



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE UNB PLANALTINA – FUP**  
**Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos**  
**Hídricos – ProfÁgua**

**ANDRÉ BRUNCKHORST**

**RELAÇÃO ENTRE AS ATIVIDADES DE MINERAÇÃO E A SAÚDE DE RECÉM-  
NASCIDOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAPAJÓS**

**BRASÍLIA-DF**

**2022**

**ANDRÉ BRUNCKHORST**

**RELAÇÃO ENTRE AS ATIVIDADES DE MINERAÇÃO E A SAÚDE DE RE-  
CÉM-NASCIDOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAPAJÓS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – Pro-Água, por meio da Universidade de Brasília (Faculdade UnB Planaltina), como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Orientador: Dr. Weeberb João Réquia Júnior

**BRASÍLIA-DF**

**2022**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

BB894r Brunckhorst, André  
RELAÇÃO ENTRE AS ATIVIDADES DE MINERAÇÃO E A SAÚDE DE RE  
CÉM-NASCIDOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAPAJÓS / André  
Brunckhorst; orientador Weeberb João Réquia Júnior. --  
Brasília, 2022.  
81 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado Profissional em Rede  
Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) --  
Universidade de Brasília, 2022.

1. Mineração. 2. Amazônia. 3. Poluição Ambiental. 4.  
Recursos Hídricos. 5. Exposição Materna. I. Réquia Júnior,  
Weeberb João , orient. II. Título.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

André Brunckhorst

**ANDRÉ BRUNCKHORST**

**RELAÇÃO ENTRE AS ATIVIDADES DE MINERAÇÃO E A SAÚDE DE RECÉM-NASCIDOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAPAJÓS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, por meio da Universidade de Brasília (Faculdade UnB Planaltina), como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos

Aprovado em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_.

**Banca Examinadora**

---

Dr. Weeberb João Réquia Júnior  
Orientador

---

Dr. Carlos José Sousa Passos  
Examinador interno

---

Dr. José Reinaldo Pacheco Peleja  
Examinador externo

---

Dra. Lucijane Monteiro de Abreu  
Suplente

**BRASÍLIA-DF**

**2022**

Dedico este trabalho aos que protegem a água, a terra e a floresta.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, aos meus pais e aos meus avós pela vida.

À Cynthia, minha companheira, e minhas filhas Clara Açucena, Luna e Tainá, pelo amor e a graça de estarmos juntos nesta vida.

Ao meu amigo Ivan Bispo, pelo exemplo e incentivo na realização deste trabalho.

Ao meu orientador Dr. Webber, pela paciência e boa vontade, quem, ciente do seu lugar de professor, muito me ensinou.

## RESUMO

Segurança hídrica se refere à disponibilidade de água de qualidade e em quantidade suficiente para atender as necessidades humanas, econômicas e de manutenção dos ecossistemas aquáticos, além da gestão de riscos relativos a extremos climáticos e ao mal-uso antrópico dos recursos hídricos. Este estudo buscou verificar os riscos decorrentes da mineração na bacia do Rio Tapajós para a saúde de recém-nascidos no período de 1997 a 2017, quanto à prematuridade, ao baixo peso e a má-formações congênitas. Para isso utilizaram-se duas bases espaço-temporais de mineração, a primeira, resultante do geoprocessamento de imagens orbitais e a segunda, do projeto MapBiomias. Os dados de recém-nascidos foram obtidos do Sistema de Informações de Nascidos Vivos (SINASC), disponibilizados pelo Ministério da Saúde. A integração destas bases avaliou quatro condições espaciais de exposição do recém-nascido à mineração. As três primeiras consideram as áreas de mineração existentes no perímetro municipal de residência materna, mais as áreas de mineração localizadas a montante dos cursos hídricos e contidas em circunferências centradas na sede municipal, com raios de 50, 150 e 300 km. A quarta condição de exposição estima a área de mineração inserida no perímetro municipal, mais todas as áreas de mineração localizadas a montante dos cursos hídricos que transcorrem no município. Na análise estatística dos dados, aplicou-se o modelo de regressão logística. Para a primeira e quarta condição de exposição da base 1 foram obtidos os coeficientes de 0,96% (IC 95%: 0,12; 1,81) e 2,41% (IC 95%: 1,88; 2,94), que indicam o aumento percentual no risco de prematuridade para cada 1.000 hectares de exposição. Para a base 2 (MapBiomias), os resultados mostram aumentos de 0,77% (IC 95%: 0,08; 1,46) e 0,34% (IC 95%: 0,15; 0,54) no risco de nascidos com baixo peso na terceira e quarta condição de exposição. Quanto ao risco de malformação congênita, os resultados enunciam aumentos de 12,13% (IC 95%: 0,43; 25,19) e 6,67% (IC 95%: 0,72; 12,96) associados à mineração na segunda e terceira condição de exposição, com significância somente para base 1. Por fim, o estudo verificou associação positiva entre a exposição à mineração e o risco à saúde de recém-nascidos, evidenciando importante conflito entre usuários de água na bacia hidrográfica do Tapajós, a ser minimizado por meio da implementação dos instrumentos de gestão e controle previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).

**Palavras-chave:** Mineração; Amazônia; Poluição Ambiental; Recursos Hídricos; Exposição Materna.

## ABSTRACT

Water security refers to the availability of quality water in sufficient quantity to meet human, economic and maintenance needs for aquatic ecosystems, in addition to managing risks related to climatic extremes and human misuse of water resources. This study sought to verify the risks arising from mining in the Tapajós River basin for the health of newborns from 1997 to 2017, regarding prematurity, low birth weight and congenital malformations. For this, two spatio-temporal mining bases were used, the first, resulting from the geoprocessing of orbital images and the second, from the MapBiomass project. Newborn data were obtained from the Live Birth Information System (SINASC), made available by the Ministry of Health. The integration of these bases evaluated four spatial conditions of newborn exposure to mining. The first three consider the mining areas existing in the municipal perimeter of the mother's residence, plus the mining areas located upstream of the water courses and contained in circles centered on the municipal seat, with radii of 50, 150 and 300 km. The fourth exposure condition estimates the mining area within the municipal perimeter, plus all the mining areas located upstream of the water courses that run through the municipality. In the statistical analysis of the data, the logistic regression model was applied. For the first and fourth exposure conditions of base 1, coefficients of 0.96% (95% CI: 0.12; 1.81) and 2.41% (95% CI: 1.88; 2.94), which indicate the percentage increase in the risk of prematurity for every 1,000 hectares of exposure. For base 2 (MapBiomass), the results show increases of 0.77% (95% CI: 0.08; 1.46) and 0.34% (95% CI: 0.15; 0.54) in risk of low birth weight in the third and fourth exposure conditions. As for the risk of congenital malformation, the results show increases of 12.13% (95% CI: 0.43; 25.19) and 6.67% (95% CI: 0.72; 12.96) associated with mining in the second and third exposure conditions, with significance only for base 1. Finally, the study found a positive association between exposure to mining and the risk to the health of newborns, evidencing an important conflict between water users in the region. Tapajós watershed, to be minimized through the implementation of management and control instruments provided for in the National Water Resources Policy (PNRH).

**Keywords:** Mining; Amazon; Environment pollution; Water resources; Maternal exposure.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós .....	31
Figura 2 - Uso e ocupação do solo na BH Tapajós em 2017.....	32
Figura 3 - Minerações inativa e ativa na BH Tapajós .....	36
Figura 4 - Fluxo metodológico. ....	37
Figura 5 - Condições de exposição à mineração, atribuídas ao município de Jacareacanga/PA .....	40
Figura 6 - Períodos gestacionais com destaque para os três primeiros meses. ....	41
Figura 7 - Distribuição espacial da mineração na BH Tapajós (2017).....	44
Figura 8 - Evolução da área de mineração na BH Tapajós no período de 1997 – 2017 para as bases 1 e 2, e quantitativos de nascidos com prematuridade, baixo-peso e malformação congênita. ....	45
Figura 9 - Variação percentual no risco (IC 95%) de prematuridade, baixo peso e malformação congênita, associado à mineração nas condições de exposição A, B, C e D, no período de 1997 – 2017 para a base 1 .....	50
Figura 10 - Aumento percentual no risco (IC 95%) de prematuridade, baixo peso e malformação congênita, associado à mineração nas condições de exposição A, B, C e D, no período de 1997 – 2017 para a base 2 .....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características dos nascidos com prematuridade, BH Tapajós, 1997 - 2017 .....	46
Tabela 2 - Características dos nascidos com baixo peso, BH Tapajós, 1997 – 2017	47
Tabela 3 - Características dos nascidos com malformação congênita, BH Tapajós, 1997 - 2017 .....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ahk Brasilien	Câmara de Comércio e Indústria
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANM	Agência Nacional de Mineração
BH	Bacia Hidrográfica
CBH	Comitês de Bacias Hidrográficas
CID	Classificação Internacional de Doenças
CL	Concessão de Lavra
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
CF/88	Constituição da República Federativa do Brasil de 1988
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
ELA	Esclerose lateral amiotrófica
FLONA	Floresta Nacional
HIDRO	Sistema de Informações Hidrológicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
IEC	Instituto Evandro Chagas
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISA	Instituto Socioambiental
MS	Ministério da Saúde
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Conferência das Nações Unidas
PGC	Programa Grande Carajás
PIB	Produto Interno Bruto
PLG	Permissão de Lavra Garimpeira
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
POLAMAZÔNIA	Polos Agropecuários e Agrominerais da Amazônia
Pró-Mape	Programa de Apoio ao Desenvolvimento da Mineração Artesanal e em Pequena Escala
SCP	Semi-Automatic Classification Plugin
SEIRH	Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos
SEMA	Secretaria Estadual de Meio Ambiente
SIG	Sistema de Informação Geográfica

SIH	Sistema de Informações Hidrológicas
SINASC	Sistema de Informações de Nascidos Vivos
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SIRH	Sistemas de Informações sobre Recursos Hídricos
SIS	Sistema de Informação de Saúde
SISAGUA	Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
SUS	Sistema Único de Saúde
SVS	Secretaria de Vigilância em Saúde
Vigiagua	Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
Vigipeq	Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Contaminantes Químicos

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.2. OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>16</b>
2.1 QUALIDADE DA ÁGUA	16
2.2 MINERAÇÃO NO BRASIL	21
2.2.1 Mineração na Amazônia	23
2.2.2 Garimpo	24
2.2.2.1 Mercúrio	26
2.3 SAÚDE AMBIENTAL	27
2.3.1 Exposição pré-natal ao mercúrio	29
<b>3 METODOLOGIA</b>	<b>30</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO – BACIA DO TAPAJÓS	30
3.1.1 Aspectos físicos e socioeconômicos	30
3.1.2 Aspectos epidemiológicos na BH Tapajós	33
3.1.3 Gestão Hídrica	34
3.2. DADOS	34
3.2.1 Dados de Saúde	34
3.2.2 Dados de Mineração	36
3.2.2.1 Base de Mineração 1	36
3.2.2.2 Base de Mineração 2	38
3.3 AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO DOS NASCIDOS À MINERAÇÃO	38
FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA	41
3.4 MODELAGEM ESTATÍSTICA	41
<b>4 RESULTADOS</b>	<b>44</b>
4.1 MINERAÇÃO	44
FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA	45
4.2 NASCIMENTOS	45
4.2.1 Nascimentos Prematuros	45
4.2.2 Baixo Peso	47
4.2.3 Más-formações Congênitas	48
4.3 DISCUSSÃO	50
<b>5 CONCLUSÕES</b>	<b>54</b>
<b>6 REFERÊNCIAS</b>	<b>56</b>
<b>7 APÊNDICES</b>	<b>72</b>
APÊNDICE 7.1	72
APÊNDICE 7.2	73
APÊNDICE 7.3	75
APÊNDICE 7.4	77
APÊNDICE 7.5	78
APÊNDICE 7.6	79

## 1 INTRODUÇÃO

Com aproximadamente 12% da água doce disponível no planeta, o Brasil dispõe de uma situação hídrica privilegiada. Contudo, o acesso à água potável é tido como mais impactante no bem-estar das pessoas, do que necessariamente o quantitativo hídrico (LIBÂNIO et al., 2005; GIATTI e CUTOLO, 2012). A abrangência dos serviços de abastecimento e de saneamento básico, que garantem a qualidade da água fornecida para a população brasileira, ainda é limitada e desigual entre as regiões do país (OPAS, 2019).

