



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**NÚCLEO DE MEDICINA TROPICAL E ESPECIALIZAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DOENÇAS TROPICAIS**

**AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO AO MERCURIO EM FAMÍLIAS DE**  
**PESCADORES DE IMPERATRIZ, MARANHÃO.**

Edem Oliveira Milhomem Filho

**IMPERATRIZ - MA**  
**2012**

EDEM OLIVEIRA MILHOMEM FILHO

**AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO AO MERCURIO EM FAMÍLIAS DE  
PESCADORES DE IMPERATRIZ, MARANHÃO.**

Dissertação de Mestrado apresentada à banca examinadora do Programa de Pós-graduação em Medicina Tropical, da Universidade Federal do Pará, para obtenção do título de Mestre em Doenças Tropicais.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria da Conceição N. Pinheiro

**IMPERATRIZ - MA  
2012**

Milhomem Filho, Edem Oliveira

M637a Avaliação da exposição mercurial em famílias de pescadores em Imperatriz, Maranhão, 2012/ Edem Oliveira Milhomem Filho; orientadora, Maria da Conceição Nascimento Pinheiro – 2012. 70 fls.il.:color.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará. Núcleo de Medicina Tropical. Programa de Pós-Graduação em Doenças Tropicais, Belém, 2012.

1. Mercúrio 2. Pescadores. 3. Peixe. I. Pinheiro, Maria da Conceição Nascimento II.Título.

CDU 543.243.32 (812.1Imperatriz)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**NÚCLEO DE MEDICINA TROPICAL E ESPECIALIZAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DOENÇAS TROPICAIS**

**EDEM OLIVEIRA MILHOMEM FILHO**

**AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO AO MERCURIO EM FAMÍLIAS DE**  
**PESCADORES DE IMPERATRIZ, MARANHÃO.**

Dissertação de Mestrado apresentada para obtenção do título de Mestre em Doenças Tropicais.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Conceito: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria da Conceição N. Pinheiro  
Orientadora – *NMT/UFPA*

---

Prof. Dr. José Luiz Martins Nascimento  
Avaliador N°02

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Tereza Cristina de Oliveira Corvelo  
Avaliador N°03

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Edna Aoba Yassui Ishikawa  
Avaliador N°04

Aos meus pais,  
Edem Oliveira Milhomem e Nelma Pereira de Sousa  
Milhomem pelo exemplo de vida, justiça e coragem.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela oportunidade de mais uma existência.

A minha orientadora, professora Dr<sup>a</sup>. Maria da Conceição N. Pinheiro, por todo acolhimento e incentivo durante o percurso.

A meu aluno, Thiago Matos Cruz, e a agente de saúde, Dona Ivonete, pelo companheirismo e auxílio no desenvolver da pesquisa.

À colônia de pescadores da comunidade Beira Rio do município de Imperatriz, Maranhão, pela participação nesse trabalho.

A todos os funcionários do Núcleo de Medicina Tropical da UFPA pela amizade e experiências compartilhadas.

Aos meus colegas de turma do mestrado e ao programa de Pós-Graduação em Doenças Tropicais pela oportunidade de engrandecimento e aprendizado.

## RESUMO

Na região do Tocantins, comunidades ribeirinhas com elevado consumo em pescado através da dieta, localizadas distantes de área de mineração de ouro, no Município de Imperatriz do Maranhão podem estar expostas ao mercúrio, tendo em vista a influencia de outros fatores contaminantes do ambiente incluindo a atividades de hidrelétricas e possíveis queimadas da floresta, nessa região. O objetivo deste estudo foi avaliar a exposição ao mercúrio em famílias de pescadores do Distrito Beira Rio, em Imperatriz do Maranhão. Realizou-se um estudo transversal envolvendo famílias de pescadores residentes na comunidade Beira Rio, localizada às margens do Rio Tocantins no município de Imperatriz, Maranhão. O perfil sócio-demográfico foi comum ao da população geral brasileira e similares à população ribeirinha situada em outras bacias. O perfil alimentar não fugiu a regra do padrão alimentar dos ribeirinhos tendo o pescado como a principal fonte de proteína alimentar. A espécie piscívora mostrou diferença significativa ( $p < 0,01$ ) em relação às espécies herbívora/omnívoras e detritívoras estudadas, e a espécie zooplantófaga mostrou diferença significativa ( $p < 0,01$ ) em relação as duas espécies anteriormente citadas. Dentre as 25 famílias avaliadas a menor concentração média de Hgtotal /família foi  $0,186 \pm 0,043 \mu\text{g/g}$  e a maior foi  $5,477 \pm 2,896 \mu\text{g/g}$ . Mesmo dentro de limites aceitáveis, a concentração média de Hgtotal apresentada pelos homens ( $1,01 \pm 1,97$  ppm) foi mais alta que a das mulheres ( $0,69 \pm 0,82$  ppm) ( $p < 0,05$ ). Conclui-se que famílias de pescadores de Imperatriz possuem baixos níveis de exposição ao mercúrio em virtude do consumo alimentar de peixes com baixos níveis de contaminação, incluindo as espécies piscívoras, que encontravam-se abaixo do limite de segurança para consumo humano estabelecido pelas normas brasileiras, podendo servir de referencia para outros estudos.

**Palavras Chave:** Mercúrio. Exposição. Pescadores. Peixes.

## ABSTRACT

In the region of the Tocantins river communities with high fish consumption through diet, located away from the gold mining area in the city of Empress of Maranhão may be exposed to mercury in view of the influence of other factors including environmental contaminants activities and hydroelectric potential of forest fires in this region. The aim of this study was to assess mercury exposure in families of fishermen District Beira Rio, Imperatriz-Maranhão. We conducted a cross-sectional study involving fishing families living in the community Beira Rio, located on the banks of the Tocantins River in the city of Imperatriz, Maranhão. The socio-demographic profile was common to the general Brazilian population and similar to the local population located in other basins. The profile food not fled the rule of dietary patterns of riparian and fish as the main source of dietary protein. The piscivorous species showed significant differences ( $p < 0.01$ ) compared to species herbivorous / omnivorous and detritívoras studied and zooplancófaga species showed significant differences ( $p < 0.01$ ) compared the two species previously mentioned. Among the 25 families evaluated the lowest average concentration of Hg<sub>total</sub> / family was  $0.186 \pm 0.043$  mg / g and  $5.477 \pm 2.896$  was greater ug / g. Even within acceptable limits, the average concentration of Hg<sub>total</sub> presented by men (1.01 ppm 1.97) was higher than for women (0.69 ppm 0.82) ( $p < 0.05$ ). Conclude that fishing families of Empress have low levels of mercury exposure as a result of dietary intake of fish with low levels of contamination, including fish-eating species, which were below the safety limit for human consumption established by Brazilian standards, serving reference to other studies.

**Keywords:** Mercury, Exposure. Fishes. Fishermen.



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\mu\text{g/g}$  – micrograma por grama

$\mu\text{g/Kg}$  – micrograma por quilo

$\mu\text{g/L}$  – micrograma por litro

$\mu\text{moles/L}$  – micromoles por litro

$\text{Al(OH)}_3$  - Hidróxido de Alumínio

$\text{Ca(OH)}_2$  - Hidróxido de Cálcio

$\text{H}_2\text{SO}_4$  . ácido sulfúrico

$\text{HClO}_4$  - ácido perclórico

Hg – mercúrio

Hg total – mercúrio total

$\text{Hg}^0$  – mercúrio elementar

$\text{Hg}^{2+}$  – íon mercúrico

$\text{Hg}_2^+$  – íon mercurioso

$\text{HNO}_3$  - ácido nítrico

Kg – quilograma

$\text{KMnO}_4$  – permanganato de potássio

MeHg – metilmercúrio

$\text{Mg/g}$  – miligrama por grama

mL – mililitro

$\text{Na}_2\text{CO}_3$  - Carbonato de Sódio

ng – nanogramas

nm – nanômetros

ppm – partes por milhão

PSF – Programa Saúde da Família

$\text{SnCl}_2$  . cloreto estanhoso

WHO – World Health Organization

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	11
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	13
<b>3</b>	<b>REFERÊNCIAL TEÓRICO</b>	14
3.1	DEFINIÇÕES E HISTÓRICO	14
3.2	CICLO DO MERCÚRIO E SUAS ESPÉCIES QUÍMICAS	16
3.3	OBTENÇÃO E FORMAS DE USO	19
<b>3.3.1</b>	<b>Contaminação dos Ambientes pelo Mercúrio</b>	20
3.4	EXPOSIÇÃO MERCURIAL NA REGIÃO AMAZÔNICA	22
3.5	O MERCÚRIO NO PESCADO	23
3.6	TOXICOCINÉTICA DO MERCÚRIO	25
3.7	INTOXICAÇÃO POR MERCÚRIO	27
<b>3.7.1</b>	<b>Efeitos sobre Sistema Nervoso Central</b>	28
3.8	BIOMARCADORES DE EXPOSIÇÃO MERCURIAL	29
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS</b>	31
4.1	OBJETIVO GERAL	31
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
<b>5</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	32
5.1	TIPO DE PESQUISA E POPULAÇÃO ALVO	32
5.2	PROCEDIMENTOS PARA O ESTUDO	33
5.2.1	Seleção da População	33
5.2.2	Colheita de Informações	34
5.2.3	Colheita de Amostras Biológicas	34
5.2.4	Determinação de Hg-total em Cabelo Humano	35

5.2.5	Determinação de Hg-total no Tecido Muscular do Peixe	39
5.2.6	Espécies de Peixe de Interesse para a Pesquisa	41
5.2.7	Frequência do Consumo de Pescado	44
5.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA	45
5.4	ANÁLISE ÉTICA	45
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>46</b>
<b>7</b>	<b>DISCUSSÃO</b>	<b>54</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>61</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>68</b>
	<b>APÊNDICE</b>	<b>74</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O mercúrio é reconhecido como um agente deletério ao ambiente e causador de danos à saúde de populações humanas, sobretudo para o sistema nervoso (GONÇALVES, GONÇALVES, 2004).

Registros indicam que esse metal já era utilizado para fins religiosos, decorativos e cosméticos desde a pré-história, passando pelos povos gregos e romanos (MOREAU, SIQUEIRA, 2008). Entretanto, com o passar dos séculos, foram atribuídos ao mercúrio e seus compostos a responsabilidade por vários episódios de intoxicação, e, atualmente, diversos são os órgãos regulamentadores que impõem sérias restrições quanto ao seu uso (CLARKSON, MAGOS, 2006).

O problema da contaminação de ecossistemas por metais como o mercúrio alcança dimensões mundiais, sendo observado tanto nos países desenvolvidos como naqueles em desenvolvimento em virtude da expansão industrial (GONÇALVES et al, 2010).

Episódios de intoxicação com características epidêmicas foram documentados no Japão, onde a forma orgânica do metal, bioacumulado no ecossistema foi o agente causador de relevantes danos, como àqueles registrados na cidade de Minamata, resultante da ingestão de peixes contaminados por MeHg, cujos sinais e sintomas variaram de acordo com o tempo de exposição (OGA et al, 2008).

No Brasil, a exposição humana ao mercúrio também ocorre pela ingestão de água e alimentos contaminados, principalmente peixes contendo compostos organomercuriais como o MeHg, resultante das diversas transformações ambientais do mercúrio metálico, com posterior incorporação e acúmulo na cadeia alimentar (MOREAU e SIQUEIRA, 2008).

Na região do rio Tapajós e do rio Madeira, as proximidades de áreas garimpeiras de ouro foram encontradas concentrações elevadas de mercúrio em peixes e em amostras de cabelo de ribeirinhos (AKAGI et al, 1995; BARBOSA et al, 1997; BRABO et al, 2000; BIDONE et al, 1997; BASTOS et al, 2008; PINHEIRO et al, 2008; PASSOS et al, 2008). Os resultados desses estudos sugerem a influencia da atividade garimpeira na contaminação ambiental que se somam às estimativas de que para cada 450 gramas de ouro extraídos dos rios da Amazônia, aproximadamente o dobro da quantidade de mercúrio foi despejado em suas águas (LUCENA et al, 2010).

Não apenas os trabalhadores envolvidos com a extração do ouro, mas as famílias ribeirinhas e de pescadores que vivem em áreas expostas, especialmente as crianças, são diretamente afetadas pelo uso do mercúrio (DULTRA et al, 2010).

Os estudos que exploram a exposição humana ao mercúrio por fontes alimentares contaminadas têm se tornado frequente em diversas áreas do país, principalmente nas da Amazônia. A ingestão de mercúrio veiculado pelo pescado é destacada em diversos estudos realizados em comunidades ribeirinhas da bacia Amazônica devido à relevância dos níveis de exposição identificados através do teor de mercúrio em amostras de cabelo encontrados em membros dessas comunidades (PINHEIRO, 2006; OGA et al, 2008).

Na região do Tocantins, comunidades ribeirinhas com elevado consumo em pescado através da dieta, localizadas distantes de área de mineração de ouro, no Município de Imperatriz do Maranhão podem estar expostas ao mercúrio, tendo em vista a influencia de outros fatores contaminantes do ambiente incluindo a atividades de hidrelétricas e possíveis queimadas da floresta, nessa região.

## 2 JUSTIFICATIVA

Comunidades localizadas às margens dos rios da Amazônia, incluindo a do Buraco Fundo, no município de Imperatriz, Maranhão são formadas por grupos com necessidades sociais e econômicas que são dependentes do rio, em particular, da dieta do pescado.

Mesmo sem registros de focos de garimpagem na região selecionada para este estudo, as comunidades que residem às margens do Rio Tocantins de Imperatriz, Maranhão encontram-se dentro da área conhecida como Portal da Amazônia, podendo estar submetida a ação do mercúrio oriundo de focos relativamente próximos ou distantes localizados principalmente, no Estado do Pará. Por outro lado, essa região pode estar sofrendo influência também do desmatamento que vem ocorrendo na floresta Amazônica. Ambos os fatores contribuem para a contaminação da cadeia alimentar aquática por mercúrio, o que poderia influenciar em níveis relevantes desse metal.

A escassez de estudos que avaliam o impacto da contaminação ambiental e a exposição de famílias de pescadores através da alimentação justifica a realização desta proposta que possibilitará conhecer os riscos dessa forma de exposição na bacia do Tocantins.

### 3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

#### 3.1 DEFINIÇÕES E HISTÓRICO

O mercúrio é um metal tóxico que pertence a um grupo de elementos que não têm características benéficas nem essenciais para os organismos vivos, sendo ele capaz de produzir efeitos danosos às funções metabólicas normais, mesmo quando presente em quantidades ínfimas (GONÇALVES et al, 2010).

Trata-se de um elemento pertencente ao grupo IIB da tabela periódica, número atômico 80, massa molecular relativa 200,61, densidade de 13,534 g/cm<sup>3</sup> a 25°C, solubilidade em água de 0,28µmoles/L a 25°C, ponto de fusão de -38,9°C e ponto de ebulição da ordem de 356,6°C (HSDB, 2000).

A denominação mercúrio originou-se de uma homenagem ao planeta Mercúrio que segundo a mitologia romana é o mensageiro dos deuses, sendo também o deus dos mercadores. Os romanos o definiram de *hydrargiro* (AZEVEDO, 2003), derivado do termo *hydrargyrum* em latim, tendo o significado de prata líquida (*hidro* = elemento de composição que indica água e *árgyros* = prata) originando assim a sigla Hg na tabela periódica dos elementos químicos (FARIA, 1999).

Encontrado na forma líquida em condições normais de temperatura e pressão, esse metal ocorre na natureza geralmente associados a outros elementos químicos, originando compostos inorgânicos e sais, como o sulfeto de mercúrio insolúvel (HgS), que é a forma mais comum de ocorrência, além de formas metiladas que são extremamente tóxicas e se fazem presentes como contaminantes de água e alimentos, uma vez que se acumulam na cadeia alimentar aquática por um fenômeno chamado bioamplificação (BOENING, 2000).

Utilizado desde épocas remotas, o mercúrio é reconhecidamente um agente tóxico que vem mudando sua empregabilidade e conseqüentemente suas populações de risco (LIMA, 2005). Registros indicam que esse metal já era utilizado para fins religiosos, decorativos e cosméticos desde a pré-história, passando pelos povos gregos e romanos (MOREAU e SIQUEIRA, 2008).

Aristóteles e outros autores gregos como Plínio e Dioscorides descreveram aplicações medicinais como o tratamento de doenças de pele e fizeram também referências ao uso de mercúrio na recuperação de metais nobres por meio de amálgamas (MIRANDA et al, 2007).

Os romanos herdaram grande parte do conhecimento grego sobre o mercúrio e expandiram significativamente as aplicações comerciais deste metal. A extração de ouro por amalgamação já era prática comum. As aplicações medicinais da época incluíam drogas mercuriais para o tratamento de doenças de pele, dos olhos, sífilis e cura de queimaduras (MIRANDA et al, 2007).

A invenção do barômetro em 1643 por Torricelli e do termômetro de mercúrio em 1720 por Fahrenheit anunciaram a introdução do elemento na pesquisa científica. Outras descobertas importantes que levaram à crescente demanda por mercúrio incluem o desenvolvimento de baterias de mercúrio durante a Segunda Guerra Mundial (NRIAGU, 1979 citado por MIRANDA et al, 2007).

O caso mais crítico de intoxicação aconteceu na década de 1950 em Minamata, Japão, através da ingestão de peixes contaminados (LEGAT e BRITO, 2010). Uma unidade fabril de compostos orgânicos para uso em lavouras utilizava mercúrio metálico como agente catalítico de reações químicas. Os efluentes eram liberados na baía de Minamata e o mercúrio através de processos de oxi-redução, bioacumulou-se nas espécies do ecossistema (OGA, 2008).

O caso de Minamata ficou conhecido pela proporção do desastre e até hoje é usado como referência para o estudo de condições neurológicas graves provocadas pelo mercúrio (WATTS, 2001). O quadro clínico era caracterizado por alteração cognitiva, ataxia cerebelar e neuropatia periférica. Após o consumo do peixe contaminado os sintomas podiam evoluir por um período de três a dez anos (AZEVEDO, 2010).

Em 1969, nos Estados Unidos, a intoxicação por esse metal resultou da ingestão de carne de suínos que eram alimentados com grãos tratados com fungicidas organomercuriais (BISINOTI e JARDIM, 2004).

No início da década de 1970 houve um surto mais extenso de envenenamento por mercúrio no Iraque. O consumo de pães fabricados com cereais que tinham sido contaminados por fungicidas orgânicos contendo mercúrio acometeu cerca de 6000 pessoas com 500 óbitos registrados. Nos fetos expostos antes do nascimento, ocorreu retardo no desenvolvimento e reflexos anormais, embora a exposição tenha sido estimada 5 a 10 vezes mais baixa do que a de adultos (RUBIN, 2006).

