

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

Clarisse Vasconcellos Serra

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, UnB, Brasil.
clarissevs@hotmail.com

Tania Machado Silva

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, UnB, Brasil.
taniamachado91@gmail.com

José Vicente Elias Bernardi

Professor Doutor, Laboratório de Geoestatística e Geodésia, UnB, Brasil.
bernardi@unb.br

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 (FARRINA *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 *et al.*, 2003). Profissionais diretamente expostos ao Hg possuem déficits cognitivos e perdas na atividade autonômica simpática (MILIONI *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 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) dos grupos heterogêneos da população influenciados pela expansão do setor hidrelétrico na região do alto rio Madeira nas dinâmicas de exposição humana ao mercúrio. Dessa forma, sendo fundamental para a estruturação de políticas de saúde comunitária nos contextos sociais, sanitários e ambientais.

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.

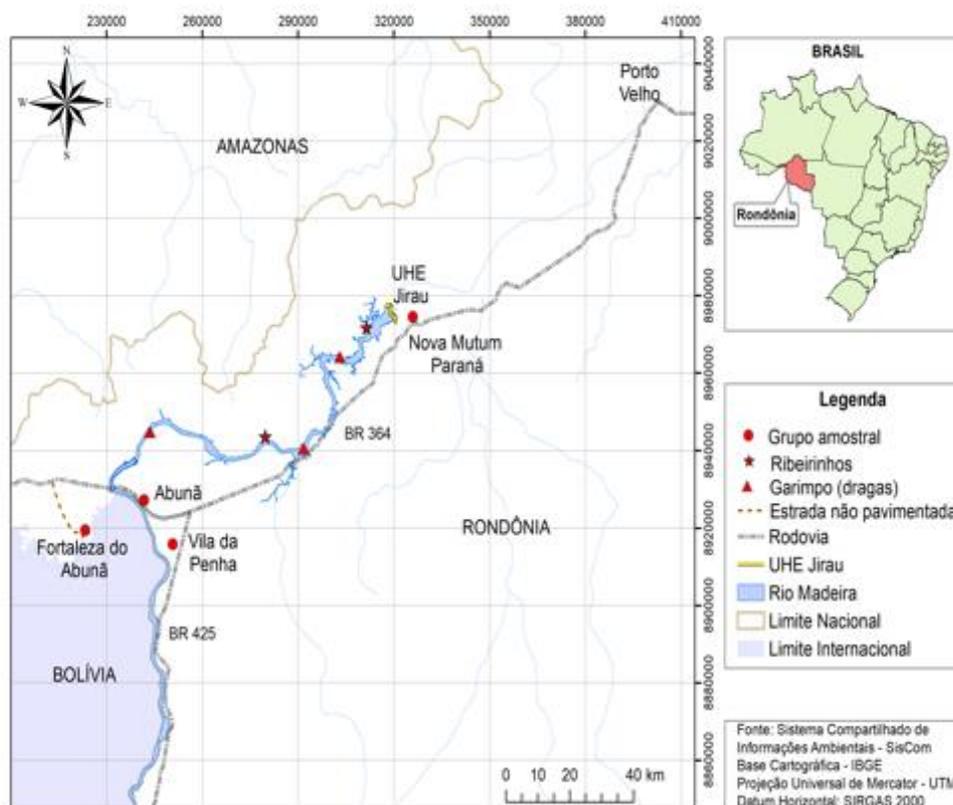
2.2 ÁREA DE ESTUDO E POPULAÇÃO

Este estudo epidemiológico multifásico 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. A área inundada varia ao longo do ano, a depender dos ciclos hidrológicos da região, entre 21,0 km² e 207,7 km², e a área do reservatório é cerca de 361,6 km².

O trabalho consistiu na combinação de uma longa série de amostragens transversais (semestrais) no período de 2010 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 evidencia-se 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°46'25.1"S; 65°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°41'38.1"S; 65°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°44'06.5"S; 65°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°15'55.7"S; 64°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°16'16.0"S; 64°38'22.7"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°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 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. 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 (auto referida 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. 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). Neste trabalho foi aplicada a amostragem de conveniência, a qual têm se mostrado apropriada para representar populações de base em outros estudos e contextos na região Amazônica (PASSOS *et al.*, 2007, PASSOS *et al.*, 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 armazenados 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, 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. 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. 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 compreende 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 nas comunidades 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 menor 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%).

