.15	5.43	422	0.004	0.58	6.90	82.40	0.003	16	2.92	Dia	Sol	Limnética
P_05/1	17:15:00	23.38	5.51	423	0.004	0.53	6.87	82.50	0.003	15	2.92	Dia	Nublado	Limnética
P_06/1	22:35:00	23.10	5.64	427	0.004	1.26	7.01	83.70	0.003	13	2.40	Noite	Chuva	Limnética
P_06/1	01:05:00	22.94	5.51	438	0.004	0.66	8.73	103.90	0.003	13	2.40	Noite	Chuva	Limnética
P_06/1	03:25:00	22.70	5.50	429	0.005	0.48	6.56	77.90	0.003	11	2.40	Noite	Chuva	Limnética
P_06/1	06:12:00	22.84	5.14	428	0.004	0.76	6.90	82.10	0.003	14	2.40	Noite	Chuva	Limnética
P_06/1	08:44:00	22.69	5.43	424	0.005	0.57	6.71	79.70	0.003	13	2.40	Dia	Chuva	Limnética
P_06/1	12:02:00	23.08	5.38	410	0.004	0.48	7.76	92.70	0.003	33	2.40	Dia	Chuva	Limnética
P_06/1	14:54:00	23.36	5.41	410	0.004	0.82	8.48	101.70	0.003	18	2.40	Dia	Sol	Limnética
P_06/1	17:30:00	23.60	5.39	415	0.004	0.64	6.80	81.90	0.003	16	2.40	Dia	Nublado	Limnética

Tabela 33 - Dados da Segunda Campanha de Coleta - Junho/2013 - pag.1

Ponto	Hora coleta	Temp (°C)	pH	OxiRed (mV)	Condutiv. (mS/cm)	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	%OD	STD	Hg (ng/m <sup>3</sup> )	Prof. (m)	Turno Dia/Noite	Sol/Chuva	Zona Litor./Limné.
P_01/2	14:44:00	20.4	5.82	390	0.005	1.58	9.38	112.140	0.003	14	1.32	Dia	Sol	Litorânea
P_01/2	17:35:00	21.0	5.83	389	0.004	1.87	9.92	117.460	0.002	8	1.32	Dia	Sol	Litorânea
P_01/2	20:44:00	21.1	5.69	389	0.005	1.42	9.51	112.340	0.003	5	1.32	Noite	Céu_Limpo	Litorânea
P_01/2	00:21:00	20.3	5.58	392	0.005	1.67	9.45	110.290	0.003	5	1.32	Noite	Céu_Limpo	Litorânea
P_01/2	03:36:00	18.8	5.55	384	0.005	0.97	7.39	86.470	0.003	4	1.32	Noite	Céu_Limpo	Litorânea
P_01/2	06:41:00	18.3	5.33	357	0.004	0.86	9.89	116.380	0.003	3	1.32	Noite	Céu_Limpo	Litorânea
P_01/2	11:30:00	18.5	5.24	304	0.004	0.79	8.37	101.100	0.002	6	1.32	Dia	Sol	Litorânea
P_02/2	15:13:00	20.8	5.66	357	0.004	0.80	8.25	100.380	0.002	11	1.86	Dia	Sol	Litorânea
P_02/2	17:45:00	21.1	5.49	407	0.004	0.94	8.87	106.280	0.003	8	1.86	Dia	Sol	Litorânea
P_02/2	21:05:00	20.8	5.46	400	0.004	0.70	7.92	94.370	0.002	3	1.86	Noite	Céu_Limpo	Litorânea
P_02/2	00:30:00	20.6	5.40	407	0.004	0.86	9.34	110.830	0.003	6	1.86	Noite	Céu_Limpo	Litorânea
P_02/2	03:42:00	20.4	5.43	422	0.004	0.75	6.75	79.680	0.003	8	1.86	Noite	Céu_Limpo	Litorânea
P_02/2	06:55:00	19.8	5.38	399	0.004	0.87	8.27	97.550	0.003	5	1.86	Noite	Céu_Limpo	Litorânea
P_02/2	11:05:00	19.7	5.32	376	0.004	1.02	8.52	101.000	0.003	10	1.86	Dia	Sol	Litorânea
P_03/2	15:00:00	20.5	5.23	414	0.004	0.88	7.09	84.960	0.003	7	1.72	Dia	Sol	Litorânea
P_03/2	17:52:00	21	5.25	425	0.004	0.85	6.92	83.780	0.002	4	1.72	Dia	Sol	Litorânea
P_03/2	21:16:00	20.8	5.26	418	0.004	0.91	7.07	84.900	0.003	4	1.72	Noite	Céu_Limpo	Litorânea
P_03/2	00:42:00	20.6	5.24	411	0.004	1.25	8.95	106.700	0.002	9	1.72	Noite	Céu_Limpo	Litorânea
P_03/2	03:49:00	19.7	5.18	417	0.004	0.83	8.87	105.480	0.003	4	1.72	Noite	Céu_Limpo	Litorânea
P_03/2	07:07:00	19.8	5.06	382	0.004	0.89	8.90	105.540	0.003	9	1.72	Noite	Céu_Limpo	Litorânea
P_03/2	11:00:00	19.7	5.00	373	0.005	2.01	9.17	108.280	0.003	4	1.72	Dia	Sol	Litorânea