A Lei Federal nº 9.433/1997, conhecida por Lei das Águas (BRASIL, 1997), instituiu o regime jurídico dos recursos hídricos no Brasil e estabeleceu padrões de qualidade adequados aos usos múltiplos da água, tais como: a irrigação, a geração de energia hidrelétrica, o saneamento, o abastecimento urbano, a indústria e a mineração.

A atividade mineradora ocorre desde o período de colonização do Brasil e constitui, conjuntamente à agropecuária, uma das principais atividades econômicas do país (SOUTO MAIOR e TELLES DO VALE, 2013). Mesmo após séculos, ambas continuam a ser estratégicas para o desenvolvimento econômico, contribuindo com as principais pautas de exportação. Apesar de sua importância para a balança comercial brasileira e o Produto Interno Bruto (PIB), estas são atividades potencialmente concentradoras de renda (MONTEIRO, 2005; COELHO, 2012; CAVALCANTI e FERNANDES, 2012; RIBEIRO, 2016).

A mineração industrial amazônica é caracterizada por empreendimentos de elevados investimentos em infraestrutura, tecnologia e recursos humanos, tais como os complexos mineradores de Carajás (ferro), Tapajós (ouro), Pitinga (estanho) e Trombetas (bauxita) (VILLAS BÔAS e BARRETO, 2005). Enquanto isso, o garimpo, tido como a forma artesanal de mineração, dispõe de poucos recursos financeiros e técnicos, com baixa produtividade, e envolve numeroso contingente de trabalhadores sob precárias condições laborais, geralmente informal e sem controle estatal (ENRÍQUEZ, 2015).

Conflitos entre mineração e grupos sociais são frequentes na região amazônica, envolvendo ribeirinhos, indígenas, fazendeiros, trabalhadores rurais, políticos e

ambientalistas. Terras indígenas Yanomami no estado de Roraima, ocupadas ilegalmente pelo garimpo de ouro, tal como recorrentes vazamentos acidentais de dejetos da exploração industrial de bauxita em Barcarena, no Pará, são exemplos representativos de conflitos socioambientais recentes que envolvem a mineração amazônica (BARROS, 2009; ALEIXO, LIMA e AURELIANO, 2020; SANTOS, MATTIONI e FALCÃO, 2021).

A bacia do rio Tapajós, situada nos estados do Pará, Mato Grosso e Amazonas, é considerada a principal região aurífera da Amazônia, onde se estima já terem sido extraídas 750 toneladas de ouro (JULIANI et al., 2014). O garimpo é o modelo de mineração que prevalece na bacia, concentrando-se nos municípios paraenses de Jacareacanga e Itaituba (fig. 1). No estado do Mato Grosso, os garimpos estão majoritariamente localizados nos municípios de Peixoto de Azevedo, Matupá e Novo Mundo.

Os impactos ambientais do garimpo mostram-se consideráveis, sobretudo os relativos aos recursos hídricos, visto que as matas ciliares são suprimidas, o solo erodido, os rios assoreados e a qualidade da água comprometida (VEIGA et al. 2002). Além de sedimentos, há a poluição dos corpos d'água por mercúrio, um metal pesado bioacumulado ao longo da cadeia trófica e potencialmente tóxico quando absorvido pelos humanos, que afeta o sistema nervoso central, urinário e cardiovascular (BASTOS e LACERDA, 2004; FIOCRUZ, 2016).

O mercúrio é utilizado no garimpo durante o processo de amalgamação, que separa o ouro de impurezas, sendo posteriormente queimado e dispersado para o ambiente. Contudo, autores ressaltam que a principal fonte deste poluente nos corpos d'água é o próprio solo amazônico, que possui depósitos naturais de mercúrio, sendo translocado para os rios pela erosão do solo, estimulada pela conversão de florestas por cultivos agrícolas (ROULET et al., 1998; ROULET et al., 1999; FARELLA et al., 2001; ALMEIDA et al., 2005; TELMER et al., 2006).

Estudos têm verificado teores elevados de mercúrio em amostras de peixes, de cabelo e de sangue dos ribeirinhos e dos indígenas da região (BRABO et al., 1999; SANTOS et al., 2003; BASTOS e LACERDA, 2004; SILVA et al., 2006; PASSOS e MERGLER, 2008). Evidência sugestiva da doença de Minamata, que decorre da intoxicação grave por mercúrio, já foi observada na forma leve em residentes próximos às áreas de mineração da bacia (HARADA et al, 2001).

Pesquisadores do Instituto Evandro Chagas (IEC) verificaram associação positiva entre os teores de mercúrio em amostras de sangue materno e umbilical de recém-nascidos de Itaituba/PA, município localizado no médio Tapajós, porém não foram conclusivos quanto aos efeitos na saúde dos bebês (SANTOS et al., 2003).

São poucos os trabalhos no Brasil que abordam a intoxicação pré-natal por mercúrio e suas consequências na saúde de recém-nascidos. A Organização Mundial de Saúde (OMS) considera a intoxicação fetal a forma mais perigosa de exposição ao mercúrio (WHO, 2021). Isso, porque o feto pode sofrer graves danos no sistema nervoso central e, ao nascer, apresentar deficiência intelectual, perda de visão e audição, estrabismo, convulsões, autismo, deformidades dos membros, dentre outros sintomas (HARADA, 1968; IGATA, 1993; GRANDJEAN, 1997; EVANS, 2002; KIM et al., 2006; KOREN e BEND, 2010; GAIOLI et al., 2012).

Em países em que o consumo de pescados é elevado, pesquisas associaram prematuridade e baixo peso de recém-nascidos com teores elevados de mercúrio em amostras de sangue materno e umbilical (KIM et al., 2011; VEJRUP, et al., 2014; VAN WIJNGAARDEN et al., 2014; MURCIA et al., 2016; VIGEHE et al., 2018; BALLESTER et al., 2018). Do mesmo modo, más-formações congênitas foram associadas à contaminação mercurial materna (HARADA, 1968; IGATA, 1993; GRANDJEAN, 1997; NIŠEVIĆ et al., 2019).

Diante do exposto, este estudo visa responder a seguinte pergunta: há na bacia do Tapajós possível associação entre a atividade de mineração e os riscos à saúde de recém-nascidos? A hipótese a ser investigada é que a exposição das mães durante a gravidez às atividades de mineração está associada com a ocorrência de nascimentos prematuros, baixo peso e más-formações congênitas.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Verificar a associação entre a atividade de mineração na Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós e a saúde de recém-nascidos entre os anos de 1997 e 2017.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

I. Avaliar a associação entre atividades de mineração e risco de nascimentos prematuros.

II. Avaliar a associação entre atividades de mineração e risco de baixo peso de recém-nascidos.

III. Avaliar a associação entre atividades de mineração e risco de más-formações congênitas em recém-nascidos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 QUALIDADE DA ÁGUA

Nas últimas décadas, as atividades antrópicas têm acarretado alterações significativas nos ecossistemas aquáticos em decorrência de intensas mudanças na ocupação do solo e da maior exploração dos recursos naturais, tais como, entre outros, a expansão desordenada das áreas urbanas; o lançamento de efluentes domésticos e industriais não tratados nos cursos d'água; a supressão da vegetação nativa; a má conservação do solo; a pesca excessiva; a mineração (CARAPETO, 1999; MORAES e JORDÃO, 2002). Como resultado, observa-se uma significativa queda na qualidade da água devido à desestruturação do ambiente físico e às alterações na dinâmica natural dos processos ecológicos (SOUZA, 2004; BARRETO et al., 2013).

O interesse público pela qualidade da água veio a adquirir maior ênfase a partir da segunda metade do século dezenove. Antes, a atenção voltava-se principalmente para aspectos estéticos e sensoriais, tais como: cor, odor e gosto (FREITAS e FREITAS, 2005). Nesse período, o epidemiologista inglês John Snow constatou a relação entre um surto de cólera na cidade de Londres com o esgoto doméstico, que contaminava a água consumida pela população (PRÜSS-ÜSTÜN e CORVALÁN, 2006). Em seguida, o francês Louis Pasteur fundamentou a teoria microbiológica da doença, na qual os microrganismos são causadores de inúmeras doenças decorrentes da água contaminada (BORDENAVE, 2003). Desde então, turbidez e sedimentos em suspensão também são indicativos do grau de potabilidade da água para consumo humano.

A Conferência das Nações Unidas (ONU) sobre água, realizada no ano de 1977 em Mar Del Plata, Argentina, é considerada o início do debate global quanto aos problemas relativos à potabilidade da água e às condições sanitárias (VARGAS, 2000; CUNHA, 2002). Em 1992, a ONU organizou o segundo encontro internacional sobre esta temática, do qual resultou a Declaração de Dublin (1992), que destaca a gravidade dos problemas decorrentes da escassez, do mal-uso e da relação entre baixa disponibilidade de água potável com a pobreza e a disseminação de doenças (RIBEIRO, 2008).

Em 2010, a Assembleia Geral da ONU declarou como direito fundamental o acesso à água potável, devido a sua essencialidade à sobrevivência de todos os organismos vivos e ao funcionamento dos ecossistemas, comunidades e economias (ONU, 2010).

No ano de 2015, os estados-membros da ONU aprovaram a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, que estabelece dezessete Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) a serem cumpridos até o ano de 2030. Dentre os objetivos, o sexto busca “[...] assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos”, tendo como uma das metas “[...] alcançar o acesso universal e equitativo à água potável, segura e acessível para todos” (WHO, 2015).

O Brasil conta com uma situação quantitativa privilegiada, dispondo de aproximadamente 12% da água doce utilizável no planeta, contudo a abrangência dos serviços de abastecimento e saneamento básico que garantem qualidade de água para a população, ainda é limitada e desigual entre as regiões do país (OPAS, 2019). Segundo autores, o acesso à água potável é mais impactante no bem-estar das pessoas do que necessariamente o potencial hídrico e a disponibilidade de água per capita (Libânio et al., 2005; GIATTI e CUTOLO, 2012).

Signatário dos pactos de direitos internacionais, o Brasil deve garantir acesso à água potável para toda a sua população. Neste sentido, as políticas nacionais de saúde, recursos hídricos e saneamento básico são as principais diretrizes que norteiam a gestão e o controle da qualidade das águas no país.

A primeira normatização brasileira de qualidade da água para consumo humano veio a ocorrer no ano de 1977, pelo decreto federal nº 79.367/77, que atribuiu ao Ministério da Saúde (MS) a competência para normatizar parâmetros de potabilidade a serem observados em todo território nacional. A portaria BSB nº 56/1977 foi a primeira norma brasileira de potabilidade, contemplando diferentes constituintes químicos e microbiológicos potencialmente patogênicos à saúde humana. Em 1986, o Ministério da Saúde (MS) criou o Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua), com o objetivo de auxiliar os estados federativos a se estruturarem e conjuntamente prover o acesso à água potável a toda a população do país.

Com a Constituição Federal de 1988 (CF/88) (BRASIL, 1988) e posterior publicação da Lei nº 8.080/1990 que institui o Sistema Único de Saúde (SUS), atribuiu-se competência ao MS para participar da formulação das políticas nacionais de saneamento básico, e fiscalizar a qualidade das águas fornecidas para o consumo humano (BRASIL, 1988).

Em 2003, o MS criou a Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS), tendo como atribuições as ações de vigilância, prevenção e controle de doenças transmissíveis, o monitoramento de fatores de risco ao desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis, a saúde ambiental e a análise da situação de saúde da população brasileira.

Com o objetivo específico de atuar junto às populações expostas a contaminantes químicos, a SVS estruturou a Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Contaminantes Químicos (Vigipeq), tendo como principais contaminantes de interesse os agrotóxicos, o chumbo, o amianto, o benzeno e o mercúrio (BRASIL, 2019).

Após sucessivas revisões da Portaria BSB nº 56/1977, as atuais normas vigentes de controle da qualidade da água e padrão nacional de potabilidade para consumo humano, encontram-se na GM/MS nº 888/2021. Os parâmetros de potabilidade previstos nesta portaria são determinados a partir de metodologias analíticas estabelecidas nas mais recentes normativas nacionais ou internacionais, dentre as quais os padrões estabelecidos pela OMS (WHO, 2017).

Com o objetivo de auxiliar a gestão pública relativa à qualidade da água, o Departamento de Informática do SUS (DATASUS) desenvolveu o Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA). Trata-se de um Sistema de Informação de Saúde (SIS), que objetiva auxiliar o poder público no gerenciamento dos riscos sanitários associados ao abastecimento de água para consumo humano. Autores têm destacado a importância dos SIS como ferramentas tecnológicas essenciais para o diagnóstico em saúde, com o propósito de subsidiar intervenções mais condizentes com as especificidades da população brasileira (BRANCO, 1996; MEDEIROS, 2005; MARIN, 2010; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2019).