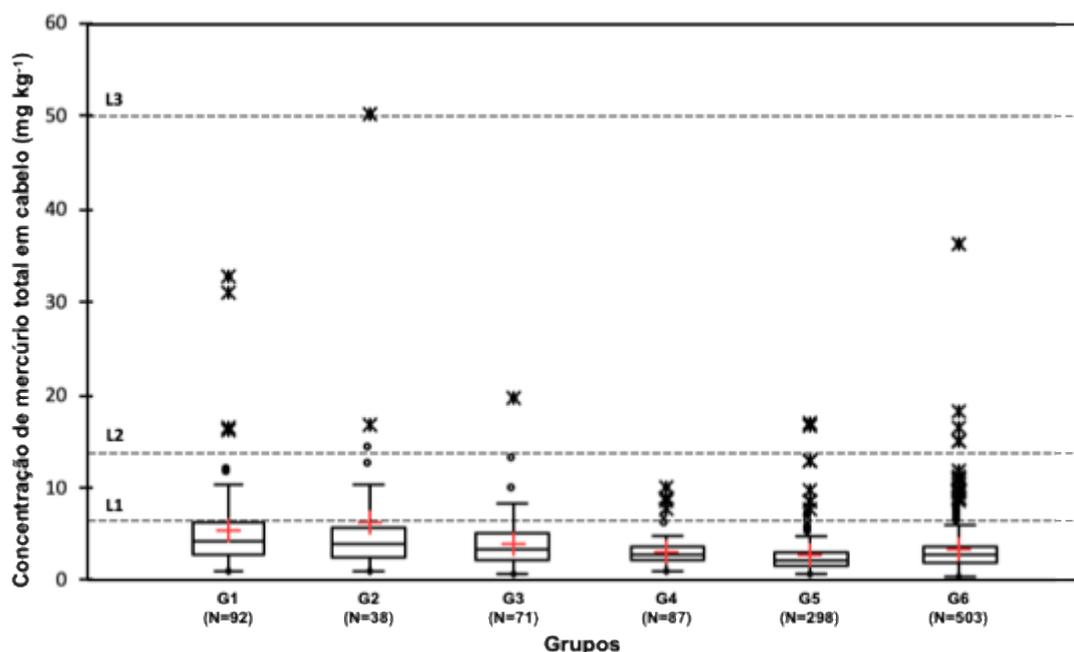
Tabela 1 – Concentração média, mediana de HgT ($\mu\text{g g}^{-1}$) em amostras de cabelo dos voluntários participantes desse estudo, distribuídos por sexo e localidade.

Grupo	Sexo	Idade (anos)		HgT ($\mu\text{g g}^{-1}$)		
		Faixa etária	M \pm D	Faixa HgT	M \pm D	Med.
Garimpo (G1)	Feminino (N 17)	27 a 62	43,8 \pm 9,6	1,76 a 10,28	4,84 \pm 2,49	4,15
	Masculino (N 75)	16 a 87	41,5 \pm 12,4	1,06 a 32,74	5,62 \pm 5,37	4,04
Ribeirinho (G2)	Feminino (N 20)	19 a 70	44,0 \pm 13,4	1,21 a 12,40	4,11 \pm 2,91	3,11
	Masculino (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)	Feminino (N 30)	17 a 59	37,4 \pm 12,1	0,56 a 6,23	2,79 \pm 1,45	2,76
	Masculino (N 41)	16 a 73	41,6 \pm 15,5	1,15 a 19,46	4,87 \pm 3,39	3,87
Abunã (G4)	Feminino (N 60)	17 a 60	35,9 \pm 11,0	1,11 a 10,13	2,90 \pm 1,30	2,71
	Masculino (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)	Feminino (N 156)	16 a 65	28,6 \pm 12,1	0,59 a 12,84	2,43 \pm 1,51	2,10
	Masculino (N 142)	16 a 75	28,5 \pm 14,4	0,68 a 17,01	2,82 \pm 2,33	2,37
Usina (G6)	Feminino (N 160)	16 a 74	31,6 \pm 9,2	0,52 a 15,05	2,81 \pm 1,76	2,58
	Masculino (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 – $6 \mu\text{g kg}^{-1}$ (associado a um decréscimo de 3 pontos no QI (KJELLSTROM *et al.*, 1986, KJELLSTROM *et al.*, 1989); L2 - $14 \mu\text{g kg}^{-1}$

