



Universidade de Brasília  
Faculdade UnB Planaltina  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCA

Clarisse Vasconcellos Serra

**Avaliação neuropsicológica em população exposta ao  
mercúrio na região do alto rio Madeira - Amazônia**

Planaltina –DF

2022

Universidade de Brasília  
Faculdade UnB Planaltina  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCA

Clarisse Vasconcellos Serra

## **Avaliação neuropsicológica em população exposta ao mercúrio na região do alto rio Madeira - Amazônia**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – Universidade de Brasília, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Ciências Ambientais.

*Linha de Pesquisa: Manejo e conservação de recursos naturais*

Orientador: Prof. Dr. José Vicente Elias Bernardi

Planaltina –DF

2022

Universidade de Brasília  
Faculdade UnB Planaltina  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCA

Clarisse Vasconcellos Serra

## **Avaliação neuropsicológica em população exposta ao mercúrio na região do alto rio Madeira - Amazônia**

Va Vasconcellos Serra, Clarisse  
Avaliação neuropsicológica em população exposta ao mercúrio na região do alto rio Madeira - Amazônia / Clarisse Vasconcellos Serra; orientador José Vicente Elias Bernardi. -- Brasília, 2022.  
106 p.

Tese (Doutorado - Doutorado em Ciências Ambientais) -- Universidade de Brasília, 2022.

1. Neurodesenvolvimento. 2. Comunidades amazônicas. 3. Mercúrio. 4. Exposição humana. I. Elias Bernardi, José Vicente, orient. II. Título.

Planaltina –DF

2022

Universidade de Brasília  
Faculdade UnB Planaltina  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCA

Clarisse Vasconcellos Serra

**Avaliação neuropsicológica em população exposta ao mercúrio na região do alto rio Madeira - Amazônia**

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Vicente Elias Bernardi/Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCA – UnB (Presidente/Orientador)

Prof. Dr. Ézio Sargentini Junior/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA.

Prof. Dr. Felipe André dos Santos / Universidade Estadual Paulista – UNESP/Tupã.

Dr. Eduardo Cyrino de Oliveira-Filho/Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Cerrados e credenciado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCA - UnB.

Todos falam de paz, mas ninguém educa para a paz.  
As pessoas educam para a competição e esse é o  
princípio de qualquer guerra. Quando educamos  
para cooperarmos e sermos solidários uns com os  
outros, nesse dia estaremos educando para a paz.

Maria Montessori

Dedico este trabalho à memória da minha amiga Mônica Dias. Agradeço pelo compartilhamento desta tese, a oportunidade do encontro e das descobertas da vida. Obrigada por acreditar no melhor de mim fazendo que a minha busca não seja apenas pessoal, mas para ser uma contribuição para viver em um mundo melhor. Saudades!

## AGRADECIMENTOS

À Deus

À minha família, minha mãe Valéria, meu pai Adalto e meu irmão Adalto Junior, por nunca largarem minha mão e sempre cuidarem de mim. Meu muito obrigada por todo esse compartilhamento de caminhada.

À minha irmã Alessandra (in Memoriam) por acreditar que eu sempre conseguiria e me proteger onde quer que ela esteja por esse mundo a fora. Voa e voa!

À minha família de longe que a vida me deu, Lulu, Ralph, Pedro, Talita, Juliana e Ítalo, por sempre acreditarem em mim e toda à disponibilidade. Amo vocês.

Aos meus sobrinhos, Gabriel Serra, Vinícius, Gabriel (Bibico), Fernando, Gabriel, Lorena, Maria Eduarda, Giovana, Rebeca, Julia, Laura, Nicolas, Lylah, Noah, Ana Beatriz, Augusto, Isadora, Eric, Liz, Elisa e Amaro Neto. Agradeço pela nossa troca, aprendizado, risadas e ótimos momentos.

À minha grande família, Maria Angélica, Silvio, Felipe, Maria de Lourdes, Alessandro, Aldeides, pela nossa parceria, conselhos e conversas.

À minha avó, Maria Florinda por sempre rezar por mim em todos os dias e me mandar mensagem de amor. Você me faz sentir especial.

Ao meu esposo, Fabricio, por ultrapassar comigo barreiras erguidas pelas próprias circunstâncias da vida, me apoiar, me encorajar, me acolher e me fazer acreditar na minha capacidade, em que muitas vezes nem eu acreditava mais. Agradeço por você me admirar e persistir ao meu lado. Se eu consegui finalizar este trabalho, devo à você por sempre me levantar. Te amo, meu amor, meu companheiro de vida, meu namorado, meu bem!

À minha grande amiga Mônica Dias – Monikete (in Memoriam), irmã de alma, infalível, confiante, escudeira. Você foi daquelas pessoas, que mesmo, quando o vento mudava de direção, você não se assustava e sempre recomeçava se fosse preciso. Agradeço por compartilhar as disciplinas e os trabalhos acadêmicos durante todo o meu doutorado.

Você era a melhor pessoa para compartilhar um estudo. Meu muito obrigada pela companhia nessa jornada da vida. Foi lindo, amiga! Logo, logo, teremos nosso reencontro.

Aos meus amigos de vida, Joana, Noêmia, Danilo, Paula, Lilian, Helen, Mariana, Samira, Wolney, Neandro, Danilo, Carol, Biro, Ronaldo, Amaro Junior, Alê, Rubia, Jonas, Rejane, Shirley, Rui, agradeço o nosso enlace de amizade em todos esses anos. Vocês são especiais e fundamentais na minha vida. Amo muito vocês todos.

As ingratas, Elaine, Giovana, Punita, Monika, Lulu e Jú, meus agradecimentos pelas risadas, só assim, consegui caminhar com mais leveza neste trabalho.

Aos meus amigos que o PPGCA me trouxe, Daphne, Glauber e Murilo. Agradeço por me ensinarem algumas ferramentas, todo apoio acadêmico, ótimas conversas e nossa troca nesse caminhar ambiental e da vida.

À Jéssica, Galgane, Daphne, Glauber, Murilo, Ana Carol, Gleicon, Renato, Pedro, Bira, Pery, Stefani, Vinícius, Danilo, Gislaine, Elizânia, colegas do PPGCA ingressos no ano de 2017, que compartilharam as diversas disciplinas em sala de aula e o saber ambiental.

À todos os meus amigos, colegas e familiares que indiretamente e/ou diretamente, contribuíram ou ajudaram no processo deste trabalho.

As psicólogas Vera Simões e Valéria pelo trabalho de campo juntas, correções e devolutivas. A minha tese tem a contribuição de cada uma de vocês. Agradeço por compartilharem o conhecimento da psicologia comigo.

À equipe de campo, Tania, Wllyane, Santa, Livia, Ademir, Julio, Bruno, Marcos, Rodrigo, Norma, Raimundo (in Memoriam), pelo suporte em campo, belas campanhas efetuadas e pelas frutíferas conversas.

À Tania e Wlly por me ajudarem na tabulação, escrita e criação dos mapas. Meninas, obrigada pela parceria, todas as nossas confraternizações, momentos de descontração e as sessões de desabafos. Amo vocês, meninas!

Ao Prof. Dr. Carlos Passos pelo convívio, críticas, sugestões, correções, risadas, boas conversas e ensinamentos.

Ao Professor Dr. José Vicente, pelos ensinamentos e elaboração desta tese.

Aos Professores membros da banca examinadora, Prof. Dr. Ézio Sargenti, Prof. Dr. Felipe André dos Santos, Prof. Dr. Eduardo Cyrino por aceitarem o convite em fazer parte dessa banca.

À coordenação do PPGCA, em especial a Inara Carvalho pela presteza e gentileza nos meus trâmites acadêmicos junto à secretaria.

À Professora Erina Rodrigues, coordenadora do PPGCA por estar sempre disponível para melhorar a vida estudantil dos alunos do curso.

À Venturo – Consultoria Ambiental, meus agradecimentos por favorecer e possibilitar o desenvolvimento deste trabalho.

À Jirau Energia – Energia Sustentável do Brasil que favoreceu a execução deste trabalho.

Aos distritos de Nova Mutum, Abunã, Fortaleza do Abunã pela gentileza de querer participar desta pesquisa.

Aos 1089 participantes deste estudo, por dar forma, conhecimento, perspectivas futuras e embasamento acadêmico. Este trabalho só existiu por ter a generosidade de vocês.

**Resumo**

O mercúrio (Hg) é um metal tóxico considerado um poluente global e nocivo à saúde humana. A exposição humana ao Hg pode alterar o neurodesenvolvimento, causando déficits cognitivos, distúrbios das funções motoras e psicomotoras. Estudar como o Hg afeta a saúde coletiva, possibilita intervenções para minimizar os impactos na saúde pública e diminuir os riscos no desenvolvimento de neurotoxicidade. Os dados cienciométricos de 1991 a 2019 foram tabulados para compreender a rede de colaboração entre os autores e coautores nacionais e internacionais, os principais temas estudados e as principais matrizes ambientais e humanas usadas para determinar teores de Hg. Na região do alto rio Madeira em Rondônia, foi desenvolvido um estudo epidemiológico transversal com 1.089 participantes (646 homens e 443 mulheres) em amostragens por conveniência (2009 a 2019). Neste estudo foram feitas a dosimetria de Hg em amostras de cabelo e a aplicação de questionários semiestruturados sobre dados sociodemográficos, aspectos cognitivos e além de testes neuropsicológicos em 6 grupos distintos de moradores. A concentração de mercúrio total (HgT) no cabelo da população de estudo apresentou mediana de 2,73  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Na avaliação das funções cognitivas do perfil sociodemográfico evidenciaram-se a diferenciação dos grupos de estudo com estilo de vida diretamente relacionado e dependente da mineração artesanal de ouro dispersos ao longo do rio Madeira. As concentrações de HgT em cabelo sofreram influência direta de variáveis sociodemográficas como idade, sexo e estilo de vida dos participantes. As funções cognitivas não apresentaram relações com as concentrações de HgT, porém o desempenho nos testes neuropsicológicos apresentou uma fraca correlação com as concentrações de HgT. Os trabalhos sobre toxicidade de Hg permitiram perceber uma lacuna em relação ao quanto a exposição ao Hg é considerada segura. As funções cognitivas e o perfil sociodemográfico, independentemente da localidade, interferem comportamentos sociais individuais e nas dinâmicas da exposição ao Hg. Os testes neuropsicológicos (Palográfico/organização no garimpo, Palográfico/gráfico de rendimento em ribeirinhos e TEDIF 2 em Nova Mutum) demonstraram uma correlação com as concentrações de HgT e sugerem potencialidades de aplicação nos estudos de avaliação neuropsicológicas em ambientes com baixa exposição humana ao Hg na região Amazônica.

**Palavras-chave:** Neurodesenvolvimento; Comunidades amazônicas; Mercúrio; Exposição humana.

**Abstract**

Mercury (Hg) is a toxic metal considered a global pollutant and harmful to human health. Human exposure can alter neurodevelopment, causing cognitive deficits, motor and psychomotor function disorders. Studies on how Hg affects population health enable interventions to minimize public health impacts and decrease risks of neurotoxicity. The scientometric data from 1991 to 2019 were tabulated to understand the collaboration network among national and international authors and coauthors, the main topics studied, and the main environmental and human matrices used for determining Hg contents. In the upper Madeira River in Rondônia, a set of cross-sectional studies was carried out with 1089 participants (646 men and 443 women) based on convenience samplings (2009 to 2019). In this study, Hg determination in hair samples and the application of semi-structured questionnaires on sociodemographic data and cognitive aspects and neuropsychological tests were performed in 6 distinct groups of residents. The concentrations of total mercury (THg) in hair had a median of  $2.73 \mu\text{g g}^{-1}$ . The evaluation of cognitive functions and sociodemographic profile showed the differentiation of study groups with lifestyles directly related to and dependent on artisanal gold mining dispersed along the Madeira River. THg concentrations were directly influenced by such sociodemographic variables as age, sex, and lifestyles. Cognitive functions showed no relationship with THg concentrations, however performance on neuropsychological testing showed a weak correlation with THg. The studies on Hg toxicity showed a gap on how safe exposure to Hg is considered. Cognitive functions and socio-demographics, regardless of location, interfere with individual social behaviors and may influence the dynamics of Hg exposure. The neuropsychological tests (Palographic/organization in goldmining sites, Palographic/performance chart in riparian communities, and TEDIF 2 in Nova Mutum village) showed a correlation with THg concentrations, suggesting potential application in neuropsychological assessment studies in settings with low exposure in the Amazon region.

Keywords: Neurodevelopment; Amazonian communities; Mercury; Human exposure.

**SUMÁRIO**

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	vii
Resumo .....	x
Abstract .....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE TABELAS .....	xv
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS .....	xvi
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	17
<b>2. OBJETIVOS e HIPÓTESES</b> .....	25
<b>3. REFERÊNCIAS</b> .....	27
CAPÍTULO 1 - Evolução temporal da exposição humana ao mercúrio na Amazônia: uma abordagem cienciométrica.....	32
CAPÍTULO 2 - Dinâmica de exposição ao mercúrio em população do alto rio Madeira, Rondônia – Brasil .....	54
CAPÍTULO 3 - Aspectos cognitivos e funções neuropsicológicas associadas à exposição ao Hg em população do alto rio Madeira, Rondônia – Brasil.....	74
APÊNDICES .....	100
ANEXO.....	106

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 1

- Figura 1 - Hierarquização dos 130 artigos para agrupar sobre contaminação por mercúrio em populações humanas: A - 24 estudos com as matrizes de cabelo, sangue, urina e levantamento alimentar; B - 41 trabalha com a matriz de peixes; C - 9 trabalha com matrizes capilares, infantis, testes neurológicos e testes neuropsicológicos; D - São 56 trabalhos com matrizes capilares, pesquisa alimentar e infantil.....36
- Figura 2. Rede bibliográfica de acoplamento Pesquisa de exposição ao Hg em grupo sobre contaminação por mercúrio em populações humanas entre 1991 e 2019. Principais autores dos grupos: 1A - Amoras, W.W., Barbosa, F., da Silva, D.S., Fillion, M. Guimarães, J.R.D. e Philibert, A.; 2A - Barbosa, A.C., Bastos, W., Bernardi, J.V.E, Dórea, J.G., Hacon, S.S., Marques, R.C. e Roulet, M.; 3A - Bastos, W.R., Boischio, A.A.P., Dolbec, J., Lebel, J., Lucotte, M., Malm, O., Mergler, D. e Penna-Franca, E.; 4A - Alves, C.N., Oliveira, E.C., Santos, E.S.B., Muller, R.C.S. e Sarkis, J.E.; 5A - Berky, A.J., Bullins, P., Hsu-Kim, H., Meyer, J.N. e Pan, W.K.....38
- Figura 3. Rede de coautorias e respectivas equipes de pesquisa em pesquisas de exposição ao Hg na Amazônia entre 1991 e 2019. Autores principais: 1B - Baltazar de Oliveira, C. e de Lima Silveira, L.C.; 2B - Benefício, E.; 3B - Laribe, F., Mergler, D., Passos, C.J.S. e Roulet, M.; 4B - Ramos, F.J.P., Guimarães, J.R.D., Malm, O., Pfeiffer, W.C.; 5B - Alves, C.N., Brabo, E.D., Cleary, D., Loureiro, E.C.B., Mascarenhas, A.F.S., Muller, R.C.S., Santos, E.D. e Sarkis, J.E.S.; 6B - Guimarães, G.A. e Oikawa, T.; 7B - Hsu-kim, Beillen., Ortiz, E.J., Pan, W.K., Berky, A. e Pan, W.; 8B - Arrifano, G.P.F. e Augusto-Oliveira, M.; 9B - Abreu, L., Barbosa, A.C., Bernardi, J.V.E., Dórea, J.G., Hacon, S.S. e Malm, O.; 10B - Grandjean, P.; 11B - Barbosa, A.C. e Dórea, J.G.; 12B - Souza Vieira, J.C.; 13B - Boischio, A.A.P.; 14B - Barbosa, F., Garcia, S.C., Grotto, D., Fillion, M., Lemire, M. e Mertens, F.; 15B - Alves, C.N., de Jesus, I.M., e Faial, K.; 16B - Cardoso, B.R.; 17B - Amoras, W.W., Crespo-Lopez, M.E., do Nascimento, J.L.M. e Vieira, J.L.F.....40
- Figura 4. Redes de associação entre autores e citações de pesquisas sobre exposição ao Hg na Amazônia entre 1991 e 2019 (grupos de pesquisa de instituições amazônicas e canadenses). Autores principais: 1C - Akagi, H., Guimarães, J.R.D., Malm, O., Muller, R.C.S. e Roulet, M.; 2C - Fillion, M., Lucotte, M. e Mergler, D.; 3C - Barbosa, A.C., Bastos, W.R., Dórea, J.G., Malm, O. e Marques, R.C.....41

### Capítulo 2

- Figura 1- Ilustração da área de estudo exibindo os grupos do desenho amostral. Nota: G3 – distrito de Fortaleza do Abunã (9°46'25.1"S; 65°31'01.7"W); G4 – distrito de Abunã (9°44'06.5"S; 65°13'31.8"W); G5 – distrito de Nova Mutum Paraná (9°15'55.7"S; 64°33'03.4"W) e G6 – UHE Jirau (9°16'16.0"S; 64°38'22.7"W).....57
- Figura 2 – Box plots da representação das concentrações de HgT na população de estudo. Notas: G1 – Garimpo; G2 – Ribeirinho; G3 – Fortaleza do Abunã; G4 - Abunã; G5 – Nova Mutum e G6 – Usina; Limites empíricos: L1 – 6  $\mu\text{g g}^{-1}$  (associado a um decréscimo de 3 pontos no QI (Kjellstrom *et al.*, 1986, Kjellstrom *et al.*, 1989); L2 - 14  $\mu\text{g g}^{-1}$  (preconizado pela OMS (FAO/WHO, 2003); L3 – 50  $\mu\text{g g}^{-1}$  (associado a um risco de 5% de dano neurológico em adultos (WHO, 1990).....61
- Figura 3 – Hierarquização dos perfis cognitivos e sociodemográficos da população de estudo em relação a concentração de HgT nas amostras de cabelo.....63

Figura 4 - Análise de agrupamento hierárquica das variáveis mensuradas sociodemográficas e cognitivas a partir de dados binários. Nota: 1 - Residente até 1 ano na região do estudo; 2 - Trabalha no garimpo; 3 - Dorme bem; 4 - Atualmente trabalhando; 5 - Sexo; 6 - Usina; 7- Consume de bebida alcoólica; 8 - Mediana de HgT no cabelo; 9 - acometimento por malária; 10 - Escolaridade básico incompleto; 11 - Residente superior a 10 anos na região do estudo; 12 - Nova Mutum Paraná; 13 - Escolaridade médio incompleto; 14 -Déficit de memória; 15 - Dificuldades em cálculos matemáticos simples; 16 - Déficit de atenção; 17 - Perda de concentração; 18 - Leitura; 19 - Escrita; 20 - Escolaridade médio completo; 21 - Fumante; 22 - Não fumante; 23 - Não trabalha atualmente no garimpo; 24 - Já trabalhou no garimpo; 25 - Garimpeiro; 26 - Residente de 1 a 5 anos; 27 - Abunã; 28 - Escolaridade superior incompleto; 29 - Fortaleza do Abunã; 30 - Escolaridade básico completo; 31 - Ribeirinho; 32 - Trabalhador rural; 33 - Profissional da área da saúde; 34 - Não trabalha; 35 - Escolaridade analfabeto; 36 - Pescador; 37 - Escolaridade superior completo e 39 - Residente com menos de 1 ano.....64

### Capítulo 3

Figura 1- Imagem da área de estudo mostrando o desenho amostral dos grupos participantes deste estudo. Nota: G3 - distrito de Fortaleza do Abunã (9°46'25.1"S; 65°31'01.7"W); G4 - distrito de Abunã (9°44'06.5"S; 65°13'31.8"W); G5 - distrito de Nova Mutum Paraná (9°15'55.7"S; 64°33'03.4"W) e G6 - UHE Jirau (9°16'16.0"S; 64°38'22.7"W).....78

Figura 2 - Separação da população total do estudo em função do grau de escolaridade autorrefrida. Notas: G1 - Garimpo; G2 - Ribeirinho; G3 - Fortaleza do Abunã; G4 - Abunã; G5 - Nova Mutum e G6 - Usina.....81

Figura 3 - Regressão linear ( $R = 0,17$ ;  $p < 0,0001$ ) da distribuição das concentrações de HgT nas amostras de cabelo e idade de todos os participantes. Notas: Limites empíricos: L1 -  $6 \mu\text{g g}^{-1}$  (associado a um decréscimo de 3 pontos no QI (Kjellstrom *et al.*, 1986, Kjellstrom *et al.*, 1989); L2 -  $14 \mu\text{g g}^{-1}$  (preconizado pela OMS (FAO/WHO, 2003); L3 -  $50 \mu\text{g g}^{-1}$  (associado a um risco de 5% de dano neurológico em adultos (WHO, 1990).....82

Figura 4 - Correlação de Kendall da distribuição das concentrações de HgT nas amostras de cabelo, idade, estratificado por sexo e separadas por grupos. Notas: a- Abunã; b- Usina; c- Garimpo; d- Nova Mutum; e- Ribeirinho e f- Fortaleza do Abunã.....83

Figura 5 - Correlação de Mantel entre a concentração de mercúrio em relação às respostas autorreferidas das funções cognitivas (a) e testes neuropsicológicos (b).....84

Figura 6 - Chi-quadrado de Pearson correlação do desempenho às respostas dos questionários das funções cognitivas no universo dos grupos, com exceção do G6 - Usina. Nota: A- Abunã; G- Garimpo; NM- Nova Mutum; R Ribeirinho e FA- Fortaleza do Abunã. \* Valores significativos  $<0.05$ . Testes: MEM- Memória com esquecimentos frequentes, ATEN- Dificuldade de prestar atenção, CONC- Dificuldade de concentração, LE- Dificuldade para compreender o que lê, ESCR- Dificuldade para escrever, MAT- Dificuldade para fazer cálculos matemáticos. Branco - não e verde - sim.....87

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 1

Tabela 1. Trabalhos mais citados entre 1991 e 2019 com autores (ano), localização, bioindicador de exposição ao Hg e concentração média de Hg ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).....	45
Tabela 2. Os 10 autores mais citados de 130 artigos analisados com registros.....	46
Tabela 3. Classificação das 11 principais ocorrências de palavras-chave e força total do link.....	46

### Capítulo 2

Tabela 1 – Concentração média, mediana de HgT ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) em amostras de cabelo dos voluntários participantes desse estudo, distribuídos por sexo e localidade.....	60
Tabela 2 – Teste Bonferroni com os valores de $p$ das comparações pareadas dos grupos em relação às concentrações de HgT nas amostras de cabelo (nível de significância corrigido de 0.0033).....	61

### Capítulo 3

Tabela 1 - Chi-quadrado de Pearson na comparação de todos os grupos no desempenho nos aspectos cognitivos. * Valores significativos $<0.05$ . Notas: G1 – Garimpo; G2 – Ribeirinho; G3 – Fortaleza do Abunã; G4 - Abunã; G5 – Nova Mutum e G6 – Usina; Testes: MEM- Memória com esquecimentos frequentes, ATEN- Dificuldade de prestar atenção, CONC- Dificuldade de concentração, LE- Dificuldade para compreender o que lê, ESCR- Dificuldade para escrever, MAT- Dificuldade para fazer cálculos matemáticos.....	85
Tabela 2 – Chi-quadrado de Pearson na comparação par a par (teste a posteriori) dos grupos em relação às respostas dos aspectos cognitivos com exceção do G6 - Usina. * Valores significativos $<0.05$ . Siglas dos diferentes grupos G1 – Garimpo; G2 – Ribeirinho; G3 – Fortaleza do Abunã; G4 – Abunã e G5 – Nova Mutum. Testes: MEM- Memória com esquecimentos frequentes, ATEN- Dificuldade de prestar atenção, CONC- Dificuldade de concentração, LE- Dificuldade para compreender o que lê, ESCR- Dificuldade para escrever, MAT- Dificuldade para fazer cálculos matemáticos.....	85
Tabela 3 - Chi-quadrado de Pearson na comparação do desempenho nos testes neuropsicológicos entre os grupos com exceção do G6. * Valores significativos $<0.05$ . Notas: G1 – Garimpo; G2 – Ribeirinho; G3 – Fortaleza do Abunã; G4 – Abunã e G5 – Nova Mutum; TEDIF 1- teste de atenção difusa, TEDIF 2- teste de atenção difusa complexa, TMR- teste de memória de reconhecimento, AC- atenção concentrada, PROD- Palográfico/produktividade, EMO- Palográfico/emotividade, ORG- Palográfico/organização, NOR- Palográfico/nível de oscilação rítmica, GRA- Palográfico/gráfico de rendimento.....	86
Tabela 4 - Análise de Mann-Whitney do desempenho nos testes neuropsicológicos comparando a concentração de HgT de todos os participantes dos grupos. * Valores significativos $<0.05$ . Nota: Teste - TEDIF 1- teste de atenção difusa, TEDIF 2- teste de atenção difusa complexa, TMR- teste de memória de reconhecimento, AC- atenção concentrada, PROD- Palográfico/produktividade, EMO- Palográfico/emotividade, ORG- Palográfico/organização, NOR- Palográfico/nível de oscilação rítmica, GRA- Palográfico/gráfico de rendimento e Grupos – G1- Garimpo; G2-Ribeirinho; G3- Fortaleza do Abunã; G4-Abunã; G5-Nova Mutum; G6-Usina; $p$ – $p$ -valor.....	87

**LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS**

AC – Atenção concentrada

BGFM 1 - Bateria Geral de Funções Mentais

BGFM 4 – Bateria Geral de Funções Mentais

BVRT - Teste de Retenção Visual de Benton

CFP – Conselho Federal de Psicologia

CVAAS - Espectrômetro de absorção atômica

FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação

Hg<sup>0</sup> - Mercúrio metálico ou elementar

Hg – Mercúrio

HgT – Mercúrio total

IAEA - International Atomic Energy Agency

JECFA - Expert Committee on Food Additives

MeHg - Metilmercúrio

NCTB – Neurobehavioral Core Test Battery

NOR - Nível de Oscilação Rítmica

OMS - Organização Mundial de Saúde

RfD – Dose de referência

ROR - Tecnologia de barragem hidroelétrica de passagem

SCNB - Scientific Committee on Neurotoxicology and Psychophysiology

SNC – Sistema Nervoso Central

TEDIF – Teste de Atenção Difusa

TMR – Teste de Memória de Reconhecimento

TSCA - Toxic Substances Control Act

UHE – Usina Hidrelétrica

UNEP - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

U.S.EPA – Agência Americana de Proteção Ambiental

X<sup>2</sup> – Chi-quadrado de Pearson

WAIS - Escala de Inteligência Weschler

WHO - World Health Organization

WOS - Coleção Núcleo da Web of Science

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O interesse no entendimento do ciclo hidrobiogeoquímico do mercúrio (Hg) na Amazônia acontece devido à elevada toxicidade do metilmercúrio (MeHg) para os seres humanos e animais, seu acúmulo na biota e sua biomagnificação na cadeia alimentar aquática (Bastos *et al.*, 2020).

A contaminação por mercúrio (Hg) na Amazônia associada à mineração de ouro, voltou a ser tema de discussão devido aos impactos ambientais e ao risco de exposição da população (Arrifano *et al.*, 2018). Nas últimas décadas a mineração artesanal de ouro e de pequena escala nas comunidades da bacia do rio Madre de Dios (Peru), afluente do rio Beni que desagua no rio Madeira, aumentou drasticamente e conseqüentemente o aporte de Hg no ambiente (Langeland *et al.*, 2017).

Na Amazônia, há registros de que a mineração industrial e artesanal de ouro e, possivelmente, outros minerais naturais e fontes antropogênicas, aumentaram a concentração de Hg no meio ambiente, resultando, através da cadeia trófica, em processo de bioacumulação em peixes consumidos por comunidades ribeirinhas (Hacon *et al.*, 2014; Santos-Lima *et al.*, 2020; Crespo-Lopez *et al.*, 2021). A inundação sazonal dos rios e suas planícies de inundação regulam a produção e biodisponibilidade de MeHg às redes alimentares (Maurice-Bourgoin *et al.*, 2000; Guimarães *et al.*, 2000). Os níveis elevados de Hg em peixes e populações humanas, também são observados mesmo entre aqueles que vivem longe de atividades de mineração de ouro, e em elucidação a esse fenômeno, outras fontes primárias de Hg têm sido propostas (Bisinoti & Jardim, 2004; Passos & Mergler, 2008).

Em pesquisas de Hacon *et al.*, (2014), Magarelli & Foster (2005), Passos & Mergler (2008), Boischio & Henshel (2000), afirma-se que os estoques de Hg encontrados na região amazônica são de origem natural, independentemente das atividades de exploração de ouro da região, ou seja, os solos amazônicos constituem grandes regiões de estoques naturais de Hg e possibilitam a liberação de quantidades substanciais deste metal nos ecossistemas aquáticos por meio da erosão e lixiviação dos solos expostos ocasionados pelas práticas de desmatamento, para fins agrícolas e pecuários.

O desmatamento na região amazônica, torna a população direta e indiretamente exposta a exposição do Hg, o que justifica que a alta taxa de desmatamento nessa região,

que precise ser revista como mais um impacto antropogênico no ciclo biogeoquímico do Hg e conseqüentemente, a exportação do Hg para a atmosfera (Magarelli & Foster, 2005).

A exposição ao Hg metálico ( $Hg^0$ ), ocorre principalmente por inalação de vapores, já que se trata de um elemento volátil, e portanto, a exposição ocupacional na região Amazônica ocorre principalmente nos garimpos de ouro (Farina *et al.*, 2013; Syversen & Kaur, 2012). Ambas as fontes, antropogênicas e naturais, são responsáveis pela distribuição global do Hg na atmosfera, nos solos e nas águas superficiais (Bjørklund *et al.*, 2020). Há uma previsão de que as mudanças nas emissões e ciclagens de Hg serão dependentes da mineração artesanal de ouro, do contexto de uso de energia, do uso da terra e das mudanças climáticas (Obrist *et al.*, 2018).

O MeHg desperta maior interesse do ponto de vista ecotoxicológico, uma vez que é uma forma altamente neurotóxica, apresenta tendência de bioacumular e biomagnificar, tornando-o um risco à saúde humana, e também é considerado a forma mais perigosa e frequente de exposição ao Hg (Bjørklund *et al.*, 2017). O sistema nervoso central (SNC) é o alvo principal do metilmercúrio (MeHg), sendo afetadas principalmente, as áreas específicas do cérebro, como cerebelo e lobos temporais (Puty *et al.*, 2019). Os primeiros sintomas afetam geralmente, a região perianal e aparecem alguns dias após a exposição, e a exposição severa pode causar cegueira, coma e morte, sendo que o período médio de latência varia, frequentemente, de 16 a 38 dias (Sanfeliu *et al.*, 2003; Bakir *et al.*, 1973; Herculano *et al.*, 2006). Evidências indicam que a exposição crônica a baixas concentrações de metais potencialmente tóxicos, incluindo o mercúrio, resulta em disfunções imunológicas (Pollard & Hultman, 1997; Shenker, Guo e Shapiro, 2000; Schuurs, 1999).

O peixe consumido pela população na região do alto rio Madeira é uma das principais fontes de proteína e o principal meio de exposição ao MeHg (Hacon *et al.*, 2014; Passos & Mergler, 2008; Boischio & Henshel, 2000). O MeHg é biomagnificado e bioacumulado na cadeia alimentar aquática e alcança os seus níveis mais elevados em peixes predadores de topo da cadeia (Castoldi *et al.*, 2003).

Bastos *et al.*, (2006) apresentam uma ampla campanha amostral em diferentes compartimentos ambientais (sedimentos de rios, solos de floresta, matéria orgânica suspensa, peixe, além de amostras humanas) cerca de 15 a 20 anos após a redução das atividades garimpeiras na Amazônia, e finaliza dizendo que apesar da diminuição das emissões de mercúrio no rio Madeira oriundos de atividades garimpeiras, os teores de

mercúrio em humanos e peixes permanecem similares àqueles determinados na época do pico de tais atividades (final dos anos 1980 e início dos anos 1990).

A população deste estudo vive em uma região com mineração de ouro, mas estudos de Bisnoti & Jardim (2004) resumem que não passa de 1% o resultado de Hg depositado por essa atividade nos sistemas aquáticos. Dessa forma, os peixes da região amazônica possuem concentrações de Hg similares aos peixes oceânicos brasileiros (Dórea, 2003).

Para Esteban & Castaño (2009) assim como Steckling *et al.*, (2018), o biomonitoramento humano é um instrumento para medir e entender a exposição humana a todas as vias e fontes de contaminantes ambientais, e para tanto, são usadas diferentes matrizes como tecido adiposo, sangue, cabelo, urina, unha, leite materno, ossos, entre outros, as quais podem armazenar ou expelir essas substâncias.

A exposição ao Hg pode surgir das vias internas do corpo humano, tais como amálgamas dentais, vacinas e conservantes em medicamentos, bem como da ingestão de frutos do mar, ou mesmo de vias externas, isto é, da exposição ocupacional, da manipulação de itens metálicos, da poluição ambiental e dos cosméticos contendo Hg (Bjørklund *et al.*, 2020).

Em outros estudos, como Santos *et al.*, (2000) e Santos *et al.*, (2002), os autores usaram mais de uma matriz para determinar os níveis de exposição ao Hg na população e investigar a possível fonte. Entretanto, o cabelo é um dos principais bioindicadores usados, por toxicologistas e epidemiologistas para avaliar a exposição bem como a influência e a suscetibilidade aos compostos de Hg, considerando sobre suas vantagens e desvantagens (Branco *et al.*, 2017). As amostras de cabelo têm sido amplamente adotadas em diversos estudos por serem indicadoras de exposição ao Hg (Hacon *et al.*, 2014; Pinheiro *et al.*, 2006; Boischio & Henshel, 2000; Boischio & Barbosa, 1993, Bastos *et al.*, 2006; Rocha *et al.*, 2007; Tavares *et al.*, 2005, Yokoo *et al.*, 2003, Santos *et al.*, 2000).

De acordo com a publicação de orientação para identificação de riscos em populações expostas ao mercúrio da 61<sup>a</sup> Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives - FAO/WHO/JECFA em 2003 e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente WHO/UNEP em 2008, estabeleceram-se os níveis de ingestão semanal de MeHg ou Hg considerados como seguros à saúde, sendo os valores de 1,6 µg/kg/semana de peso corporal para MeHg e 5 µg/Kg<sup>-1</sup> de peso corporal para Hg, baseando-se em um peso corporal de 70 Kg. Em relação ao nível de Hg no cabelo, esse comitê, observou a concentração de 1 a 2 µg g<sup>-1</sup> em pessoas que consomem pouca quantidade de peixe e nos

indivíduos que ingerem peixes de uma ou mais vezes diariamente, o nível pode ser acima de  $10 \mu\text{g g}^{-1}$ , sendo que o valor referendado para HgT no cabelo não deve ser superior a  $14 \mu\text{g g}^{-1}$  (FAO/WHO/JECFA, 2003, WHO/UNEP, 2008).