Tabela 34 - Dados da Segunda Campanha de Coleta - Junho/2013 - pag.2

Ponto	Hora coleta	Temp (°C)	pH	OxiRed (mV)	Conduktiv. (mS/cm)	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	%OD	STD	Hg (ng/m³)	Prof. (m)	Turno Dia/Noite	Sol/Chuva	Zona Litor./Limné.
P_04/2	15:21:00	20.9	5.40	410	0.004	0.78	7.82	93.290	0.002	12	2.38	Dia	Sol	Litorânea
P_04/2	18:03:00	21	5.40	404	0.004	0.75	7.08	85.670	0.003	9	2.38	Dia	Sol	Litorânea
P_04/2	21:29:00	20.8	5.39	409	0.003	0.79	6.68	81.370	0.002	6	2.38	Noite	Céu_Limpo	Litorânea
P_04/2	00:55:00	20.5	5.37	408	0.004	0.70	6.90	82.630	0.003	11	2.38	Noite	Céu_Limpo	Limnética
P_04/2	03:57:00	20.6	5.33	401	0.004	1.47	8.65	103.420	0.003	4	2.38	Noite	Céu_Limpo	Limnética
P_04/2	07:19:00	20.1	5.39	390	0.004	0.80	7.93	94.510	0.003	15	2.38	Noite	Céu_Limpo	Limnética
P_04/2	10:55:00	20	5.32	387	0.004	0.60	9.03	107.540	0.003	18	2.38	Dia	Sol_2	Limnética
P_05/2	15:35:00	21	5.47	413	0.004	0.56	6.90	82.020	0.003	13	2.61	Dia	Sol	Limnética
P_05/2	18:15:00	21.1	5.46	401	0.004	0.74	6.87	82.010	0.003	9	2.61	Dia	Sol	Limnética
P_05/2	21:43:00	20.8	5.54	406	0.004	0.67	8.86	106.270	0.003	7	2.61	Noite	Céu_Limpo	Limnética
P_05/2	01:03:00	21.3	5.49	403	0.004	0.72	8.65	104.090	0.003	9	2.61	Noite	Céu_Limpo	Limnética
P_05/2	04:12:00	20.8	5.53	326	0.004	0.63	8.53	101.470	0.003	6	2.61	Noite	Céu_Limpo	Limnética
P_05/2	07:38:00	20.5	5.48	392	0.004	0.71	7.26	86.440	0.003	11	2.61	Noite	Céu_Limpo	Limnética
P_05/2	11:13:00	20.7	5.54	392	0.004	0.59	7.14	84.720	0.003	9	2.61	Dia	Sol	Limnética
P_06/2	15:43:00	20.8	5.71	395	0.004	0.70	7.49	88.950	0.003	14	1.84	Dia	Sol	Limnética
P_06/2	18:22:00	21.1	5.70	409	0.005	0.66	6.66	79.030	0.003	10	1.84	Dia	Sol	Limnética
P_06/2	21:50:00	20.9	5.68	401	0.004	0.62	6.85	81.450	0.003	8	1.84	Noite	Céu_Limpo	Limnética
P_06/2	01:11:00	20.7	5.73	397	0.004	0.53	8.56	102.160	0.003	6	1.84	Noite	Céu_Limpo	Limnética
P_06/2	04:22:00	20.7	5.53	393	0.004	0.57	6.43	77.200	0.003	7	1.84	Noite	Céu_Limpo	Limnética
P_06/2	10:00:00	20.4	5.63	380	0.004	0.66	7.09	84.650	0.003	9	1.84	Dia	Sol	Limnética
P_06/2	11:18:00	20.7	5.74	388	0.004	0.51	7.60	90.500	0.003	9	1.84	Dia	Sol	Limnética



Tabela 35 - Dados da Segunda Campanha de Coleta - Junho/2013 - pag.3

Ponto	Hora coleta	Temp (°C)	pH	OxiRed (mV)	Condutiv. (mS/cm)	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	%OD	STD	Hg (ng/m <sup>3</sup> )	Prof. (m)	Turno Dia/Noite	Sol/Chuva	Zona Litor./Limné.
P_07/2	15:52:00	21	5.88	405	0.005	0.55	7.64	90.720	0.003	15	2.01	Dia	Sol	Limnética
P_07/2	18:28:00	21.1	5.80	416	0.004	0.63	6.80	80.910	0.003	8	2.01	Dia	Sol	Limnética
P_07/2	21:57:00	20.8	5.78	407	0.005	0.60	6.99	83.020	0.003	7	2.01	Noite	Céu_Limpo	Limnética
P_07/2	01:16:00	21.4	5.77	406	0.004	0.50	8.73	104.280	0.003	12	2.01	Noite	Céu_Limpo	Limnética
P_07/2	04:30:00	20.9	5.65	402	0.004	0.64	6.56	78.670	0.003	6	2.01	Noite	Céu_Limpo	Limnética
P_07/2	10:05:00	20.6	5.65	389	0.004	0.68	7.25	87.310	0.003	8	2.01	Dia	Sol	Limnética
P_07/2	11:23:00	20.6	5.66	394	0.004	0.71	7.76	93.460	0.003	9	2.01	Dia	Sol	Limnética