A Lei Federal nº 9.433/1997, conhecida por Lei das Águas (BRASIL, 1997), instituiu o regime jurídico dos recursos hídricos no Brasil por meio da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Dentre os seus objetivos consta assegurar à atual e às

futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos múltiplos usos, tais como: irrigação, geração de energia hidrelétrica, saneamento e abastecimento urbano, indústria, pesca, navegação e transporte, recreação e turismo, mineração e outros.

Granziera (2009) e Pompeu (2010) esclarecem que o termo 'água' se refere ao elemento natural, sem vinculação a qualquer uso ou utilização específica, dentro da perspectiva ambiental. Enquanto isso, o recurso hídrico é definido como a parcela de água utilizada por pessoa física ou jurídica. A Lei das Águas reconhece a água como um recurso natural limitado e dotado de valor econômico; assim, o termo 'recurso hídrico' constitui a dimensão econômica e utilitarista da água (BRASIL, 1997; VILLAR e GRANZIERA, 2020).

A Lei das Águas prevê cinco instrumentos da PNRH: os planos de recursos hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; a cobrança pelo uso de recursos hídricos; por fim, o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (SIRH). Destes, três instrumentos abordam mais diretamente aspectos relacionados à qualidade da água, ao enquadramento, à outorga de direito de uso e aos sistemas de informação (BRASIL, 1997).

O enquadramento dos corpos de água em classes de uso é um instrumento de planejamento que estabelece metas para a qualidade da água a ser mantida ou alcançada, segundo os usos pretendidos e regulamentados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2005; BRASIL, 2008). O enquadramento tem por objetivo assegurar qualidade à água que seja compatível com os usos mais restritivos, bem como minimizar os custos com a despoluição mediante ações de prevenção (ANA, 2013).

Em 2020, quinze unidades federativas possuíam atos normativos que enquadravam total ou parcialmente seus corpos de água (ANA, 2020). A elaboração do diagnóstico e prognóstico que subsidiam o enquadramento deduz conhecimento de relações entre diversas variáveis, como: a vazão de referência do trecho hídrico, parâmetros de qualidade, fontes poluidoras e outras (MACHADO et al. 2019). Entretanto, Haupt (2009) ressalta a pouca disponibilidade de dados para a aplicação em modelos sofisticados, necessários à avaliação da poluição difusa dos corpos hídricos no Brasil.

Quando disponíveis, os dados de qualidade de água, por vezes, são obtidos por diferentes metodologias e parâmetros distintos, tratando-se de instrumento complexo e de consideráveis desafios técnicos e operacionais (COSTA e CONEJO; 2009; TORRES, 2014).

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos é o instrumento de regulação ao acesso à água. Tem por objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água (BRASIL, 1997). A concessão da outorga está condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos planos de recursos hídricos, e deve respeitar a classe de uso em que o corpo de água estiver enquadrado.

Os usos passíveis de outorga são: a derivação ou captação de parcela da água de um curso hídrico para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo; extração de água de aquífero subterrânea para consumo final ou insumo de processo produtivo; lançamento em corpo d'água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; aproveitamento dos potenciais hidrelétricos; e outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo d'água (BRASIL, 1997).

Do mesmo modo, os SIRH são importantes no gerenciamento qualitativo das águas. Segundo a Lei 9.433/1997, o SIRH é um instrumento de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão. O SISAGUA pode ser considerado um SIRH, uma vez que aborda a potabilidade da água para consumo humano. Outro exemplo, o Sistema de Informações Hidrológicas (HIDRO) operado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), armazena e processa dados provenientes do monitoramento hidrológico e meteorológico do país, incluindo informações sobre sedimentos e qualidade dos corpos hídricos (ANA, 2016).

Todavia, autores ressaltam a necessidade de maior integração entre os sistemas de informações sobre recursos hídricos oriundos de diferentes órgãos e esferas públicas, como também a importância destes no suporte às decisões tomadas pelo Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) (YASSUDA, 1993; SILVA et al., 2010; AMÉRICO-PINHEIRO et al., 2019).

Tais instrumentos são importantes para a gestão hídrica e a garantia de qualidade da água para os múltiplos usuários deste recurso. Importantes setores produtivos do país, como a agricultura e a mineração, caso não sejam devidamente regulados, serão poluidores capazes de comprometer significativamente o acesso à água pelos demais usuários. No caso da agricultura, são numerosos os estudos que associam a atividade com a contaminação hídrica por sedimentos provenientes da erosão do solo, do uso de agrotóxicos e de fertilizantes químicos (RESENDE, 2002; STEFFEN et al., 2011); na mineração, tanto a erosão do solo, como a dispersão não controlada de contaminantes químicos e rejeitos tóxicos, são também causadores de sério comprometimento qualitativo das águas (FARIAS, 2002; MECHI e SANCHES, 2010).

## 2.2 MINERAÇÃO NO BRASIL

A mineração é um segmento importante da economia do Brasil, uma vez que o país possui extensas reservas minerais que servem de insumos para as indústrias siderúrgica, metalúrgica, agroquímica e petroquímica. O setor corresponde a aproximadamente 3,2% do PIB (IPEA, 2021). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), o faturamento do setor mineral em 2020 foi de R\$ 208,9 bilhões, com relevante participação para os minérios de ferro (66,36%) e ouro (11,12%), seguidos pelo cobre (6,6%), bauxita (2,15%), calcário (2,00%) e água mineral (1,58%) (IBRAM, 2021). Com as produções de ferro e ouro concentradas nos estados do Pará e Minas Gerais, ambos contabilizam cerca de 89% de toda a riqueza gerada pelo setor mineral primário do país (IBRAM, 2020).

O Código de Mineração é o marco legal do setor mineral brasileiro, promulgado pelo Decreto nº 227/1967 e atualizado pela Lei nº 9.314/1996. O Código trata dos regimes de aproveitamento dos recursos minerais, bem como de conceitos como os da pesquisa mineral e da lavra, dos direitos do minerador e do proprietário do solo, das servidões, do direito de prioridade, da área livre, da disponibilidade de áreas, das empresas legalmente habilitadas à mineração, do grupamento mineiro, do consórcio de mineração, do reconhecimento geológico, da cessão de títulos minerários, das sanções e penalidades, entre outros assuntos.

A Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável realizada em Joanesburgo, África do Sul, em 2002, destaca, nos documentos finais, a importância da mineração para o desenvolvimento econômico, e os minerais como essenciais à vida moderna. Contudo, ressalta a necessidade de minimizar os impactos ambientais e sociais decorrentes da mineração, assim como garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores, promover maior participação das comunidades locais e melhorar a distribuição das riquezas geradas (ONU, 2002).

Farias (2002) classifica os problemas ambientais gerados pela mineração em quatro grupos: poluição atmosférica, poluição sonora, degradação do solo e poluição da água. Além destes, efeitos denominados de externalidades são causadores de impactos sociais e econômicos, como o estímulo de conflitos entre mineradoras e comunidades locais, depreciação imobiliária do entorno e informalidade trabalhista, entre outros (BARRETO, 2001; SOBREIRA e FONSECA, 2001; PONTES, et al., 2013; REZENDE, 2016; GUIMARÃES e MILANEZ, 2017).

Quanto aos recursos hídricos, os impactos da mineração estão relacionados sobretudo com a dimensão qualitativa da água, decorrentes da poluição química causada por óleos, metais pesados e sedimentos responsáveis pelo aumento da turbidez (OLIVEIRA e LUZ, 2001; FREITAS MUNIZ e OLIVEIRA-FILHO, 2006; MECCHI e SANCHES, 2010; MELO, 2012).

Acidentes recentes com rejeitos tóxicos, como os de Mariana e Brumadinho, causados pelas mineradoras Samarco e Vale, destacam a gravidade dos potenciais danos socioambientais do setor da mineração. Ocorridos nos anos de 2015 e 2019, esses acontecimentos resultaram em mais de 300 vítimas fatais, além do comprometimento do solo e dos corpos hídricos pelo derramamento de 52 milhões de metros cúbicos de lama tóxica. Desde então, as bacias dos rios Doce e Paraopeba enfrentam sérias restrições aos usos possíveis para as águas, incluindo abastecimento urbano, atividades pesqueiras, agricultura e dessedentação animal (FREITAS et al., 2019).

Em 2019, a empresa de alumínio Hydro Alunorte ocasionou o derramamento de lama tóxica em rios e várzeas do município de Barcarena/PA. Considerado um dos desastres mais significativos já ocorridos na Amazônia, o acidente afetou diretamente a população local, impedindo o abastecimento de água e a atividade pesqueira na região (CASTRO e CARMO, 2019).

Tais ocorrências demonstram o potencial da mineração quanto ao comprometimento qualitativo dos recursos hídricos, que é geralmente exposto após graves acidentes. Entretanto, a contaminação ambiental causada pelo setor é quase sempre silenciosa, constante e cumulativa. Efeitos na saúde das pessoas costumam se manifestar após determinados períodos de exposição, o que dificulta a identificação dos agentes causadores, caso não haja um contínuo monitoramento de saúde e ambiental (SÁNCHEZ, 1994).

Em relação ao aspecto quantitativo, a demanda por água pela atividade mineadora é significativa nos locais de exploração das jazidas (DE OLIVEIRA SANTOS et al., 2020). Porém, em escala global, seu consumo é considerado baixo, quando comparado com o de outros usuários (ECLAC, 2017). Segundo a ANA, o volume de água consumido pela mineração brasileira é de, aproximadamente, 36 m<sup>3</sup>/s, o que corresponde a apenas 0,9% do total da captação outorgada no país, enquanto a indústria consome 9,7%, o abastecimento urbano 9% e a agricultura irrigada 66% (BRASIL, 2020).

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos na mineração é regulamentada pela resolução do CONAMA nº 29/2002, essencial quando há derivação ou captação de água superficial ou subterrânea, seja para: consumo final ou como insumo do processo produtivo; lançamento de efluentes em corpos de água; aproveitamento de bens minerais em corpos de água; ou captação de água e lançamento de efluentes relativos ao transporte de produtos minerários.

### **2.2.1 Mineração na Amazônia**

A partir de 1950, a extração mineral na Amazônia brasileira passou a ser vista como uma promotora de modernização, ocupação e rápido desenvolvimento para a região, frente a uma crescente demanda mundial por insumos minerais (MONTEIRO, 2008). Neste sentido, o estado brasileiro conduziu ações de exploração industrial de minérios, por meio de iniciativas governamentais como os programas de Polos Agropecuários e Agrominerais da Amazônia (POLAMAZÔNIA) e o Projeto Grande Carajás (PGC) (SUDAM, 1975; BRASIL, 1982).

Na década de 1970, deu-se início à exploração do ferro na Serra dos Carajás pela Companhia Vale do Rio Doce (CVRD); logo, um amplo parque industrial, composto por guseiras e siderúrgicas, se formou na área de abrangência do PGC, focado

principalmente na exportação e na geração de divisas. O programa foi estratégico para o Estado financiar os grandes projetos nacionais de infraestrutura da época (MONTEIRO, 2008).

Além de Carajás, outros projetos de mineração instalaram-se na Amazônia para extração de estanho, bauxita, manganês, cobre, níquel, ouro, caulinita e outros. Contudo, esses empreendimentos vieram acompanhados de conflitos sociais com as comunidades locais, em especial com as populações indígenas, e de intensa degradação ambiental (COELHO e MONTEIRO, 2007; ARAÚJO e DE SALES BELO, 2009; WANDERLEY, 2012; MALHEIRO, 2020).

A mineração de ouro na Amazônia adquiriu maior importância na década de 1960, com a descoberta dos aluviões do distrito aurífero do Tapajós, situado no oeste do estado do Pará (SANTOS, 2002). Nos anos 1980, o valor elevado do ouro no mercado mundial e a descoberta de Serra Pelada, estimularam investimentos e incentivos estatais para a exploração aurífera industrial (MONTEIRO, 2005). A partir de então, empresas mineradoras e garimpeiros se espalharam por toda a região, inclusive para países vizinhos, como a Venezuela, o Peru, a Guiana e o Suriname (MONTEIRO, 2005). Veiga (2002) estima que no ano de 2000, cerca de 4,34% da área total da Amazônia brasileira era afetada pela mineração do ouro, sendo a bacia do Tapajós a maior área de garimpagem do país, com 52% da produção aurífera amazônica.

