AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**AVALIAÇÃO DOS TEORES DE MERCÚRIO EM CABELOS DE CRIANÇAS RESIDENTES EM
ÁREA DE GARIMPO NO MUNICÍPIO DE CHAPADA DE NATIVIDADE-TOCANTINS**

SEYNA UENO RABELO MENDES

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Mestre em Ciências na Área
de Tecnologia Nuclear - Aplicações**

**Orientadora:
Profa. Dra. Marina Beatriz Agostini
Vasconcellos**

**São Paulo
2017**

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia associada à Universidade de São Paulo

**AVALIAÇÃO DOS TEORES DE MERCÚRIO EM CABELOS DE CRIANÇAS RESIDENTES EM
ÁREA DE GARIMPO NO MUNICÍPIO DE CHAPADA DE NATIVIDADE-TOCANTINS**

SEYNA UENO RABELO MENDES

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Mestre em Ciências na Área
de Tecnologia Nuclear - Aplicações**

**Orientadora:
Profa. Dra. Marina Beatriz Agostini
Vasconcellos**

Versão Corrigida
Versão Original disponível no IPEN

São Paulo
2017

O tempo é mercúrio-cromo, e tempo é tudo o que somos.
(Renato Russo)

DEDICATÓRIA

A DEUS pelo dom da vida e por me presentear com a melhor orientadora do mundo.

À Dra. MARINA pela paciência, carinho, amizade, dedicação e amor pela ciência, predicados que me fazem sonhar em ser assim quando amadurecer.

Ao RAFAEL pelo amor, companheirismo, parceria e apoio fundamentais para me sustentar até a conquista final.

À minha FAMÍLIA por compreender meus momentos ausentes e torcer pelo meu crescimento.

À amiga JORCIRENE e sua família por me apresentarem os garimpos de Chapada de Natividade no Tocantins que me inspiraram a idealizar esse trabalho há quase uma década.

À LUANA pelo companheirismo em oração e pelas palavras de fé.

Aos meus AMIGOS e AMIGAS por trazerem sabor e alegria à minha vida acadêmica.

Aos meus PACIENTES por me ensinarem a ser uma médica melhor.

Aos meus MESTRES por me mostrarem o quão prazeroso é compartilhar conhecimentos.

Aos meus ALUNOS razão pela qual eu busco ser uma professora de excelência.

Comemoro com cada um de vocês a realização desse sonho.

AGRADECIMENTOS

À Dra. Marina Beatriz Agostini Vasconcellos por acreditar no meu trabalho e pelo apoio incondicional, principalmente nos momentos mais difíceis. Agradeço por me ensinar mais que ciência, aprendi a real essência de ser mestre.

À Dra. Marília Semmler por me acompanhar em todas as etapas experimentais do trabalho, pela amizade construída e por todas as orientações e conhecimentos compartilhados.

Ao médico Rafael Pereira Rabelo Mendes pelo apoio técnico na análise estatística, edição de imagens, auxílio operacional em informática, elaboração do artigo e por me incentivar a investir na ideia do trabalho em todas as fases.

Ao médico Leonardo Batalha Macedo Rocha pela ajuda na revisão de literatura da dissertação e elaboração do artigo científico.

À médica Natália Beltrami pela ajuda na coleta de amostras de cabelo.

Ao Dr. Gilson Alves Quináglia e à Dra. Bárbara Held pela realização das análises das amostras de cabelo no setor de Análises Toxicológicas da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo).

À toda equipe do IPEN/USP pelo acolhimento, apoio técnico e convivência harmoniosa nas fases de preparo e análise das amostras.

Ao Dr. Edson Moreira e à Dra. Mitiko Saiki pelas sugestões e críticas construtivas relacionadas ao trabalho.

Aos gestores dos municípios de Chapada de Natividade/TO e Porto Nacional/TO por autorizarem a coleta das amostras em suas unidades de saúde.

Ao Ms. Thompson Turíbio pelo auxílio em estatística.

Aos amigos do Hotel Serra Geral em Natividade/TO pelo apoio logístico em Chapada de Natividade/TO, por compartilharem conhecimentos históricos e culturais da região e pela hospedagem e alimentação nas fases de coleta das amostras de cabelo e de peixe.

À equipe da Unidade Básica de Saúde do Vila Nova II pela amizade e apoio na coleta de amostras de cabelo no município de Porto Nacional/TO.

Às crianças participantes da pesquisa e seus responsáveis pelo fornecimento das amostras de cabelo.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

AVALIAÇÃO DOS TEORES DE MERCÚRIO EM CABELOS DE CRIANÇAS RESIDENTES EM ÁREA DE GARIMPO NO MUNICÍPIO DE CHAPADA DE NATIVIDADE – TOCANTINS

Seyna Ueno Rabelo Mendes

RESUMO

O trabalho tem como objetivo avaliar a exposição ao mercúrio de crianças residentes em área de garimpo e em área de controle, sem garimpo. Para isso foi realizado um estudo transversal com crianças residentes nos municípios de Chapada de Natividade e Porto Nacional, no Estado de Tocantins onde foi realizada a coleta de cabelo para análise laboratorial dos teores de mercúrio, comparando com relação aos municípios, gênero, consumo mensal de peixe, profissão dos pais e presença de amálgama em restaurações dentárias. As amostras de cabelo foram analisadas pelos métodos de análise por ativação com nêutrons e também por meio do equipamento DMA (Direct Mercury Analyser) sendo esse último em parceria com a CETESB. Não foram encontradas evidências de doenças causadas pelo mercúrio nas crianças estudadas. A concentração média de mercúrio nas crianças de Chapada de Natividade foi significativamente maior que as de Porto Nacional. Não houve relação significativa entre concentrações de mercúrio e o gênero, consumo mensal de peixe, profissão dos pais e presença de amálgama em restaurações dentárias. Análises de amostras de peixes mais consumidos na região exposta ao garimpo apontam concentrações de mercúrio abaixo dos valores recomendados, necessitando de estudo mais aprofundado. Os resultados sugerem que as crianças habitantes em região exposta ao garimpo sofrem maior exposição ambiental ao mercúrio, independente de seus hábitos alimentares ou gênero.

PALAVRAS-CHAVE: mercúrio; absorção atômica; meio ambiente e saúde pública; crianças; Tocantins.

EVALUATION OF MERCURY LEVELS IN HAIR OF CHILDREN RESIDENTS IN ARTISANAL GOLD MINING AREA ON THE CITY OF CHAPADA DE NATIVIDADE - TOCANTINS

Seyna Ueno Rabelo Mendes

ABSTRACT

The objective of the work is to evaluate the mercury exposure of children living in the artisanal gold mining area and in a control area, without mining. A cross-sectional study was conducted with children living in the municipalities of Chapada de Natividade and Porto Nacional, in the State of Tocantins, where hair samples were collected for laboratorial analysis of mercury concentrations, comparing between municipalities, gender, monthly fish consumption, profession of parents and the presence of amalgam in dental restorations. The hair samples were analyzed by the methods of neutron activation analysis and also by means of the DMA (Direct Mercury Analyzer) equipment, in the last case being a partnership with CETESB. There was no evidence of mercury-related diseases in the studied children. The mean concentration of mercury in children in Chapada de Natividade was significantly higher than in Porto Nacional. Children exposed to artisanal gold mining areas have higher concentrations of mercury than children living in non-artisanal gold mining areas. There was no significant relationship between mercury concentrations and gender, monthly fish consumption, parental profession and amalgam presence in dental restorations. Analyzes of samples of fish most consumed in the region exposed to the artisanal gold mining area indicate concentrations of mercury below the recommended values, needing further study. The results suggest that the children living in an area exposed to artisanal gold mining experience greater environmental exposure to mercury, regardless of their eating habits or gender.

KEY WORDS: mercury; atomic absorption; environment and public health; children; Tocantins.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	09
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos Específicos	14
3 REVISÃO DA LITERATURA	15
3.1 Mercúrio	15
3.1.1 Propriedades do mercúrio	18
3.1.2 Comportamento do mercúrio em sistemas biológicos	20
3.1.3 Marcadores biológicos de exposição ao mercúrio	20
3.2 Mercúrio e meio ambiente	21
3.3 Mercúrio na mineração artesanal	22
3.4 Mercúrio e saúde	24
3.5 História e características da população de estudo	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1 Delineamento da pesquisa	31
4.1.1 Locais de estudo	31
4.2 Etapa humana	32
4.2.1 Desenho amostral	32
4.2.2 Cuidados éticos	33
4.2.3 Critérios de elegibilidade	33
4.2.4 Coleta de dados clínicos, sociodemográficos e alimentares	34
4.2.5 Coleta de material biológico e quantificação de Hg no cabelo	35
4.3 Parte Experimental	35

4.3.1 Amostras de cabelo	35
4.3.2 Material de referência	39
4.3.3 Determinação de mercúrio total nas amostras de cabelo	39
4.3.4 Determinação de mercúrio em amostras de peixe	41
4.3.5 Tratamento dos dados e interpretação de resultados	48
5 RESULTADOS	49
6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	57
6.1 Determinação de mercúrio em cabelos de crianças	58
6.2 Discussão dos resultados obtidos para mercúrio nos cabelos de crianças nas áreas estudadas	58
6.3 Determinação de mercúrio em amostras de peixe	66
7 CONCLUSÕES	67
APÊNDICES	68
Apêndice A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	68
Apêndice B – Protocolo de Coleta de Amostra de Cabelo	70
Apêndice C – Dados clínicos, familiares e alimentares das crianças	72

1 INTRODUÇÃO

O mercúrio (Hg) pode ser encontrado naturalmente no meio ambiente ou em decorrência de atividades humanas. Níveis elevados de mercúrio em humanos parecem estar relacionados com o consumo de peixes marinhos de pequeno e grande porte, camarão, caranguejo e polvo (LEE et al., 2012).

Uma das formas químicas primárias do mercúrio é o metilmercúrio (MeHg), uma neurotoxina bem conhecida. O MeHg no corpo humano apresenta uma meia vida relativamente longa de aproximadamente 70 a 80 anos (LEE et al., 2012).

Episódios históricos de intoxicação mercurial de grande impacto populacional ocorreram no Japão, na década de 1960, e no Iraque, na década de 1970, repercutindo em alterações sensoriais e motoras nas pessoas atingidas, e causando muitas mortes (KHOURY et al., 2013).

Os efeitos adversos da exposição aguda ao metilmercúrio durante a gestação tem sido documentado desde os episódios ocorridos no Japão em Minamata e inclui sintomas neurológicos e atraso no desenvolvimento (BOUCHER et al., 2012).

A partir de 1800, o mercúrio tem sido considerado material de escolha para amálgamas utilizadas em restaurações odontológicas, devido ao baixo custo, fácil manuseio, boa resistência e durabilidade. Porém, a popularidade das amálgamas de mercúrio vem diminuindo devido seus riscos de toxicidade (PISTÓIA et al., 2013).

O Ministério do Meio Ambiente do Japão descreveu que a concentração de mercúrio no cabelo é um marcador biológico frequentemente usado para exposição ao MeHg porque reflete a concentração no sangue na ocasião em que o cabelo foi formado (JAPÃO, 2004).

Amostras de cabelo são amplamente utilizadas em diversos estudos para a avaliação dos níveis de exposição ambiental por via alimentar ao mercúrio em humanos (SILVA, 2012).

Além disso, uma amostra de cabelo provê um método de amostragem simples e não invasivo, com maior adesão dos participantes, e com metodologia de armazenamento que oferece uma boa preservação da amostra (SILVA, 2012 e JAPÃO, 2004).

A concentração de mercúrio detectada no cabelo é geralmente 250-300 vezes a concentração no sangue. Uma vez que o cabelo cresce a uma taxa de aproximadamente 1 cm por mês, é possível a avaliação da exposição passada. Entretanto, a concentração de mercúrio no cabelo pode aumentar como resultado da adesão de vapor externo de mercúrio e mercúrio inorgânico, diminuir como resultado de tratamentos de cabelo como permanentes, e pode ser influenciada pelo local de coleta da amostra (JAPÃO, 2004).

Em casos de não haver exposição ao mercúrio inorgânico externo ou vapor de mercúrio, quase todo o mercúrio do cabelo está na forma de MeHg; então, o nível de exposição ao MeHg da dieta pode ser avaliado medindo-se o mercúrio total. Porém, como as pessoas envolvidas em mineração e refino de ouro têm um risco alto de contaminação por mercúrio metálico e por vapor de mercúrio, a avaliação da exposição atual ao MeHg só é possível pela medida tanto do MeHg como também do mercúrio total no cabelo. Entre a população geral no Japão, a concentração de mercúrio no cabelo está na faixa de 1-5 ppm e raramente excede 10 ppm (JAPÃO, 2004).

Pinheiro et al. (2000), em estudo realizado na Amazônia, evidenciaram que a exposição humana ao mercúrio, por ingestão de peixes da região, constitui risco potencial para o aparecimento de sintomas e sinais da doença de Minamata, o que recomenda a manutenção de um programa de vigilância epidemiológica.

As crianças são mais frequentemente expostas ao mercúrio, principalmente quando este é utilizado inadequadamente ou quando não é feita a higiene adequada do mercúrio derramado acidentalmente. Termômetros quebrados são a fonte de exposição mais comum, com base em chamadas para centros de atendimento toxicológicos. No entanto, essas chamadas estão diminuindo. Esta redução pode refletir a disponibilidade decrescente de termômetros de mercúrio. O cenário de exposição típico envolve relativamente

pequenas quantidades de mercúrio, sem relatos de doenças em humanos (LEE et al., 2009).

Lee et al. (2009) dividem a exposição de crianças ao mercúrio, com base na localização, em três categorias: em casa, na escola e em outros locais, como a propriedade industrial indevidamente remediados e instalações médicas. Em todos os locais, a via de exposição primária de preocupação para o mercúrio elementar é a inalação. Níveis elevados de vapor de mercúrio foram documentados, mas os efeitos na saúde demonstráveis são raramente relatadas após derramamentos de pequenas quantidades de mercúrio, tais como termômetros quebrados. Independentemente disso, todos os derramamentos devem ser limpos adequadamente.

Pinheiro et al. (2000) descrevem que grande parte do mercúrio utilizado no processo de extração e amalgamação do minério de ouro é lançada nos cursos de água, depositando-se nos sedimentos bênticos. Por uma série de reações químicas, o mercúrio inorgânico é transformado em metilmercúrio, que se encontra presente, em elevadas concentrações, nas espécies de peixes carnívoros, situadas no topo da cadeia alimentar aquática.

De acordo com Pinheiro et al. (2000), diversos autores admitem que o consumo de peixes advindo de regiões próximas a zonas de garimpagem configura uma potencial via de exposição de crianças e adultos ao mercúrio na Amazônia.

Silva (2012) definiu que dependendo da magnitude, duração e cenário de exposição, o perfil toxicológico da exposição mercurial pode ser agudo ou crônico, clínico ou subclínico.

Quando a concentração de vapores de mercúrio é elevada, principalmente em locais de trabalho confinados, pode ocorrer intoxicação aguda dos indivíduos expostos. Os efeitos da inalação de altas concentrações de Hg se apresentam de forma clínica, podendo causar problemas respiratórios, tais como pneumonia e edema pulmonar, inclusive levar ao óbito (SILVA, 2012).

Nos garimpos de ouro, o indivíduo pode apresentar alguns problemas neurocomportamentais decorrentes da exposição crônica ao mercúrio. Os efeitos

desse tipo de exposição costumam ser subclínicos e podem ser distinguidos somente por meio de testes específicos (SILVA, 2012).

Silva (2012) apontou que os principais sintomas observados pela exposição humana às espécies organomercuriais são: tremores, vertigem, dor de cabeça, cãibra, fraqueza, entorpecimento, depressão, distúrbios visuais, dispneia, tosse, inflamações gastrointestinais, queda de cabelo, náuseas e vômitos, podendo levar ao óbito. Além disso, a exposição ao MeHg pode estar relacionada a quadros de cardiotoxicidade, com aumento da pressão arterial e alterações da variabilidade da frequência cardíaca, corroborando com o risco de doenças cardiovasculares, assim como pode ocasionar danos ao desenvolvimento fetal, desde problemas neurológicos até a má formação cefálica. A exposição a espécies inorgânicas de Hg tem sido associada a quadro de nefrotoxicidade. Alguns estudos evidenciam que a exposição ao mercúrio inorgânico e orgânico pode estar associada com quadros de imunotoxicidade e doenças auto-imunes.