O mercúrio foi muito utilizado como medicamento no passado. Era considerado como agente eficaz no tratamento de diversas afecções cutâneas e sistêmicas (CRAVO et al, 2008). Tanto ele quanto o bismuto, eram empregados na terapêutica anti-sifilítica e acabavam por produzir linhas gengivais de cor azul ou preto-azulada, com grânulos que se depositavam



principalmente nos cromatóforos. Atualmente, é o seu largo emprego na fabricação de defensivos agrícolas e a geração de efluentes industriais é uma das grandes justificativas para a contaminação ambiental, especialmente na indústria de álcalis e de equipamentos básicos para eletrônica (BRASILEIRO FILHO, 2000).

Esse metal pode ser encontrado ainda em várias drogas, em cremes clareadores, anti-sépticos, desinfetantes, como conservantes em cosméticos, pastas de dente, soluções para lentes, vacinas, contraceptivos e soluções de imunoterapia, fungicidas, herbicidas e produtos para obturação dentária, bem como em alimentos como peixes, devido à poluição da água (KEMPURAJ et al, 2010).

### 3.2 CICLO DO MERCÚRIO E SUAS ESPÉCIES QUÍMICAS

O mercúrio é um elemento químico considerado não essencial a qualquer processo metabólico (TINÔCO et al, 2010). Reconhecido por seu potencial tóxico, ele é capaz de se bioacumular nos organismos e se biomagnificar através da cadeia alimentar (ARAÚJO et al, 2010).

Esse elemento pode ser apontado com um dos melhores exemplos do ciclo de movimentação de metais no meio ambiente. Na atmosfera, ele apresenta-se na forma de vapor de mercúrio decorrente do desgaste natural da crosta terrestre, erupções vulcânicas, evaporação do oceano e solo; assim como pelas ações antropogênicas (AZEVEDO, 2003).

Esse metal ocorre naturalmente em formas orgânicas e inorgânicas, nos estados sólido, dissolvido e gasoso, contemplando um dos ciclos biogeoquímicos mais interessantes do planeta, que envolve processos que ocorrem no solo, na água e na atmosfera (FITZGERALD e LAMBORG, 2003; TINÔCO et al, 2010).

O fluxo natural de mercúrio para a atmosfera por fontes primárias geológicas é pequeno em relação às emissões antrópicas (SELIN, 2010). O homem é o responsável por grande parte do lançamento de mercúrio no meio ambiente a partir de atividades como mineração e siderurgia, da queima de combustíveis fósseis, incineração de sólidos, aplicação de fungicidas e fertilizantes, descarte de sólidos (baterias, pilhas e termômetros) em aterros sanitários e através de efluentes de origem industrial (LEGAT e BRITO, 2010).

O problema da contaminação do ecossistema por metais como o mercúrio alcança dimensões mundiais, sendo observado tanto nos países desenvolvidos como naqueles em desenvolvimento em virtude da expansão industrial (GONÇALVES et al, 2010).

A ação antrópica a partir da descarga de rios, efluentes municipais e industriais, efluentes de minas, descargas de esgotos e precipitações atmosféricas, fazem com a deposição de elementos-traço como o mercúrio ocorra no ambiente aquático (LEGAT e BRITO, 2010), estando suas maiores concentrações na água propriamente dita e também nos sedimentos (TINÔCO et al, 2010).

Tratando-se do ciclo é possível que existam dois envolvidos. O primeiro é de caráter global e envolve a circulação do mercúrio elementar na forma de vapor na atmosfera, por meio de fontes terrestres para os oceanos. O outro ciclo é de caráter local e é dependente da metilação do mercúrio inorgânico oriundo de atividades humanas (COELHO-SOUZA et al, 2007).

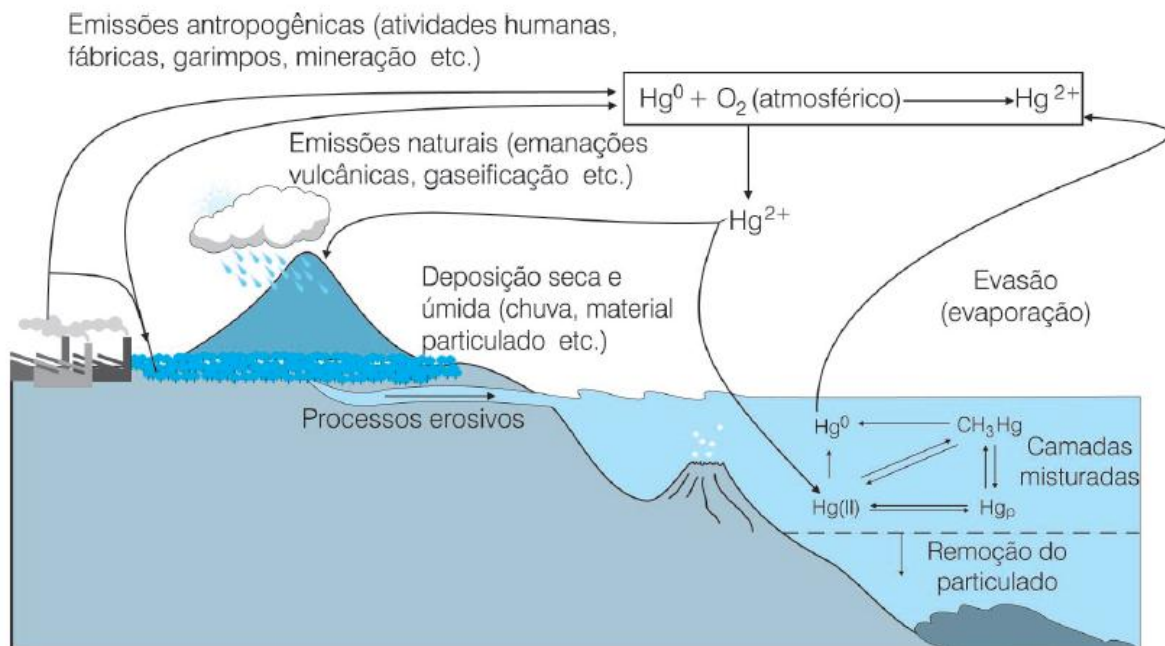
Dessa forma existem duas maneiras do mercúrio chegar até o homem, sendo a primeira ocupacional, ou seja, é a mais conhecida e está ligada ao ambiente de trabalho, como mineração e indústrias salientando-se então garimpos de ouro e às fábricas de cloro-soda e de lâmpadas fluorescentes. E a outra é a contaminação ambiental que ocorre por meio da dieta alimentar sendo assim através da ingestão de peixes tanto de água doce quanto de água salgada, afetando assim diretamente a corrente sanguínea do indivíduo (SOUZA e BARBOSA, 2000).

Como enfocado por AZEVEDO (2003), o mercúrio ocorre naturalmente em três estados de oxidação: a forma simples ou elementar ( $\text{Hg}^0$ ), o íon mercúrico ( $\text{Hg}^{2+}$ ) e o mercurioso ( $\text{Hg}_2^{2+}$ ).

A forma elementar do metal, sob determinadas condições climáticas, pode evaporar, quer pela ação da queima de florestas e de amálgamas com ouro, quer por emanções vulcânicas. Na atmosfera o mercúrio pode ser oxidado pelo oxigênio do ar, passando para forma de íon mercurioso ( $\text{Hg}_2^{2+}$ ). Por meio de um processo denominado deposição seca e úmida o mercúrio precipita com as chuvas e materiais particulados, depositando-se nos solos e corpos d'água (SOUZA e BARBOSA, 2000).

No ambiente aquático, o mercúrio inorgânico poderá sofrer reações mediadas por micro-organismos, sofrendo assim uma alteração do seu estado inicial para compostos conhecidos como organomercuriais, sendo o metilmercúrio (MeHg) seu principal e mais tóxico representante (AZEVEDO, 2003).

A figura 1 representa o ciclo biogeoquímico do mercúrio nos diversos compartimentos do meio ambiente, ar, solo e água.



**Figura 1** - Representação esquemática do ciclo biogeoquímico do mercúrio.  
 Fonte: SOUZA e BARBOSA (2000).

As reações de formação da forma orgânica do mercúrio ocorrem pela transferência de um radical metil da meticobalamina e pela ação de bactérias sulfato-redutoras ou metanogênicas. A metilação geralmente ocorre nas raízes de macrófitas flutuantes, no sedimento e no muco que recobre o corpo dos peixes bem como em seu trato gastrointestinal (LEGAT e BRITO, 2010).

Nas duas últimas décadas ficou comprovado que o mercúrio liberado no meio ambiente pode estar bioconcentrado e incorporado na cadeia alimentar (RUBIN, 2006). O MeHg é facilmente absorvido por peixes e outros animais aquáticos, o que leva à deposição dessa substância nos tecidos, acumulando-se ao longo do tempo e atingindo, na cadeia biológica, concentrações bem maiores do que as encontradas nas águas e nos sedimentos (AZEVEDO, 2003). A forma metilada do metal entra na cadeia alimentar por difusão e liga-se às proteínas na biota aquática. Dessa maneira, peixes localizados no topo da cadeia alimentar apresentam elevados níveis de MeHg, destacando-se as espécies predatórias (OGA et al, 2008).

O MeHg é um composto organometálico apresenta afinidade pelo grupamento sulfidrílico presente nas proteínas, e pelas aminocarbonilas e hidroxilas, presentes nas enzimas. Pode se acumular na biota em níveis elevados, tendo alta afinidade por proteínas e, em menor proporção, por lipídios (LEGAT e BRITO, 2010).

A forma metilada do metal tende a ter suas concentrações aumentadas à medida que segue seu caminho ao longo da cadeia alimentar, sendo a transferência ao longo da cadeia trófica por ingestão o principal caminho para absorção (LEGAT e BRITO, 2010).

Pesquisas demonstram que organismos que ocupam altos níveis tróficos tendem a apresentar maiores concentrações do metal como resultado desse processo, o qual é denominado biomagnificação (GRAY, 2002). Dessa forma, animais com maior longevidade e tamanho tendem a apresentar maiores concentrações de MeHg em seus tecidos (ASTDR, 1999).

### 3.3 OBTENÇÃO E FORMAS DE USO

As principais fontes naturais de Hg são as emissões vulcânicas e a desgaseificação da crosta terrestre e da superfície aquática, seguida pelo transporte atmosférico e deposição de retorno à superfície da terra e aquática (CABANA et al, 1994).

A associação do Hg a outros elementos químicos ocorre naturalmente no meio ambiente sendo que geralmente é encontrado complexado ao enxofre na forma de sulfeto de mercúrio (HgS). Este minério, conhecido como cinábrio, passa por etapas de tratamento para extração do mercúrio (SOUZA e BARBOSA, 2000).

Após processos de trituração e secagem, o minério é aquecido de 500° a 600°C na presença de oxigênio ou óxido de ferro. Logo após, o enxofre se oxida ao dióxido de enxofre, ou passa a sulfato ferroso e é removido, sobrando assim os vapores de mercúrio metálico que são condensados e recolhidos, ou podem ser extraídos a baixas temperaturas com solução alcalina de sulfito de sódio. O metal em seguida é precipitado por meio da adição de alumínio e, pela destilação em sistema fechado, o Hg é purificado (AZEVEDO, 2003).

Importante destacar que o Brasil não produz mercúrio, importando a totalidade de seu consumo. Até 1984, o México era o principal fornecedor de mercúrio para o Brasil, atendendo a 85% das necessidades do país. O restante era comprado no Canadá, Estados Unidos e alguns países da Europa. A partir de 1985, grande parte do mercúrio foi importando de países europeus, principalmente Reino Unido, Holanda e Alemanha, e então, entre os anos de 2003 e 2008, os maiores exportadores de Hg para o Brasil foram à Espanha, seguido do Quirquistão e do Reino Unido (GONÇALVES et al, 2010).

A empregabilidade desse metal é extremamente diversificada, sendo que em média, 80 tipos diferenciados de indústrias utilizam o mercúrio de 3.000 maneiras diferentes. No que diz respeito às formas de uso do mercúrio metálico, o mesmo é utilizado para diversos

fins como: a eletrólise para preparação de cloro e soda; na produção de aparelhos científicos precisos de pressão, calibração e medição, utilizados nos laboratórios analíticos, de pesquisa química, biológica e física; na indústria elétrica atuando em vários tipos de lâmpadas elétricas, incluindo as fluorescentes e as de descarga de alta densidade, tubos de raios-X; na preparação de amálgamas; confecção de certos tipos de brinquedo, dentre outros (AZEVEDO, 2003).

Na odontologia, fundido em amálgama de prata, é amplamente utilizado no preenchimento de cavidades dos dentes. Algumas baterias contêm amálgamas de mercúrio com zinco e cádmio, aumentando sua vida útil. Seus compostos são utilizados em pigmentos como o vermelhão, na produção de feltres, ácido acético, gás cloro e soda cáustica. Misturado com outros minerais na forma de pó, forma várias ligas (ou amálgamas) e na extração de alguns minerais, como o ouro, também se faz amplo uso (PALETTI, 1999).

Devido o mercúrio possuir poderosa ação fungicida e desinfetante foi também muito utilizado na agricultura, particularmente como desinfetante de sementes. Apesar de sua vasta aplicação, o mercúrio no Brasil apresenta seu maior consumo nos garimpos, que utilizam este na extração do ouro por meio do processo de amalgamação (OLIVARES, 2003).

A forma orgânica desse metal, em razão de sua específica atividade biológica, já foi empregada na prática médica na composição de diuréticos, antissépticos e até mesmo contraceptivos. Cerca de 200 produtos farmacêuticos nos Estados Unidos ainda contêm mercúrio mesmo que em baixas concentrações como 0,01% (timerosal) e 0,002% (acetato de fenilmercúrio). A agência americana *Food and Drugs Administration* estima que cerca de 80Kg desses compostos mercuriais entrem anualmente junto a princípios ativos em formulações (AZEVEDO, 2003).

### **3.3.1 Contaminação dos Ambientes pelo Mercúrio**

A emissão natural global de mercúrio é estimada em 2.400 toneladas, sendo 1.300 emitidas pela terra e 1.100 pelos oceanos. Neste século, com o rápido aumento da produção e do uso do mercúrio, ele deixou de representar um risco apenas para trabalhadores de minas de extração e dos ramos da indústria que o utilizam em seus processos e passou a se constituir em um risco no lar, nos alimentos e no ambiente em geral (UNEP, 2002).

Boa parte do mercúrio descartado no ambiente pelas atividades antrópicas está incorporado ao ciclo biogeoquímico sofrido por esse metal e às cadeias tróficas, aumentando sua concentração nos ecossistemas e passando a representar um perigo para vegetais, animais e o próprio homem. (AZEVEDO, 2003).

As fontes naturais do mercúrio geram contaminação local, mas o impacto gerado pelas fontes antrópicas é de uma maior proporção. A tabela 1 destaca as principais fontes de emissão global de origem antropogênica desse metal.

**Tabela 1** – Origem antropogênica do mercúrio.

<b>Mobilização de Mercúrio</b>
Queima de carvão
Produção de energia oriunda de combustíveis fósseis
Mineração e outras atividades metalúrgicas (produção de ferro, aço, zinco)
<b>Extração e Uso do Mercúrio</b>
Mineração do mercúrio
Mineração do ouro (processo de amalgamação)
Produção de cloro-soda
Uso em lâmpadas fosforescentes, instrumentos, obturações dentárias
Manufatura de produtos (termômetros)
<b>Resíduos de Tratamento e Cremação</b>
Resíduo de incineração
Aterros
Serviços de cremação
Cemitérios (liberação para o solo)

Fonte: UNEP (2002).

O mercúrio resiste a processos naturais de degradação, podendo permanecer por muitos anos sem perder sua toxicidade. Quanto à possibilidade de transformação no ambiente, pode sofrer biomagnificação e bioacumulação. Atingindo ambientes aquáticos, as espécies inorgânicas sofrem reações mediadas por microrganismos que geram o MeHg, uma forma mais tóxica que as espécies orgânicas. Este último é facilmente incorporado ao tecido muscular do peixe (CÂMARA et al, 1998).

O ambiente aquático desperta atenção não apenas pela presença do metal na água propriamente dita, mas também incorporado à fase sólida, ou seja, nos sedimentos. A maioria das análises contemporâneas aponta que os sedimentos do sistema aquático têm sido contaminados e que essa taxa vem aumentando com o passar dos anos. Em alguns locais, onde

posteriormente foram realizadas novas medições, a concentração de mercúrio elevou em uma escala de 5 a 10 vezes (AZEVEDO 2003).

### 3.4 EXPOSIÇÃO MERCURIAL NA REGIÃO AMAZÔNICA

No Brasil, a questão da contaminação do meio ambiente é mais preocupante nas áreas de garimpo de ouro, atividade que representa uma das fontes emissoras de mercúrio antrópicas mais impactantes. Essa atividade, que utiliza o metal na forma elementar (líquido) para amalgamação do ouro, e ocorre intensamente em vários estados do país e tem sido objeto e motivo de muitos trabalhos de investigação (TINÔCO et al, 2010).

A preocupação com a exposição mercurial na Amazônia veio a partir de uma das maiores “corridas do ouro” que já aconteceram. A exploração de minério na região Amazônica nas últimas décadas do século XX, fez com que o Brasil ocupasse a posição de maior produtor de ouro, com estimativas de pelo menos cem toneladas do minério sendo produzidas desde meados da década de oitenta (LUCENA et al, 2010).

Estimativas apontam que entre 1980 e 1993 foram liberados na Amazônia cerca de 1.300 toneladas de mercúrio, sendo mais de 50% destinadas ao uso em garimpos localizados principalmente na bacia do rio Tapajós (BIDONE et al., 1997).

Não apenas os trabalhadores envolvidos com a extração do ouro, mas as famílias ribeirinhas que vivem em áreas próximas dos garimpos, especialmente as crianças, são diretamente afetadas pelo uso do mercúrio (DULTRA et al, 2010).

A atividade garimpeira é destacada, uma vez que o mercúrio liberado na extração de ouro é capaz de interagir com ciclos geoquímicos e cadeias tróficas, o que eleva suas concentrações na natureza por intermédio de sua forma metilada de metilmercúrio, substância essa que pode permanecer vários anos na natureza sem sofrer ação ou degradação (LUCENA et al, 2010).

Durante o processo da garimpagem, a perda do  $Hg^0$  pode ocorrer em duas etapas distintas: através da manipulação do mercúrio metálico na separação do ouro do cascalho, sendo liberado nos rios e solo, ou durante a queima das amalgamas formadas (LACERDA, 1988).

Vários são os estudos publicados a partir dos anos 80, que documentam a ameaça à saúde individual e coletiva das pessoas que vivem em vários locais da Amazônia. Está mais do que comprovada a relação entre a exposição ao mercúrio orgânico e o consumo de peixes contaminados e/ou a inalação de vapores do próprio metal (LUCENA et al, 2010).