(preconizado pela OMS (WHO/FAO, 2002); L3 – 50 $\mu\text{g kg}^{-1}$ (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

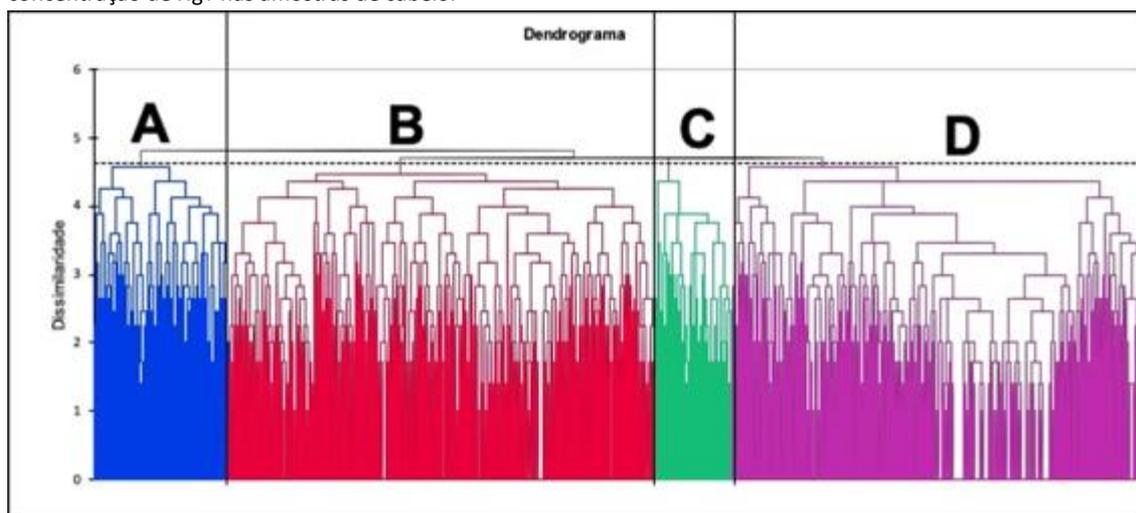
A análise mostra a complexidade dos agrupamentos das funções cognitivas e sociodemográficas na dinâmica social de exposição, sendo possível inferir a organização dos grupos em G1 > G2 >> G3 e G4 > G5 e G6. Os grupos G1 e G2 possuem em maior grau o estilo de vida diretamente relacionado e dependente do 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).