### **2.2.2 Garimpo**

A Agência Nacional de Mineração (ANM) classifica a atividade de mineração em dois modelos: a pequena lavra garimpeira, formalizada pela Permissão de Lavra Garimpeira (PLG); e a mineração de larga escala, que demanda autorização de pesquisa prévia e, havendo viabilidade técnica, ambiental e socioambiental, sucede para a Concessão de Lavra (CL).

Segundo Lins (1992), garimpo é o local onde ocorre a extração de minerais garimpáveis, enquanto garimpagem refere-se à atividade de aproveitamento imediato de minerais garimpáveis. O Código de Mineração, em seu artigo Art. 71, define como garimpeiro o trabalhador que extrai substâncias minerais úteis por processo rudimentar e individual de mineração, garimpagem ou cata.

Santos (2002) caracteriza o garimpo praticado na região amazônica como tecnicamente rudimentar e de mão de obra pouco qualificada. Contudo, Enríquez (2015)

estimou um contingente populacional de 100 a 200 mil trabalhadores na atividade garimpeira da Amazônia, os quais, mesmos informais, extraem grande quantidade de minerais sem controle do Estado.

Barreto (2001) classifica os tipos de garimpos em primários (sobretudo em veios de quartzo) e secundários (depósitos eluvionar, coluvionar e aluvionar). O segundo ainda pode ser subdividido em garimpos de baixão ou de balsa. O garimpo de baixão é praticado junto às margens dos rios, no qual há o desmonte de coluviões e aluviões. Nesse processo, a cobertura vegetal é removida, e o solo superficial retirado até o encontro da camada aurífera. Após encontrada, esta camada é desmontada com jatos de água e a polpa resultante é bombeada para mesas gravimétricas, onde as partículas de ouro se depositam e, posteriormente, são separadas das demais impurezas com o auxílio do mercúrio (VEIGA et al., 2002).

Apesar da importância econômica, os impactos ambientais do garimpo são significativos, sobretudo no meio hídrico, e com a adoção de novos métodos de extração com uso de escavadeiras hidráulicas e outras máquinas pesadas, os impactos tendem a se intensificar (ENRÍQUEZ, 2015). O garimpo causa supressão das matas ciliares, erosão do solo, alterações na qualidade da água pelo aumento de sedimentos em suspensão, assoreamento dos rios, além da poluição química das águas por óleos, combustíveis, graxas, detergentes e mercúrio (RODRIGUES, 1994; GONÇALVES et al., 2017).

Quanto ao desmatamento, Enríquez (2015) cita que técnicos de órgãos ambientais do Pará observaram que o garimpo é rapidamente revegetado após ser abandonado devido à alta capacidade de regeneração ecossistêmica amazônica. Porém, autores apontam que, dependendo do grau da degradação ambiental, a regeneração natural pode ser insuficiente para estabilizar os processos erosivos em curso, sendo necessárias intervenções humanas que possibilitem a recuperação do ecossistema (WADT, 2003; SANTOS, 2004; SILVA et al, 2018; AMARAL, 2020).

A dispersão ambiental do mercúrio utilizado nos garimpos é relevante, visto que este modelo de mineração é tecnicamente pouco eficiente (LACERDA, 1997; ENRÍQUEZ, 2015). O ouro obtido é separado das impurezas por meio do método da amalgamação, no qual o amálgama é queimado e o mercúrio utilizado no processo é evaporado (LACERDA, 1997; SOUZA, 2018). Segundo autores, a emissão de mercúrio

para a atmosfera varia entre 65% a 83% do total liberado pelo garimpo, sendo mais expressiva que a emissão direta para solos e rios (NRIAGU e PACYNA, 1988).

Embora o garimpo seja comumente visto como o principal responsável pela emissão de mercúrio na Amazônia, Lacerda (1999) pondera que parte das emissões também decorre do desmatamento e de incêndios florestais que têm se intensificado na região e translocam o mercúrio presente na biomassa vegetal para a atmosfera.

Outros estudos identificaram teores significativos de mercúrio em condições naturais nos solos amazônicos, pelo que, devido aos processos erosivos vindos do desmatamento e dos cultivos agrícolas, quantidades importantes de mercúrio também são deslocadas do solo para os corpos d'água (ROULET et al., 1998; ROULET et al., 1999; FARELLA et al., 2001; ALMEIDA et al., 2005; TELMER et al., 2006).

#### *2.2.2.1 Mercúrio*

Representado pelo símbolo químico Hg, o mercúrio é um metal prateado, que, sob condição ambiente de pressão e temperatura, se encontra no estado líquido, sendo inodoro e de fácil volatilização. Pode ser encontrado na natureza na condição elementar, iônica ou nas formas metiladas de metilmercúrio e dimetilmercúrio (WASSERMAN, 2001; FENNER, 2017).

É um metal pesado de alta toxicidade para a saúde humana, sobretudo quando o seu vapor é inalado ou ingerido na forma metilada (BASTOS e LACERDA, 2004). Sua absorção pelo organismo pode causar intoxicação aguda, manifestada por sintomas respiratórios, e intoxicação crônica, que afeta principalmente o sistema nervoso, os rins e a pele (SILVEIRA et al., 2004; MIRANDA et al., 2009; JESUS et al. 2010).

A metilação é o processo de transformação do mercúrio inorgânico em orgânico por meio da ação de bactérias e sua complexação com compostos orgânicos dissolvidos na água. O metilmercúrio é tido como a forma mais tóxica do mercúrio, sendo de fácil absorção pelos organismos e bioacumulado na cadeia alimentar, o que potencializa os seus efeitos tóxicos em ecossistemas naturais e na saúde humana (BISINOTI e JARDIM, 2004; KASPER, 2007; LACERDA e MALM, 2008).

A doença neurotóxica de Minamata decorre da intoxicação por mercúrio e tem como principais sintomas a dormência nos membros, vertigem e tontura, dor de ca-

beça, dores nas extremidades dos membros e nas costas, redução da visão e audição, tremores, irritabilidade, perda de memória, distúrbios motores, depressão e insônia (HARADA, 1982; ETO, 2000).

Os peixes e frutos do mar contaminados compõem a principal fonte de metilmercúrio na dieta humana (KASPER, 2007; LEÓN PEREZ e PEÑUELA MESA, 2011; MORENO-BRUSH et al., 2016). A literatura dispõe de numerosos estudos sobre a concentração de mercúrio em peixes no Brasil, sendo que nas regiões garimpeiras dos rios Madeira e Tapajós, pescados apresentaram concentrações preocupantes acima do recomendado pelas normas de referência (BRABO et al., 1999; SANTOS et al., 2003; BASTOS e LACERDA, 2004; SILVA et al., 2006).

A intoxicação humana por mercúrio é bastante estudada, sobretudo em países onde o pescado é muito consumido pela população (CLARKSON, 1990; WHEATLEY e PARADIS, 1995; BJÖRNBERG et al., 2005; ZHANG et al., 2009). No Brasil, os estudos têm se concentrado na Amazônia, em comunidades ribeirinhas e indígenas localizadas próximas aos garimpos (BOISCHIO & BARBOSA, 1993; MALM, 1995; PINHEIRO et al., 2000; SANTOS et al., 2003; KHOURY et al., 2013; COSTA JR. et al. 2018).

Na bacia do Tapajós, concentrações médias de mercúrio encontradas por Costa Jr. et al. (2018) em amostras de cabelo de ribeirinhos do município de Itaituba/PA variaram de 7,25µg/g em 2013, para 10,80µg/g em 2014, sendo 6µg/g o limite de tolerância preconizado pela OMS (OPAS, 2011). Silva (2018) após verificar a concentração em amostras de cabelo em uma população infanto juvenil ribeirinha do Tapajós, encontrou valor médio de 12,52µg/g. Santos (2003) analisou o nível de mercúrio entre 910 indígenas Pakaanóva, em Rondônia, e a concentração média nas amostras de cabelo foi de 8,37µg/g.

## 2.3 SAÚDE AMBIENTAL

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), Saúde Ambiental abrange todos aqueles aspectos da saúde humana, incluindo a qualidade de vida, que estão determinados por fatores físicos, químicos, biológicos, sociais e psicológicos no meio ambiente (OMS, 1993).

A saúde ambiental está associada à saúde pública por meio da formulação de políticas públicas e de intervenções relacionadas à saúde humana e aos fatores ambientais naturais e antrópicos, com vistas a melhorar a qualidade de vida da população (BRASIL, 2007).

Em 2016, a OMS verificou que 24% das mortes globais e 28% da mortalidade infantil estão relacionadas com fatores ambientais (PRÜSS-ÜSTÜN et al., 2016). No ano de 2019 foram notificados 38.619 óbitos infantis no Brasil de crianças com menos de cinco anos, sendo as principais causas enfermidades motivadas total ou parcialmente por fatores ambientais, como pneumonia, prematuridade, complicações relacionadas com o parto, más-formações congênitas, doenças infecciosas e parasitárias (BRASIL, 2021).

Segundo Teixeira et al. (2012), a mortalidade infantil tende a diminuir com a redução dos riscos ambientais, como a poluição do ar, a contaminação da água e a falta de acesso aos serviços de saneamento básico, à higiene, além da exposição a substâncias tóxicas.

Prematuridade e peso ao nascer são tidos como indicadores para monitoramento dos níveis de saúde de uma população, por estarem associados a fatores socioeconômicos e ambientais (BOBAK, 2000; NASCIMENTO e GOTLIEB, 2001). As maiores incidências de nascimentos prematuros ou com baixo peso são encontradas nas localidades que apresentam piores índices socioeconômicos, entretanto tem sido um problema de saúde pública também nos países desenvolvidos, devido às condições ambientais adversas (JUNGER e PONCE DE LEON, 2002). Segundo César e Horta (1997), crianças que nasceram com baixo peso apresentam risco de mortalidade quinze vezes maior quando comparadas com as que tiveram peso adequado.

Uma revisão epidemiológica relativa à exposição de gestantes à poluição ambiental e os riscos de más-formações congênitas verificou que, para alguns contaminantes específicos, tais como chumbo, mercúrio e pesticidas, há evidências de associação, em especial, quando a exposição ocorre no início da gestação (DOLK e VRIJHEID, 2003).

A partir da análise de indicadores socioeconômicos, ambientais e de saúde da Amazônia brasileira, um estudo verificou que a ocupação humana e a degradação ambiental na região durante as últimas décadas têm levado a um quadro sanitário

bastante complexo, com agravamento nos riscos de doenças decorrentes das condições precárias de saneamento, queimadas, contaminação química do uso intensivo de pesticidas e do mercúrio (VIANA et al., 2016).

### **2.3.1 Exposição pré-natal ao mercúrio**

O metilmercúrio bioacumulado em peixes e consumido por mulheres grávidas pode levar a problemas de desenvolvimento neurológico fetal (EVANS, 2002; KIM et al., 2006; KOREN e BEND, 2010). A exposição transplacentária ao mercúrio é tida pela OMS como a mais perigosa, podendo ocasionar graves danos no sistema nervoso fetal, uma vez que o cérebro do feto é muito sensível (WHO, 2021). Os sintomas pós-natal incluem deficiência intelectual, perda de visão e audição, estrabismo, convulsões, deformidades dos membros, dentre outros (HARADA, 1968; IGATA, 1993; GRANDJEAN, 1997).

Harada (1978) observou que mães de nascidos diagnosticados com doença congênita, em geral, eram assintomáticas ou portadoras de leves a moderadas manifestações causadas pela intoxicação por mercúrio.

Em regiões próximas ao mar Mediterrâneo, onde o consumo de peixe é elevado, verificou-se associação positiva entre níveis de mercúrio no sangue materno e o umbilical, e associação negativa destes com o desenvolvimento cerebral de recém-nascidos (NIŠEVIĆ et al., 2019).

Quanto ao desenvolvimento placentário, estudos observaram associação negativa entre o nível de mercúrio no sangue umbilical e o baixo peso ao nascer (KIM et al., 2011; VEJRUP, et al., 2014; VAN WIJNGAARDEN et al., 2014; MURCIA et al., 2016; VIGEH et al., 2018; BALLESTER et al., 2018).