A contaminação de ecossistemas, principalmente pela forma orgânica desse metal, o metilmercúrio, tem chamado a atenção para as problemáticas trazida pelo mercúrio (RUBIN, 2006). Na região Amazônica, uma das formas comuns de incorporação do mercúrio em bacias hídricas, se dá pelo uso da forma metálica desse metal por mineradores no processo de separação do ouro em areias de aluvião (BRASILEIRO FILHO, 2000).

Concentrações elevadas foram encontradas em peixes da região do rio Tapajós, no estado do Pará, que se somam às estimativas de que para cada 450 gramas de ouro extraídos dos rios da Amazônia, aproximadamente o dobro da quantidade de mercúrio foi despejado nas águas (LUCENA et al, 2010).

Os peixes representam a alimentação básica e a principal fonte de proteínas para as comunidades ribeirinhas e pesqueiras. Determinar os teores de mercúrio no pescado e em amostras de cabelo de seres humanos tem sido útil para estimar o grau de exposição ao mercúrio (LEMIRE et al, 2006), principalmente ao se associar tais resultados com os dados de avaliações clínicas e epidemiológicas, possibilitando a aplicação de medidas de prevenção e controle, direcionadas a minimizar ou evitar o surgimento de quadros de intoxicação por esse metal nas comunidade expostas (PINHEIRO et al, 2006).

Embora a contaminação do ambiente amazônico tenha sido atribuída por muito tempo ao garimpo de ouro que fora realizada de forma intensa principalmente na década de 1980 existem indícios hoje de que a presença deste metal na Amazônia seja um fenômeno natural. Assim uma grande discussão foi lançada por pesquisadores brasileiros e canadenses que encontraram concentrações bastante elevadas em solos amazônicos. A queima da biomassa da floresta tropical tem sido implicada como uma fonte natural de mercúrio na Amazônia (VEIGA et al., 1994).

Admite-se que a quantidade de mercúrio emitido para a atmosfera, oriunda da atividade garimpeira, é menor do que aquela resultante da queima da biomassa florestal. Ressalte-se que no ecossistema terrestre, a deposição de Hg proveniente da mineração do ouro é estimada em menos de 3% do total presente na superfície dos solos horizontais. Desse modo, a erosão dos solos desflorestados resultantes da colonização humana, representa um fator contributivo para o aumento dos teores do metal na Amazônia (ROULET et al.,1999).

### 3.5 O MERCÚRIO NO PESCADO

Os peixes são agentes concentradores de Hg e como tal, são utilizados como indicadores de contaminação por Hg em sistemas aquáticos. Na Amazônia já foram relatados



em diversos estudos níveis de Hg acima do limite de segurança estabelecido pela Organização Mundial de Saúde (10 ou 6mg/g) em amostras de cabelo, o que constitui importante marcador de exposição mercurial via ingestão de peixes contaminados (PINHEIRO *et al.*, 2007).

No Brasil, os limites estabelecidos pela legislação vigente para consumo seguro de peixes são de 0,5 mgHg/kg para pescado não-predador (herbívoro) e de 1,0 mgHg/kg para pescado predador ou piscívoro (AZEVEDO, 2003).

Sabe-se que algumas espécies de peixes em regiões de garimpagem apresentam valores próximos aos de grandes predadores como tubarões que em geral possuem concentração de Hg acima do limite permitido pela WHO de 500 ng/g (CASTILHOS e RODRIGUES, 2007). Nas áreas sem impacto de garimpo, também já foram relatados níveis elevados de Hg em peixes (1,336 mg/g) (FAIAL *et al.*, 2005). Esse comportamento é explicado; pois o Hg, como elemento volátil tem na atmosfera sua principal via de transporte. Isto ficou comprovado em estudos sobre as taxas de emissão de Hg dos rios, onde sua forma volátil (Hg<sup>0</sup>) apresenta concentrações até 20 vezes maiores que sua saturação (CH<sub>3</sub>Hg), indicando considerável perda para a atmosfera através da volatilização (AMOUROUX *et al.*, 1999).

Ainda que a exposição dos animais aquáticos ocorra sob concentrações de Hg baixas e sub letais, em ambientes moderadamente contaminados por um longo período de tempo, estes podem trazer danos ao crescimento, sobrevivência e reprodução de comunidades de organismos, comprometendo seriamente a biodiversidade e manutenção dessas comunidades (FILHO *et al.*, 2008).

Vários estudos têm sugerido que sedimentos e solos amazônicos teriam elevadas concentrações de mercúrio de origem natural, o que poderia explicar os níveis de mercúrio nos peixes, além do transporte atmosférico do mercúrio antropogênico, desflorestamento amazônico e geração de energia hidroelétrica (HACON *et al.*, 1995, ). É de grande valia o monitoramento continuado dos ambientes aquáticos expostos e não expostos na Amazônia (ARRIFANO *et al.*, 2011).

Assim, independente da origem do Hg, natural ou antropogênica, verificada a exposição ao Hg das populações residentes sem influência da garimpagem ou outra fonte alimentar restrito, é necessário que sejam incluídas, nos programas de vigilância à saúde, atividades de monitoramento das concentrações de Hg em materiais biológicos humanos com avaliação clínica e análises de Hg nas principais espécies de peixes consumidas pela população (FAIAL *et al.*, 2005).

### 3.6 TOXICOCINÉTICA DO MERCÚRIO

O mercúrio pode ser absorvido por via digestiva, cutânea ou respiratória, sendo sua toxicocinética dependente da via de exposição e forma química apresentada pelo metal (LEGAT e BRITO, 2010).

O mercúrio metálico apresenta até 80% de absorção por inalação, ao passo que sua absorção gastrointestinal é ínfima. Por sua vez, o MeHg ganha destaque na etapa cinética de absorção por alimentos contaminados, chegando a níveis altos como de até 95% (ATSDR, 1999).

Mesmo que compostos inorgânicos de mercúrio não sejam bem absorvidos no trato gastrointestinal, as formas orgânicas como o metilmercúrio transpõem facilmente as membranas celulares, devido sua solubilidade lipídica elevada (RUBIN, 2006).

Estudos realizados mostram que o mercúrio na forma líquida é pouco absorvido ao longo do trato gastrointestinal, diferentemente da forma orgânica, a qual possui até facilidade de absorção nessa área (AZEVEDO, 2003). O aquecimento do mercúrio e a liberação de seus vapores, o faz ser ativamente absorvido nos pulmões. O vapor rapidamente se difunde através da membrana alveolar, onde a taxa de absorção é aproximadamente 100%. Indivíduos permanecem com 50-88% de uma dose inalada em seus pulmões. (SIGEYUKI *et al.*, 2000).

Tanto os vapores (mercúrio álico) como os sais de mercúrio (mono ou bivalentes) e a forma orgânica do metal (metilmercúrio), podem produzir lesões ao organismo. Sua absorção pode se dar por via digestiva (10% do ingerido no caso de sais e 90% no caso de mercúrio orgânico) ou respiratória (BRASILEIRO FILHO, 2000).

As formas organomercuriais são absorvidas pelo trato gastrointestinal, em proporção superior a 95% da quantidade ingerida, principalmente na região do intestino delgado (WHO, 1990). Para o metilmercúrio, após sua absorção, estima-se que 10% deste seja distribuído ao cérebro e 5% permanece no sangue. (AZEVEDO, 2010).

Quando um metal ou seus compostos, como no caso do mercúrio, são veiculados pela dieta, as quantidades que serão absorvidas e retidas pelo ser humano ou qualquer animal dependem das características físico-químicas da substância, da composição dos alimentos, do estado nutricional e de fatores genéticos do organismo exposto (GONÇALVES *et al.*, 2010).

Uma vez na circulação sistêmica, o mercúrio é distribuído de maneira uniforme pelo organismo, chegando a órgãos como fígado e rins ele acaba por ser oxidado para forma

de mercúrio iônico por meio de enzimas presentes ao complexo hidrogênio peróxido catalase, assim como pode se acumular nos eritrócitos (WHO, 1990).

Inicialmente há um lento período de distribuição, geralmente equivalente de 30 a 60 minutos, após absorção, em que são observadas altas concentrações sanguíneas, que declinam rapidamente nas 24 horas subsequentes, caracterizando uma fase de rápida distribuição (HSDB, 2000).

Após absorção, as diferentes formas de mercúrio distribuem-se pelo corpo, sendo que o mercúrio inorgânico, ao contrário do mercúrio metálico e MeHg, apresenta baixa capacidade de cruzar as barreiras hematencefálica e placentária, devido à sua baixa lipofilicidade, tendo assim baixas concentrações nos fetos e no cérebro (ASTDR, 1999).

Os compostos organomercuriais ainda ganham destaque no contexto da difusão por barreiras biológicas por atravessarem a barreira hematencefálica, acumulando-se em várias áreas do sistema nervoso central; além disso, o MeHg transpõem a placenta acumulando-se no sistema nervoso e nas hemácias do concepto, ficando estas com concentrações do metal até 30 vezes maiores que as hemácias maternas (WHO, 1990).

Outros órgãos de distribuição e acúmulo das formas organomercuriais são os músculos e o próprio cabelo do indivíduo exposto. O metal fica localizado na matriz da raiz do cabelo em formação, e a concentração de mercúrio nessa área é proporcional à sanguínea, permanecendo inalterada após sua incorporação (CLARKSON e MAGOS, 2006). Essa relação fez com que o cabelo seja utilizado como um biomarcador de exposição mercurial (AZEVEDO, 2003).

Tanto a baixa taxa de excreção, quanto o baixo metabolismo, levam à bioacumulação do metal nos organismos (BRAUNE et al, 2005), o que repercute no aumento das concentrações ao longo da vida.

A excreção dos compostos orgânicos e inorgânicos de mercúrio após exposição se dá através das fezes (secreção biliar e por esfoliação das células do intestino grosso), urina e no caso do mercúrio metálico, através do próprio ar expirado (ASTDR, 1999). Menores proporções podem ser encontradas na saliva, suor e leite materno. A meia-vida biológica desses compostos gira dessa forma em torno de 74 dias, ocorrendo equilíbrio entre a quantidade absorvida e as concentrações sanguíneas após cinco meias-vidas biológicas (CLARKSON e MAGOS, 2006).

A quebra da ligação mercúrio-carbono é considerada a etapa fundamental para a excreção do metal. Essa clivagem é efetuada por sistemas enzimáticos que são distribuídos pelo organismo e localizados principalmente no fígado, baço, intestino, sistema nervoso

central e placenta. Todavia, tal reação contribui para o acúmulo do metal em compartimentos orgânicos, sobretudo sistema nervoso central (MOREAU e SIQUEIRA, 2008).

### 3.7 INTOXICAÇÃO POR MERCÚRIO

Antes conhecida como a doença dos mineiros, o mercurialismo evolui ao longo dos séculos e hoje é uma patologia ocupacional de áreas como fabricação de feltro, pêlos, na chapelaria, indústria de produção de pesticidas agrícolas, odontologia, fabricação de lâmpadas fluorescentes, indústria farmacêutica e de tintas, garimpagem, dentre outros (RUBIN, 2006; LIMA, 2005).

Dentre os chamados elementos-traço, o mercúrio, que apresenta efeitos deletérios e não possui funções fisiológicas úteis para os organismos, pode ser tido como um dos mais perigosos sob o ponto de vista toxicológico (LEGAT e BRITO, 2010).

Devido à sua acumulação progressiva e irreversível, esse elemento fica retido nos tecidos, causando lesões graves, principalmente aos rins, fígado, aparelho digestivo e sistema nervoso central (TINÔCO et al, 2010).

Os efeitos toxicológicos desses metais são mais devastadores para o desenvolvimento do sistema nervoso e do sistema fisiológico geral de crianças e adolescentes (DULTRA et al, 2010). No acidente de Minamata, no Japão, vários bebês nasceram com os membros deformados, apresentando espasmos, visão obscurecida e prejuízos na fala (WATTS, 2001).

O mercúrio é um metal tóxico, com ação neurotóxica e teratogênica, capaz de causar danos ao sistema endócrino e afetar o sucesso reprodutivo através do decréscimo da taxa reprodutiva e alterações no desenvolvimento dos embriões (LEGAT e BRITO, 2010).

Esse metal é responsável por disfunções imunes, sensoriais, motoras, neurológicas e até mesmo comportamentais (KEMPURAJ et al, 2010). Uma tríade apresentada como as principais manifestações de intoxicação pela inalação do mercúrio inclui tremor, gengivite e eretismo (perda de memória, aumento da excitabilidade, insônia, depressão e timidez), condição também denominada hidrargirismo (AZEVEDO, 2003).

Os vapores de mercúrio (mercúrio metálico) podem provocar intoxicação aguda caracterizada por fraqueza, gosto metálico na boca, náuseas, vômito, diarreia, dispnéia e tosse. A exposição crônica provoca uma síndrome neurastênica acompanhada de bócio, gengivite e salivação excessiva. Na intoxicação com sais de mercúrio, aparecem lesões na boca e no tubo digestivo devido ao efeito corrosivo da substância, além das manifestações semelhantes às

provocadas pelo mercúrio metálico. Na intoxicação crônica pode-se ainda destacar o surgimento da síndrome de acrodina, um tipo de eritema das extremidades, tórax e face, fotofobia, anorexia, taquicardia e diarreia ou constipação (BRASILEIRO FILHO, 2000).

A forma orgânica do metal interfere no desenvolvimento do feto, sendo extremamente lipossolúvel e atravessando a barreira hematoencefálica e placentária, acumulando-se no sistema nervoso central e no embrião, possibilitando a detecção de concentrações maiores até mesmo que as do sistema nervoso materno (LUCENA et al, 2010).

Dentre o grupo de substâncias que provocam lesão hepática e que são conhecidas como hepatoxinas diretas, ou seja, quimicamente estáveis; metais como ferro e mercúrio ganham destaque na listagem (BRASILEIRO FILHO, 2000).

O mercúrio pode produzir lesões especialmente por se ligar a grupos SH de proteínas, formando mercaptídeos; em menor intensidade, liga-se também em radicais fosforil, carbonil, amida e amina (BRASILEIRO FILHO, 2000). Esse metal também pode interromper a formação de microtúbulos, inibir enzimas, provocar estresse oxidativo, interromper a síntese de DNA e de proteínas, provocar respostas autoimunes, alterar o funcionamento dos canais de cálcio, que podem causar injúria ou mesmo morte celular (AZEVEDO, 2003).

Uma vez que, esse metal encontra-se no ambiente intracelular, liga-se aos resíduos tiólicos de proteínas, particularmente à glutatona e cisteína, resultando na inativação do enxofre e no bloqueio de enzimas, co-fatores e hormônios (OGA et al, 2008).

### **3.7.1 Efeitos sobre o Sistema Nervoso Central**

O sistema nervoso é formado em diferentes fases do desenvolvimento, sendo que a migração celular dos neurônios até o seu local-alvo é fundamental para definição dos circuitos neurais que integram as funções centrais. O mercúrio, devido sua ação neurotóxica leva a efeitos deletérios no desenvolvimento do cérebro (LUCENA et al, 2010).

Do ponto de vista neurológico o mercúrio pode produzir toxicidade, principalmente, decorrente da exposição ao vapor de mercúrio e metilmercúrio. O cérebro é um dos principais alvos das ações desse metal. Áreas específicas como cerebelo e lobos temporais são os mais afetados. Ataxia, disartria, parestesia, visão de túnel e perda de audição são observadas. Casos mais severos de contaminação apresentam características citotóxicas evoluindo com destruição de substância cinzenta, necrose focal, fagocitose e reposição de

células gliais; conseqüentemente acarretando em atrofia cerebral. Os acometidos podem sofrer com cegueira, coma e morte (AZEVEDO, 2003).

O feto é mais susceptível à ação tóxica do mercúrio. No Japão e Iraque, estudos apontaram retardo psicomotor em crianças de mães expostas ao metal, as quais o consumiam por alimentos contaminados e que o transferiam por via placentária ou durante o aleitamento (OGA et al, 2008).

Estudos destacam os efeitos sobre o desenvolvimento do sistema nervoso central de embriões de mães ribeirinhas da Amazônia expostas ao mercúrio por consumo de peixe contaminado e que potencializaram os prejuízos sobre o embrião por também consumirem bebida alcoólica (LUCENA et al, 2010). Em crianças são observadas deficiência da linguagem (fala tardia), da memória, da atenção e autismo na intoxicação por mercúrio (OGA et al, 2008).

### 3.8 BIOMARCADORES DA EXPOSIÇÃO MERCURIAL

Uma adequada quantificação das concentrações de elementos em amostras depende das técnicas utilizadas para o seu doseamento, bem como dos métodos utilizados na coleta, manuseamento e conservação dessas amostras. De fato, os metais não podem ser criados nem destruídos durante o processo de coleta e análise da amostra, no entanto, para que os resultados quantitativos sejam válidos, é essencial preservar a integridade da amostra analisada (MARTINS, 2007).

A avaliação do mercúrio é feita em distintas amostras que devem sofrer comparação de resultados com valores de referência ou com limites e padrões. Esses limites se baseiam nas concentrações de mercúrio já registradas em distintas partes do mundo e que se encontram compilados na tabela a seguir (AZEVEDO, 2003).

**Tabela 2** - Limites ambientais para exposição humana ao mercúrio.

<b>Compartimento</b>	<b>Limite</b>
Água	
Potável	1,0µg/L
Fluvial	0,2µg/L
Marítima	0,3µg/L
Alimentos em geral	< 60µg/Kg
Peixes	0,5 ppm (Organização Mundial de Saúde)
Peixes carnívoros	1 ppm (Legislação brasileira, portaria 685, 27/8/1998, Anvisa)

Pescados fluviais	< 200µg/Kg
Ingestão semanal tolerada provisória	
ADULTOS	0,3mg Hg total (FAO/WHO, 1978)
CRIANÇAS	5,0µg/Kg de peso

**Fonte:** Adaptado de AZEVEDO (2003).

Medições do mercúrio total e do metilmercúrio em amostras de cabelo são apontados como biomarcadores de longa data devido o potencial de bioacumulação que esse metal possui nos organismos contaminados (ROJAS et al, 2007).

Não existe ainda nenhum teste biológico válido para um diagnóstico precoce de intoxicação por mercúrio. No caso da intoxicação por mercúrio elementar ou mercúrio inorgânico, é recomendado o estudo da eliminação urinária do mercúrio. Em intoxicações por metilmercúrio são utilizados o sangue e o cabelo (MARTINS, 2007).

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a exposição ao mercúrio em famílias de pescadores do Distrito Beira Rio, em Imperatriz do Maranhão.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Traçar o perfil sócio-demográfico e alimentar da população de estudo;

Quantificar a contaminação por mercúrio no pescado consumido pelas famílias dos pescadores;

Determinar os níveis de mercúrio total em amostras de cabelo dos integrantes das famílias de pescadores participantes da pesquisa;

Comparar os níveis de exposição ao mercúrio de acordo com sexo, e, perfil alimentar em relação ao consumo de pescado.



## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 TIPO DE PESQUISA E POPULAÇÃO ALVO

Trata-se de estudo observacional analítico do tipo transversal, onde o público alvo de estudo foi composto por moradores da comunidade Beira Rio (figura 1) pertencente ao Distrito Bacuri e localizada às margens do Rio Tocantins no município de Imperatriz, Maranhão. Uma parcela dessa comunidade é constituída por pescadores e seus familiares, que se utilizam do pescado como principal forma de renda e fonte alimentar.



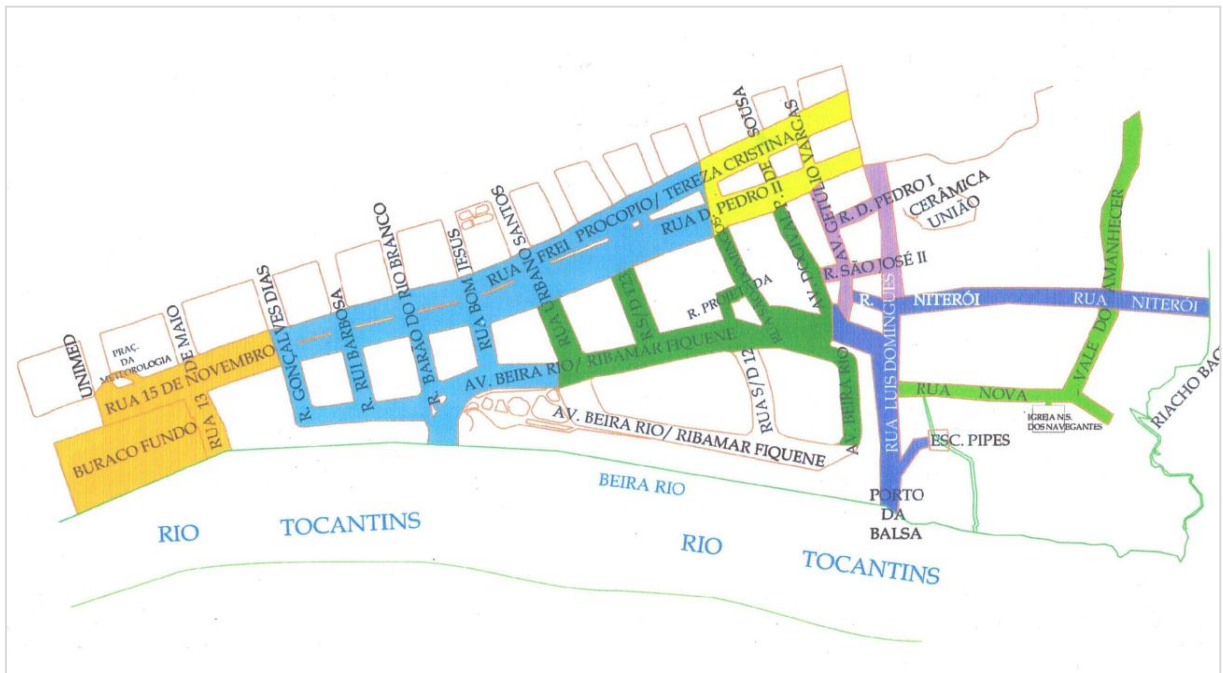
**Figura 2** – Mapa do município de Imperatriz com destaque para a área estudada.

**Fonte:** Adaptado de GOOGLE MAPS (2012).

O município de Imperatriz ocupa a posição de segundo maior centro econômico, político, cultural e populacional do seu Estado e o principal da região que aglutina o sudoeste do Maranhão, norte do Tocantins e sul do Pará. Localizado ao oeste do Estado do Maranhão, o município de Imperatriz tem limites com os municípios de Cidelândia, São Francisco do Brejão, João Lisboa, Davinópolis, Governador Edison Lobão e com o Estado do Tocantins. Encontra-se a exatos 629,5 quilômetros da capital São Luís. Suas coordenadas geográficas são 5° 31' 32' latitude sul; 47° 26' 35' longitude a W Gr., com altitude média de 92 metros acima do nível do mar (PREFEITURA MUNICIPAL DE IMPERATRIZ, 2012).

De acordo com o censo 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o município de estudo conta com 247.553 habitantes distribuídos em uma área total de 1.369 km<sup>2</sup> (IBGE, 2011). Possui clima tropical, quente e úmido e apresenta duas estações bem

definidas, a das chuvas, que vai de dezembro a abril, e a da seca, que vai de maio a novembro. A topografia do local é marcada pela presença de chapadas ao leste e ao sul e por pequenas ondulações dos contrafortes da Serra do Gurupi, ao norte (PREFEITURA MUNICIPAL DE IMPERATRIZ, 2012).



**Figura 3** – Mapa da área utilizado por agentes de saúde do município.

**Fonte:** PREFEITURA MUNICIPAL DE IMPERATRIZ (2012).

A área de estudo está localizada no lado sudoeste do município ( $5^{\circ}31'39.54''S$  /  $47^{\circ}29'39.74''O$ ), região esta delimitada pelas margens do rio Tocantins (figura 2). O local é acompanhado pela Equipe de Saúde da Família Beira Rio, que presta serviços de atendimento e orientação em saúde pelo Programa de Saúde da Família – PSF.

## 5.2 PROCEDIMENTOS PARA O ESTUDO

### 5.2.1 Seleção da População

O rastreamento prévio dos moradores foi realizado por meio do relatório de acompanhamento emitido pela Equipe de Saúde da Família Beira Rio que é responsável pela execução do Programa de Saúde da Família – PSF no local.

Atualmente são 54 famílias residindo às margens do rio Tocantins, sendo que destas, 25 sobrevivem diretamente do pescado. A população amostral do estudo constituiu-se de 100% das famílias de pescadores da comunidade Beira Rio, incluindo pessoas com residência fixa na comunidade e com idade igual ou superior que 14 anos, de ambos os sexos.

Nenhum dos participantes tinha história recente de exposição ao vapor de mercúrio em sua atividade ocupacional e todos deram o seu consentimento para participação no estudo.

### **5.2.2 Colheita de Informações**

Foram aplicados formulários (APÊNDICE 1) entre os meses de abril e junho de 2012, após assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido (ANEXO 1) para obtenção de dados sócio-demográficos e de informações que auxiliassem a caracterização da exposição mercurial. O formulário de pesquisa foi baseado em estudos já realizados sobre a exposição mercurial entre ribeirinhos (PINHEIRO, 2006).

Foram consideradas informações registradas no relatório emitido pela Equipe de Saúde da Família Beira Rio, assim como os dados do formulário específico aplicado aos participantes no intuito de obter informações sobre alimentação (frequência e espécies de peixes mais consumidas), tempo de residência local, atividade ocupacional e hábitos de vida.

### **5.2.3 Colheita de Amostras Biológicas**

De cada participante foi colhida uma amostra de cabelos variando entorno de 20mg a 0,5g de cabelo, cortado próximo à sua inserção com tesoura de aço inoxidável, em três pontos diferentes do couro cabeludo. Cada amostra foi individualmente acondicionada em envelopes de papel, sendo devidamente identificadas por um sistema de codificação criado para cada família e posteriormente, direcionadas para análise do teor de Hg total.

Para obtenção de tecido muscular de peixe, foram selecionadas previamente as quatro espécies mais consumidas pelos participantes do estudo (identificadas pelo formulário de investigação) e obtidas na própria comunidade.

Vinte e um exemplares de cada espécie do pescado foram coletados, com exceção do *Prochilodus nigricans* (curimatã), que fora trabalhado com um total de treze exemplares. A diferença no número amostral se deu, como reportado pelos pescadores, pela dificuldade de obtenção da espécie em questão nesse período do ano.

Um exemplar de cada pescado foi mantido preservado para especiação e todos os demais foram processados para retirada de amostras do filé e direcionadas à dosagem de Hg total. As médias de tamanho (comprimento e largura) e peso estão estabelecidas na tabela 3 para cada uma das quatro espécies selecionadas para o estudo.

**Tabela 3** – Média de tamanho e peso das espécies de pescado analisadas.

<b>Peixe-Cachorro (<i>Hydrolycus scomberoides</i>)</b>		
<b>Comprimento</b>	<b>Largura</b>	<b>Peso</b>
44 cm	13,5 cm	1.520 gramas
<b>Aracú-cabeça-gorda (<i>Leporinus friderici</i>)</b>		
<b>Comprimento</b>	<b>Largura</b>	<b>Peso</b>
26 cm	8 cm	500 gramas
<b>Curimatã (<i>Prochilodus nigricans</i>)</b>		
<b>Comprimento</b>	<b>Largura</b>	<b>Peso</b>
22 cm	7 cm	430 gramas
<b>Mapará (<i>Hypophthalmus edentatus</i>)</b>		
<b>Comprimento</b>	<b>Largura</b>	<b>Peso</b>
38 cm	7,5 cm	505 gramas

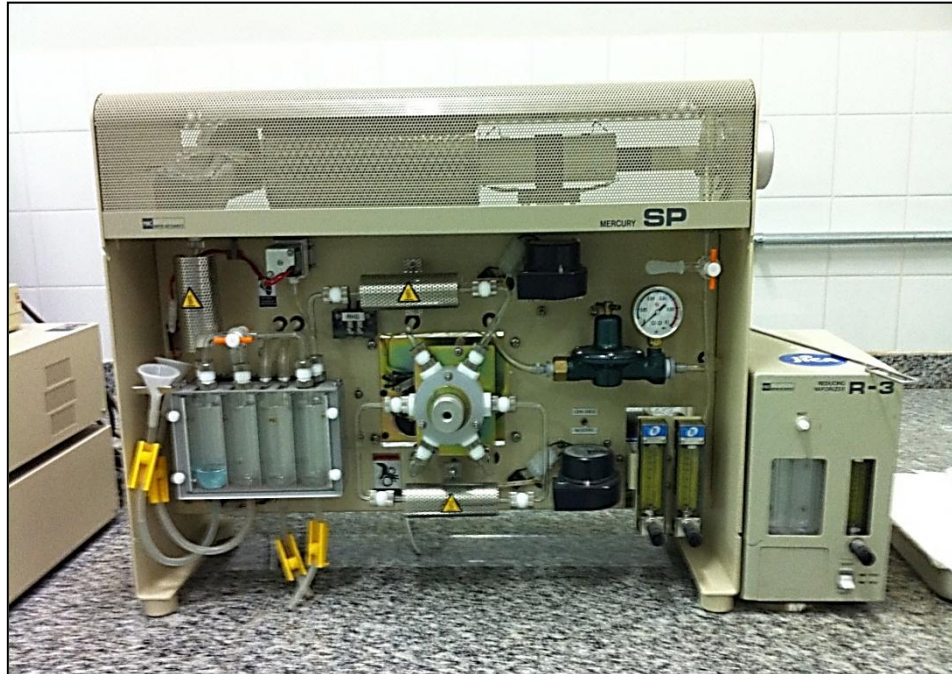
**Fonte:** Pesquisa de campo (2012).

#### 5.2.4 Determinação de Hg total em Cabelo Humano

As amostras de cabelo inicialmente foram submetidas à lavagem com detergente, seguida de dois enxágues com acetona e secagem a temperatura ambiente. A seguir, com auxílio de uma tesoura de aço inoxidável foram efetuadas picotagens até o alcance de múltiplos cortes diminutos, que impedissem uma repicotagem.

Para análise de Hg total, seguiu-se o método recomendado pelo fabricante do equipamento *Mercury Analyzer SP3D NIPPON CORPORATION* (figuras 4 A e 4 B), que trabalha com espectrofotometria de absorção atômica e utiliza a amalgamação em lâmina de ouro a vapor quente.

Este equipamento é um analisador de Hg em amostras líquidas, sólida ou gasosa, através de uma metodologia de elevada sensibilidade e precisão. O processo inteiro de medição, aquecimento da amostra até a detecção do mercúrio é controlado automaticamente.



**Figura 4 A** - Determinador de Hg-Total SP3D – Nippon Corporation.  
**Fonte:** NMT-UFPA (2012).



**Figura 4 B** - Determinador de Hg-Total SP3D – Nippon Corporation.  
**Fonte:** NMT-UFPA (2012).

O aparelho tem como fundamento, a formação de amálgamas, através da interação do Hg presente na amostra, com as lâminas de ouro, que posteriormente são aquecidas, liberando o mercúrio na sua forma atômica. O processo de amalgamação é utilizado para auxiliar na remoção das impurezas presentes no vapor liberado pelo aquecimento da amostra.

O Hg liberado da lâmina de ouro passa por uma célula de leitura presente no aparelho, que apresenta uma lâmpada com comprimento de onda fixo para o mercúrio (253,7 nm). O demonstrador digital do equipamento mostra a quantidade de mercúrio contida em peso (ng) e concentração de mercúrio em ppb. Para melhor comparação com os dados publicados na literatura, os resultados foram expressos em ppm ( $\mu\text{g/g}$ ).

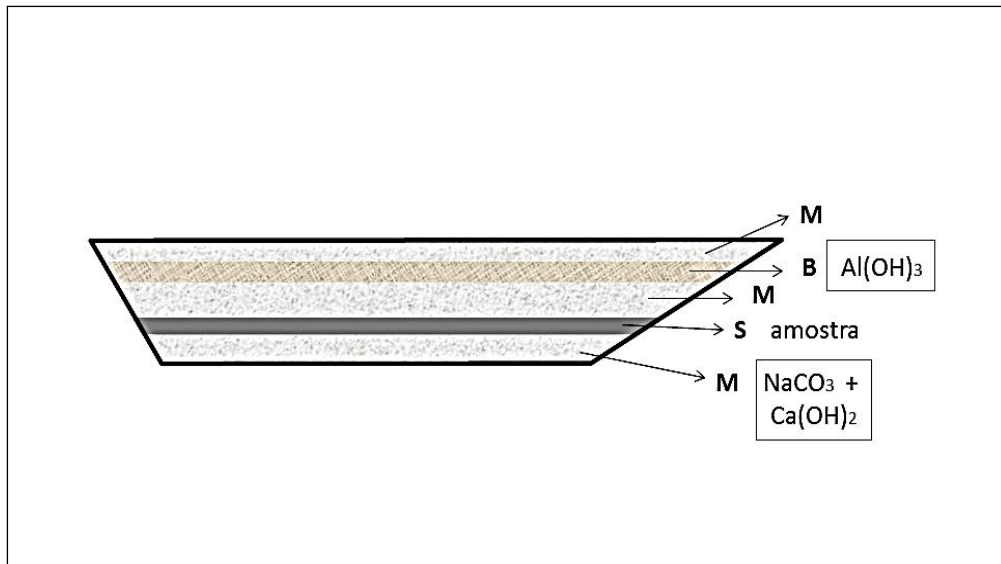
Para o procedimento de análise, utilizou-se uma espécie de suporte, um aparato cerâmico chamado de “barquinha” (figura 5), o qual recebe a amostra e os reagentes de análise, sendo estes:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  - Carbonato de Sódio,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  - Hidróxido de Cálcio e  $\text{Al}(\text{OH})_3$  - Hidróxido de Alumínio.



**Figura 5** - Suporte para amostras do SP3D – Nippon Corporation.  
**Fonte:** NMT-UFGA (2012).

A disposição da amostra e dos reagentes dentro da “barquinha” obedeceu a uma sequência (figura 6), onde foi colocada uma camada fina de uma mistura feita previamente com  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , denominada “M”, os quais foram misturados na proporção de 1:1, possuindo esta mistura a função de evitar perdas abruptas de mercúrio através de vapor, que deve ser liberado lentamente. A seguir, foi adicionada uma camada da amostra de cabelo denominada “S”, que é sucedida outra camada “M” da mistura dos sais. Posteriormente, adicionou-se uma camada de  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , intitulada de “B”, que tem a função de manter a

temperatura distribuída homogeneamente dentro da barquinha, e por último outra camada da mistura dos sais (M).



**Figura 6** - Etapas de colocação dos reagentes na montagem da barca.  
**Fonte:** NMT-UFPA (2012).

Todas as camadas citadas foram dispostas cuidadosamente com espátulas de inox, tendo o cuidado pra que não haja contato entre a amostra de cabelo com as extremidades ou com as laterais desse recipiente.

As “barquinhas” preparadas foram levadas para leitura no equipamento determinador de Hg-Total SP3D – Nippon Corporation, o qual recepta o material a uma temperatura aproximada de  $850^\circ\text{C}$ , para a realização da análise.

Durante a rotina (intervalo entre as análises), as “barquinhas” são inseridas na MUFLA (NEW-2C - HAYASHI DENKO), que atinge uma temperatura até  $750^\circ\text{C}$ . No caso de contaminação do material, ou do reagente, é realizada uma lavagem das “barquinhas” utilizando uma solução de Ácido Nítrico a 1%, procedimento realizado dentro de uma capela de exaustão (QUIMIS®), onde as mesmas são banhadas na solução e permanecem por aproximadamente 30 minutos. Após esse procedimento, elas foram dispostas sobre a bancada, virada com a cavidade para baixo sobre um papel absorvente por 5-10 minutos, para facilitar a retirada do excesso da solução. Feito isso, as mesmas são colocadas na estufa, onde permanecem á uma temperatura de  $100^\circ\text{C}$ , para facilitar o seu processo de secagem e eliminação de resíduos da solução de lavagem.

### 5.2.5 Determinação de Hg total no Tecido Muscular de Peixe

Foi obtida uma porção comestível da região dorsal do peixe através de cortes de filé com uma faca de aço inoxidável, acondicionadas em embalagens plásticas, registradas, codificadas e congeladas em um freezer até o momento da análise.

Para a realização das análises, as amostras de peixe foram descongeladas em temperatura ambiente. Após o descongelamento as amostras foram microfragmentadas com o auxílio de um bisturi, pesadas em uma balança analítica de precisão a um peso médio de 0,5 g. Depois, transferidas para o interior de balões volumétricos de 50 mL.

Em cada balão foi acrescentado um mL de água destilada, dois mL de ácido nítrico com ácido perclórico ( $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ ) na proporção de 1:1 (um para um) e cinco mL de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), onde permaneceram em contato com a amostra por doze horas. Na manhã seguinte, as amostras foram submetidas ao processo de digestão ácida, que tem como intuito eliminar elementos interferentes (presença de outros metais). Tal digestão foi realizada em uma chapa aquecedora a uma temperatura de  $210^\circ\text{C}$  por 30 minutos. Quando as amostras digeridas chegaram à temperatura ambiente estas foram aferidas com água destilada até o volume final de 50 mL nos balões volumétricos.

Em relação à preparação das soluções para a curva de calibração foram criados quatro pontos para a curva de calibração, 0, 20, 50 e 100. A curva de calibração é utilizada para avaliar os resultados das amostras assim como a estabilidade do equipamento. Para o preparo das soluções padrões referente à curva de calibração da análise de mercúrio total foi necessário o preparo de uma solução padrão de metilmercúrio (MeHg) de 100 ppm, uma solução padrão de MeHg 1 ppm (1 mL da solução de 100 ppm) e uma solução de L-Cisteína 0,01%.