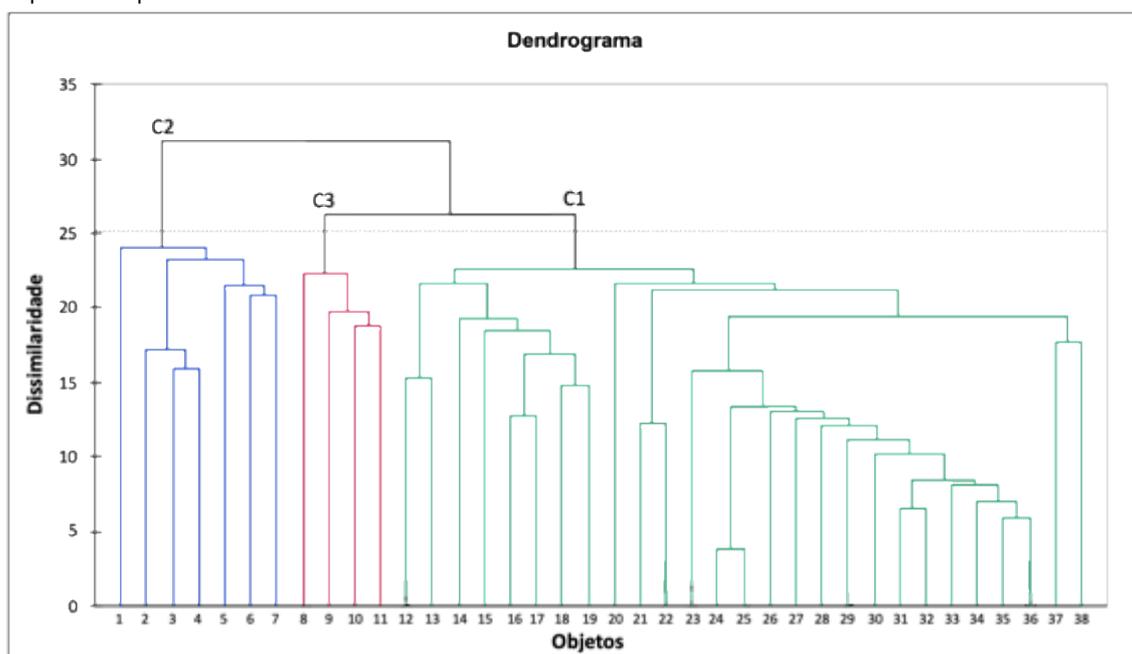
A organização dos participantes em função dos perfis cognitivos e sociodemográficos mostra a relevante contribuição das dinâmicas sociais individualizadas na exposição ao Hg na região da bacia do rio Madeira. Entretanto, não houve uma correlação significativa com o HgT, possivelmente devido a baixa concentração 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 sociodemográficos influenciam nas dinâmicas sociais e consequentemente na exposição ao Hg, inferindo a diferenciações dos grupos G1 e G2 >> 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 (ARRIAFNO *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 têm menores concentrações de Hg em relação àquelas que possuem apenas o acesso por canoa (CASTOLDI & COCCINI, 2003). Os hábitos de consumo de peixe estão diretamente correlacionados às concentrações de HgT na população (MONRROY *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/FAO, 2002). Com base em grandes estudos longitudinais e internacionais a WHO/FAO, em 2003 estimou o valor de 14 µg 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). A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA) indica a dose de referência (RfD) para metilmercúrio de 0,1 µg/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 (FIEDLER *et al.*, 2015, HAN *et al.*, 2011, RANER *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 está associada as 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 sociodemográficos inferem comportamentos sociais individualizados dentro das comunidades, podendo influenciar no processo de exposição ao HgT. A compreensão do risco de exposição ambiental e ocupacional na região amazônica requer maior entendimento das interfaces com as funções cognitivas e sociodemográficos. A contínua exposição humana, mesmo em baixa concentração nessas localidades deve ser avaliada no âmbito de saúde comunitária.

6 REFERÊNCIAS

Arrifano GPF, Martín-Doimeadios RCR, Jiménez-Moreno M, Ramírez-Mateos V, da Silva NFS, Souza-Monteiro JR, Augusto-Oliveira M, Paraense RSO, Macchi BM, do Nascimento JLM, Crespo-Lopez ME. **Large-scale projects in the amazon and human exposure to mercury: The case-study of the Tucuruí Dam.** *Ecotoxicol Environ Saf.* 2018 Jan;147:299-305.

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

Azevedo-Silva CE, Almeida R, Carvalho DP, et al. **Mercury biomagnification and the trophic structure of the ichthyofauna from a remote lake in the Brazilian Amazon.** *Environmental Research.* 2016 Nov;151:286-296.

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

Bastos WR, Dórea JG, Bernardi JV, Lauthartte LC, Mussy MH, Lacerda LD, Malm O. **Mercury in fish of the Madeira river (temporal and spatial assessment), Brazilian Amazon.** *Environ Res.* 2015 Jul;140:191-7.

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., Aparecida da S. Oliveira, I., da S. Cabral, C., Manzatto, A.G., Carvalho, D.P., Ribeiro, K.A.N., Malm, O., **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.* 2020 Oct; (189):109896.

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

Castoldi AF, Coccini T, Manzo L. **Neurotoxic and molecular effects of methylmercury in humans.** Rev Environ Health. 2003 Jan-Mar;18(1):19-31.

Cerbino MR, Vieira JCS, Braga CP, Oliveira G, Padilha IF, Silva TM, Zara LF, Silva NJ Jr, Padilha PM. **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. 2018 Feb;181(2):216-226.

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

Cordeiro Q Jr, de Araújo Medrado Faria M, Fráguas R Jr. **Depression, insomnia, and memory loss in a patient with chronic intoxication by inorganic mercury.** J Neuropsychiatry Clin Neurosci. 2003 Fall;15(4):457-8.

Da Silva-Junior FMR, Oleinski RM, Azevedo AES, Monroe KCMC, Dos Santos M, Da Silveira TB, De Oliveira AMN, Soares MCF, Pereira TDS. **Vulnerability associated with "symptoms similar to those of mercury poisoning" in communities from Xingu River, Amazon basin.** Environ Geochem Health. 2018 Jun;40(3):1145-1154.

dos Santos FA, Cavecci B, Vieira JC, Franzini VP, Santos A, de Lima Leite A, Buzalaf MA, Zara LF, de Magalhães Padilha P. **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. 2015 Aug;69(2):223-9.