Pesquisa feita com 1.510 gestantes no município de Itaituba, Estado do Pará, mostrou concentração média de 11,53 ug/L de mercúrio no sangue materno, enquanto no cordão umbilical foi de 16,68 ug/L. Contudo, não foi verificada significância estatística entre os níveis de mercúrio e o peso dos recém-nascidos (SANTOS et al., 2003). Esses autores ressaltaram a necessidade de mais estudos relativos à associação entre intoxicação materna com efeitos pré-natal decorrentes de níveis significativos de mercúrio, uma vez que multifatores podem incidir sobre o desenvolvimento fetal.

### **3 METODOLOGIA**

A pesquisa epidemiológica é um instrumento que, a partir da observação empírica, permite a análise e a interpretação sistemática de dados relativos à área de saúde (BRAGA et al., 2015), como, por exemplo, calcular os riscos pela exposição a determinados fatores ambientais adversos e, assim, subsidiar ações de intervenção e de redução dos riscos.

Trata-se aqui de um estudo epidemiológico observacional e ecológico, tipo caso-controle, uma vez que verifica a correlação entre registros de determinadas patologias com registros dos níveis de exposição de um grupo populacional, composto por indivíduos que apresentam o desfecho patológico (caso) ou não (controle) a um fator ambiental adverso por período de tempo.

#### **3.1 ÁREA DE ESTUDO – BACIA DO TAPAJÓS**

##### **3.1.1 Aspectos físicos e socioeconômicos**

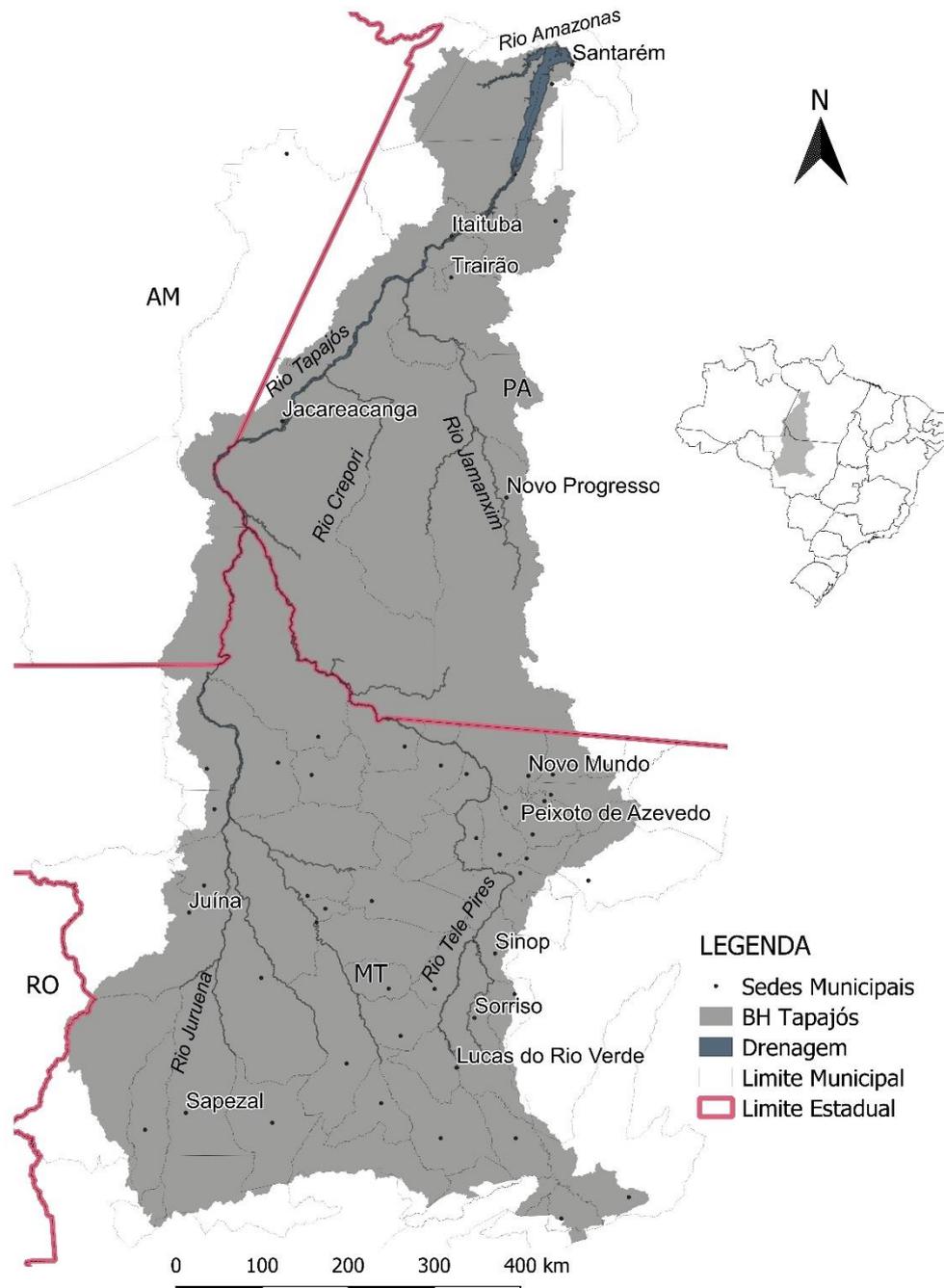
A bacia hidrográfica (BH) do rio Tapajós é marcada pela intensa atividade de mineração, dispondo de ampla literatura quanto aos seus aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais, razões pelas quais foi escolhida como território deste estudo.

O intervalo de tempo considerado decorre da concordância temporal entre as séries históricas de dados de mineração e de saúde disponíveis para a BH Tapajós, que totalizou vinte anos, com início em 1997 e término em 2017.

A BH Tapajós abrange 532 mil km<sup>2</sup> (ANA, 2022) dos estados do Mato Grosso (59%), Pará (18%), Amazonas (3%) e uma pequena porção de Rondônia (<1%), correspondendo a 6% do território brasileiro (fig. 1).

O rio Tapajós possui 840 km de extensão, sendo um importante tributário da margem direita do rio Amazonas. Seus principais afluentes são os rios Jamanxim, Crepori, Teles Pires e Juruena.

Figura 1- Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós

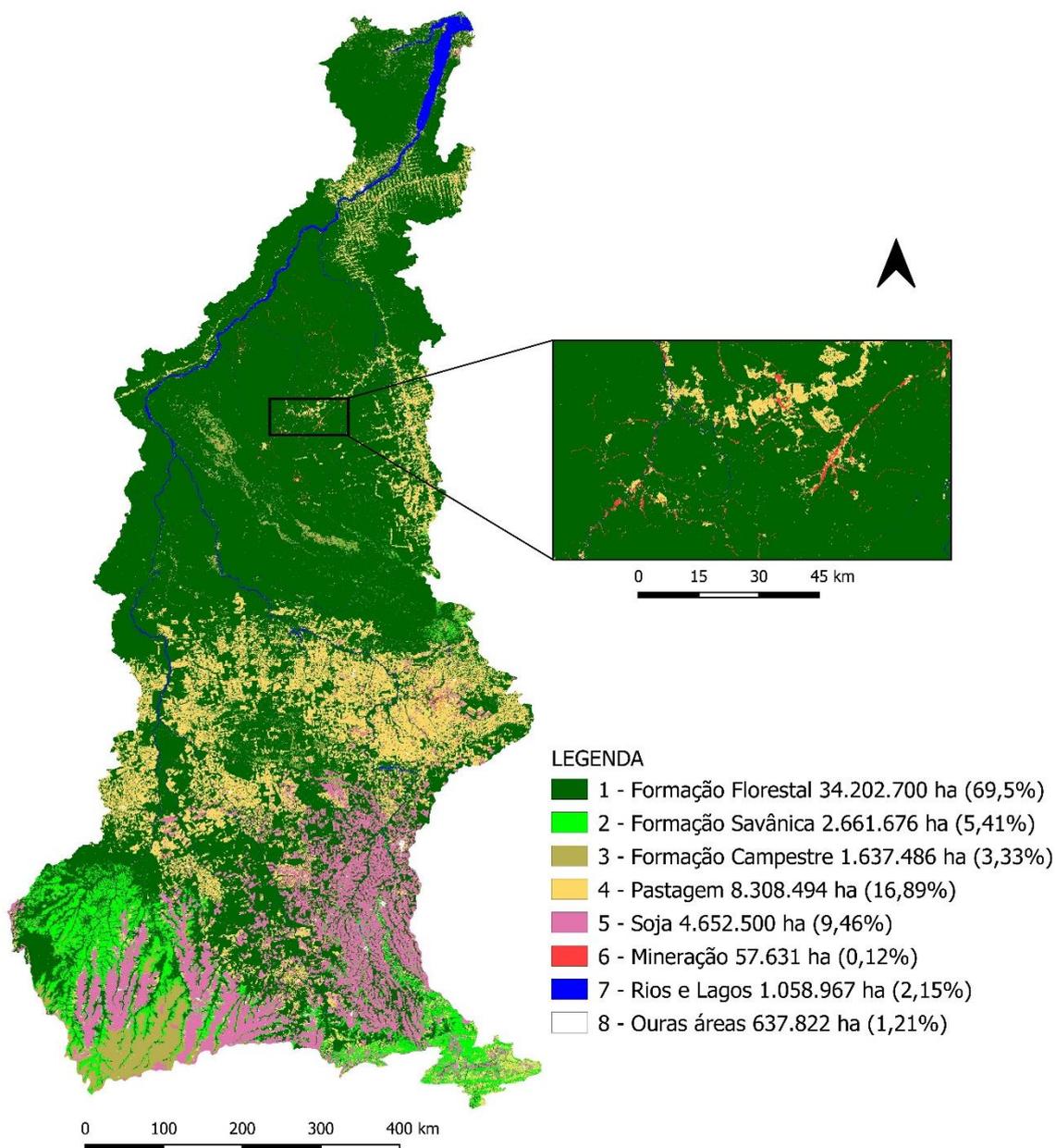


Fonte: Elaboração própria.

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, a bacia do Tapajós apresenta duas tipologias climáticas. A classe *Am* definida como tropical de monção, caracteriza-se por breve estação seca e chuvas intensas no restante do ano, possuindo média pluviométrica anual de 2.000 mm, predominando na parte baixa da bacia. Por sua vez, a classe *Aw*, com chuvas mais intensas no verão e média pluviométrica de 1800 mm/ano, abrange a porção alta da bacia (KOTTEK et al., 2006).

Em 2017, conforme representado na Figura 2, a BH Tapajós detinha 78% da sua extensão constituída por vegetação primária, 26% com atividades agropecuárias e 0,12% por mineração.

Figura 2 - Uso e ocupação do solo na BH Tapajós em 2017



Fonte: MapBiomias.

São 74 municípios na bacia do Tapajós, sendo dois no Amazonas, 60 no Mato Grosso, 11 no Pará e um em Rondônia. Desses, 49 têm sedes localizadas dentro da bacia, que, juntos, somam uma população estimada em 1,5 milhão de habitantes

(IBGE, 2020). Os municípios mais populosos são Santarém/PA (306.480 hab.), Sinop/MT (146.005 hab.), Itaituba/PA (101.395 hab.), Sorriso/MT (92.769 hab.) e Lucas do Rio Verde/MT (67.620 hab.).

A economia está baseada na atividade agropecuária, com pastagens e cultivo de grãos na porção mais alta da bacia, com predomínio nos municípios do Mato Grosso, enquanto no meio e na parte baixa da bacia domina o extrativismo florestal e a mineração. Estimada em 57.631 hectares (MapBiomias, 2017), a área minerada está concentrada nos municípios de Itaituba/PA, Jacareacanga/PA, Peixoto Azevedo/MT e Matupá/MT. Nos últimos anos, o cultivo de soja tem se intensificado na região próxima à foz do rio Tapajós (TEIXEIRA et al., 2012; OLIVEIRA e SANTANA, 2012; SAUER e MARFINS, 2016).

### **3.1.2 Aspectos epidemiológicos na BH Tapajós**

A mineração é um fator de risco para a saúde das populações da bacia do Tapajós, sobretudo devido à poluição dos rios pelo mercúrio e comprometimento qualitativo das águas. Pesquisas têm constatado teores elevados de mercúrio em amostras de peixes, cabelo e sangue de populações ribeirinhas e indígenas da região.

Avaliação dos níveis de mercúrios em peixes preferencialmente consumidos pela comunidade indígena de Sai Cinza, em Jacareacanga/PA, indicou concentrações mais altas de Hg em peixes carnívoros (0,293 ug/g), quando comparadas com os não carnívoros (0,112 ug/g) (BRABO et al., 1999).