A exposição ao MeHg por ingestão de peixes e mariscos contaminados pode resultar em efeitos tóxicos irreversíveis ao sistema nervoso central (SNC). Em Minamata, na região sudoeste do Japão, foi descrito pela primeira vez em 1956 uma síndrome decorrente da intoxicação por MeHg descarregado em águas residuais de uma fábrica de produtos químicos. Esta síndrome passou a ser chamada de Doença de Minamata e seus sintomas típicos são: distúrbios sensoriais, ataxia, disartria, constrição do campo visual, distúrbios auditivos e tremores (HARADA, 1995).

Harada (1995) descreveu a evolução da contaminação ambiental em cinco estágios: 1 – contaminação ambiental pelo vapor de mercúrio; 2 – contaminação do solo e água sofrendo processo de metilação, originando derivados orgânicos; 3 – o mercúrio orgânico passa a se concentrar na cadeia alimentar aquática; 4 – o ser humano acumula o metal pela ingestão de peixes; e 5 – ocorre, então, o aparecimento dos sinais e sintomas da doença de Minamata.

Pichery et al. (2012) enfatizaram que os esforços para reduzir as exposições ao MeHg poderiam acarretar altos benefícios sociais, uma vez que previnem as complicações e consequências tardias dos déficits no desenvolvimento neurológico em crianças.

Sendo assim, é de grande relevância estudar os teores de mercúrio em cabelos de crianças residentes em uma região exposta ao mercúrio pela atividade de garimpo no município de Chapada de Natividade no estado do Tocantins.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho foi avaliar sob os aspectos clínicos, laboratoriais, ambientais e alimentares a exposição ao mercúrio em crianças residentes em área de garimpo no município de Chapada de Natividade no estado do Tocantins.

2.2 Objetivos Específicos

- Coleta e preparação das amostras de cabelo para análise.
- Avaliação médica de cada criança participante desta pesquisa sob os aspectos clínicos, ambientais e alimentares.
- Estabelecimento das condições experimentais adequadas para a determinação de mercúrio em amostras de cabelo por absorção atômica.
- Avaliação da qualidade analítica dos resultados com relação à exatidão e precisão por meio da análise de material de referência certificado.
- Avaliar em estudo-piloto a concentração de mercúrio em amostras de peixes mais consumidos na região exposta ao mercúrio para analisar exposição alimentar.
- Aplicação de tratamentos estatísticos para comparar os valores de concentração de mercúrio obtidos nas amostras de cabelo na região estudada que pertence a uma região de garimpo (Município de Chapada de Natividade – Tocantins) com os valores de uma região de referência, situada em região que não possui garimpo (Município de Porto Nacional – Tocantins).

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Mercúrio

O mercúrio é o único metal que se apresenta líquido à temperatura ambiente. Seus vapores são facilmente inalados e representam uma ameaça à saúde humana devido à sua toxicidade. (AGUDELO et al., 2014)

O mercúrio pode ser encontrado na natureza sob três formas químicas: mercúrio elementar, sais inorgânicos e derivados orgânicos. Os seres humanos e a vida silvestre estão expostos às três formas, apesar da maioria do mercúrio do ambiente se apresentar como mercúrio elementar ou sal inorgânico. O derivado orgânico mais comum é o metilmercúrio, produzido principalmente por microorganismos na água e no solo (AGUDELO et al., 2014), que está presente nos peixes e organismos marinhos e representa a forma mais neurotóxica do mercúrio (BOUCHER et al., 2012).

O mercúrio é um poluente ambiental de alta toxicidade que tem mecanismos naturais (atividades vulcânicas) e artificiais (atividades humanas) de contaminação. A intoxicação humana por mercúrio varia de acordo com a forma como é encontrado (AZEVEDO et al., 2012).

O ciclo de contaminação do meio ambiente pelo mercúrio (FIG. 1) inicia com sua emissão e subsequente circulação atmosférica de sua forma em vapor, com eventual condensação, retornando à terra sob a forma líquida. Tanto o mercúrio atmosférico, quanto o contido na hidrosfera, interagem com os seres vivos (biosfera), de forma recíproca. A biosfera adquire mercúrio através de suas ações biológicas como respiração e alimentação. A biosfera cede mercúrio à atmosfera e hidrosfera, através do processo de decomposição (AZEVEDO et al., 2012).

FIGURA 1 – Ciclo do Mercúrio no Meio Ambiente (Hidrosfera, Litosfera, Atmosfera, Biosfera).

FONTE: Adaptado de AZEVEDO et al., 2012.

O vapor de mercúrio é a forma inorgânica de mercúrio, a qual, ao ser inalada apresenta rápida absorção pulmonar (FIG. 2) e, no plasma, atravessa a barreira hemato-encefálica, promovendo danos neurológicos (AZEVEDO et al., 2012). A hidrossolubilidade do mercúrio facilita a passagem pelas membranas celulares e barreira hematoencefálica (AGUDELO et al., 2014).

FIGURA 2 – Esquema de absorção pulmonar do mercúrio inorgânico.

FONTE: Adaptado de AZEVEDO et al., 2012.

O metilmercúrio é a forma orgânica adquirida por interações biológicas entre elementos da biosfera e só atravessa a barreira hemato-encefálica após desmetilação nos tecidos. A desmetilação no organismo pode ocorrer em pequenas quantidades e provocar danos neurológicos de longo prazo. O metilmercúrio é capaz de impregnar em músculos e pode causar toxicidade onde for distribuída pelo fluxo sanguíneo (AZEVEDO et al., 2012).

Os sais de mercúrio são formas menos absorvíveis e menos tóxicas aos seres humanos. Quando ingeridos, podem provocar efeitos tóxicos no sistema digestório, onde é absorvido (FIG. 3) nos rins (AZEVEDO et al., 2012).

FIGURA 3 – Esquema de absorção gastrointestinal do mercúrio orgânico.

FONTE: Adaptado de AZEVEDO et al., 2012.

Existem evidências de que o Selênio possa proteger contra a toxicidade do Mercúrio (CUSACK et al., 2016), podendo ser considerado um antagonista ao metilmercúrio em situações de exposição (KARITA et al., 2016). Nesse contexto, novas tecnologias de biorremediação para o mercúrio no solo utilizam nano selênio que se liga ao Hg formando compostos estáveis de HgSe (WANG et al., 2017).

A exposição humana ao mercúrio ocorre principalmente em atividades de mineração artesanal, pelo consumo alimentar de pescado contaminado e pelo uso de amálgama em procedimentos odontológicos (CASAS et al., 2015).

3.1.1 Propriedades do Mercúrio

O mercúrio pode ser encontrado nas espécies marinhas (peixes, lulas, lagostas, ostras, entre outras), além de outras fontes permanentes como cosméticos, cremes de pele, antissépticos, gel vaginal, ceras para piso, fungicidas, espelhos, termômetros e amálgamas odontológicas (TASAMA e ARBELÁEZ, 1994).

O mercúrio elementar é utilizado em indústrias de aparelhos eletrônicos e na extração mineral de ouro. Os sais inorgânicos mercuriosos e mercurícos são usados como desinfetantes, antissépticos, pigmentos, em baterias e explosivos. Os derivados orgânicos são usados em medicamentos, vacinas, inseticidas, fungicidas, em papéis e plásticos (OLIVEIRA e SILVA, 1996).

Em áreas de mineração artesanal de ouro, a exposição ao mercúrio metálico representa um problema de saúde pública, podendo ocasionar efeitos no sistema nervoso central, afetando a substância negra e os lobos occipitais e temporais (DUTRA et al., 2010).

Lâmpadas fluorescentes, apesar de mais eficientes do ponto de vista energético, apresentam mercúrio, diferente das incandescentes. Apesar do baixo risco ambiental de contaminação de uma única lâmpada, estratégias de logística reversa devem ser utilizadas para regular ou descartar os resíduos desse material (BACILA et al., 2014).

Compostos organo-mercuriais foram amplamente utilizados como fungicidas na agricultura brasileira, no processo de produção da lavoura de cana-de-açúcar, até a década de 1980, quando foram proibidos em virtude de seus efeitos cumulativos no organismo humano, expondo trabalhadores rurais aos riscos de intoxicação mercurial (CÂMARA, 1985).

O timerosal ($C_9H_9HgNaO_2S$) contém etilmercúrio, que é uma forma orgânica do mercúrio que difere do metilmercúrio. O timerosal é utilizado nas fases precoces da fabricação de vacinas como conservante e age inibindo o

crescimento de microorganismos, principalmente nas formulações multidoses que requerem extrações repetidas do imunobiológico para diferentes pacientes e a utilização do frasco por várias horas (DEUS, 2013). De acordo com a Organização Mundial da Saúde, a utilização de timerosal em vacinas contendo até 50 microgramas por dose não demonstra risco para recém nascidos, crianças e adultos (PORRAS, 2010).

Compostos com mercúrio e álcool ou mercúrio e cromo já foram muito utilizados como antissépticos de uso domiciliar. Apesar de rara, a intoxicação pela ingestão de antissépticos mercuriais pode ocasionar quadro neurológico grave e irreversível, inclusive com desfecho letal. A utilização de produtos antissépticos mercuriais é proibida em alguns países, dentre eles os Estados Unidos e o Brasil (NASCIMENTO et al., 1990).

O mercúrio inorgânico pode levar a alterações no organismo humano mediadas por processos imunológicos, por desequilibrar a função granulocítica e de Imunoglobulinas (IgG e IgE). Considerando esse mecanismo, homeopatas defendem o uso terapêutico de ultradiluições de mercúrio. (BERINGHS-BUENO e PASCALICCHIO, 2011).

Termômetros de mercúrio foram durante muitas décadas o único método de aferir a temperatura para diagnosticar febre. Atualmente, o relato de toxicidade associada ao contato direto acidental com a pele ou mucosas tem limitado o seu uso (TERAN et al., 2011).

O uso de amálgama dentário composto por mercúrio elementar garante um material de baixo custo e fácil manuseio, além de apresentar boa estabilidade. O mercúrio elementar, forma um composto com prata, cobre e outros elementos metálicos na proporção de 1:1, ou seja, uma parte de mercúrio para uma parte dos outros elementos componentes do amálgama. (SILVA, 2014 e MENDÉZ-VISAG, 2014)

O mercúrio já foi muito utilizado como pigmento vermelho de Cinabre ou cinábrio (Sulfeto de Mercúrio) em tatuagens na pele. Porém, a ocorrência frequente de complicações e reações eczematosas levaram ao desuso desse material (MAIA et al., 1988).

3.1.2 Comportamento do mercúrio em sistemas biológicos

Os peixes são valiosas fonte de nutrientes benéficos e excelente fonte de proteína de baixo teor de gordura. No entanto, também são a principal fonte de exposição ao metilmercúrio em seres humanos. (CUSACK et al., 2016)

Os compostos orgânicos de mercúrio, em geral, são absorvidos por ingestão, inalação e através da pele. O metilmercúrio após desmetilação nos tecidos atravessa as barreiras hematoencefálica e placentária, e sua meia-vida plasmática é de 40 a 50 dias em adultos. Cerca de 90% da excreção do metilmercúrio ocorre através da bile pelas fezes, mas uma pequena parte é excretada pelo cabelo e pela urina, e uma parte menor ainda excretada pelo leite humano (RAIMANN et al., 2014).

No meio ambiente, o ciclo de contaminação pelo mercúrio (FIG 1) se inicia com a emissão e subsequente circulação atmosférica da sua forma de vapor, retornando à água ou solo pela sua eventual condensação. Tanto o mercúrio atmosférico como o contido na hidrosfera, interagem com os seres vivos (biosfera) de forma recíproca. A biosfera adquire mercúrio através de ações biológicas como a respiração e alimentação, e cede mercúrio à atmosfera e à hidrosfera pelo processo de decomposição (AZEVEDO et al., 2012).

O metilmercúrio é a principal forma responsável pelo dano neurológico. O mecanismo de toxicidade está relacionado ao aumento da atividade das espécies reativas do oxigênio, mecanismo este também presente em outras doenças degenerativas como o Parkinson e a Esclerose Lateral Amiotrófica (AZEVEDO et al., 2012).

A exposição pré-natal ao mercúrio promove atraso no desenvolvimento do Sistema nervoso Central do feto, por este inibir a divisão celular e consequentemente alterar a citoarquitetura cerebral, levando a déficits de atenção, alterações de memória, linguagem e função motora (AZEVEDO et al., 2012).

3.1.3 Marcadores biológicos de exposição ao Mercúrio

Raimann et al. (2014) destacam o sangue, o cabelo e as unhas como os três principais biomarcadores de mercúrio. Também podem ser utilizados

como marcadores biológicos a urina, o sangue do cordão umbilical e o leite humano.

A concentração de mercúrio total no sangue é um reflexo da quantidade de metilmercúrio nas células vermelhas, já que essa é a principal forma apresentada no sangue. Sendo assim, o sangue é um excelente biomarcador para avaliar exposição mercurial em pessoas com grande ingestão de peixes e moluscos (JAPÃO, 2004).

A concentração de mercúrio no cabelo reflete a concentração no sangue no momento em que o cabelo foi formado (JAPÃO, 2004). O cabelo constitui um importante indicador na estimativa do grau de exposição ao mercúrio pela alimentação, sendo frequentemente utilizada para avaliar exposição em comunidades ribeirinhas ou de pescadores na Amazônia. Ainda não foram definidos níveis seguros de mercúrio em amostras de cabelo na exposição a longo prazo. (MILHOMEM-FILHO et al., 2016).

Amostras de unhas podem ser bioindicadores de exposição a médio prazo, mas não se conhece bem a toxicidade específica de absorção do mercúrio do sangue até o leito ungueal. (RAIMANN et al., 2014).

A concentração urinária de mercúrio na urina está relacionada ao nível de mercúrio inorgânico acumulado nos rins, sendo um bom indicador para exposição a vapores de mercúrio (JAPÃO, 2004).

A aferição de mercúrio no sangue umbilical é mais precisa para determinar exposição pré-natal de neonatos ao metilmercúrio, uma vez que a urina excreta melhor o mercúrio elementar e/ou o inorgânico (RAIMANN et al., 2014).

O leite humano representa uma via de excreção de substâncias lipofílicas e a maioria das formas de mercúrio são hidrossolúveis. Desse modo, a concentração de mercúrio em leite humano não se correlaciona com a concentração de mercúrio em cabelos de mães ou bebês (RAIMANN et al., 2014).

3.2 Mercúrio e meio ambiente

Os desperdícios de resíduos industriais e da mineração têm deixado um legado de mercúrio em aterros e solos. Normalmente esse se libera na

atmosfera terrestre a partir de materiais da crosta natural, incluindo a ação vulcânica e processos antropogênicos como a combustão de carbono e de resíduos de fundição. (RAIMANN et al., 2014)

As maiores fontes mercuriais antrópicas (decorrentes da atividade humana) de contaminação ambiental pelo mercúrio estão associadas a mineração artesanal de ouro, queima de carvão, produção de cimentos, metais ferrosos e não ferrosos. Na tentativa de reduzir os impactos ambientais da poluição atmosférica por mercúrio com repercussão à saúde humana, a Convenção de Minamata sobre Mercúrio determinou disposições que tratam de diversos produtos que contêm mercúrio, dos quais alguns deverão ser banidos até 2020. (MONDELLI, 2014)

3.3 Mercúrio na mineração artesanal

Na mineração artesanal de ouro, o mercúrio oferece vários benefícios, uma vez que é uma alternativa de baixo custo, manuseio fácil, ação rápida, pode ser usado por apenas uma pessoa, é capaz de extrair ouro em condições adversas na maioria das minas, e permite o processamento personalizado (SCHMIDT et al., 2012).

FIGURA 4 – Mineiro escavando minério de ouro no solo.

FONTE: SCHMIDT et al., 2012.

A extração de ouro em minas artesanais costuma seguir os seguintes passos: mineiros escavam o minério de ouro no solo ou nos rios (FIG. 4); o minério é quebrado acima do solo e testado o teor de ouro; o minério é triturado e colocado nos moinhos, onde é adicionado o mercúrio; o amálgama mercúrio-ouro

é mais pesado que as outras partículas de rocha triturada e descem para o fundo do moinho; partículas que não entram em contato com o mercúrio podem fazer amálgama em uma placa coberta de mercúrio chamada “cobra fuma”; a lama formada pela mistura de partículas de rocha no fundo do moinho é lavada e o amálgama é separado (FIG. 5); o excesso de mercúrio é extraído do amálgama manualmente para uso posterior ou é queimado com maçarico para queimar o mercúrio, processo chamado de “despesca”; o ouro de baixa pureza resultante da despesca é enviado para as refinarias para ser purificado (SCHMIDT, et al., 2012).

FIGURA 5 – Lavagem para separação do amálgama.

FONTE: SCHMIDT et al., 2012.

Os garimpeiros são amplamente expostos ao risco de intoxicação por mercúrio (FIG. 6), uma vez que não há o costume de utilizar equipamentos de proteção individual. (OLIVEIRA and SILVA 1996).