Uma questão contemporânea em saúde ambiental é a determinação do nível em que MeHg é tóxico em seres humanos com exposição crônica de baixo nível, que deriva principalmente do consumo de peixes contendo Hg (Yokoo *et al.*, 2003). Os testes neuropsicológicos têm sido aplicados em estudos de saúde ambiental objetivando à identificação de efeitos pré-clínicos associados à exposição ambiental ao Hg, na busca de indicadores sentinelas de saúde ambiental para identificar previamente possíveis riscos de neurotoxicidade humana (Branco *et al.*, 2017).

Entretanto, uma possível limitação para a aplicação desses testes está associada ao fato de requererem percepções e compreensões das atividades motoras comandadas, além de terem sido desenvolvidos e validados em populações com diferentes características sociais, culturais e econômicas, quando comparadas a populações tradicionais das margens dos rios da Amazônia (Hacon *et al.*, 2008). Associado a este fato, os efeitos clínicos neurotóxicos da exposição ao Hg são muitas vezes mascarados pela sintomatologia das doenças tropicais (Grandjean *et al.*, 1999; Tavares *et al.*, 2005).

De acordo com Yokoo *et al.*, (2003), as sequelas específicas das exposições de adultos têm sido menos documentadas do que aquelas de crianças com exposições pré-natais.

Primeiramente, a U.S. EPA em 1979 solicitou a seleção de testes neuropsicológicos e patrocinou naquele mesmo ano, uma conferência para apontar quais seriam esses instrumentos, para depois ter uma regulação primária, que seria a Toxic Substances Control Act (TSCA). Depois, em 1983, na reunião da Organização Mundial de Saúde (OMS) estabeleceram uma bateria testatória, a *Neurobehavioral Core Test Battery* – NCTB (Anger *et al.*, 1997).

As baterias foram internacionalmente validadas em relação aos efeitos causados por substâncias neurotóxicas em âmbitos ocupacionais (Rohling & Demakis, 2006). Em Anger (2014), cita-se uma tabela com uma lista de 46 artigos, ordenados cronologicamente que usaram a bateria testatória do NCTB com o objetivo de avaliar o risco de efeitos decorrentes da exposição química, entretanto nenhum trabalho foi feito no Brasil. A autora cita que o *Scientific Committee on Neurotoxicology and Psychophysiology* (SCNP), precisa reconsiderar os testes e as funções medidas no NCTB

da OMS, já que, pessoas de diferentes culturas podem não ser eficazmente testadas pela NCTB (Anger, 2014).

Essa bateria de testes possui características que prejudicam sua aplicação em populações com baixo grau de escolaridade (Bravin, 2014). Dos 7 (sete) testes utilizados pelo NCTB, apenas dois (Teste de Retenção Visual de Benton – BVRT; Escala de Inteligência Weschler – WAIS) são validados hoje no Brasil e, portanto, podem ser aplicados, ressalvado que o processo de validação de nenhum deles foi feito na região norte do país. Assim sendo, o Conselho Federal de Psicologia (CFP) enfatiza o uso de técnicas reconhecidamente fundamentadas na ciência psicológica, na legislação profissional e na ética, ele também entende que, instrumentos não validados e/ou padronizados na população brasileira podem ser aplicados em pesquisas acadêmicas (CFP, 2005).

Os testes neuropsicológicos podem apresentar disfunções brandas, mas eles precisam ser válidos e adequados para o ambiente de estudo (Grandjean & White, 2001). Para isso, foram utilizados neste trabalho uma bateria testatária validada pelo Conselho Federal de Psicologia com o objetivo de aferir os principais aspectos cognitivos e funções neuropsicológicas afetadas pela exposição ao Hg.

O teste neuropsicológico de Atenção Concentrada (AC) avalia esta função cognitiva que é ligada à percepção de similaridades e diferenças, por meio da tarefa de cancelamento, em curto período de tempo. O Teste de Memória de Reconhecimento (TMR) avalia a memória de reconhecimento de curto e longo termos, tendo como interface a aprendizagem e a memória. Os Testes de Atenção Difusa (TEDIF 1 e 2) avaliam a atenção difusa, focando de uma só vez em diversos estímulos que estão dispersos espacialmente, realizando uma captação rápida, no tempo determinado. O teste Palográfico, avalia a dinâmica da personalidade, o equilíbrio, a coordenação motora, a energia produtiva e a emotiva.

#### Teste de Atenção Concentrada - Susy Vjjande Cambraia

O objetivo do teste de Atenção Concentrada é avaliar a função cognitiva de atenção, e esta pode ser definida como a capacidade de selecionar uma fonte de informação (estímulo do meio ambiente ou do mundo interior) dentre todas as que estão disponíveis em um determinado momento e conseguir dirigir sua atenção (manter o foco) para esse estímulo ou tarefa a ser feita no decorrer do tempo (Cambraia, 2018).

#### Teste de Atenção Difusa – Emílio Carlos Tonglet

A BGFM – 1 - Bateria Geral de Funções Mentais em seu primeiro volume tem os Testes de Atenção Difusa cujas funções mentais investigadas são a Atenção Difusa e a Atenção Difusa complexa. A Atenção Difusa é a função mental que focaliza simultaneamente diversos estímulos que estão dispersos espacialmente, realizando uma captação rápida de informações e fornecendo um conhecimento instantâneo para o indivíduo, enquanto que a Atenção Difusa complexa é a função mental que focaliza parcialmente diversos estímulos coloridos, compostos por figuras geométricas idênticas ou diferenciadas, que se encontram bem dispersas espacialmente, realizando uma captação rápida de informações e fornecendo um conhecimento instantâneo e parcial para o indivíduo (Tonglet, 2018).

Os testes que compõem a Bateria Geral de Funções Mentais - BGFM 1 são:

TEDIF – 1 Teste de Atenção Difusa Forma 1 – composto por losangos menores dentro de losangos maiores, inscritos com números de 1 a 50 dispostos aleatoriamente com apenas uma coloração (dos Reis Dutra *et al.*, 2014). É um instrumento psicológico com o objetivo de ser utilizado tanto na avaliação psicológica para candidatos à admissão em empresas e funcionários para avaliação de potencial como também na avaliação neuropsicológica, onde se emprega apenas um tipo de símbolo (Tonglet, 2018). Por meio da aplicação deste instrumento psicológico pode-se observar a rapidez ou lentidão com que o examinando utiliza sua Atenção Difusa, tornando possível classificá-lo de acordo com a padronização do teste; e

TEDIF – 2 Teste de Atenção Difusa Complexa Forma 2 – composto por losangos menores dentro de losangos maiores, numerados de 1 a 50 e dispostos aleatoriamente com 4 colorações distintas, tendo a finalidade de investigar, avaliar e mensurar a Atenção Difusa complexa. Sua utilização é similar ao TEDIF 1 e também emprega apenas um tipo de símbolo (Tonglet, 2018).

Teste de Memória de Reconhecimento – TMR – Emílio Carlos Tonglet

Esse teste possui figuras geométricas, na qual os participantes devem encontrar as figuras corretas que as foram apresentadas para memoriza-las (Tonglet, 2007).

Segundo Sternberg (2000) o reconhecimento é um processo de memória frequentemente empregado em tarefas, no qual a pessoa é solicitada apenas a reconhecer como correto (não a produzir) um fato, uma palavra ou um item de memória.

A identificação também é conhecida como lembrança (recordação) e neste sentido os dois mecanismos, familiaridade e lembrança, são essenciais para a memória de reconhecimento (Tonglet, 2007). O Teste de Memória de Reconhecimento avalia a

aprendizagem e a memória. Para tanto, utiliza-se dos mecanismos da familiaridade e da identificação. Esses dois mecanismos, familiaridade e lembrança, são essenciais para a memória de reconhecimento.

Teste Palográfico – Irai Cristina Boccato Alves, Cristiano Esteves

Na avaliação de personalidade, o teste Palográfico elaborado pelo professor Salvador Escala Milá foi implantado no Brasil pelo professor Augustinho Minicucci. Esse teste consiste em avaliar as formas simbólicas que podem expressar a vida interior por meio dos traçados (Alves & Esteves, 2004). Foram avaliadas as variáveis produtividade; ritmo de produção; emotividade e organização. A produtividade no teste Palográfico refere-se à quantidade de trabalho que o examinado é capaz de fazer, tanto em termos profissionais, como em outros tipos de atividade (Alves & Esteves, 2019).

O ritmo é avaliado pelo Nível de Oscilação Rítmica (NOR), que verifica a variabilidade da produtividade do trabalho do indivíduo nos diferentes tempos do teste, reproduzindo as possíveis flutuações de produtividade no desenvolvimento das tarefas. Assim, os valores menores do NOR indicam uma regularidade e uma estabilidade da produtividade, porém um valor muito baixo pode indicar rigidez e mesmo obsessividade. Nesse sentido, a avaliação da qualidade do rendimento no trabalho e a propensão à fadiga é demonstrada no gráfico do teste que permite uma visão mais clara entre a Produtividade e o Ritmo (Alves & Esteves, 2019). Desse modo, o gráfico de rendimento mostra como o sujeito produz durante a atividade laboral e em que momento demonstra aumento ou diminuição dessa produtividade (Alves & Esteves, 2019).

A emotividade no Palográfico é avaliada por diversas irregularidades no traçado, sendo verificada a presença de cada uma das irregularidades e a intensidade da emotividade que será dada pelo número de características presentes, consultando-se a tabela própria referente aos dados normativos. Sendo assim, a emotividade caracteriza-se por vibrações, choques ou comoções interiores das funções psicológicas e fisiológicas (Alves & Esteves, 2019).

A organização é considerada como uma forma de pensar e de agir de acordo com um plano, método ou regra que avalie e relacione os fatos e as coisas de uma maneira clara, coerente, precisa e ordenada. Entretanto, a forma de organizar consiste também em procurar uma harmonia no conjunto e uma disposição adequada para se obter o máximo de rendimento, com economia e com um mínimo de esforço (Alves & Esteves, 2019).

No entanto, nos grupos deste estudo, que vivem em área de mineração e expostas ao Hg, também tem-se que incorporar outros fatores de riscos, como os ambientais

(condições precárias de habitação e higiene; o material ambiental não medido e não estudado; atendimento à saúde pública precário) quanto psicossociais, que são propensos a conduzir atraso no neurodesenvolvimento (Marques *et al.*, 2014). No entanto, existe a demanda de avançar o conhecimento do que está acontecendo com as comunidades amazônicas, já que têm um grave problema de saúde pública. Apesar disso, há uma maior exposição ao Hg do que em outras populações em todo mundo, e especialmente, quando se considera que a exposição humana poderá estar aumentando em um futuro próximo (Crespo-Lopez *et al.*, 2021).

## 2. OBJETIVOS e HIPÓTESES

Objetivo da tese:

- Avaliar as alterações neuropsicológicas da população exposta ao Hg na região do alto rio Madeira

Hipótese:

- A exposição da população do alto rio Madeira ao mercúrio afetam os aspectos cognitivos e funções neuropsicológicas.

Objetivos específicos e hipóteses:

### Capítulo 1

Objetivo:

- Identificar e agrupar pesquisas publicadas sobre Hg na região Amazônia, por meio de uma análise cienciométrica.

Hipóteses:

- 1- Como está a publicação sobre exposição ao mercúrio na Amazônia e quem são as principais instituições;
- 2- Há uma produção acadêmica relevante, quais são os autores envolvidos e se essas são publicações nacionais ou internacionais;
- 3- Nos trabalhos científicos quais são as palavras que mais se destacam;
- 4- As principais matrizes para identificar o grau de exposição ao Hg; e
- 5- Como está sendo a interação entre os grupos de pesquisas.

### Capítulo 2

Objetivo:

- Avaliar a contribuição de aspectos sociodemográficos e cognitivos na população exposta ao Hg na região do alto rio Madeira.

Hipóteses:

- 1- Os aspectos sociodemográficos têm relação com a exposição ao Hg;
- 2- Os aspectos cognitivos e sociodemográficos podem gerar comportamentos individualizados com maior risco a exposição ao Hg.

### **Capítulo 3**

#### Objetivo:

- Avaliar os efeitos de exposição ao Hg em desempenhos dos aspectos cognitivos e em funções neuropsicológicas na população exposta as baixas concentrações de Hg no alto rio Madeira.

#### Hipóteses:

- 1- Existe uma correlação da bioacumulação de HgT e idade da população;
- 2- Existe uma especificidade dos efeitos de bioacumulação de HgT em relação a idade e sexo na população;
- 3- As respostas autorreferidas sobre as funções cognitivas na população podem inferir a exposição humana à baixa concentração de HgT; e
- 4- Os testes neuropsicológicos são sensíveis para detectar alterações neuropsicológicas em população exposta à baixa concentração de HgT.

### 3. REFERÊNCIAS

- Alves, I. C. B.; Esteves, C. **O teste palográfico na avaliação da personalidade**. 3<sup>a</sup> ed. São Paulo: Vetor Editora Psico-Pedagógica Ltda, 2019.
- Anger, W. K.; Sizemore, O. J., Grossmann, S. J., Glasser, J. A., Letz, R., Bowler, R. 2017. Human neurobehavioral research methods: impact of subject variables. **Environ Res**, 73(1-2):18-41. doi: 10.1006/enrs.1997.3707.
- Anger, W. K. 2014. Reconsideration of the WHO NCTB strategy and test selection. **Neurotoxicology**, Dec;45:224-31. doi: 10.1016/j.neuro.2014.08.003.
- Arrifano, G. P. F.; Martín-Doimeadios, R. C. R.; Jiménez-Moreno, M.; Ramírez-Mateos, V.; da Silva, N. F. S.; Souza-Monteiro, J. R.; Augusto-Oliveira, M.; Paraense, R. S. O.; Macchi, B. M.; do Nascimento, J. L. M.; Crespo-Lopez, M. E. 2018. Large-scale projects in the amazon and human exposure to mercury: The case-study of the Tucuruí Dam. **Ecotoxicol Environ Saf**, Jan;147:299-305. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.08.048.
- Bakir, F.; Dambuji, S. F.; Amin-Zaki, L.; Murthada, M; Khalidi, A; Al-Rawi, NY; Tikrite, S; Dhahir, HI; Clarkson, TW; Smith, JC e Doherty, PA. 1973. Methylmercury Poisoning in Iraq. **Science**, 181:230-236.
- Bastos, W. R.; Gomes, J. P.; Oliveira, R. C.; Almeida, R.; Nascimento, E. L.; Bernardi, J. V.; de Lacerda, L. D.; da Silveira, E. G.; Pfeiffer, W. C. 2006. Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. **Sci Total Environ**, Sep 1;368(1):344-51. doi: 10.1016/j.scitotenv.2005.09.048.
- Bastos, W. R.; Dórea, J. G.; Lacerda, L. D.; de Almeida, R.; Aleixo da C.; Junior, W.; Baía, C. C., de Sousa-Filho, I. F.; de Sousa, E. A.; Oliveira, S. A. S. I.; Cabral, S. C.; Manzatto, A. G.; Carvalho, D. P.; Ribeiro, K. A. N.; Malm, O. 2020. Dynamics of Hg and MeHg in the Madeira River Basin (Western Amazon) before and after impoundment of a run-of-river hydroelectric dam. **Environmental Research**, Oct; (189):109896. doi: 10.1016/j.envres.2020.109896.
- Bisinoti, M. C.; Jardim, W. F. 2004. O comportamento do metilmercúrio (METILHg) no ambiente. **Química Nova**, v. 27, n. 4, p. 593–600.
- Bjørklund, G.; Dadar, M.; Mutter, J.; Aaseth, J. 2017. The toxicology of mercury: current research and emerging trends, **Environ. Res**, Nov;159:545-554. doi: 10.1016/j.envres.2017.08.051.
- Bjørklund, G.; Peana, M.; Dadar, M.; Chirumbolo, S.; Aaseth, J.; & Martins, N. 2020. Mercury-induced autoimmunity: Drifting from micro to macro concerns on autoimmune disorders. **Clinical Immunology**, 213, 108352. doi:10.1016/j.clim.2020.108352.
- Boischio, A. A.; Barbosa, A. 1993. Exposição ao mercúrio orgânico em populações Ribeirinhas do Alto Madeira, Rondônia, 1991: resultados preliminares [Exposure to organic mercury in riparian populations on the Upper Madeira river, Rondonia, Brazil, 1991: preliminary results]. **Cad Saude Publica**, Apr-Jun;9(2):155-60. doi: 10.1590/s0102-311x1993000200006.
- Boischio, A. A.; Henshel D. 2000. Fish consumption, fish lore, and mercury pollution--risk communication for the Madeira River people. **Environ Res**, Oct;84(2):108-26. doi: 10.1006/enrs.2000.4035.

- Branco, V.; Caito, S.; Farina, M.; Teixeira da Rocha, J.; Aschner, M.; Carvalho, C. 2017. Biomarkers of mercury toxicity: Past, present, and future trends. **J Toxicol Environ Health B Crit Rev**,20(3):119-154. doi:10.1080/10937404.2017.1289834.
- Bravin, André Amaral. **Avaliação neurocomportamental da exposição ao n-hexano em trabalhadores de indústrias de extração de óleo vegetal**. 2014. 95 f. Tese (Doutorado em Ciências do Comportamento)—Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em <https://repositorio.unb.br/handle/10482/19955>. Acesso em: 02 dez. 2021.
- Cambraia, Suzy Vijande. **Teste AC: Atenção concentrada (4ª Edição)**. São Paulo: Vetor Editora Psico-Pedagógica Ltda, 2018.
- Castoldi, A. F.; Coccini, T.; Manzo, L. 2003. Neurotoxic and molecular effects of methylmercury in humans. **Rev Environ Health**, Jan-Mar;18(1):19-31. doi: 10.1515/reveh.2003.18.1.19.
- Crespo-Lopez, M. E.; Augusto-Oliveira, M.; Lopes-Araújo, A.; Santos-Sacramento, L.; Yuki Takeda, P.; Macchi, B. M.; do Nascimento, J. L. M.; Maia, C. S. F.; Lima, R. R.; Arrifano, G. P. 2021. Mercury: What can we learn from the Amazon? *Environ Int*, Jan;146:106223. doi: 10.1016/j.envint.2020.106223.
- Conselho Federal de Psicologia – CFP. **Código de Ética Profissional do Psicólogo**. 2005. Disponível em: <https://site.cfp.org.br/wp-content/uploads/2012/07/codigo-de-etica-psicologia-1.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2020.
- Dórea, J. G. 2003. Fish are central in the diet of Amazonian riparians: should we worry about their mercury concentrations? **Environ Res**, Jul;92(3):232-44. doi: 10.1016/s0013-9351(02)00092-0.
- dos Reis Dutra, N. G.; de Souza Santos, S. C.; Lima de Aguiar, M. J. & Ramos Alves de Aguiar, C. R. 2014. Avaliação Neuropsicológica de Habilidades Atentivas em Pacientes com Transtorno Depressivo Maior. **Psico**, 44(4), 552-559. Disponível em: <https://revistaseletronicas.pucrio.br/ojs/index.php/revistapsico/article/view/12513>. Acesso em: 12 dez. 2021.
- Esteban, M.; Castaño, A. 2009. Non-invasive matrices in human biomonitoring: a review. **Environ Int**, Feb;35(2):438-49. doi: 10.1016/j.envint.2008.09.003.
- Farina, M.; Avila, D. S.; da Rocha, J.B.; Aschner, M. 2013. Metals, oxidative stress and neurodegeneration: a focus on iron, manganese and mercury. **Neurochem Int**, Apr;62(5):575-94. doi: 10.1016/j.neuint.2012.12.006.
- Grandjean, P.; Budtz-Jørgensen, E.; White, R.F.; Jørgensen, P. J.; Weihe, P.; Debes, F.; Keiding, N. 1999. Methylmercury exposure biomarkers as indicators of neurotoxicity in children aged 7 years. **Am J Epidemiol**, Aug 1;150(3):301-5. doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a010002.
- Grandjean, P. & White, R. F. 2001. Neurobehavioral Dysfunction as a Possible Sentinel of Methylmercury Exposure, Human and Ecological Risk Assessment. **An International Journal**, 7:5, 1079-1089. doi: 10.1080/20018091094862 .
- Guimarães, J. R.; Roulet, M.; Lucotte, M.; Mergler, D. 2000. Mercury methylation along a lake-forest transect in the Tapajós river floodplain, Brazilian Amazon: seasonal and vertical variations. **Sci Total Environ**, Oct 16;261(1-3):91-8. doi: 10.1016/s0048-9697(00)00627-6.
- Hacon, S.; Barrocas, P. R. G.; Vasconcellos, A. C. S. de; Barcellos, C.; Wasserman, J. C.; Campos, R. C.; Azevedo-Carlsoni, F. B. 2008. An overview of mercury contamination research in

the Amazon basin with an emphasis on Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, 24(7), 1479–1492. doi:10.1590/s0102-311x2008000700003.

Hacon, S. S.; Dórea, J. G.; Fonseca, M. de F.; Oliveira, B. A.; Mourão, D. S.; Ruiz, C. M.; Gonçalves, R. A.; Mariani, C. F.; Bastos, W. R. 2014. The influence of changes in lifestyle and mercury exposure in riverine populations of the Madeira River (Amazon Basin) near a hydroelectric project. **Int J Environ Res Public Health**, Feb 26;11(3):2437-55. doi: 10.3390/ijerph110302437.

Herculano A. M.; Crespo-López M. E.; Lima, S. M. A.; Picanço-Diniz, D. L. W.; Nascimento, J. L. M. 2006. Methylmercury intoxication activates nitric oxide synthase in chick retinal cell culture. **Braz. J. Méd. Biol. Res.**, 39 (3): 415-418. doi: 10.1590/s0100-879x2006000300013.

Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (2003: Rome, Italy), World Health Organization & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2004). Evaluation of certain food additives and contaminants : sixty-first report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42849>. Acesso em: 10 fev. 2021.

Langeland, A. L.; Hardin, R. D.; Neitzel, R. L. 2017. Mercury Levels in Human Hair and Farmed Fish near Artisanal and Small-Scale Gold Mining Communities in the Madre de Dios River Basin, Peru. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, mar 14; 14(3): 302. doi: 10.3390/ijerph14030302.

Magarelli, G.; & Fostier, A. 2005. Influence of deforestation on the mercury air/soil exchange in the Negro River Basin, Amazon. **Atmospheric Environment**, 39(39), 7518–7528. doi:10.1016/j.atmosenv.2005.07.067 .

Marques, R. C.; Bernardi, J. V. E.; Dórea, J. G.; Moreira, M. D. R.; Malm, O. 2014. Perinatal multiple exposure to neurotoxic (lead, methylmercury, ethylmercury, and aluminum) substances and neurodevelopment at six and 24 months of age. **Environmental Pollution**, 187, 130-135. doi: 10.1016/j.envpol.2014.01.004.

Maurice-Bourgoin, L.; Quiroga, I.; Chincheros, J.; Courau, P. 2000. Mercury distribution in waters and fishes of the upper Madeira rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations. **Sci Total Environ**, Oct 9;260(1-3):73-86. doi: 10.1016/s0048-9697(00)00542-8.

Obrist, D.; Kirk, J. L.; Zhang, L.; Sunderland, E. M.; Jiskra, M.; Selin, N. E. 2018. A review of global environmental mercury processes in response to human and natural perturbations: Changes of emissions, climate, and land use. **Ambio**, Mar;47(2):116-140. doi: 10.1007/s13280-017-1004-9.

Passos, C. J.; Mergler, D. 2008. Human mercury exposure and adverse health effects in the Amazon: a review. **Cad Saude Publica**,24 Suppl 4:s503-20. 24. doi: 10.1590/s0102-311x2008001600004.

Pinheiro, M. C.; Oikawa, T.; Vieira, J. L.; Gomes, M. S.; Guimarães, G. A.; Crespo-López, M. E.; Müller, R. C.; Amoras, W. W.; Ribeiro, D. R.; Rodrigues, A. R.; Côrtes, M. I.; Silveira, L. C. 2006. Comparative study of human exposure to mercury in riverside communities in the Amazon region. **Braz J Med Biol Res**, Mar;39(3):411-4. doi: 10.1590/s0100-879x2006000300012.

Pollard, K. M.; Hultman, P. Effects of mercury on the immune system. **Met Ions Biol Syst**, 34:421-40. 1997.

- Puty, B.; Leão, L. K. R.; Crespo-Lopez, M. E.; Almeida, A. P. C. P. S. C.; Fagundes, N. C. F.; Maia, L. C.; Lima, R. R. 2019. Association between methylmercury environmental exposure and neurological disorders: A systematic review. **J Trace Elem Med Biol**, Mar;52:100-110. doi: 10.1016/j.jtemb.2018.12.001.
- Rocha, J. C.; Junior, E. S.; Zara, L. F.; Rosa, A. H.; Dos Santos, A.; Burba, P. 2000. Reduction of mercury(II) by tropical river humic substances (Rio Negro) - A possible process of the mercury cycle in Brazil. **Talanta**, Dec 4;53(3):551-9. doi: 10.1016/s0039-9140(00)00532-4.
- Rohling, M.L.; Demakis, G. J. 2006. **A meta-analysis of the neuropsychological effects of occupational exposure to mercury**. Clin Neuropsychol. 2006 Feb;20(1):108-32. doi: 10.1080/13854040500203324.
- Sanfeliu, C.; Sebastià, J.; Cristòfol, R.; Rodríguez-Farré, E. 2003. Neurotoxicity of organomercurial compounds. **Neurotox Res**, 5(4):283-305. doi: 10.1007/BF03033386.
- Santos, E. C.; Jesus, I.M.; Brabo, E. S.; Loureiro, E. C.; Mascarenhas, A. F.; Weirich, J.; Câmara, V. M.; Cleary, D. 2000. Mercury exposures in riverside Amazon communities in Pará, Brazil. **Environ Res**, Oct;84(2):100-7. doi: 10.1006/enrs.2000.4088.
- Santos, E.C.; de Jesus, I. M.; Câmara, V. de M.; Brabo, E.; Loureiro, E. C.; Mascarenhas, A.; Weirich, J.; Luiz, R. R.; Cleary, D. 2002. Mercury exposure in Mundurucu Indians from the community of Sai Cinza, State of Pará, Brazil. **Environ Res**, Oct;90(2):98-103. doi: 10.1006/enrs.2002.4389.
- Santos-Lima, C. D.; Mourão, D. S.; Carvalho, C. F.; Souza-Marques, B.; Veja, C. M.; Gonçalves, R. A.; Argollo, N.; Menezes-Filho, J. A.; Abreu, N.; Hacon, S. S. 2020. Neuropsychological Effects of Mercury Exposure in Children and Adolescents of the Amazon Region, Brazil. **Neurotoxicology**, Jul;79:48-57. doi: 10.1016/j.neuro.2020.04.004.
- Schuurs, A. H. B. 1999. Reproductive Toxicity of Occupational Mercury. A Review of the Literature. **Journal of Dentistry**, 27:249-256. doi: 10.1016/s0300-5712(97)00039-0.
- Shenker, B. J.; Guo, T. L.; Shapiro, I. M. 2000. Mercury-induced apoptosis in human lymphoid cells: evidence that the apoptotic pathway is mercurial species dependent. **Environ Res**, Oct;84(2):89-99. doi: 10.1006/enrs.2000.4078.
- Steckling, N.; Gotti, A.; Bose-O'Reilly, S.; Chapizanis, D.; Costopoulou, D.; De Vocht, F.; Garí, M.; Grimalt, J. O.; Heath, E.; Hiscock, R.; Jagodic, M.; Karakitsios, S. P.; Kedikoglou, K.; Kosjek, T.; Leondiadis, L.; Maggos, T.; Mazej, D.; Polańska, K.; Povey, A.; Rovira, J.; Schoierer, J.; Schuhmacher, M.; Špirić, Z.; Stajniko, A.; Stierum, R.; Tratnik, J. S.; Vassiliadou, I.; Annesi-Maesano, I.; Horvat, M.; Sarigiannis, D. A. 2018. Biomarkers of exposure in environment-wide association studies - Opportunities to decode the exposome using human biomonitoring data. **Environ Res**, Jul;164:597-624. doi: 10.1016/j.envres.2018.02.041.
- Stenberg, R. J. **Psicologia Cognitiva**. Porto Alegre: Artmed, 2000.
- Syversen, T.; Kaur, P. 2012. The toxicology of mercury and its compounds. **J Trace Elem Med Bio**, Oct;26(4):215-26. doi: 10.1016/j.jtemb.2012.02.004.
- Tavares, L. M.; Câmara, V. M.; Malm, O.; Santos, E. C. 2005. Performance on neurological development tests by riverine children with moderate mercury exposure in Amazonia, Brazil. **Cad Saude Publica**, Jul-Aug;21(4):1160-7. doi: 10.1590/s0102-311x2005000400018.

Tonglet, E. C. **BGFM-1: Bateria Geral de Funções Mentais: teste de memória de reconhecimento** (1ª Edição). São Paulo: Vetor Editora Psico-Pedagógica Ltda, 2007.

Tonglet, E. C. **BGFM-1: Bateria Geral de Funções Mentais: teste de atenção difusa** (2ª Edição). São Paulo: Vetor Editora Psico-Pedagógica Ltda, 2018.

World Health Organization/United Nations Environment Programme (WHO/UNEP). **Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure, 170**. World Health Organization, Geneva, Switzerland: Inter- Organization Programme for the Sound Management of Chemicals, 2008. Disponível em: <https://www.who.int/publications/m/item/guidance-for-identifying-populations-at-risk-from-mercury-exposure>. Acesso em: 04 jun. 2020.

Yokoo, E. M.; Valente, J. G.; Grattan, L.; Schmidt, S. L.; Platt, I.; Silbergeld, E. K. 2003. Low level methylmercury exposure affects neuropsychological function in adults. **Environ Health**, Jun 4;2(1):8. doi: 10.1186/1476-069X-2-.

## **CAPÍTULO 1 - Evolução temporal da exposição humana ao mercúrio na Amazônia: uma abordagem cienciométrica**

Clarisse Vasconcellos Serra, Wllyane da Silva Figueiredo e José Vicente Elias Bernardi  
Artigo publicado no periódico eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista ISSN 1980-0827 – Volume 17, número 3, 2021, <https://doi.org/10.17271/1980082717320213042>

### **Resumo**

Em decorrência da atual atenção global à exposição e toxicidade do mercúrio, bem como suas diversas consequências nos ecossistemas e na saúde humana, novas ferramentas de cienciométrica auxiliam para um detalhamento do entendimento das questões envolvidas. Nesta pesquisa bibliográfica, foram contemplados os estudos do risco de exposição humana ao mercúrio nas populações do bioma amazônico brasileiro nas últimas três décadas usando técnicas cienciométricas, acoplagem bibliográfica, autores, citações e palavras chave. As análises no período de 1991 a 2019 possibilitaram a seleção de 130 artigos. Houve a identificação das principais instituições de pesquisa, classificação e interrelações dos principais eixos temáticos dos estudos no bioma amazônico e autores mais citados. Foram ordenados os artigos mais referenciados sobre esse tema e os principais bioindicadores. Os resultados demonstram que a maioria dos estudos foram realizados ao longo dos rios e com populações ribeirinhas. No universo amostral, existe a predominância das localidades do rio Tapajós e rio Madeira. A maior parte dos pesquisadores trabalham apenas com parcerias internas, sem interação com outros grupos científicos. A matriz cabelo é o principal bioindicador de exposição de Hg utilizado pelos autores. Para a perspectiva futura, este artigo tem o potencial de representar um entendimento temporal geral de exposição humana ao mercúrio na Amazônia e seus principais bioindicadores.

**Palavras-chave:** Amazônia; Biomarcadores; Cienciométrica; Toxicidade ao mercúrio

## 1. INTRODUÇÃO

Os estudos sobre a dinâmica ambiental do Hg são de interesse global. De acordo com Okpala *et al.*, (2017) e Basu *et al.*, (2018), os impactos do uso da terra e das mudanças climáticas no ciclo do Hg estão ligados às mudanças no ecossistema e aos ciclos atmosféricos e oceânicos globais. A exposição a baixos níveis de Hg pode levar a graves problemas genotóxicos, despertando na última década questionamentos sobre a segurança dos limites atuais de exposição ao MeHg (Ha *et al.*, 2016). Estudos de vários autores como Malm *et al.*, 1997; Malm, 1998; Roulet *et al.*, 2000; Dolbec *et al.*, 2001; Lemire *et al.*, 2009; Malm *et al.*, 2010; Fonseca *et al.*, 2014; Vega *et al.*, 2018, afirmam que as inundações sazonais dos rios e suas planícies de inundação regulam a produção e a biodisponibilidade do metilmercúrio (MeHg) para as redes alimentares.

A identificação de elevadas concentrações de Hg em peixes e populações humanas, entre aqueles que vivem longe das atividades de mineração de ouro, tem levado a propostas para outras fontes primárias de Hg (Bisinoti & Jardim, 2004; Passos & Mergler, 2008; Faial *et al.*, 2014; Rodríguez Martín-Doimeadios *et al.*, 2014; Bastos *et al.*, 2015; Castilhos *et al.*, 2015; Langeland *et al.*, 2017; Weinhouse *et al.*, 2017).

O biomonitoramento humano é utilizado como ferramenta de apoio à detecção precoce da exposição a agentes tóxicos, na tentativa de reduzir os efeitos nocivos à saúde humana. Para isso, é necessário determinar esses agentes, bem como definir níveis aceitáveis de exposição e também realizar a análise de prováveis agravos à saúde relacionados a essa exposição (Amorim *et al.*, 2003; Arrifano *et al.*, 2018a; Cerbino *et al.*, 2018; Freitas *et al.*, 2018; Wyatt *et al.*, 2019).

Atualmente há várias lacunas para o entendimento quantitativo de como os fatores intrínsecos e extrínsecos atuam nas esferas moleculares, individuais e globais podem interferir no risco de exposição ao Hg, toxicidade e impactos na saúde (Eagles-Smith *et al.*, 2018). Os efeitos neurológicos em humanos ao longo do tempo requerem mais estudos sobre o assunto (Ratcliffe *et al.*, 2015). Atualmente, existe a necessidade de integração de um banco de dados com repositórios de publicações científicas voltadas para futuras avaliações de riscos.

Nessa perspectiva, os estudos na Amazônia são heterogêneos, dependentes de vários fatores, não havendo tendência de resultados e algumas áreas não foram estudadas. Grande parte da população amazônica pode ser considerada exposta às diferentes formas químicas do Hg. Assim, esta investigação quantifica o progresso científico com o objetivo de identificar e integrar estudos relacionados à exposição ao Hg na região amazônica por

meio do exame de diferentes matrizes humanas e do uso de ferramentas cienciométricas. Esta abordagem é uma ferramenta que identifica e indica soluções para a realidade social do pesquisador e da pesquisa e, sobretudo, contribui para verificar os temas e lacunas pouco estudadas.

## 2. METODOLOGIA

O banco de dados utilizado neste estudo adotou a Coleção Núcleo da *Web of Science* (WoS) relativa às rotas de exposição ao Hg e seus possíveis impactos na população amazônica. A estratégia de busca adotou a seguinte nomenclatura: TI = (\* mercúrio \* OR Hg OR metilmercúrio AND exposição OU exposto) AND TS = (cabelo \* AND peixe AND Amazon) e as pesquisas foram conduzidas em inglês. A partir de um resultado inicial de 751 artigos pesquisados em outubro de 2019, foram selecionados 130, abrangendo o período de 1991 a 2019, e seguiram a ordenação numérica de 1 a 130, sendo o 1º artigo publicado em 1991 e o último em 2019.