Tabela 36 - Correlações entre Hg0 as demais variáveis (primeira coleta)

Correlações realçadas são significativas:  $p < 0,05000$  N = 48

	Temp (°C)	pH	OxiRed (mV)	Condutividade (mS/cm)	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	%OD	STD	Hg (ng/m <sup>3</sup> )
Temp (°C)	1.000000	-0.084600	-0.493196	-0.540410	-0.154146	-0.225618	-0.161781	-0.475578	0.423768
pH	-0.084600	1.000000	-0.101011	0.211003	-0.065985	0.213050	0.206314	-0.063905	0.153296
OxiRed (mV)	-0.493196	-0.101011	1.000000	0.045054	-0.003132	-0.112003	-0.147809	0.314323	-0.505963
Condutividade (mS/cm)	-0.540410	0.211003	0.045054	1.000000	-0.195969	0.173428	0.139619	0.297070	0.022934
Turbidez (NTU)	-0.154146	-0.065985	-0.003132	-0.195969	1.000000	0.015276	0.005628	0.031640	-0.171994
OD (mg/L)	-0.225618	0.213050	-0.112003	0.173428	0.015276	1.000000	0.997684	-0.345602	-0.016637
%OD	-0.161781	0.206314	-0.147809	0.139619	0.005628	0.997684	1.000000	-0.381459	0.014073
STD	-0.475578	-0.063905	0.314323	0.297070	0.031640	-0.345602	-0.381459	1.000000	-0.143827
Hg (ng/m <sup>3</sup> )	0.423768	0.153296	-0.505963	0.022934	-0.171994	-0.016637	0.014073	-0.143827	1.000000

**Tabela 37 - Análise de variância (Primeira Coleta) - Efeitos realçados são significativos: p <0,05000**

	SS (Efeito)	df (Efeito)	MS (Efeito)	SS (Erro)	df (Erro)	MS (Erro)	F	p
Temp.	0.907	3	0.302	10.63	44	0.2417	1.251363	0.302711
pH	0.103	3	0.034	2.41	44	0.0548	0.626590	0.601671
OxiRed	<b>5537.063</b>	<b>3</b>	<b>1845.688</b>	<b>23726.42</b>	<b>44</b>	<b>539.2367</b>	<b>3.422778</b>	<b>0.025198</b>
Condutividade	0.000	3	0.000	0.00	44	0.0000	0.433692	0.729939
Turbidez	0.417	3	0.139	3.03	44	0.0689	2.017583	0.125282
OD	<b>11.366</b>	<b>3</b>	<b>3.789</b>	<b>45.83</b>	<b>44</b>	<b>1.0415</b>	<b>3.637735</b>	<b>0.019826</b>
%OD	<b>1590.522</b>	<b>3</b>	<b>530.174</b>	<b>6244.89</b>	<b>44</b>	<b>141.9294</b>	<b>3.735478</b>	<b>0.017789</b>
STD	<b>0.000</b>	<b>3</b>	<b>0.000</b>	<b>0.00</b>	<b>44</b>	<b>0.0000</b>	<b>4.258065</b>	<b>0.010028</b>
Hg <sup>0</sup> (ng/m <sup>3</sup> )	165.563	3	55.188	1502.42	44	34.1458	1.616229	0.199211

Nota: SS = Soma dos quadrados; df = Graus de liberdade; MS = Média dos quadrados.

**Tabela 38 - Correlações intra-grupos (primeira coleta) - Grupo: Turno Dia / Noite: Dia - Zona Litor / Limné: Litorânea**  
Correlações marcadas são significativos a p <0,05000