FIGURA 6 – Mineiros são expostos ao mercúrio e não utilizam equipamentos de proteção.

FONTE: SCHMIDT et al., 2012.

Essa exposição também ocorre ao extrair o ouro de forma legal ou clandestina, pois não utilizam o principal meio de proteção no manuseio do mercúrio, o cadinho: instrumento que permite a purificação mineral do ouro evitando a aerosolização do mercúrio e a aspiração deste pelo aparelho respiratório. (OLIVEIRA e SILVA 1996)

3.4 Mercúrio e saúde

O desenvolvimento de sinais e sintomas de intoxicação e a eliminação do MeHg dependem de fatores genéticos ligados à produção de enzimas e proteínas específicas, como a glutathione S-transferase, que influenciam na biotransformação e bioacumulação do Hg em humanos (FARIAS et al., 2008)

O diagnóstico da intoxicação mercurial é baseado em critérios clínicos e epidemiológicos, além de dados laboratoriais decorrentes de níveis elevados de mercúrio em sangue ou amostras de cabelo (KHOURY et al., 2013).

A resposta orgânica à exposição mercurial é individualizada, ocorrendo casos de pessoas assintomáticas convivendo com concentrações elevadas de mercúrio (TASAMA e ARBELÁEZ, 1994).

Essa situação foi observada por Vasconcellos et al. (2010), que determinaram os teores de mercúrio e selênio em cabelos de populações indígenas residentes no Parque Indígena do Xingú, na região Amazônica. Dentre os 13 grupos indígenas estudados, foram encontrados valores de mercúrio muito acima do grupo controle da população brasileira (média e mediana em torno de $1 \mu\text{g.g}^{-1}$), com médias aritméticas, geométricas e mediana, respectivamente, de até $20,6 \mu\text{g.g}^{-1}$, $18,8 \mu\text{g.g}^{-1}$, e $19,0 \mu\text{g.g}^{-1}$, sem que os indivíduos apresentassem sinais evidentes de intoxicação mercurial.

A intoxicação pelo mercúrio inorgânico ocorre por inalação e contato com a pele. A exposição aguda pode causar efeitos gastrointestinais como náuseas, vômitos e diarreia, e envolvimento do sistema nervoso central. O mercúrio orgânico, quando ingerido é pouco absorvido, mas pode ocorrer bioacumulação e pode causar danos principalmente na fase pré-natal. Os sais inorgânicos, como o cloreto de mercúrio, são corrosivos quando ingeridos

causando náuseas, vômitos, dor, diarreia sanguinolenta e necrose. (SANTOS et al., 1993).

A intoxicação ocupacional por Hg metálico pode causar Neuropatia periférica, encefalopatia ou síndrome nefrótica. (VOITZUK et al., 2014)

O mercúrio pode interferir no metabolismo e fisiologia celular, uma vez que forma ligações covalentes com o enxofre, inativando enzimas sulfídricas. Ele ativa o sistema simpático e eleva níveis séricos de adrenalina e noradrenalina, com efeitos taquicardizante, hipercinético e hipertensivo no sistema circulatório. (OLIVEIRA e SILVA, 1996)

A ativação intensa do sistema simpático-adrenal e elevação das catecolaminas pode ocasionar síndrome feocromocitoma-símile, com surgimento de Hipertensão Arterial Secundária. (OLIVEIRA e SILVA, 1996)

O mercúrio inorgânico produz cardiotoxicidade importante, apesar de seu alvo primário ser o sistema nervoso central. No entanto, o metilmercúrio tem profunda relação com desenvolvimento de hipertensão arterial, infarto agudo do miocárdio, doença coronariana e aterosclerose. Esta última é aumentada por vários motivos, que incluem o efeito pró-oxidante, que levam à oxidação do LDL colesterol e à formação de placa aterosclerótica. O mercúrio também age inibindo substâncias anti-oxidantes e gerando disfunção endotelial pelo consumo de óxido nítrico pela produção de radicais livres (AZEVEDO et al., 2012).

A exposição crônica ao Hg metálico pode ocasionar comprometimento renal que ocasiona quadro clínico de síndrome nefrótica, decorrente de glomerulopatia por lesões mínimas ou glomerulopatia membranosa. As lesões glomerulares ocorrem pela presença de imunocomplexos na membrana basal e glomerular. (VOITZUK et al., 2014)

A exposição ocupacional a metais tóxicos durante a gestação tem sido implicada em uma variedade de distúrbios reprodutivos. Médicos de Família sugerem ser prudente educar as mulheres, antes e depois da concepção sobre os possíveis riscos e potencial teratogênicos da exposição a agentes químicos e ambientais como o mercúrio (CIANCO e JACK, 2012).

Boucher et al. (2012) reportaram uma associação positiva entre exposição pré-natal ao MeHg e sintomas de transtorno de déficit de atenção e hiperatividade (TDAH).

Blaurock-Busch et al. (2012) referem que o mercúrio e outros metais tóxicos participam da gênese do transtorno de espectro autista, além disso, os danos biológicos provocados pelo mercúrio podem agravar os sintomas de autismo. Blaurock-Busch et al. (2011) relatam teores de mercúrio agudo e crônico elevados em crianças autistas e sugerem possibilidade de contaminação por ingestão de peixe contendo mercúrio orgânico.

A exposição ao metilmercúrio pode provocar em homens alterações no espermograma. Em mulheres, a exposição a vapores de mercúrio pode causar alterações no ciclo menstrual como dismenorreia e irregularidade menstrual, assim como anormalidades congênitas. Não há evidências de relação entre exposição ao mercúrio e ocorrência de aborto ou natimorto (RODRÍGUEZ-VILLAMIZAR et al., 2015).

O processamento auditivo mostra-se sensível às influências negativas de fatores ambientais como a exposição ao mercúrio metálico. O distúrbio do processamento auditivo é a dificuldade em processar informações auditivas, sem relação com perdas auditivas nem deficiências intelectuais, colocando em risco o desenvolvimento da linguagem oral e escrita. (CARVALHO et al., 2015). Dutra et al. (2010) demonstraram que adolescentes expostos ao mercúrio metálico, por trabalharem na queima dos amálgamas de ouro-mercúrio ou residirem próximos às áreas de queima, apresentaram desempenho auditivo inferior ao grupo de adolescentes sem exposição ao mercúrio, estatisticamente significativo para os testes de localização sonora, memória sequencial para sons verbais e não verbais, fala com ruído, padrão de frequência e duração e dissílabos alternados (DUTRA et al., 2010).

O efeito neurotóxico da intoxicação por metilmercúrio pode causar redução significativa e generalizada da sensibilidade visual da fóvea e constrição concêntrica moderada a grave do campo visual (BARBONI et al., 2008).

A utilização de amálgamas de mercúrio pode provocar lesões orais durante a aplicação, inclusive fragmentos de mercúrio ao aderir na mucosa oral

podem pigmentar e ocasionar tatuagens nas mucosas (TASAMA e ARBELÁEZ, 1994).

O mercúrio metálico em contato com a pele provoca uma dermatite secundária à implantação do mercúrio no subcutâneo, ocasionando um processo granulomatoso por corpo estranho. Além das lesões granulomatosas, podem ocorrer despigmentação ou hiperpigmentação. Também são descritas lesões dérmicas à distância, em situações de injeção de mercúrio no subcutâneo. (CAPITANI et al., 2009)

Dickenson et al. (2013) relataram durante biomonitoração populacional de elementos traço, um caso de uma gestante com níveis elevados de mercúrio decorrente de auto-medicação com creme cosmético para face contendo mercúrio, colocando em risco a sua própria saúde e a do feto.

Chen et al. (2013) sugerem associação inversa entre a exposição ao mercúrio e os níveis de hormônios tireoidianos, com fisiopatologia da tireotoxicidade desconhecida.

O mercurialismo, também chamado de eretismo, é a manifestação clínica decorrente da exposição crônica ao mercúrio e pode se apresentar por sintomas de irritabilidade, ansiedade, mudanças de comportamento, apatia, perda da auto-estima e perda de memória, depressão, insônia, delírio, cefaleia, mialgia e tremores. Também são frequentes manifestações clínicas decorrentes de quadro de hipertensão arterial, alterações renais, imunológicas e alérgicas (FARIA, 2003).

Estudos epidemiológicos não têm demonstrado associação entre vacinação com produtos contendo timerosal e problemas de neurodesenvolvimento, problemas de linguagem, autismo e neurotoxicidade (PORRAS, 2010). No Brasil, o timerosal é encontrado nas vacinas contra hepatite B, influenza, DTP (difteria, tétano e coqueluche), DT (difteria e tétano) e pneumo 23 (BRASIL, 2014). Ao longo do tempo, as indústrias farmacêuticas têm desenvolvido conservantes alternativos ao timerosal com a finalidade de reduzir a utilização deste derivado de mercúrio orgânico em medicamentos e agentes biológicos empregados na imunização (MAYA e LUNA, 2006).

3.5 História e características da população de estudo

O Arraial de Chapada surgiu na terceira década do século XVIII, com a descoberta do ouro em suas terras. Garimpeiros, comerciantes, senhores, escravos africanos e outros vinham e desapareciam conforme surgiam e esauriam-se os veios de ouro. As minas eram disputadas pelas capitânicas do Grão-Pará (estado do Pará e Maranhão, da América Portuguesa), de Pernambuco e de São Paulo, até 1733, quando a Coroa de Portugal ordenou que as minas do alto Rio Tocantins fossem incorporadas à Capitania de São Paulo. (IBGE, 2017 (1))

Com efeito, em 1740, Dom Luís de Mascarenhas, o governador daquela capitania, veio pessoalmente e, após tomar posse dos veios auríferos de Arraias, durante um ano andou nesta região, procurando deixar os arraiais em paz, inclusive o de Chapada, cuja povoação já havia sido iniciada em 1736 pelo garimpeiro Carlos Marinho, que, na mesma época, fundou o Arraial de São Félix (hoje sob as águas da represa da Usina de Canabrava em Goiás). (IBGE, 2017 (1))

Foram os quilombolas, descendentes de escravos cujos antepassados fugiram da escravidão para formar os agrupamentos de refugiados e de resistência chamados quilombos, que, no final do século XVIII, deram impulso à povoação do lugar, construindo suas casas possivelmente nas proximidades do posto de contagem de Chapada da Natividade, e buscando seu sustento no cultivo de pequenas lavouras, o que atraiu outros moradores. (IBGE, 2017 (1))

Duas dessas comunidades estão na Chapada da Natividade, a de São José e a de Chapada de Natividade. Com importante participação desses descendentes de quilombolas no movimento para emancipação de Chapada de Natividade, o município foi criado em 28 de setembro de 1995 e instalado em 1º de janeiro de 1996. (IBGE, 2017 (1))

O nome do município (FIG. 7) existe pelo menos desde 1780, com a instalação do posto de contagem de Chapada da Natividade e continuou sendo adotado pelos quilombolas que acreditavam na qualidade da terra plana para o plantio da lavoura. (IBGE, 2017 (1))

FIGURA 7 – Município de Chapada de Natividade/TO.

FONTE: Arquivo dos autores.

Apesar da atividade de extração de ouro em minas artesanais não configurar oficialmente a principal atividade produtiva do município, informações atuais da prefeitura de Chapada de Natividade referem que existem várias minas não registradas (FIG. 8), as quais utilizam o mercúrio no seu processo artesanal e que chegam a extrair cerca de 2 quilos de ouro por mês das minas do município, refletindo uma importante fonte de renda para a população.

FIGURA 8 – Mina desativada em quintal de residência no centro da cidade de Chapada de Natividade/TO.

FONTE: Arquivos dos autores

A história de Porto Nacional está ligada ao rio Tocantins. A palavra Tocantins, nariz de Tucano, era o nome de uma tribo indígena com nariz comprido que habitava as margens do rio. (IBGE, 2017 (2))

A exploração do ouro, iniciada em 1722, na província de Goiás, trouxe muitos mineradores e foi responsável pela maioria dos pequenos núcleos que se estabeleceram na região. A travessia desses mineradores, tropeiros, mascates e viajantes já era realizada no local onde hoje é o centro histórico de Porto Nacional, em barcos do português Felix Camôa, quando, em 1791, o cabo Thomaz de Souza Villa Real, que verificava a possibilidade de navegação e do estabelecimento de uma rota de comércio sul-norte, instala um destacamento militar na região. Com privilegiada localização entre dois povoados mineradores importantes, Pontal e Carmo, surge Porto Real, que se desenvolve com o comércio e a navegação. (IBGE, 2017 (2))

Em 1831 o julgado de Porto Real é elevado à categoria de Vila mudando seu nome para Vila de Porto Imperial. Os principais fatores que contribuíram para sua elevação à sede do município foram: - incremento da navegação do Tocantins e do comércio com Belém do Pará; - o declínio da mineração nas localidades vizinhas como Pontal; - o desenvolvimento da criação de gado. (IBGE, 2017 (2))

Quando de sua elevação à condição de cidade, pela resolução Provincial nº 333, de 13 de julho de 1861, Porto Imperial era um importante empório comercial, com muitos comerciantes, comércio fluvial intenso com Norte e 4.313 habitantes. (IBGE, 2017 (2))

Com a Proclamação da República a cidade passa a se denominar Porto Nacional. Criado o Estado do Tocantins, em 1988, e definida a criação de uma nova capital, com a inspiração em Brasília, a cidade de Porto Nacional passa a ser, junto com Natividade e Arraias, uma das referências históricas mais importantes do Estado do Tocantins, onde estão plantadas as raízes do norte goiano. (IBGE, 2017 (2))

E o Rio Tocantins modificado pelo crescimento desenvolvimentista, abrigando usinas hidroelétricas, agora sem praias, ainda teimosamente se impõe como o principal elemento no universo simbólico portuense (IBGE, 2017 (2)).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Delineamento da pesquisa

O estudo foi realizado com amostras de cabelo de crianças de 5 e 6 anos de idade, residentes dos municípios de Chapada de Natividade – TO e Porto Nacional – TO, que foram distribuídas em dois grupos: Grupo de Exposição ao Garimpo (Chapada de Natividade) e o Grupo sem Exposição ao Garimpo (Porto Nacional).

Foram analisados os dados clínicos, sociodemográficos e alimentares de todos os participantes, após consentimento dos responsáveis, e em seguida foi realizada a coleta das amostras de cabelo para análise dos teores de mercúrio.

4.1.1 Locais de estudo

O município de Chapada de Natividade (FIG. 9) está localizado no estado do Tocantins, a 191 quilômetros (km) rodoviários da capital tocantinense (Palmas), possui uma área de 1.646,472 km² e população estimada em 2016 de 3.363 habitantes e apresenta garimpos artesanais de extração de ouro. (IBGE, 2017(1))

FIGURA 9 – Mapa de Chapada de Natividade/TO

Fonte: IBGE, 2017 (1)

O município de Porto Nacional (FIG. 10) localiza-se também no estado do Tocantins, a 60 km de Palmas, possui 4.449,917 km² e 52.510 habitantes de população estimada em 2013 e não apresenta garimpos artesanais de extração de ouro. (IBGE, 2017(2))

FIGURA 10 – Mapa de Porto Nacional/TO

Fonte: IBGE, 2017 (2)

4.2 Etapa humana

Como este estudo envolveu seres humanos, foi necessário detalhar minuciosamente o desenho amostral, os cuidados éticos pertinentes à pesquisa e os critérios de elegibilidade dos participantes.

4.2.1 Desenho amostral

O estudo utilizou um desenho epidemiológico do tipo transversal. Os participantes foram selecionados a partir de informações do cadastro no serviço de atenção básica do Sistema Único de Saúde (SUS) de seus municípios de origem, que identificou os candidatos à pesquisa conforme a inclusão nos critérios de elegibilidade.

A partir dessas informações, foi realizada visita domiciliar a cada um dos candidatos a participar da pesquisa. Nessa oportunidade, os pais ou responsáveis pela criança foram informados sobre os objetivos e procedimentos da metodologia do estudo, e foram convidados a conceder autorização formal para as etapas de coleta de dados clínicos, sociodemográficos e alimentares, e, posteriormente, para a coleta de amostra de cabelo.

4.2.2 Cuidados éticos

Pesquisas científicas envolvendo seres humanos requerem alguns cuidados éticos para assegurar que os direitos dos indivíduos sejam protegidos. Como este trabalho se propôs a fazer pesquisa envolvendo crianças, foi necessário que seus pais ou responsáveis estivessem plenamente esclarecidos sobre todas as etapas da pesquisa e quais os possíveis lucros ou prejuízos que a mesma poderia ocasionar a seus envolvidos.