Os critérios de seleção foram trabalhos que abordassem a exposição humana ao Hg e MeHg e pesquisas na região amazônica. O restante do resultado foi excluído porque não foi desenvolvido na Amazônia, inclusive os artigos de revisão, uma vez que o eixo do trabalho é catalogar estudos que visem avaliar a exposição e toxicidade da população da Amazônia brasileira, e também quais foram os diferentes tipos de amostras utilizadas nos artigos. É importante observar que somente a partir de 1991 as palavras-chave e resumos dos autores tornaram-se acessíveis gratuitamente na plataforma *Web of Science*.

Os artigos analisados nesta revisão foram publicados em periódicos científicos internacionais e nacionais. Todos eles foram coletados em fontes eletrônicas. Depois, identificou-se os pesquisadores e grupos de pesquisa que trabalham com essa temática, organizados por suas respectivas instituições, e tabulou suas produções acadêmicas e locais de estudo (hipótese 1).

O software HistCite™, versão 9.8.24 (Filadélfia, PA, EUA) foi usado para extrair informações relacionadas aos autores com maior número de publicações e/ou mais citados, ano de publicação, palavras mais frequentes e periódicos com maior número de publicações artigos (hipótese 2).

Os mapas de conexão foram elaborados com o software VOSViewer™, versão 1.6.11 (Leiden, Holanda) para identificar graficamente as correlações das publicações científicas a partir das mesmas palavras-chave utilizadas na pesquisa inicial na *Web of Science* (hipótese 3). Círculos e linhas aumentam de tamanho de acordo com a densidade forte ou

fraca de pesquisadores em relação às suas redes colaborativas. Na análise de coautoria, foram excluídos os autores que possuíam apenas 1 artigo por não se qualificarem na rede de colaboração. Na rede de citações e autores, estabelecemos um mínimo de 5 artigos por cada um dos autores para representar clusters colaborativos (hipótese 4).

O software JAMOVI - 1.0.1.0, foi utilizado para verificar as relações entre os artigos que pesquisaram de diferentes formas, para identificar o grau de exposição ao Hg, seja através de amostra de cabelo, sangue, urina ou ingestão de peixes, e se esses artigos se aplicaram testes neuropsicológicos, que identificam o comprometimento do desenvolvimento neuropsicomotor (hipótese 5).

Os dados dos 130 artigos foram inseridos em planilha excel, a fim de gerar um arquivo binário relacionado ao tipo de rota de exposição ao Hg utilizada na pesquisa dos autores. A análise estatística multivariada foi utilizada para a análise de agrupamento utilizando o algoritmo com distâncias euclidianas, com "Linkage" completo. Os dados foram executados no XLSTAT 2019.

### **3. RESULTADOS**

A análise de cluster aplicada ao perfil geral dos 130 artigos selecionados apresentou 12 matrizes, e o coeficiente de correlação confenética foi de 0,914. A hierarquia mostra 3 grupos principais (1,2,3). O Grupo 1 apresentou o cabelo como destaque principal, complementando o grupo que temos a pesquisa alimentar e matrizes infantis. Essas três matrizes foram as mais encontradas nos artigos pesquisados e tiveram o menor aumento na variância intragrupo e todas as demais matrizes descritas no trabalho.

O Grupo 2 foi caracterizado pelos peixes utilizados para avaliar o ambiente aquático e a exposição das populações ribeirinhas. A distância média do centróide mostrou que os artigos que utilizaram os peixes são os mais semelhantes entre si. O grupo 3, a urina, foi o principal destaque, comumente utilizado para determinar o Hg total, principalmente em estudos com população exposta ao Hg em ambientes ocupacionais, como a mineração de ouro. Complementando este grupo, temos sangue, indicadores ambientais, indígenas, avaliação neuropsicológica, exposição ao Hg por meio de vacinas, leite materno e avaliação neurológica. Nesse grupo existe uma correlação robusta entre os artigos que utilizaram a vacina como via de exposição e o leite materno aplicado em testes neurológicos e neuropsicológicos.

No cluster, destaca-se a matriz de peixes, principal via de exposição humana. Observe que o grupo 2 foi usado junto com os grupos 1 e 3. O cabelo do grupo 1 é usado com a

pesquisa alimentar e em crianças. No entanto, também se conecta com os grupos 2 e 3, e ambos o usam como bioindicador. O grupo 3 faz correlação direta com o grupo 2, com ênfase em conter outras matrizes que são utilizadas em artigos com finalidade específica e em população diferente.

A hierarquia dos 130 artigos analisados, dependendo das variáveis, resultou em 4 grupos (A, B, C, D), com coeficiente de correlação canônica de 0,65, de acordo com a ordenação numérica dos artigos (Figura 01). Grupo A, o centróide foram os artigos com a variável sangue, seguidos dos artigos do cabelo. A tendência desses 24 artigos foram estudos que investigaram o cabelo bioindicador de exposição ao Hg, sangue, urina e também a ingestão alimentar. Grupo B, os 41 artigos desenvolveram estudos para avaliar a concentração de Hg em peixes.

Neste grupo B, os artigos com as amostras de peixes foram o destaque no centróide do grupo, e a maior distância entre os centróides deste grupo B foi com o grupo C. Diante desta afirmação, entende-se que os artigos que utilizam a matriz de peixes (grupo B) foram pouco utilizados em artigos com crianças, avaliações neuropsicológicas e neurológicas (grupo C). Verificou-se também que nenhum estudo pesquisou a matriz de peixes, juntamente com a avaliação neuropsicológica para melhor compreender as consequências da bioacumulação de Hg para as comunidades amazônicas.

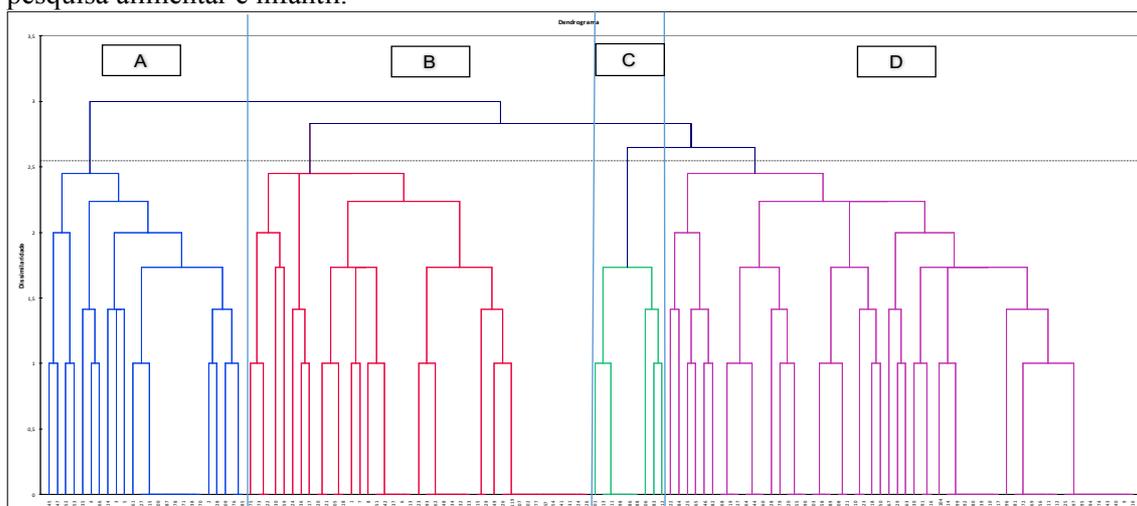
O grupo C com 9 artigos é composto pelas variáveis avaliação neuropsicológica, avaliação neurológica e crianças, com média no centróide de 0,647, indicando que os estudos são bastante semelhantes entre si e com a menor variância intragrupo. A menor distância entre o centróide do grupo C foi com o grupo D, e isso parece ser devido ao fato da matriz do cabelo, pertencente ao grupo D, ser amplamente utilizada por pesquisadores para avaliar a carga corporal de HgT no corpo humano. A maior distância entre os objetos centrais foi com o Grupo B, uma matriz de peixes.

O grupo D, com 56 artigos com matrizes capilares, inquérito alimentar e infantil, apresenta alta variância intragrupo e o principal centróide da classe foi a matriz capilar. A menor distância dos centróides deste grupo D foi com o grupo A, pois utilizaram matrizes iguais, tais como: levantamento capilar e alimentar e em oposição, a maior distância dos centróides foi com o grupo C.

O resultado total da decomposição da variação para a classificação ótima, o intragrupo é maior do que o intergrupo, uma vez que as matrizes apresentam diferenças significativas, validando a existência da tendência aparente nas distâncias entre as tentativas. Nessa perspectiva, encontraram que 89 artigos, grupos A, C e D, utilizaram a

matriz capilar como bioindicadora de Hg, correspondendo a aproximadamente 68,5% do total de publicações. Fica evidente na hierarquia detalhada dos artigos que, no contexto da quantificação dos estudos, indica que a comunidade científica usa cabelo na maioria dos trabalhos e vê uma lacuna devido ao baixo uso de avaliação neuropsicológica.

Figura 1. Hierarquização dos 130 artigos para agrupar sobre contaminação por mercúrio em populações humanas: A - 24 estudos com as matrizes de cabelo, sangue, urina e levantamento alimentar; B - 41 trabalha com a matriz de peixes; C - 9 trabalha com matrizes capilares, infantis, testes neurológicos e testes neuropsicológicos; D - São 56 trabalhos com matrizes capilares, pesquisa alimentar e infantil.



O acoplamento bibliográfico apresentado através do software VOSviewer, significa que os artigos se referem a outro artigo comum em suas bibliografias. A análise dos principais acoplamentos bibliográficos em pesquisas de exposição ao Hg na Amazônia (Figura 02), mostrou 5 grupos (1A, 2A, 3A, 4A, 5A) unificando diferentes pesquisadores e suas principais ligações de artigos, com apenas um grupo não conectado com os outros quatro. Os maiores círculos dentro de cada grupo de clusters referem-se aos artigos dos autores mais citados.

Grupo 1A formado por Guimarães, J.R.D. do Laboratório de Traçadores W.C. Pfeiffer do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Fillion, M. do Centre de recherche interdisciplinaire sur la biologie, la société et l'environnement - Université du Québecà Montréal - Canadá, juntamente com Barbosa, F. de Montreal Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto - USP e Aline Philibert da Université du Québecà Montreal, formam um grupo de trabalho sobre exposição ao Hg, vinculado a mais dois grupos, 2A (Dórea, J.G.) e 3A (Malm, O. e Mergler, D.).

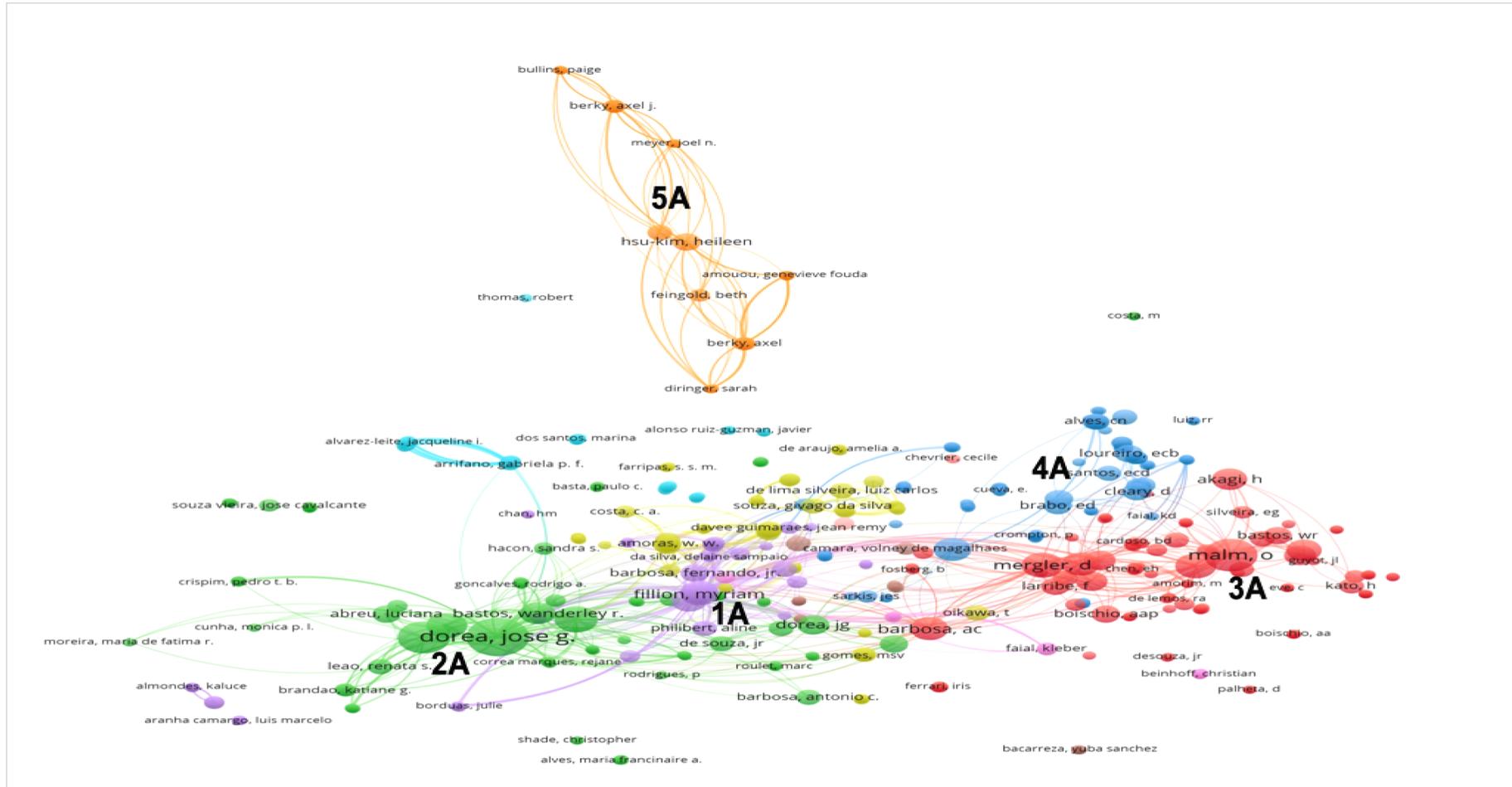
Grupo 2A formado por Barbosa, A.C, Dórea, J.G. e Bernardi, J.V.E., da Universidade de Brasília - UnB, em conjunto com Hacon, S.S. da Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz, Marques, R.C. pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Roulet, M. pela Université du Québec à Montréal - Canadá e Bastos, W. pela Universidade Federal de Rondônia - UNIR. Grupo 3A composto por Malm, O. do Laboratório de Radioisótopos - UFRJ e Penna-Franca, E. da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ; Mergler, D., Dolbec, J. e Lebel, J. de Centre d'étude des interações biológicas entre la santé et l'environnement - Université du Québec à Montréal, Lucotte, M. - Université du Québec à Montréal, Canadá; Bastos, W.R. da Universidade Federal de Rondônia - UNIR e Boischio, A.A.P. pela Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS, Bahia.

Grupo 4A, formado por Oliveira, E.C. e Santos, E.S.B do Laboratório de Ecologia Humana e Meio Ambiente, Instituto Evandro Chagas - Pará, em conjunto com Muller, R.C.S. e Alves, C.N., Departamento de Química, Universidade Federal do Pará - UFPA e Sarkis, J.E., Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Grupo de Caracterização Isotópica, Universidade de São Paulo - USP. Este grupo está ligado, tanto ao primeiro "cluster" (1A - Fillion, M. e Guimarães, J.R.D.), e ao segundo "cluster" (2A - Dórea, J.G.).

O Grupo 5A não se conecta a nenhum outro conjunto. Este grupo inclui Hsu-Kim, H. da Engenharia Civil e Ambiental, Carolina do Norte, Bullins, P. do Duke Global Health Institute, Duke University, Carolina do Norte, Meyer, J.N., Berky, A.J. e Pan, W.K. Nicholas School of the Environment, Duke University, Carolina do Norte.

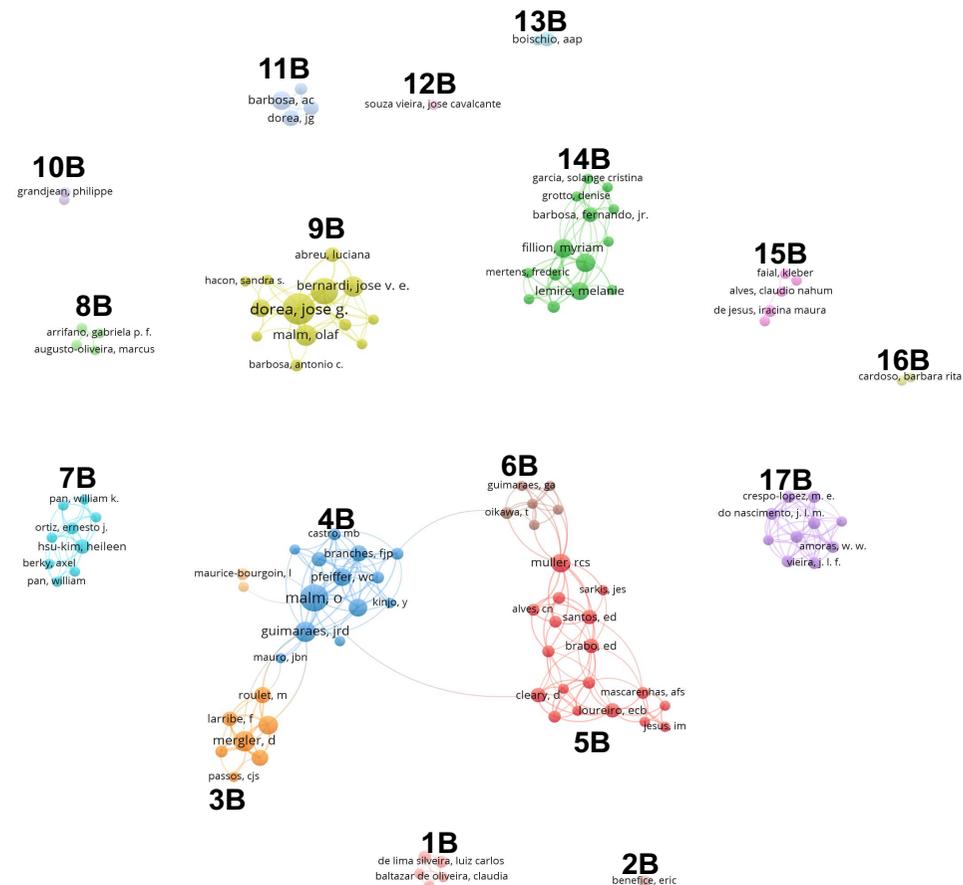
Dentre todos os 130 artigos, 31 autores elegíveis se destacam por terem destacado círculos e linhas, indicando uma forte ligação com os outros 5 grupos colaborativos identificados na **Figura 2** e também mostrados na **Tabela 1**.

Figura 2. Rede bibliográfica de acoplamento Pesquisa de exposição ao Hg em grupo sobre contaminação por mercúrio em populações humanas entre 1991 e 2019. Principais autores dos grupos: 1A - Amoras, W.W., Barbosa, F., da Silva, D.S., Fillion, M. Guimarães, J.R.D. e Philibert, A.; 2A - Barbosa, A.C., Bastos, W., Bernardi, J.V.E, Dórea, J.G., Hacon, S.S., Marques, R.C. e Roulet, M.; 3A - Bastos, W.R., Boischio, A.A.P., Dolbec, J., Lebel, J., Lucotte, M., Malm, O., Mergler, D. e Penna-Franca, E.; 4A - Alves, C.N., Oliveira, E.C., Santos, E.S.B., Muller, R.C.S. e Sarkis, J.E.; 5A - Berky, A.J., Bullins, P., Hsu-Kim, H., Meyer, J.N. e Pan, W.K.



Na **Figura 3**, identifica 4 grupos conectados e 1 grupo respectivamente, possui os círculos destacados pela classificação dos principais coautores e também estão no ranking das citações, são eles: Mergler, D. (3B); Malm. O. (4B); Brabo, E.D. (5B) e Guimarães, J.R.D. (6B) e Dórea, J.G. (9B), todos habilitados na rede de colaboração. Na análise de coautoria (Figura 03), foram excluídos os autores que possuíam apenas 1 artigo, originando uma rede com 17 clusters e 356 links

Figura 3. Rede de coautorias e respectivas equipes de pesquisa em pesquisas de exposição ao Hg na Amazônia entre 1991 e 2019. Autores principais: 1B - Baltazar de Oliveira, C. e de Lima Silveira, L.C.; 2B - Benefício, E.; 3B - Laribe, F., Mergler, D., Passos, C.J.S. e Roulet, M; 4B - Ramos, F.J.P., Guimarães, J.R.D., Malm, O., Pfeiffer, W.C.; 5B - Alves, C.N., Brabo, E.D., Cleary, D., Loureiro, E.C.B., Mascarenhas, A.F.S., Muller, R.C.S., Santos, E.D. e Sarkis, J.E.S.; 6B - Guimarães, G.A. e Oikawa, T.; 7B - Hsu-kim, Beillen., Ortiz, E.J., Pan, W.K., Berky, A. e Pan, W.; 8B - Arrifano, G.P.F. e Augusto-Oliveira, M.; 9B - Abreu, L., Barbosa, A.C., Bernardi, J.V.E., Dórea, J.G., Hacon, S.S. e Malm, O.; 10B - Grandjean, P.; 11B - Barbosa, A.C. e Dórea, J.G.; 12B - Souza Vieira, J.C.; 13B - Boischio, A.A.P.; 14B - Barbosa, F., Garcia, S.C., Grotto, D., Fillion, M., Lemire, M. e Mertens, F.; 15B - Alves, C.N., de Jesus, I.M., e Faial, K.; 16B - Cardoso, B.R.; 17B - Amoras, W.W., Crespo-Lopez, M.E., do Nascimento, J.L.M. e Vieira, J.L.F.

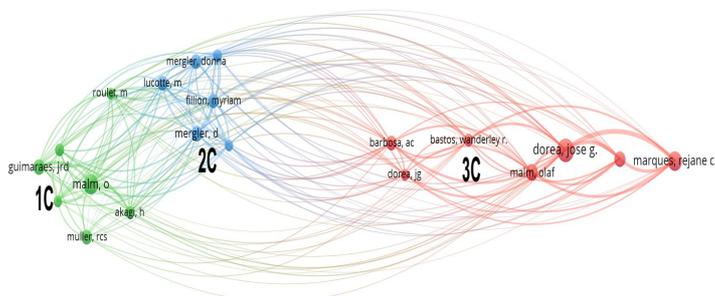


O cluster 5B reúne 18 autores, como Muller, R.C.S., Santos, E.D., Brabo, E.D., Mascarenhas, A.F.S., Loureiro, E.C.B., Alves, C.N. e Sarkis, JES, em sua maioria de instituições do Pará, e se relacionam aos grupos 4B (Malm, O., Guimarães, J.R.D., Pfeiffer, W.C. e Filiais, F.J.P.) e 6B (Guimarães, G.A. e Oikawa, T.) O primeiro é composto por 13 pesquisadores, em sua maioria professores da UFRJ. O cluster 3B (Mergler, D., Roulet, M., Laribe, F., Passos, C.J.S.) tem 7 pesquisadores do Canadá, UFRJ e UnB e está vinculado apenas a 4B (Malm, O., Guimarães, J.R.D., Pfeiffer, W.C. e Filiais, F.J.P.). (Figura 04).

Identificamos grupos que são independentes e não se conectam a nenhum outro cluster: 7B (Hsu-kim, Beillen, Ortiz, E.J., Pan, W.K., Berky, A. e Pan, W.), 9B (Dórea, J.G.), 14B (Fillion, M., Barbosa, F., Lemire, M., Mertens, F., Grotto, D. e Garcia, S.C.), e 17B (Crespo-Lopez, M.E., Do Nascimento, J.L.M., Amoras, W.W. e Vieira, J.S.E.). Os demais clusters são compostos por no máximo 5 autores (8B; 10B; 11B; 13B; 14B; 15B; e 16B).

Na rede de citações e autores, estabelecemos um mínimo de 5 artigos por cada um dos autores, resultando em 130 artigos. De acordo com a tabela de citações gerada pela Web of Science (WoS) Core Collection, o autor mais citado com 1137 citações em 14 artigos foi Malm, O., seguido por Dórea, J.G. com 397 citações em 19 artigos, Mergler, D. com 763 citações em 8 artigos, Lucotte, M. com 682 citações em 7 artigos e Guimarães, J.R.D. com 631 citações em 8 artigos.

Figura 4. Redes de associação entre autores e citações de pesquisas sobre exposição ao Hg na Amazônia entre 1991 e 2019 (grupos de pesquisa de instituições amazônicas e canadenses). Autores principais: 1C - Akagi, H., Guimarães, J.R.D., Malm, O., Muller, R.C.S. e Roulet, M.; 2C - Fillion, M., Lucotte, M. e Mergler, D.; 3C - Barbosa, A.C., Bastos, W.R., Dórea, J.G., Malm, O. e Marques, R.C.



Na **Figura 4** existem 3 clusters, identificados pelas diferentes cores. O Cluster 1C é liderado por Malm, O., tem 7 pesquisadores e faz 18 ligações com os outros dois grupos. O cluster 2C tem o professor Mergler, D. como nó central e outros 6 autores com 19

conexões. O Grupo 3C possui Dórea, J.G. como pesquisador principal, juntamente com outros 7 autores, e faz 19 links. O número total de links foi 181.

Todos esses líderes de grupo têm relevância porque indicam que todos os eixos de estudos estão conectados em seu trabalho e dentro dos grupos. A produção científica da **Tabela 1** mostra que a maioria dos autores das redes desta associação também está no ranking dos artigos mais citados.

Ao analisar co-ocorrências com todas as palavras-chave nos 130 artigos, o critério foi que a palavra aparecesse no título ou resumo de pelo menos 5 publicações. “Metilmercúrio” foi a palavra mais frequente, com 64 ocorrências, seguida de “mercúrio” (54), “peixe” (51), “Amazônia” (49) e “cabelo” (43).

Todas essas palavras estão ligadas a todas as outras. Esses 5 grupos principais estão relacionados à exposição humana ao metilmercúrio e ao mercúrio na região amazônica por meio do consumo de peixes e da concentração medida pelo cabelo. Há uma sequência nas ordens em que as palavras aparecem, seguindo a hierarquia dos artigos (**Figura 1**).

#### 4. DISCUSSÃO

Em relação à pesquisa com peixes, o Instituto Evandro Chagas em conjunto com a Universidade Federal do Pará fez a maioria dos trabalhos, seguido pelos trabalhos desenvolvidos por Malm, O. e seus colaboradores (Universidade Federal do Rio de Janeiro). Além disso, o termo “peixe” apareceu como palavra-chave em 51 artigos, sendo a terceira palavra-chave mais destacada entre os 130 artigos.

De acordo com a tabela de citações gerada pela Web of Science (WoS) Core Collection, após outros estudos, o ano de 2000 se destacou pelo número de artigos científicos produzidos: 14 publicações. Em 2000, houve um pico de publicação sobre contaminação por mercúrio na Bacia Amazônica e uma ligeira diminuição nos últimos dois anos (Hacon *et al.*, 2008). O ano de 2018 veio em segundo lugar, com um total de 10 artigos publicados e, em terceiro, o ano de 2014 com 8 artigos.

A maioria dos estudos usou o cabelo como matriz para avaliar a concentração de Hg. Quase todos os artigos incluíram grupos brasileiros e algumas colaborações internacionais. Dórea, J.G. (Universidade de Brasília) desenvolveu a maioria dos artigos que utilizaram o cabelo como matriz de concentração de Hg em 2014, em parceria com outros 25 pesquisadores, correspondendo a 19% do total, destacando-se como principal autor deste levantamento cienciométrico. O número de instituições internacionais

cooperando com pesquisadores brasileiros é pequeno nos últimos anos (2 instituições) e os mesmos resultados que as instituições de pesquisa canadenses se tornaram os principais parceiros brasileiros (Hacon *et al.*, 2008).

Nos últimos anos, percebeu-se uma troca entre grupos de pesquisa; hoje, os trabalhos estão sendo desenvolvidos por novos pesquisadores. A Universidade Federal do Rio de Janeiro e a Universidade de Brasília continuam suas atividades de pesquisa com Hg e suas fontes contaminantes.

Embora esses esforços de pesquisa tenham produzido grande quantidade de dados, eles se mostraram incapazes de fornecer um quadro conclusivo da contaminação humana por mercúrio na Amazônia e deixaram muitas questões sem solução. Apesar da prevalência de pesquisadores brasileiros nos estudos, esse panorama mostrou que ainda não existe a dose de referência de mercúrio para as populações amazônicas.

#### **4.1. Acoplamento bibliográfico**

Os trabalhos dos autores do grupo 1A (Barbosa, F., Fillion, M. e Guimarães, J.R.D.) foram desenvolvidos predominantemente no rio Tapajós, com foco na compreensão da exposição humana e possíveis influências dos hábitos alimentares, estilo de vida e indicadores ambientais (sedimento, solo, água e atmosfera) (Nyland *et al.*, 2011).

Os estudos dos autores do grupo 2A (Dórea, J.G.) foram realizados em grande parte no rio Madeira (Rondônia), seguido do rio Negro (Amazonas) e do rio Tapajós (Pará), com o objetivo de avaliar o risco de exposição humana à Hg na região amazônica. Esses artigos relatam que as espécies pertencentes ao topo da cadeia alimentar aquática têm maiores concentrações de Hg (Hacon *et al.*, 2014; Rodríguez Martín-Doimeadios *et al.*, 2014; Bastos *et al.*, 2015; Castilhos *et al.*, 2015; Faial *et al.*, 2015; Olivero-Verbel *et al.*, 2016; Langeland *et al.*, 2017; Guida *et al.*, 2018; Lino *et al.*, 2018). Marques *et al.*, (2014 e 2016bc) constataram que a escolaridade das mães influencia o resultado do neurodesenvolvimento da comunidade infantil, mas detectaram baixo nível de comprometimento, sem evidências do impacto dos níveis de EtHg e HgT.

O autor principal do grupo 3A, Malm, O., e seus colaboradores, trabalharam principalmente nos rios Madeira e Tapajós. Malm *et al.*, (2010); Hacon *et al.*, (2014); Guida *et al.*, (2018) e Lino *et al.*, (2018), demonstram que a concentração de Hg na população está relacionada ao consumo de peixes, com aumento, caso o consumo tenha sido de peixes carnívoros. Também comparam essas concentrações entre os rios Tapajós

e Madeira, corroborando as afirmações do grupo 2A, com respostas semelhantes em ambos os grupos, como você pode ver a ligação entre os rios Fillion, M. (1A), Dórea, J.G. (2A) e Malm, O. (3A) grupos na Figura 03.

No cluster 4A, os autores se concentraram em estudos para avaliar os riscos de toxicidade do Hg, considerando o processo de bioacumulação de Hg em peixes e seu consumo pelas comunidades do rio Tapajós (Passos & Mergler, 2008; Nyland *et al.*, 2011; Olivero-Verbel J. *et al.*, 2016). O conglomerado 5A, liderado pelo pesquisador Hsu-Kim, H., apresenta pesquisadores dos Estados Unidos que realizaram trabalhos com crianças no Peru na região do rio Madre de Dios. De acordo com Weinhouse *et al.*, (2017), a exposição ao MeHg aumenta a probabilidade de anemia em ambientes de alto risco, especialmente aqueles em áreas de mineração. Além disso, Wyatt *et al.*, (2019) relataram que mudanças nos níveis de anticorpos e proteção infantil foram associadas a indicadores de desnutrição, exposição ao Hg e sua interação.

O Grupo 1A (Barbosa, F., Fillion, M. e Guimarães, J.R.D.) conecta-se ao grupo 3A (Mergler, D. e Malm, O.). Isso mostra que eles têm referências do trabalho um do outro. O Grupo 2A (Dórea, J.G.) cita os autores do grupo 1A (Barbosa, F., Fillion, M. e Guimarães, J.R.D.) e do grupo 3A (Mergler, D. e Malm, O.). O número de vínculos predomina no grupo 3A, com destaque para Malm, O. No grupo 4A, destacaram-se os pesquisadores Brabo, E. e Santos, E., por fazerem ligações com o grupo 2A (Dórea, J.G.), e com o pesquisador Malm, O. (3A) como o núcleo. Finalmente, o grupo 5A (Hsu-Kim, H.) trabalha com a região amazônica peruana e não colabora com nenhum trabalho na região amazônica brasileira e seus autores. Embora exista um trabalho de referência conjunto, os novos pesquisadores já não se relacionam com os autores que tiveram maior notoriedade nos “clusters” no acoplamento bibliográfico.

#### **4.2. Principais autores de pesquisa e análise de citações**

As publicações mais citadas mostraram a rede dos principais autores e seus respectivos grupos de colaboradores: Cluster 1C (Akagi, H., Guimarães, J.R.D., Malm, O. Muller, R.C.S. e Roulet, M.); depois grupo 2C (Fillion, M., Lucotte, M. e Mergler, D.); finalmente, o cluster 3C (Barbosa, A.C., Bastos, W.R., Dórea, J.G., Malm, O. e Marques, R.C.). A Tabela 01 relaciona os 10 artigos mais citados na base de dados, com a participação dos referidos autores. Alguns autores são vistos em mais de 1 cluster, como é o caso de Malm, O. (1C e 3C). As médias de Hg estão acima de  $10 \mu\text{g g}^{-1}$  na maioria

dos estudos e em 8 deles eles usaram a matriz do cabelo para avaliar a carga de mercúrio no corpo humano.

Tabela 1. Trabalhos mais citados entre 1991 e 2019 com autores (ano), localização, bioindicador de exposição ao Hg e concentração média de Hg ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

Classificação	Autores (ano)	Localidade	Bioindicador de exposição	Média Hg ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )
1	Malm, O. (1998)	Amazônia Brasileira	*	*
2	Lebel, J.; Mergler, D.; Branches, F.; Lucotte, M.; Amorim, M.; Larribe, F.; Dolbec, J. (1998)	Brasília Legal, Pará	Cabelo	>10
3	Grandjean, P.; White, R.F.; Nielsen, A.; Cleary, D.; Santos, E.C.O. (1999)	Rio Tapajós, Pará	Cabelo	>10
4	Malm, O.; Branches, F.J.P.; Akagi, H.; Castro, M.B.; Pfeiffer, W.C.; Harada, M.; Bastos, W.R.; Kato, H. (1995)	Rio Tapajós, Pará	Cabelo	15
5	Akagi, H.; Malm, O.; Branches, F.J.P.; Kinjo, Y.; Kashima, Y.; Guimarães, J.R.D.; Oliveira, R.B.; Haraguchi, K.; Pfeiffer, W.C.; Takizawa, Y.; Kato, H. (1995a)	Alta Floresta, Mato Grosso e Jacareacanga, Pará	Cabelo	30
6	Dolbec, J.; Mergler, D.; Passos, C.J.S.; Sousa de Moraes, S.; Lebel, J. (2000)	Rio Tapajós, Pará	Cabelo	9
7	Akagi, H.; Malm, O.; Kinjo, Y.; Harada, M.; Branches, F.J.P.; Pfeiffer, W.C.; Kato, H. (1995b)	Rio Tapajós, Pará	Cabelo	2
8	Lebel, J.; Roulet, M.; Mergler, D.; Lucotte, M.; Larribe, F. (1997)	Rio Tapajós, Pará	Cabelo	13.45
9	Guimarães, J.R.D.; Meili, M.; Hylander, L.D.; <i>et al.</i> , (2000)	Rio Tapajós, Pará	-	-
10	Barbosa, A.C.; Jardim, W.; Dórea, J.G.; Fosberg, B.; Souza, J. (2001)	Rio Negro, Amazonas	Cabelo	>10

Fonte: Dados da pesquisa. Nota: \* - Informação não definida.