Pesquisa realizada nos municípios paraenses de Itaituba e Trairão em comunidades indígenas afetadas pelo garimpo, constatou que 57,9% dos participantes continham teores de Hg acima do limite seguro (BASTA e HACON, 2020).

Além da mineração, a deficiência dos serviços de saneamento básico é outro fator importante que favorece a ocorrência de diversas doenças de veiculação hídrica na BH Tapajós. Em Santarém, a cidade mais populosa da bacia, boa parte do esgoto doméstico ainda é lançado diretamente nos corpos hídricos, acarretando doenças como diarreia, hepatites e outras enfermidades gastrointestinais. Levantamento recente indicou elevadas concentrações de coliformes fecais, *E. Coli* e fósforo inorgânico nas águas próximas a Santarém, indicadores da deterioração hídrica da bacia (MONTE et al., 2021).

### **3.1.3 Gestão Hídrica**

No que se refere ao planejamento hídrico, o Plano Estratégico de Recursos Hídricos dos Afluentes da Margem Direita do Rio Amazonas, elaborado pela ANA em 2012, trata das bacias dos rios Madeira, Xingu e Tapajós. O documento é genérico, uma vez que aborda um território extenso e diversificado. Porém, ressalta a importância de priorizar o monitoramento da qualidade da água nessas bacias devido aos impactos poluidores das atividades de mineração, da agricultura intensiva e da urbanização acelerada (ANA, 2012).

A bacia do Tapajós não dispõe de um comitê de gestão hídrica que contemple a sua totalidade territorial, como também não há comitês estaduais na parte paraense da bacia. No Mato Grosso, entre os anos de 2012 e 2016, foram criados três comitês de bacias hidrográficas (CBH) estaduais: CBH da Margem Esquerda do Baixo Teles Pires, CBH dos Afluentes do Médio Teles Pires e CBH da Margem Direita do Alto Teles Pires, que, juntos, cobrem 15% do território da bacia do Tapajós.

Quanto à regulação de uso dos recursos hídricos, o Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos do Pará (SEIRH) informa o registro de 20 outorgas de direito de uso e 12 dispensas de outorga para a atividade de mineração nos rios de domínio estadual, totalizando, em julho de 2021, uma vazão outorgada de 0,28 m<sup>3</sup>/s (SEIRH, 2021). No Mato Grosso, segundo a Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA-MT), há 15 atividades de mineração outorgadas na porção mato-grossense da bacia, com volume total outorgado de 0,11 m<sup>3</sup>/s (SEMA, 2021). Em relação aos rios de domínio federal, constam apenas três outorgas para mineração no município de Jacareacanga/PA, que, juntas, correspondem ao volume outorgado de 0,056 m<sup>3</sup>/s (ANA, 2021). Visto que a área de mineração na bacia foi estimada em 69.359 hectares (MapBiomass, 2020), o valor outorgado para uso da água se mostra aquém do real volume hídrico utilizado pelo setor.

## **3.2. DADOS**

### **3.2.1 Dados de Saúde**

Os dados de recém-nascidos foram obtidos junto ao Sistema de Informações de Nascidos Vivos (SINASC) disponibilizados pelo DATASUS do Ministério da Saúde, para o período de 1º de janeiro de 1997 a 31 de dezembro de 2017. Os registros

selecionados correspondem aos nascidos cujas mães informaram residência nos 49 municípios sediados na BH Tapajós.

Os dados de nascimento incluem informações sobre os recém-nascidos e suas mães, tais como: data de nascimento, idade materna, idade gestacional (categorizada como o número de semanas de gestação), número de consultas pré-natal, raça/cor da mãe (categorizada como branca, preta, parda e indígena), município de residência materna, peso ao nascer (variável contínua), sexo dos nascidos, indicação de malformação congênita e indicação de prematuridade do nascimento, totalizando 530.102 registros.

Desse conjunto de dados, foram selecionados os registros de nascidos de mães com faixa etária entre 18 e 45 anos, com o intuito de fatores de risco associados à gravidez precoce ou tardia não interferirem no estudo (CAETANO et al., 2011; CABRAL et al., 2020). Também foram excluídos os valores não informados ou discrepantes, findando em 426.034 registros.

Subsequentemente, três variáveis binárias foram criadas para indicar a ocorrência ou não de prematuridade, baixo peso e malformação congênita. A OMS estabelece que o nascimento prematuro é aquele que ocorre anterior à 37ª semana de gestação, e baixo peso quando o recém-nascido termo possui menos de 2.500 gramas.

Quanto à malformação congênita, consideraram-se 12 categorias segundo a Classificação Internacional de Doenças (CID), sendo: i) anomalias congênitas do sistema nervoso (códigos CID-10: Q00-Q07); ii) anomalias congênitas dos olhos, orelhas, rosto e pescoço (códigos CID-10: Q10-Q18); iii) anomalias congênitas do sistema circulatório (códigos CID-10: Q20-Q28); iv) anomalias congênitas do sistema respiratório (códigos CID-10: Q30-Q34); v) fenda labial e fenda palatina (códigos CID-10: Q35-Q37); vi) outras anomalias congênitas do sistema digestivo (códigos CID-10: Q38-Q45); vii) anomalias congênitas dos órgãos genitais (códigos CID-10: Q50-Q56); viii) anomalias congênitas do sistema urinário (códigos CID-10: Q60-Q64); ix) anomalias congênitas do sistema musculoesquelético (códigos CID-10: Q65-Q79); x) anomalias cromossômicas (códigos CID-10: Q90-Q99); xi) tumores de neoplasias benignas (códigos CID-10: D18); e xii) outras anomalias congênitas (códigos CID-10: Q80-Q89).

### 3.2.2 Dados de Mineração

Utilizaram-se duas bases de referência correspondentes aos dados espaciais e quantitativos de áreas com exploração mineral existentes na bacia do Tapajós, para o período de 1997 a 2017, sendo denominadas neste estudo como bases 1 e 2.

Estas bases se distinguem no quantitativo considerado de área ao longo da série temporal. Na primeira, o montante anual inclui o acumulado de minerações ativas e inativas (fig. 4), tendo em vista que áreas abandonadas possuem potencial contaminante. A segunda base considera a mineração ativa no respectivo ano.

Considera-se mineração ativa aquela perceptível na classificação automática ou visual de imagens de satélite, devido à presença de solo exposto desprovido de cobertura vegetal. A mineração inativa é constituída por lagoas e vegetação secundária, identificada por meio de classificação visual.

Embora a mineração aurífera predomine na BH Tapajós, para o estudo proposto, ambas as bases não especificam o minério extraído.

Figura 3 - Minerações inativa e ativa na BH Tapajós

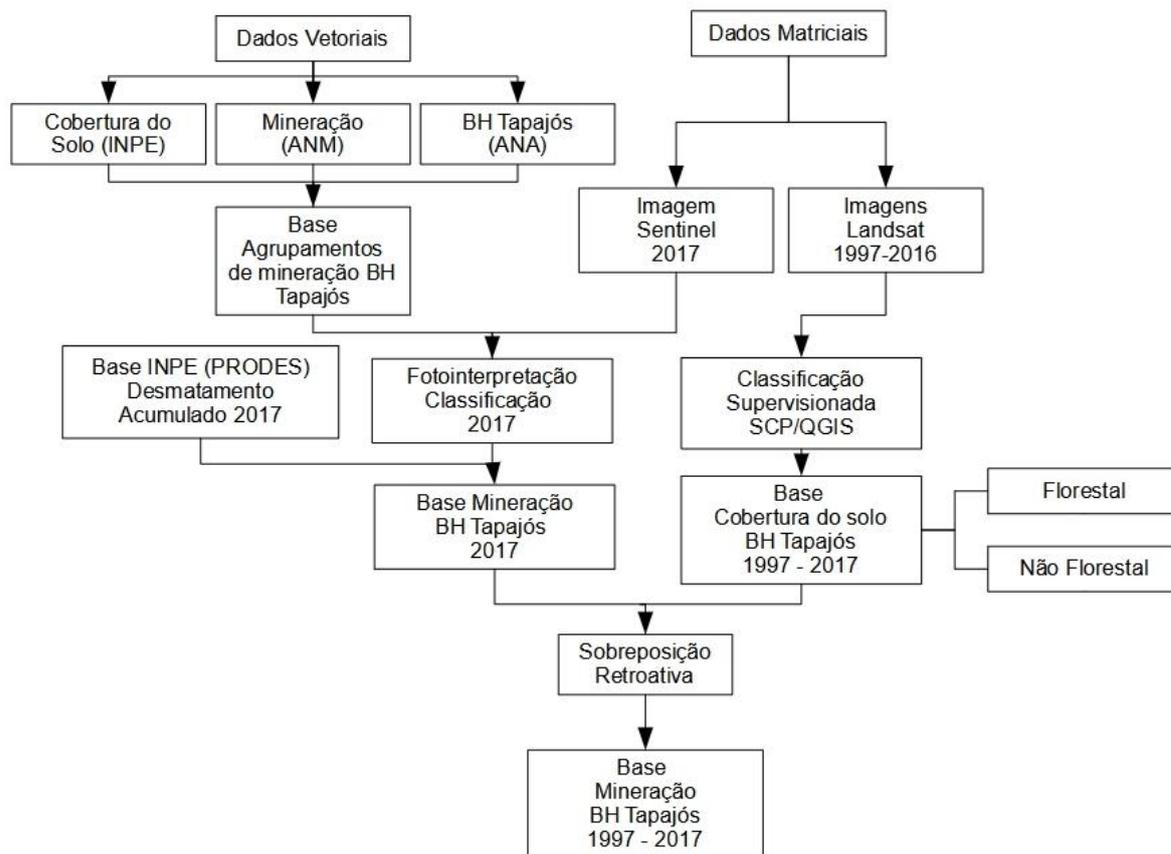


Fonte: Google Earth, 2022.

#### 3.2.2.1 Base de Mineração 1

A primeira base é produto do geoprocessamento de imagens orbitais da série Landsat e Sentinel, e dados geoespaciais de cobertura do solo e mineração, segundo o fluxo metodológico demonstrado na Figura 4.

Figura 4 - Fluxo metodológico.



Fonte: Elaboração própria.

O perímetro da área de estudo e a rede de drenagem foram obtidos na ANA. Os dados vetoriais de municípios, unidades federativas e sedes municipais provêm da base cartográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Dados de cobertura e uso do solo amazônico e mineração foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e ANM, respectivamente.

Para processamento dos dados geoespaciais foi utilizado o *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS – versão 3.16 (QGIS Development Team, 2022).

Preliminarmente, a partir dos dados de cobertura do solo amazônico e licenças de lavras, identificaram-se os principais agrupamentos de mineração na bacia do Tapajós. Em seguida, procedeu-se com a fotointerpretação visual na escala de trabalho 1:20.000 de imagens Sentinel com resolução espacial de 10 metros, que resultou em uma base poligonal correspondente às áreas de mineração ativas e inativas para o ano de 2017.

Em seguida, a base de mineração foi sobreposta à base 2017 de desmatamento acumulado do programa PRODES/INPE, que originou no recorte dos polígonos classificados como mineração.

Dispondo da base de mineração de 2017, procedeu-se a uma análise retroativa até o ano de 1997, para a qual utilizaram-se imagens de satélite da série Landsat, submetidas à classificação supervisionada por meio da ferramenta *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), que resultou em vinte bases anuais compostas por duas classes de cobertura do solo: florestal e não-florestal. A sobreposição retroativa da base de 2017 com as bases antecedentes, permitiu quantificar o incremento anual de área de mineração para o período de 1997 – 2017.

#### 3.2.2.2 Base de Mineração 2

A segunda base foi obtida da Coleção 6 do Projeto MapBiomias (2022), uma rede colaborativa de organizações privadas e públicas, que periodicamente disponibiliza dados espaciais relativos à cobertura do solo brasileiro.

Os mapas de mineração do MapBiomias são gerados a partir da classificação pixel a pixel de imagens orbitais da série Landsat. Neste processo são utilizados algoritmos de aprendizagem de máquina (*machine learning*), por meio da plataforma *Google Earth Engine* que dispõe de alta capacidade de processamento, e dados de referência do Serviço Geológico Brasileiro da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), da Câmara de Comércio e Indústria (Ahk Brasilien), do INPE e do Instituto Socioambiental (ISA).