Para garantir a integridade ética da pesquisa, ela foi submetida a um Comitê de Ética em Pesquisa e além disso, todos os participantes, juntamente com seus pais ou responsáveis que aceitaram participar da pesquisa assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

4.2.2.1 – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

Antes da coleta da amostra de cabelo, os pais ou responsáveis pelas crianças foram informados de todos os procedimentos da metodologia do trabalho e após todos os esclarecimentos, os que desejaram consentir, foram convidados a assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE A).

4.2.2.2 – Comitê de Ética em Pesquisa (CEP)

Em conformidade à resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde, este trabalho foi submetido à apreciação de um Comitê de Ética em Pesquisa pela Plataforma Brasil, a fim de obedecer às recomendações éticas de uma pesquisa envolvendo seres humanos. Os autores iniciaram a coleta das amostras de cabelo somente após a aprovação do projeto pelo CEP (CAAE 341122414.7.0000.5516).

4.2.3 – Critérios de elegibilidade

A faixa etária escolhida para este estudo foi de crianças de 5 a 6 anos de idade, a fim de eliminar o viés de exposição ao mercúrio por fatores ocupacionais (SANTOS-FILHO et al., 1993), uma vez que consideramos que nessa idade as crianças ainda não são submetidas ao trabalho no garimpo. Foram excluídos do estudo as amostras de crianças possivelmente vitimizadas em trabalho infantil no garimpo.

Também foram excluídas as crianças com patologias infecciosas do couro cabeludo, como por exemplo micoses ou piodermites, a fim de evitar a contaminação da amostra com fungos ou bactérias.

Foram incluídas no Grupo de Exposição ao Garimpo apenas as crianças que estavam cadastradas no serviço de Atenção Básica do SUS da Secretaria Municipal de Saúde de Chapada de Natividade/TO, onde foram obtidos dados referentes ao endereço, data de nascimento e nome dos pais ou responsáveis pela criança.

No Grupo sem Exposição ao Garimpo foram incluídas crianças cadastradas no serviço de Atenção Básica do SUS da Secretaria Municipal de Saúde de Porto Nacional/Tocantins, onde foi eleita uma Unidade de Saúde da Família com área de abrangência territorial com população equivalente à população de Chapada de Natividade/TO.

Foram incluídas no trabalho crianças de ambos os sexos, sem nenhuma exclusão referente ao gênero.

Crianças com história de utilização de produtos químicos no cabelo, como tratamentos de alisamento ou tinturas, foram excluídas da pesquisa independente do grupo do qual faziam parte.

As crianças que não possuíam uma mecha de cabelo suficiente (cerca de 500mg) para amostragem preconizada para a análise dos teores de Hg foram excluídas da pesquisa.

Todas as crianças participantes obrigatoriamente necessitaram ter o TCLE assinado pelos responsáveis legais. Também foram excluídas do estudo as crianças cujos responsáveis legais não consentiram a participação, mesmo após esclarecimentos.

4.2.4 – Coleta de dados clínicos, sociodemográficos e alimentares (Instrumento de medida)

As crianças eleitas para participarem da pesquisa e com consentimento dos responsáveis legais foram submetidas à etapa de preenchimento do Protocolo de Coleta de Amostra de Cabelo (APÊNDICE B).

O protocolo foi preenchido por uma profissional especialista em Medicina de Família e Comunidade após avaliação clínica, sociodemográfica e alimentar individual dos participantes.

Os dados obtidos foram tabulados para serem enviados à análise estatística e estão descritos no APÊNDICE C.

4.2.5 – Coleta de material biológico e quantificação de Hg em cabelo

Após avaliação clínica e preenchimento dos dados sociodemográficos e alimentares do Protocolo de Trabalho, foram coletadas as amostras de cabelo das crianças, próximo ao couro cabeludo na região occipital, com auxílio de uma tesoura recoberta de titânio. O material coletado foi armazenado em invólucro de polietileno, fechado hermeticamente com zíper, identificado com código da amostra e acondicionado em temperatura ambiente e em local limpo e seco até seu transporte ao laboratório de Análise por Ativação Neutrônica do IPEN/USP, onde as amostras foram submetidas ao método de espectrometria de absorção atômica.

4.3 – Parte experimental

4.3.1 – Amostras de cabelo

Amostras de cabelo são amplamente utilizadas para avaliar exposição ambiental ao mercúrio em humanos. Dentre as vantagens do método temos sua técnica não-invasiva de coleta das amostras (SILVA, 2012), o que é imprescindível na avaliação de população em qualquer faixa etária infantil.

4.3.1.1 – Coleta das amostras de cabelo

A coleta das amostras de cabelo foi realizada nas crianças selecionadas dos municípios de Chapada de Natividade e Porto Nacional, após esclarecimento com consentimento do responsável legal e avaliação dos dados clínicos, sociodemográficos e alimentares preenchidos no Protocolo de Coleta de Amostra de Cabelo.

Foram coletadas amostras de crianças de ambos sexos, na faixa etária de 5 a 6 anos de idade.

As crianças doadoras tiveram cerca de 500 mg de filamento capilar coletados da região occipital próximo ao escalpo, utilizando-se uma tesoura recoberta de titânio devidamente limpa com álcool etílico. Em doadores com cabelos muito longos, foram utilizados apenas os 10 cm mais próximos às raízes, desprezando o restante da amostra (FIG. 11).

FIGURA 11 – Separação de mecha de cabelo em região occipital para coleta de amostra de cabelo.

FONTE: arquivo dos autores

As amostras foram acondicionadas em invólucros de polietileno, fechados hermeticamente com zíper, identificado com código da amostra e acondicionado em temperatura ambiente e em local seco e limpo até seu transporte ao Laboratório de Análise por Ativação Neutrônica do IPEN/USP, onde as amostras foram preparadas. (FIG. 12)

FIGURA 12 – Amostras de cabelo acondicionadas em invólucros de polietileno hermeticamente fechados com zíper e identificados com código da amostra.

FONTE: arquivo dos autores

4.3.1.2 – Preparo das amostras de cabelo para análise

A preparação das amostras foi realizada conforme preconizado pelo Protocolo da Agência Internacional de Energia Atômica – IAEA (IAEA, 1987).

As amostras coletadas foram cortadas em pequenos fragmentos de cabelo, (FIG.13) menores que 2 mm, com o uso de tesoura recoberta de titânio após limpeza com álcool etílico.

FIGURA 13 – Fragmentação das amostras de cabelo.

FONTE: arquivo dos autores

Os fragmentos cortados foram colocados sobre uma folha de papel impermeável em uma bancada esterilizada com álcool etílico em uma sala de laboratório limpa.

4.3.1.3 – Lavagem das amostras de cabelo para análise

FIGURA 14 – Lavagem das amostras de cabelo fragmentadas.

FONTE: arquivo dos autores

Os cabelos fragmentados foram transferidos para um Béquer (FIG. 14) identificado com o respectivo código da amostra e lavados para remover a contaminação exógena que poderia estar presente na superfície dos fios de cabelo como, por exemplo, de poeiras e materiais particulados advindos do meio ambiente.

A sequência de lavagem dos fragmentos de cabelo foi:

- Lavagem com acetona P. A. da Merck num intervalo de dez minutos, sob agitação (FIG. 15);

FIGURA 15 – Lavagem das amostras de cabelo com Acetona.

FONTE: arquivo dos autores

- Lavagem com água destilada por três vezes em períodos de dez minutos cada lavagem;

FIGURA 16 – Filtragem das amostras de cabelo.

FONTE: arquivo dos autores

- Lavagem com acetona, sendo que cada amostra foi filtrada em papel de filtro quantitativo da marca CAAL número 1541, colocado sobre um frasco erlenmeyer. (FIG. 16)

Os papéis de filtro com as amostras de cabelo lavadas foram colocados em placas de Petri (FIG. 17), para a secagem dos cabelos à temperatura ambiente, por cerca de 24 horas.

FIGURA 17 – Secagem das amostras de cabelo.

FONTE: arquivo dos autores

4.3.1.4 – Pesagem das amostras

Após a secagem, as amostras foram devidamente armazenadas nos invólucros de polietileno, pesadas em balança analítica de precisão, com 4 casas decimais, marca Mettler Toledo e modelo AE166, e posteriormente encaminhadas para análise.

4.3.2 – Material de referência

A fim de avaliar a exatidão do procedimento analítico foi usado o material de referência de cabelo preparado pela IAEA, Human Hair – IAEA 086, que apresenta valor do certificado de $0,573 \mu\text{g g}^{-1}$, com intervalo de confiança a 95% de $0,534 \mu\text{g g}^{-1}$ a $0,612 \mu\text{g g}^{-1}$. (REFERENCE SHEET, IAEA, 2000)

4.3.3 – Determinação de mercúrio total nas amostras de cabelo

Análise preliminares de algumas amostras de cabelo pelo método de Análise por Ativação com Nêutrons mostraram que as concentrações de mercúrio

eram mais baixas que o esperado e, em alguns casos, abaixo do limite de detecção do método.

Por esse motivo, foi realizada uma parceria com a Companhia de Controle Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, para a realização das análises de mercúrio utilizando-se o equipamento DMA_80 (Direct Mercury Analyzer), que apresenta um limite de detecção mais baixo.

O Laboratório do ELTA, Setor de Análises Toxicológicas da CETESB, baseia suas análises no USEPA – SW86, Método 7473 “Mercury in solids and solutions by thermal decomposition, amalgamation and atomic absorption spectrophotometry” e no Application Book do fabricante (Milestone). (USEPA, 2007)

Esse método foi desenvolvido para a análise de Hg total (orgânico e inorgânico) em amostras sólidas e soluções. A integração da preparação da amostra por decomposição térmica, seguida de detecção por absorção atômica reduz o tempo total de análise para menos de 5 minutos. (USEPA, 2007)

O aquecimento controlado, em um forno de decomposição oxigenado, é usado para liberar o Hg das amostras, no instrumento. A amostra é assim seca e depois decomposta no forno e os produtos de decomposição são arrastados por um fluxo de oxigênio para a secção catalítica do forno. A oxidação é então completada e os halogênios e os óxidos de nitrogênio e enxofre são aprisionados (“trapped”). Os produtos remanescentes da decomposição são então arrastados para um amalgamador, que captura o Hg seletivamente. A seguir, o sistema recebe oxigênio, para remover gases e produtos de oxidação remanescentes e o amalgamador é rapidamente aquecido, liberando o vapor de Hg. Um fluxo de oxigênio carrega então o vapor de mercúrio através das células de absorbância do espectrofotômetro de AAS. A absorbância (altura do pico ou área do pico) é medida a 253,7 nanômetros, como função da concentração de Hg. (USEPA, 2007)

A faixa típica de trabalho do método é de 0,05 a 600 nanogramas. A quantidade de mercúrio é medida duas vezes, usando duas sensibilidades diferentes. O limite de detecção para esse método é de 0,01 nanogramas de Hg total. (USEPA, 2007)

As etapas da rampa de decomposição são descritas na TAB. 1.

TABELA 1 – Etapas da rampa de decomposição.

Passos	Human Hair	
	Tempo	T (°C)
1	-	-
2	00:01:00	200
3	00:02:00	650
4	00:01:00	650
T _{máx} início (°C)	200	
Purgação (s)	60	
Amalgamação (s)	12	
Registro do Sinal (s)	30	

FONTE: USEPA, 2007

As amostras foram analisadas em duplicata. Nas amostras em que a concentração de mercúrio excedeu o último ponto da curva da cela 2, ou ficou abaixo do primeiro ponto da curva da cela 0, recomendou-se variar a quantidade analisada e repetir a determinação (USEPA, 2007).

As concentrações de mercúrio nas amostras foram calculadas a partir da curva da cela 1. O cálculo de incerteza foi determinado para cada uma das celas em separado, considerando as diferentes faixas de concentração. Portanto, para as amostras de cabelo, adota-se a incerteza calculada para a cela 1, de 20% (TORRES et al., 2015).

4.3.4 Determinação de mercúrio em amostras de peixe

Tendo em vista que muitos trabalhos relacionam o conteúdo de mercúrio em cabelos e outros biomarcadores com o consumo de peixes, considerou-se relevante a análise de mercúrio nos peixes mais consumidos pela população da região exposta ao garimpo em Chapada de Natividade-TO.

4.3.4.1 Escolha e coleta das amostras de peixe

Com base em informações obtidas no questionário do protocolo do trabalho, foram identificados os principais locais de obtenção de peixes para consumo pela população de Chapada de Natividade-TO, bem como as principais espécies consumidas.

As amostras de Caranha e Tambaqui foram adquiridas de dois criadouros da região (Criadouro do Gonçalves e Criadouro do Bateria), localizados no município de Natividade-TO.

As amostras de Pacú e Piau foram obtidas com auxílio técnico de um pescador no Rio Manoel Alves (FIG. 18) situado no município de Natividade-TO.

FIGURA 18 – Rio Manoel Alves em Natividade-TO, local de pesca.

FONTE: arquivo dos autores

Tendo em vista que não há locais de comércio de peixes em Chapada de Natividade-TO, todo o pescado consumido pela população local é proveniente do município de Natividade-TO.

4.3.4.2 Preparação das amostras de peixe

Os peixes coletados foram levados para a bancada de uma cozinha industrial onde foi dado início ao preparo das amostras (FIG. 19).

FIGURA 19 – Pacú (acima) e Piau (abaixo) pescados no Rio Manoel Alves antes do preparo para retirada do filé.

FONTE: arquivo dos autores

As amostras de peixe foram identificadas por códigos e os dados do seu preparo foram registrados em planilha de bancada (TAB. 2).

TABELA 2 – Características das amostras de peixes.

Código da amostra	Nome do Peixe	Espécie	Peso (g)	Tamanho (cm)	Origem
CG1	Caranha	<i>Lutjanus cyanopterus</i>	2180	50	Criadouro do Gonçalves
CG2	Caranha	<i>Lutjanus cyanopterus</i>	2155	50	Criadouro do Gonçalves
PI1	Piau	<i>Leporinus fasciatus</i>	362	34	Rio Manoel Alves
PI2	Piau	<i>Leporinus fasciatus</i>	465	35	Rio Manoel Alves
PM1	Pacú	<i>Piaractus mesopotamicus</i>	191	19	Rio Manoel Alves
PM2	Pacú	<i>Piaractus mesopotamicus</i>	202	20	Rio Manoel Alves
TB1	Tambaqui	<i>Colossoma macropomum</i>	720	35	Criadouro do Bateria
TB2	Tambaqui	<i>Colossoma macropomum</i>	1092	39	Criadouro do Bateria

FONTE: arquivo dos autores

Os peixes frescos foram pesados em balança doméstica e medidos em seu maior comprimento com fita métrica.

Posteriormente, utilizando uma faca de cerâmica, os peixes foram tratados e foram isolados apenas o filé de cada amostra (FIG. 20).

As amostras de filé de peixe foram acondicionadas em invólucros de polietileno, fechado hermeticamente com zíper, identificado com código da amostra e acondicionado em freezer, onde permaneceram congeladas até seu transporte em caixa de isopor ao Laboratório de Análise por Ativação Neutrônica do IPEN/USP, onde foram preparadas.

FIGURA 20 – Retirada do filé do peixe com faca de cerâmica.

FONTE: arquivo dos autores

No IPEN/USP, as amostras foram descongeladas em temperatura ambiente e com uma faca de cerâmica foram trituradas em pequenos fragmentos até obter a homogeneização da amostra (FIG. 21).

FIGURA 21 – Amostra de peixe triturada com faca de cerâmica e homogeneizada.

FONTE: arquivo dos autores

4.3.4.3 Determinação de mercúrio nas amostras de peixe por Absorção atômica com geração de vapor frio (CVAAS)

As amostras de peixe homogeneizadas foram levadas para determinação dos teores de mercúrio total por CVAAS no Laboratório de Ativação Neutrônica do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (LAN/IPEN).

4.3.4.3.1 Descontaminação do material

Toda a vidraria utilizada passou por um processo de descontaminação, que teve o seguinte procedimento:

Primeiramente toda a vidraria foi colocada em um banho de Extran neutro 2% (v/v) da Merck por 24h. Após esse período a vidraria passou por 3 banhos de HNO₃ PA da Merck, com baixo teor de Hg (max. 0,0000005% Hg), 20% (v/v) por 24 horas cada. Por fim, foi lavada com água deionizada e depois com água Milli-Q, e seca à temperatura ambiente em capela de fluxo laminar.

Os frascos de Teflon, utilizados na digestão da amostra, foram deixados em um banho de Extran neutro 2% (v/v) da Merck por 24h, após esse período foram colocados por 3h no bloco digestor à 60°C com HNO₃ 50% (v/v) PA da Merck com baixo teor de Hg (max. 0,0000005% Hg). Por fim, foram lavados com água deionizada e água Milli-Q e secos à temperatura ambiente na capela de fluxo laminar.