De acordo com a tabela de citações gerada pela *Web of Science* (WoS) Core Collection, os seguintes autores se destacaram como autores mais citados, com relevância e centralidade nos grupos "clusters": 1C (Guimarães, J.R.D. e Malm, O.), 2C (Mergler,

D.) e 3C (Dórea, J.G.). Em primeiro lugar ficou Dórea, J.G., o que se explica pela sua extensa e produtiva trajetória profissional, tendo trabalhado com quase todas as matrizes de exposição ao Hg com diversos co-autores. (**Tabela 2**).

Tabela 2. Os 10 autores mais citados de 130 artigos analisados com registros

<b>Classificação</b>	<b>Autores citados</b>	<b>Registros</b>
1	Dórea, J.G.	90
2	Guimarães, J.R.D.	53
3	Mergler, D.	53
4	Malm, O.	49
5	Bastos, W.R.	44
6	Lucotte, M.	43
7	Barbosa, F.	40
8	Crespo-Lopez, M.E.	28
9	Feng, X.B.	27
10	Marques, R.C.	27

Fonte: Dados da pesquisa.

#### 4.3. Análise de tendência de palavras-chave

Na palavra-chave tendência, grande parte das populações estudadas estava exposta a diferentes fontes de Hg, com predomínio de MeHg (Dórea *et al.*, 2012; Pinheiro *et al.*, 2012; Hacon *et al.*, 2014; Bastos *et al.*, 2015; Marques *et al.*, 2016a; Arrifano *et al.*, 2018b). A palavra “exposição” ocupou a oitava posição no ranking de ocorrências, mas entre os 10 artigos mais citados, 7 deles continham a palavra “metilmercúrio” e / ou “mercúrio” (**Tabela 3**).

Tabela 3. Classificação das 11 principais ocorrências de palavras-chave e força total do link

<b>Classificação</b>	<b>Palavras-Chave</b>	<b>Ocorrências</b>	<b>Total link de força</b>
1	Methylmercury	64	413
2	Mercury	54	346
3	Amazon	48	333
4	Fish	51	327
5	Hair	43	296
6	Fish consumption	41	253
7	Basin	30	220
8	Exposure	31	195
9	Contamination	23	178
10	Brazilian Amazon	27	177
11	Methylmercury exposure	25	157

Fonte: VOSviewer™, versão 1.6.11 (Leiden, Holanda)

Outros autores (Valdelamar-Villegas, J. & Olivero-Verbel, J., 2019) afirmam que residentes de comunidades ribeirinhas são mais vulneráveis à exposição ao MeHg do que garimpeiros, devido ao consumo frequente de peixes. Lino *et al.*, (2018) sugerem que a

população estabeleça uma diminuição no consumo de peixes carnívoros e dê preferência ao consumo de espécies herbívoras e iliófagas, a fim de reduzir a exposição ao Hg. Na revisão de Basu *et al.*, (2018), propõem que a população mundial está exposta a uma certa quantidade de mercúrio e que existe uma mobilidade de expoentes entre regiões e países.

## 5. CONCLUSÕES

A presente análise cienciométrica de 130 artigos mostrou que há conhecimento sobre a toxicidade do Hg na comunidade acadêmica. Os cientistas se comunicam, trabalham com objetivos comuns e existe uma rede de coautores. As discussões dos trabalhos permitiram perceber uma lacuna em relação ao quanto a exposição ao Hg e ao MeHg é considerada segura. Além disso, a fonte de exposição ao Hg para as populações amazônicas foi inconclusiva. Os artigos buscados para esta análise evidenciam que a exposição ao MeHg afeta o bem-estar e a saúde da população. Este estudo sugere que é necessário desenvolver programas padronizados de biomonitoramento para permitir comparações e tendências gerais. Além disso, esforços adicionais são necessários para integrar os bancos de dados para fins de avaliação de risco. Finalmente, permanece difícil concluir sobre as implicações para a saúde pública da exposição ao Hg na Amazônia. Os riscos à saúde humana estão associados a uma variedade de aspectos sociais e econômicos e precisam ser avaliados no contexto local da Amazônia.

## 6. REFERÊNCIAS

- Akagi, H.; Malm, O.; Kinjo, Y.; Harada, M.; Branches, F. J. P.; Pfeiffer, W. C.; Kato, H. 1995a. Methylmercury pollution in the Amazon, Brazil. **Science of The Total Environment**, 175(2), 85–95. doi:10.1016/0048-9697(95)04905.
- Akagi, H.; Malm, O.; Branches, F. J. P.; Kinjo, Y.; Kashima, Y.; Guimarães, J. R. D.; Oliveira, R. B.; Haraguchi, K.; Pfeiffer, W. C.; Takizawa, Y.; Kato, H. 1995b. Human exposure to mercury due to goldmining in the Tapajos River basin, Amazon, Brazil: Speciation of mercury in human hair, blood and urine. **Water, Air, & Soil Pollution**, 80(1-4), 85–94. doi:10.1007/bf01189656.
- Amorim, M.I.; Mergler, D.; Bahia, M. O.; Dubeau, H.; Miranda, D.; Lebel, J.; Burbano, R.R.; Lucotte, M. 2000. Cytogenetic damage related to low levels of methyl mercury contamination in the Brazilian Amazon. **An Acad Bras Cienc**. 2000 Dec;72(4):497-507. doi: 10.1590/s0001-37652000000400004.
- Arrifano, G. P. F.; Martin-Doimeadios, R. C. R.; Jimenez-Moreno, M.; Ramirez-Mateos, V.; da Silva, N. F. S.; Souza-Monteiro, J. R. *et al.* 2018a. Large-scale projects in the amazon and human exposure to mercury: The case-study of the Tucuruí Dam. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 147, 299-305. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.08.048.
- Arrifano, G. P. F.; Martin-Doimeadios, R. C. R.; Jimenez-Moreno, M.; Fernandez-Trujillo, S.; Augusto-Oliveira, M.; Souza-Monteiro, J. R. *et al.* 2018b. Genetic Susceptibility to Neurodegeneration in Amazon: Apolipoprotein E Genotyping in Vulnerable Populations Exposed to Mercury. **Frontiers in Genetics**, 9(285). doi: 10.3389/fgene.2018.00285.
- Barbosa, A. C.; Jardim, W.; Dórea, J. G.; Fosberg, B.; Souza, J. 2001. Hair mercury speciation as a function of gender, age, and body mass index in inhabitants of the Negro River basin, Amazon, Brazil. **Arch Environ Contam Toxicol**. Apr;40(3):439-44. doi: 10.1007/s002440010195.
- Bastos, W. R.; Dórea, J. G.; Bernardi, J. V. E.; Lauthartte, L. C.; Mussy, M. H.; Lacerda, L. D.; Malm, O. 2015. Mercury in fish of the Madeira River (temporal and spatial assessment), Brazilian Amazon. **Environmental Research**, 140, 191-197. doi: 10.1016/j.envres.2015.03.029.
- Basu, N.; Horvat, M.; Evers, D. C.; Zastenskaya, I.; Weihe, P.; Tempowski, J. A. 2018 A State-of-the-Science Review of Mercury Biomarkers in Human Populations Worldwide between 2000 and 2018. **Environmental Health Perspectives**, 126(10), 106001. doi: 10.1289/EHP3904.
- Bisinoti, M. C.; Jardim, W. F. 2004. O comportamento do metilmercúrio (METILHg) no ambiente. **Química Nova**, v. 27, n. 4, p. 593–600.
- Castilhos, Z.; Rodrigues-Filho, S.; Cesar, R.; Rodrigues, A. P.; Villas-Bôas, R.; Jesus, I. *et al.* 2015. Human exposure and risk assessment associated with Mercury contamination in artisanal gold mining areas in the Brazilian Amazon. **Environmental Science and Pollution Research**, 22(15), 11255-11264. doi: 10.1007/s11356-015-4340-y.
- Cerbino, M.R.; Vieira, J. C. S.; Braga, C. P.; Oliveira, G.; Padilha, I. F.; Silva, T. M.; Zara, L. F.; Silva, N. J. Jr.; Padilha, P. M. 2018. Metalloproteomics Approach to Analyze Mercury in Breast Milk and Hair Samples of Lactating Women in Communities of the Amazon Basin, Brazil. **Biol Trace Elem Res**. Feb;181(2):216-226. doi: 10.1007/s12011-017-1057-4.
- Dolbec, J.; Mergler, D.; Sousa Passos, C. J.; Sousa de Moraes, S.; Lebel, J. 2000. Methylmercury exposure affects motor performance of a riverine population of the Tapajós river, Brazilian Amazon. **Int Arch Occup Environ Health**. Apr;73(3):195-203. doi: 10.1007/s004200050027.

- Dolbec, J.; Mergler, D.; Larribe, F.; Roulet, M.; Lebel, J.; Lucotte, M. 2001. Sequential analysis of hair mercury levels in relation to fish diet of an Amazonian population, Brazil. **Science of The Total Environment**, 271(1-3), 87–97. doi:10.1016/s0048-9697(00)0083.
- Dórea, J. G.; Marques, R. C.; Isejima, C. 2012. Neurodevelopment of Amazonian Infants: Antenatal and Postnatal Exposure to Methyl-and Ethylmercury. **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, 1-9. doi: 10.1155/2012/132876.
- Eagles-Smith, C. A.; Silbergeld, E. K.; Basu, N.; Bustamante, P.; Diaz-Barriga, F.; Hopkins, W. A.; Kidd, K. A.; Nyland, J. F. 2018. Modulators of mercury risk to wildlife and humans in the context of rapid global change, **Ambio**, 47. doi: 10.1007/s13280-017-1011-x.
- Faial, K.; Deus, R.; Deus, S.; Neves, R.; Jesus, I.; Santos, E. Alves, C. N.; Brasil, D. 2015. Mercury levels assessment in hair of riverside inhabitants of the Tapajos River, Para State, Amazon, Brazil: Fish consumption as a possible route of exposure. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, 30, 66-76.
- Fonseca, M. D.; Hacon, S. D.; Grandjean, P.; Choi, A. L.; Bastos, W. R. 2014. Iron status as a covariate in methylmercury-associated neurotoxicity risk. **Chemosphere**, 100, 89-96. doi: 10.1016/j.jtemb.2014.10.009.
- Freitas, J. D.; Lacerda, E. M. D. B.; Martins, I. C. V. D.; Rodrigues, D.; Bonci, D. M. O.; Cortes, M. I. T. *et al.* 2018. Cross-sectional study to assess the association of color vision with mercury hair concentration in children from Brazilian Amazonian riverine communities. **Neurotoxicology**, 65, 60-67. doi: 10.1016/j.neuro.2018.02.006.
- Grandjean, P.; Budtz-Jørgensen, E.; White, R.F.; Jørgensen, P. J.; Weihe, P.; Debes, F.; Keiding, N. 1999. Methylmercury exposure biomarkers as indicators of neurotoxicity in children aged 7 years. **Am J Epidemiol**, Aug 1;150(3):301-5. doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a010002.
- Guida, Y. de S.; Lino, A. S.; Nepomuceno, R. C. G.; Meire, R. O.; Torres, J. P. M.; Malm, O. 2018. Amazon Riparian People's Exposure to Legacy Organochlorine Pesticides and Methylmercury from Catfish (*Ageneiosus brevifilis*) Intake. **Orbital the Eletronic Journal of Chemistry**, 10(4), 320-326. doi:10.17807/orbital.v10i4.1071.
- Guimarães, J. R.; Roulet, M.; Lucotte, M.; Mergler, D. 2000. Mercury methylation along a lake-forest transect in the Tapajós river floodplain, Brazilian Amazon: seasonal and vertical variations. **Sci Total Environ**. Oct 16;261(1-3):91-8. doi: 10.1016/s0048-9697(00)00627-6.
- Ha, E.; Basu, N; Bose-O'Reilly, S; Dórea, J. G; McSorley, E.; Sakamoto, M; Chan, H. M. 2016. Current progress on understanding the impact of mercury on human health. **Environmental Research**, 152, 419–433. doi: 10.1016/j.envres.2016.06.042.
- Hacon, S.; Barrocas, P. R. G.; Vasconcellos, A. C. S. de; Barcellos, C.; Wasserman, J. C.; Campos, R. C.; Azevedo-Carlioni, F. B. 2008. An overview of mercury contamination research in the Amazon basin with an emphasis on Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**, 24(7), 1479–1492. doi:10.1590/s0102-311x2008000700003.
- Hacon, S. S.; Dórea, J. G.; Fonseca, M. de F.; Oliveira, B. A.; Mourão, D. S.; Ruiz, C. M.; Gonçalves, R. A.; Mariani, C. F.; Bastos, W. R. 2014. The influence of changes in lifestyle and mercury exposure in riverine populations of the Madeira River (Amazon Basin) near a hydroelectric project. **Int J Environ Res Public Health**, Feb 26;11(3):2437-55. doi: 10.3390/ijerph110302437.

- Langeland, A. L.; Hardin, R. D.; Neitzel, R. L. 2017. Mercury Levels in Human Hair and Farmed Fish near Artisanal and Small-Scale Gold Mining Communities in the Madre de Dios River Basin, Peru. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 14(3), 302. doi: 10.3390/ijerph14030302.
- Lebel, J.; Roulet, M.; Mergler, D.; Lucotte, M.; Larribe, F. 1997. Fish diet and mercury exposure in a riparian amazonian population. **Water, Air, and Soil Pollution**, 97(1/2), 31–44. doi:10.1023/a:1018378207932.
- Lebel J.; Mergler, D.; Branches, F.; Lucotte, M.; Amorim, M.; Larribe, F.; Dolbec, J. 1998. Neurotoxic effects of low-level methylmercury contamination in the Amazonian Basin. **Environ Res.** Oct;79(1):20-32. doi: 10.1006/enrs.1998.3846.
- Lemire, M.; Mergler, D.; Huel, G.; Passos, C. J.; Fillion, M.; Philibert, A.; Guimarães, J. R.; Rheault, I.; Borduas, J.; Normand, G. 2009. Biomarkers of selenium status in the Amazonian context: blood, urine and sequential hair segments. **J Expo Sci Environ Epidemiol.** Feb;19(2):213-22. doi: 10.1038/jes.2008.14.
- Lino, A. S.; Kasper, D.; Guida, Y. S.; Thomaz, J. R.; Malm, O. 2018. Mercury and selenium in fishes from the Tapajos River in the Brazilian Amazon: An evaluation of human exposure. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, 48, 196-201. doi: 10.1016/j.jtemb.2018.04.012.
- Malm, O.; Castro, M. B.; Bastos, W. R.; Branches, F. J. P.; Guimarães, J. R. D.; Zuffo, C. E.; Pfeiffer, W. C. 1995. An assessment of Hg pollution in different goldmining areas, Amazon Brazil. **Science of The Total Environment**, 175(2), 127–140. doi:10.1016/0048-9697(95)04909-6.
- Malm, O.; Guimarães, J. R. D.; Castro, M. B.; Bastos, W. R.; Viana, J. P.; Branches, F. J. P.; Silveira, E. G.; Pfeiffer, W. C. 1997. Follow-up of mercury in fish, human, hair and urine in Madeira and Tapajós Basins, amazon, Brazil. **Water Air Soil Pollut.** 97(1/2), 45-51. doi:10.1023/a:1018340619475.
- Malm, O. 1998. Gold Mining as a Source of Mercury Exposure in the Brazilian Amazon. **Environmental Research**, 77(2), 73–78. doi:10.1006/enrs.1998.3828.
- Malm, O.; Dórea, J. G.; Barbosa, A. C.; Pinto, F. N.; Weihe, P. 2010. 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. doi: 10.1016/j.envres.2010.07.008.
- Marques, R. C.; Bernardi, J. V. E.; Dórea, J. G.; Moreira, M. D. R.; Malm, O. 2014. Perinatal multiple exposure to neurotoxic (lead, methylmercury, ethylmercury, and aluminum) substances and neurodevelopment at six and 24 months of age. **Environmental Pollution**, 187, 130-135. doi: 10.1016/j.envpol.2014.01.004.
- Marques, R. C.; Abreu, L.; Bernardi, J. V. E.; Dórea, J. G. 2016a. Neurodevelopment of Amazonian children exposed to ethylmercury (from Thimerosal in vaccines) and methylmercury (from fish). **Environmental Research**, 149, 259-265. doi: 10.1016/j.envres.2015.12.022.
- Marques, R. C.; Abreu, L.; Bernardi, J. V. E.; Dórea, J. G. 2016b. Traditional living in the Amazon: Extended breastfeeding, fish consumption, mercury exposure and neurodevelopment. **Annals of Human Biology**, 43(4), 360-370. doi: 10.1080/03014460.2016.1189962.

- Marques, R. C.; Bernardi, J. V. E.; Cunha, M. P. L., Dórea, J. G. 2016c. Impact of organic mercury exposure and home delivery on neurodevelopment of Amazonian children. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, 219(6), 498-502. doi: 10.1016/j.ijheh.2016.05.002.
- Nyland, J. F.; Fillion, M.; Barbosa, F.; Shirley, D. L.; Chine, C.; Lemire, M. 2011. Biomarkers of methylmercury exposure immunotoxicity among fish consumers in Amazonian Brazil. **Environmental Health Perspectives**. 119(12), 1733-1738. doi: 10.1289/ehp.1103741.
- Okpala, C. O. R.; Sardo, G.; Vitale, S.; Bono, G.; Arukwe, A. 2018. Hazardous properties and toxicological update of mercury: From fish food to human health safety perspective. **Crit Rev Food Sci Nutr**. 58(12):1986-2001. doi: 10.1080/10408398.2017.1291491.
- Olivero-Verbel, J.; Carranza-Lopez, L.; Caballero-Gallardo, K.; Ripoll-Arboleda, A.; Muñoz-Sosa, D. 2016. Human exposure and risk assessment associated with mercury pollution in the Caqueta River, Colombian Amazon. **Environmental Science and Pollution Research**, 23(20), 20761-20771. doi: 10.1007/s11356-016-7255-3.
- Passos, C. J. S.; Mergler, D. 2008. Human mercury exposure and adverse health effects in the Amazon: a review. **Cadernos de saúde pública**, 24(suppl 4), s503–s520. doi: 10.1590/s0102-311x2008001600004.
- Pinheiro, M. C.; Farripas, S. S.; Oikawa, T.; Costa, C. A.; Amoras, W. W.; Vieira, J. L.; Silveira, A. J.; Lima, A. C.; Souza, G. S.; Silveira, L. C. 2012. Temporal Evolution of Exposure to Mercury in Riverside Communities in the Tapajós Basin, from 1994 to 2010. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, 89 (1), 119-124. doi: 10.1007/s00128-012-0652-5.
- Ratcliffe, H. E.; Swanson, G. M.; Fischer, L. J. 2015. Human Exposure to Mercury: A Critical Assessment of the Evidence of Adverse Health Effects. **Journal of Toxicology and Environmental Health**. Oct 25;49(3):221-70. doi: 10.1080/713851079.
- Rodríguez Martín-Doimeadios, R. C.; Berzas Nevado, J. J.; Guzmán Bernardo, F. J.; Jiménez Moreno, M.; Arrifano, G. P.; Herculano, A. M.; Do Nascimento, J. L.; Crespo-López, M. E. 2014. Comparative study of mercury speciation in commercial fishes of the Brazilian Amazon. **Environmental Science and Pollution Research**. 21(12), 7466-7479. doi: 10.1007/s11356-014-2680-7.
- Roulet, M.; Lucotte, M.; Guimarães, J. R. D.; Rheault, I. 2000. Methylmercury in water, seston, and epiphyton of an Amazonian river and its floodplain, Tapajós River, Brazil. **The Science of The Total Environment**, 261(1-3), 43–59. doi:10.1016/s0048-9697(00)00.
- Valdelamar-Villegas, J. and Olivero-Verbel, J. 2019. High Mercury Levels in the Indigenous Population of the Yaigojé Apaporis National Natural Park, Colombian Amazon. **Biological Trace Element Research**. Mar;194(1):3-12. doi: 10.1007/s12011-019-01760-0.
- Vega, C. M.; Orellana, J. D. Y.; Oliveira, M. W.; Hacon, S. S.; Basta, P. C. Human Mercury Exposure in Yanomami Indigenous Villages from the Brazilian Amazon. **Int J Environ Res Public Health**. 2018 May 23;15(6):1051. doi: 10.3390/ijerph15061051.
- Weinhouse, C.; Ortiz, E. J.; Berky, A. J.; Bullins, P.; Hare-Grogg, J. *et al.* 2017. Hair Mercury Level is Associated with Anemia and Micronutrient Status in Children Living Near Artisanal and Small-Scale Gold Mining in the Peruvian Amazon. **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, 97(6), 1886-1897. doi: 10.4269/ajtmh.17-0269.

Wyatt, L.; Permar, S. R.; Ortiz, E.; Berky, A.; Woods, C. W.; Amouou, G. F.; Itell, H.; Hsu-Kim, H.; Pan, W. *et al.* 2019. Mercury Exposure and Poor Nutritional Status Reduce Response to Six Expanded Program on Immunization Vaccines in Children: An Observational Cohort Study of Communities Affected by Gold Mining in the Peruvian Amazon. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 16 (4), 638. doi: 10.3390/ijerph16040638.

## **CAPÍTULO 2 - Dinâmica de exposição ao mercúrio em população do alto rio Madeira, Rondônia – Brasil**

Clarisse Vasconcellos Serra, Tania Machado Silva e José Vicente Elias Bernardi

Artigo publicado no periódico eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista ISSN 1980-0827 – Volume 17, número 4, 2021, <https://doi.org/10.17271/1980082717420213045>.

### **Resumo**

Este trabalho avalia a influência das funções cognitivas e sociodemográficas na dinâmica de exposição humana ao mercúrio em comunidades do alto rio Madeira no estado de Rondônia, Brasil. Neste estudo epidemiológico longitudinal de amostragens por conveniência (2009 a 2019), questionários semiestruturados sobre aspectos cognitivos e sociodemográficos foram aplicados em 1.089 participantes (646 homens e 443 mulheres) divididos em 06 grupos com características geográficas e estilo de vida distintos. As concentrações de mercúrio total em amostras de cabelo foram determinadas por análise direta, utilizando espectroscopia atômica. Nesta população, os agrupamentos cognitivos (memória, atenção, concentração e dificuldades na leitura e escrita e cálculos matemáticos) e sociodemográficos (localidade, sexo, idade, escolaridade, consumo de álcool e tabagismo, tempo de residência na região, ocupação) evidenciaram a diferenciação dos grupos com estilo de vida diretamente relacionado e dependente do extrativismo/garimpo de ouro dispersos ao longo do rio Madeira (G1 e G2), quando comparados aos outros grupos que possuem dinâmicas urbanas à margem da rodovia federal BR-364 (G3, G4, G5 e G6). O sexo, a idade e o estilo de vida (grupos) foram indicadores significativos nas concentrações de mercúrio total em cabelo. A organização dos participantes em função dos perfis cognitivos e sociodemográficos independentemente da localização geográfica infere a contribuição das dinâmicas sociais individualizadas na exposição ao mercúrio na região da bacia do rio Madeira. Apesar das semelhanças sócio-históricas e socioeconômicas, as funções cognitivas e sociodemográficos inferem comportamentos sociais individualizados dentro das comunidades, podendo influenciar no processo de exposição ao HgT.

**Palavras-chave:** Perfil sociodemográfico; Funções cognitivas; Comunidades amazônicas.

## 1. INTRODUÇÃO

A contaminação por mercúrio (Hg) é uma questão preocupante na região amazônica devido aos efeitos potenciais à saúde associados à exposição em áreas de mineração artesanal de ouro (Castilhos *et al.*, 2015). Na Amazônia, os altos teores de Hg encontrados em solo, sedimentos, peixes e seres humanos inicialmente foram atribuídos à atividade de garimpos de ouro, entretanto, estudos mostraram que as altas concentrações de Hg nos compartimentos abióticos e bióticos são também encontradas em regiões não fontes antrópicas (Farina *et al.*, 2011, Arrifano *et al.*, 2018).

O Hg de fontes naturais e/ou antropogênicas que entra nos ecossistemas aquáticos participa de ciclos biogeoquímicos mediados por microrganismos, passando por biomagnificação e bioacumulação na cadeia alimentar (Azevedo-Silva *et al.*, 2016, Bastos *et al.*, 2015, Sampaio da Silva *et al.*, 2009). O processo de biotransformação do Hg inorgânico em metilmercúrio (MeHg) nos ambientes aquáticos favorece a exposição humana pelo consumo de peixes (Arrifano *et al.*, 2018).

As populações da Amazônia que utilizam o pescado local como principal fonte de proteína estão mais suscetíveis a exposição ao Hg concentrado nos diferentes níveis tróficos das cadeias alimentares (Lino *et al.*, 2018). Diversas variáveis interferem na exposição desses indivíduos, relacionadas tanto a distribuição do Hg ao longo da cadeia trófica quanto ao padrão de consumo de pescado (Guida *et al.*, 2018).

O estilo de vida da população da bacia do alto rio Madeira sofreu os impactos inicialmente da mineração de ouro (décadas de 80 e 90), na sequência, a criação de estradas e desmatamento para projetos agrícolas, e na última década a expansão do setor hidrelétrico na bacia Amazônica (Fearnside, 2016). O complexo hidrelétrico do rio Madeira foi implementado no período de 2009 a 2013, com a construção em cascata das Usina de Jirau (120 km de Porto Velho-Rondônia) e Usina Santo Antônio (Porto Velho – Rondônia), com o objetivo de aumentar a oferta energética para atender o crescimento industrial do país (Fearnside, 2014). Ambas foram construídas no sistema com a tecnologia de barragem hidroelétrica de passagem (RoR), utilizando o fluxo do canal do rio e otimizando a geração de energia (Bastos *et al.*, 2020).

O desenvolvimento econômico influencia na dinâmica de exposição, pois as populações mudam o estilo de vida e alteram o consumo alimentar (Obrist *et al.*, 2018). Vários estudos apresentam a influência do consumo do pescado e as atividades da mineração artesanal de ouro, como principais rotas de contaminação (Arrifano *et al.*, 2018, Bastos *et al.*, 2015). Como a exposição ao mercúrio atinge, principalmente, o

Sistema Nervoso Central (SNC) (Masley *et al.*, 2012), nas funções cognitivas existem perda de memória, diminuição da concentração e atenção (Cordeiro Junior *et al.*, 2003). Profissionais diretamente expostos ao Hg possuem déficits cognitivos e perdas na atividade autonômica simpática (Miloni *et al.*, 2017). Em diferentes níveis de exposição ao Hg, há um declínio das funções psicomotoras e a compreensão verbal demonstra diferença significativa (Rohling & Demakis, 2006).

Entre os aspectos demográficos, o sexo é uma variável consistente associada a exposição ao Hg, com maior prevalência no universo feminino (Shim *et al.*, 2017). Também, verifica-se que a ocupação dos participantes contribui de forma significativa para a variação das concentrações de mercúrio (Barbieri *et al.*, 2009). A associação entre as variáveis sociodemográficas e estilo de vida, apresentou que ter escolaridade com até 3 anos de estudo, ser do sexo feminino e fumante podem representar maior probabilidade de sintomatologia para a intoxicação de Hg (Da Silva-Junior *et al.*, 2018).

Neste trabalho, foi avaliada a contribuição dos agrupamentos cognitivos (memória, atenção, concentração, dificuldades na leitura e na escrita e cálculos matemáticos) e sociodemográficos (localidade, sexo, idade, escolaridade, consumo de álcool e tabagismo, tempo de residência na região, ocupação) dos grupos heterogêneos da população influenciados pela expansão do setor hidrelétrico na região do alto rio Madeira nas dinâmicas de exposição humana ao mercúrio.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1 Aspectos éticos**

Os questionários semiestruturados e o protocolo de pesquisa foram aprovados pelo Comitê de Ética da Faculdade de Medicina da Universidade de Brasília – UnB sob o parecer, CEP-FM 038/2010, em 02 de agosto de 2010 (Anexo A).

### **2.2 Área de estudo e população**

Este estudo epidemiológico transversal faz parte do programa de monitoramento hidrobiogeoquímico do mercúrio na área de influência da Usina Hidrelétrica de Jirau – UHE Jirau, que integra os vetores sociais, ambientais e avaliação da saúde da população residente naquela área. A hidrelétrica foi construída no rio Madeira (2009 a 2013), no eixo da ilha do padre a uma distância de 120 km da capital Porto Velho - Rondônia.

O trabalho consistiu na combinação de uma longa série de amostragens transversais (semestrais) no período de 2009 a 2019, sem repetições dos participantes e na região do alto rio Madeira. A **Figura 1** mostra a área deste estudo, a montante do eixo da UHE Jirau e ilustra os 6 agrupamentos da população de estudo. Esses grupos possuem localizações geográficas diferenciadas, e quando analisados individualmente evidenciam sua heterogeneidade em função das influências de exposição ao mercúrio.

O grupo G1 (garimpeiros) compreende os trabalhadores da mineração artesanal de ouro em dragas fluviais de pequeno e grande porte dispersas ao longo do rio Madeira, sendo que todos utilizam o Hg metálico no processo de amalgamação do ouro e eles ficam alojados nas dragas durante 6 dias/semana com escala de trabalho de 4:4 horas.

O grupo G2 (ribeirinhos) refere aos moradores tradicionais às margens do rio Madeira entre a UHE Jirau e o distrito de Abunã, com maior isolamento dos centros urbanos, tendo o extrativismo e a pesca como principal fonte alimentar. Somente, o G2 teve um período amostral de 2010 a 2014, devido ao eixo de inundação ocasionado pela usina.

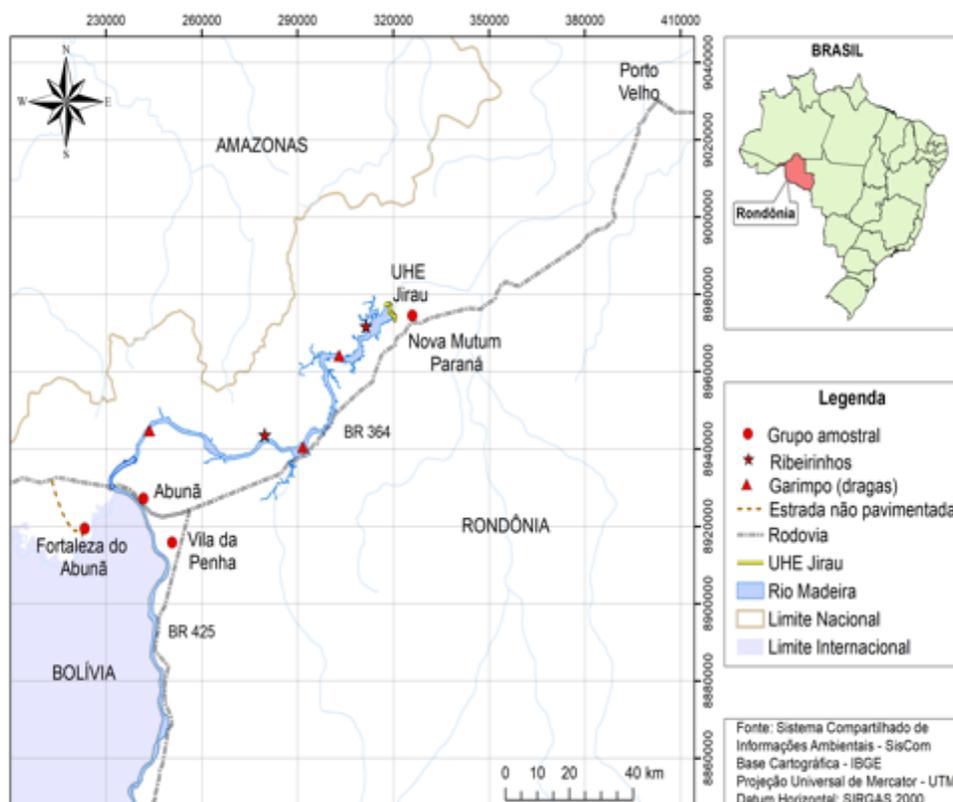
O grupo G3 são moradores do distrito de Fortaleza do Abunã ( $9^{\circ}46'25.1''S$ ;  $65^{\circ}31'01.7''W$ ), às margens do rio Abunã na divisa com a Bolívia. A região possui difícil acesso, sendo a atividade pesqueira a principal fonte econômica da comunidade. Nesta região a mineração artesanal de ouro é incipiente.

O grupo G4 compreende os participantes do distrito de Abunã ( $9^{\circ}41'38.1''S$ ;  $65^{\circ}21'23.9''W$ ), localizado às margens do rio Madeira e da rodovia federal BR 364, única rota terrestre ao estado do Acre no extremo noroeste do Brasil. Os participantes da vila da Penha ( $9^{\circ}44'06.5''S$ ;  $65^{\circ}13'31.8''W$ ), às margens da rodovia federal BR 425 em direção à Bolívia foram incluídas no G4. As comunidades são caracterizadas como urbanas tendo como principais atividades econômicas: a pecuária, o extrativismo de subsistência e o comércio de produtos e serviços para as dragas de mineração artesanal de ouro no rio Madeira.

O grupo G5 representa os participantes do distrito de Nova Mutum Paraná ( $9^{\circ}15'55.7''S$ ;  $64^{\circ}33'03.4''W$ ), sendo uma cidade planejada à margem da BR 364 a 115 km da capital Porto Velho – RO com todos os equipamentos urbanos, tendo sido construída para o reassentamento da população diretamente afetada pela construção da usina e trabalhadores da UHE Jirau.

O grupo G6 é composto pelos trabalhadores da UHE Jirau ( $9^{\circ}16'16.0''\text{S}$ ;  $64^{\circ}38'22.7''\text{W}$ ), residentes no distrito de Nova Mutum Paraná, sendo oriundos de diversas regiões do Brasil com hábitos e costumes característicos de cada região.

Figura 1- Ilustração da área de estudo exibindo os grupos do desenho amostral. Nota: G3 – distrito de Fortaleza do Abunã ( $9^{\circ}46'25.1''\text{S}$ ;  $65^{\circ}31'01.7''\text{W}$ ); G4 – distrito de Abunã ( $9^{\circ}44'06.5''\text{S}$ ;  $65^{\circ}13'31.8''\text{W}$ ); G5 – distrito de Nova Mutum Paraná ( $9^{\circ}15'55.7''\text{S}$ ;  $64^{\circ}33'03.4''\text{W}$ ) e G6 – UHE Jirau ( $9^{\circ}16'16.0''\text{S}$ ;  $64^{\circ}38'22.7''\text{W}$ ).