Para análise de Hg-total nas amostras de peixe foi utilizado um espectrofotômetro de absorção atômica (figuras 7), disponível comercialmente como Analisador Semi-Automático de Mercúrio Modelo Hg 201 cuja metodologia é baseada por Akagi (2004), podendo ser aplicada em amostras biológicas como peixe, molusco, sangue humano, urina e tecidos como cordão umbilical.





**Figura 7** - Analisador Semi-Automático de Mercúrio Modelo Hg 201.  
**Fonte:** NMT-UFPA (2012).

O método envolve redução e espectrofotometria de absorção atômica por vapor frio e inclui redução de íons  $\text{Hg}_2^+$  na solução da amostra com cloreto estanhoso para gerar vapor de mercúrio elementar ( $\text{Hg}^0$ ) e a introdução de vapor de mercúrio na célula de foto-absorção para a medida de absorbância a 253,7 nm.

Para os procedimentos de análise no equipamento foi transferido suavemente volumes fixos de 5mL com uma pipeta volumétrica de cada uma das soluções de branco ou padrão ou da amostra no equipamento. Foi adicionado um ml de solução de  $\text{SnCl}_2$  (solução de cloreto estanhoso) 10% para o início do processo analítico.

Ao final da análise de cada elemento da curva de calibração ou de cada amostra, os resultados (pico de concentração de mercúrio total) foram registrados em uma impressora conectada ao equipamento Hg 201 (figura 8) na forma de uma reta, medida com régua em cm. Posteriormente, a concentração de Hg total em ppm (equivalente a  $\mu\text{g/g}$ ) foi calculada através de fórmula matemática e com o auxílio dos valores obtidos pelos elementos da curva de calibração.



**Figura 8** - Leitor do Analisador Semi-Automático de Mercúrio Modelo Hg 201.

**Fonte:** NMT-UFPA (2012).

No que diz respeito à descontaminação das vidrarias e frascos utilizados, os mesmos foram submersos em uma solução detergente de extran 1% por um período de 24 horas e retirada com água corrente. Em seguida, realizou-se um leve enxague com solução de permanganato de potássio ( $\text{KMnO}_4$ ) para retirada de qualquer resíduo de Hg presente nas vidrarias. Na sequência, uma lavagem posterior com água corrente retira o  $\text{KMnO}_4$  da etapa anterior e para finalizar o processo, as vidrarias foram então lavadas com solução de hidroxilamina a 1% ( $\text{NH}_2\text{OH}$ ) seguidas por enxagues com água destilada.

### 5.2.6 Espécies de Peixe de Interesse para a Pesquisa

Uma vez comprovada a relevância do pescado na dieta alimentar dos participantes da pesquisa, foram selecionadas as quatro espécies mais consumidas para dosagem do teor de Hg total pelo método de espectrofotometria de absorção atômica, sendo elas: peixe-cachorro

(*Hydrolycus scomberoides*), curimatã (*Prochilodus nigricans*), aracu-cabeça-gorda também conhecido na Região Tocantina como piau (*Leporinus friderici*) e o mapará (*Hypophthalmus edentatus*).

O peixe-cachorro (figura 9) é uma espécie predadora pertencente ao gênero *Hydrolycus* da família *Cynodontidae* que é facilmente identificado pela boca oblíqua, grandes dentes caninos e nadadeiras peitorais relativamente compridas. Com corpo alongado, comprimido e alto, estando à altura contida de 4 a 6 vezes no comprimento padrão. As presas são tão grandes que a maxila superior possui duas aberturas para acomodá-los quando a boca está fechada. Sendo uma espécie de grande porte, atinge até 100 centímetros de comprimento total (Toledo-Pizza, 2003).



**Figura 9** - Exemplar de *Hydrolycus scomberoides* (peixe-cahorro).  
**Fonte:** Pesquisa de campo (2012).

O aracú (figura 10) é membro da família *Anostomidae* que se caracteriza pelo corpo alongado e fusiforme, boca pequena e maxilas geralmente curtas. É uma espécie com hábitos herbívoros e onívoros, que consomem basicamente frutos, sementes, raízes, insetos e outros invertebrados aquáticos. Possui médio porte, alcançando de 30 a 40 centímetros e um total de até 1,5 Kg de peso (Santos et al, 2004).

O curimatã (figura 11) é membro da família *Prochilodontidae*, conhecida pelo formato fusiforme do corpo, presença de um espinho na base da nadadeira dorsal, lábios carnosos, boca prostrátil, em forma de ventosas. Os dentes são numerosos, diminutos e

enfileirados. O hábito alimentar da espécie é de caráter detritívoro, consumindo matéria orgânica particulada, algas e perifíton (Santos et al, 2004).



**Figura 10** - Exemplar de *Leporinus friderici* (aracú-cabeça-gorda).  
**Fonte:** Pesquisa de campo (2012).



**Figura 11** - Exemplar de *Prochilodus nigricans* (curimatã).  
**Fonte:** Pesquisa de campo (2012).

O *Prochilodus nigricans* é uma espécie de médio porte que alcança até 45 centímetros de comprimento total. São peixes migradores, formam cardumes e realizam movimentos dentro do ecossistema aquático com fins tróficos e reprodutivos (Ferreira et al, 1998).

E por sua vez, o mapará (figura 12) pertence à família *Pimelodidae*, possuindo corpo alongado, cabeça curta e olhos laterais voltados para baixo. É característica a presença de barbilhões curtos que não chegam a atingir a ponta da nadadeira peitoral. A espécie possui porte médio, atingindo até 58 centímetros de comprimento e chegando a 1,3Kg de peso. Segundo seu hábito alimentar enquadra-se como zooplancctófago. Possui hábito noturno e tem órgãos sensitivos, barbilhões e barbelas quimiorreceptoras, para explorar o ambiente na ausência de luz (Soares et al, 2008).



**Figura 12** - Exemplar de *Hypophthalmus edentatus* (mapará).

**Fonte:** Pesquisa de campo (2012).

### 5.2.7 Frequência do Consumo de Pescado

A estimativa da frequência do consumo de pescado foi baseada na realizada no estudo de Brune et al (1991), conforme quadro a seguir:

**Categoria I:** nenhum consumo de peixe;

**Categoria II:** <2 refeições de peixe/semana;

**Categoria III:** >2-4 refeições de peixe/semana;

**Categoria IV:** >4 refeições de peixe/semana;

**Categoria V:** consumo desconhecido.

### 5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As concentrações de Hg total nas amostras de peixe e cabelo foram apresentadas em valor médio, desvio padrão, valores mínimo e máximo. Para a comparação entre as médias das concentrações de Hg obtidas de cada espécie de peixe estudadas foi aplicado o teste de variância ANOVA um critério, com correção pelo Tukey. Para confrontar as médias Hg total entre os gêneros foi aplicado o teste *t* de *Student*. A frequência do consumo de pescado e as concentrações de Hg total na população foi analisada pelo teste de *Kruskal-Wallis*.

O *software BioEstat* versão 5.3 foi escolhido para realização dos testes. As diferenças foram consideradas significativas quando o valor de  $p < 0,05$  (AYRES et al, 2011).

### 5.4 ANÁLISE ÉTICA

O estudo foi baseado quanto aos seus aspectos éticos na Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde, e o protocolo foi submetido à apreciação do Comitê de Ética em Pesquisa do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará e aprovado em 06 de setembro de 2011 com o protocolo nº 044/2011-CEP-NMT/UFPA.

## 6 RESULTADOS

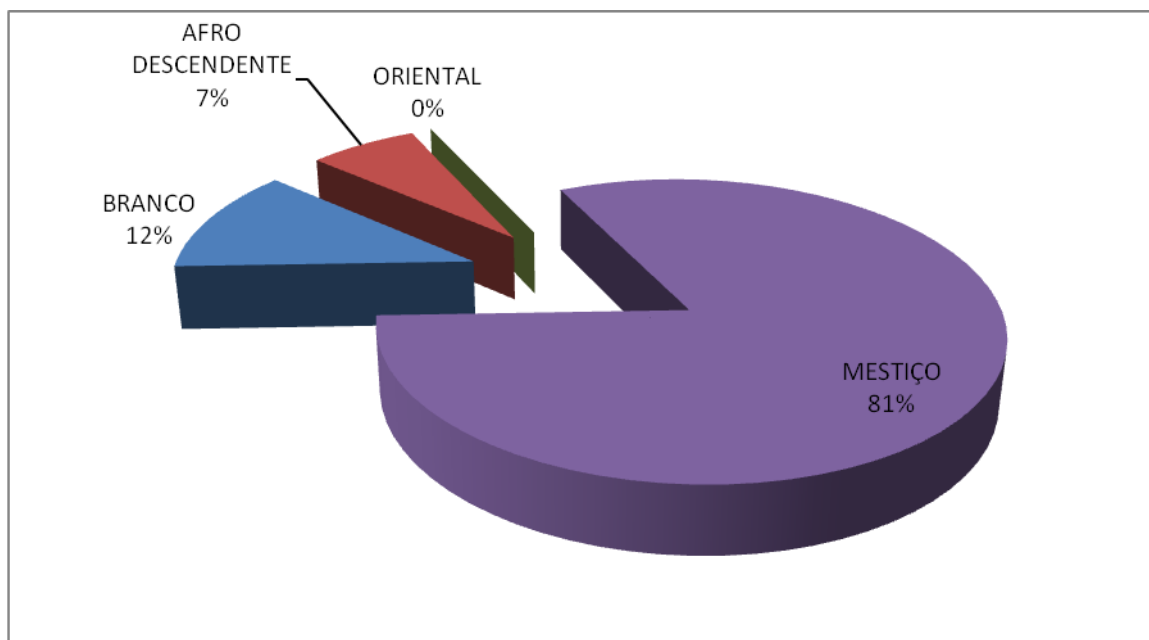
### Perfil sócio-econômico e alimentar da população do estudo

Um total de 59 participantes, membros de todas as 25 famílias de pescadores existentes na comunidade Beira Rio do município de Imperatriz, Maranhão (46% do total de famílias residentes na área) constituíram a população deste estudo.

Todos os participantes possuíam residência fixa no local e tinham idade igual ou superior a 14 anos. Apenas um morador não foi contemplado pelo estudo por impossibilidade de fornecer material para exame.

O gráfico 01 mostra que a etnia mestiça contribuiu com 81% (48/59) dos casos, a branca com 12% (7/59) e afro descendente 7% (4/59). Tais categorias étnicas foram baseadas na ficha do PSF local.

**Gráfico 1** - Etnia da população de estudo.



**Fonte:** Pesquisa de campo (2012).

Os demais dados sócio demográficos da população estudada estão sintetizados nas tabelas 4 e 5. Observa-se que 56% dos participantes pertencem ao sexo feminino (33 participantes). Em relação à idade, 26% (15) encontravam-se na faixa de 14 a 20 anos. Um total de 64% (38/59) dos participantes era casado ou com companheiro estável. Sobre o grau de escolaridade, 59% (35/59) possuíam apenas o ensino fundamental incompleto.

**Tabela 4** – Dados sócio demográficos da população estudada.

<b>CATEGORIA</b>	<b>Total</b>	<b>Percentual (%)</b>
<b>SEXO</b>		
<i>Masculino</i>	26	44%
<i>Feminino</i>	33	56%
<i>Total</i>	<b>59</b>	<b>100%</b>
<b>IDADE</b>		
<i>Entre 14 e 20 anos</i>	15	26%
<i>Entre 21 e 30 anos</i>	12	20%
<i>Entre 31 e 40 anos</i>	13	22%
<i>Entre 41 e 50 anos</i>	7	12%
<i>Entre 51 e 60 anos</i>	9	15%
<i>Acima de 60 anos</i>	3	5%
<i>Total</i>	<b>59</b>	<b>100%</b>
<b>ESTADO CIVIL</b>		
<i>Solteiro</i>	20	34%
<i>Separado</i>	0	0%
<i>Casado ou Companheiro Estável</i>	38	64%
<i>Viúvo</i>	1	2%
<i>Total</i>	<b>59</b>	<b>100%</b>
<b>GRAU DE ESCOLARIDADE</b>		
<i>Nunca estudou</i>	2	3%
<i>Ensino Fundamental Incompleto</i>	35	59%
<i>Ensino Fundamental Completo</i>	9	15%
<i>Ensino Médio Incompleto</i>	11	18%
<i>Ensino Médio Completo</i>	3	5%
<i>Ensino Superior Incompleto</i>	0	0%
<i>Ensino Superior Completo</i>	0	0%
<i>Total</i>	<b>59</b>	<b>100%</b>

**Fonte:** Pesquisa de campo (2012).

Em relação ao abastecimento de água, 76% (19 famílias) possuía água encanada, 12% não disponibilizavam de água tratada para o consumo e 12% (3 famílias) buscavam água



em fonte externa (torneiras localizadas em uma praça pública, próximo a área de estudo). Em relação à luz elétrica, 100% das famílias dispunham deste serviço.

Quanto à instalação sanitária, 68% (17/25) das famílias possuíam vaso sanitário com esgoto. Vale ressaltar que o esgoto citado trata-se de uma canalização a céu aberto que desemboca diretamente no Rio Tocantins sem passar por nenhum tratamento químico. Sete famílias (28%) não possuíam instalação sanitária e 4% correspondendo a uma família que utilizava fossa biológica.

A tabela 2 destaca os dados que caracterizam as moradias das 25 famílias estudadas. Dessa forma, a maioria dos moradores possui residência própria obtendo-se um percentual de 92% (23 famílias).

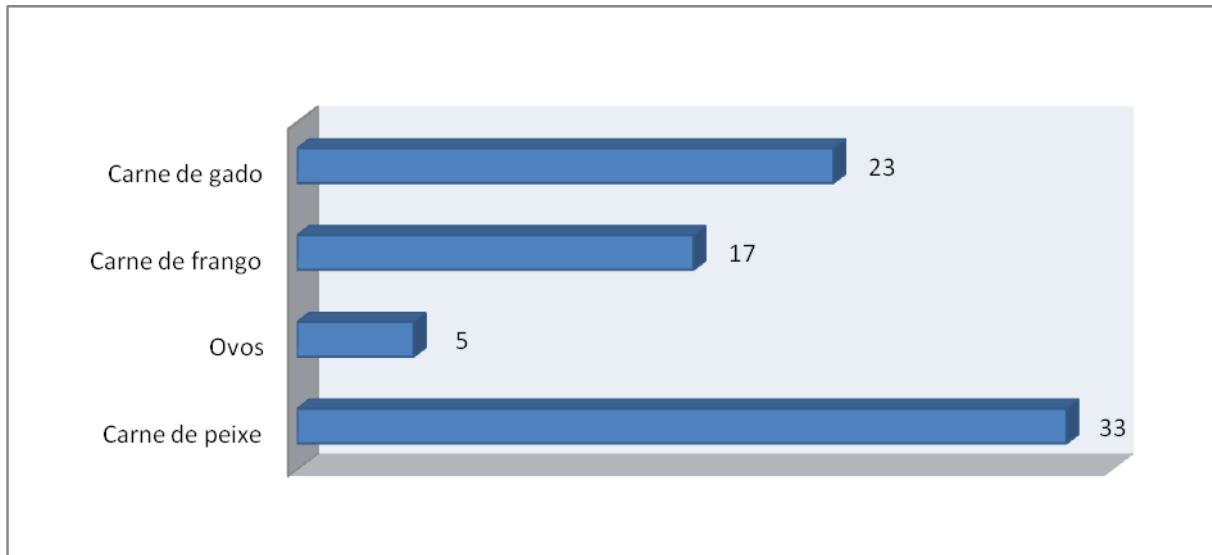
**Tabela 5-** Caracterização das moradias da população estudada.

<b>CATEGORIA</b>	<b>Total</b>	<b>Percentual (%)</b>
<b>RESIDÊNCIA PRÓPRIA</b>		
<i>Sim</i>	23	92%
<i>Não</i>	2	8%
<i>Total</i>	<b>25</b>	<b>100%</b>
<b>ABASTECIMENTO DE ÁGUA</b>		
<i>Coleta do Rio Tocantins</i>	0	0%
<i>Poço</i>	3	12%
<i>Água encanada</i>	19	76%
<i>Busca em fonte externa</i>	3	12%
<i>Total</i>	<b>25</b>	<b>100%</b>
<b>LUZ ELÉTRICA</b>		
<i>Sim</i>	25	100%
<i>Não</i>	0	0%
<i>Total</i>	<b>25</b>	<b>100%</b>
<b>INSTALAÇÃO SANITÁRIA</b>		
<i>Vaso sanitário com fossa</i>	0	0%
<i>Vaso sanitário com esgoto</i>	17	68%
<i>Fossa biológica</i>	1	4%
<i>Não possui instalação sanitária</i>	7	28%
<i>Total</i>	<b>25</b>	<b>100%</b>

**Fonte:** Pesquisa de campo (2012).

O gráfico 2 mostra o perfil dos ribeirinhos de acordo com a frequência de consumo semanal de pescado em relação a frequência de consumo de outras proteínas disponíveis na alimentação dos pescadores estudados.

**Gráfico 2** – Distribuição das pessoas de acordo com a frequência do consumo das diferentes fontes de proteínas disponíveis na alimentação.



**Fonte:** Pesquisa de campo (2012).

Como fonte de proteína na alimentação o consumo diário de pescado do rio Tocantins foi declarado por 33 pessoas, o consumo semanal por 20 pessoas e apenas três pessoas raramente consumia ou não consumiam peixes. O consumo diário de outras fontes proteicas na alimentação incluiu: carne de gado por 23 pessoas, carne de frango por 17 e ovos por 5 pessoas.

### **Quantificação de Hg total no pescado consumido pelas famílias de pescadores de Imperatriz-MA.**

Quatro das 10 espécies referidas no consumo alimentar das famílias foram analisadas quanto às concentrações de Hg total: peixe-cachorro (*Hydrolycus scomberoides-piscívora*), curimatã (*Prochilodus nigricans* - detritívora), aracu-cabeça-gorda também conhecido na Região Tocantina como piaú (*Leporinus friderici*-herbívoro/omnívora) e o mapará (*Hypophthalmus edentatus* - zooplactófaga) e, as respectivas concentrações médias, mínimas e máximas de Hg-total estão demonstradas na tabela 6.

A concentração média de Hg-total em 20 amostras de filé de *Hydrolycus scomberoides* foi de 0,2775 µg/g, sendo que o menor valor de concentração foi 0,20µg/g e o maior valor foi 0,36µg/g. Nas 18 amostras de filé de *Leporinus friderici*, conhecido como aracú-cabeça-gorda ou piaú, a média de concentração foi de 0,0506µg/g, sendo que o menor valor de concentração foi 0,02 µg/g e o maior valor foi 0,08µg/g. Das 12 amostras de filé de *Prochilodus nigricans* (curimatã, a menor concentração foi 0,02µg/g e a maior foi 0,06 µg/g, sendo a média de concentração para essa espécie de 0,0308µg/g). A quantidade menor de amostras dessa espécie, em relação às demais, se deu por conta de sua escassez no período de coleta, conforme relato dos pescadores que auxiliaram na obtenção das amostras.