4.3.4.3.2 Determinação de mercúrio total por CVAAS

Soluções Utilizadas no Equipamento

- Carregador: Solução preparada a partir de ácido clorídrico fumegante PA da Merck, concentração de 3% (v/v) HCl.
- Redutor: preparado a partir de SnCl₂. 2H₂O da Merck em 3% v/v HCl, concentração de 1,1% (m/v) SnCl₂, preparado diariamente.

Soluções para a Construção da Curva de Calibração

- Solução analítica de mercúrio – estoque 1: Solução da Perkin Elmer Pure Plus de concentração 1004±6µg/mL
- Solução analítica de mercúrio – estoque 2: Preparada a partir da diluição de 1mL da solução estoque 1 com a adição de 5mL de HNO₃ e volume levado a 100mL, com concentração final de 10.042ng/mL
- Solução analítica de mercúrio – estoque 3: preparada a partir de 250µL da solução estoque 2 e volume levado a 10mL, preparada diariamente, concentração de 250,3 ng.mL⁻¹.

Pesagem das Amostras e Materiais de Referência

Cerca de 2,0g da amostra fresca e homogeneizada e 0,2g de material de referência certificado DORM-4 foram utilizados para a análise.

Digestão Ácida

Amostras e materiais de referência certificados foram pesados em frascos de Teflon da MARSXPress e a seguir foram adicionados 10mL de HNO_3 concentrado PA da Merck com baixo teor de Hg (max. 0,0000005% Hg). Em seguida o frasco foi fechado, e permaneceu em repouso por aproximadamente 24h (FIG. 22).

FIGURA 22 – Amostras de peixe em repouso nos frascos de Teflon.

FONTE: arquivo dos autores

Para finalizar a digestão, os frascos foram colocados no micro-ondas MARS 6 com o método de digestão para Animal Tissue (FIG. 23).

FIGURA 23 –Frascos de Teflon com as amostras de peixes preparados para serem levado ao micro-ondas.

FONTE: arquivo dos autores

Foi utilizada a seguinte programação no micro-ondas:

- Stages: 1

- Power: 1030-1800
- Ramp time: 20:00-25:00 min.
- Hold time: 15:00 min.
- Temperature: 200°C

FIGURA 24 – Amostras de peixes no micro-ondas.

FONTE: arquivo dos autores

Após a digestão no micro-ondas (FIG. 24), as amostras foram transferidas para outro tubo de teflon da SAVILLEX e o volume foi levado a 25,3mL com água Milli Q e homogeneizado.

Deteção de mercúrio por CV AAS

A detecção por CV AAS foi realizada no equipamento de CV AAS – FIMS da Perkin-Elmer (Flow Injection Mercury System).

A curva de calibração foi preparada através de diluições da solução estoque 3 de mercúrio.

Os pontos da curva de calibração utilizada foram 0,482; 0,975; 2,467; 4,890; 10,076 ng.mL⁻¹.

O volume de injeção da amostra foi de 500 μ L, o fluxo de argônio de 50mL.min⁻¹, o fluxo do carregador de 10mL.min⁻¹ e o fluxo do redutor foi de 6mL.min⁻¹.

A FIG. 25 ilustra o equipamento FIMS utilizado nas análises de mercúrio total.

FIGURA 25 – Equipamento FIMS.

FONTE: arquivo dos autores

4.3.5 Tratamento dos dados e interpretação de resultados

Os parâmetros analíticos de mérito com relação à exatidão e precisão dos resultados foram avaliados pela análise do material de referência certificado IAEA-086 (MeHg, mercúrio total e outros elementos traços em cabelos humanos) da Agência Internacional de Energia Atômica na Áustria, pelo método DMA. (IAEA, 1987)

Os resultados obtidos nas análises de cabelo foram avaliados por testes estatísticos dependendo da distribuição dos dados em relação à normalidade. Todos os testes foram aplicados considerando $p < 0,05$ como índice de rejeição de hipótese de nulidade pelo Teste T de Student.

5 RESULTADOS

Foram incluídas neste estudo 45 crianças, das quais 30 residiam no município de Chapada de Natividade – TO e 15 residiam no município de Porto Nacional – TO.

Todas as crianças participantes do estudo eram eutróficas (peso adequado para a idade), com estatura adequada para a idade e desenvolvimento neuropsicomotor (DNPM) normal.

Ao exame clínico realizado por médico especialista em Medicina de Família e Comunidade, todas as crianças participantes do estudo estavam sem alterações clínicas relacionadas à intoxicação por mercúrio e com cartão de vacinação atualizado e sem vacinas recomendadas para a idade em atraso.

Todos os participantes tinham acesso a água encanada e esgoto em seus lares.

Os dados obtidos no estudo estão descritos abaixo.

TABELA 3 – Resultado geral da análise estatística da concentração de mercúrio em Porto Nacional – TO.

Amostras de Porto Nacional	Valor ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Média Aritmética	0,157
Média Geométrica	0,142
Mediana	0,168
Desvio Padrão	0,076
Desvio Padrão Relativo (%)	49,36
Faixa das concentrações	0,076 – 0,375

FONTE: arquivos dos autores

TABELA 4 – Resultado Geral da análise estatística da concentração de mercúrio em Chapada de Natividade - TO.

Amostras de Chapada de Natividade	Valor ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Média Aritmética	0,249
Média Geométrica	0,183
Mediana	0,152
Desvio Padrão	0,214
Desvio Padrão Relativo (%)	86,34
Faixa das concentrações	0,040 – 0,921

FONTE: arquivos dos autores

TABELA 5 – Resultado individual da concentração de Hg nas amostras de cabelos em crianças do município de Porto Nacional - TO.

Código da Amostra	Concentração de Hg ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Gênero	Consumo de peixe
P1	0,167 $\pm$ 0,003	F	4x/mês
P2	0,079 $\pm$ 0,002	M	1x/mês
P3	0,083 $\pm$ 0,006	F	2x/mês
P4	0,175 $\pm$ 0,005	F	Raramente
P5	0,076 $\pm$ 0,001	F	12x/mês
P6	0,222 $\pm$ 0,011	M	1x/mês
P7	0,172 $\pm$ 0,003	F	8x/mês
P8	0,132 $\pm$ 0,004	F	4x/mês
P9	0,192 $\pm$ 0,001	F	1x/mês
P10	0,195 $\pm$ 0,002	F	1x/mês
P11	0,098 $\pm$ 0,000	F	Raramente
P12	0,375 $\pm$ 0,000	F	4x/mês
P13	0,177 $\pm$ 0,001	F	4x/mês
P14	0,141 $\pm$ 0,003	F	12x/mês
P15	0,078 $\pm$ 0,002	F	8x/mês

FONTE: Arquivos dos autores

TABELA 6 – Resultado individual da concentração de Hg nas amostras de cabelos em crianças do município de Chapada de Natividade - TO.

Código da amostra	Concentração de Hg ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Gênero	Consumo de peixe
C1	0,205±0,008	F	1x/mês
C2	0,356±0,002	F	4x/mês
C3	0,108±0,003	F	16x/mês
C4	0,060±0,005	M	8x/mês
C5	0,690±0,003	F	Raramente
C6	0,109±0,002	M	12x/mês
C7	0,520±0,049	F	4x/mês
C8	0,111±0,002	F	3x/mês
C9	0,436±0,008	M	3x/mês
C10	0,100±0,002	M	2x/mês
C11	0,313±0,000	M	2x/mês
C12	0,130±0,004	F	2x/mês
C13	0,103±0,002	M	12x/mês
C14	0,076±0,004	F	1x/mês
C15	0,098±0,003	F	8x/mês
C16	0,104±0,002	F	1x/mês
C17	0,243±0,017	F	8x/mês
C18	0,457±0,001	F	8x/mês
C19	0,133±0,001	F	2x/mês
C20	0,921±0,048	F	4x/mês
C21	0,237±0,007	F	8x/mês
C22	0,040±0,002	F	4x/mês
C23	0,117±0,001	F	2x/semestre
C24	0,230±0,001	F	1x/mês
C25	0,195±0,004	F	2x/mês
C26	0,649±0,001	F	1x/mês
C27	0,369±0,001	F	2x/mês
C28	0,171±0,002	F	2x/mês
C29	0,125±0,000	F	1x/mês
C30	0,070±0,000	M	1x/mês

FONTE: Arquivos dos autores

TABELA 7 – Concentração de Hg ($\mu\text{g g}^{-1}$) por DMA no material de referência IAEA 086, certificado em $0,573 \mu\text{g g}^{-1}$ e com intervalo de confiança a 95% de $0,534$ a $0,612 \mu\text{g g}^{-1}$

Material de Referência	Concentração de Hg por DMA ($\mu\text{g g}^{-1}$)
"Human Hair" IAEA-086	0,622
	0,615
	0,614
	0,616
	0,606
	0,575
$(\bar{x} \pm s)$	$0,608 \pm 0,017$
Desvio padrão relativo (%)	2,8 %
Erro relativo (%)	6,1 %

FONTE: Arquivos dos autores

Os resultados obtidos para o material de referência IAEA-86 podem ser considerados como satisfatórios para esse nível de concentração.

As figuras a seguir demonstram em gráficos os resultados obtidos a partir da análise das amostras de cabelo:

FIGURA 26 – Concentração média de mercúrio (Hg) nas amostras de cabelo de crianças dos municípios de Chapada de Natividade/TO e Porto Nacional/TO

*p = 0,02 (p<0,05)

FONTE: Arquivos dos autores

FIGURA 27 – Distribuição sequencial da concentração média de mercúrio (Hg) nas amostras de cabelo de crianças dos municípios de Chapada de Natividade/TO (pontos vermelhos) e Porto Nacional/TO (pontos azuis).

FONTE: Arquivos dos autores

FIGURA 28 – Concentração média de mercúrio (Hg) nas amostras de cabelo de crianças dos municípios de Chapada de Natividade/TO e Porto Nacional/TO em relação ao consumo mensal de peixes.

*p = 0,03 (p < 0,05)

FONTE: Arquivos dos autores

FIGURA 29 – Concentração média de mercúrio (Hg) nas amostras de cabelo de crianças dos municípios de Chapada de Natividade/TO e Porto Nacional/TO distribuída de acordo com a frequência de consumo mensal de peixes.

FONTE: Arquivos dos autores

FIGURA 30 – Concentração média de mercúrio (Hg) nas amostras de cabelo de crianças dos municípios de Chapada de Natividade/TO e Porto Nacional/TO em relação ao gênero.

* $p = 0,01$ ($p < 0,05$)

FONTE: Arquivos dos autores

FIGURA 31 – Concentração média de mercúrio (Hg) nas amostras de cabelo de crianças do município de Chapada de Natividade/TO em relação à profissão dos pais ou responsáveis.

$p = 0,27$ ($p > 0,05$)

FONTE: Arquivos dos autores

FIGURA 32 – Concentração média de mercúrio (Hg) nas amostras de cabelo de crianças dos municípios de Chapada de Natividade/TO e Porto Nacional/TO em relação à presença ou ausência de amálgama dentário.

* $p = 0,02$ ($p < 0,05$)

FONTE: Arquivos dos autores

A TAB. 8 descreve os resultados obtidos a partir da análise de mercúrio em amostras de peixes pela técnica de CVAAS pelo aparelho FIMS.

TABELA 8 – Resultado das análises de mercúrio em amostras de peixes mais consumidos na região de Chapada de Natividade - TO.

Espécie de peixe analisada	Concentração de Hg ($\mu\text{g g}^{-1}$)
PI 1-Piau	0,02956 $\pm$ 0,00026
PI 2-Piau	0,03744 $\pm$ 0,00068
PM 1-Pacú	0,04454 $\pm$ 0,00067
PM 2-Pacú	0,03600 $\pm$ 0,00028
TB 1-Tambaqui	0,03819 $\pm$ 0,00032
TB 2-Tambaqui	0,03109 $\pm$ 0,00144
CG 1-Caranha	0,04353 $\pm$ 0,00034
CG 2-Caranha	0,04175 $\pm$ 0,00066

FONTE: Arquivos dos autores

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A alta toxicidade do mercúrio e seus compostos é conhecida em relação a humanos e ao ecossistema. A exposição do homem a doses elevadas de Hg pode ser letal, mas doses baixas podem ter repercussões adversas graves ao desenvolvimento neurológico, cardiovascular, imunológico e reprodutivo. No meio ambiente, o Hg é persistente e pode retardar as atividades microbiológicas nos solos, além de se transformar em metilmercúrio no meio aquático, forma mais tóxica para os organismos. Em humanos, o MeHg pode atravessar a barreira placentária e se concentrar no Sistema nervosa central, inibindo potencialmente o desenvolvimento cerebral do feto, representando desse modo uma preocupação relevante para mulheres em idade fértil e crianças. (FARIAS et al., 2008)

Em ambientes de trabalho, a exposição ao mercúrio deveria ser mínima ou inexistente, uma vez que não existem elementos para estabelecer limites seguros sanitários a essa exposição. Além disso, a vida média biológica do Hg no cérebro é desconhecida, e sua acumulação na célula nervosa parece ocorrer por toda a vida, inclusive com persistência das consequências clínicas ou até intensificação de sintomas ligados às funções cognitivas e emocionais mesmo após afastamento do contato com o mercúrio. (FARIA, 2003)

O Ministério da Previdência Social Brasileiro sob o decreto nº 6957 descreve as doenças causadas pela exposição ocupacional ao mercúrio que são: transtorno de personalidade e comportamento; episódios depressivos; neurastenia; transtorno mental orgânico não especificado; outros transtornos mentais; ataxia cerebelar; outras formas especificadas de tremor; transtornos extrapiramidais do movimento não especificados; encefalite tóxica crônica; encefalopatia tóxica aguda; arritmias cardíacas; gengivite crônica; estomatite ulcerativa crônica; dermatite alérgica de contato; doença glomerular crônica; e nefropatia túbulo-intersticial. (BRASIL, 2009)

As crianças participantes dessa pesquisa foram examinadas por Médica de Família e Comunidade durante o preenchimento do protocolo de trabalho e não houve registro de nenhuma doença causada por exposição ao mercúrio no momento da coleta.

6.1 Determinação de mercúrio em cabelos de crianças

O Ministério do Meio Ambiente do Japão descreveu que a concentração de mercúrio no cabelo é um marcador biológico frequentemente usado para exposição ao MeHg porque reflete a concentração no sangue na ocasião em que o cabelo foi formado. (JAPÃO, 2004)

Além disso, uma amostra de cabelo provê um método de amostragem simples e não invasiva, com maior adesão dos participantes, e com metodologia de armazenamento que oferece uma boa preservação da amostra (SILVA, 2012 e JAPÃO, 2004). Como indicador biológico, amostras de cabelo possuem a vantagem de refletir elementos químicos por períodos mais longos, dependendo do comprimento do cabelo, ao contrário de biomonitores como sangue e urina que refletem concentrações transitórias (PALETTI, 1999).

Nas crianças participantes desse estudo, optamos pelas amostras de cabelo devido seus benefícios de coleta e armazenamento, além de refletir valores acumulados de mercúrio ao longo do tempo, ao contrário das amostras de urina que refletem exposição recente e das amostras de sangue que são invasivas e de difícil armazenagem.

As TAB. 5 e 6 descrevem detalhadamente os resultados das concentrações individuais médias de Hg e desvio padrão nas amostras de cabelo das crianças de Porto Nacional – TO e Chapada de Natividade – TO, respectivamente.

A TAB. 7 demonstra os valores obtidos na análise do material de referência Human Hair IAEA 086 pelo método DMA.

6.2 Discussão dos dados obtidos para mercúrio nos cabelos de crianças nas áreas estudadas

Em análise de mercúrio pelo método de Espectroscopia de Fluorescência Atômica com geração de vapor frio no contexto do estudo NANHES

– National Health and Nutrition Examination Survey sobre exposição de mercúrio em crianças de 1 a 5 anos de idade e em mulheres em idade fértil, os autores obtiveram médias geométricas de concentração de mercúrio total de $0,12 \mu\text{g.g}^{-1}$ no público infantil e consideraram que o estudo constitui uma base de dados de referência para concentrações de mercúrio em cabelos de crianças nos Estados Unidos (MCDOWELL et al., 2004). No contexto do projeto europeu DEMOCOPHES, realizado em 17 países, a concentração média de Hg no cabelo das crianças de 6 a 11 anos de idade foi de $0,14 \mu\text{g.g}^{-1}$, sendo que o consumo de peixes e o status social foram identificados como determinantes independentes nos níveis de mercúrio (CASTAÑO et al., 2015).