### 2.3 Questionários cognitivo e sociodemográfico

Antes da aplicação dos questionários foi apresentado detalhadamente o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para assinatura daqueles que manifestaram concordância em participar voluntariamente (Apêndice A). A população foi convidada a participar desse estudo, sendo que 1.089 pessoas concordaram.

O critério de inclusão foi estar morando na região há mais de um ano. Os critérios de exclusão foram: portar doenças neurológicas (autorreferida ou diagnosticada pela médica pesquisadora); fazer parte de grupos especiais (população indígena e pessoa com deficiência) e menores de idade.

O questionário semiestruturado das funções cognitivas contemplou referência à memória, à atenção, à concentração e às dificuldades de leitura, de escrita e de efetuação de cálculos matemáticos (Apêndice B). Já o questionário semiestruturado

sociodemográfico abrangeu localidade, sexo, idade, escolaridade, consumo de álcool e tabagismo, tempo de residência na região, ocupação e o inquérito alimentar investigou o consumo de proteína animal (bovina, frango, peixe e outras) (Apêndice B). Neste trabalho foi aplicada a amostragem de conveniência, a qual tem se mostrado apropriada para representar populações de base em outros estudos e contextos na região Amazônica (Passos *et al.*, 2007, Passos & Mergler, 2008).

#### **2.4 Determinação de Hg total no cabelo**

As amostras de cabelo foram cortadas pequenas mechas na região occipital rente ao couro cabeludo dos participantes após término da aplicação dos questionários semiestruturados e armazenadas em pequenos sacos de polietileno lacrados. As amostras foram previamente lavadas (água ultrapura e acetona) e o Hg total (HgT) determinado utilizando um analisador automático para sua determinação direta por decomposição térmica e amálgama em coluna de ouro, SMS 100 Solid Mercury Analysis Systems, Perkin Elmer, Waltham, Massachusetts, USA (dos Santos *et al.*, 2015, Cerbino, *et al.*, 2018). As análises do material certificado IAEA-85 (*Human Hair – IAEA Reference Products for Environment and Trace*) apresentaram taxas de recuperação acima de 87%. O limite de detecção foi de 0,01 ng Hg.

#### **2.5 Análise dos dados**

As funções cognitivas, perfil sociodemográfico, hábitos alimentares e concentração de HgT dos participantes foram analisados inicialmente por estatística descritiva. Os resultados das concentrações de HgT foram estratificados em função do sexo e dos 06 grupos da área de estudo, sendo expressos em função da mediana. As respostas dos questionários foram transformadas em um arquivo binário (0 – Não; 1 – Sim).

A análise das variáveis cognitivas e sociodemográficas apresentou distribuição não normal (hipótese 1), sendo aplicados nestes casos testes estatísticos não-paramétricos. O teste Bonferroni de comparação múltipla foi aplicado para a variável das concentrações de HgT e os aspectos cognitivos e sociodemográficos para comparação pareada dos grupos (hipótese 2). A análise de agrupamento hierárquica com algoritmo distância euclidiana com completa ligação foi aplicada para examinar o agrupamento dos aspectos cognitivos e perfis sociodemográficos da população em relação à concentração

de HgT (hipótese 2). Os gráficos e estatísticas foram gerados com os softwares XLSTAT 2020 e STATISTICA 17 (*trial*), sendo considerados significativos quando  $p < 0,05$ .

### 3. RESULTADOS

O universo amostral compreendeu 1.089 participantes ordenados em 06 grupos, sendo 646 masculinos (59%) e 443 femininos (41%), com idade média de  $33,6 \pm 12,5$  anos (**Tabela 1**). A estratificação da amostra em função do grau de escolaridade evidencia a baixa escolaridade nos grupos do alto rio Madeira ( $G1$  e  $G2 \ll G3 < G4 < G5 \ll G6$ ). As inferências dos participantes quanto ao déficit de memória, atenção e concentração possibilita estabelecer a ordem decrescente nos grupos de  $G4 > G3$  e  $G5 > G2$ ,  $G1 \gg G6$ . Já para as dificuldades na leitura, escrita e cálculo matemático simples é possível inferir a ordem decrescente  $G2 > G1$ ,  $G3$  e  $G4 > G5 \gg G6$ .

As regiões com maior dificuldade de acesso geográfico ( $G1$  e  $G2$ ), apresentam proporcionalmente menor grau de escolaridade e índices cognitivos diretamente associados. Entretanto, é observado maior grau de atenção e memória, provavelmente devido aos estímulos dos fatores sócios ambientais (moradia, infraestrutura, renda, escolaridade, condição de vida e outros).

A concentração de HgT no cabelo da população de estudo apresenta mediana de  $2,73 \mu\text{g g}^{-1}$ . A estratificação por sexo e grupos (**Tabela 1**) mostra as maiores medianas de HgT no  $G1$  ( $4,04$  e  $4,25 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e  $G2$  ( $3,11$  e  $4,83 \mu\text{g g}^{-1}$ ). O grupo  $G3$  ( $2,76$  e  $3,87 \mu\text{g g}^{-1}$ ) referente à região com maior dificuldade de acesso e isolamento, apresentou pequena tendência de maiores medianas de HgT quando comparado aos grupos  $G4$  ( $2,71$  e  $2,94 \mu\text{g g}^{-1}$ ),  $G5$  ( $2,10$  e  $2,37 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e  $G6$  ( $2,50$  e  $2,85 \mu\text{g g}^{-1}$ ) às margens da rodovia BR 101 (**Figura 2**).

No universo feminino as maiores medianas de HgT ( $4,15 \mu\text{g g}^{-1}$ ) foram caracterizadas nas mulheres que atuam em garimpos de ouro na região, seguido pelas mulheres ribeirinhas com estilo de vida tradicional ( $3,11 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Comportamento inverso foi observado no universo masculino, sendo as maiores medianas de HgT no grupo ribeirinho ( $4,83 \mu\text{g g}^{-1}$ ), seguido pelo grupo referente aos garimpeiros ( $4,04 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Os grupos  $G1$  e  $G2$  que apresentaram maiores medianas de HgT são compostos por participantes com maior déficit de memória, atenção e concentração. Portanto, neste trabalho os aspectos cognitivos foram analisados com viés associado à influência sobre a dinâmica comportamental da população.

A estratificação do tempo de residência dos participantes indica que 62,7% residem entre 01 e 5 anos, 9,8% entre 05 e 10 anos e 27,5% há mais de 10 anos na região

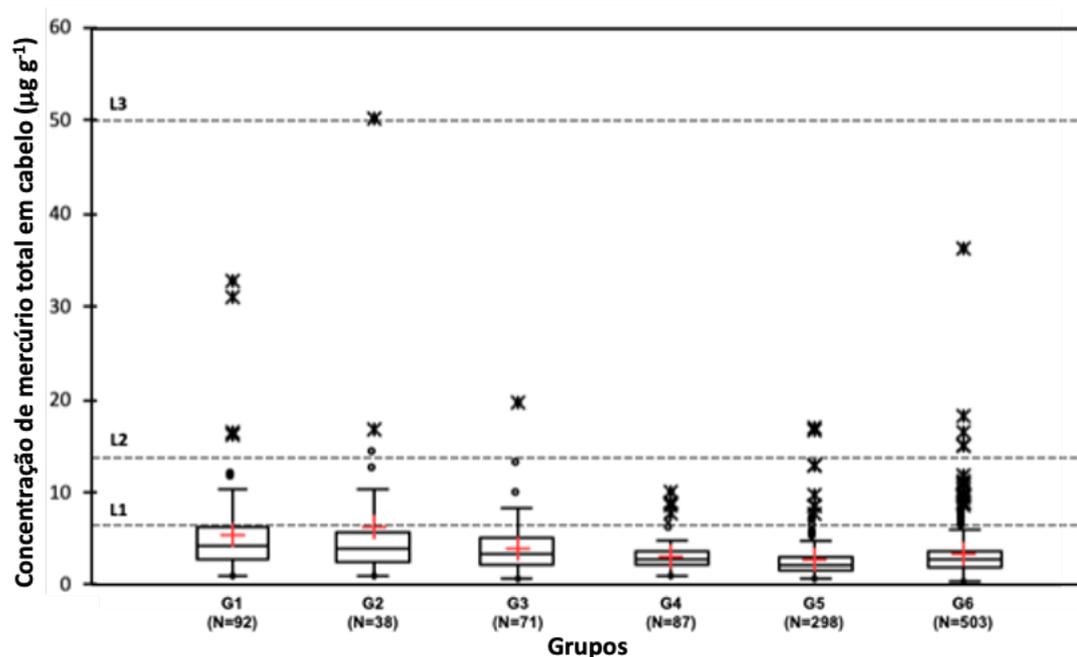
do alto rio Madeira. Na população de estudo 15 participantes (1,4%) apresentaram concentrações de HgT > 14  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 78 participantes (7,2%)  $14 > \text{HgT} > 6 \mu\text{g g}^{-1}$  e 996 participantes (91,4%) concentração HgT < 6  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Nos hábitos alimentares, o consumo de proteína animal neste grupo heterogêneo é prioritariamente bovino (70,4 %), seguido por frango (13,6 %), peixe (10,0%) e carne suína (3,2%) e outras (2,8%).

Tabela 1 – Concentração média, mediana de HgT ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) em amostras de cabelo dos participantes desse estudo, distribuídos por sexo e localidade.

Grupo	Sexo	Idade (anos)		HgT ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )		
		Faixa etária	M $\pm$ D	Faixa HgT	M $\pm$ D	Med.
Garimpo (G1)	Mulher (N 17)	27 a 62	43,8 $\pm$ 9,6	1,76 a 10,28	4,84 $\pm$ 2,49	4,15
	Homem (N 75)	16 a 87	41,5 $\pm$ 12,4	1,06 a 32,74	5,62 $\pm$ 5,37	4,04
Ribeirinho (G2)	Mulher (N 20)	19 a 70	44,0 $\pm$ 13,4	1,21 a 12,40	4,11 $\pm$ 2,91	3,11
	Homem (N 18)	18 a 75	39,5 $\pm$ 16,5	1,00 a 50,16	8,42 $\pm$ 11,31	4,83
Fortaleza do Abunã (G3)	Mulher (N 30)	17 a 59	37,4 $\pm$ 12,1	0,56 a 6,23	2,79 $\pm$ 1,45	2,76
	Homem (N 41)	16 a 73	41,6 $\pm$ 15,5	1,15 a 19,46	4,87 $\pm$ 3,39	3,87
Abunã (G4)	Mulher (N 60)	17 a 60	35,9 $\pm$ 11,0	1,11 a 10,13	2,90 $\pm$ 1,30	2,71
	Homem (N 27)	21 a 72	43,4 $\pm$ 13,2	1,03 a 8,97	3,69 $\pm$ 2,34	2,94
Nova Mutum Paraná (G5)	Mulher (N 156)	16 a 65	28,6 $\pm$ 12,1	0,59 a 12,84	2,43 $\pm$ 1,51	2,10
	Homem (N 142)	16 a 75	28,5 $\pm$ 14,4	0,68 a 17,01	2,82 $\pm$ 2,33	2,37
Usina (G6)	Mulher (N 160)	16 a 74	31,6 $\pm$ 9,2	0,52 a 15,05	2,81 $\pm$ 1,76	2,58
	Homem (N 343)	18 a 68	33,1 $\pm$ 10,2	0,45 a 36,97	3,42 $\pm$ 2,93	2,85

Nota: N – número de participantes; M  $\pm$  D – Média  $\pm$  desvio padrão; Med – Mediana.

Figura 2 – Box plots da representação das concentrações de HgT na população de estudo. Notas: G1 – Garimpo; G2 – Ribeirinho; G3 – Fortaleza do Abunã; G4 - Abunã; G5 – Nova Mutum e G6 – Usina; Limites empíricos: L1 –  $6 \mu\text{g g}^{-1}$  (associado a um decréscimo de 3 pontos no QI (Kjellstrom *et al.*, 1986, Kjellstrom *et al.*, 1989); L2 -  $14 \mu\text{g g}^{-1}$  (preconizado pela OMS (FAO/WHO, 2003); L3 –  $50 \mu\text{g g}^{-1}$  (associado a um risco de 5% de dano neurológico em adultos (WHO, 1990).



O teste Bonferroni de comparação múltipla para a variável HgT, indica que o grupo G1 não é discrepante apenas do G2, sendo este heterogêneo aos grupos G3, G4, G5 e G6. O grupo G2 possui diferença dos grupos G4, G5 e G6. O grupo G3 diverge dos grupos G1, G5 e G6, sendo que o grupo G4 se distancia dos grupos G1, G2 e G5. O grupo G5 é diferente de todos os outros grupos e o grupo G6 é distinto de todos, com exceção do G4. Destaca-se que o grupo G5 é diferente de todos os outros grupos (**Tabela 2**).

Tabela 2 – Teste Bonferroni com os valores de *p* das comparações pareadas dos grupos em relação às concentrações de HgT nas amostras de cabelo (nível de significância corrigido de 0.0033).

	G1	G2	G3	G4	G5	G6
G1	1	0.311	0.014	<0,0001	<0,0001	<0,0001
G2	0.311	1	0.342	0.021	<0,0001	0.001
G3	0.014	0.342	1	0.105	<0,0001	0.005
G4	<0,0001	0.021	0.105	1	0.000	0.423
G5	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0.000	1	<0,0001
G6	<0,0001	0.001	0.005	0.423	<0,0001	1

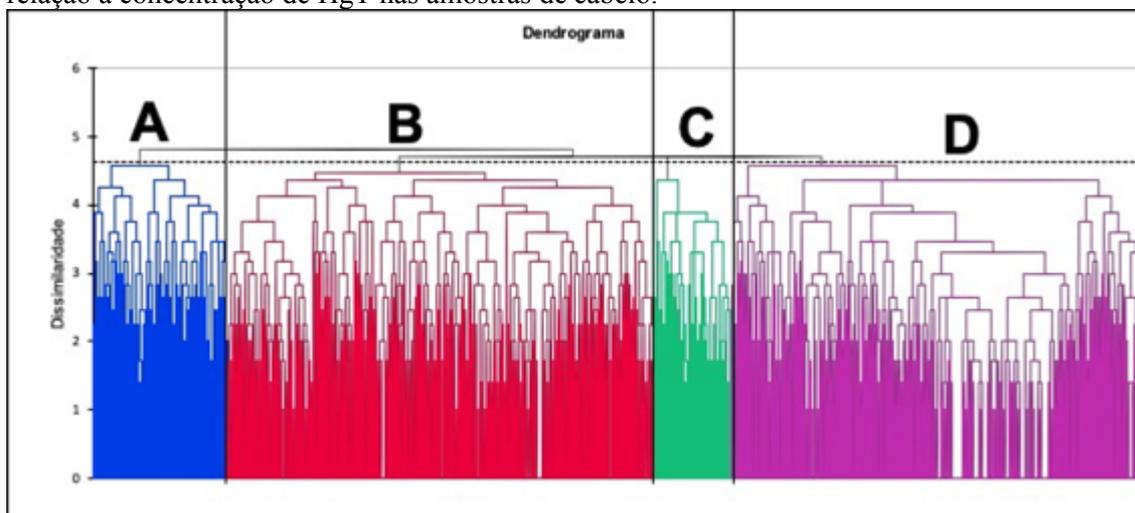
Nota: G1 – Garimpo; G2 – Ribeirinho; G3 – Fortaleza do Abunã; G4 - Abunã; G5 – Nova Mutum e G6 – Usina

A análise mostra a complexidade dos agrupamentos das funções cognitivas e sociodemográficos na dinâmica social de exposição, sendo possível inferir a organização dos grupos em  $G1 > G2 \gg G3$  e  $G4 > G5$  e  $G6$ . Os grupos G1 e G2 possuem em maior grau o estilo de vida diretamente relacionado e dependente do extrativismo/garimpo de ouro às margens do rio Madeira. Os grupos G3 e G4 possuem um estilo de vida intermitente entre o extrativismo/garimpo de ouro às margens dos rios Abunã e Madeira e as dinâmicas urbanas do distrito de Abunã (360 km da capital), enquanto os grupos G5 e G6 apresentam relevante dependência das dinâmicas urbanas do distrito de Nova Mutum Paraná (130 km da capital) e da própria capital Porto Velho – RO.

O agrupamento das distâncias euclidiana dos participantes ( $n=1.089$ ) por classe de perfis cognitivos e sociodemográficos em relação à concentração de HgT (**Figura 3**), mostra a ordenação em 04 grupos ao invés dos 06 grupos anteriores, com uma correlação cofenética de 0,491, sendo que o grupo A agrega 139 participantes (12,78 %) com os percentis de 43,88% G5 (N=61), 28,06% G4 (N=39), 10,79% G3 (N=15), 8,63% G2 (N=12), 5,04% G6 (N=7) e 3,6% G1 (N=5). O grupo B é representado por 442 participantes (40,62%) com percentis de 47,06% G5 (N=208), 31,9% G6 (N=141), 8,6% G4 (N=38), 6,11% G3 (N=27), 4,53% G2 (N=20), e 1,8% G1 (N=8). O grupo C com 79 participantes (7,27%), sendo 93,67% G1 (N=74) e 6,33% G2 (N=5). O grupo D correlaciona 429 participantes (39,33%) sendo 82,98% G6 (N=356), 6,76% G3 (N=29), 6,53% G5 (N=28), 2,33% G4 (N=10), 1,17% G1 (N=5) e 0,23% G2 (N=1).

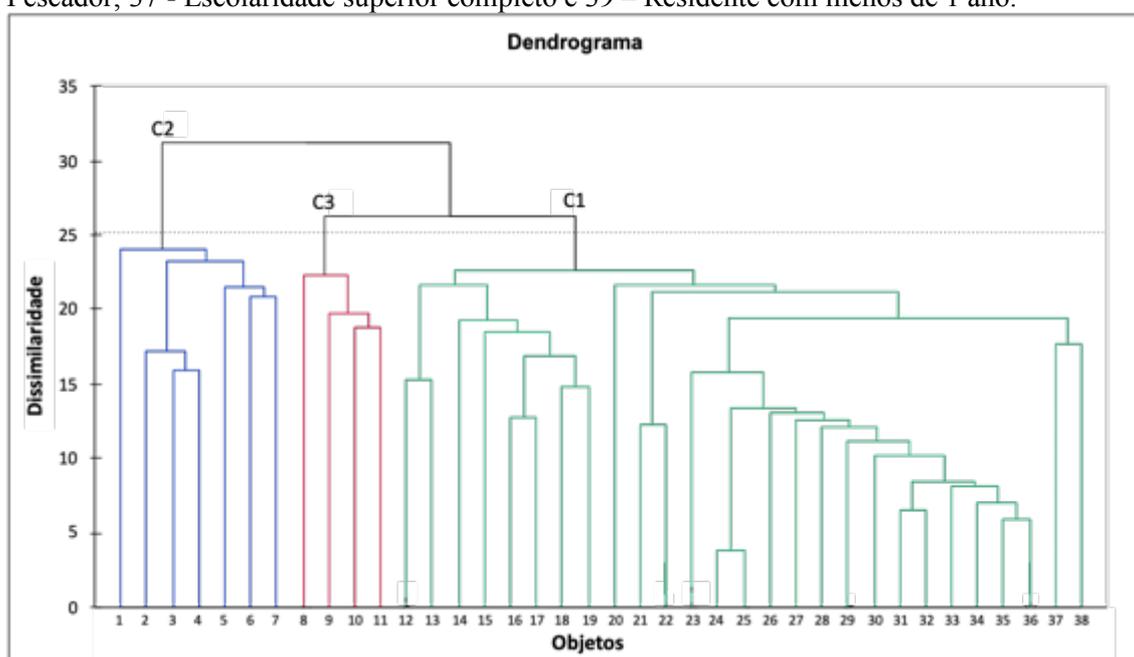
A organização dos participantes em função dos perfis cognitivos e sociodemográficos mostra a relevante contribuição das dinâmicas sociais individualizadas na exposição ao Hg na região da bacia do rio Madeira. Entretanto, não houve uma correlação significativa com o HgT, possivelmente devido à baixa concentração de mercúrio na população (mediana de  $2,73 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Foi possível inferir que os participantes do G1 possuem prioritariamente o perfil C, o G2 / G4 / G5 os perfis A e B, o G3 os perfis A, B e D, e G6 os perfis B e D. A dinâmica socioeconômica do G1 diretamente associada ao garimpo de ouro no rio Madeira, evidencia um perfil social seletivo de exposição ao mercúrio.

Figura 3 – Hierarquização dos perfis cognitivos e sociodemográficos da população de estudo em relação a concentração de HgT nas amostras de cabelo.



A análise de agrupamento hierárquica das variáveis sociodemográficas e cognitivas que indicam maior influência nas concentrações de HgT nas amostras de cabelo (**Figura 4**), indicou 3 classes com medida de dissimilaridade e relação cofenética de 0,907. Na classe C2 (7 objetos) o objeto central é estar trabalhando, na classe C3 (4 objetos) o objeto central é a residência acima de 10 anos na região do estudo e na classe C1 (27 objetos) o objeto central é o grau de escolaridade classificado de analfabeto, evidenciando os efeitos das funções cognitivas e sociodemográficos na dinâmica de exposição nesta região do alto rio Madeira.

Figura 4 - Análise de agrupamento hierárquica das variáveis mensuradas sociodemográficas e cognitivas a partir de dados binários. Nota: 1 - Residente até 1 ano na região do estudo; 2 - Trabalha no garimpo; 3 - Dorme bem; 4 - Atualmente trabalhando; 5 - Sexo; 6 - Usina; 7 - Consume de bebida alcoólica; 8 - Mediana de HgT no cabelo; 9 - acometimento por malária; 10 - Escolaridade básico incompleto; 11 - Residente superior a 10 anos na região do estudo; 12 - Nova Mutum Paraná; 13 - Escolaridade médio incompleto; 14 -Déficit de memória; 15 - Dificuldades em cálculos matemáticos simples; 16 - Déficit de atenção; 17 - Perda de concentração; 18 - Leitura; 19 - Escrita; 20 - Escolaridade médio completo; 21 - Fumante; 22 - Não fumante; 23 - Não trabalha atualmente no garimpo; 24 - Já trabalhou no garimpo; 25 - Garimpeiro; 26 - Residente de 1 a 5 anos; 27 - Abunã; 28 - Escolaridade superior incompleto; 29 - Fortaleza do Abunã; 30 - Escolaridade básico completo; 31 - Ribeirinho; 32 - Trabalhador rural; 33 - Profissional da área da saúde; 34 - Não trabalha; 35 - Escolaridade analfabeto; 36 - Pescador; 37 - Escolaridade superior completo e 39 - Residente com menos de 1 ano.



#### 4. DISCUSSÃO

Os aspectos sociodemográficos são importantes para identificar indivíduos com risco potencialmente maior de exposição a poluentes (Liu & Lewis, 2014). As funções cognitivas e sociodemográficas influenciam nas dinâmicas sociais e consequentemente na exposição ao Hg, inferindo a diferenciações dos grupos  $G1$  e  $G2 \gg G3$  e  $G4 > G5$  e  $G6$ . Os grupos  $G1$  (garimpeiros) e  $G2$  (ribeirinhos) possuem em maior grau o estilo de vida diretamente relacionado e dependente do extrativismo/garimpo de ouro às margens do rio Madeira.

A exposição ocupacional durante o processo rudimentar de mineração do ouro está associada à exposição elevada e altas concentrações de Hg (Arrifano *et al.*, 2018, Da Silva-Junior *et al.*, 2018, Langeland *et al.*, 2017, Lima *et al.*, 2009, Soares *et al.*, 2002).

A exposição ocupacional ao Hg durante o processo na mineração artesanal de ouro em pequena escala contribui para o aumento da mediana de HgT observada no grupo G1. As variáveis se o participante trabalha no garimpo e garimpeiro, remete ao maior nível de exposição ao mercúrio.

A estratificação por sexo mostra as maiores medianas de Hg no universo masculino no  $G2 > G1$ , entretanto, para o feminino no  $G1 > G2$ . O universo masculino geralmente apresenta maiores concentrações de Hg em relação ao feminino devido ao tipo de atividade profissional (Malm *et al.*, 1995), sendo observadas em outros estudos elevadas concentrações em mulheres que vivem sob influência da atividade mineradora de ouro (Hacon *et al.*, 2014, Pinheiro *et al.*, 2008). No grupo G1, o universo feminino tem uma jornada de trabalho com mais dias trabalhados no local de exposição, executando muitas vezes os serviços similares aos homens, além de ser responsável pela alimentação da equipe de trabalho.

Neste contexto, os aspectos sociodemográficos influenciam diretamente na exposição, sendo que normalmente homens apresentam maior ingestão de alimento quando comparados às mulheres e conseqüentemente maior exposição por via alimentar (Castilhos *et al.*, 2015). Já pessoas do sexo feminino, baixa escolaridade e renda econômica, tabagismo e residência por mais de 10 anos na região amazônica estão mais suscetíveis a apresentarem sintomas decorrentes da exposição ao Hg (Da Silva-Junior *et al.*, 2018).

A complexidade das inter-relações múltiplas das funções cognitivas e sociodemográficos na dinâmica social de exposição evidencia a diferenciação dos grupos com estilo de vida diretamente relacionado e dependente do extrativismo/garimpo de ouro às margens do rio Madeira (G1 e G2), comparado aos outros grupos que possuem estilo de vida com maior dependência das dinâmicas urbanas à margem da rodovia (G3, G4, G5 e G6), contribuindo para as discussões sobre a diferenciação entre a Amazônia dos rios e Amazônia das estradas.

As populações, que têm acesso à estrada apresentam menores concentrações de Hg em relação àquelas que possuem apenas o acesso por canoa (Castoldi *et al.*, 2003). Os hábitos de consumo de peixe estão diretamente correlacionados às concentrações de HgT na população (Monroy *et al.*, 2008), sendo esses influenciados pelos aspectos sociodemográficos e socioeconômicos (Eagles-Smith *et al.*, 2018). O baixo consumo de peixe inferido nos grupos contribui para os baixos valores de concentração de Hg observados nesta população quando comparados a outras regiões da Amazônia (Loureiro

*et al.*, 2002) e aos limites preconizados pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 1990). Com base em grandes estudos longitudinais e internacionais a FAO/WHO/JECFA, em 2003 estimou o valor de  $14 \mu\text{g g}^{-1}$  de Hg / grama de cabelo como concentração de referência, a partir da qual efeitos neurotóxicos podem ser esperados na população exposta (Grandjean *et al.*, 2005; FAO/WHO/JECFA, 2003; WHO/UNEP, 2008). A U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA) indica a dose de referência (RfD) para metilmercúrio de  $0,1 \mu\text{g/kg/dia}$  (Marques *et al.*, 2016).

O consumo de peixe, sexo e local de residência são indicadores significativos na concentração de Hg na população (Ashe, 2012). Na análise das redes comunitárias o tempo de moradia é relevante por abranger uma extensão ao ambiente social em que as pessoas estão inseridas (Cho & Kang, 2016).

A exposição humana ao Hg pode causar déficits sensoriais, disfunção motora, atraso no desenvolvimento psicomotor, genotoxicidade e vários outros problemas de saúde, estando relacionados à magnitude da dose e à duração da exposição (Pinheiro *et al.*, 2008, Olivero-Verbel *et al.*, 2016). Dentre os sintomas neuropsiquiátricos associados à exposição observam-se o aumento de ansiedade, depressão, irritabilidade e impulsividade (Fielder *et al.*, 2015, Han *et al.*, 2011, Ratner *et al.*, 2002).

As funções cognitivas geralmente são utilizadas como indicadores de efeito decorrente da exposição crônica ao Hg (Wyatt *et al.*, 2019, Khoury *et al.*, 2013). O déficit de memória, dificuldade de concentração, fadiga, fraqueza e alterações do humor são sintomas mais possivelmente relacionados a intoxicação ao Hg nas comunidades do rio Xingu na Amazônia (Da Silva-Junior *et al.*, 2018).

Neste estudo, a organização dos participantes quanto à exposição ao Hg em relação as funções cognitivas e os aspectos sociodemográficos mostram a relevante contribuição das dinâmicas sociais individualizadas nas exposições ambientais e ocupacionais ao Hg na região amazônica.

Na análise de agrupamento hierárquica, as variáveis ‘atualmente trabalhando’, ‘residente superior a 10 anos na região do estudo’ e o ‘escolaridade analfabeto’ são os objetos centrais relacionados à concentração de Hg (**Figura 4**). O aumento de Hg na Amazônia também está relacionado com a cobertura do solo e a mudança de uso do solo (Miserendino *et al.*, 2018). Nesse sentido, a mudança de utilização do solo pode ser indicativa ao potencial da variável ‘atualmente trabalhando’, tendo em vista que, os participantes possuem atividades voltadas ao agroextrativismo e agropecuária.

Na análise das redes comunitárias o tempo de moradia abrange uma extensão ao ambiente social em que as pessoas estão inseridas (Cho & Kang *et al.*, 2016). O baixo grau de escolaridade e renda econômica tornam as comunidades amazônicas mais suscetíveis a doenças (Da Silva-Junior *et al.*, 2018). Relação significativa e positiva entre o número de sintomas com a idade, o tabagismo e o trabalho estão associados às elevadas concentrações de Hg na população (Ellingsen *et al.*, 2001).

É notório que os estudos sobre exposição ambiental ao Hg tendem a ter um ciclo persistente entre Hg, peixes e seres humanos, entretanto, existem fatores limitantes para o entendimento do efeito da exposição a este poluente global (Okpala *et al.*, 2018). Os diferentes limites de exposição apresentados por órgãos nacionais e internacionais ressaltam a imprecisão dos cálculos e as incertezas no nível de exposição suscetível das comunidades (Grandjean *et al.*, 2005).

A população deste estudo vive em região que apresenta baixo nível de urbanização e infraestrutura, sendo que considerável parcela desta população apresentou déficit de memória, concentração e atenção, sendo essas funções cognitivas sintomas de alerta à exposição ao Hg.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar das semelhanças sócio-históricas e socioeconômicas, as funções cognitivas e sociodemográficas inferem diretamente nos comportamentos sociais individualizados dentro das comunidades, podendo influenciar no processo de exposição ao HgT. A baixa escolaridade, a ocupação profissional e a residência por mais de 10 anos na região amazônica estão associadas com a elevada concentração de Hg. A compreensão do risco de exposição ambiental e ocupacional na região amazônica requer maior entendimento das interfaces com as funções cognitivas e sociodemográficas. A contínua exposição humana, mesmo em baixa concentração nessas localidades deve ser avaliada no âmbito de saúde comunitária.

## 6. REFERÊNCIAS

Arrifano, G. P. F.; Martín-Doimeadios, R. C. R.; Jiménez-Moreno, M.; Ramírez-Mateos, V.; da Silva, N. F. S.; Souza-Monteiro, J. R.; Augusto-Oliveira, M.; Paraense, R. S. O.; Macchi, B. M.; do Nascimento, J. L. M.; Crespo-Lopez, M. E. 2018. Large-scale projects in the amazon and human exposure to mercury: The case-study of the Tucuruí Dam. **Ecotoxicol Environ Saf**, Jan;147:299-305. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.08.048.

Ashe, K. 2012. Elevated mercury concentrations in humans of Madre de Dios, Peru. **PLoS One**, Mar;7(3): e33305. doi: 10.1371/journal.pone.0033305.

Azevedo-Silva, C. E.; Almeida, R.; Carvalho, D. P.; Ometto, J. P. H. B.; de Camargo, P. B.; Dorneles, P. R.; Azeredo, A.; Bastos, W. R.; Malm, O.; Torres, J. P. M. 2016. Mercury biomagnification and the trophic structure of the ichthyofauna from a remote lake in the Brazilian Amazon. *Environmental Research*. 2016 Nov;151:286-296. doi: 10.1016/j.envres.2016.07.035.

Barbieri, F. L.; Courmil, A.; Gardon, J. 2009. Mercury exposure in a high fish eating Bolivian Amazonian population with intense small-scale gold-mining activities. **Internacional Journal Environmental Health Research**, Aug;19(4):267-77. doi: 10.1080/09603120802559342.

Bastos, W. R.; Dórea, J. G.; Bernardi, J. V.; Lauthartte, L. C.; Mussu, M. H.; Lacerda, L. D.; Malm, O. 2015. Mercury in fish of the Madeira River (temporal and spatial assessment), Brazilian Amazon. **Environ Res**, Jul;140:191-7. doi: 10.1016/j.envres.2015.03.029

Bastos, W. R.; Dórea, J. G.; Lacerda, L. D.; de Almeida, R.; Aleixo da C.; Junior, W.; Baía, C. C.; de Sousa-Filho, I. F.; de Sousa, E. A.; Oliveira, S. A. S. I.; Cabral, S. C.; Manzatto, A. G.; Carvalho, D. P.; Ribeiro, K. A. N.; Malm, O. 2020. Dynamics of Hg and MeHg in the Madeira River Basin (Western Amazon) before and after impoundment of a run-of-river hydroelectric dam. **Environmental Research**, Oct; (189):109896. doi: 10.1016/j.envres.2020.109896.

Castilhos, Z.; Rodrigues-Filho, S.; Cesar, R.; Rodrigues, A. P.; Villas-Bôas, R.; de Jesus, I.; Lima, M.; Faial, K.; Miranda, A.; Brabo, E.; Beinhoff, C.; Santos, E. 2015. Human exposure and risk assessment associated with mercury contamination in artisanal gold mining areas in the Brazilian Amazon. **Environ Sci Pollut Res Int**, Aug;22(15):11255-64. doi: 10.1007/s11356-015-4340-y.

Castoldi, A. F.; Coccini, T.; Manzo, L. 2003. Neurotoxic and molecular effects of methylmercury in humans. **Rev Environ Health**, Jan-Mar;18(1):19-31. doi: 10.1515/reveh.2003.18.1.19.

Cerbino, M. R.; Vieira, J. C. S.; Braga, C. P.; Oliveira, G.; Padilha, I. F.; Silva, T. M.; Zara, L. F.; Silva, N. J. Jr.; Padilha, P. M. 2018. Metalloproteomics Approach to Analyze Mercury in Breast Milk and Hair Samples of Lactating Women in Communities of the Amazon Basin, Brazil. **Biol Trace Elem Res**, Feb;181(2):216-226. doi: 10.1007/s12011-017-1057-4.

Cho, S.; Kang, H. 2016. Putting Behavior Into Context: Exploring the Contours of Social Capital Influences on Environmental Behavior. **Environment and Behavior**, Mar;49(3):283-313. doi:10.1177/0013916516631801.

Cordeiro Junior, Q.; Faria, M. A. M.; Junior Fráguas, R. 2003. Depression, insomnia, and memory loss in a patient with chronic intoxication by inorganic mercury. **J Neuropsychiatry Clin Neurosci**, Fall;15(4):457-8. doi:10.1176/jnp.15.4.457.

Da Silva-Junior, F. M. R.; Oleinski, R. M.; Azevedo, A. E. S.; Monroe, K. C. M. C.; Dos Santos, M.; Da Silveira, T. B.; De Oliveira, A. M. N.; Soares, M. C. F.; Pereira, T. D. S. 2018. Vulnerability associated with "symptoms similar to those of mercury poisoning" in communities from Xingu River, Amazon basin. **Environ Geochem Health**, Jun;40(3):1145-1154. doi: 10.1007/s10653-017-9993-7.

dos Santos, F. A.; Cavecci, B.; Vieira, J. C.; Franzini, V. P.; Santos, A.; de Lima Leite, A.; Buzalaf, M. A.; Zara, L. F.; de Magalhães Padilha, P. 2015. A Metalloproteomics Study on the Association of Mercury with Breast Milk in Samples from Lactating Women in the Amazon Region of Brazil. **Arch Environ Contam Toxicol**, Aug;69(2):223-9. doi: 10.1007/s00244-015-0161-8.