Em relação as 20 amostras de filé de *Hypophthalmus edentatus* (mapará) a média de concentração de Hg foi 0,1360 µg/g, sendo que o menor valor de concentração foi 0,00 ppm e o maior 0,40 µg/g. A espécie piscívora mostrou diferença significativa ( $p < 0,01$ ) em relação às espécies herbívora/omnívoras e detritívoras estudadas, e a espécie zooplânctófaga mostrou diferença significativa ( $p < 0,01$ ) em relação às duas espécies anteriormente citadas.

**Tabela 6** – Concentração média de Hg total em diferentes espécies de peixes consumidas pelas famílias de pescadores de Imperatriz –MA.

CÓDIGO ESPÉCIE	ESPÉCIES	HÁBITO ALIMENTAR	NÚMERO DE AMOSTRAS	X ±DP ( µg/g )	Min-Max ( µg/g )
	<i>Hydrolycus</i>				
1	<i>scomberoides</i> (peixe-cachorro)	Piscívoro	20	0,2775 ± 0,0551	0,20 - 0,36
2	<i>Leporinus friderici</i> (aracú-cabeça-gorda)	Herbívoro / Omnívoro	18	0,0506 ± 0,0183	0,02 - 0,08
3	<i>Prochilodus nigricans</i> (curimatã)	Detritívoro	12	0,0308 ± 0,0108	0,02 - 0,06
4	<i>Hypophthalmus edentatus</i> (mapará)	Zooplanctof ágo	20	0,1360± 0,0985	0,00 – 0,40

**Fonte:** Laboratório de Toxicologia do NMT-UFPA (2012)

Legenda: 1 a 2 ( $p < 0,01$ )

1 a 3 ( $p < 0,01$ )

1 a 4 ( $p < 0,01$ )

2 a 3 (não significativo)

2 a 4 ( $p < 0,01$ )

3 a 4 ( $p < 0,01$ )

### Concentrações de Hg<sub>total</sub> em amostras de cabelo da família dos pescadores estudados.

O número de membros/família, a concentração média, desvio padrão, valores mínimo e máximo de Hg total das 25 famílias de pescadores estudados são mostrados na tabela 7. A análise de variância entre as médias de Hg total das famílias de pescadores não apresentou diferença significativa ( $p > 0,05$ ), com exceção da família nº 4 em relação as demais, cuja média foi  $5,477 \pm 2,896 \mu\text{g/g}$ .

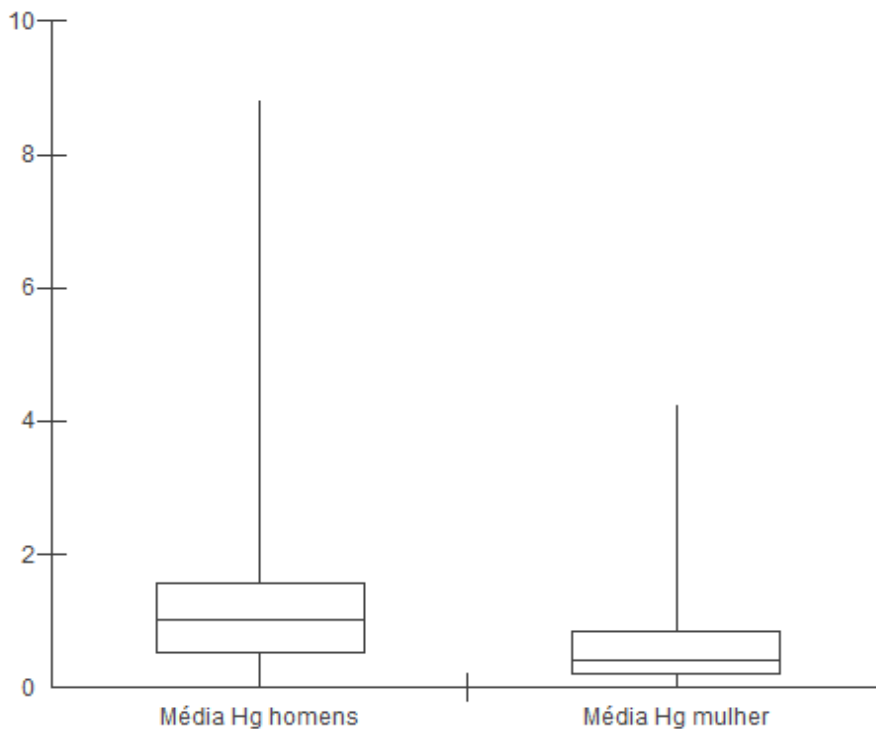
**Tabela 7** – Concentrações médias de Hg total por famílias de pescadores.

Família	Níveis de Hg total ( $\mu\text{g/g}$ )		
	<i>n</i>	$\bar{X} \pm \text{DP}$	(Mín – Máx)
F1	4	$1,118 \pm 0,389$	0,695 – 1,588
F2	3	$0,977 \pm 0,748$	0,412 – 1,827
F3	2	$0,653 \pm 0,374$	0,389 – 0,918
F4	3	$5,477 \pm 2,896$	3,423 – 8,790
F5	2	$0,615 \pm 0,354$	0,365 – 0,866
F6	2	$0,989 \pm 0,666$	0,518 – 1,460
F7	1	0,855	---
F8	2	$0,643 \pm 0,620$	0,205 – 1,082
F9	4	$0,366 \pm 0,128$	0,264 – 0,544
F10	4	$0,326 \pm 0,455$	0,0 – 0,979
F11	2	$0,120 \pm 0,045$	0,088 – 0,152
F12	1	4,674	---
F13	2	$0,674 \pm 0,149$	0,525 – 0,736
F14	4	$1,484 \pm 2,469$	0,088 – 5,182
F15	2	$0,186 \pm 0,043$	0,156 – 0,217
F16	3	$0,703 \pm 0,305$	0,463 – 1,047
F17	2	$1,006 \pm 0,735$	0,486 – 1,526
F18	2	$0,555 \pm 0,381$	0,286 – 0,825
F19	3	$0,622 \pm 0,393$	0,182 – 0,938
F20	4	$0,579 \pm 0,425$	0,083 – 1,072
F21	1	1,947	---
F22	1	1,107	---
F23	2	$0,759 \pm 0,680$	0,278 – 1,241
F24	2	$2,525 \pm 1,810$	1,245 – 3,806
F25	1	2,387	---

**Fonte:** Laboratório de Toxicologia NMT-UFPA (2012).

As concentrações de mercúrio foram confrontadas por gênero (gráfico 3). As 26 amostras do gênero masculino geraram uma média de  $1,01 \pm 1,97 \mu\text{g/g}$  Hg total, enquanto as 33 amostras do gênero feminino obtiveram média de  $0,69 \pm 0,82 \mu\text{g/g}$  Hg total. Houve diferença significativa (teste *t* de *Student*;  $p < 0,05$ ) entre a média de Hg total de homens e mulheres.

**Gráfico 3** - Concentrações médias de Hg total de acordo com gênero.



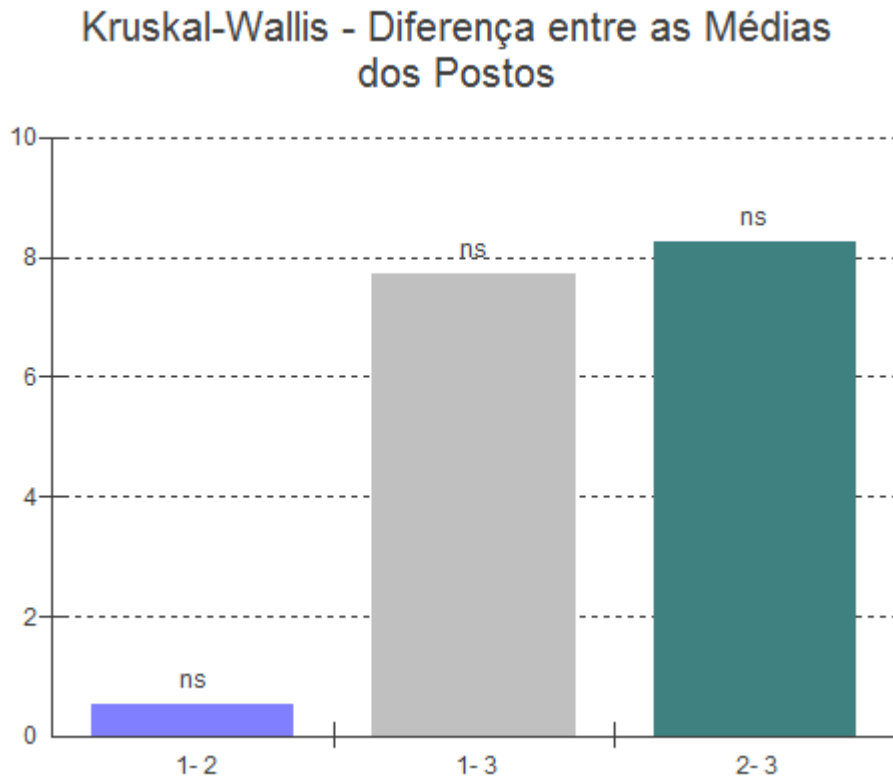
**Fonte:** Dados obtidos em trabalho de campo realizado em 2012.

Laboratório de Toxicologia NMT-UFGA (2012).

O gráfico 4 mostra a variação dos níveis de Hg total de acordo com a frequência de consumo de pescado na alimentação dos pescadores estudados.

Baseado na frequência de consumo de pescado pelas famílias de pescadores não houve diferença significativa nas concentrações de mercúrio total em amostras de cabelo (*Kruskal-Wallis*  $p > 0,05$ ).

**Gráfico 4** – Comparação dos níveis de Hg total de acordo com o consumo do pescado.



**Fonte:** Laboratório de Toxicologia NMT-UFPA (2012).

Legenda adaptada de Brune et al, 1991.

1- > 4 refeições /semana (consumo diário)

2- > 2-4 refeições/semana

3- < 2 refeições/semana

**Kruskal-Wallis  $p > 0,05$**

## 7 DISCUSSÃO

### **Perfil sócio-econômico e alimentar da população do estudo.**

Os ribeirinhos da Amazônia representam uma parcela significativa da população brasileira que se caracteriza por depender do rio para a sua sobrevivência. Do rio extraem o pescado como a sua principal fonte de proteína, bem como, as demais necessidades incluindo, transporte, higiene, atividades domésticas, lazer, entre outras. Entretanto, cada bacia possui características próprias influenciadas pelo ambiente que devem por sua vez, influenciar nos hábitos dos ribeirinhos locais. Assim sendo, a comunidade Beira Rio do município de Imperatriz, Maranhão apresentou características sócio-demográficas comuns as da população geral brasileira (predominantemente mestiça e baixas condições sócio-econômicas) e similares à população ribeirinha situada em outras bacias, como a do Tapajós, cujo nível de instrução e condições sócio-econômicas são deficientes (PINHEIRO et al, 2001; PASSOS et al, 2003).

O perfil alimentar da comunidade estudada não fugiu a regra do padrão alimentar dos ribeirinhos observados na maioria dos estudos realizados na Amazônia, nos quais, o pescado é citado como a principal fonte de proteína alimentar. Entretanto, o consumo de carne vermelha foi registrado como segunda alternativa, isto pode ser explicado pela proximidade de acesso dessa comunidade com a sede do município de Imperatriz. A carne de frango e ovos de galinha representaram fontes de proteína na dieta menos utilizadas pelos ribeirinhos, neste estudo.

### **Concentração de Hg-total no pescado consumido pelas famílias dos pescadores.**

Os peixes são utilizados como suporte na estimativa do nível de poluição dos ecossistemas devido à presença de atividades antropogênicas, motivo pelo qual são considerados indicadores da qualidade do ambiente aquático (SILVA, 2006).

As espécies de peixes analisadas neste trabalho apresentaram concentrações de Hg total dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira vigente de 0,5µg/g, para pescado não-predador (*Leporinus friderici*, *Prochilodus nigricans* e *Hypophthalmus edentatus*), e de 1,0 µg/g, para pescado predador (*Hydrolycus scomberoides*). Tais valores são baseados em dados recomendados pela Comissão de Código Alimentar como limite de tolerância aceitável para consumo humano (WHO, 2008). A Portaria 685/1998 da Agencia

Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) também estabeleceu esses limites, entretanto, ela se refere a mercúrio inorgânico em alimentos e não a contaminação por metilmercúrio.

De acordo com os estudos já realizados em diferentes ecossistemas da Amazônia, a contaminação por mercúrio é abrangente, não atinge somente áreas sob influência da garimpagem de ouro, como na região do Tapajós identificada por Santos et al (2000), Vera et al (2007), Pinheiro et al,(2007) e do Madeira por Bastos et al,2008). Contaminação de pescados por mercúrio oriundos de rio da Amazônia sem história de atividade garimpeira de ouro entre suas tributárias foi registrado por Dórea et al, (2006) que encontrou altas concentrações de Hg total em algumas espécies de peixes capturados na bacia do Rio Negro. Essas concentrações revelaram-se impróprias para consumo alimentar de humanos. Entretanto, na bacia do Tocantins, especificamente, na área geográfica do corrente estudo os níveis de Hg total consumidos pelos ribeirinhos dessa região foram baixos, similares aos encontrados em prévio estudo realizado no baixo Tocantins (Pinheiro et al, 2006), sugerindo a ausência de fatores contributivos para a contaminação por mercúrio do ecossistema na região do Tocantins, no período estudado.

Estudo realizado por Kitahara et al (2000) em amostras de curimatã – *Prochilodus nigricans* obtidas comercialmente na região amazônica: Iranduba – AM (Rio Solimões), Itaquatiara – AM (Rio Madeira) e no Mercado de Manaus, em Manaus – AM, mostrou concentração de Hg total variando de 0,01 a 0,39 µg/g, níveis de contaminação menores que 0,5ppm, similares aos encontrados para a mesma espécie, neste estudo. Da mesma forma, outras espécies não piscívoras mostraram baixas concentrações de mercúrio em outros estudos realizados em áreas contaminadas por mercúrio (BRABO et al, 2000; BASTOS et al, 2008). O hábito alimentar do pescado em questão pode explicar a similaridade dos resultados e pode servir de referência para consumo seguro das populações ribeirinhas.

A hipótese de ocorrência de níveis importantes de contaminação por mercúrio nas espécies piscívoras estudadas não se confirmou. A espécie piscívora, *Hydrolycus scomberoides* (peixe-cachorro) não apresentou valores acima dos ditados pelos órgãos regulamentadores, a média de Hg total nessa espécie foi  $0,2771 \pm 0,0551 \mu\text{g/g}$ . Os baixos valores de Hg total no pescado encontrado no presente estudo podem estar associados a outros fatores, entre os quais, a localização distante de focos de mineração de ouro e de atividades industriais que utilizam mercúrio. Dórea et al(2006) admitem que a concentração de mercúrio em pescado é espécie específica e reflete mudanças no comportamento alimentar do peixe com tendência a bioacumulação durante períodos de inundações. Os peixes analisados no



corrente estudo foram capturados no período de maré cheia, período correspondente a inundações, no Tocantins.

Baixos teores de Hg<sub>total</sub> em espécies de peixe piscívoras também foram encontrados por Kitahara et al (2000) que estudaram as espécies traíra (*Hoplias malabaricus*) e dourado. Os teores de mercúrio variaram de 0,26 a 0,39 µg/g, similares aos níveis encontrados na espécie predadora deste estudo.

As espécies predadoras geralmente bioacumulam mercúrio em função do seu comportamento alimentar. Vários estudos com essas espécies em diferentes ecossistemas da Amazônia demonstraram elevadas concentrações de mercúrio total em tecido muscular, com variações que dependeram do ciclo hidrológico do ambiente estudado (DÓREA et al, 2006; PASSOS et al, 2008).

A espécie *Hypophthalmus edentatus* (mapará), mesmo sendo um peixe não predador e apresentar nível baixo de contaminação por mercúrio mostrou diferença significativa em relação ao teor de Hg total das outras duas espécies não predadoras *Leporinus friderici* (aracú-cabeça-gorda) e *Prochilodus nigricans* (curimatã). O hábito alimentar do mapará pode explicar a diferença encontrada. Trata-se de uma espécie zooplânctófaga que se alimenta do limo e material particulado depositado no fundo dos rios, os quais por deposição podem conter maiores cargas de mercúrio (SOARES et al, 2008).

### **Hg em amostras de cabelo das famílias de pescadores.**

A determinação de Hg total em amostras de cabelo constitui um indicador importante na estimativa do grau de exposição ao mercúrio através da alimentação e tem sido utilizado na avaliação da exposição em comunidades ribeirinhas e/ou de pescadores, na Amazônia. A maioria dos estudos realizados avaliou a exposição em aglomerados não familiares, e em áreas sob influência da garimpagem de ouro. Na região do Madeira, Boischio, Barbosa, (1993) encontraram concentrações de mercúrio muito elevada em uma família com cinco membros, variando de 90.6 to 303.1 µg/g. Entretanto, o estudo não incluiu somente famílias.

Este estudo avaliou a exposição em famílias de pescadores em uma área distante de mineração de ouro, e, dentre as 25 famílias avaliadas a menor concentração média de Hg total/família foi  $0,186 \pm 0,043 \mu\text{g/g}$  e a maior foi  $5,477 \pm 2,896 \mu\text{g/g}$ . Apesar de incluírem espécies piscívoras, a maioria das famílias relatou consumo freqüente das espécies não predadoras, no final do período chuvoso, o que pode explicar os resultados encontrados. Na

região do Tapajós, onde existe influencia de atividade minerária, Dolbec et al (2001) tinha constatado que os ribeirinhos comiam mais espécies herbívoras no final da estação chuvosa justificando os baixos níveis de exposição ao mercúrio.

Estudo realizado em comunidades ribeirinhas do baixo Tocantins, no Estado do Pará encontrou também concentrações de Hg total abaixo de 10 µg/g (PINHEIRO et al, 2006). Apesar de, esse estudo ter sido realizado em período de cheias do rio, essa pesquisa não envolveu famílias de pescadores, mas aglomerados não familiares que relataram consumo frequente do pescado da região.

A média encontrada nesse estudo é compatível com o esperado para populações não expostas, cujos teores de referencia devem ser inferiores a 5 µg/g (WHO, 1990). Neste estudo, apenas dois participantes ultrapassaram essa estimativa, um deles com 8,79 µg/g (o maior valor encontrado nesse estudo) e outro com 5,18µg/g, ambos eram pescadores e do sexo masculino.