Eagles-Smith CA, Silbergeld EK, Basu N, Bustamante P, Diaz-Barriga F, Hopkins WA, Kidd KA, Nyland JF. **Modulators of mercury risk to wildlife and humans in the context of rapid global change.** Ambio. 2018 Mar;47(2):170-197.

Ellingsen DG, Bast-Pettersen R, Efskind J, Thomassen Y. **Neuropsychological effects of low mercury vapor exposure in chloralkali workers.** Neurotoxicology. 2001 Apr;22(2):249-58.

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.

Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants: Sixty-eighth Report of the Joint FAO/Who Expert Committee on Food Additives (Geneva from 19 to 28 June 2007); WHO: Geneva, Switzerland, 2007; Vol. 947.

Farina M, Aschner M, Rocha JB. **Oxidative stress in MeHg-induced neurotoxicity.** Toxicol Appl Pharmacol. 2011 Nov 1;256(3):405-17.

Fearnside PM. **Impacts of Brazil's Madeira river dams: unlearned lessons for hydroelectric development in Amazonia.** Environmental Science & Policy. 2014 Apr;(38):164-172.

Fearnside PM. **Environmental and social impacts of hydroelectric dams in Brazilian Amazonia: implications for the aluminum industry.** World Development. 2016 Jan;77:48-65.

Fiedler N, Rohitrattana J, Siri Wong W, Suttiwan P, Ohman Strickland P, Ryan PB, Rohlman DS, Panuwet P, Barr DB, Robson MG. **Neurobehavioral effects of exposure to organophosphates and pyrethroid pesticides among Thai children.** Neurotoxicology. 2015 May;48:90-9.

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

Guida YS, Lino AS, Nepomuceno RCG, Meire, R.O.; Torres JPM, Malm O. **Amazon Riparian People's Exposure to Legacy Organochlorine Pesticides and Methylmercury from Catfish (*Ageneiosus brevifilis*) Intake.** Orbital the Electronic Journal of Chemistry. 2018 Jun; 10(4): 320-326.

Hacon SS, Dórea JG, Fonseca Mde F, Oliveira BA, Mourão DS, Ruiz CM, Gonçalves RA, Mariani CF, Bastos WR. **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. 2014 Feb 26;11(3):2437-55.

Han DY, Hoelzle JB, Dennis BC, Hoffmann M. **A brief review of cognitive assessment in neurotoxicology.** Neurol Clin. 2011 Aug;29(3):581-90.

Joint WHO/FAO Expert Consultation on Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases: 2002 [Internet]. World Health Organization technical report series: 916. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ac911e/ac911e.pdf>.

Khoury ED, Souza Gda S, Silveira LC, Costa CA, Araújo AA, Pinheiro Mda C. **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. 2013 Nov;29(11):2307-18.

Kjellstrom TS, Kennedy P, Wallis S, Mantell C. **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.1986.

Kjellstrom T, Kennedy P, Wallis S, Stewart A, Friberg L, Lind B, Wutherspoon T, Mantell C. **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.1989.

Langeland, A.L., Hardin, R.D., Neitzel, R.L. **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.2017 mar 14; 14(3): 302.

Lima, ERZ, Colon JC, Souza MT. **Alterações auditivas em trabalhadores expostos a mercúrio.** Revista CEFAC. 2009 Mar;11(1): 62-67.

Lino AS, Kasper D, Guida YS, Thomaz JR, Malm O. **Mercury and selenium in fishes from the Tapajós River in the Brazilian Amazon: An evaluation of human exposure.** J Trace Elem Med Biol. 2018 Jul;48:196-201.

Liu J, Lewis G. **Environmental toxicity and poor cognitive outcomes in children and adults.** J Environ Health. 2014 Jan-Feb;76(6):130-8.

Loureiro EC, Mascarenhas AF, Fayal KF, Sá Filho GC, Sagica FE, Lima MO, Higuchi H, Silveira IM. **A contribution to the establishment of reference values for total mercury levels in hair and fish in amazonia.** Environ Res. 2002 Sep;90(1):6-11.