Eagles-Smith, C. A.; Silbergeld, E. K.; Basu, N.; Bustamante, P.; Diaz-Barriga, F.; Hopkins, W. A.; Kidd, K. A.; Nyland, J. F. 2018. Modulators of mercury risk to wildlife and humans in the context of rapid global change. **Ambio**, Mar;47(2):170-197. doi: 10.1007/s13280-017-1011-x.

Ellingsen, D. G.; Bast-Pettersen, R.; Efskind, J.; Thomassen, Y. 2001. Neuropsychological effects of low mercury vapor exposure in chloralkali workers. **Neurotoxicology**, Apr;22(2):249-58. doi: 10.1016/s0161-813x(01)00012-2.

**Environmental Health Criteria 101 Methylmercury:1990 [Internet]. International Programme on Chemical Safety (IPCS).** World Health Organization: Geneva, Switzerland, 1990;pp.1–144. Disponível em: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/38082/9241571012\\_eng.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/38082/9241571012_eng.pdf). Acesso em: 07 jul. 2019.

Farina, M.; Aschner, M.; Rocha, J. B. 2011. Oxidative stress in MeHg-induced neurotoxicity. **Toxicol Appl Pharmacol**, Nov 1;256(3):405-17. doi: 10.1016/j.taap.2011.05.001.

Fearnside, P. M. 2014. Impacts of Brazil's Madeira River dams: unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia. **Environmental Science & Policy**, Apr;(38):164-172. doi:10.1016/j.envsci.2013.11.004.

Fearnside, P. M. 2016. Environmental and social impacts of hydroelectric dams in Brazilian Amazonia: implications for the aluminum industry. **World Development**, Jan;77:48-65. doi:10.1016/j.worlddev.2015.08.015.

Fiedler, N.; Rohitrattana, J.; Siritwong, W.; Suttiwan, P.; Ohman Strickland, P.; Ryan, P. B.; Rohlman, D. S.; Panuwet, P.; Barr, D. B.; Robson, M. G. 2015. Neurobehavioral effects of exposure to organophosphates and pyrethroid pesticides among Thai children. **Neurotoxicology**, May;48:90-9. doi: 10.1016/j.neuro.2015.02.003.

Grandjean, P.; Cordier, S.; Kjellstrom, T.; Pal Weihe, P.; Jørgensen, E. B. 2005. Health effects and risks assessment. In: Pirrone, N.; Mahaffey, K. R. Dynamics of mercury pollution on regional and global scales: atmospheric processes and human exposures around the world. 1th ed. **Springer**, p. 511-538.

Guida, Y. S.; Lino, A. S.; Nepomuceno, R. C. G.; Meire, R. O.; Torres, J. P. M.; Malm, O. 2018. Amazon Riparian People's Exposure to Legacy Organochlorine Pesticides and Methylmercury from Catfish (*Ageneiosus brevifilis*) Intake. *Orbital the Eletronic Journal of Chemistry*, Jun; 10(4): 320-326. doi:10.17807/orbital.v10i4.1071.

Hacon, S. S.; Dórea, J. G.; Fonseca, M.de F.; Oliveira, B. A.; Mourão, D. S.; Ruiz, C. M.; Gonçalves, R. A.; Mariani, C. F.; Bastos, W. R. 2014. The influence of changes in lifestyle and mercury exposure in riverine populations of the Madeira River (Amazon Basin) near a hydroelectric project. **Int J Environ Res Public Health**, Feb 26;11(3):2437-55. doi: 10.3390/ijerph110302437.

Han, D. Y.; Hoelzle, J. B.; Dennis, B. C.; Hoffmann, M. 2011. A brief review of cognitive assessment in neurotoxicology. **Neurol Clin**, Aug;29(3):581-90. doi: 10.1016/j.ncl.2011.05.008.

Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (2003: Rome, Italy), World Health Organization & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2004). Evaluation of certain food additives and contaminants : sixty-first report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42849>. Acesso em: 14 Jan. 2021

- Khoury, E. D.; Souza, G. da S.; Silveira, L. C.; Costa, C. A.; Araújo, A. A.; Pinheiro, M. da C. 2013. Manifestações neurológicas em ribeirinhos de áreas expostas ao mercúrio na Amazônia brasileira: Neurological manifestations in riverine populations from areas exposed to mercury in the Brazilian Amazon. **Cad Saude Publica**, Nov;29(11):2307-18. doi: 10.1590/0102-311x00158012.
- Kjellstrom, T. S.; Kennedy, P.; Wallis, S.; Mantell, C. 1986. Physical and Mental Development of Children with Prenatal Exposure to Mercury from Fish: Stage 1, Preliminary Tests at Age 4. **Report 3080**. Solna, Sweden:National Swedish Environmental Protection Board.
- Kjellstrom, T.; Kennedy, P.; Wallis, S.; Stewart, A.; Friberg, L.; Lind, B.; Wutherspoon, T.; Mantell, C. 1989. Physical and Mental Development of Children with Prenatal Exposure to Mercury from Fish. Stage 2, Interviews and Psychological Tests at Age 6. **Report 3642**. Solna, Sweden:National Swedish Environmental Protection Board.
- Langeland, A. L.; Hardin, R. D.; Neitzel, R. L. 2017. Mercury Levels in Human Hair and Farmed Fish near Artisanal and Small-Scale Gold Mining Communities in the Madre de Dios River Basin, Peru. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, mar 14; 14(3): 302. doi: 10.3390/ijerph14030302.
- Lima, E. R. Z.; Colon, J. C.; Souza, M. T. 2009. Alterações auditivas em trabalhadores expostos a mercúrio. **Revista CEFAC**, Mar;11(1): 62-67. doi.org/10.1590/S1516-18462009005000003.
- Lino, A. S.; Kasper, D.; Guida, Y. S.; Thomaz, J. R.; Malm, O. 2018. Mercury and selenium in fishes from the Tapajós River in the Brazilian Amazon: An evaluation of human exposure. **J Trace Elem Med Biol**. Jul;48:196-201. doi: 10.1016/j.jtemb.2018.04.012.
- Liu, J.; Lewis, G. 2014. Environmental toxicity and poor cognitive outcomes in children and adults. **J Environ Health**, Jan-Feb;76(6):130-8.
- Loureiro, E. C.; Mascarenhas, A. F.; Fayal, K. F.; Sá Filho, G. C.; Sagica, F. E.; Lima, M. O.; Higuchi, H.; Silveira, I. M. 2002. A contribution to the establishment of reference values for total mercury levels in hair and fish in Amazônia. **Environ Res**, Sep;90(1):6-11. doi: 10.1006/enrs.2002.4366.
- Malm, O.; Branches, F. J.; Akagi, H.; Castro, M. B.; Pfeiffer, W. C.; Harada, M.; Bastos, W. R.; Kato, H. 1995. Mercury and methylmercury in fish and human hair from the Tapajós River basin, Brazil. **Sci Total Environ**, Dec 11;175(2):141-50. doi: 10.1016/0048-9697(95)04910-x.
- Marques, R. C.; Abreu, L.; Bernardi, J. V.; Dórea, J. G. 2016. Traditional living in the Amazon: Extended breastfeeding, fish consumption, mercury exposure and neurodevelopment. **Ann Hum Biol**, Jul;43(4):360-70. doi: 10.1080/03014460.2016.1189962.
- Masley, S. C.; Masley, L. V.; Gualtieri, C. T. 2012. Effect of Mercury Levels and Seafood Intake on Cognitive Function in Middle-aged Adults. **Integrative Medicine**. Jun/Jul;11(3):32-40.
- Milioni, A. L. V.; Nagy, B. V.; Moura, A. L. A.; Zachi, E. C.; Barboni, M. T. S.; Ventura, D. F. 2017. Neurotoxic impact of mercury on the central nervous system evaluated by neuropsychological tests and on the autonomic nervous system evaluated by dynamic pupillometry. **Neurotoxicology**, Mar;59:263-269. doi: 10.1016/j.neuro.2016.04.010.
- Miserendino, R. A.; Guimarães, J. R. D.; Schudel, G.; Ghosh, S.; Godoy, J. M.; Silbergeld, E. K.; Lees, P. S. J.; Bergquist, B. A. 2018. Mercury Pollution in Amapá, Brazil: Mercury Amalgamation in Artisanal and Small-Scale Gold Mining or Land-Cover and Land-Use Changes? **ACS Earth and Space Chemistry**, Sep;2(5):441-450. doi: 10.1021/acsearthspacechem.7b00089

- Monrroy, S. X.; Lopez, R. W.; Roulet, M.; Benefice, E. 2008. Lifestyle and mercury contamination of Amerindian populations along the Beni River (lowland Bolivia). **J Environ Health**, Nov;71(4):44-50. PMID: 19004394.
- Obrist, D.; Kirk, J. L.; Zhang, L.; Sunderland, E. M.; Jiskra, M.; Selin, N. E. 2018. A review of global environmental mercury processes in response to human and natural perturbations: Changes of emissions, climate, and land use. **Ambio**, Mar;47(2):116-140. doi: 10.1007/s13280-017-1004-9.
- Okpala, C. O. R.; Sardo, G.; Vitale, S.; Bono, G.; Arukwe, A. 2018. Hazardous properties and toxicological update of mercury: From fish food to human health safety perspective. **Crit Rev Food Sci Nutr**, 58(12):1986-2001. doi: 10.1080/10408398.2017.1291491.
- Olivero-Verbel, J.; Carranza-Lopez, L.; Caballero-Gallardo, K.; Ripoll-Arboleda, A.; Muñoz-Sosa, D. 2016. Human exposure and risk assessment associated with mercury pollution in the Caqueta River, Colombian Amazon. **Environ Sci Pollut Res Int**, Oct;23(20):20761-20771. doi: 10.1007/s11356-016-7255-3.
- Passos, C. J.; Mergler, D.; Fillion, M.; Lemire, M.; Mertens, F.; Guimarães, J. R.; Philibert, A. 2007. Epidemiologic confirmation that fruit consumption influences mercury exposure in riparian communities in the Brazilian Amazon. **Environ Res**, Oct;105(2):183-93. doi: 10.1016/j.envres.2007.01.012.
- Passos, C. J.; Mergler, D. 2008. Human mercury exposure and adverse health effects in the Amazon: a review. **Cad Saude Publica**, 24 Suppl 4:s503-20. doi: 10.1590/s0102-311x2008001600004.
- Pinheiro, M. C.; Macchi, B. M.; Vieira, J. L.; Oikawa, T.; Amoras, W. W.; Guimarães, G. A.; Costa, C. A.; Crespo-López, M. E.; Herculano, A. M.; Silveira, L. C.; do Nascimento, J. L. 2008. Mercury exposure and antioxidant defenses in women: a comparative study in the Amazon. **Environ Res**, May;107(1):53-9. doi: 10.1016/j.envres.2007.08.007.
- Ratner, M. H.; Feldman, R. G.; White, R. F. Neurobehavioral Toxicology. In: Ramachandran VS, editors. **Encyclopedia of the human brain**, vol 3. New York: ed. Elsevier Science; 2002. p. 423–39.27.
- Rohling, M. L.; Demakis, G. J. 2006. A meta-analysis of the neuropsychological effects of occupational exposure to mercury. **Clin Neuropsychol**, Feb;20(1):108-32. doi: 10.1080/13854040500203324.
- Sampaio da Silva, D.; Lucotte, M.; Paquet, S.; Davidson, R. 2009. Influence of ecological factors and of land use on mercury levels in fish in the Tapajós River basin, Amazon. **Environ Res**, May;109(4):432-46. doi: 10.1016/j.envres.2009.02.011.
- Shim, Y. K.; Lewin, M. D.; Ruiz, P.; Eichner, J. E.; Mumtaz, M. M. 2017. Prevalence and associated demographic characteristics of exposure to multiple metals and their species in human populations: The United States NHANES, 2007-2012. **J Toxicology Environmental Health A**, 80(9):502-512. doi: 10.1080/15287394.2017.1330581.
- Soares, M.; Sarkis J. E.; Müller, R. C.; Brabo, E.; Santos, E. 2002. Correlation between mercury and selenium concentrations in Indian hair from Rondônia State, Amazon region, Brazil. **Sci Total Environ**, Mar 15;287(1-2):155-61. doi: 10.1016/s0048-9697(01)01002-6.

WHO/UNEP Global Environmental Radiation Monitoring Network. Scientific Advisory Committee. Meeting (1990: Suzdal, USSR), **World Health Organization. Prevention of Environmental Pollution Unit, United Nations Environment Programme & Global Environment Monitoring System.** (1990). The WHO/UNEP Global Environmental Radiation Network (GERMON. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/58794>. Acesso em: 12 nov. 2020.

World Health Organization/United Nations Environment Programme (WHO/UNEP). **Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure, 170.** World Health Organization, Geneva, Switzerland: Inter- Organization Programme for the Sound Management of Chemicals, 2008. Disponível em: <https://www.who.int/publications/m/item/guidance-for-identifying-populations-at-risk-from-mercury-exposure>. Acesso em: 30 mar. 2020.

Wyatt, L.; Permar, S. R.; Ortiz, E.; Berky, A.; Woods, C. W.; Amouou, G. F.; Itell, H.; Hsu-Kim, H.; Pan, W. 2019. Mercury Exposure and Poor Nutritional Status Reduce Response to Six Expanded Program on Immunization Vaccines in Children: An Observational Cohort Study of Communities Affected by Gold Mining in the Peruvian Amazon. **Int J Environ Res Public Health**, Feb 21;16(4):638. doi: 10.3390/ijerph1604063.

### **CAPÍTULO 3 - Aspectos cognitivos e funções neuropsicológicas associadas à exposição ao Hg em população do alto rio Madeira, Rondônia – Brasil**

#### **Resumo**

Neste trabalho são apresentados os resultados dos aspectos cognitivos e neuropsicológicos associados às baixas concentrações de mercúrio (Hg) em comunidades do alto rio Madeira, posto que, as dinâmicas de exposição humana ao mercúrio podem causar déficits neurológicos e cognitivos, deficiências motoras e dificuldades de aprendizagem. Neste conjunto de amostragens transversais por conveniência (2009 a 2019) foram aplicados questionários semiestruturados sobre os aspectos cognitivos e a bateria testatória neuropsicológica em 1089 participantes (646 homens e 443 mulheres) divididos em 6 grupos com estilo de vida e locais diferentes. As amostras de cabelo foram coletadas para determinar as concentrações de Hg e utilizou-se espectroscopia atômica por análise direta. A bioacumulação estratificada por sexo apresentou diferenças nos padrões entre mulheres e homens, em relação aos níveis de concentração de Hg e a idade. Nesta população, as funções cognitivas não estão relacionadas com as concentrações de Hg Total (HgT), enquanto que o desempenho em testes neuropsicológicos demonstrou uma fraca correlação com as concentrações de HgT. Embora não tenha havido diferença no padrão de respostas entre todos os grupos, com exceção da função escrita e do grupo G6, os dados estão em consonância com o grau de escolaridade desta amostra, e possivelmente podem estar associados à baixa exposição ao Hg observada nestes grupos. O desempenho nos testes neuropsicológicos e a exposição ao Hg evidenciou correlações quando considerados os testes Palográfico/organização no G1, Palográfico/gráfico de rendimento no G2 e TEDIF 2 no G5. Sendo assim, os resultados estão em consonância com o padrão de similaridade de respostas do questionário semiestruturado das funções cognitivas desta população, na qual evidencia-se baixa referência à perda de memória, à atenção e à concentração. Os resultados revelaram que os testes neuropsicológicos Palográfico/organização, Palográfico/gráfico de rendimento e TEDIF 2 apresentaram potencialidades para aplicação em estudo de avaliação neuropsicológicas em ambientes com baixa exposição humana ao Hg na região Amazônica.

**Palavras-chave:** Neurotoxicidade; Neuropsicologia; Comunidades amazônicas; Exposição ambiental.

## 1. INTRODUÇÃO

A exposição ao mercúrio (Hg) e os problemas neurológicos estão amplamente descritos na literatura, sendo um dos dez elementos químicos de maior preocupação à saúde pública (WHO/UNEP, 2008), onde o consumo de peixe é estabelecido como a principal fonte de exposição ao metal (WHO, 1990). Estudos recentes mostram que o consumo de peixe pode contribuir com até 97% da ingestão de Hg pela comunidade (Zhang & Wong, 2007; Bjørklund *et al.*, 2017).

O Hg na região da Amazônia é encontrado naturalmente em todos compartimentos ambientais, sendo os principais aportes externos a mineração artesanal de exploração ao ouro, a combustão de combustíveis fósseis, a mudança do uso do solo e a cobertura do solo (Arrifano *et al.*, 2018; Miserendino *et al.*, 2018; Guimarães, 2020; Crespo-Lopez *et al.*, 2021). A região da Amazônia contribuiu com cerca de 80% do aumento de emissão de Hg na atmosfera no período de 2010 a 2015 (Crespo-Lopez *et al.*, 2021). Por ser um poluente global, em todo o mundo as pessoas estão expostas ao Hg, embora os maiores índices sejam identificados em populações tradicionais da Amazônia (Genchi *et al.*, 2017). Essa população está entre as 4 populações que requerem grande preocupação global em relação à exposição ao Hg (Basu *et al.*, 2018). A exposição as baixas concentrações de Hg causa efeitos prolongados no Sistema Nervoso Central (SNC), podendo acarretar alterações motoras, genotóxicas e predisposição à depressão (Ceccatelli *et al.*, 2013; Crespo-Lopez *et al.*, 2016).

A exposição está diretamente relacionada aos efeitos neurotóxicos, entretanto, há discrepâncias entre as evidências de déficits cognitivos longitudinais (Santos-Lima *et al.*, 2020; Davidson, *et al.*, 1998; Grandjean *et al.*, 1997). As principais funções neuropsicológicas acometidas pela exposição ao mercúrio são a linguagem, a memória e a atenção (Grandjean & White, 2001). Em comunidades ribeirinhas amazônicas a exposição ao mercúrio está associada aos desempenhos negativos nas funções neuropsicológicas em crianças e jovens (Grandjean *et al.*, 2005 e Santos-Lima *et al.*, 2020). As deficiências motoras, de linguagem e visuais; as alterações do humor, a perda auditiva e a perda de inteligência estão entre as principais perdas neurológicas associadas ao metilmercúrio (MeHg) (Puty *et al.*, 2019).

A complexidade da avaliação de aspectos cognitivos e neuropsicológicos baseada em testes neuropsicológicos requer o delineamento minucioso da bateria testatória de acordo com o nível de desenvolvimento dos participantes, tendo em vista a influência do sexo, da idade, da cultura e do ambiente socioeconômico (Grandjean & White, 2001).

Uma das limitações para conduzir estudos na região amazônica é constituída pelas condições de risco endêmico dessa região e a inacessibilidade geográfica (Puty *et al.*, 2019).

Diferentes tipos de testes neurológicos e neuropsicológicos têm sido aplicados em avaliações neurocomportamentais, sendo observado que a coordenação motora e a percepção viso-motora demonstram consistentes associações com a exposição ao Hg (Passos & Mergler, 2008).

A avaliação psicológica tem como objetivo a obtenção, análise e interpretações das informações psicológicas, as quais são resultados dos procedimentos para avaliar o comportamento (Senden *et al.*, 2013). A identificação do substrato neurológico afetado do comportamento medido é de extrema relevância, e nesse sentido se faz necessário o delineamento do perfil das funções comprometidas e intactas para servir de orientação ao processo de reabilitação, intervenção e tratamento (Segabinazi, 2014). No estudo da exposição humana ao Hg necessita-se detectar os prováveis problemas neurológicos associados ao MeHg em adultos na bacia do rio Madeira e relacioná-los com as doenças (Santos-Sacramento *et al.*, 2021).

Neste estudo foram avaliados os efeitos da exposição ao Hg em termos de desempenhos de aspectos cognitivos (memória, atenção, concentração, dificuldades na leitura e na escrita e cálculos matemáticos) e de funções neuropsicológicas (memória de reconhecimento de curto e longo termos, atenção concentrada, teste de atenção difusa, percepção de similaridades e diferenças, e teste expressivo de personalidade) em população exposta a baixas concentrações de Hg na região do alto rio Madeira na Amazônia, exposição esta revisitada num contexto de expansão do setor hidrelétrico brasileiro.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Aspectos éticos

O protocolo de pesquisa e os questionários semiestruturados foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Faculdade de Medicina da Universidade de Brasília – UnB sob o parecer, CEP-FM 038/2010 exarado 02 de agosto de 2010 (Anexo A). Primeiro foi apresentado aos participantes o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para a assinatura das pessoas que concordaram participar voluntariamente (Apêndice A), e depois houve a aplicação do questionário semiestruturado das funções cognitivas, a bateria testatória neuropsicológica e a coleta de amostra de cabelo para dosimetria do Hg total (HgT) (Apêndice B). As devolutivas da dosimetria do Hg e da bateria testatória neuropsicológica foram feitas individualmente e por uma das psicólogas da equipe, minimizando assim quaisquer impactos neuropsicológicos negativos deste estudo e resguardando a confidencialidade dos exames.

### 2.2 Área de estudo e população

Este inquérito epidemiológico integra o programa de monitoramento hidrobiogeoquímico do Hg na área de influência da Usina Hidrelétrica de Jirau – UHE Jirau, que compõe os vetores ambientais, sociais e o monitoramento da exposição humana bem como indicadores de possíveis efeitos à saúde da população. Essa hidrelétrica foi construída no rio Madeira de 2009 a 2013, dentro do eixo da ilha do padre e a uma distância de 120 km da capital Porto Velho, em Rondônia.

O estudo integrou a combinação de uma longa série de amostragens transversais (semestralmente) no período de 2009 a 2019, onde não houve repetições dos participantes e todos moravam na região do alto rio Madeira. A **Figura 1** exhibe a área geográfica deste trabalho, a montante do eixo da UHE Jirau e mostra os 6 agrupamentos da população amostrada. Os grupos detêm localizações geográficas diferentes, e quando analisados individualmente apresentam sua heterogeneidade conforme as influências de exposição ao Hg.

O grupo G1 (garimpeiros) compõe os trabalhadores da mineração artesanal de ouro em dragas fluviais de grande e pequeno porte espalhadas ao longo do rio Madeira, dragas estas nas quais todos usam o Hg metálico (Hg<sup>0</sup>) no método de amalgamação do ouro e eles ficam hospedados durante 6 dias/semana com turno de trabalho de 4:4 horas nas dragas.

O grupo G2 (ribeirinhos) compreende aos habitantes tradicionais às margens do rio Madeira entre o distrito de Abunã e a UHE Jirau. Esse grupo tem um maior isolamento dos centros urbanos, apresentando a pesca e o extrativismo como fonte alimentar principal. Somente o G2 teve um ciclo amostral de 2010 a 2014, em razão do eixo de inundação por obra da usina.

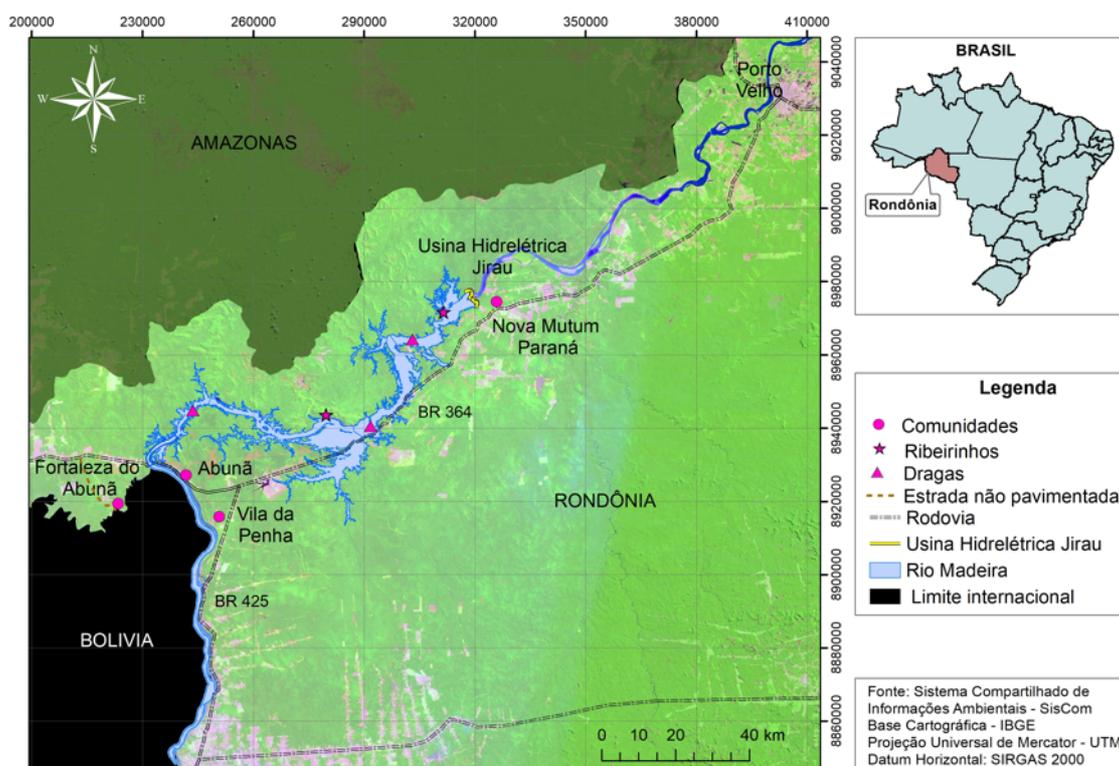
O grupo G3 representa os residentes do distrito de Fortaleza do Abunã (9°46'25.1"S; 65°31'01.7"W), às margens do rio Abunã na fronteira com a Bolívia. A região se caracteriza por um difícil acesso, sendo que a principal atividade econômica da comunidade é a atividade pesqueira. Nesta região a mineração artesanal de ouro é incipiente.

O grupo G4 refere-se aos participantes do distrito de Abunã (9°41'38.1"S; 65°21'23.9"W), situados ao longo do rio Madeira e às margens da rodovia federal BR 364, sendo essa é a única rodovia terrestre de acesso ao estado do Acre no extremo noroeste do Brasil. Os participantes da vila da Penha (9°44'06.5"S; 65°13'31.8"W), às imediações da rodovia federal BR 425, na rota à Bolívia, foram integradas no G4. Essas comunidades são descritas como urbanas e possuem como atividades econômicas principais o extrativismo de subsistência, a pecuária e a comercialização de produtos e atividades para as dragas de mineração artesanal de ouro no rio Madeira.

O grupo G5 é composto pelos participantes do distrito de Nova Mutum Paraná (9°15'55.7"S; 64°33'03.4"W), que foi uma cidade construída à 115 km da capital Porto Velho – RO, à margem da BR 364 contendo todos os equipamentos urbanos. Foi projetada para o reassentamento da população afetada diretamente pela obra da usina e trabalhadores da UHE Jirau.

O grupo G6 é integrado pelos trabalhadores da UHE Jirau (9°16'16.0"S; 64°38'22.7"W), moradores no distrito de Nova Mutum Paraná, procedentes das várias regiões do Brasil com costumes e hábitos característicos de cada região.

Figura 1- Imagem da área de estudo mostrando o desenho amostral dos grupos participantes deste estudo. Nota: G3 – distrito de Fortaleza do Abunã (9°46'25.1''S; 65°31'01.7''W); G4 – distrito de Abunã (9°44'06.5''S; 65°13'31.8''W); G5 – distrito de Nova Mutum Paraná (9°15'55.7''S; 64°33'03.4''W) e G6 – UHE Jirau (9°16'16.0''S; 64°38'22.7''W).



### 2.3 Questionários cognitivos

Houve o convite para todos os moradores da área deste estudo e um total de 1.089 pessoas concordaram em participar. Usou-se como critério de inclusão que o tempo de moradia na região fosse no mínimo de um ano. Entretanto, foram empregados como critérios de exclusão: pertencer a grupos especiais (pessoa com deficiência e população indígena); ter doenças neurológicas (diagnosticada pela médica pesquisadora e/ou autorreferida); e serem menores de 16 anos. O questionário semiestruturado das funções cognitivas compreende referência à atenção, à concentração à memória e às dificuldades de leitura, de escrita e de realização de cálculos matemáticos. Neste trabalho a amostragem foi de conveniência, a qual tem se apresentado pertinente para caracterizar populações de base em demais estudos de saúde ambiental na região Amazônica (Passos & Mergler, 2008, Passos *et al.*, 2007).

## 2.4 Testes neuropsicológicos

A população deste estudo foi convidada a participar de uma bateria testatória neuropsicológica para avaliação da função cognitiva de atenção concentrada, de memória de reconhecimento de curto e longo termos, de percepção de similaridades e diferenças, dos testes de atenção difusa e teste expressivo de personalidade que avaliam a dinâmica da personalidade, o equilíbrio, a coordenação motora, a energia produtiva e a emotiva.

A bateria testatória neuropsicológica foi composta pelos Testes de Atenção Concentrada (AC – Susy V. Cambraia), Memória de Reconhecimento de Curto e Longo Termos (BGFM 4 – TMR – Emílio Carlos Tonglet), Atenção Difusa (BGFM 1 – Emílio Carlos Tonglet / TEDIF 1 e 2) e teste expressivo de personalidade (Palográfico – Irai Cristina Boccato Alves, Cristiano Esteves). A bateria testatória neuropsicológica utilizada é validada pelo Conselho Federal de Psicologia do Brasil.

## 2.5 Determinação de Hg total no cabelo

A amostragem capilar foi composta poucas mechas cortadas na região occipital próxima ao couro cabeludo dos participantes após o fim da aplicação dos questionários semiestruturados e armazenadas em sacos de polietileno lacrados. Primeiramente, as amostras foram lavadas (acetona e água ultrapura) e o HgT foi determinado usando-se um analisador automático para sua determinação direta por decomposição térmica e amálgama em coluna de ouro, SMS 100 Solid Mercury Analysis Systems, Perkin Elmer, Waltham, Massachusetts, USA (dos Santos *et al.*, 2015, Cerbino, *et al.*, 2018). Nas análises do material certificado IAEA-85 (*Human Hair – IAEA Reference Products for Environment and Trace*) mostraram as taxas de recuperação além de 87% e o limite de detecção foi de 0,01 ng Hg.

## 2.6 Análise estatística dos dados

As respostas autorreferidas do questionário semiestruturado referente às funções cognitivas, aos desempenhos nos testes neuropsicológicos e às concentrações de HgT dos participantes foram analisadas com o programa R versão 4.0.2 (R Core Team, 2021), utilizando-se o pacote ggplot2 versão 3.3.5 (Wickham *et al.*, 2016).

As respostas dos questionários referente às funções cognitivas e ao desempenho nos testes neuropsicológicos foram transformadas em um arquivo binário. A população de estudo foi estratificada por escolaridade em: analfabeto, básico incompleto, básico completo (até o 9 ano), ensino médio incompleto e ensino médio completo e superior

incompleto e superior completo. Os resultados das concentrações de HgT dos 06 grupos da área de estudo foram tabulados e separados por sexo.

A regressão linear foi aplicada para verificar a distribuição da concentração de HgT nas amostras de cabelo em relação à idade de todos os participantes (hipótese 1).

A correlação de Kendall (Siegel, 1956) é a mais adequada para dados não paramétricos e possui maior eficiência em comparação com a correlação de Spearman (Croux & Dehon, 2010). Essa análise foi utilizada para as correlações das concentrações de HgT com a idade e sexo (0–Mulher e 1-Homem) nos grupos (hipótese 2).

As sensibilidades do questionário semiestruturado das funções cognitivas (0 – Não; 1 – Sim) e dos testes neuropsicológicos (0–médio inferior e inferior; 1–médio, médio superior e superior) em relação à concentração de HgT nos participantes (hipótese 2 e 3) foram avaliadas utilizando-se o teste Mantel, sendo uma correlação da distância entre as matrizes (Goslee, 2010). Inicialmente foi calculada a distância de Jaccard para dados binários e a distância euclidiana para concentrações de HgT dos participantes (Borg & Groenen, 2005; Kent *et al.*, 1979) e posteriormente a elaboração da matriz triangular com as diferenças em relação às respostas das funções cognitivas, do desempenho nos testes neuropsicológicos e da concentração HgT.

A análise de Chi-quadrado de Pearson ( $X^2$ ) é um teste de hipóteses aplicado na comparação de duas (ou mais) variáveis categóricas (Siegel, 1956). A análise de Chi-quadrado de Pearson ( $X^2$ ) foi aplicada na comparação do padrão das respostas ao questionário semiestruturado das funções cognitivas entre todos os grupos (hipótese 2). O grupo que diferiu no padrão das respostas foi identificado utilizando-se um teste a posteriori (Beasley & Schumacker, 1995). Uma nova análise foi feita retirando o grupo G6 - Usina, devido a média da escolaridade ser extremamente superior aos outros grupos. Este grupo é formado prioritariamente por participantes remanescentes de várias partes do país com qualificação técnica para desempenharem trabalhos específicos na UHE Jirau, podendo criar efeitos de confundimento nas análises comparadas entre os grupos.

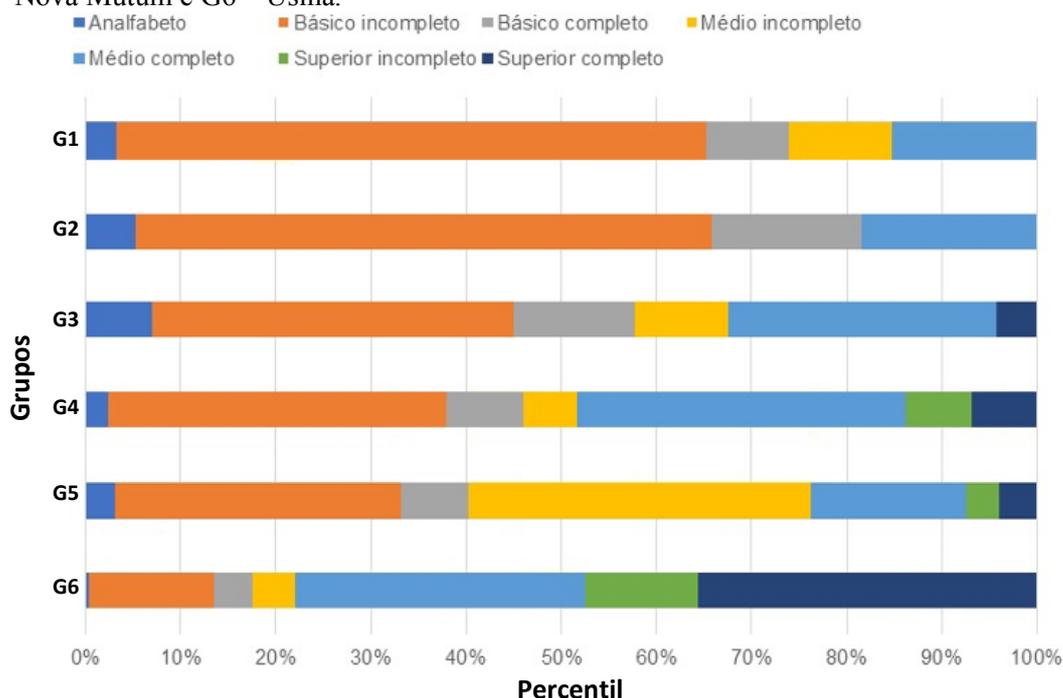
Na comparação pareada do desempenho dos testes neuropsicológicos entre os grupos foi utilizada a análise de Chi-quadrado de Pearson ( $X^2$ ) (hipótese 3).