	Temp (°C)	pH	OxiRed (mV)	Condutiv. (mS/cm)	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	%OD	STD	Hg (ng/m <sup>3</sup> )
<b>Temp (°C)</b>	1.000000	-0.399317	<b>-0.713863</b>	<b>-0.654866</b>	-0.365047	-0.420039	-0.326981	<b>-0.709187</b>	<b>0.577100</b>
<b>pH</b>	-0.399317	1.000000	-0.039681	0.363207	-0.064527	<b>0.627756</b>	<b>0.597785</b>	0.130037	-0.101530
<b>OxiRed (mV)</b>	<b>-0.713863</b>	-0.039681	1.000000	0.319263	0.531678	-0.138803	-0.225997	<b>0.635427</b>	<b>-0.713598</b>
<b>Condutiv. (mS/cm)</b>	<b>-0.654866</b>	0.363207	0.319263	1.000000	-0.123491	<b>0.663719</b>	<b>0.617580</b>	0.485714	-0.172205
<b>Turbidez (NTU)</b>	-0.365047	-0.064527	0.531678	-0.123491	1.000000	-0.049840	-0.091200	0.315265	-0.305056
<b>OD (mg/L)</b>	-0.420039	<b>0.627756</b>	-0.138803	<b>0.663719</b>	-0.049840	1.000000	<b>0.994766</b>	-0.079842	0.138757
<b>%OD</b>	-0.326981	<b>0.597785</b>	-0.225997	<b>0.617580</b>	-0.091200	<b>0.994766</b>	1.000000	-0.163126	0.215808
<b>STD</b>	<b>-0.709187</b>	0.130037	<b>0.635427</b>	0.485714	0.315265	-0.079842	-0.163126	1.000000	-0.535231
<b>Hg (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>0.577100</b>	-0.101530	<b>-0.713598</b>	-0.172205	-0.305056	0.138757	0.215808	-0.535231	1.000000

**Tabela 39** - p-valores para Correlações dentro do grupo (primeira coleta) - Grupo: Turno Dia / Noite: Dia - Zona Litor / Limné: Litorânea  
Correlações marcadas são significativos a  $p < 0,05000$

	Temp (°C)	pH	OxiRed (mV)	Cond. (mS/cm)	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	%OD	STD	Hg (ng/m <sup>3</sup> )
Temp (°C)		0.198455	0.009120	0.020827	0.243300	0.174000	0.299545	0.009803	0.049454
pH	0.198455		0.902551	0.245865	0.842082	0.028852	0.040085	0.687093	0.753543
OxiRed (mV)	0.009120	0.902551		0.311762	0.075226	0.667039	0.480011	0.026387	0.009157
Cond. (mS/cm)	0.020827	0.245865	0.311762		0.702192	0.018601	0.032372	0.109406	0.592530
Turbidez (NTU)	0.243300	0.842082	0.075226	0.702192		0.877753	0.778033	0.318200	0.334963
OD (mg/L)	0.174000	0.028852	0.667039	0.018601	0.877753		0.000000	0.805174	0.667142
%OD	0.299545	0.040085	0.480011	0.032372	0.778033	0.000000		0.612463	0.500538
STD	0.009803	0.687093	0.026387	0.109406	0.318200	0.805174	0.612463		0.072935
Hg (ng/m <sup>3</sup> )	0.049454	0.753543	0.009157	0.592530	0.334963	0.667142	0.500538	0.072935	

**Tabela 40** - Autovalores da matriz de correlação e estatísticas relacionados (primeira coleta)  
Apenas variáveis ativas.

Vetor	Autovalor	% Total (variância)	Acumulado (Autovalor)	Acumulado (%)
1	2.833482	31.483132	2.833482	31.483132
2	2.549917	28.332407	5.383398	59.815539
3	1.327881	14.754232	6.711279	74.569770
4	0.797372	8.859685	7.508651	83.429455
5	0.555698	6.174426	8.064349	89.603881
6	0.503255	5.591722	8.567604	95.195603
7	0.278416	3.093516	8.846021	98.289119
8	0.153921	1.710231	8.999942	99.999351
9	0.000058	0.000649	9.000000	100.000000

**Tabela 41 - Análise de variância (Segunda Coleta) - Efeitos realçados são significativos: p <0,05000**

	SS (Efeito)	df (Efeito)	MS (Efeito)	SS (Erro)	df (Erro)	MS (Erro)	F	p
Temp (°C)	3.469932	3	1.156644	17.508146	45	0.389070	2.972844	0.041588
pH	0.500321	3	0.166774	1.578548	45	0.035079	4.754253	0.005791
OxiRed (mV)	1109.981578	3	369.993859	22407.406177	45	497.942359	0.743046	0.532039
Cond. (mS/cm)	0.000000	3	0.000000	0.000008	45	0.000000	0.154548	0.926220
Turb. (NTU)	1.844748	3	0.614916	3.959652	45	0.087992	6.988298	0.000586
OD (mg/L)	8.598491	3	2.866164	40.038123	45	0.889736	3.221364	0.031363
%OD	1182.159518	3	394.053173	5432.446009	45	120.721022	3.264164	0.029882
STD	0.000002	3	0.000001	0.000005	45	0.000000	4.942177	0.004739
Hg <sup>0</sup> (ng/m <sup>3</sup> )	187.109593	3	62.369864	381.951632	45	8.487814	7.348166	0.000413

Nota: SS = Soma dos quadrados; df = Graus de liberdade; MS = Média dos quadrados.