A biomonitoração de mercúrio em urina e cabelo de crianças entre 6 e 9 anos de idade realizada por Molina-Villalba et al. (2015) em região próxima à área de mineração e indústria na Espanha, determinou mediana de mercúrio total de $0,91 \mu\text{g.g}^{-1}$, abaixo do limite considerado seguro pelo National Research Council (NRC) de $1,0 \mu\text{g.g}^{-1}$ (NRC, 2000), porém com valor muito acima da referência europeia de $0,14 \mu\text{g.g}^{-1}$ (CASTAÑO et al., 2015) e da americana de $0,12 \mu\text{g.g}^{-1}$ (MCDOWELL et al., 2004).

A FIG. 26 demonstra que a concentração média de mercúrio nas crianças de Chapada de Natividade ($0,249 \mu\text{g.g}^{-1}$) foi significativamente ($p < 0,05$) maior do que nas crianças de Porto Nacional ($0,157 \mu\text{g.g}^{-1}$), quando analisadas pelo método T de Student no Software Excel, sendo que os valores obtidos em Porto Nacional se assemelham às recomendações americanas de $0,12 \mu\text{g.g}^{-1}$ (MCDOWELL et al., 2004) e européias de $0,14 \mu\text{g.g}^{-1}$ (CASTAÑO et al., 2015), das quais ambas se encontram abaixo dos limites de segurança estabelecido pela NRC de $1,0 \mu\text{g.g}^{-1}$ (NRC, 2000).

Podemos observar na FIG. 27 a distribuição gráfica das concentrações médias de Hg nas amostras estudadas que algumas crianças de Chapada de Natividade apresentaram valores muito mais elevados que a média, porém nenhum valor excedeu a concentração de $1,0 \mu\text{g.g}^{-1}$ recomendada pelo National Research Council (NRC, 2000).

Fazendo uma comparação com os valores encontrados na literatura científica, os autores observaram que as médias geométricas obtidas no presente

trabalho, de $0,18 \mu\text{g g}^{-1}$ e $0,14 \mu\text{g g}^{-1}$ de concentração de Hg, para as crianças de Chapada de Natividade e Porto Nacional, respectivamente, aproximam-se dos valores obtidos no estudo americano NANHES de $0,12 \mu\text{g g}^{-1}$ (MC DOWELL et al., 2004) e no estudo europeu DEMOCOPHES de $0,14 \mu\text{g g}^{-1}$ (CASTAÑO et al., 2015).

As médias aritméticas encontradas no presente trabalho, por outro lado, de $0,249$ e $0,157 \mu\text{g g}^{-1}$, também para as crianças de Chapada de Natividade e Porto Nacional, respectivamente, estiveram bem abaixo das reportadas por Molina-Villalba et al. (2015), para crianças de 6 a 9 anos de idade, em Huelva, na Espanha, que foi de $1,282 \mu\text{g g}^{-1}$ de Hg. Os autores espanhóis atribuem esses altos valores à exposição ambiental, visto que essas crianças habitam regiões próximas a atividades industriais e de mineração.

As médias aritméticas encontradas por Malm et al. (2010), em um estudo realizado com crianças de população ribeirinha do Rio Tapajós, na Amazônia, foram ainda mais altas, de $12,4 \mu\text{g g}^{-1}$ de Hg e os autores atribuem esse fato ao alto consumo de peixes da região.

As concentrações de Hg médias e desvio padrão estão detalhadas nas TAB. 3 e 4 que se referem às amostras dos municípios de Porto Nacional – TO e Chapada de Natividade – TO, respectivamente.

Em estudo realizado em três comunidades da Amazônia Brasileira, sendo duas com proximidade a minas de ouro e uma distante de área de mineração, os autores salientam que atividades de indústria e mineração de ouro, além de outras possíveis fontes naturais ou antrópicas podem ser responsáveis pelo aumento das concentrações de mercúrio no meio ambiente da região e que as crianças são mais vulneráveis à essa exposição por mercúrio (MARINHO et al., 2014).

De acordo com Pinheiro et al. (2000), diversos autores admitem que o consumo de peixe advindo de regiões próximas a zonas de garimpagem configura uma potencial via de exposição de crianças e adultos ao mercúrio na Amazônia.

A exposição ao metilmercúrio por ingestão de peixes e mariscos contaminados pode resultar em efeitos tóxicos irreversíveis ao sistema nervoso

central (SNC). Em Minamata, na região sudoeste do Japão, foi descrito pela primeira vez em 1956 uma síndrome decorrente da intoxicação por MeHg descarregado em águas residuais de uma fábrica de produtos químicos. Esta síndrome passou a ser chamada de Doença de Minamata e seus sintomas típicos são: distúrbios sensoriais, ataxia, disartria, constrição do campo visual, distúrbios auditivos e tremores. (HARADA, 1995)

Harada (1995) descreveu a evolução da contaminação ambiental em cinco estágios: 1 – contaminação ambiental pelo vapor de mercúrio; 2 – contaminação do solo e água sofrendo processo de metilação, originando derivados orgânicos; 3 – o mercúrio orgânico passa a se concentrar na cadeia alimentar aquática; 4 – o ser humano acumula o metal pela ingestão de peixes; e 5 – ocorre, então, o aparecimento dos sinais e sintomas da doença de Minamata.

No estudo NANHES, os autores observaram que a média geométrica da concentração de Hg em crianças que consomem peixe com frequência (pelo menos 1 vez por semana) é duas vezes maior do que em não consumidores (MCDOWELL et al., 2004). No entanto, observamos nas FIG. 28 e 29 que crianças consumidoras frequentes de peixe (maior ou igual a 4 vezes por mês) possuem concentração de Hg maior que as não consumidoras ou de baixo consumo (consumo menor que 4 vezes ao mês), mas sem diferença estatística significativa ($p > 0,05$), o que sugere que outros fatores ambientais possam estar correlacionados com a exposição ao mercúrio. Inclusive, ao analisar estatisticamente as crianças com baixo consumo de peixe, houve uma diferença significativamente maior das amostras de Chapada de Natividade/TO em relação às amostras de Porto Nacional/TO.

Schmidt (2012) afirma que um terço do mercúrio inorgânico emitido por indústria mineira vai para o ar, enquanto o restante vai para os resíduos da exploração mineira em solo e cursos hídricos. Nos ecossistemas aquáticos, parte do mercúrio inorgânico é convertido por micróbios em metilmercúrio orgânico, que se acumula nos peixes. Ambas formas (inorgânica e orgânica) podem causar problemas neurológicos, no entanto, o metilmercúrio é considerado mais neurotóxico por atravessar a barreira hematoencefálica com mais facilidade. Em crianças, essa neurotoxicidade pode ocasionar diminuição no Quociente de Inteligência, atraso na fala, entre outros déficits no desenvolvimento

neuropsicomotor, sendo que exposições no início da vida são mais prejudiciais. Exposições mais tardias produzem danos mais localizados no cerebelo, córtex visual e lâminas motoras.

Molina-Villalba et al. (2015) avaliaram a potencial contribuição de gênero, consumo de água, local de residência e índice de massa corporal para as concentrações de metais em crianças de 6 a 9 anos de idade, habitantes há pelo menos um ano em uma região próxima a áreas de mineração e indústria na Espanha, considerada como um dos estuários mais poluídos do mundo devido às descargas oriundas de mineradoras e indústrias. Os autores concluíram que as meninas apresentaram valores de concentração média de Hg significativamente maior que os meninos, sugerindo influência do gênero.

Os resultados de Molina-Villalba et al. (2015) vão ao encontro dos obtidos neste trabalho, em que a concentração média de Hg em meninas foi superior aos valores obtidos em meninos (FIG 30), independente da habitação, porém com $p > 0,05$, o que pode revelar que não houve influência significativa do gênero nos valores obtidos nas cidades tocantinenses. Vale ressaltar que ao comparar as concentrações do gênero feminino entre os dois municípios, as meninas de Chapada de Natividade/TO apresentaram valores significativamente maior que as meninas de Porto Nacional ($p = 0,01$).

FIGURA 33 – Quintal de um garimpeiro: a) galinheiro; b) garimpo; c) casa.

FONTE: Arquivos dos autores

Durante as coletas de amostras de cabelo nas crianças de Chapada de Natividade e de Porto Nacional não foi identificado nenhum caso de trabalho infantil em minas artesanais de ouro. Todavia, algumas famílias habitavam em casas edificadas no mesmo terreno das minas de garimpo artesanal (FIG. 33 e 34), principalmente quando os pais ou responsáveis trabalhavam como garimpeiros.

FIGURA 34 – Garimpo no quintal da casa de um garimpeiro.

FONTE: Arquivos dos autores

Algumas crianças relataram brincar próximo dos locais onde se praticava a "despesca" do ouro, estando susceptíveis à inalação do mercúrio vaporizado.

FIGURA 35 – Galinheiro no quintal da casa de um garimpeiro.

FONTE: Arquivos dos autores

Além dos riscos de exposição ambiental na residência, as famílias também se apresentavam expostas ao mercúrio por rejeitos despejados no solo, expondo ao mercúrio animais domésticos e para consumo como frangos e porcos (FIG. 35). Foi identificado que as crianças que apresentavam seus pais ou responsáveis trabalhadores do garimpo obtiveram concentrações médias de Hg maiores que as que tinham pais trabalhadores de outras profissões, porém sem diferença estatisticamente significativa (FIG. 31), o que sugere que a exposição ambiental possa se estender às casas que não possuem garimpo.

Schmidt et al. (2012), descrevem que a maioria dos mineiros não estão cientes dos riscos envolvidos na manipulação do mercúrio, sendo que os que estão cientes, muitas vezes não têm acesso a alternativas mais seguras para a extração de ouro.

As crianças são mais frequentemente expostas ao mercúrio, principalmente quando este é utilizado inadequadamente ou quando não é feita a higiene adequada do mercúrio derramado acidentalmente. Termômetros quebrados são a fonte de exposição mais comum, com base em chamadas para centros de atendimento toxicológicos. No entanto, essas chamadas estão diminuindo. Esta redução pode refletir a disponibilidade decrescente de termômetros de mercúrio. O cenário de exposição típico envolve relativamente pequenas quantidades de mercúrio, sem relatos de doenças em humanos. (LEE et al., 2009)

Apenas duas crianças participantes dessa pesquisa apresentaram histórico de acidente com termômetro de mercúrio, sendo uma de Chapada de Natividade com concentração média de Hg de $0,076 \mu\text{g g}^{-1}$, acidentada há cerca de 4 anos e a outra de Porto Nacional com acidente há cerca de 1 mês e concentração média de Hg de $0,078 \mu\text{g.g}^{-1}$.

Cipriano et al. (2000) desenvolveram estudo com crianças na faixa etária de 4 a 8 anos, residentes na cidade de São Paulo, no qual foi analisado o teor de mercúrio nos cabelos, antes e após tratamento dentário no qual foi utilizado amálgama. Existe bastante controvérsia sobre os efeitos tóxicos dos amálgamas utilizados em tratamentos odontológicos, não havendo ainda um consenso sobre essa questão. As amostras de cabelos foram coletadas e

tratadas segundo o protocolo da AIEA-Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA,1987) e as análises de mercúrio foram realizadas pelo método de análise por ativação neutrônica. Encontraram-se teores de mercúrio com variação entre 0,06 e 0,34 $\mu\text{g.g}^{-1}$ para as crianças antes do tratamento com amálgama e entre 0,06 e 0,38 $\mu\text{g.g}^{-1}$ para as crianças após o tratamento.

Silva et al. (2014) descrevem que restaurações de amálgama liberam mercúrio elementar na cavidade bucal que pode ser inalado, absorvido pelo sangue e levado aos tecidos e órgãos diversos.

Os resultados encontrados neste estudo (FIG 32) sugerem que a concentração de mercúrio em crianças com amálgama é maior que nas crianças sem amálgama. Comparando as médias através do teste t observamos um $p > 0,05$, determinando que os grupos não possuem diferença estatisticamente significantes com relação à presença ou ausência de amálgama.

No entanto, as crianças de Chapada de Natividade com ou sem amálgama tiveram valores estatisticamente significantes em relação às crianças de Porto Nacional com Amálgama pelo teste t de Student ($p = 0,03$ e $p = 0,02$ respectivamente). O que reafirma a influência da área de residência na exposição mercurial.

Apesar de Montuori et al. (2006) descreverem que a concentração de Hg em cabelos de crianças está relacionada principalmente ao consumo de peixes, podendo também ser influenciada pelo gênero e área de residência, podemos afirmar que nas cidades estudadas no estado do Tocantins-Brasil, a única influência com diferença estatisticamente significativa para a concentração de Hg em cabelos de crianças foi a área de residência, com maiores níveis na região exposta ao garimpo em Chapada de Natividade/TO.

No Brasil, o Timerosal é utilizado como conservante em algumas vacinas administradas na infância, dentre as quais as vacinas contra Hepatite B, DTP e Influenza (BRASIL, 2014). Porém, não houve neste estudo relação entre o uso de Timerosal e problemas de saúde decorrentes da exposição ao mercúrio. Todas as crianças participantes da pesquisa apresentavam cartão de vacinação completo, com todas as vacinas previstas para a idade administradas e registradas, inclusive as vacinas que contém Timerosal, e nenhuma delas

apresentou problemas de neurodesenvolvimento, autismo, problemas de linguagem ou neurotoxicidade, o que vai ao encontro do previsto por PORRAS (2010).

6.3 Determinação de mercúrio em amostras de peixes

A ingestão de pescado em populações ribeirinhas residentes em áreas de exploração mineral tem sido relacionada com níveis importantes de exposição ao mercúrio. Milhomem-Filho et al. (2016) afirmam que, apesar de poucos estudos, não há evidências de exposição humana através da alimentação no Tocantins.

Os limites de concentração de mercúrio Total em pescados recomendados mundialmente variam de 0,5 a 1,0 $\mu\text{g.g}^{-1}$ (WHO, 2008), valores também recomendados pela legislação brasileira (BRASIL, 1998). Esses valores recomendados estão muito acima dos obtidos em análise preliminar desse estudo, demonstrada na TAB. 8, em que a média da concentração individual das amostras de peixe mínima foi de 0,029 $\mu\text{g.g}^{-1}$ e a máxima de 0,044 $\mu\text{g.g}^{-1}$, valores muito abaixo do recomendado, porém com necessidade de estudo mais aprofundado para determinar significância estatística desse resultado.

7 CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que a concentração média de Hg em amostras de cabelo de crianças em área exposta ao garimpo no município de Chapada de Natividade-TO foi significativamente maior que em área não exposta ao garimpo no município de Porto Nacional-TO.

Não houve diferença estatística relacionada ao gênero dos participantes, nem com relação ao consumo mensal de peixes, ou quanto à profissão dos responsáveis, nem mesmo relação significativa com acidentes envolvendo termômetro de mercúrio ou presença de amálgama nos dentes.

Análises de amostras de peixes mais consumidos na região exposta ao garimpo apontam concentrações de mercúrio abaixo dos valores recomendados, necessitando de estudo mais aprofundado.

Os resultados sugerem que as crianças habitantes em região exposta ao garimpo estão mais expostas ambientalmente ao mercúrio, independente de seus hábitos alimentares ou gênero.

APÊNDICES

Apêndice A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado (a) como voluntário (a) a participar da pesquisa: **Avaliação dos teores de mercúrio em cabelos de crianças residentes em área de garimpo no município de Chapada de Natividade - Tocantins**, de autoria da médica **Seyna Ueno Rabelo Mendes**.

O motivo que nos leva a estudar o problema é a possibilidade de contaminação com mercúrio ambiental em área de garimpo, uma vez que o mercúrio pode causar vários problemas de saúde na população exposta. A pesquisa se justifica pela importância de identificar possível contaminação mercurial nas crianças expostas ao mercúrio no meio ambiente. O objetivo desse projeto é avaliar os teores de mercúrio em cabelos de crianças residentes em área de garimpo.

A criança participante do estudo terá o desconforto mínimo de ser submetida à coleta de amostra de cabelo, que é um procedimento indolor e que representa uma das principais técnicas para análise de contaminação mercurial, além de ser realizada uma avaliação clínica ampla por profissional especialista em Medicina de Família e Comunidade, o que levará a uma oportunidade de diagnóstico precoce.

FORMA DE ACOMPANHAMENTO E ASSINTÊNCIA: Caso o (a) participante apresente alteração nos exames realizados será encaminhado ao serviço de Atenção Básica pertencente ao Sistema Único de Saúde (SUS) do município de origem para resolução clínica ou para serviço de Atenção Especializada conforme fluxograma do SUS da região.

GARANTIA DE ESCLARECIMENTO, LIBERDADE DE RECUSA E GARANTIA DE SIGILO: Você será esclarecido (a) sobre a pesquisa em qualquer aspecto que desejar. Você é livre para recusar-se a participar, retirar seu consentimento ou interromper a participação a qualquer momento. A sua participação é voluntária e a recusa em participar não irá acarretar qualquer penalidade ou perda de benefícios.