A comparação dos desempenhos dos grupos nos testes neuropsicológicos em relação a concentração de HgT (hipótese 4) foi analisada utilizando-se o teste de Mann-Whitney para dados não-paramétricos e distribuições independentes (Bauer, 1972; Fagerland & Sandvik, 2009).

### 3. RESULTADOS

O conjunto amostral possui 1.089 participantes ordenados em 06 grupos, que apresentou um universo de 646 homens (59%) e 443 mulheres (41%), com idade média de  $33,6 \pm 12,5$  anos. Na separação da amostra de acordo com o grau de escolaridade (**Figura 2**) demonstra-se a baixa escolaridade nos grupos do alto rio Madeira ( $G1$  e  $G2 < G3 < G4 < G5 \ll G6$ ).

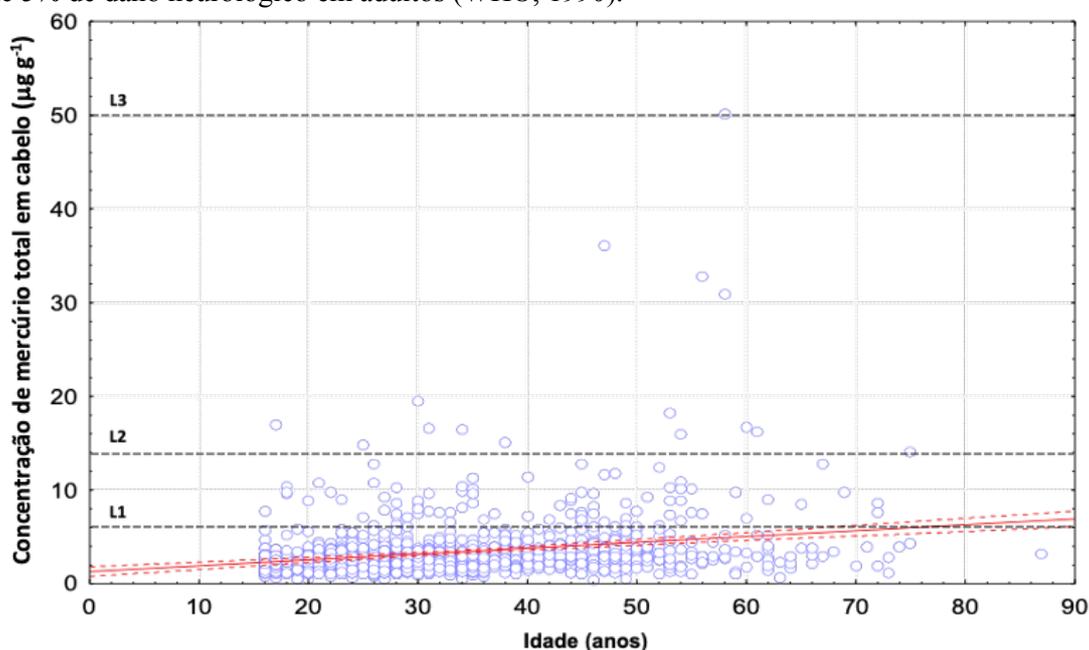
Figura 2 – Separação da população total do estudo em função do grau de escolaridade autorreferida. Notas: G1 – Garimpo; G2 – Ribeirinho; G3 – Fortaleza do Abunã; G4 - Abunã; G5 – Nova Mutum e G6 – Usina.



A concentração de HgT no cabelo da população deste estudo apresentou mediana para o universo masculino (M) de  $2,87 \mu\text{g g}^{-1}$  e feminino (F) de  $2,51 \mu\text{g g}^{-1}$ . A estratificação por grupos mostra as maiores medianas de HgT no G1 (M:  $4,04$  e F:  $4,25 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e G2 (M:  $4,82$  e F:  $3,11 \mu\text{g g}^{-1}$ ), seguido pelos grupos G3 (M:  $3,87$  e F:  $2,76 \mu\text{g g}^{-1}$ ), G4 (M:  $2,94$  e F:  $2,71 \mu\text{g g}^{-1}$ ), G5 (M:  $2,37$  e F:  $2,10 \mu\text{g g}^{-1}$ ) e G6 (M:  $2,85$  e F:  $2,58 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

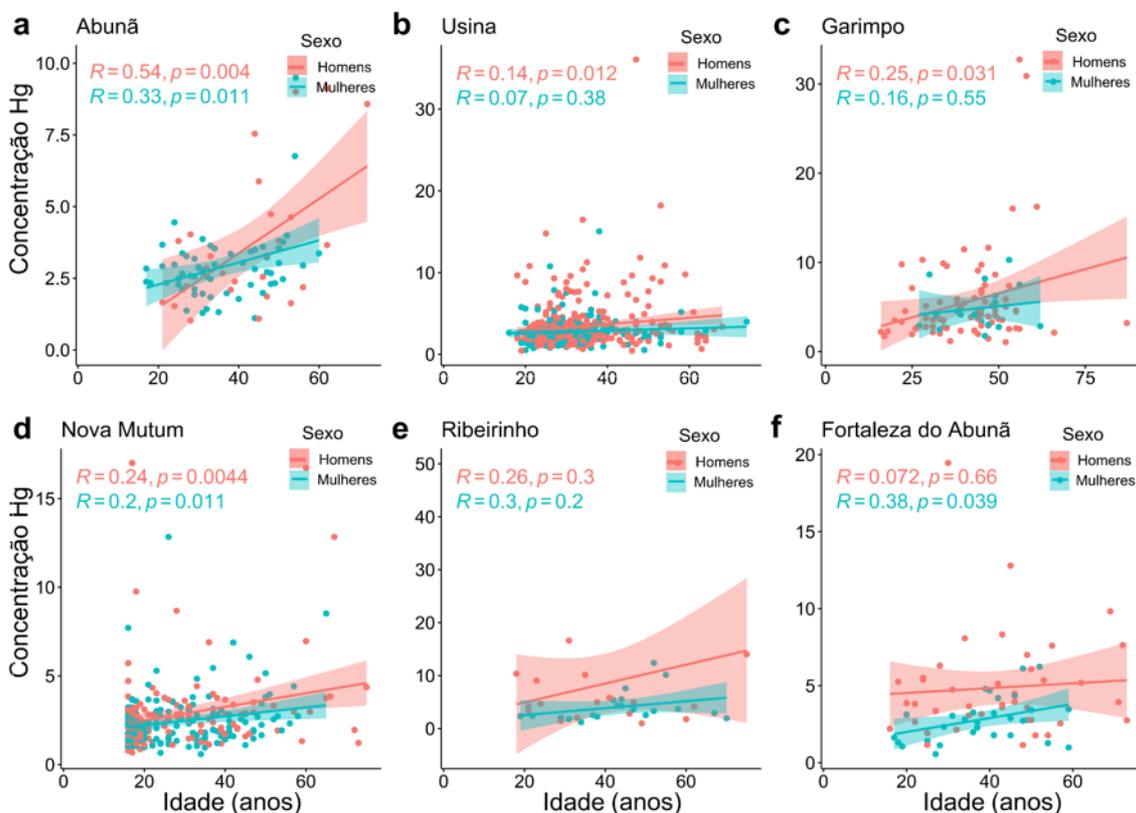
A concentração de HgT nas amostras de cabelo em relação à idade dos participantes mostra correlação positiva, evidenciando o processo de bioacumulação na população exposta na região Amazônica. Dos participantes deste estudo 996 apresentaram (91,4%) concentração  $\text{HgT} < 6 \mu\text{g g}^{-1}$ , 78 participantes (7,2%)  $14 < \text{HgT} < 6 \mu\text{g g}^{-1}$ , e 15 participantes (1,4%) apresentaram concentrações de  $\text{HgT} > 14 \mu\text{g g}^{-1}$  (**Figura 3**).

Figura 3 – Regressão linear ( $R = 0,17$ ;  $p < 0,0001$ ) da distribuição das concentrações de HgT nas amostras de cabelo e idade de todos os participantes. Notas: Limites empíricos: L1 –  $6 \mu\text{g g}^{-1}$  (associado a um decréscimo de 3 pontos no QI (Kjellstrom *et al.*, 1986, Kjellstrom *et al.*, 1989); L2 -  $14 \mu\text{g g}^{-1}$  (preconizado pela OMS (FAO/WHO, 2003); L3 –  $50 \mu\text{g g}^{-1}$  (associado a um risco de 5% de dano neurológico em adultos (WHO, 1990).



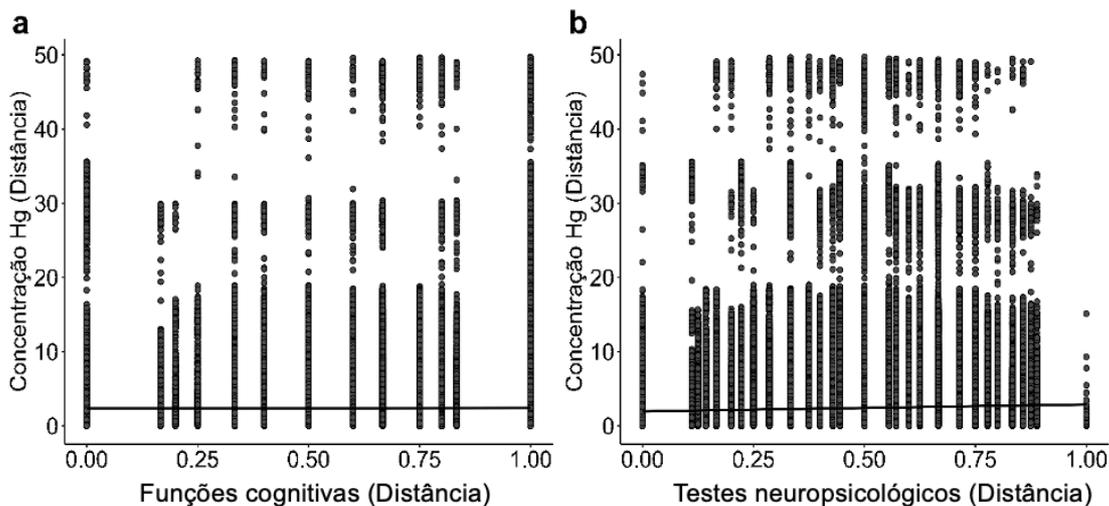
A correlação de Kendall estratificada por sexo demonstrou diferenças entre mulheres e homens em relação aos níveis de concentração de Hg e a idade (**Figura 4**). Nos grupos G1(**Figura 4c**) e G6 (**Figura 4b**) não houve tendência significativa para a relação entre idade e concentração de Hg para as mulheres ( $p > 0,05$ ), sendo observadas tendências significativas entre os homens do G1 (25%) e G6 (14%). No G2 (**Figura 4e**) não foram evidenciadas tendências significativas em ambos os sexos ( $p > 0,05$ ). No G3 (**Figura 4f**), não houve tendência significativa para a relação entre idade e concentração de Hg para os homens ( $p > 0,05$ ), sendo observadas tendências significativas apenas entre as mulheres (38%). No G4 (**Figura 4a**) foi observada tendência significativa mais pronunciada entre os homens (54%) em comparação com as mulheres (33%). O G5 (**Figura 4d**), por sua vez revelou tendências significativas nas relações entre concentração de Hg e idade para homens (24%) e mulheres (20%).

Figura 4 - Correlação de Kendall da distribuição das concentrações de HgT nas amostras de cabelo, idade, estratificado por sexo e separadas por grupos. Notas: a- Abunã; b- Usina; c- Garimpo; d- Nova Mutum; e- Ribeirinho e f- Fortaleza do Abunã.



O teste de Mantel (**Figura 5**) demonstrou que as respostas autorreferidas das funções cognitivas não estão relacionadas às concentrações de HgT nos participantes (Mantel  $r = 0.006, p < 0.3$ ), enquanto que o desempenho dos participantes nos testes neuropsicológicos apresentou uma fraca correlação com as concentrações de HgT (Mantel  $r = 0.004, p < 0.04$ ). A não existência de uma tendência clara (correlação), evidencia a complexidade dos aspectos neuropsicológicos em função à baixa concentração de Hg na população, uma vez que há uma dispersão dos valores sem estabelecimento de um padrão.

**Figura 5** - Correlação de Mantel entre a concentração de mercúrio em relação às respostas autorreferidas das funções cognitivas (a) e testes neuropsicológicos (b).



A análise do Chi-quadrado de Pearson (**Tabela 1**) aplicado às respostas autorreferidas do questionário semiestruturado das funções cognitivas memória, atenção, concentração, dificuldades de leitura, dificuldades de escrita e de dificuldade na realização de cálculos matemáticos simples exibiu padrão de respostas diferentes apenas no G6 em relação a todos os outros grupos, com exceção da função concentração. As respostas evidenciaram uma baixa referência à perda de memória e atenção, bem como baixa dificuldade para leitura, escrita e cálculos matemáticos.

A análise do Chi-quadrado de Pearson (**Tabela 2**) aplicada às respostas do questionário semiestruturado das funções cognitivas, com a exclusão do G6, mostrou que não houve diferença no padrão de respostas entre todos os grupos, com exceção da função escrita (**Figura 6**), estando em consonância com o grau de escolaridade autorreferidas do universo amostral (**Figura 2**).

Tabela 1 - Chi-quadrado de Pearson na comparação de todos os grupos no desempenho nos testes aspectos cognitivos. \* Valores significativos <0.05. Notas: G1 – Garimpo; G2 – Ribeirinho; G3 – Fortaleza do Abunã; G4 - Abunã; G5 – Nova Mutum e G6 – Usina; Testes: MEM- Memória com esquecimentos frequentes, ATEN- Dificuldade de prestar atenção, CONC- Dificuldade de concentração, LE- Dificuldade para compreender o que lê, ESCR- Dificuldade para escrever, MAT- Dificuldade para fazer cálculos matemáticos.

Grupos	MEM	ATEN	CONC	LE	ESCR	MAT
G4 vs. G6	<b>0.01*</b>	<b>0.03*</b>	0.15	<b>&lt;0.0001*</b>	0.10	0.10
G4 vs. G3	0.86	0.75	0.93	0.93	0.61	0.61
G4 vs. G1	0.68	0.44	0.19	1.00	0.50	0.50
G4 vs. G5	0.12	0.75	0.31	0.72	0.61	0.61
G4 vs. G2	0.94	0.74	0.19	0.61	0.12	0.12
G6 vs. G3	0.10	0.49	0.19	<b>&lt;0.0001*</b>	0.40	0.40
G6 vs. G1	0.10	0.75	1.00	<b>&lt;0.0001*</b>	<b>0.006*</b>	<b>0.006*</b>
G6 vs. G5	0.25	<b>0.005*</b>	0.19	<b>&lt;0.0001*</b>	0.07	0.08
G6 vs. G2	0.20	0.75	0.52	<b>&lt;0.0001*</b>	<b>0.001*</b>	<b>0.001*</b>
G3 vs. G1	0.94	0.75	0.23	0.86	0.25	0.25
G3 vs. G5	0.41	0.75	0.52	0.63	0.87	0.87
G3 vs. G2	1.00	0.75	0.19	0.63	<b>0.07*</b>	0.08
G1 vs. G5	0.41	0.44	0.42	0.77	0.13	0.13
G1 vs. G2	0.94	1.00	0.73	0.52	0.34	0.34
G5 vs. G2	0.47	0.75	0.23	0.19	<b>0.03*</b>	<b>0.03*</b>

Tabela 2 – Chi-quadrado de Pearson na comparação par a par (teste a posteriori) dos grupos em relação às respostas dos testes aspectos cognitivos com exceção do G6 - Usina. \* Valores significativos <0.05. Siglas dos diferentes grupos G1 – Garimpo; G2 – Ribeirinho; G3 – Fortaleza do Abunã; G4 – Abunã e G5 – Nova Mutum. Testes: MEM- Memória com esquecimentos frequentes, ATEN- Dificuldade de prestar atenção, CONC- Dificuldade de concentração, LE- Dificuldade para compreender o que lê, ESCR- Dificuldade para escrever, MAT- Dificuldade para fazer cálculos matemáticos.

Grupos	MEM	ATEN	CONC	LE	ESCR	MAT
G4 vs. G3	0.97	0.77	0.87	0.97	0.63	0.88
G4 vs. G1	0.91	0.59	0.24	1.00	0.58	0.88
G4 vs. G5	0.33	0.77	0.31	0.88	0.63	0.78
G4 vs. G2	0.97	0.77	0.24	0.84	0.17	0.78
G3 vs. G1	0.97	0.77	0.24	0.94	0.30	0.88
G3 vs. G5	0.71	0.77	0.48	0.84	0.87	0.85
G3 vs. G2	1.00	0.77	0.24	0.84	0.12	0.78
G1 vs. G5	0.71	0.59	0.40	0.88	0.17	0.78
G1 vs. G2	0.97	1.00	0.70	0.84	0.38	0.78
G5 vs. G2	0.71	0.77	0.24	0.76	<b>0.05*</b>	0.82

A ausência de correlação entre as concentrações de Hg em cabelo dos participantes com as respostas autorreferidas das funções cognitivas e a observância do padrão similar de respostas nos grupos G1, G2, G3, G4 e G5, possivelmente pode estar

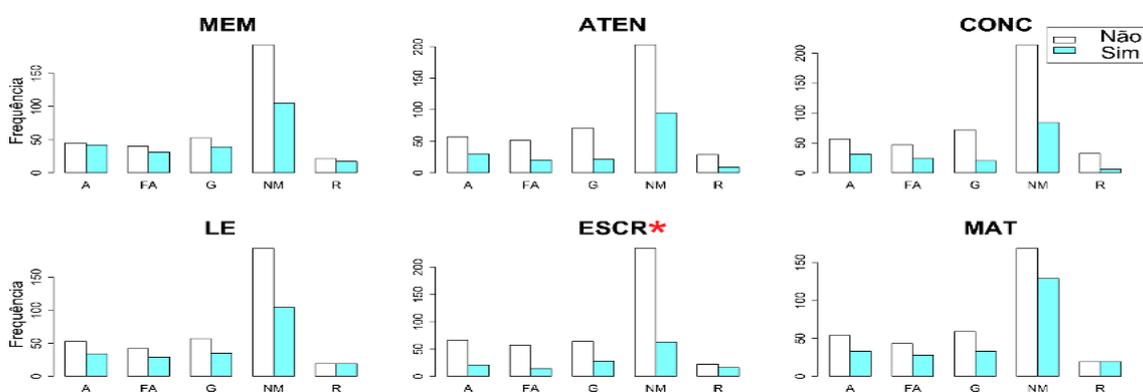
associada à baixa concentração de Hg observada nesta população de estudo (mediana de 2,73  $\mu\text{g g}^{-1}$ ).

A análise do Chi-quadrado de Pearson (**Tabela 3**) aplicado aos desempenhos nos testes neuropsicológicos de todos os grupos, com a exclusão do G6, exibiu que não há diferença no padrão de desempenho, com exceção do teste Palográfico/organização. Os resultados estão em consonância com o padrão de similaridade de respostas do questionário semiestruturado das funções cognitivas desta população, na qual evidenciou-se baixa referência à perda de memória, atenção, concentração e as diferenças par a par entre os grupos (**Figura 6**).

Tabela 3 - Chi-quadrado de Pearson na comparação do desempenho nos testes neuropsicológicos entre os grupos com exceção do G6. \* Valores significativos <0.05. Notas: G1 – Garimpo; G2 – Ribeirinho; G3 – Fortaleza do Abunã; G4 – Abunã e G5 – Nova Mutum; TEDIF 1- teste de atenção difusa, TEDIF 2- teste de atenção difusa complexa, TMR- teste de memória de reconhecimento, AC- atenção concentrada, PROD- Palográfico/produtividade, EMO- Palográfico/emotividade, ORG- Palográfico/organização, NOR- Palográfico/nível de oscilação rítmica, GRA- Palográfico/gráfico de rendimento.

Grupos	TEDIF1	TEDIF2	TMR	AC	PROD	EMO	ORG	NOR	GRA
G4 vs. G3	1.00	0.57	0.44	0.91	0.97	1.00	0.80	0.10	0.24
G4 vs. G1	0.72	0.68	0.61	0.24	0.62	1.00	<b>0.01*</b>	0.10	0.65
G4 vs. G5	0.94	0.54	0.56	0.17	0.93	1.00	0.71	0.10	0.65
G4 vs. G2	0.72	0.54	0.44	1.00	0.62	0.87	<b>0.01*</b>	0.10	0.65
G3 vs. G1	0.72	0.35	0.64	0.17	0.62	1.00	<b>0.03*</b>	1.00	0.65
G3 vs. G5	0.94	0.28	0.22	0.11	0.97	1.00	0.89	0.90	0.24
G3 vs. G2	0.72	0.83	0.22	0.91	0.62	0.87	<b>0.02*</b>	0.90	0.67
G1 vs. G5	0.72	0.83	0.23	1.00	0.62	1.00	<b>0.01*</b>	0.90	0.67
G1 vs. G2	0.94	0.35	0.23	0.41	1.00	0.87	0.71	0.90	1.00
G5 vs. G2	0.72	0.28	0.60	0.34	0.62	0.87	<b>0.01*</b>	0.85	0.67

Figura 6 – Chi-quadrado de Pearson correlação do desempenho às respostas dos questionários das funções cognitivas no universo dos grupos, com exceção do G6 - Usina. Nota: A- Abunã; G- Garimpo; NM- Nova Mutum; R Ribeirinho e FA- Fortaleza do Abunã. \* Valores significativos <0.05. Testes: MEM- Memória com esquecimentos frequentes, ATEN- Dificuldade de prestar atenção, CONC- Dificuldade de concentração, LE- Dificuldade para compreender o que lê, ESCR- Dificuldade para escrever, MAT- Dificuldade para fazer cálculos matemáticos. Branco – não e verde - sim



Neste ambiente de baixa exposição humana ao mercúrio, o teste de Mantel (**Figura 5b**) mostrou uma fraca correlação da concentração de Hg em cabelo dos participantes com os testes neuropsicológicos (Mantel  $r= 0.004$ ,  $p$ -valor=0.04), sendo esses testes de fundamental importância para avaliação neuropsicológica em relação à exposição. A análise de Mann-Whitney (**Tabela 4**) aplicada ao desempenho nos testes neuropsicológicos e às concentrações de HgT dos participantes demonstrou as correlações com os testes Palográfico/organização no G1 ( $W=1327.5$ ,  $p$ -valor=0.03), Palográfico/gráfico de rendimento no G2 ( $W=246.5$ ,  $p$ -valor=0.05) e TEDIF 2 no G5 ( $W=12470$ ,  $p$ -valor=0.03).

Tabela 4 - Análise de Mann-Whitney do desempenho nos testes neuropsicológicos comparando a concentração de HgT de todos os participantes dos grupos. \* Valores significativos <0.05. Nota: Teste - TEDIF 1-teste de atenção difusa, TEDIF 2- teste de atenção difusa complexa, TMR- teste de memória de reconhecimento, AC- atenção concentrada, PROD- Palográfico/produtividade, EMO- Palográfico/emotividade, ORG- Palográfico/organização, NOR- Palográfico/nível de oscilação rítmica, GRA- Palográfico/gráfico de rendimento e Grupos – G1- Garimpo; G2- Ribeirinho; G3-Fortaleza do Abunã; G4-Abunã; G5-Nova Mutum; G6-Usina; p – p-valor.

Grupos Teste	G1		G2		G3		G4		G5		G6	
	W	p	W	p	W	p	W	p	W	p	W	p
TEDIF1	1065.5	0.7	157	0.7	588	0.6	850.5	0.4	12424	0.07	30145	0.4
TEDIF2	1170	0.2	184	0.1	399	0.1	1021.5	0.2	<b>12470</b>	<b>0.03*</b>	27981	0.08
TMR	948.5	0.4	132	0.3	638	0.8	1002	0.6	12014	0.09	29562	0.3
AC	884.5	0.1	160.5	0.9	459	0.4	985	0.1	10660	0.6	28743	0.2
PROD	933.5	0.7	176	0.5	450	0.6	697.5	0.7	8112.5	0.1	27296	0.6
EMO	-	-	25	0.5	-	-	-	-	9.5	0.1	1090.5	0.1
ORG	<b>1327.5</b>	<b>0.03*</b>	225	0.1	578	0.3	658.5	0.5	8793.5	0.5	13068	0.1
NOR	584	0.1	92.5	0.5	426	0.8	939	0.6	8284.5	0.9	24342	0.2
GRA	1056.5	0.9	<b>246.5</b>	<b>0.05*</b>	662	0.4	784	0.2	10802	0.7	34178	0.1

#### 4. DISCUSSÃO

As funções sociodemográficas e cognitivas inferem comportamentos sociais individualizados nas comunidades amazônicas, podendo interferir na exposição humana ao HgT (Serra *et al.*, 2021). Com as diferenças individuais do corpo em metabolizar o Hg, algumas variáveis podem diminuir a capacidade desse processo, tais como: histórico de saúde, tabagismo, sexo e consumo de álcool (Rohling & Demakis, 2006).

A complexidade das inter-relações múltiplas das funções cognitivas e sociodemográficas na dinâmica social de exposição propicia a diferenciação de grupos com estilo de vida diretamente associado e dependente do extrativismo/garimpo de ouro às margens do rio Madeira, quando contrapostos aos grupos que possuem estilo de vida com maior dependência das dinâmicas urbanas nas proximidades da rodovia, fornecendo embasamento para as questões sobre a diferenciação entre a Amazônia dos rios e Amazônia das estradas (Serra *et al.*, 2021).

A segmentação por grupos mostra as maiores medianas de HgT no G1 (M: 4,04 e F:4,25  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) e G2 (M:4,82 e F:3,11  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), acompanhados pelos grupos G3 (M:3,87 e F:2,76  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), G4 (M:2,94 e F:2,71  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), G5 (M:2,37 e F:2,10  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) e G6 (M:2,85 e F:2,58  $\mu\text{g g}^{-1}$ ). Durante a exposição ocupacional na mineração artesanal de ouro há alta concentração de Hg associada à elevada exposição (Arrifano *et al.*, 2018, Da Silva-Junior *et al.*, 2018, Langeland *et al.*, 2017, Lima *et al.*, 2009, Soares *et al.*, 2002), como também, um desempenho sugestivo de déficit cognitivo e perda da atividade autonômica (Milioni *et al.*, 2017).

A dosimetria de Hg apresenta menores valores de concentração de Hg (homens de 2,87  $\mu\text{g g}^{-1}$  e mulheres de 2,51  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), quando comparados a outras regiões da Amazônia (Loureiro *et al.*, 2002, Passos & Mergler, 2008) e seguindo os limites preconizados pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 1990). Baseado nos amplos trabalhos internacionais e longitudinais, assim a FAO/WHO/JECFA, no ano de 2003, estabeleceu que o nível aceitável em amostra de cabelo de 1 a 2  $\mu\text{g g}^{-1}$  para as pessoas que consomem pouca quantidade de peixe, podendo chegar acima de 10  $\mu\text{g g}^{-1}$  para os indivíduos que ingerem peixes de uma ou mais vezes diariamente. Neste estudo foi determinado o valor de 14  $\mu\text{g g}^{-1}$  de cabelo como a concentração de referência e o parâmetro a ser seguido para avaliar possíveis efeitos neurotóxicos em população expostas acima desse limite (Grandjean *et al.*, 2005; FAO/WHO/JECFA, 2003;

WHO/UNEP, 2008). Apesar dos vários estudos na região da Amazônia, não há uma dose de referência do Hg para as comunidades amazônicas (Serra *et al.*, 2021).

O âmbito masculino tende a apresentar maiores concentrações de Hg em referência ao feminino, em função do tipo de atividade profissional (Malm *et al.*, 1995). Associado a essa característica, habitualmente os homens demonstram maior ingestão de alimento em contraposto às mulheres e por conseguinte maior exposição por via alimentar (Castilhos *et al.*, 2015). Nesta população apenas 1,4% apresentaram concentrações de  $\text{HgT} > 14 \mu\text{g g}^{-1}$ , 7,2%  $14 < \text{HgT} > 6 \mu\text{g g}^{-1}$  e 91,4% concentrações  $\text{HgT} < 6 \mu\text{g g}^{-1}$ , evidenciando baixos valores de concentração de Hg quando comparados a outras regiões da Amazônia (Loureiro *et al.*, 2002) e aos limites preconizados pela Organização Mundial da Saúde (FAO/WHO/JECFA, 2003).

Dentre os aspectos demográficos, a variável sexo está continuamente relacionada à exposição ao Hg (Shim *et al.*, 2017). A estratificação por sexo evidenciou maiores tendências de bioacumulação de Hg ao longo do tempo em homens em todos os grupos, com exceção do G3 (**Figura 3**). Nesse grupo G3, prevalece a pesca como a principal atividade ocupacional, e sabe-se que o sexo, o peixe e o local de moradia são indicativos da concentração de Hg (Ashe, 2012). Existe uma covariância das variáveis homens e mulheres com a idade, portanto o sexo interage significativamente no padrão de bioacumulação de Hg.

Os desempenhos nos testes neuropsicológicos em populações com baixa concentração de MeHg divergem por tempo de exposição, idade e sexo (Karagas *et al.*, 2012). Há uma influência do gênero nos resultados dos testes cognitivos, esse fator pode sugerir um agravamento da neurotoxicidade (Anger *et al.*, 1997). Nas diferenças sexuais, há altas concentrações de Hg no sangue do cordão umbilical nos homens e desenvolvimento neuropsicológico inferior em meninos do que em meninas (Llop *et al.*, 2017).

As funções cognitivas geralmente são usadas como indicativo de efeito resultante da exposição crônica ao Hg (Wyatt *et al.*, 2019, Khoury *et al.*, 2013). O déficit de dificuldade de concentração, memória, linguagem, fraqueza, fadiga e alterações do humor são os principais sintomas relacionados à intoxicação por Hg (Da Silva-Junior *et al.*, 2018; Grandjean *et al.*, 1997). Evidências mostram que a neurotoxicidade do Hg gera o déficit de atenção, memória, capacidade linguística reduzida, disfunção motora, e a principal característica neuropsicológica afetada é a disfunção executiva (Bernhoft, 2012).

As respostas autorreferidas das funções cognitivas memória, atenção, concentração e dificuldades de leitura, de escrita e de efetuação de cálculos matemáticos simples não apresentaram relação com as concentrações de HgT nos participantes. Nesta população foi observado o mesmo padrão de respostas para as funções cognitivas entre todos os grupos (excluindo o G6), com exceção da escrita, evidenciando as baixas referências à perda da memória, atenção concentração, dificuldade de leitura e dificuldade em efetuação de cálculos matemáticos simples. A diminuição do desempenho motor está associada à exposição ao Hg (Mergler *et al.*, 2018; Marques *et al.*, 2016). Um outro fato, as capacidades visuais podem diminuir progressivamente ao longo do tempo dependendo da exposição ao Hg (Fillion *et al.*, 2011).

A ausência de correlação com as concentrações de Hg e a observância do padrão similar de respostas nos grupos G1, G2, G3, G4 e G5, possivelmente pode estar associada à baixa concentração de Hg observada nesta população de estudo (mediana de 2,73  $\mu\text{g g}^{-1}$ ). Entretanto, a baixa exposição ao MeHg tem uma associação positiva com anormalidades neurológicas (Lebel *et al.*, 1998). As alterações podem ser um indicador precoce de neurotoxicidade ao Hg e o desempenho da função motora em população exposta ao MeHg está diretamente correlacionado à escolaridade, à idade e ao sexo (Dolbec *et al.*, 2000).

O aumento da idade induz uma diminuição na capacidade da memória de reconhecimento (Rueda *et al.*, 2011). Por conseguinte, os participantes mais jovens tendem a ter melhores resultados e o sexo masculino tende a ter melhor desempenho nos testes de processamento visual (estrutura) (Aguilar *et al.*, 2002). Entretanto, o desempenho nos escores melhoram com o nível de escolaridade (Dolbec *et al.*, 2000).

Neste ambiente de baixa exposição foi observada a correlação da concentração de HgT com os testes neuropsicológicos Palográfico/organização no G1, Palográfico/gráfico de rendimento no G2 e TEDIF 2 no G5 (**Tabela 3**), inferindo a esses testes neuropsicológicos potencialidade para aplicação em estudo de avaliação neuropsicológica em ambientes com baixa exposição humana ao mercúrio na região Amazônica. Esses déficits permanecem nos anos seguintes ao desenvolvimento e não só pelo momento de exposição (González-Estrecha *et al.*, 2014; Boucher *et al.*, 2016).

Os grupos com maiores valores de medianas de HgT apresentaram menores desempenhos no teste neuropsicológico Palográfico, sendo no G1 referente à função organização e no G2 à função rendimento. Os tipos de atividades ocupacionais dos moradores interferem significativamente na variação das concentrações de Hg (Barbieri

*et al.*, 2009). As dinâmicas sociais desses grupos possuem um estilo de vida diretamente relacionado e dependente do extrativismo/garimpo de ouro às margens do rio Madeira. Da mesma forma, os costumes alimentares baseados na pesca estão correlacionados diretamente às concentrações de HgT (Monrroy *et al.*, 2008) Também, a população tem a interferência dos fatores socioeconômicos e sociodemográficos (Eagles-Smith *et al.*, 2018).

O G5 obteve correlação positiva da concentração de HgT no teste TEDIF 2, esse grupo possui discrepância entre todos os outros grupos em relação ao Hg e dependência do centro urbano, no caso, a capital Porto velho - RO (Serra *et al.*, 2021). A atenção é uma das funções que mais sofrem nas disfunções neuropsicológicas relacionadas ao Hg (Grandjean *et al.*, 1997) e à perda de memória é um dos problemas de maior prevalência relatados em populações expostas ao Hg (Da Silva-Junior *et al.*, 2018). As influências das variáveis do sujeito, como a educação, acompanhada pelo fator cultural, idade, sexo e econômico são os principais vetores para afetarem o resultado nos testes neuropsicológicos (Anger *et al.*, 1997; Grandjean & White, 2001).

A semelhança do padrão de desempenhos nos testes neuropsicológicos dos participantes em todos os grupos (excluído o G6), com exceção apenas para o teste Palográfico/organização, possibilita inferir a compreensão igualitária dos comandos para a execução da bateria testatória neuropsicológica.

A bateria testatória usada neste trabalho, contemplando os testes de atenção concentrada, atenção difusa, memória e personalidade é comumente aplicada para fins organizacionais, como teste de seleção a emprego, e avaliação neuropsicológica em consultórios. Desse modo, não foi encontrado na literatura científica aplicações desses testes com objetivos semelhantes aos utilizados por este estudo.

Estudo recente com crianças e adolescentes na região do alto rio Madeira expostas ao MeHg apresentaram diminuição de desempenho em testes neuropsicológicos (Santos-Lima *et al.*, 2020). Ainda existe poucos trabalhos que avaliam os resultados neuropsicológicos em população adulta exposta ao Hg na região amazônica brasileira (Puty *et al.*, 2019).