A Coleção 6 classifica a mineração em industrial ou garimpo, e ainda especifica o tipo do minério extraído no período de 1985 – 2020. Os respectivos dados estão disponíveis para consulta pública na Plataforma WEB do Projeto MapBiomias.

### 3.3 AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO DOS NASCIDOS À MINERAÇÃO

Atribuiu-se, para cada município sediado na bacia, quantitativos anuais de área de mineração em quatro condições de exposição, consideradas neste estudo como A, B, C e D.

As condições de exposição foram estabelecidas tendo em vista a mobilidade hídrica dos contaminantes advindos da mineração, sobretudo o mercúrio (RODRIGUES FILHO, 1995), que tendem a percorrer os cursos d'água até a localidade da residência materna.

A ingestão de pescados contaminados é a principal forma de intoxicação humana por mercúrio, sendo que espécies carnívoras mais longevas tendem a acumular maiores quantidades de mercúrio ao longo da cadeia trófica.

Nos períodos de enchentes dos rios e lagos ocorre um aumento nos teores de matéria orgânica na água, condição que favorece a metilação do mercúrio, tornando-o mais tóxico e absorvível pelos peixes. Entretanto medições de teores de mercúrio feitas em pescados consumidos no Tapajós, mesmo elevados, não apresentaram variações segundo os ciclos hidrológicos (SILVA et al., 2006).

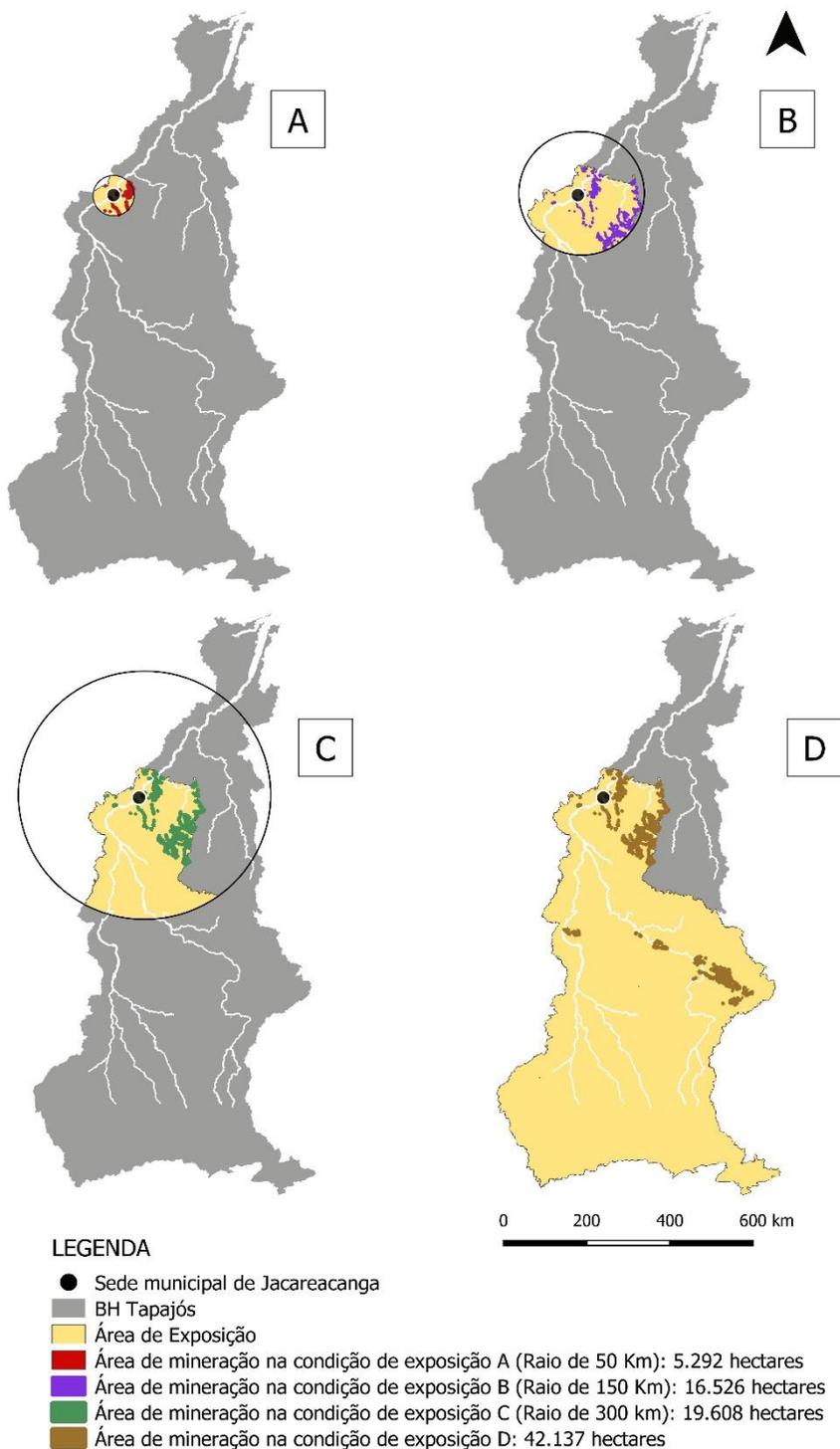
A migração sazonal de importantes espécies consumidas por comunidades do Tapajós, capazes de percorrer até centenas de quilômetros no período de reprodução (CAROLSFELD et al., 2003) tais como filhote (*Brachyplatystoma filamentosum*), jaraqui (*Semaprochilodus* spp.), Matrinhã (*Brycon* spp.), dourada (*Brachyplatystoma flavicans*) e surubim (*Pseudoplatystoma fasciatum*), é um fator que pode contribuir na dispersão do mercúrio para locais distantes da mineração.

Desta forma, em tese, quanto maior a extensão territorial atribuída à condição de exposição, maior o risco de contaminação.

As três primeiras condições consideram as áreas de mineração existentes no perímetro municipal, mais as áreas de mineração localizadas a montante dos cursos hídricos e contidas em circunferências centradas na sede municipal, com raios de 50, 150 e 300 km (condições A, B e C, respectivamente).

A quarta condição de exposição (D) considera a área de mineração inserida no perímetro municipal, mais todas as áreas de mineração localizadas à montante dos cursos hídricos que transcorrem no município. A Figura 5 exemplifica as condições de exposição à mineração em 2017 para o município de Jacareacanga/PA.

Figura 5 - Condições de exposição à mineração, atribuídas ao município de Jacareacanga/PA



Fonte: Elaboração própria.

Logo, os dados obtidos representam o quantitativo anual de área com mineração para cada município sediado na bacia, no intervalo de 20 anos (1997 a 2017), e em quatro condições de exposição.

Por fim, procedeu-se à integração dos dados de mineração com os de saúde. Para cada registro de nascido, atribuíram-se quatro quantitativos de áreas de mineração conforme as condições de exposição, sendo: áreas totais de mineração existentes a montante do município de residência materna dentro dos raios de 50, 150 e 300 km; e área total de mineração existente na porção da bacia a montante do município de residência materna.

Considerou-se como momento de exposição do nascido à mineração, o primeiro semestre de gestação, uma vez que neste período o desenvolvimento fetal é mais sensível aos efeitos da intoxicação por mercúrio (XUE et al., 2007; VIGEH et al., 2018). Quando o primeiro semestre gestacional abrangeu anos subsequentes, atribuiu-se a média simples das áreas de mineração dos anos correlatos.

A Figura 6 exemplifica três situações gestacionais (gestação 1, gestação 2 e gestação 3). Na gestação 1, os três primeiros meses encontram-se nos anos 1 (novembro e dezembro) e 2 (janeiro), neste caso foi atribuída a média simples das áreas de mineração relativas aos dois anos. Para a gestação 2 (março, abril, maio), atribuiu-se a área de mineração correspondente ao ano 2, e para a gestação 3 (setembro, outubro e novembro) a área de mineração do ano 1.

Figura 6 - Períodos gestacionais com destaque para os três primeiros meses.



Fonte: Elaboração própria.

### 3.4 MODELAGEM ESTATÍSTICA

Para a análise estatística dos dados foi aplicado o modelo de regressão logística. Nesse modelo, a variável resposta é binária, 1 ou 0, indicando ocorrência ou não da variável resposta, que, neste estudo, foram a ocorrência de prematuridade, baixo peso e malformação congênita. Essa análise é normalmente utilizada quando se quer

medir a relação de uma variável dependente binária com uma ou mais variáveis independentes, sendo que as independentes podem ser categóricas ou não (HOSMER, 2013).

Procederam-se 24 análises que verificaram os riscos das atividades de mineração na ocorrência de nascimentos prematuros, peso dos recém-nascidos e má-formações congênitas, para as duas bases de referência de dados de mineração, e as quatro condições de exposição: áreas totais de mineração existentes na bacia a montante do município de residência materna dentro dos raios de 50, 150 e 300 km; e área total de mineração existente na bacia a montante do município de residência materna.

Para controle do modelo estatístico, adotou-se como variáveis de confusão: município de residência materna, peso ao nascer (gramas), idade materna, tempo de gestação (semanas), ano de nascimento, sexo, número de consultas pré-natal, raça/cor materna (branca, preta, amarela, parda e indígena), unidade federativa de residência materna.

Idade materna, tempo de gestação e número de consultas pré-natal são variáveis determinantes para baixo peso, prematuridade e malformação congênita de recém-nascidos (RIBEIRO et al., 2009; ROCHA, 1991; BENICIO et al., 1985; MARIO-TONI e BARROS FILHO, 1998). O Ministério da Saúde recomenda às gestantes sem fatores de risco um mínimo de duas consultas pré-natal (BRASIL, 1998). Raça/cor, o município de residência materna e o ano de nascimento são fatores social, espacial e temporal que podem influenciar na mortalidade neonatal (NILSON et al. 2015; PACHECO et al. 2018).

Foi utilizado o *software* R – versão 2.13.1 (R Core Team, 2020) para a análise estatística, sendo aplicada a função para Modelos Lineares Generalizados (glm, do inglês *Generalized Linear Models*) do pacote estatístico *Survival*. O modelo estimou a porcentagem de chances com intervalo de confiança de 95%, que representa a associação entre exposição de nascidos à atividade de mineração com os riscos de ocorrência de prematuridade, baixo peso e malformação congênita. O modelo é expresso pela equação:

$$\text{logit}(Y)_{ij} = \alpha + \beta_1 (\text{Área da mineração})_j + \beta_2 (\text{Município de residência})_j + \beta_3 (\text{Peso})_j + \beta_4 (\text{Idade materna})_j + \beta_5 (\text{Gestação})_j + \beta_6 (\text{ano de nascimento})_j + \beta_7 (\text{sexo})_j + \beta_8 (\text{consultas pré-natal})_j + \beta_9 (\text{raça/cor})_j + \beta_{10} (\text{UF})_j + e_{i,j}$$

Onde  $Y$  é a probabilidade do desfecho “ $i$ ” (nascimentos prematuros, baixo peso dos recém-nascidos e incidência de más-formações congênitas) na área de mineração “ $j$ ” (área A, B, C ou D). E os fatores de confusão: município de residência materna, peso (peso ao nascer), idade (idade materna), gestação (tempo gestacional), ano de nascimento, sexo, consultas pré-natal, raça/cor materna e UF (unidade federativa de residência materna). Os coeficientes  $\beta$  são estimados a partir do conjunto de dados, pelo método da máxima verossimilhança, em que se encontra uma combinação de coeficientes que maximiza a probabilidade de a associação ter sido observada.