Em contrapartida, os estudos realizados em áreas de garimpagem de ouro, na região Amazônica revelaram uma realidade diferente da encontrada em Imperatriz, Maranhão. Na bacia do rio Madeira, comunidades ribeirinhas situadas próximas a áreas de garimpos, com dieta baseada no consumo de peixe apresentaram até  $38,6 \pm 14,4$  µg/g de Hg total como resultado da análise de cabelo (EVE et al, 1996). HARADA et al (2001) mostraram que os níveis de mercúrio da população da região do Rio Tapajós, especificamente nas comunidades próximas a cidade de Itaituba variaram em média de 14,1 a 20,8 µg/g com valor máximo de 62,9 µg/g. Esses e outros estudos em áreas de atividade garimpeira de ouro confirmam a grande influencia da extração mineral na contaminação ambiental e na exposição ao mercúrio na população residente local.

### **Concentração média de Hg em amostras de cabelo de acordo com o gênero.**

Mesmo dentro de limites aceitáveis, a concentração mediana de Hg total apresentada pelos homens foi mais alta que a das mulheres ( $p < 0,05$ ). Estudos realizados em áreas sob influencia de atividade garimpeira de ouro mostraram também que os homens apresentaram concentrações de mercúrio mais elevadas do que as mulheres (Barbosa et al, 2001). O consumo maior de pescado pelos homens deste estudo é baseado na permanência deles no rio por muitos dias para captura de peixes, não dispondo de outra fonte protéica no

período da atividade ocupacional, enquanto que as mulheres teriam facilidade de acesso a outras fontes de proteína por estarem próxima da sede do município.

O relato de uma baixa oferta de pescado atualmente, na área estudada é atribuído ao impacto da implantação da Hidrelétrica de Estreito, município situado a 130Km à montante da área do corrente estudo. Segundo dados do Consórcio Estreito Energia (CESTE, 2012), o início das obras da hidrelétrica datam de junho de 2007. Em dezembro de 2010 iniciou-se o enchimento do reservatório, processo esse que finalizou em maio de 2011. Tal período de represamento do volume de água coincide com o período de redução significativa da oferta de peixes de acordo com a informação dos pescadores participantes deste estudo.

### **Concentrações de Hg total de acordo com o consumo de pescado.**

Consumo de alimentos contendo mercúrio tem sido identificado como um risco para a saúde. A via de exposição ao metilmercúrio mais comum é através do consumo de peixe. Autoridades em segurança alimentar de muitos países têm considerado risco potencial a saúde em relação ao metilmercúrio em peixes baseado em um nível internacional estabelecido pela Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) que estabeleceu em 1972, pela primeira vez, a caracterização de nível não seguro para metilmercúrio e tem trabalhado nessa linha na atualização desses níveis. Para JECFA a caracterização do perigo é expressa como Provisional Weekly Tolerable Intake (PTWI) e foi estabelecida em  $1.6\mu\text{g}$  de metilmercúrio/Kg peso corporal (FAO/WHO, 1972, 1978, 1989, 2000, 2004, 2007) (WHO,2008).

As concentrações de Hg total de acordo com a freqüência de consumo de pescado na dieta semanal não mostrou diferença significativa com os padrões de freqüências de consumo. Os níveis medianos de mercúrio foram abaixo de  $1\mu\text{g/g}$  em todos os grupos estudados (*Kruskal-Wallis*  $p>0,05$ ). No grupo que consumia peixe diariamente, 27,2% apresentaram concentrações de Hg maior que  $1\mu\text{g/g}$ , variando de 1,04 a  $8,79\mu\text{g/g}$ . Entre aqueles que consumiam mais de duas e menos que quatro refeições semanais 40% tiveram níveis de Hg total  $> 1\mu\text{g/g}$  ( $1.072$  a  $3.80\mu\text{g/g}$ ). O nível normal de mercúrio em cabelo é  $1-2\mu\text{g/g}$  ( ou  $1-2\mu\text{g/g}$ ), porém pessoas que consomem peixe uma ou mais vezes por dia podem ter concentrações de mercúrio em cabelo excedendo  $10\mu\text{g/g}$ . A dose referencia recomendada pela Agencia de Proteção Ambiental nos Estados Unidos corresponde aproximadamente a 1ppm de mercúrio em cabelo para pessoas que têm baixo consumo de peixe na dieta (WHO/UNEP, 2008).

Os níveis de mercúrio em amostras de cabelo considerados seguros na exposição em longo prazo ainda não foram bem definidos. A avaliação para o risco materno é sempre considerado e na maioria dos estudos são baseados nos estudo da ilha Seychelles que indicaram um nível de 10 µg/g no cabelo materno associado com ausência de efeitos deletérios. O estudo de Nova Zelândia admitiu que nível de Hg em cabelo materno de 6 µg/g e acima podem estar associados com alterações na função cerebral do concepto (Kellstrom et al,1986; Davidson et al, 1998).

Com relação à frequência de consumo, no Brasil, o limite máximo permitido pelo Ministério da Saúde para a ingestão do alimento é de 400g de pescado com concentração de 0,5 ppm de mercúrio consumido por adulto semanalmente (BRASIL, 1998). Observa-se dessa forma que maiores riscos não são apontados para os consumidores do pescado de Imperatriz, Maranhão, uma vez que, da espécie com maiores índices, a amostra com maior teor de Hg total foi de 0,36 µg/g (*Hydrolycus scomberoides* - peixe-cachorro).

## **8 CONCLUSÃO**

Os resultados deste estudo mostraram que as famílias de pescadores da comunidade Beira Rio possuem um perfil com baixo nível socioeconômico e que tem o pescado do Rio Tocantins como sua principal fonte proteica, consumindo espécies de peixes predadoras e não predadoras com baixos níveis de contaminação para o período estudado. Apesar dessas características as famílias estudadas não mostraram níveis de exposição ao mercúrio capaz de causar danos à saúde. O local estudado poderá servir como área de controle para outras pesquisas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKAGI, H.; MALM, O.; KINJO, Y.; HARADA, M.; BRANCHES, F. J. P.; PFEIFFER, W. C.; KATO, H. Methylmercury pollution in the Amazon, Brazil. **The Science of the Total Environment**, n. 175, p. 85-95, 1995.

AMOUREUX, D.; WASSERMAN, J.C.; TESS, E.R.E.; DONARD, O.F.X. Elemental mercury in the atmosphere of a tropical amazonia forest (French Guyana). **Enviromental Sience Tecnology**, v. 33, p.3044-3048, 1999.

ARAUJO, B. F.; ALMEIDA, M. G.; SALOMÃO, M. S. M. B.; GOBO, R. R.; SIQUEIRA, V. C.; OVALLE, A. R. C.; REZENDE, C. E. Distribuição de Hg total e suas associações com diferentes suportes geoquímicos em sedimentos marinhos na margem continental brasileira: Bacia de Campos – Rio de Janeiro. **Quim. Nova**, v. 33, n. 3, p. 501-507, 2010.

ARRIFANO, G. P. F. **Metilmercúrio e Mercúrio Inorgânico em Peixes Comercializados nos Mercado Municipal de Itaituba (Tapajós) e Mercado do Ver-O-Peso (Belém)**. 67 p. Dissertação (Mestrado em Neurociências) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry).. **Toxicological Profile for Mercury**. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta, G.A. 1999, 617p.

AYRES, M.; AYRES, M.JR.; AYRES, D.L.; SANTOS, A.S.S. **Biostat 5.3: Aplicações Estatísticas nas Áreas das Ciências Biológicas e Médicas**. Belém, Para, Brasil: Sociedade Civil Mamiraua. Brasília, Distrito Federal, Brasil:Conselho Nacional de Desenvolvimento Cientifico e Tecnológico (CNPq), 2011.290 p.

AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. **As bases toxicológicas da ecotoxicologia**. São Paulo. Rima. Intertox, 2003.

AZEVEDO, M. F. A. Abordagem inicial no atendimento ambulatorial em distúrbios neurotoxicológicos. Parte I – metais. **Rev Bras Neurol**, n. 46, v. 3, p. 17-31, 2010.

BARBOSA, A.C.; GARCIA, A.M. e SOUZA, J.R. Mercury contamination in hair of riverine populations of Apiacás Reserve in the Brazilian Amazon. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 97, n. 1-2, p. 1-8, 1997.

BARBOSA, A.C.; JARDIM, W.; DÓREA, J.G.; FOSBERG, B.; SOUZA, J. Hair mercury speciation as a function of gender, age, and body mass index in inhabitants of the Negro river basin , Amazon Brasil. **Arch. Environm. Contam. Toxicol.**, v.40, p. 439-444,2001.

BASTOS, R.W.; REBELO, F.M.; FONSECA, F.M.; ALMEIDA, R.; MALM, O. Um estudo descritivo do mercúrio em peixes da bacia do Rio Madeira, Amazônia,Brasil. **Acta Amazonica**, n.38, p.431-438, 2008.

BIDONE, E. D.; CASTILHOS, Z. C.; DE SOUZA, T. M. C. Fish contamination na human exposure to mercury in the Tapajos river basin, Para state, Amazon, Brazil: a screening approach. **Bull Environ Contam Toxicol**, v. 59, n. 2, p. 194-201, 1997.

BISINOTI, M. G.; JARDIM, W. F. O comportamento do metilmercúrio (metilHg) no ambiente. **Química Nova**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 593 – 600, 2004.

Boischio, AAP; Barbosa, A. Exposição ao Mercúrio Orgânico em Populações Ribeirinhas do Alto Madeira, Rondônia, 1991: Resultados Preliminares. **Cad. Saúde Públ.**, Rio de Janeiro, v.9,n.2, p.155-160, abr/jun, 1993.

BOENING, D. W. Ecological Effects, Transport, and Fate of Mercury: a general review. **Chemosphere**. n. 40, p. 1335-1351, 2000.

BRABO, E.S.; SANTOS,E.O.; DE JESUS, I.M.; MASCARENHAS,A.F.S.; FAIAL, K.F. Mercury contaminations of fish and exposure of and indigenous community in Pará sate, Brazil. **Enviromental research New York**, n. 84, p.187-203, 2000.

BRASIL. Portaria nº 685/98. **Diário Oficial**, Brasília, seq 1, pt. 1, p. 1415-1437, 24 set. 1998.

BRASILEIRO FILHO, G. **Patologia**. 6. ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro: 2000.

BRAUNE, B.M.; OUTBRIDGE, P.M.; FISK, A.T.; MUIR, D.C.G.; HELM, P.A.; HOBBS, K.; HOEKSTRA, P.F.; KUZYK, Z.A.; KWAN, M.; LETCHER, R.J.; LOCKHART, W.L.; NORSTROM, R.J.; STERN, G.A.; STIRLING, I. Persistent organic pollutants and mercury in marine biota of the Canadian Arctic: An overview of spatial and temporal trends. **Sci. Total Environ.**, v. 4, n. 56, p. 351-352, 2005.

BRUNE,D; NORDBERG,GF; VESTERBERG,D.;GERHARDSSON, L.; WESTER,P.O. A review of normal concentrations of mercury in human blood. **Sci. Total. Environm.** v.100, p.235-282,1991.

CABANA, G.; TREMBLAY, A.; KAFF, J.; RASMUSSEN, J. B. Pelagic food hain Structure in Ontario Lakes: A determinant of mercury levels in lake trout (*Salvelinus namaycush*). **Can J Fish Aquat Sc.**, v.51, p.381-389.

CÂMARA, V. M.; SILVA, A. P.; CANCIO, J. A. Notas para constituição de um programa de vigilância ambiental dos riscos e efeitos da exposição do mercúrio metálico em áreas de produção de ouro. **IESUS**, VII, n. 2, p. 35-44, 1998.

CASTILHOS, Z.C.; BIDONE, E.D; LACERDA, L.D. Increase of the background human exposure to mercury through fish consumption due to gold mining at Tapajos river region, Para state, Amazon. **Bulletin of Environment Contaminant Toxicology**, v.61, p.202-209, 1998.

CASTILHOS, Z. C.; RODRIGUES, A. P. C. **Avaliação da potencial acumulação de mercúrio em peixes dos reservatórios de Jirau e de Santo Antônio, Rio Madeira, RO.** CETEM – Centro de Tecnologia Mineral. Março, 2007.

**CESTE – Consórcio Estreito Energia.** Histórico do empreendimento – usina hidrelétrica de Estreito, Maranhão. Disponível em: [http://www.uhe-estreiro.com.br/ver\\_secao.php?session\\_id=72](http://www.uhe-estreiro.com.br/ver_secao.php?session_id=72). Acesso em 15 jun 2012.

CLARKSON, W. C.; MAGOS, L. The toxicology of mercury and its compounds. **Critical Reviews in Toxicology**, v. 36, p. 609-662, 2006.

COELHO – SOUZA, S. A.; MIRANDA, M. R.; GUIMARÃES, J. R. D. A importância das Macrófitas aquáticas no ciclo do mercúrio na bacia do rio Tapajós (PA). **Oecol. Bras.** Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 252 – 263, 2007.

CRAVO, M.; VIEIRA, R.; GONÇALO, M.; FIGUEIREDO, A. Intoxicação aguda por mercúrio inorgânico aplicado a pele. **Med Cutan Iber Am**, n. 36, v. 6, p. 296-298, 2008.

DAVIDSON, P. W., MYERS, G. J., COX, C., AXTELL, C., SHAMLAYE, C. F., SLOANE-REEVES, J., CERNICHIARI, E., NEEDHAM, L., CHOI, A., WANG, Y., BERLIN, M., AND CLARKSON, T. Effects of prenatal and postnatal methylmercury exposure from fish consumption: Outcomes at 66 months of age in the Seychelles Child Development Study. **JAMA**, v.280, n.8, p.701-707, 1998.

DOLBEC, J.; MERGLER, D.; SOUSA PASSOS, C.J.; SOUSA DE MORAIS, S.; LEBEL, J. Methylmercury exposure affects motor performance of a riverine population of the Tapajós River, Brazilian Amazon. **International Journal of Occupational and Environmental Health**, v. 73, p.195-203, 2000.

DOREA, J.G.; BARBOSA, A.C. Fish consumption and blood mercury: Proven health benefits or probable neurotoxic risk? Letter to the editor. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v.42,p. 249-250, 2005.

DOREA, J.G.; BARBOSA, A.C.; SILVA, G.S. Fish mercury bioaccumulation as a function of feeding behavior and hydrological cycles of the rio Negro, Amazon. **Comparative Biochemistry and Physiology**, Part C, v.14, p.275- 283, p.2006.

DULTRA, M. D. S.; MONTEIRO, M. C.; CAMARA, V. M. Avaliação do processamento auditivo central em adolescentes expostos ao mercúrio metálico. **Pró-Fono Revista de Atualização Científica**. n. 22, v. 3, p. 339-344, 2010.

EVE, E.; OLIVEIRA, E. F.; EVE, C. The Mercury problem and diets in the Brazilian Amazon: planning a solution. **Environmental Conservation**, v. 23, p. 133-139, 1996.

FAIAL, M.R.F.; SANTOS, E.C.O.; BRABO, E.S.; SÁ, C.G.; JESUS, I.M.; LIMA, M.; MENDES, R.A.; MASCARENHAS, A.F.S. Níveis de Mercúrio em peixes do Rio Trombetas no Baixo Amazonas: Uma Área sem influencia de garimpo. **Caderno de Saúde Coletiva**, v.13, p.237-248, 2005.

FERREIRA, E. J. G.; ZUANON, J. A. S.; SANTOS, G. M. **Peixes comerciais do médio Amazonas: Região de Santarém – PA**. Brasília: Edições IBAMA, Coleção Meio Ambiente, Série Estudos Pesca. 211 pp, 1998.

FILHO, E. V.; KÜTTER, M. T.; KÜTTER, V. T.; LACERDA, L. D. Mercúrio em peixes no Brasil e sua implicação ecológica: revisão bibliográfica. in: **III Congresso Brasileiro de Oceanografia – CBO’2008 I Congresso Ibero-Americano de Oceanografia – I CIAO**. Fortaleza-Ceará, 2008,1-4.



FITZGERALD, W. F.; LAMBORG, C. H. Geochemistry of mercury in the environment. **Treatise on Geochemistry**, v. 9, p. 107-148, 2003.

GONÇALVES, R. M.; GONÇALVES, J. R.; FORNÉS, N. S. Leite materno e a presença de metais pesados. **Revista Brasília Médica**. v.47, n. 3, p. 338-347, 2010.

GOOGLEMAPS. **Dados cartográficos – Europa Tecnologias, Ivan-Geosistemas SRL**. Disponível em: <<http://maps.google.com.br>>. Acesso em: 02/04/2011.

GRAY, J.S. Biomagnification in marine systems: the perspective of an ecologist. **Marine Pollution Bulletin**, n. 45, p. 46-52, 2002.

HACON, S.; ELAINE R.R. ROCHEDO, E. R.R.; CAMPOS, R. R. R.; LACERDA, L. D. Mercury exposure through fish consumption in the urban area of Alta Floresta in the Amazon Basin. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 58, p. 209-216, 1995.

HARADA, M.; NAKANISHI, J.; YASODA, E.; PINHEIRO, M. C. N.; OIKAWA, T. Mercury pollution in the Tapajos River basin, Amazon. Mercury level of head hair and health effects. **Envirion Int**, v. 27, p. 285-290, 2001.

HSDB – HAZARDOUS SUBSTANCES DATA BANK. **Mercury**. In: TOMES C.P.S. SYSTEM, Toxicology, occupational medicine and environmental series. Englewood: Micromedex, 2000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>>. Acesso em 02/04/2011.

Kjellstrom, T., Kennedy, P., Wallis, S., and Mantell, C. “Physical and Mental Development of Children with Prenatal Exposure to Mercury from Fish. Stage 1. Preliminary Tests at Age 4.” **National Swedish Environmental Board Report** No. 3080, Solna, Sweden.,1986.

KEMPURAJ, D.; ASADI, S.; ZHANG, B.; MANOLA, A.; HOGAN, J.; PETERSON, E.; THEOHARIDES, T. C. Mercury induces inflammatory mediator release from human mast cells. **Journal of Neuroinflammation**, n. 7, v. 20, p.1-7, 2010.

KITAHARA, S. E.; OKADA, I. A.; SAKUMA, A. M.; ZENEBON, O.; JESUS, R.S.; TENUTA-FILHO, A. Mercúrio total em pescado de água-doce. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** v. 20, n. 2, 2000.

LACERDA, L. D. Contaminação por mercúrio no Brasil: Fontes industriais vs Garimpo de Ouro. *Rev. Química Nova* 20 (2). Niterói/ RJ. 1997. 196-199.

LEGAT, L. N. A.; BRITO, J. L. O mercúrio em cetáceos (*Mammalia, cetacea*): uma revisão. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 4, p. 1021-1035, 2010.

LEMIERE, M.; MERGLER, D.; FILLION, M.; PASSOS, C. J. S.; GUIMARÃES, J. R. D.; DAVIDSON R.; LUCOTTE, M. Elevated blood selenium levels in the Brazilian Amazon. **Sci Total Envirion**, v. 366, n. 1, p. 101-111, 2006.