**Tabela 42 - Teste de LSD; Variável: OxiRed (mV) (segunda coleta)**

Diferenças realçadas são significativas: p <0,05000

	{1} (M=386.27)	{2} (M=397.42)	{3} (M=399.00)	{4} (M=394.77)
Dia Litorânea {1}		0.237811	0.170698	0.357629
Dia Limnética {2}	0.237811		0.860111	0.768314
Noite Litorânea {3}	0.170698	0.860111		0.631171
Noite Limnética {4}	0.357629	0.768314	0.631171	

**Tabela 43 - Teste de LSD; Variável: Cond. (mS / cm) (segunda coleta)**

Diferenças realçadas são significativas: p <0,05000

	{1} (M=.00418)	{2} (M=.00417)	{3} (M=.00415)	{4} (M=.00408)
Dia Litorânea {1}		0.931429	0.871429	0.544676
Dia Limnética {2}	0.931429		0.939482	0.595682
Noite Litorânea {3}	0.871429	0.939482		0.642384
Noite Limnética {4}	0.544676	0.595682	0.642384	

Tabela 44 - Correlações intra-grupo (segunda coleta) Grupo: Turno Dia / Noite: Dia Zona Litor / Limné... Limnetica  
Correlações realçadas são significativos: p <0,05000

	Temp (°C)	pH	OxiRed (mV)	Cond. (mS/cm)	Turb. (NTU)	OD (mg/L)	%OD	STD	Hg <sup>0</sup> (ng/m <sup>3</sup> )
Temp (°C)	1.000000	0.473172	0.814236	0.407556	0.058217	-0.788661	-0.800156	0.000000	-0.337145
pH	0.473172	1.000000	0.252913	0.472843	-0.134832	-0.331466	-0.332278	0.000000	-0.291097
OxiRed (mV)	0.814236	0.252913	1.000000	0.395250	-0.076902	-0.500655	-0.517905	0.000000	0.008412
Cond. (mS/cm)	0.407556	0.472843	0.395250	1.000000	-0.180312	-0.147040	-0.168782	0.000000	0.226851
Turb. (NTU)	0.058217	-0.134832	-0.076902	-0.180312	1.000000	-0.216087	-0.183212	0.000000	-0.296504
OD (mg/L)	-0.788661	-0.331466	-0.500655	-0.147040	-0.216087	1.000000	0.998197	0.000000	0.682954
%OD	-0.800156	-0.332278	-0.517905	-0.168782	-0.183212	0.998197	1.000000	0.000000	0.652565
STD	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Hg <sup>0</sup> (ng/m <sup>3</sup> )	-0.337145	-0.291097	0.008412	0.226851	-0.296504	0.682954	0.652565	0.000000	1.000000

Tabela 45 - p-valores para Corrs dentro do grupo. Grupo: Turno Dia / Noite: Dia Zona Litor / Limné... Limnetica .  
Correlações marcadas são significativos: p <0,05000

	Temp (°C)	pH	OxiRed (mV)	Cond. (mS/cm)	Turb. (NTU)	OD (mg/L)	%OD	STD	Hg <sup>0</sup> (ng/m <sup>3</sup> )
Temp (°C)		0.120264	0.001264	0.188493	0.857377	0.002300	0.001775	0.00	0.283869
pH	0.120264		0.427717	0.120558	0.676099	0.292568	0.291315	0.00	0.358639
OxiRed (mV)	0.001264	0.427717		0.203490	0.812233	0.097345	0.084570	0.00	0.979300
Cond. (mS/cm)	0.188493	0.120558	0.203490		0.574946	0.648373	0.600017	0.00	0.478309
Turb. (NTU)	0.857377	0.676099	0.812233	0.574946		0.499971	0.568705	0.00	0.349366
OD (mg/L)	0.002300	0.292568	0.097345	0.648373	0.499971		0.000000	0.00	0.014371
%OD	0.001775	0.291315	0.084570	0.600017	0.568705	0.000000		0.00	0.021436
STD	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000		0.000000
Hg <sup>0</sup> (ng/m <sup>3</sup> )	0.283869	0.358639	0.979300	0.478309	0.349366	0.014371	0.021436	0.00	

Tabela 46 - Autovalores da matriz de correlação e estatísticas relacionadas.  
Apenas variáveis ativas.

Vetor	Autovalor	% Total (variância)	Acumulado (Autovalor)	Acumulado (%)
1	3.439540	38.21711	3.439540	38.2171
2	1.861494	20.68326	5.301034	58.9004
3	1.225170	13.61300	6.526204	72.5134
4	1.125871	12.50968	7.652075	85.0231
5	0.686557	7.62841	8.338632	92.6515
6	0.486996	5.41107	8.825628	98.0625
7	0.099269	1.10299	8.924897	99.1655
8	0.073739	0.81932	8.998636	99.9848
9	0.001364	0.01516	9.000000	100.0000

Tabela 47 – Estatística Descritiva 2-Way – Duas Campanhas.