O (s) pesquisador (es) irá (ão) tratar a identidade dos participantes com padrões profissionais de sigilo. Os resultados do exame clínico e da análise laboratorial da amostra de cabelo serão enviados para você e permanecerão confidenciais. O

Rubrica do Participante:

Rubrica do Pesquisador

nome do participante ou o material que indique a sua participação não será liberado sem a sua permissão. Os participantes não serão identificados (as) em nenhuma publicação que possa resultar deste estudo. Uma cópia deste consentimento informado será arquivada pelos pesquisadores envolvidos e outra será fornecida a você.

CUSTOS DA PARTICIPAÇÃO, RESSARCIMENTO E INDENIZAÇÃO POR EVENTUAIS DANOS: A participação no estudo não acarretará custos para você e não será disponível nenhuma compensação financeira adicional

DECLARAÇÃO DO PARTICIPANTE OU DO RESPONSÁVEL PELA CRIANÇA PARTICIPANTE:

Eu, _____,
responsável legal pela criança _____,
fui informado (a) dos objetivos da pesquisa acima
de maneira clara e detalhada e esclareci minhas dúvidas. Sei que em qualquer
momento poderei solicitar novas informações e motivar minha decisão se assim o
desejar. A pesquisadora Seyna Ueno Rabelo Mendes me certificou de que todos
os dados desta pesquisa serão confidenciais.

Também sei que caso existam gastos adicionais, estes serão absorvidos pelo
orçamento da pesquisa. Em caso de dúvidas poderei contatar a pesquisadora
Seyna Ueno Rabelo Mendes no telefone (63) 9973-6732.

Declaro que concordo em participar desse estudo. Recebi uma cópia deste termo
de consentimento livre e esclarecido e me foi dada a oportunidade de ler e
esclarecer as minhas dúvidas.

Nome	Assinatura do Participante	Data
Nome	Assinatura do Pesquisador	Data
Nome	Assinatura da Testemunha	Data

Rubrica do Participante:

Rubrica do Pesquisador

Apêndice B – Protocolo de Coleta de Amostra de Cabelo

PROTOCOLO DE COLETA DE AMOSTRA DE CABELO

IDENTIFICAÇÃO		
Código da Amostra:	Data da Coleta da Amostra: ____/____/____	
Nome Completo:		
Data de Nascimento: ____/____/____	Idade:	Raça:
Nome da Mãe:		
Nome do Pai:		
Responsável:		
Endereço:		
Bairro:	Cidade:	
Tempo de residência nesse endereço:	Telefones:	
Endereço anterior:		
Ocupação da Mãe:	Carga Horária/dia:	Semanal:
Ocupação do Pai:	Carga Horária/dia:	Semanal:
HÁBITOS ALIMENTARES		
Consumo de Carne		
Vermelha: () Não () Sim	Frango: () Não () Sim, procedência: () Caipira () Granja	
Peixe: () Não () Sim	Frequência:	Quantidade:
Procedência: () Feira () Mercado _____ () Rio _____		
Frutos do Mar: () Não () Sim	Frequência:	Quantidade:
Consumo de Vegetais		
Verduras: Quais?		
Frequência:	Quantidade:	Procedência: () Quintal/Mato () Feira () Mercado
Legumes: Quais?		
Frequência:	Quantidade:	Procedência: () Quintal/Mato () Feira () Mercado
Frutas: Quais?		
Frequência:	Quantidade:	Procedência: () Quintal/Mato () Feira () Mercado
Consumo de Leite e Derivados		
() Leite de Gado Puro () Leite em pó () Leite de Caixa () Iogurte () Queijo () Queijo Artesanal		

CONSUMO DE ÁGUA DE BEBER		
() Mineral. Marca: _____ () Filtrada (Filtro de Parede) () Filtrada (Filtro de Barro)		
() Torneira / Saneatins () Poço () Rio. Qual: _____		
Quantidade de Água ingerida por dia:		
CONSUMO DE ÁGUA DE BANHO		
() Chuveiro ou Torneira / Saneatins () Poço () Rio. Qual: _____		
TRATAMENTO DO CABELO		
() Shampoo () Condicionador () Sabonete () Sabão em Barra () Nenhum Produto		
() Shampoo Anti-Caspa	Alisamento ou Permanente: () Não () Sim	
Tintura: () Não () Sim. Marca: _____		
HISTÓRICO DE SAÚDE E DOENÇA		
Local de Nascimento:	Tipo de Parto:	
Peso ao nascer:	Altura ao nascer:	
Peso atual:	Altura atual:	
Vacinas em dia: () Sim () Não. Atrasadas:		
Sofre de alguma doença: () Não () Sim. Qual(is):		
Faz uso de algum medicamento: () Não () Sim. Qual(is):		
Obturações/Amálgama: () Sim () Não	Lesões orais: () Sim () Não	Cáries Visíveis: () Sim () Não
Já teve acidente com quebra de termômetro: () Não () Sim		Se sim, quando?
Fumante Passivo: () Não () Sim	Se sim, número de fumantes na casa:	
Exame Físico Geral:		
Ausculta Pulmonar:		
Ausculta Cardíaca:		
Abdome:		
Pele/Couro cabeludo:	Mancha de sangue seco ao nascer: () Não () Sim	
Ototoxicidade/Otoscopia:		
Avaliação Neurológica/Neuropsicomotora/TDAH:		
Observações Gerais		

Apêndice C – Dados clínicos, familiares e alimentares das crianças

Dados Clínicos, Familiares e Alimentares das Crianças

Código Amostra	M /F	Peso, altura e idade	Consumo de Peixe	Familiar em garimpo	Avaliação clínica	Concentração Hg ($\mu\text{g g}^{-1}$)
C01	F	19,1 kg 1,15 m 5a 3m	1x/mês	-	Molusco contagioso, amálgama dentário, cáries e DNPM normal	0,211 0,199
C02	F	13,9 kg 1,1 m 5a 0m	1x/semana	Pai	Fumante passivo (2 pessoas na casa) e DNPM normal	0,354 0,357
C03	F	20,5 kg 1,14 m 5a 7m	4x/semana	-	Lesões orais, cáries e DNPM normal	0,110 0,106
C04	M	20,6 kg 1,19 m 5a 6m	2x/semana	-	DNPM normal	0,064 0,057
C05	F	21,5 kg 1,22 m 6a 9m	Raramente	-	Otite atual, cáries, história pregressa de IVAS de repetição, fumante passivo (1 pessoa na casa) e DNPM normal	0,688 0,692
C06	M	17,4 kg 1,13 m 6a 1m	3x/semana	-	Anemia, amígdalas hipertróficas, cáries, fumante passivo (1 pessoa na casa) e DNPM normal	0,107 0,111
C07	F	17,8 kg 1,08 m 5a 10m	1x/semana	-	DNPM normal	0,554 0,485
C08	F	12,2 kg 0,98 m 5a 0m	3x/mês	-	DNPM normal	0,109 0,113
C09	M	21,5 kg 1,18 m 6a 5m	3x/mês	-	Membrana Timpânica Opaca bilateral, amálgama dentário, crise de ausência há 1 ano e DNPM normal	0,442 0,431
C10	M	18,0 kg 1,10 m 5a 0m	2x/mês	Pai	Membrana Timpânica escurecida à direita e OD normal, língua geográfica, amígdalas hipertróficas e DNPM normal	0,101 0,099
C11	M	21,3 kg 1,16 m 5a 6m	2x/mês	Pai (parou há 1 ano)	Mora no garimpo, já manipulou Hg sem proteção, faz uso de shampoo anti-caspa e DNPM normal	0,314 0,313
C12	F	15,1 kg 1,04 m 5a 4m	2x/mês	-	Amputação da falange distal do 4º QD, deformação do 3º QD e DNPM normal	0,133 0,127
C13	M	17,9 kg 1,08 m 5a 0m	3x/semana	-	História de acidente com termômetro há cerca de 4 anos e DNPM normal	0,104 0,101
C14	F	21,5 kg 1,17 m 6a 3m	1x/mês	-	Mancha puntiforme escura em ouvido esquerdo, alergia a poeira, em uso de anti-histamínico e remédio para piolho e DNPM normal	0,079 0,073
C15	F	33,8 kg 1,36 m 6a 4m	2x/semana	-	Puberdade precoce, em uso de Leuprorrelina e DNPM normal	0,101 0,096
C16	F	18,5 kg 1,10 m 6a 4m	1x/mês	-	Hemangioma congênito e DNPM normal	0,106 0,102

Código Amostra	M /F	Peso, altura e idade	Consumo de Peixe	Familiar em garimpo	Avaliação clínica	Concentração Hg ($\mu\text{g g}^{-1}$)
C17	F	13,8 kg 1,00 m 5a 0m	2x/semana	-	Dermatite atópica e impetigo em face, Otite externa, Mancha linear escurecida em ouvido esquerdo, Cáries, fumante passivo (1 pessoa em casa) e DNPM normal	0,255 0,230
C18	F	22,4 kg 1,22 m 5a 9m	2x/semana	-	Rolha de Cerume em OD, amálgama dentários, cáries e DNPM normal	0,456 0,458
C19	F	23,2 kg 1,22 m 6a 2m	2x/mês	-	Hemangioma Congênito, Rolha de Cerume, amígdalas hipertróficas, cáries, história de atopia e história de bronquite asmática e DNPM normal	0,134 0,132
C20	F	22,0 kg 1,20 m 6a 11m	1x/semana	-	Língua geográfica, fumante passivo (2 pessoas na casa) e DNPM normal	0,887 0,956
C21	F	18 kg 1,07 m 5a 8m	2x/semana	-	Cáries, fumante passivo (1 pessoa na casa) e DNPM normal	0,242 0,232
C22	F	18,7 kg 1,00 m 5a 3m	1x/semana	Pai (antes trabalhava com cerâmica e asfalto)	Cáries, fumante passivo (1 pessoa na casa) e DNPM normal	0,041 0,038
C23	F	18 kg 1,16 m 5a 11m	2x/semestr e	-	Cáries e DNPM normal	0,118 0,116
C24	F	18,0 kg 1,10 m 5a 7m	1x/mês	Padrasto	Cicatriz de fenda palatino e lábio leporino, Cáries, em uso de aparelho fixo ortodôntico, fumante passivo (2 pessoas na casa) e DNPM normal	0,230 0,231
C25	F	19 kg 1,11 m 6a 1m	2x/mês	-	Hérnia Umbilical, Rolha de Cerume, Cáries, fumante passivo (1 pessoa na casa que parou há 2 meses) e DNPM normal	0,198 0,192
C26	F	17,8 kg 1,13 m 5a 0m	1x/mês	Padrasto	Cáries, história de dente de leite com amálgama extraído há cerca de 1 ano e DNPM normal	0,648 0,650
C27	F	18,0 kg 1,11 m 5a 0m	2x/mês	Pai (garimpo industrial)	Hemangioma congênito, abdome distendido, fumante passivo (1 pessoa na casa) e DNPM normal	0,370 0,369
C28	F	16 kg 1,10 m 6a 3m	2x/mês	-	Impetigo, Membrana timpânica opaca, otorrêia discreta bilateral, cáries, fumante passivo (1 pessoa na casa) e DNPM normal	0,172 0,170
C29	F	22 kg 1,19 m 6a 2m	1x/mês	-	DNPM normal	0,125 0,124
C30	M	24 kg 1,23 m 6a 2m	1x/mês	-	Cerume e DNPM normal	0,070 0,070
P01	F	32 kg 1,20 m 6a 11m	1x/semana	-	Amálgama dentário, faz uso de shampoo anti-caspa, fumante passivo (1 pessoa na casa) e DNPM normal	0,170 0,165

Código Amostra	M /F	Peso, altura e idade	Consumo de Peixe	Familiar em garimpo	Avaliação clínica	Concentração Hg ($\mu\text{g g}^{-1}$)
P02	M	25,5 kg 1,22 m 5a 3m	1x/mês	-	Estrófilos, impetigo, cáries e DNPM normal	0,080 0,077
P03	F	15,0 kg 1,02 m 5a 10m	2x/mês	-	Sopro Holossistólico em foco Pulmonar, cardiopatia congênita, estenose supralvar pulmonar e insuficiência arterial pulmonar grau discreto, amálgama dentário, cáries, fumante passivo (2 pessoas na casa) e DNPM normal	0,087 0,078
P04	F	22,5 kg 1,14 m 5a 10m	Raramente	-	Amigdalite, Rolha de cerume, Conjuntivite, Amálgama dentário, Cáries, fumante passivo (2 pessoas na casa) e DNPM normal	0,178 0,172
P05	F	19,0 kg 1,13 m 6a 1m	3x/semana	-	Amálgama dentário e DNPM normal	0,077 0,075
P06	M	19,0 kg 1,16 m 6a 10m	1x/mês	-	Cáries, fumante passivo (1 pessoa na casa) e DNPM normal	0,230 0,214
P07	F	21,5 kg 1,18 m 6a 2m	2x/semana	-	Cáries, fumante passivo (2 pessoas na casa) e DNPM normal	0,170 0,174
P08	F	20 kg 1,15 m 6a 11m	1x/semana	-	Cáries, história de ITU de repetição, fumante passivo (2 pessoas na casa) e DNPM normal	0,135 0,129
P09	F	24,5 kg 1,21 m 6a 6m	1x/mês	-	Hemangioma Congênito, Cerume à direita, história de bronquite asmática e DNPM normal	0,193 0,192
P10	F	28 kg 1,27 m 6a 10m	1x/mês	-	DNPM normal	0,196 0,193
P11	F	27 kg 1,13 m 5a 4m	Raramente	-	Hemangioma Congênito, Cerume à direita, fumante passivo (1 pessoa na casa) e DNPM normal	0,097 0,098
P12	F	18 kg 1,11 m 6a 0m	1x/semana	-	Cáries, história de atopia em uso de anti-histamínico e corticoides e DNPM normal	0,375 0,375
P13	F	22,5 kg 1,12 m 5a 11m	1x/semana	-	Cáries e DNPM normal	0,178 0,176
P14	F	18,5 kg 1,13m 6a 4m	3x/semana	-	Hemangioma Congênito, Cerume à esquerda, Dermatite Seborreica de Couro Cabeludo, Amálgama dentário, fumante passivo (3 pessoas na casa) e DNPM normal	0,143 0,139
P15	F	19,5 kg 1,18 m 6a 1m	2x/mês	-	História de acidente com termômetro há cerca de 1 mês e DNPM normal	0,080 0,077

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUDELO, P.; GOMÉZ, M. F. e MORENO, C. Descripción del perfil neuropsicológico de cuatro casos con intoxicación por mercurio elemental. **Rev. Chil. Neuropsicol.** 9(1-2): 36-40, 2014.
- AZEVEDO, B. F.; FURIERI, L. B.; PEÇANHA, F. M.; WIGGER, G. A.; VASSALLO, P. F.; SIMÕES, M. R.; FIORIM, J.; BATISTA, P.R.; FIORESI, M.; ROSSONI, L.; STEFANON, I.; ALONSO, M. J.; SULAICES, M. e VASSALLO, D. V. Toxic effects of Mercury on the cardiovascular and central nervous systems. **Journal of Biomedicine and Biotechnology.** 2012: 1-11, 2012.
- BACILA, D. M.; FISCHER, K e KOLICHESKI, M. B. Estudo sobre reciclagem de lâmpadas fluorescentes. **Engenharia Sanitária Ambiental.** Edição Especial: 21-30, 2014.
- BARBONI, M. T. S.; COSTA, M. F.; MOURA, A. L. A.; FEITOSA-SANTANA, C.; GUALTIERI, M.; LAGO, M.; MEDRADO-FARIA, M.A.; SILVEIRA, L.C.L. e VENTURA, D.F. Visual field losses in workers exposed to Mercury vapor. **Environmental Research.** 107(1):124-131, 2008.
- BERINGHS-BUENO, L. A. e PASCALICCHIO, A. E. Homeopatia como modulador da contaminação por mercúrio no sistema imune. **Revista de Homeopatia.** 74(3): 37, 2011.
- BLAUROCK-BUSCH, E. AMIN, O. R. e RABAH, T. Heavy metals and trace elements in hair and urine of a sample of Arab children with autistic spectrum disorder. **Maedica – A Journal of Clinical Medicine.** 6(4): 247 - 257, 2011
- BLAUROCK-BUSCH, E. AMIN, O. R., DESSOKI, H. H. e RABAH, T. Efficacy of DMSA Therapy in a sample of Arab children with autistic spectrum disorder. **Maedica – A Journal of Clinical Medicine.** 7(3): 214 - 221, 2012.
- BOUCHER, O.; JACOBSON, S. W.; PLUSQUELLEC, P.; DEWAILLY, E.; AYOTTE, P.; FORGET-DUBOIS, N.; JACOBSON, J. L. e MUCKLE, G. Prenatal methylmercury, postnatal lead exposure, and evidence of attention deficit/hyperactivity disorder among inuit children in arctic Québec. **Environmental Health Perspectives.** 120(10): 1456-1461, 2012.
- BRASIL. Ministério da Previdência Social. Decreto nº 6957. **Regulamento da Previdência Social.** Diário Oficial da União, Brasília – DF, 09 de setembro de 2009.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 685, de 27 de Agosto de 1998. Aprova o regulamento técnico “**Princípios gerais para o estabelecimento de níveis máximos de tolerância para contaminantes químicos em alimentos e seu anexo limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos**”. Brasília, Ministério da Saúde, 1998.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância das Doenças Transmissíveis. **Manual de normas e procedimentos para vacinação**. Brasília, Ministério da Saúde, 2014.