- LIMA, A. P. S. **Avaliação do impacto de uma atividade de garimpagem no município de Cachoeira do Ipirá, Estado do Pará.** 131f. Tese (Doutorado em Ciências da Área de Tecnologia Nuclear). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 2005.
- LUCENA, G. M. R. S.; MAIA, C. S. F.; GONCALVES A. S.; MARTINS, V. M. F.; FERREIRA, V. M. M. Interação álcool e metilmercúrio: um fator de risco na gravidez. **Revista Brasília Médica.** v.47, n. 3, p. 344-350, 2010.
- MARTINS, P. A. A. T. **Doseamento do mercúrio total e de derivados orgânicos de mercúrio em amostras de cadáveres – estudo de dois casos.** 85f. Dissertação (Mestrado em Ciências Forenses). Faculdade de Medicina da Universidade de Porto. Porto. Portugal, 2007.
- MIRANDA, M. R.; COELHO-SOUZA, S. A.; GUIMARÃES, J. R. D.; CORREIA, R. R. S.; OLIVEIRA, D. Mercúrio em sistemas aquáticos: fatores ambientais que afetam a metilação. **Oecol. Bras.** n. 11, v. 2, p. 240-251, 2007.
- MOREAU, R. L. M.; SIQUEIRA, M. E. P. B. **Toxicologia Analítica.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- MOREL, F. M. M.; KRAEPIEL, A. M. L.; AMYOT, M. The chemical cycle and bioaccumulation of mercury. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 29, p.543-566, 1998.
- National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES III). (1994): Centers for Disease Control and Prevention (CDC), National Center for Health Statistics. Available at: <http://www.cdc.gov/nchs/nhanes.htm>
- OGA, S.; CAMARGO, M. M. A.; BATISTUZZO, J. A. O. **Fundamentos de Toxicologia.** 3. ed. São Paulo: Atheneu, 2008.
- OLIVARES, Igor Renato Bertoni. **Emissões antrópicas de mercúrio para atmosfera na região de Paulínia/SP.** 70 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual de Campinas. Campinas. São Paulo. 2003.
- PALETTI, G. **Determinação de Mercúrio e Metil-mercúrio em cabelos de populações residentes no parque indígena do Xingú.** 135 p. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- PASSOS, C.J; LUCOTTE, M ; QUEIROZ, A; MERGLER, D; PELEJA, R; GOCH, Y; MORAIS, M. Condições sócioeconômicas e exposição ao mercúrio (Hg) através do consumo de peixe: um estudo de caso em Santarém, Pará, Brasil. **Revista Saúde e Ambiente**, v.6, n.1/2, p.3-11, 2003.
- PASSOS,C.J.S.; MERGLER,D. Humam Mercury exposure and adverse health effects in the Amazon: A review.**Caderno de saude publica, Rio de Janeiro**, v. 24: p.503-520, 2008.
- PINHEIRO, M.C.N.; NAKANISHI, J.; OIKAWA, T.; GUIMARAES, G.; QUARESMA, M.; CARDOSO, B.; AMORAS, W. W.; HARADA, M.; MAGNO, C.; VIEIRA, J. L. F.; XAVIER, M. B.; BACELAR, D. R. Exposição humana ao metilmercúrio em comunidades

ribeirinhas da Região do Tapajós, Pará, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**. V.33, n.3,p.265-269, mai-jun, 2000.

PINHEIRO, M.C.N.; GUIMARAES, G.; BACELAR, M.D.R.; MULLER, R.C.S.; OIKAWA, T.; SANTOS, W.R.; GOMES, M.P.S.; SANTANA, A.; XAVIER, M. B.; ALMEIDA, S.S. Comunidades ribeirinhas do Tapajós. Condições de vida e saúde. In: Villas Boas, C.; Beinhoff, C. Mercury in the Tapajós Basin. Rio de Janeiro: CNPq/CYTED, 2001, 198p.

PINHEIRO, M. C. N.; OIKAWA T.; VIEIRA, J. L. F.; GOMES, M. S. V.; GUIMARÃES, G. A.; CRESPO-LÓPEZ, M. E.; MULLER, R. C. S.; AMORAS, W. W.; RIBEIRO, D. R. G.; RODRIGUES, A. R.; CÔRTEZ, M. I. T.; SILVEIRA, L. C. L. Comparative study of human exposure to mercury in riverside communities in the Amazon region. **Braz J Med Biol Res**. v. 39, n. 3, p. 411-414, 2006.

PINHEIRO, M. C. V.; OIKAWA, T.; FERREIRA, L. B.; TODA, K. S. Avaliação dos teores de mercúrio na urina dos graduandos de Odontologia. **Revista Paraense de Medicina**, v.21, p.25-29, 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE IMPERATRIZ. **História e dados geográficos de Imperatriz**. Disponível em: <<http://www.imperatriz.ma.gov.br/prefeitura>>. Acesso em: 02/04/2011.

ROJAS, M.; NAKAMURA, K.; SEIJAS, D.; SQUILLANTE, G.; PIETERS, M. A.; INFANTE, S. Mercury in hair as a biomarker of exposure in a coastal Venezuelan population. **Invest Clin**, n. 48, v. 3, p. 305-315, 2007.

ROULET, M.; LUCOTTE, M.; FARELLA, N.; RHEAULT, I.; SERIQUE, G.; SOUSA PASSOS, C.J.; JESUS, E.S.; SCAVONNE DE ANDRADE, P.; MERGLER, D.; GUIMARAES, J.R.D.; AMORIM, M. Effect of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems. **Water Air and Soil Pollution**, v. 112, p. 297-313, 1999.

RUBIN, E. **Patologia: Bases Clinicopatológicas da Medicina**. 4a. ed. Guanabara Koogan: Rio de Janeiro, 2006.

SAMPAIO DA SILVA, D. ; LUCOTTE, M.; ROULET, M.; POIRIER, H.; MERGLER, D.; CROSSA, M. Mercúrio nos peixes do Rio Tapajós, Amazônia Brasileira. **INTERFACEHS**, v.1, n.1, art.6, 2008.

SANTOS, E.C.O.; JESUS, I. M.; BRABO, E. S.; LOUREIRO, E. C. B.; MASCARENHAS, A.F.; WEIRICH, J.; CÂMARA, V.M.; CLEARY, D. Mercury exposure in riverside Amazon communities in Pará, Brazil. **Environmental Research**, v.84, p.100-107, 2000.

SELIN, N. E. Global biogeochemical cycling of mercury: a review. **Annu. Rev. Environ. Resourc**, v.34,p.43-63, 2010.

SIGEYUKI, A.; ETO, K.; KURISAKI, E.; GUNJI, H.; HIRAIWA, K; SATO, M.; SATO, H.; HASUIKE, M.; HAGIWARA, N.; WAKASI, H. Acute Inorganic Mercury Vapor Inhalation Poisoning. **Pathology International**. v.50, n. 3, p.169-174, 2000.

SILVA, C. C. **Dieta de comunidade de peixes da área de influência da UHE de Balbinário Uatumã, Amazonas, Brasil.** 63p. Dissertação ( Mestrado em ciências biomédicas) – Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006.

SOARES, M. G. M.; COSTA, E. L.; SIQUEIRA-SOUZA, F. K.; ANJOS, H. D. B.; YAMAMOTO, K. C.; FREITAS, C. E. C. **Peixes de Lagos do Médio Rio Solimões.** 2. ed. Manaus: Instituto I-PIATAM, 2008.

SOUZA, J. R.; BARBOSA, A. C. Contaminação por Mercúrio e o caso da Amazônia. **Química Nova na Escola.** São Paulo, n. 12, p. 3-7, 2000.

TOLEDO-PIZA, M. Cynodontidae (Cynodontids). *In* Reis, R. E.; Kullander, S. O.; Ferraris, Jr. C.J. (eds.). **Checklist of the Freshwater Fishes of South and Central America.** Porto Alegre: EDIPUCRS. p. 234-237, 2003.

TINÔCO, A. A. P.; AZEVEDO, I. C. A. D.; MARQUES, E. A. G.; MOUNTEER, A. H.; MARTINS, C. P.; NASCENTES, R.; REIS, E. L.; NATALINO, R. Avaliação de contaminação por mercúrio em Descoberto, MG. **Eng Sanit Ambient**, v. 15, n. 4, p.305-314, 2010.

UNEP CHEMICALS. Impacts of Mercury on the environment. In: \_\_\_\_\_. **Global Mercury assessment.** Switzerland: UNEP, 2002. Chap. 5. Disponível em: <<http://www.chem.unep.ch/mercury/WGmeeting/revreport-Ch5.pdf>>. Acesso em 15 mar. 2012.

VEIGA, M. M.; MEECH, J.A.; ONATE, N. Mercury pollution from deforestation. **Nature**, n. 368, p. 816-817, 1994.

VERA, Y. M.; CARVALHO, R. J.; CASTILHOS, Z. C.; KURTZ, M. J. R. Acumulação de Mercúrio em Tucunaráes da Amazônia. Rio de Janeiro: **CETEM/MCT**, 2007. 60 p. (Série Gestão e Planejamento Ambiental, 08).

WATTS, J. Mercury poisoning victims could increase by 20000. **LANCET.** v. 358, 20 out, 2001.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Mercury.** Geneva. Environmental Health Criteria 1. 148p, 1978.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. International Programme on Chemical Safety (IPCS). **Environmental Health Criteria 101: Methylmercury.** International Programme on Chemical Safety. Geneva. World Health Organization, 1990.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION and UNEP. Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure, Geneva, Switzerland, 2008. [Http://www.Chem.UNEP.Ch](http://www.Chem.UNEP.Ch)

## **ANEXO 1**

### **TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

(Obrigatório para pesquisas científicas em seres humanos – Resolução N° 01 de 13.6.1988 – CNS)

Aqui está as informações sobre a pesquisa identificada pelo título “**Avaliação da exposição mercurial em famílias de pescadores em Imperatriz-Maranhão**”, de responsabilidade do pesquisador Edem Oliveira Milhomem Filho.

#### **Para que será realizada esta pesquisa?**

Como você sabe, alguns peixes que estamos comendo contêm certa quantidade de mercúrio que pode ser prejudicial à saúde. O mercúrio presente nas águas do rio irá contaminar os alimentos dos peixes, os quais podem levar em seguida esse metal para o nosso corpo por ocasião da nossa alimentação. Esta pesquisa será realizada para discutir e fazer junto com a comunidade trabalhos para esclarecer e ajudar a própria comunidade a evitar a doença causada pelo mercúrio contido em alguns peixes.

#### **Porque é necessário fazer esta pesquisa?**

Esta pesquisa é importante e necessária porque precisamos saber como evitar que o mercúrio continue entrando no nosso corpo e assim evitar o aparecimento da doença causada por ele.

#### **Onde e quando será realizada?**

Esta pesquisa será realizada na comunidade conhecida como Beira Rio com a população residente às margens do Rio Tocantins, no município de Imperatriz, Maranhão, no período de abril de 2012 a junho de 2012.

#### **Quem pode participar?**

Poderão participar pessoas com idade igual ou superior a 14 anos que possuam residência fixa na comunidade e que concorde em participar dela após darmos toda a informação e você se sentir totalmente esclarecido.

**Como será realizada?**

Após a concordância para a sua participação, realizaremos as seguintes etapas da pesquisa:

- **Palestra para a comunidade.** Todas as famílias serão convidadas a participar (ouvindo e perguntando) da palestra sobre a pesquisa que realizaremos e sobre as pesquisas que já foram realizadas na sua comunidade;

- **Entrevista.** Os membros de cada família serão entrevistados com perguntas sobre (idade, tempo de residência, profissão, anos de escola, número de pessoas que moram na sua casa, número de vezes que come peixe durante a semana, os tipos de peixes que costuma comer, os conhecimentos sobre o mercúrio, como gostaria de aprender sobre os meios de evitar doenças etc.).

**É obrigatória a participação?**

Informamos que nenhuma pessoa será obrigada a participar do estudo, assim como poderá sair a qualquer momento que desejar sem qualquer prejuízo.

**Existe risco por participar desta pesquisa?**

O risco de identificar os participantes ou as informações sigilosas praticamente não existe, porque a pesquisadora garantirá a guarda de todas as informações obtidas para a pesquisa.

**Haverá algum pagamento ou despesas para participar deste estudo?**

Não, não haverá nenhuma forma de pagamento, nem quaisquer despesas por parte das pessoas para participar da pesquisa. Todo material necessário será custeado pelo pesquisador responsável.

Informamos ainda que, os participantes da pesquisa não serão identificados a não ser como autores dos materiais que produzirem se assim o quiserem. Para mais esclarecimentos, poderá ser feito contato com o pesquisador pelos telefones (99) 8123 7160 e (99) 8133 5517.

**AUTORIZAÇÃO PARA PARTICIPAÇÃO**

Eu, \_\_\_\_\_ declaro que fui informado (a) e esclarecido (a) sobre pesquisa “**Avaliação da exposição mercurial em famílias de pescadores em Imperatriz-Maranhão**”, de responsabilidade do pesquisador Edem Oliveira Milhomem Filho.

\_\_\_\_\_  
*Assinatura do Participante*

Imperatriz, \_\_\_\_/\_\_\_\_\_/2012

## ANEXO 2

## Concentração de Hg-Total nas amostras de peixe analisadas

Quadro 1 – Concentração de Hg total nas espécies de peixe analisadas.

AMOSTRA	<i>Hydrolycus scomberoides</i> Peixe Cachorro	<i>Leporinus friderici</i> Aracú-cabeça-gorda	<i>Prochilodus nigricans</i> Curimatã	<i>Hypophthalmus edentatus</i> Mapará
	Conc Hg (ppm)	Conc Hg (ppm)	Conc Hg (ppm)	Conc Hg (ppm)
1	0.20	0.04	0.03	0.10
2	0.35	0.04	0.03	0.11
3	0.29	0.07	0.03	0.10
4	0.22	0.06	0.04	0
5	0.25	0.04	0.02	0.40
6	0.20	0.07	0.03	0
7	0.21	0.07	0.02	0.30
8	0.22	0.08	0.02	0.10
9	0.26	0.03	0.03	0
10	0.26	0.06	0.03	0.10
11	0.35	0.05	0.03	0.20
12	0.29	0.03	0.06	0.10
13	0.30	0.03	---	0.20
14	0.22	0.06	---	0.11
15	0.31	0.07	---	0.20
16	0.36	0.02	---	0.20
17	0.36	0.06	---	0.20
18	0.34	0.03	---	0.10
19	0.28	---	---	0.10
20	0.28	---	---	0.10
<b>MÉDIA</b>	<b>0.2775</b>	<b>0.0506</b>	<b>0.0308</b>	<b>0.1360</b>

Fonte: Laboratório de Toxicologia do NMT-UFPA (2012).



**ANEXO 3****Concentração de Hg-Total em amostra de cabelo dos participantes da pesquisa**

**Quadro 2** – Concentração de Hg total em amostras de cabelo de acordo com cada membro da família.

<b>CODIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS</b>	<b>PESO (gramas)</b>	<b>RESULTADO (Conc Hg ppm)</b>
001/A1	0,0109	1,588
001/B1	0,0114	0,930
001/C1	0,01052	1,260
001/C2	0,0105	0,695
002/A1	0,01200	1,827
002/B1	0,0105	0,694
002/D1	0,01092	0,412
003/A1	0,01190	0,918
003/B1	0,01033	0,389
004/A1	0,0105	8,79
004/B1	0,0119	4,22
004/C1	0,01040	3,423
005/A1	0,0105	0,866
005/B1	0,0106	0,365
006/A1	0,0118	1,460
006/B1	0,01100	0,518
007/B1	0,01178	0,855
008/B1	0,01130	0,205
008/C1	0,01015	1,082
009/B1	0,01040	0,264
009/C1	0,0117	0,281
009/C2	0,01045	0,377
009/C3	0,01085	0,544
010/A1	0,0113	0,979
010/B1	0,01060	0,300
010/C1	0,0119	0,0
010/C2	0,01100	0,026
011/B1	0,01000	0,088
011/C1	0,0104	0,152
012/A1	0,01082	4,674
013/A1	0,01088	0,525
013/B1	0,01000	0,736
014/A1	0,01040	5,182
014/B1	0,01140	0,214
014/C1	0,01070	0,088
014/C2	0,01120	0,454

015/B1	0,01158	0,156
015/C1	0,01070	0,217
016/A1	0,0118	1,047
016/B1	0,01030	0,600
016/C1	0,01050	0,463
017/A1	0,01079	1,526
017/B1	0,0111	0,486
018/A1	0,01128	0,825
018/B1	0,01016	0,286
019/B1	0,01035	0,938
019/C1	0,01060	0,182
019/C2	0,01060	0,747
020/A1	0,01106	1,072
020/B1	0,01052	0,083
020/C1	0,01084	0,745
020/C2	0,01058	0,416
021/B1	0,01075	1,947
022/B1	0,01025	1,107
023/B1	0,01086	1,241
023/C1	0,01026	0,278
024/A1	0,01082	3,806
024/B1	0,01120	1,245
025/B1	0,01163	2,387

Fonte: Laboratório de Toxicologia NMT-UFPA (2012).





## V. OUTROS

FUMA?  SIM  NÃO EM CASO POSITIVO, QUANTOS CIGARROS/DIA? \_\_\_\_\_

CONSUME BEBIDA ALCOÓLICA? QUAL A FREQUENCIA DE CONSUMO?

NÃO CONSUMO BEBIDA ALCOÓLICA  CONSUMO RARAMENTE  
 1 VEZ POR SEMANA  2 A 5 VEZES POR SEMANA  DIARIAMENTE

USA COM FREQUENCIA (MAIS QUE 1 VEZ/SEMANA) ALGUMA DROGA?

*Exemplo: maconha, cocaína, crack, cola de sapateiro.*

NÃO SOU USUÁRIO  SIM, QUAL(IS)? \_\_\_\_\_

POSSUI OBTURAÇÕES DENTÁRIAS?

NÃO  SIM, QUANTAS? \_\_\_\_\_

USA TINTURA NOS CABELOS?

NÃO USO TINTURA NOS CABELOS  USO RARAMENTE  
 1 VEZ POR MÊS  MAIS DE 1 VEZ POR MÊS

TOMA ALGUMA MEDICAÇÃO DIÁRIA OU REGULAR?

NÃO  SIM, QUAL? \_\_\_\_\_

QUAIS DAS DOENÇAS QUE JÁ TEVE OU ESTÁ EM TRATAMENTO?

HIPERTENSÃO ARTERIAL  DIABETES  EPILEPSIA / CONVULSÃO  
 DERRAME CEREBRAL – AVC  MALÁRIA  TUBERCULOSE  
 HANSENÍASE  HEPATITE  LEISHMANIOSE  
 CÂNCER  SÍFILIS  DOENÇA DE CHAGAS

OUTRAS \_\_\_\_\_

Imperatriz, MA

Data: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
*Responsável pela entrevista*