	Temp (°C) (Média)	Temp (°C) (N)	Temp (°C) (Desv Pad)	pH (Média)	pH (N)	pH (Desv Pad)	OxiRed (mV) (Média)	OxiRed (mV) (N)	OxiRed (mV) (Desv Pad)
C_01	23.02229	48	0.495547	5.453542	48	0.231319	420.6042	48	24.95250
Noite	22.88917	24	0.289135	5.491667	24	0.286321	430.5417	24	17.25507
Dia	23.15542	24	0.617435	5.415417	24	0.155982	410.6667	24	27.72170
C_02	20.51674	49	0.661092	5.498367	49	0.208110	394.6327	49	22.13471
Noite	20.44692	26	0.699673	5.470000	26	0.182822	396.8846	26	19.60475
Dia	20.59565	23	0.620468	5.530435	23	0.233423	392.0870	23	24.88869
All Groups	21.75660	97	1.387221	5.476186	97	0.219907	407.4845	97	26.83597

Tabela 47 – cont.

	Condutividade (mS/cm) (Média)	Condutividade (mS/cm) (N)	Condutividade (mS/cm) (Desv Pad)	Turbidez (NTU) (Média)	Turbidez (NTU) (N)	Turbidez (NTU) (Desv Pad)	OD (mg/L) (Média)	OD (mg/L) (N)	OD (mg/L) (Desv Pad)
C_01	0.004146	48	0.000412	0.813958	48	0.270804	8.156458	48	1.103107
Noite	0.004167	24	0.000381	0.805417	24	0.240850	8.144167	24	1.056668
Dia	0.004125	24	0.000448	0.822500	24	0.302816	8.168750	24	1.170356
C_02	0.004143	49	0.000408	0.852857	49	0.347743	7.949198	49	1.006610
Noite	0.004115	26	0.000431	0.843462	26	0.296809	8.072477	26	1.059398
Dia	0.004174	23	0.000388	0.863478	23	0.404358	7.809839	23	0.947165
All Groups	0.004144	97	0.000408	0.833608	97	0.311044	8.051760	97	1.055096

	%OD (Média)	%OD (N)	%OD (Desv Pad)	STD (Média)	STD (N)	STD (Desv Pad)	Hg (ng/m <sup>3</sup> ) (Média)	Hg (ng/m <sup>3</sup> ) (N)	Hg (ng/m <sup>3</sup> ) (Desv Pad)
C_01	97.22708	48	12.91166	0.002833	48	0.000377	11.47917	48	5.957258
Noite	96.84167	24	12.34095	0.002875	24	0.000338	9.83333	24	4.824455
Dia	97.61250	24	13.71354	0.002792	24	0.000415	13.12500	24	6.602453
C_02	94.76878	49	11.73901	0.002837	49	0.000373	8.24490	49	3.443173
Noite	96.05808	26	12.27999	0.002885	26	0.000326	6.92308	26	2.965442
Dia	93.31130	23	11.18558	0.002783	23	0.000422	9.73913	23	3.387375
All Groups	95.98526	97	12.33075	0.002835	97	0.000373	9.84536	97	5.093583

**Tabela 48 - Teste T: Comparação de Grupos para o agrupamento das campanhas 1 e 2; Grupos Variável 'Campanha' = C\_01 e C\_02.**

	Mean (C_01)	Mean (C_02)	t-value	df	p	Valid N (C_01)	Valid N (C_02)	Desv Pad (C_01)	Desv Pad (C_02)	F-ratio (Variances)	p (Variances)
<b>Temp (°C)</b>	23.0223	20.5167	21.08752	95	0.000000	48	49	0.49555	0.66109	1.779731	0.050038
<b>pH</b>	5.4535	5.4984	-1.00378	95	0.318036	48	49	0.23132	0.20811	1.235482	0.468175
<b>OxiRed (mV)</b>	420.6042	394.6327	5.42567	95	0.000000	48	49	24.95250	22.13471	1.270809	0.411157
<b>Condutividade (mS/cm)</b>	0.0041	0.0041	0.03573	95	0.971570	48	49	0.00041	0.00041	1.018617	0.948771
<b>Turbidez (NTU)</b>	0.8140	0.8529	-0.61381	95	0.540809	48	49	0.27080	0.34774	1.648938	0.088556
<b>OD (mg/L)</b>	8.1565	7.9492	0.96696	95	0.336018	48	49	1.10311	1.00661	1.200917	0.529771
<b>%OD</b>	97.2271	94.7688	0.98151	95	0.328832	48	49	12.91166	11.73901	1.209766	0.513445
<b>STD</b>	0.0028	0.0028	-0.04466	95	0.964471	48	49	0.00038	0.00037	1.017125	0.952772
<b>Hg (ng/m<sup>3</sup>)</b>	11.4792	8.2449	3.28196	95	0.001443	48	49	5.95726	3.44317	2.993471	0.000235