CÂMARA, V. N. **Estudo comparativo dos efeitos tardios dos fungicidas organo-mercuriais no município de Campos, RJ**. (Tese de Doutorado). Rio de Janeiro (RJ). Escola Nacional de Saúde Pública; 1985.

CAPITANI, E. M.; SOUZA, E. M.; VIEIRA, R. J. e MADUREIRA, P. R. Dermatite de contato por mercúrio elementar com reação a distância. **Anais Brasileiros de Dermatologia**. 84(1): 75-77, 2009.

CARVALHO, N. G.; NOVELLI, C. V. L. e COLELLA-SANTOS, M. F. Fatores na infância e adolescência que podem influenciar o processamento auditivo: revisão sistemática. **Revista CEFAC**. 17(5): 1590-1603, set-out, 2015.

CASAS, I. C.; GÓMEZ, E.; RODRÍGUEZ, L. M.; GIRÓN, S. L. e MATEUS, J. C. Hacia um plan nacional para el control de los efectos del mercúrio em la salud em Colombia. **Biomédica**, 35(2): 30-37, 2015.

CASTAÑO, A.; CUTANDA, F.; ESTEBAN, M.; PÄRT, P.; NAVARRO, C.; GÓMEZ, S.; ROSADO, M.; LÓPEZ, A.; LÓPEZ, E.; EXLEY, K.; SCHINDLER, B. K.; GOVARTS, E.; CASTELEYN, L.; KOLOSSA-GEHRING, M.; FIDDICKE, U.; KOCH, H.; ANGERER, J.; HOND, E. D.; SCHOETERS, G.; SEPAL, O.; HORVAT, M.; KNUDSEN, L. E.; AERTS, D.; JOAS, A.; BIOT, P.; JOAS, R.; JIMÉNEZ-GUERRERO, J. A.; DIAZ, G.; PIRARD, C.; KATSONOURI, A.; CERNA, M.; GUTLEB, A. C.; LIGOCKA, D.; REIS, F. M.; BERGLUND, M.; LUPSA, I. R.; HALZLOVÁ, K.; CHARLIER, C.; CULLEN, E.; HADJIPANAYIS, A.; KRSKOVÁ, A.; JENSEN, J. F.; NIELSEN, J. K.; SCHWEDLER, G.; WILHELM, M.; RUDNAI, P.; KÖZÉPESY, S.; DAVIDSON, F.; FISCHER, M. E.; JANASIK, B.; NAMORADO, S.; GURZAU, A. E.; JAJCAJ, M.; MAZEJ, D.; TRATNIK, J. S.; LARSSON, K.; LEHMANN, A.; CRETTEZ, P.; LAVRANOS, G. e POSADA, M. Fish consumption patterns and hair mercury levels in children and their mothers in 17 EU countries, **Environmental Research**, 141: 58–68, 2015.

CHEN, A.; KIM, S. S.; CHUNG, E. e DIETRICH, K. N. Thyroid hormones in relation to lead, mercury and cadmium exposure in the National Health and Nutrition Examination Survey, 2007-2008. **Environmental Health Perspectives**. 121(2): 181-186, 2013.

CIANCO, A e JACK, B. Cuidados pré-concepcionais. in GUSSO, G. e LOPES, J. M. C. **Tratado de Medicina de Família e Comunidade: princípios, formação e prática**. Porto Alegre, Artmed, 2: 963-974, 2012.

CIPRIANO, R.; DUARTE, D. A.; VASCONCELLOS, M. B. A.; CATHARINO, M. G. M. e PINTO, A. C. G. Análise de mercúrio no cabelo, em crianças tratadas com amálgama dental. **Revista Odontológica da Universidade de Santo Amaro**, 5(2): 65-70, 2000.

CUSACK, L. K.; EAGLES-SMITH, C.; HARDING, A. K.; KILE, M. e STONE, D. Selenium: Mercury molar ratios in freshwater fish in the Columbia River Basin:

potencial applications for specific fish consumption advisories. **Biological Trace Element Research**. 178(1):136-146,2017.

DEUS, C. R. F. **O uso de Timerosal em vacinas, as implicações para o Programa Nacional de Imunizações Brasileiro e a nova Convenção de Minamata sobre o mercúrio**. (Tese de Mestrado). Rio de Janeiro (RJ). Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, 2013.

DICKENSON, C. A.; WOODRUFF, T. J.; STOTLAND, N. E.; DOBRACA, D. e DAS, R. Elevated Mercury levels in pregnant woman linked to skin cream from Mexico. **American Journal of Obstetrics & Gynecology**. e4-e5, 2013.

DUTRA, M. D. S. D.; MONTEIRO, M. C. e CÂMARA, V. M. Avaliação do processamento auditivo central em adolescentes expostos ao mercúrio metálico. **Pró-Fono Revista de Atualização Científica** 22(3): 339-344, 2010.

FARIA, M. A. M. Mercuralismo metálico crônico ocupacional. **Revista de Saúde Pública**. 37(1): 116-127, 2003.

FARIAS, L. A.; SANTOS, N. R.; FAVARO, D. I. T e BRAGA, E. S. Mercúrio total em cabelo de crianças de uma população costeira, Cananéia, São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 24(10): 2249-2256, out, 2008.

HARADA, M. Minamata disease: methylmercury poisoning in Japan caused by environmental pollution. **Crit. Rev. Toxicol**. 25(1): 1-24, 1995.

IAEA - International Atomic Energy Agency. **Reference Methods for Marine Pollution Studies**. Vienna: IAEA, (IAEA-MEL-46), 1987.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Chapada de Natividade – Tocantins**. Disponível em: <http://cod.ibge.gov.br/B1B> Acesso em 01/03/2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Porto Nacional – Tocantins**. Disponível em: <http://cod.ibge.gov.br/21C> Acesso em 01/03/2017.

JAPÃO. Ministério do Meio Ambiente. **Manual de Análises de Mercúrio**. Março, 2004. Traduzido para o português por Terezinha M. Cid de Souza.

KARITA, K.; SAKAMOTO, M.; YOSHIDA, M.; TATSUTA, N.; NAKAI, K.; IWAI-SHIMADA, M.; IWATA, T.; MAEDA, E.; YAGINUMA-SAKURAI, K.; SATOH, H. e MURATA, K. Recent Epidemiological studies on Methylmercury, Mercury and Selenium. **Nihon Eiseigaku Zasshi**. 71(3): 236-251, 2016.

KHOURY, E. D. T.; SOUZA, G. S.; SILVEIRA, L. C. L.; COSTA, C. A.; ARAÚJO, A. A. e PINHEIRO, M. C. N. Manifestações neurológicas em ribeirinhos de áreas expostas ao mercúrio na Amazônia brasileira. **Cadernos de Saúde Pública**. 29(11): 2307-2318, 2013.

LEE, C. C.; CHANG, J. W.; HUANG, H. Y. e CHEN, H. L. Factors influencing blood mercury levels of inhabitants living near fishing areas. **Science of the Total Environment**. 424: 316-321, 2012

LEE, R.; MIDDLETON, D.; CALDWELL, K.; DEARWENT, S.; JONES, S.; LEWIS, B. MONTEILH, C.; MORTENSEN, M. E.; NICKLE, R.; ORLOFF, K.; REGER, M.; RISHER, J.; ROGERS, H.S. e WATTERS M. A review of events that expose children to elemental mercury in the United States. **Environmental Health Perspectives**. 117: 871-878, 2009.

MAIA, M.; ARAÚJO, M. e MIYOSHI, N. **Anais Brasileiros de Dermatologia**. 63(6): 455-457, 1988.

MALM, O.; DÓREA, J.G.; BARBOSA, A.C.; PINTO, F.N. e WELHE, P. Sequential hair mercury in mothers and children from a traditional riverine population of the Rio Tapajós, Amazonia: Seasonal changes. **Environmental Research**, 110(7): 705-709, 2010.

MARINHO, J. S.; LIMA, M. O.; SANTOS, E. C. O.; JESUS, I. M.; PINHEIRO, M. C. N.; ALVES, C. N. e MULLER, R. C. S. Mercury speciation in hair of children in three communities of the Amazon, Brazil. **BioMed Research International**, Article ID 945963, 9 pages, Hindawi Publishing Corporation, 2014.

MAYA, L e LUNA, F. El Timerosal y las enfermedades del neurodesarrollo infantil. **Anais de la Facultad de Medicina de Lima**. 67(3), 2006.

MCDOWELL, M. A.; DILLON, C. F.; OSTERLOH, J.; BOLGER, P. M.; PELLIZZARI, E.; FERNANDO, R.; DE OCA, R. M.; SCHOBER, S. E.; SINKS, T.; JONES, R. L. e MAHAFFEY, K. R. **Hair mercury levels in US children and women of childbearing age: reference range data from NAHNES 1999-2000**. *Environmental Health Perspectives*, 112(11): 1165-1171, 2004.

MENDEZ-VISAG, C. Manejo responsable del mercurio de la amalgama dental: una revision sobre sus repercusiones en la salud. **Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica**. 31(4): 725-732, 2014.

MILHOMEM-FILHO, E. O.; OLIVEIRA, C. S. B.; SILVEIRA, L. C. L.; CRUZ, T. M.; SOUZA, G. S.; COSTA-JUNIOR, J. M. F. e PINHEIRO, M. C. N. A ingestão de pescado e as concentrações de mercúrio em famílias de pescadores em Imperatriz (MA). **Revista Brasileira de Epidemiologia**. 19(1): 14-25, 2016.

MOLINA-VILLALBA, I.; LACASAÑA, M.; RODRIGUEZ-BARRANCO, M.; HERNANDEZ, A. F.; GONZALEZ-ALZAGA, B.; AGUILAR-GARDUÑO, C. e GIL, F. Biomonitoring of arsenic, cadmium, lead, manganese and mercury in urine and hair of children living near mining and industrial areas, **Chemosphere**, 124: 83-91, 2015.

MONDELLI, J. O que o cirurgião-dentista que pratica Odontologia deve saber a respeito do amálgama dentário. **Full Dentist Science**. 5(19): 511-526, 2014.

MONTUORI, P.; JOVER, E.; DÍEZ, S.; RIBAS-FITÓ, R.; TRIASSI, J. S. M. e BAYONA, J. M. Mercury speciation in the hair of pre-school children living near a chlor-alkali plant. **Science of the Total Environment**, 369: 51–58, 2006.

NASCIMENTO, L. O. T.; LORENZI-FILHO, G. e ROCHA, A. S. Intoxicação letal por mercúrio através da ingestão de merthiolate. **Revista do Hospital das Clínicas e Faculdade de Medicina São Paulo**. 45(5): 216-218, set-out, 1990.

NRC. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Committee on the Toxicological Effects of Methyl Mercury**, National Academies Press, Washington, DC, 2000.

OLIVEIRA, J.J. e SILVA, S. R. Hipertensão arterial secundária a intoxicação por mercúrio com síndrome clínico laboratorial simulando feocromocitoma. **Jornal de Pediatria**. 72(1), 1996.

PALETTI, G. **Determinação de Mercúrio e Metil-mercúrio em cabelos de populações residentes no Parque Indígena do Xingu**. (Tese de Mestrado). São Paulo (SP). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da Universidade de São Paulo – IPEN/USP; www.usp.br, 1999.

PICHERY, C.; BELLANGER, M.; ZMIROU-NAVIER, D.; FRÉRY, N.; CORDIER, S.; ROUE-LEGALI, A.; HARTEMANN, P. e GRANDJEAN, P. Economic evaluation of health consequences of prenatal methylmercury exposure in France. **Environmental Health**. 11(53): 1-10, 2012.

PINHEIRO, M. C. N.; GUIMARÃES, G. A.; NAKANISHI, J.; OIKAWA, T.; VIEIRA, J. L.; QUARESMA, M.; CARDOSO, B. e AMORAS, W. Avaliação da contaminação mercurial mediante análise do teor de Hg total em amostras de cabelo em comunidades ribeirinhas do Tapajós, Pará, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**. 33(2): 181-184, 2000.

PISTÓIA, A. D.; PISTÓIA, G. D. e MARTINS-NETO, M. Tatuagem por amálgama. **Revista Gaúcha de Odontologia**. 61: 435-439, 2013.

PORRAS, O. Timerosal en las vacunas. **Acta Pediátrica Costarrica**. 22(1), 2010.

RAIMANN, X.; RODRIGUEZ, L; CHÁVEZ, P e TORREJÓN, C. Mercurio en pescados y su importancia en la salud. **Revista Medica de Chile**, 142: 1174-1180, 2014.

REFERENCE SHEET, REFERENCE MATERIAL IAEA-086, IAEA 2000.

RODRIGUEZ-VILLAMIZAR, L. A.; JAIMES, D. C.; MANQUIÁN-TEJOS, A. e SÁNCHEZ, L. H. Irregularidad menstrual y exposición a mercurio en la minería artesanal del oro en Colombia. **Biomédica**. 35(2): 38-45, 2015.

SANTOS, E.; KUMMEL, L. M. S.; OLIVEIRA, L. S. e CALCAGNOTTO, C. Toxicologia do Mercúrio e seus sais utilizados em homeopatia. **Pesquisa Homeopática**. 8(2): 51, jul-dez, 1993.

SCHMIDT, C. W. Quicksilver & Gold – Mercury pollution from artisanal and small-scale gold mining. **Environmental Health Perspectives**. 120(11): A424-A429, 2012.

SILVA, I. C. M.; ASMUS, C. I. R. F.; CAMPOS, R. C.; DAVIS, R. H.; MEYER, A. e CÂMARA, V. M. Variação diária da exposição ao mercúrio entre assistentes e

estagiários em um consultório dentário. **Revista Brasileira de Odontologia**. 71(1): 17-21, 2014.

SILVA, T. M. **Biomonitoramento da exposição humana ao mercúrio (HG) na população da área de influência do aproveitamento hidrelétrico de Jirau, bacia do Rio Madeira, estado de Rondônia** (Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado de Gestão Ambiental). Planaltina (DF). Faculdade UnB Planaltina – Universidade de Brasília; 2012.

TASAMA, C. E. e ARBELÁEZ, A. L. Intoxicación crónica por mercurio: reacción de las mucosas orais. **Revista de Estomatología**. 4(2); 5(1): 1-104, Dic. 1994.

TERAN, C. G.; TORRES-LLANOS, J.; TERAN-MIRANDA, T. E.; BALDERRAMA, C.; SHAH, N. S. e VILLARROEL, P. Clinical accuracy of a non-contact skin thermometer in paediatric practice. **Child: care, health and development**. 38(4): 471-476, 2011.

TORRES, D. P.; OLIVARES, I. R. B., QUEIROZ, H. M. **Journal of Environmental Science and Health Part B**, 50: 622-631, 2015.

USEPA – SW86, Method 7473. **Mercury in Solids and Solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation and Atomic Absorption Spectrophotometry**. 2007.

VASCONCELLOS, M. B.A.; BODE, P.; PALETTI, G.; CATHARINO, M. G. M.; AMMERLAAN, A. K.; SAIKI, M.; FÁVARO, D. I. T.; BYRNE, A.R. BARUZZI, R. G. e RODRIGUES, D. A. Determination of mercury and selenium in hair samples of Brazilian Indian populations living in the Amazonic region by NAA. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**. 244: 81-85, 2000.

VOITZUK, A.; GRECO, V.; CAPUTO, D. e ALVAREZ, E. Nefropatía membranosa secundaria a exposición laboral con mercurio metalico. **Medicina (Buenos Aires)** 74(5), 397-399, 2014.

WANG, X.; ZHANG, D.; PAN, X.; LEE, D.J.; AL-MISNED, F. A.; MORTUZA, M. G. e GADD, G. M. Aerobic and anaerobic biosynthesis of nano-selenium for remediation of Mercury contaminated soil. **Chemosphere**. 170: 266-273, 2017

WHO. World Health Organization. **Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure**. Geneva: WHO; 2008.