Malm O, Branches FJ, Akagi H, Castro MB, Pfeiffer WC, Harada M, Bastos WR, Kato H. **Mercury and methylmercury in fish and human hair from the Tapajós river basin, Brazil.** Sci Total Environ. 1995 Dec 11;175(2):141-50.

Marques RC, Abreu L, Bernardi JV, Dórea JG. **Traditional living in the Amazon: Extended breastfeeding, fish consumption, mercury exposure and neurodevelopment.** Ann Hum Biol. 2016 Jul;43(4):360-70.

Masley SC, Masley LV, Gualtieri CT. **Effect of Mercury Levels and Seafood Intake on Cognitive Function in Middle-aged Adults.** Integrative Medicine. 2012 Jun/Jul;11(3):32-40.

Milioni ALV, Nagy BV, Moura ALA, Zachi EC, Barboni MTS, Ventura DF. **Neurotoxic impact of mercury on the central nervous system evaluated by neuropsychological tests and on the autonomic nervous system evaluated by dynamic pupillometry.** Neurotoxicology. 2017 Mar;59:263-269.

Miserendino RA, Guimarães JRD, Schudel G, Ghosh S, Godoy JM, Silbergeld EK, Lees PSJ, Bergquist BA. **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. 2018 Sep;2(5):441-450.

Monrroy SX, Lopez RW, Roulet M, Benefice E. **Lifestyle and mercury contamination of Amerindian populations along the Beni river (lowland Bolivia).** J Environ Health. 2008 Nov;71(4):44-50.

Obrist D, Kirk JL, Zhang L, Sunderland EM, Jiskra M, Selin NE. **A review of global environmental mercury processes in response to human and natural perturbations: Changes of emissions, climate, and land use.** *Ambio*. 2018 Mar;47(2):116-140.

Okpala COR, Sardo G, Vitale S, Bono G, Arukwe A. **Hazardous properties and toxicological update of mercury: From fish food to human health safety perspective.** *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2018;58(12):1986-2001

Olivero-Verbel J, Carranza-Lopez L, Caballero-Gallardo K, Ripoll-Arboleda A, Muñoz-Sosa D. **Human exposure and risk assessment associated with mercury pollution in the Caqueta River, Colombian Amazon.** *Environ Sci Pollut Res Int*. 2016 Oct;23(20):20761-20771.

Passos CJ, Mergler D, Fillion M, Lemire M, Mertens F, Guimarães JR, Philibert A. **Epidemiologic confirmation that fruit consumption influences mercury exposure in riparian communities in the Brazilian Amazon.** *Environ Res*. 2007 Oct;105(2):183-93.

Passos CJ, Mergler D. **Human mercury exposure and adverse health effects in the Amazon: a review.** *Cad Saude Publica*. 2008;24 Suppl 4:s503-20.

Pinheiro MC, Macchi BM, Vieira JL, Oikawa T, Amoras WW, Guimarães GA, Costa CA, Crespo-López ME, Herculano AM, Silveira LC, do Nascimento JL. **Mercury exposure and antioxidant defenses in women: a comparative study in the Amazon.** *Environ Res*. 2008 May;107(1):53-9.

Ratner MH, Feldman RG, White RF. **Neurobehavioral Toxicology.** In: Ramachandran VS, editors. *Encyclopedia of the human brain*, vol 3. New York: ed. Elsevier Science; 2002. p. 423–39.27.

Rohling ML, Demakis GJ. **A meta-analysis of the neuropsychological effects of occupational exposure to mercury.** *Clin Neuropsychol*. 2006 Feb;20(1):108-32.

Sampaio da Silva D, Lucotte M, Paquet S, Davidson R. **Influence of ecological factors and of land use on mercury levels in fish in the Tapajós River basin, Amazon.** *Environ Res*. 2009 May;109(4):432-46.

Shim YK, Lewin MD, Ruiz P, Eichner JE, Mumtaz MM. **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*. 2017;80(9):502-512.

Soares M, Sarkis JE, Müller RC, Brabo E, Santos E. **Correlation between mercury and selenium concentrations in Indian hair from Rondônia State, Amazon region, Brazil.** *Sci Total Environ*. 2002 Mar 15;287(1-2):155-61.

Wyatt L, Permar SR, Ortiz E, Berky A, Woods CW, Amouou GF, Itell H, Hsu-Kim H, Pan W. **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*. 2019 Feb 21;16(4):638.