**Tabela 49 - Teste ANOVA/MANOVA TWO-WAY – (completa)**

	SS (Efeito)	df (Efeito)	MS (Efeito)	SS (Erro)	df (Erro)	MS (Erro)	F	p
<b>Temp (°C)</b>		3	51.114	31.40	93	0.3376	151.3924	0.000000
<b>pH</b>	0.16	3	0.054	4.48	93	0.0482	1.1285	0.341696
<b>OxiRed (mV)</b>	21376.46	3	7125.485	47759.77	93	513.5459	13.8751	0.000000
<b>Condutividade (mS/cm)</b>	0.00	3	0.000	0.00	93	0.0000	0.1224	0.946671
<b>Turbidez (NTU)</b>	0.05	3	0.015	9.24	93	0.0994	0.1512	0.928677
<b>OD (mg/L)</b>	1.89	3	0.630	104.98	93	1.1288	0.5583	0.643873
<b>%OD</b>	245.74	3	81.914	14350.81	93	154.3098	0.5308	0.662233
<b>STD</b>	0.00	3	0.000	0.00	93	0.0000	0.4965	0.685621
<b>Hg (ng/m<sup>3</sup>)</b>	480.44	3	160.147	2010.24	93	21.6155	7.4089	0.000167



**Tabela 50 - Autovalores da matriz de correlação e estatísticas relacionadas.**  
Análise conjunta Primeira e Segunda Campanha – (completa)

	<b>Autovalor</b>	<b>% Total (variância)</b>	<b>Acumulado (Autovalor)</b>	<b>Acumulado (%)</b>
<b>1</b>	2.432157	27.02396	2.432157	27.0240
<b>2</b>	2.290859	25.45399	4.723016	52.4780
<b>3</b>	1.426674	15.85193	6.149690	68.3299
<b>4</b>	0.957940	10.64378	7.107630	78.9737
<b>5</b>	0.803835	8.93150	7.911465	87.9052
<b>6</b>	0.494977	5.49975	8.406442	93.4049
<b>7</b>	0.406826	4.52029	8.813268	97.9252
<b>8</b>	0.186549	2.07276	8.999816	99.9980
<b>9</b>	0.000184	0.00204	9.000000	100.0000

**Tabela 51 - Características dos isótopos de mercúrio (<sup>xxx</sup>Hg):**

<b>Isótopo</b>	<b>Abundância Natural (%)</b>	<b>Massa Atômica</b>	<b>Meia-Vida</b>	<b>Modo de Decaimento /Energia (MeV)</b>	<b>En. da Part. /Intensidade (MeV/%)</b>	<b>Secção Ef. Neut. Term. (b)</b>	<b>Spin (h/2 pi)</b>	<b>Mom. Dip. Magnético (nm)</b>	<b>Mom. Quad. Eléctrico (b)</b>	<b>En. dos Gamas /Intensidade (MeV/%)</b>
<sup>175</sup> Hg		174.99119	0.02s	alpha						
<sup>176</sup> Hg		175.98724	0.03s	alpha						
<sup>177</sup> Hg		176.9861	0.17s	alpha						
<sup>178</sup> Hg		177.98248	0.26s	C.E./ 6.2 alpha	6.43		0 <sup>+</sup>			
<sup>179</sup> Hg		178.98163	1.09s	C.E./ 7.9 alpha	6.29					
<sup>180</sup> Hg		179.97825	3s	C.E./ 5.6 alpha	6.12		0 <sup>+</sup>			0.125 0.3005 0.3812
<sup>181</sup> Hg		180.97772	3.6s	β <sup>+</sup> ,C.E./ 7.2 alpha			1/2 <sup>-</sup>	0.5071 nm		0.0663 0.0811 0.0924 0.1474