Testes específicos para medição de déficits cognitivos têm vantagens por explicar deficiências comportamentais e dificuldades na vida em populações expostas, principalmente em exposição de baixa dose (Grandjean & White, 2001). Na região Amazônia a seleção de uma bateria testatória para determinar os efeitos neurológicos, em relação à exposição ao Hg é crítica (Santos-Sacramento *et al.*, 2021). Neste cenário, os

resultados demonstram que é possível, detectar alterações no Sistema Nervoso Central, utilizando bateria de testes neuropsicológicos sensíveis em consonância com o conhecimento sobre a neurotoxicidade do Hg (Mergler, 2021).

A bateria de avaliação neuropsicológica usada corrobora com os resultados das pesquisas desenvolvidas por Santos-Sacramento *et al.*, 2021; Milioni *et al.*, 2017; Fillion *et al.*, 2011; Khoury *et al.*, 2013; Anger *et al.*, 1997 sobre as perdas no desempenho cognitivo, neuropsicológico e social associado à exposição ao Hg em adultos. Os resultados em conjunto com os fatores sociodemográficos podem resultar em um caminho para entender a relação entre aspectos neuropsicológicos e neurotoxicidade de mercúrio na Amazônia.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os testes neuropsicológicos Palográfico/organização, Palográfico/gráfico de rendimento e TEDIF 2, demonstraram potencialidades para aplicação em estudo de avaliação neuropsicológicas em ambientes com baixa exposição humana ao Hg na região Amazônica ( $HgT < 14 \mu g g^{-1}$ ). Nossos resultados revelaram que, as variáveis sexo e idade podem interagir no padrão de acumulação do HgT e conseqüentemente, no desempenho das baterias testatórias neuropsicológicas. A avaliação neuropsicológica dos efeitos da exposição ambiental e ocupacional ao Hg requer maior entendimento das alterações nas funções cognitivas e de testes neuropsicológicos validados para a região Amazônica. Sugere-se a busca de outros testes validados e recomendados para as mesmas funções com melhores propriedades psicométricas para população exposta a poluentes ambientais.

## 6. REFERÊNCIAS

- Aguilar, M.; Navarro, J. I.; Lorens, I. & Marchena, E. (2002). Estudio comparativo de los niveles de procesamiento en la memoria de niños y personas mayores. **Revista de Psicología General y Aplicada**, 55(4), 541-551. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/28169399\\_Estudio\\_comparativo\\_de\\_los\\_niveles\\_de\\_procesamiento\\_en\\_la\\_memoria\\_de\\_ninos\\_y\\_personas\\_mayores](https://www.researchgate.net/publication/28169399_Estudio_comparativo_de_los_niveles_de_procesamiento_en_la_memoria_de_ninos_y_personas_mayores). Acesso em: 20 dez. 2021.
- Anger, W. K.; Sizemore, O. J.; Grossmann, S. J.; Glasser, J. A.; Letz, R.; Bowler, R. 1997. Human neurobehavioral research methods: impact of subject variables. **Environ Res**, 73(1-2):18-41. doi: 10.1006/enrs.1997.3707.
- Arrifano, G. P. F.; Martín-Doimeadios, R. C. R.; Jiménez-Moreno, M.; Ramírez-Mateos, V.; da Silva, N. F. S.; Souza-Monteiro, J. R.; Augusto-Oliveira, M.; Paraense, R. S. O.; Macchi, B. M.; do Nascimento, J. L. M.; Crespo-Lopez, M. E. 2018. Large-scale projects in the amazon and

human exposure to mercury: The case-study of the Tucuruí Dam. **Ecotoxicol Environ Saf**, Jan;147:299-305. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.08.048.

Ashe, K. 2012. Elevated mercury concentrations in humans of Madre de Dios, Peru. **PLoS One**, Mar;7(3): e33305. doi: 10.1371/journal.pone.0033305.

Barbieri, F. L.; Courmil, A.; Gardon, J. 2009. Mercury exposure in a high fish eating Bolivian Amazonian population with intense small-scale gold-mining activities. **Internacional Journal Environmental Health Research**, Aug;19(4):267-77. doi: 10.1080/09603120802559342.

Basu, N.; Horvat, M.; Evers, D. C.; Zastenskaya, I.; Weihe, P.; Tempowski, J. 2018. A State-of-the-Science Review of Mercury Biomarkers in Human Populations Worldwide between 2000 and 2018. **Environ Health Perspect**, Oct;126(10):106001. doi: 10.1289/EHP3904.

Bauer, David. F. 1972. Constructing Confidence Sets Using Rank Statistics. **Journal of the American Statistical Association**, vol. 67, no. 339, [American Statistical Association, Taylor & Francis, Ltd.], pp. 687–90. doi:10.2307/2284469.

Beasley, T. M. & Schumacker, R. E. 1995. Multiple Regression Approach to Analyzing Contingency Tables: Post Hoc and Planned Comparison Procedures. **The Journal of Experimental Education**, 64(1), 79–93. doi:10.1080/00220973.1995.994.

Bernhoft, R. A. 2012. Mercury toxicity and treatment: a review of the literature. **J Environ Public Health**, 2012:460508. doi: 10.1155/2012/460508.

Bjørklund, G.; Dadar, M.; Mutter, J.; Aaseth, J. 2017. The toxicology of mercury: current research and emerging trends. **Environ Res**. Nov;159:545-554. doi: 10.1016/j.envres.2017.08.051.

Borg, I.; Patrick, J. F.; Groenen, P. J. F. **Modern Multidimensional Scaling: Theory and Applications**. [s.l.]. Springer Series in Statistics, 2005.

Boucher, O.; Muckle, G.; Ayotte, P.; Dewailly, E.; Jacobson, S. W. & Jacobson, J. L. 2016. Altered fine motor function at school age in Inuit children exposed to PCBs, methylmercury, and lead. **Environment International**, 95 (1), 144-151. doi:10.1016/j.envint.2016.08.010.

Castilhos, Z.; Rodrigues-Filho, S.; Cesar, R.; Rodrigues, A. P.; Villas-Bôas, R.; de Jesus, I.; Lima, M.; Faial, K.; Miranda, A.; Brabo, E.; Beinhoff, C.; Santos, E. 2015. Human exposure and risk assessment associated with mercury contamination in artisanal gold mining areas in the Brazilian Amazon. **Environ Sci Pollut Res Int**, Aug;22(15):11255-64. doi: 10.1007/s11356-015-4340-y.

Ceccatelli, S.; Bose, R.; Edoff, K.; Onishchenko, N.; Spulber, S. 2013. Long-lasting neurotoxic effects of exposure to methylmercury during development. **J Intern Med**, May;273(5):490-7. doi: 10.1111/joim.12045.

Cerbino, M. R.; Vieira, J. C. S.; Braga, C. P.; Oliveira, G.; Padilha, I. F.; Silva, T. M.; Zara, L. F.; Silva, N. J. Jr.; Padilha, P. M. 2018. Metalloproteomics Approach to Analyze Mercury in Breast Milk and Hair Samples of Lactating Women in Communities of the Amazon Basin, Brazil. **Biol Trace Elem Res**, Feb;181(2):216-226. doi: 10.1007/s12011-017-1057-4.

Crespo-Lopez, M. E.; Costa-Malaquias, A.; Oliveira, E. H.; Miranda, M. S.; Arrifano, G. P.; Souza-Monteiro, J. R.; Sagica, F. E.; Fontes-Junior, E. A.; Maia, C. S.; Macchi, B. M.; do Nascimento, J. L. 2016. Is Low Non-Lethal Concentration of Methylmercury Really Safe? A Report on Genotoxicity with Delayed Cell Proliferation. **PLoS One**, Sep 13;11(9):e0162822. doi: 10.1371/journal.pone.0162822.

Crespo-Lopez, M. E.; Augusto-Oliveira, M.; Lopes-Araújo, A.; Santos-Sacramento, L.; Yuki Takeda, P.; Macchi, B. M.; do Nascimento, J. L. M.; Maia, C. S. F.; Lima, R. R.; Arrifano, G. P. 2021. Mercury: What can we learn from the Amazon? **Environ Int**, Jan;146:106223. doi: 10.1016/j.envint.2020.106223.

Croux, C. & Dehon, C. 2010. Influence functions of the Spearman and Kendall correlation measures. **Statistical Methods & Applications**, 19(4), 497–515. doi:10.1007/s10260-010-0142-z.

Da Silva-Junior, F. M. R.; Oleinski, R. M.; Azevedo, A. E. S.; Monroe, K. C. M. C.; Dos Santos, M.; Da Silveira, T. B.; De Oliveira, A. M. N.; Soares, M. C. F.; Pereira, T. D. S. 2018. Vulnerability associated with "symptoms similar to those of mercury poisoning" in communities from Xingu River, Amazon basin. **Environ Geochem Health**, Jun;40(3):1145-1154. doi: 10.1007/s10653-017-9993-7.

Davidson, P. W.; Myers, G. J.; Cox, C.; Axtell, C.; Shamlaye, C.; Sloane-Reeves, J.; Cernichiari, E.; Needham, L.; Choi, A.; Wang, Y.; Berlin, M.; Clarkson, T. W. 1998. Effects of prenatal and postnatal methylmercury exposure from fish consumption on neurodevelopment: outcomes at 66 months of age in the Seychelles Child Development Study. **JAMA**, Aug 26;280(8):701-7. doi: 10.1001/jama.280.8.701.

Dolbec, J.; Mergler, D.; Sousa Passos, C. J.; Sousa de Moraes, S.; Lebel, J. 2000. Methylmercury exposure affects motor performance of a riverine population of the Tapajós river, Brazilian Amazon. **Int Arch Occup Environ Health**, Apr;73(3):195-203. doi: 10.1007/s004200050027.

dos Santos, F. A.; Cavecci, B.; Vieira, J. C.; Franzini, V. P.; Santos, A.; de Lima Leite, A.; Buzalaf, M. A.; Zara, L. F.; de Magalhães Padilha, P. 2015. A Metalloproteomics Study on the Association of Mercury With Breast Milk in Samples From Lactating Women in the Amazon Region of Brazil. **Arch Environ Contam Toxicol**, Aug;69(2):223-9. doi: 10.1007/s00244-015-0161-8.

Eagles-Smith, C. A.; Silbergeld, E. K.; Basu, N.; Bustamante, P.; Diaz-Barriga, F.; Hopkins, W. A.; Kidd, K. A.; Nyland, J. F. 2018. Modulators of mercury risk to wildlife and humans in the context of rapid global change. **Ambio**, Mar;47(2):170-197. doi: 10.1007/s13280-017-1011-x.

**Environmental Health Criteria 101 Methylmercury:1990 [Internet]. International Programme on Chemical Safety (IPCS).** World Health Organization: Geneva, Switzerland, 1990;pp.1–144. Disponível em: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/38082/9241571012\\_eng.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/38082/9241571012_eng.pdf). Acesso em: 07 jul. 2019.

Fagerland, M. W. & Sandvik, L. (2009). The Wilcoxon-Mann-Whitney test under scrutiny. **Statistics in Medicine**, 28(10), 1487–1497. doi:10.1002/sim.3561.

Fillion, M.; Philibert, A.; Mertens, F.; Lemire, M.; Passos, C. J.; Frenette, B.; Guimarães, J. R.; Mergler, D. 2011. Neurotoxic sequelae of mercury exposure: an intervention and follow-up study in the Brazilian Amazon. **Ecohealth**, Jun;8(2):210-22. doi: 10.1007/s10393-011-0710-1.

Genchi, G.; Sinicropi, M. S.; Carocci, A.; Lauria, G.; Catalano, A. 2017. Mercury Exposure and Heart Diseases. **Int J Environ Res Public Health**, Jan 12;14(1):74. doi: 10.3390/ijerph14010074.

González-Estrecha, M.; Boda, A.; Rubio, M.; Martell, N.; Trasobares, E.; Ordóñez, J.; Guillén, J. & Herráiz, M. & Calle, A. 2014. Efectos sobre la salud del metilmercurio en niños y adultos:

estudios nacionales e internacionales. **Nutrición Hospitalaria**, 30 (5), 989-1007. doi: 10.3305/nh.2014.30.5.7728.

Goslee, Sarah. C. Correlation Analysis of Dissimilarity Matrices. **Plant Ecology**, vol. 206, no. 2, Springer, 2010, pp. 279–86, <http://www.jstor.org/stable/40540359>.

Grandjean, P.; Weihe, P.; White, R. F.; Debes, F.; Araki, S.; Yokoyama, K.; Murata, K.; Sørensen, N.; Dahl, R.; Jørgensen, P. J. 1997. Cognitive deficit in 7-year-old children with prenatal exposure to methylmercury. **Neurotoxicol Teratol**, Nov-Dec;19(6):417-28. doi: 10.1016/s0892-0362(97)00097-4.

Grandjean, P. & White, R. F. 2001. Neurobehavioral Dysfunction as a Possible Sentinel of Methylmercury Exposure, Human and Ecological Risk Assessment. **An International Journal**, 7:5, 1079-1089. doi: 10.1080/20018091094862.

Grandjean, P.; Cordier, S.; Kjellstrom, T.; Pal Weihe, P.; Jørgensen, E. B. 2005. Health effects and risks assessment. In: Pirrone, N.; Mahaffey, K. R. **Dynamics of mercury pollution on regional and global scales: atmospheric processes and human exposures around the world**. 1th ed. Springer, p. 511-538.

Guimarães, J. R. D. 2020. Mercury in the Amazon: Problem or opportunity? A commentary on 30 years of research on the subject. *Elem Sci Anth*, 8: XX. doi: <https://doi.org/10.1525/elementa.032>.

Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (2003: Rome, Italy), World Health Organization & Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2004. Evaluation of certain food additives and contaminants : sixty-first report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42849>. Acesso em: 02 fev. 2021.

Karagas, M. R.; Choi, A. L.; Oken, E.; Horvat, M.; Schoeny, R.; Kamai, E.; Cowell, W.; Grandjean, P.; Korrick, S. 2012. Evidence on the human health effects of low-level methylmercury exposure. **Environ Health Perspect**, Jun;120(6):799-806. doi: 10.1289/ehp.1104494.

Kent, J. T.; Bibby, J.; Mardia, K. V. **Multivariate analysis**. [s.l.] Academic Press Amsterdam, 1979.

Khoury, E. D.; Souza, G. da S.; Silveira, L. C.; Costa, C. A.; Araújo, A. A.; Pinheiro, M. da C. 2013. Manifestações neurológicas em ribeirinhos de áreas expostas ao mercúrio na Amazônia brasileira: Neurological manifestations in riverine populations from areas exposed to mercury in the Brazilian Amazon. **Cad Saude Publica**, Nov;29(11):2307-18. doi: 10.1590/0102-311x00158012.

Kjellstrom, T. S.; Kennedy, P.; Wallis, S.; Mantell, C. 1986. Physical and Mental Development of Children with Prenatal Exposure to Mercury from Fish: Stage 1, Preliminary Tests at Age 4. **Report 3080**. Solna, Sweden:National Swedish Environmental Protection Board.

Kjellstrom, T.; Kennedy, P.; Wallis, S.; Stewart, A.; Friberg, L.; Lind, B.; Wutherspoon, T.; Mantell, C. 1989. Physical and Mental Development of Children with Prenatal Exposure to Mercury from Fish. Stage 2, Interviews and Psychological Tests at Age 6. **Report 3642**. Solna, Sweden:National Swedish Environmental Protection Board.

Langeland, A. L.; Hardin, R. D.; Neitzel, R. L. 2017. Mercury Levels in Human Hair and Farmed Fish near Artisanal and Small-Scale Gold Mining Communities in the Madre de Dios River Basin,

- Peru. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, mar 14; 14(3): 302. doi: 10.3390/ijerph14030302.
- Lebel, J.; Roulet, M.; Mergler, D.; Lucotte, M.; & Larribe, F. 1997. Fish diet and mercury exposure in a riparian amazonian population. **Water, Air, and Soil Pollution**, 97(1/2), 31–44. doi:10.1023/a:1018378207932.
- Lima, E. R. Z.; Colon, J. C.; Souza, M. T. 2009. Alterações auditivas em trabalhadores expostos a mercúrio. **Revista CEFAC**, Mar;11(1): 62-67. doi:10.1590/S1516-18462009005000003.
- Llop, S.; Ballester, F.; Murcia, M.; Forns, J.; Tardon, A.; Andiaarena, A. & López-Espinosa, M. 2017. Prenatal exposure to mercury and neuropsychological development in young children: The role of fish consumption. **International Journal of Epidemiology**, 46(3), 827-838. doi:10.1093/ije/dyw259.
- Loureiro, E. C.; Mascarenhas, A. F.; Fayal, K. F.; Sá Filho, G. C.; Sagica, F. E.; Lima, M. O.; Higuchi, H.; Silveira, I. M. 2002. A contribution to the establishment of reference values for total mercury levels in hair and fish in Amazônia. **Environ Res**, Sep;90(1):6-11. doi: 10.1006/enrs.2002.4366.
- Malm, O.; Branches, F. J.; Akagi, H.; Castro, M. B.; Pfeiffer, W. C.; Harada, M.; Bastos, W. R.; Kato, H. 1995. Mercury and methylmercury in fish and human hair from the Tapajós River basin, Brazil. **Sci Total Environ**, Dec 11;175(2):141-50. doi: 10.1016/0048-9697(95)04910-x.
- Marques, R. C.; Abreu, L.; Bernardi, J. V. E.; Dórea, J. G. 2016. Traditional living in the Amazon: Extended breastfeeding, fish consumption, mercury exposure and neurodevelopment. **Annals of Human Biology**, 43(4), 360-370. doi: 10.1080/03014460.2016.1189962.
- Mergler, M.; Driessen, M.; Havemann-Reinecke, U.; Wedekind, D.; Lüdecke, C.; Ohlmeier, M.; Schäfer, I. 2018. Differential relationships of PTSD and childhood trauma with the course of substance use disorders. **Journal of Substance Abuse Treatment**, 93, 57–63. doi:10.1016/j.jsat.2018.07.010.
- Mergler, D. 2021. Ecosystem approaches to mercury and human health: A way toward the future. **Ambio**, (50) 527–531. doi:10.1007/s13280-020-01455-0.
- Milioni, A. L. V.; Nagy, B. V.; Moura, A. L. A.; Zachi, E. C.; Barboni, M. T. S.; Ventura, D. F. 2017. Neurotoxic impact of mercury on the central nervous system evaluated by neuropsychological tests and on the autonomic nervous system evaluated by dynamic pupillometry. **Neurotoxicology**, Mar;59:263-269. doi: 10.1016/j.neuro.2016.04.010.
- Miserendino, R. A.; Guimarães, J. R. D.; Schudel, G.; Ghosh, S.; Godoy, J. M.; Silbergeld, E. K.; Lees, P. S. J.; Bergquist, B. A. 2018. Mercury Pollution in Amapá, Brazil: Mercury Amalgamation in Artisanal and Small-Scale Gold Mining or Land-Cover and Land-Use Changes? **ACS Earth and Space Chemistry**, Sep;2(5):441-450. doi: 10.1021/acsearthspacechem.7b00089.
- Monrroy, S. X.; Lopez, R. W.; Roulet, M.; Benefice, E. 2008. Lifestyle and mercury contamination of Amerindian populations along the Beni river (lowland Bolivia). **J Environ Health**, Nov;71(4):44-50. PMID: 19004394.
- Passos, C. J.; Mergler, D.; Fillion, M.; Lemire, M.; Mertens, F.; Guimarães, J. R.; Philibert, A. 2007. Epidemiologic confirmation that fruit consumption influences mercury exposure in riparian communities in the Brazilian Amazon. **Environ Res**, Oct;105(2):183-93. doi: 10.1016/j.envres.2007.01.012.

Passos, C. J.; Mergler, D. 2008. Human mercury exposure and adverse health effects in the Amazon: a review. **Cad Saude Publica**, 24 Suppl 4:s503-20. doi: 10.1590/s0102-311x2008001600004.

Puty, B.; Leão, L. K. R.; Crespo-Lopez, M. E.; Almeida, A. P. C. P. S. C.; Fagundes, N. C. F.; Maia, L. C.; Lima, R. R. 2019. Association between methylmercury environmental exposure and neurological disorders: A systematic review. **J Trace Elem Med Biol**, Mar;52:100-110. doi: 10.1016/j.jtemb.2018.12.001.

R CORE TEAM, R. D. C. R. **A language and environment for statistical computing**. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria, 2021.

Rohling, M. L.; Demakis, G. J. 2006. A meta-analysis of the neuropsychological effects of occupational exposure to mercury. **Clin Neuropsychol**, Feb;20(1):108-32. doi: 10.1080/13854040500203324.

Rueda, F. J. M.; de Castro, N. R. & Raad, A. J. 2011. Efeito da idade no Teste de Memória de Reconhecimento (TEM-R). **PSICO**, 42(2), 179–186. Disponível em: <https://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/revistapsico/article/view/7377/6519>. Acesso em: 21 dez.2020.

Santos-Lima, C. D.; Mourão, D. S.; Carvalho, C. F.; Souza-Marques, B.; Veja, C. M.; Gonçalves, R. A.; Argollo, N.; Menezes-Filho, J. A.; Abreu, N.; Hacon, S. S. 2020. Neuropsychological Effects of Mercury Exposure in Children and Adolescents of the Amazon Region, Brazil. **Neurotoxicology**, Jul;79:48-57. doi: 10.1016/j.neuro.2020.04.004.

Santos-Sacramento, L.; Arrifano, G. P.; Lopes-Araújo, A.; Augusto-Oliveira, M.; Albuquerque-Santos, R.; Takeda, P. Y.; Souza-Monteiro, J. R.; Macchi, B. M.; do Nascimento, J. L. M.; Lima, R. R.; Crespo-Lopez, M. E. 2021. Human neurotoxicity of mercury in the Amazon: A scoping review with insights and critical considerations. **Ecotoxicol Environ Saf**, Jan 15;208:111686. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.111686.

Segabinaz, J. D. **Evidências de validade do teste de retenção visual de Benton em amostras brasileiras**. 2014. 85f. Tese (Doutor em Psicologia) - Programa de Pós-Graduação em Psicologia da UFRGS, Rio Grande do Sul. Disponível em <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/158572>>. Acessos 04 jul. 2020.

Senden, D. A.; Lopes, Fernandes, R. M., Nascimento, R. F. L., Terroso, L. B., & Argimon, I. I. L., 2013. Análise da personalidade de profissionais da área da saúde: um estudo pelo teste Palográfico. **Aletheia**, Canoas, n. 42, p. 62-70, dez. Disponível em <[http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-03942013000300006&lng=pt&nrm=iso](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-03942013000300006&lng=pt&nrm=iso)>. Acessos em 16 jan. 2022.

Serra, C. V.; Silva, T. M.; & Bernardi, J. V. E. 2021. Dynamics of exposure to mercury in a population of the upper Madeira River, Rondônia – Brazil. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental Da Alta Paulista**, 17(4). doi:10.17271/1980082717420213045.

Shim, Y. K.; Lewin, M. D.; Ruiz, P.; Eichner, J. E.; Mumtaz, M. M. 2017. Prevalence and associated demographic characteristics of exposure to multiple metals and their species in human populations: The United States NHANES, 2007-2012. **J Toxicology Environmental Health A**, 80(9):502-512. doi: 10.1080/15287394.2017.1330581.

Siegel, S. **Nonparametric statistics for the behavioral sciences**. 1956.

Soares, M.; Sarkis J. E.; Müller, R. C.; Brabo, E.; Santos, E. 2002. Correlation between mercury and selenium concentrations in Indian hair from Rondônia State, Amazon region, Brazil. **Sci Total Environ**, Mar 15;287(1-2):155-61. doi: 10.1016/s0048-9697(01)01002-6.

Zhang, L.; Wong, M. H. 2007. Environmental mercury contamination in China: sources and impacts. **Environ Int**, Jan;33(1):108-21. doi: 10.1016/j.envint.2006.06.022.

WHO/UNEP Global Environmental Radiation Monitoring Network. Scientific Advisory Committee. Meeting (1990: Suzdal, USSR), **World Health Organization. Prevention of Environmental Pollution Unit, United Nations Environment Programme & Global Environment Monitoring System**. 1990. The WHO/UNEP Global Environmental Radiation Network (GERMON). World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/58794>. Acesso em: 12 nov. 2020.

Wickham, H.; Chang, W.; Wickham, M. H. **Package ‘ggplot2’: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics**. Version, v. 2, n. 1, p. 1–189, 2016.

World Health Organization/United Nations Environment Programme (WHO/UNEP). **Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure, 170**. World Health Organization, Geneva, Switzerland: Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals, 2008. Disponível em: <https://www.who.int/publications/m/item/guidance-for-identifying-populations-at-risk-from-mercury-exposure>. Acesso em: 04 jun. 2020.

Wyatt, L.; Permar, S. R.; Ortiz, E.; Berky, A.; Woods, C. W.; Amouou, G. F.; Itell, H.; Hsu-Kim, H.; Pan, W. 2019. Mercury Exposure and Poor Nutritional Status Reduce Response to Six Expanded Program on Immunization Vaccines in Children: An Observational Cohort Study of Communities Affected by Gold Mining in the Peruvian Amazon. **Int J Environ Res Public Health**, Feb 21;16(4):638. doi: 10.3390/ijerph16040638.

## APÊNDICES

### Apêndice A - Termo de consentimento livre e esclarecido

**Título do Projeto:** Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico do Mercúrio (Hg) e de Riscos à Saúde Humana.

**Coordenadores :** Prof. Dr. Ademir dos Santos, Coordenador Geral  
Prof. Dr. Carlos J.S. Passos, Coordenador de Saúde Humana

**Endereço dos pesquisadores responsáveis**

Faculdade UnB Planaltina  
Universidade de Brasília  
Área Univer. 1, Vila N. Sra. de Fátima  
73.300-0000, Planaltina - DF  
Fones: 0xx61.3308.5185 / 1390  
Fax: 0xx61.3389.2601 / 3466  
Email: [cjpassos@unb.br](mailto:cjpassos@unb.br)  
Voluntário N°: \_\_\_\_\_

**Centro de Informações de Mutum**

Rua da Pista, 159  
Tel: (69) 3237-3067  
**Ligação Gratuita: 0800 647 7747**

**Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**

Você está sendo convidado(a) a participar de um programa ambiental de monitoramento biológico, cujos detalhes são os seguintes:

1. A exposição (contato) de populações ribeirinhas ao mercúrio (Hg) na região amazônica, principalmente vinda do consumo de peixes, já é conhecida há muitos anos. Além do Hg utilizado nos garimpos de ouro e/ou presentes naturalmente nos solos da Amazônia, esta substância pode também se encontrar no meio ambiente de usinas hidrelétricas após o enchimento dos reservatórios. Assim, neste programa de monitoramento nós pretendemos avaliar a quantidade de Hg em diversas partes do ambiente da região da usina hidrelétrica, e também em amostras de cabelo da população local a fim de assegurarmos-nos que não haverá problemas de saúde humana devido à exposição ao Hg.
2. Este programa envolve profissionais da empresa VENTURO CONSULTORIA AMBIENTAL, visando a condução do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico do Aproveitamento Hidrelétrico Jirau, sob coordenação geral do Prof. Dr. Ademir dos Santos, Universidade do Estado de São Paulo - UNESP.
3. Sua participação no programa se dará da seguinte maneira:

Será coletada amostra de leite pela própria em frascos de vidro fornecidos pelo pesquisador, sendo eu a voluntária será previamente instruída sobre como higienizar a mama antes da coleta. As amostras serão armazenadas em freezer doméstico em sua residência até a data do recolhimento pelo pesquisador que as transferirá para o Laboratório de análises, onde permaneceram congeladas a -25°C até a análise.

Também pedimos que você responda um questionário que abrange questões sobre: perfil sócio-demográfico, história médica ambiental e ocupacional, morbidade referida, fatores de risco de adoecimento, além de hábitos sociais, culturais e alimentares.

Por fim, solicitamos que você se submeta a uma consulta com o profissional médico integrante de nossa equipe a fim de que este possa avaliar seu estado geral de saúde, particularmente em relação à exposição ao Hg.

4. As medidas dos níveis de concentração de elementos traço e mercúrio serão realizadas pela Venturo Consultoria Ambiental, em parceria com o Instituto de Química de Araraquara, Universidade do Estado de São Paulo - UNESP, coordenado pelo Prof. Dr. Julio Cesar Rocha.
5. Os benefícios de sua participação neste programa serão a obtenção de informações sobre a quantidade de substâncias químicas (metais) presentes no seu corpo, o acesso a um profissional médico que lhe instruirá sobre os resultados dos exames e avaliará seu estado geral de saúde com os devidos encaminhamentos, além de orientações gerais de outros profissionais da equipe quanto à problemática geral da presença de Hg no meio ambiente.

6. Assumimos que você compreende que os dados obtidos neste programa podem ser publicados, à condição que seu nome ou identificação não sejam revelados. Para manter a confidencialidade de seus registros, nossa equipe manterá sua identidade em forma de número e seus dados serão guardados dentro de envelopes, aos quais somente membros da coordenação terão acesso.
7. Nossa equipe não provê qualquer remuneração por sua participação voluntária no programa. Quaisquer dúvidas que você tiver em relação ao programa ou à sua participação, antes ou depois do seu consentimento, serão respondidas pela empresa Venturo Consultoria Ambiental.

### **CONSENTIMENTO**

Eu li as informações acima, recebi as explicações sobre a natureza, demanda, riscos e benefícios do programa. Assumo conscientemente os riscos envolvidos e compreendo que posso retirar meu consentimento e interromper minha participação a qualquer momento, sem penalidade ou perda de benefício.

Eu, \_\_\_\_\_, ao assinar o presente termo, estarei consentindo à utilização da amostra de cabelo para a análise de elementos traço (metais) e em específico mercúrio, cujas informações sejam, confidencialmente, utilizadas para fins do programa de monitoramento biológico que me foi apresentado.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do (a) voluntário (a)

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

## Apêndice B – Inquéritos

### Questionário Estruturado para Coleta de Dados Humanos na Região de Abrangência do UHE-Jirau, Bacia do Rio Madeira – Rondônia

Data de Nascimento: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_

- 1) **Sexo:**  
 Masculino  Feminino
- 2) **Altura:** \_\_\_\_\_ **Peso:** \_\_\_\_\_
- 3) **Grau de instrução:**  
**Até que série você estudou?** \_\_\_\_\_  
 Analfabeto  Fundamental incompleto  Fundamental completo  
 2º grau incompleto  2º grau completo  Superior incompleto  
 Superior completo
- 4) **Onde mora:** \_\_\_\_\_
- 5) **Tempo de residência** (marque apenas uma opção):  
**Faz quantos anos que você mora nesse local?** \_\_\_\_\_  
 De 1 a 5 anos  De 5 a 10 anos  Mais de 10 anos
- 6) **Já morou em outro lugar nos últimos 10 anos?**  Sim  Não  
**Onde?** \_\_\_\_\_ **Por** \_\_\_\_\_ **quanto**  
**tempo?** \_\_\_\_\_
- 7) **Já teve Malária?**  
 Sim  Não **Quantas?** \_\_\_\_\_
- 8) **Trabalha?**  Sim  Não  
**Cargo/Função?** \_\_\_\_\_
- 9) **Tempo de serviço** (marque apenas uma opção):  
**Há quanto tempo você trabalha neste cargo/função:** \_\_\_\_\_  
 Menos de 1 ano  De 1 a 5 anos  De 6 de 15 anos  Mais de 16 anos
- 10) **Já trabalhou no garimpo de ouro?**  
 Sim  Não
- 11) **Tempo de serviço no garimpo de ouro** (Caso a resposta da 10 seja afirmativa)  
 Menos de 1 ano  De 1 a 5 anos  De 6 de 15 anos  Mais de 16 anos
- 12) **Aspectos Cognitivos**  
**Em relação à memória você observa se ocorrem esquecimentos frequentes no seu dia-a-dia?**  
 Sim  Não
- Apresenta dificuldade para se concentrar ou prestar atenção em conversas, TV, rádio, explicações de professores ou outras pessoas?**  
 Sim  Não
- Apresenta dificuldade em compreender o que lê?**  
 Sim  Não

**Apresenta dificuldade para escrever, copiar, redigir ou produzir textos?**

- Sim       Não

**Apresenta dificuldade em realizar operações matemáticas envolvendo as quatro operações?**

- Sim       Não

**13) Você fuma?**

- Sim       Não

**Quantos cigarros por dia? \_\_\_\_\_**

**Fuma há quanto tempo? \_\_\_\_\_**

**14) Já fumou? (Caso a resposta da 13 seja negativa)**

- Sim       Não

**Fumou por quanto tempo? \_\_\_\_\_**

**15) Você consome bebida alcoólica?**

- Sim       Não

**16) Com qual frequência consome bebida alcoólica? (Caso a resposta da 16 seja afirmativa)**

- Diariamente    2 vezes/ semana    3 vezes/semana    final de semana  
 Datas comemorativas

**17) Você achou estas perguntas difíceis ou alguma delas te deixou constrangido?**

- Sim       Não

**Qual o número da pergunta? \_\_\_\_\_**



Carne de frango								
Ovos de galinha								
Miúdos de frango								
Carne de porco								
Miúdos de porco								
Carne de caça								
Jabuti								
Jacaré								
Paca								
Porco do mato								
Tatu								
Veado								
Outros, Qual (is)?								

## ANEXO

## Anexo A – Aprovação do projeto no comitê de ética em pesquisa em seres humanos.



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE MEDICINA  
Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos

## ANÁLISE DE PROJETO DE PESQUISA

**Registro de Projeto:** CEP-FM 038/2010.

**Título:** “Aproveitamento hidrelétrico Jirau (AHE Jirau, estado de Rondônia): programa de monitoramento hidrobiogeoquímico do mercúrio e de riscos à saúde humana”.

**Pesquisador Responsável:** Carlos José Sousa Passos.

**Documentos analisados:** Folha de rosto, carta de encaminhamento, declaração de responsabilidade, protocolo de pesquisa, termo de consentimento livre e esclarecido, cronograma, bibliografia pertinente e currículo (s) de pesquisador (es).

**Data de entrega:** 30/04/2010.

Parecer do (a) relator (a)

**Aprovação**

**Não aprovação.**

**Data da primeira análise pelo CEP-FM/UNB:** 09/06/2010.

**Data do parecer final do projeto pelo CEP-FM/UNB:** 02/08/2010.

## PARECER

Com base na Resolução CNS/MS nº 196/96 e resoluções posteriores, que regulamentam a matéria, o Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade de Brasília decidiu **APROVAR** “*ad referendum*”, conforme parecer do (a) relator (a), o projeto de pesquisa acima especificado quanto aos seus aspectos éticos.

1. Modificações no protocolo devem ser submetidas ao CEP, assim como a notificação imediata de eventos adversos graves;
2. O (s) pesquisador (es) deve (m) apresentar relatórios periódicos do andamento da pesquisa ao CEP-FM, sendo o 1º previsto para até 10 de fevereiro de 2011.

Brasília, 06 de Agosto de 2010

*Prof. Elaine Maria de Oliveira Alves*  
Coordenadora do Comitê de Ética em Pesquisa  
Faculdade de Medicina-UnB