										0.1587 0.2142 0.2398
<sup>182</sup> Hg	181.97475	11s	$\beta^+$ ,C.E./ 4.9 alpha	5.87		0 <sup>+</sup>				0.1289 0.2168 0.4126
<sup>183</sup> Hg	182.97435	9s	$\beta^+$ ,C.E./ 6.4 alpha	5.83 5.91		1/2 <sup>-</sup>	0.524 nm			0.0714 0.0874 0.1538
<sup>184</sup> Hg	183.97181	30.9s	$\beta^+$ ,C.E./ 3.8 alpha	5.54		0 <sup>+</sup>				0.0915 0.1265 0.156 0.2362
<sup>185m</sup> Hg		21s	$\beta^+$ ,C.E.,alpha	5.37		13/2 <sup>+</sup>	-1.02 nm	0.2 b		0.211 0.292
<sup>185</sup> Hg	184.9719	51s	$\beta^+$ ,C.E./ 5.6			1/2 <sup>-</sup>	0.509 nm			0.02 - 0.55
<sup>186</sup> Hg	185.96935	1.4m	$\beta^+$ ,C.E./ 3			0 <sup>+</sup>				0.119 0.2518
<sup>187m</sup> Hg		1.7m	$\beta^+$ ,C.E.			13/2 <sup>+</sup>	-1.04 nm	0.5 b		ver Hg[187]
<sup>187</sup> Hg	186.96976	2.4m	$\beta^+$ ,C.E./ 4.8			3/2 <sup>-</sup>	-0.594 nm			0.1034/ 32 0.2334/ 100 0.2403/ 33 0.27151/ 31 0.3763/ 38 0.5254/ 30 0.1 - 2.18
<sup>188</sup> Hg	187.96758	3.2m	$\beta^+$ ,C.E./ 2.3			0 <sup>+</sup>				0.0988 0.1148 0.1424 0.19
<sup>189m</sup> Hg		8.6m	C.E.			13/2 <sup>+</sup>	-1.06 nm	0.7 b		0.078 0.321 0.4345 0.5655 0.08 - 2.1
<sup>189</sup> Hg	188.96823	7.6m	C.E./ 4			3/2 <sup>-</sup>	-0.6086 nm	-0.8 b		0.2005 0.2038 0.2386 0.2485
<sup>190</sup> Hg	189.9664	20m	C.E./ 1.5			0 <sup>+</sup>				0.1296 0.1426
<sup>191m</sup> Hg		51m	$\beta^+$ ,C.E.			13/2 <sup>+</sup>	-1.07 nm	0.6 b		rad. an. Au k x rays 0.2741

										0.4203 0.5787 0.07 - 1.9
<sup>191</sup> Hg			50m	β <sup>+</sup> ,C.E./ 3.2			3/2 <sup>-</sup>	-0.62 nm	-0.8 b	0.1963 0.2247 0.2524
<sup>192</sup> Hg		191.96565	5h	C.E./ 0.7			0 <sup>+</sup>			Au k x rays 0.1572 0.2748 0.3065
<sup>193m</sup> Hg			11.8h	β <sup>+</sup> ,C.E.,T.I./ 0.2901			13/2 <sup>+</sup>	-1.05843 nm	0.92 b	Hg k x rays 0.1866 0.258 0.4076 0.5733 0.9324 0.1 - 1.96
<sup>193</sup> Hg		192.96656	3.8h	C.E.,β <sup>+</sup> / 2.3			3/2 <sup>-</sup>	-0.6276 nm		0.1866 0.258 0.8611
<sup>194</sup> Hg		193.96539	520a	C.E./ 0.04			0 <sup>+</sup>			Au k x rays
<sup>195m</sup> Hg			1.67d	T.I./ 0.3186 C.E.			13/2 <sup>+</sup>	-1.04465 nm	1.1 b	Hg k x rays Au k x rays 0.2617 0.5603 0.7798
<sup>195</sup> Hg		194.96664	9.5h	C.E./ 1.52			1/2 <sup>-</sup>	0.54147 nm		Au k x rays 0.0614 0.7798
<sup>196</sup> Hg	0.15%	195.96581				3000 b	0 <sup>+</sup>			
<sup>197m</sup> Hg			23.8h	T.I./ 0.2989			13/2 <sup>+</sup>	-1.02768 nm	1.2 b	Hg k x rays Au k x rays 0.13398
<sup>197</sup> Hg		196.96719	2.672d	C.E./ 0.599			1/2 <sup>-</sup>	0.52737 nm		Au k x rays 0.07735
<sup>198</sup> Hg	9.97%	197.96674				2 b	0 <sup>+</sup>			
<sup>199m</sup> Hg			42.6m	T.I./ 0.532			13/2 <sup>+</sup>	-1.0147 nm	1.2 b	Hg k x rays 0.15841
<sup>199</sup> Hg	16.87%	198.96825				2100 b	1/2 <sup>-</sup>	0.50589 nm		
<sup>200</sup> Hg	23.10%	199.9683					0 <sup>+</sup>			

<sup>201</sup> Hg	13.18%	200.97028					3/2 <sup>-</sup>	-0.56023 nm	0.39 b	
<sup>202</sup> Hg	29.86%	201.97062				5 b	0 <sup>+</sup>			
<sup>203</sup> Hg		202.97285	46.61d	β <sup>-</sup> / 0.492	0.213/ 100		5/2 <sup>-</sup>	0.8489 nm	0.34 b	Tl k x rays 0.27919
<sup>204</sup> Hg	6.87%	203.97347				0.4 b	0 <sup>+</sup>			
<sup>205</sup> Hg		204.97605	5.2m	β <sup>-</sup> / 1.53	1.33/ 4		1/2 <sup>-</sup>	0.601 nm		0.20378 0.2 - 1.4
<sup>206</sup> Hg		205.97749	8.2m	β <sup>-</sup> / 1.31	0.935/ 34 1.3/ 63		0 <sup>+</sup>			Tl k x rays 0.3052 0.6502
<sup>207</sup> Hg			2.9m	β <sup>-</sup> / 4.8			9/2 <sup>+</sup>			

Fonte: (NAUTILUS.FIS)