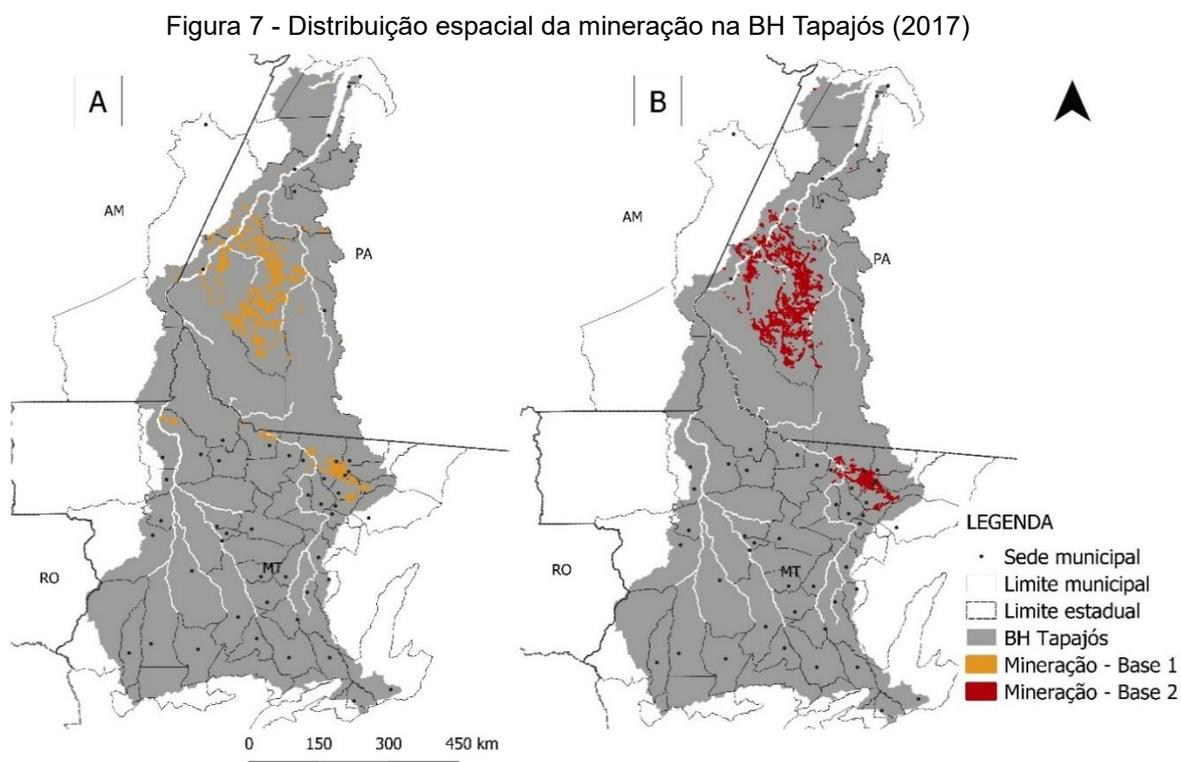
Os coeficientes foram reportados, considerando-se aumento de 1.000 hectares (10 km<sup>2</sup>) de mineração.

Os modelos (*scripts*) utilizados no *software* R para a análise estatística dos dados de prematuridade, baixo peso e malformação congênita estão apresentados no Apêndice 7.6.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 MINERAÇÃO

A distribuição espacial das áreas de mineração identificadas na bacia do Tapajós em 2017 para as bases 1 e 2 (MapBiomias) está representada na Figura 7 e descrita no Apêndice 4.1, tendo sido verificado aumento da atividade de mineração entre os anos de 1997 e 2017 de 95,13% e 294%, respectivamente.



Fonte: Elaboração própria.

Para a base 1, no ano de 1997, havia 32.541 hectares com mineração e, em 2017, 63.498 hectares, o que corresponde à ampliação espacial de 95,13%. A evolução da mineração neste período é mostrada na Figura 8.

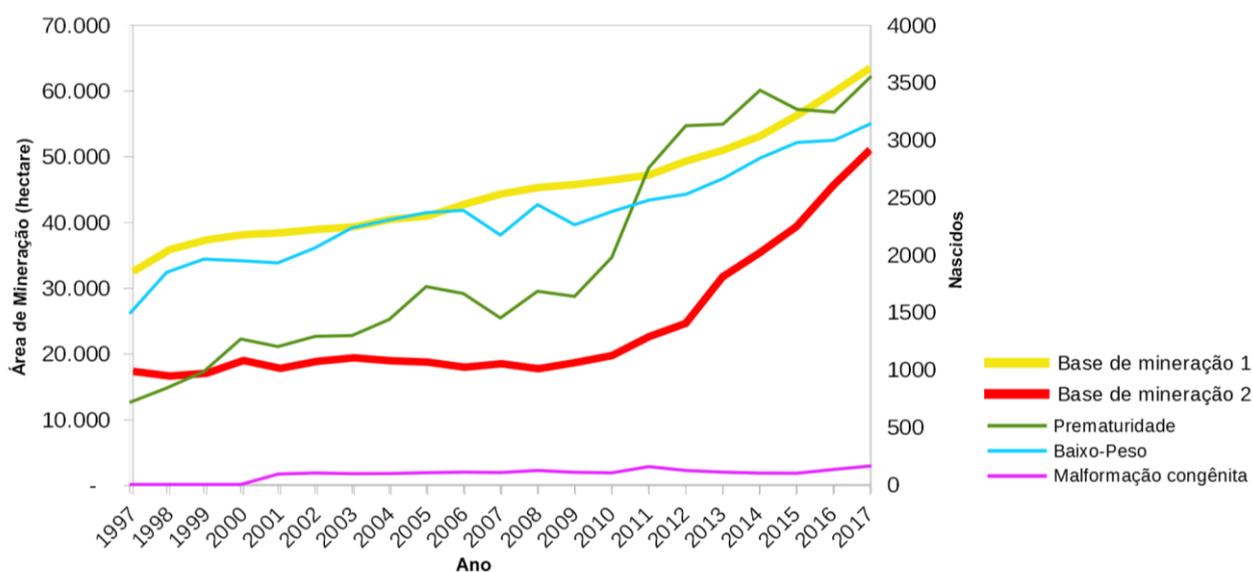
Os municípios que detêm os maiores somatórios de áreas com mineração em seus territórios são: Itaituba/PA (31.996 ha); Jacareacanga/PA (11.692 ha); Peixoto Azevedo/MT (8.859 ha); Matupá/MT (6.181 ha); Novo Mundo/MT (2.988 ha); 34 mu-

nicípios não continham área de mineração em seus territórios. Os quantitativos municipais de mineração em 2017 para as bases de referência 1 e 2 (MapBiomias) estão apontados no Apêndice 7.2.

Para a base 2, as áreas de mineração identificadas na bacia do Tapajós em 2017 totalizam 51.072 hectares. Em 1997 foram levantados 17.362 hectares com mineração, o que corresponde à ampliação de 294% em vinte anos. A evolução da mineração neste período é mostrada na Figura 8.

Os municípios que detêm os maiores somatórios de áreas com mineração em seus territórios no ano de 2017 são: Itaituba/PA (31.240 ha); Jacareacanga/PA (8.124 ha); Peixoto Azevedo/MT (5.514 ha); Matupá/MT (4.247 ha) e Novo Mundo/MT (2.799 ha); 35 municípios não continham área de mineração em seus territórios.

Figura 8 - Evolução da área de mineração na BH Tapajós no período de 1997 – 2017 para as bases 1 e 2, e quantitativos de nascidos com prematuridade, baixo-peso e malformação congênita.



Fonte: Elaboração própria.

## 4.2 NASCIMENTOS

### 4.2.1 Nascimentos Prematuros

Entre a população analisada de 426.034 nascidos no período de 1997 a 2017, 41.521 bebês apresentaram prematuridade (9,75%); desses, 49,69% eram do sexo feminino e 50,31% do masculino. A raça parda corresponde a 61,93% dos nascidos,

seguida da branca (29,40%), indígena (3,54%), preta (2,54%) e amarela (0,35%); e 82,99% das mães realizaram mais de quatro consultas pré-natal. A evolução temporal dos casos de prematuridade é mostrada na Figura 9, e o Apêndice 7.3 apresenta a distribuição municipal dos casos acumulados para o período em estudo. A descrição quantitativa dos nascimentos prematuros está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1- Características dos nascidos com prematuridade, BH Tapajós, 1997 - 2017

<b>Característica</b>	<b>n</b>	<b>%</b>
Sexo: Feminino	20.631	49,69
Sexo: Masculino	20.890	50,31
Cor/Raça materna: Branca	12.209	29,40
Cor/Raça materna: Preta	1.055	2,54
Cor/Raça materna: Amarela	146	0,35
Cor/Raça materna: Parda	25.712	61,93
Cor/Raça materna: Indígena	1.469	3,54
Pré-natal: < 4 consultas	7.063	17,01
Pré-natal: > 4 consultas	34.458	82,99

Fonte: Elaboração própria.

Tendo em vista as quatro condições de exposição à mineração (fig. 6), para a base 1, na primeira condição (A) que corresponde à área de exposição à mineração com raio de 50 km a montante do município de residência materna, os resultados indicam que, para cada 1.000 hectares de mineração, há aumento de 0,96% (IC 95%: 0,12; 1,81) no risco de nascimentos prematuros. Na condição B, que representa uma área de exposição à mineração com raio de 150 km a montante do município, a associação foi negativa, ou seja, para cada 1.000 hectares de mineração, houve redução de 4,40% (IC 95%: -7,42; -1,27) no risco de casos de prematuridade. Na terceira condição (C), na qual a exposição à mineração compreende a área contida no raio de 300 km a montante do município, não houve significância estatística, tendo como resultados -2,06% (IC 95%: -4,17; 0,08). A quarta condição (D), que abrange toda a área da BH Tapajós a montante do município de residência materna, os resultados indicam aumento de 2,41% (IC 95%: 1,88; 2,94) no risco de nascimentos prematuros para cada 1.000 hectares de mineração. A Figura 10 mostra a variação percentual no risco de prematuridade associado à mineração segundo a base 1, nas quatro condições de exposição para o período de 1997 a 2017.

Para a base de mineração 2 (MapBiomias), na primeira condição (A), que corresponde à área de exposição com raio de 50 km a montante do município de residência materna, os resultados indicam associação positiva, na qual, a cada 1.000 hectares de mineração, há aumento de 3,17% (IC 95%: -0,97; 7,48) no risco de prematuridade. Nas condições B e C, com áreas de exposição à mineração com raios de 150 km e 300 km a montante do município, não houve significância estatística, tendo como resultados -1,09% (IC 95%: -3,44; 1,32) e 0,53% (IC 95%: -0,51; 1,60) respectivamente. A quarta condição (D), que abrange toda a área da BH Tapajós a montante do município de residência materna, os resultados indicam aumento de 1,06 % (IC 95%: 0,74; 1,37) no risco de casos de prematuridade para cada 1.000 hectares de mineração. A Figura 11 mostra a variação percentual no risco de prematuridade associado à mineração para a base 2 (MapBiomias), nas quatro condições de exposição para o período de 1997 a 2017.

#### 4.2.2 Baixo Peso

Entre a população analisada de 426.034 nascidos no período de 1997 a 2017, 49.068 recém-nascidos apresentaram baixo peso (11,52%); desses, 44,64% eram do sexo feminino e 55,36% do masculino. A raça parda corresponde a 59,30% dos nascidos, seguida da branca (31,87%), indígena (2,89%), preta (2,25%) e amarela (0,38%); e 84,22% das mães realizaram mais de quatro consultas pré-natal. A evolução temporal de nascidos com baixo peso é mostrada na Figura 9, e o Apêndice 7.3 apresenta a distribuição municipal dos casos acumulados para o período em estudo. A descrição quantitativa dos nascimentos com baixo peso está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Características dos nascidos com baixo peso, BH Tapajós, 1997 – 2017

<b>Característica</b>	<b>n</b>	<b>%</b>
Sexo: Feminino	21.905	44,64
Sexo: Masculino	27.163	55,36
Cor/Raça materna: Branca	15.637	31,87
Cor/Raça materna: Preta	1.106	2,25
Cor/Raça materna: Amarela	185	0,38
Cor/Raça materna: Parda	29.096	59,30
Cor/Raça materna: Indígena	1.419	2,89
Pré-natal: < 4 consultas	7.741	15,78
Pré-natal: > 4 consultas	41.327	84,22

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 10 mostra a variação percentual no risco de nascidos com baixo peso associado à mineração para a base 1, nas quatro condições de exposição no período de 1997 a 2017. Para a base 1, na primeira condição (A), que corresponde à área de exposição à mineração com raio de 50 km a montante do município de residência materna, os resultados indicam que, para cada 1.000 hectares de mineração, há aumento de 0,90% (IC 95%: 0,37; 1,43) no risco de nascimentos com baixo peso. Nas condições B e C, que representam a área de exposição à mineração com raios de 150 e 300 km a montante do município, a associação foi negativa, ou seja, para cada 1.000 hectares de mineração houve reduções no risco de casos com baixo peso em 3,26% (IC 95%: 5,04; 1,45) e 1,81% (IC 95%: 3,08; 0,52), respectivamente. A quarta condição (D), que abrange toda a área da BH Tapajós a montante do município de residência materna, os resultados indicam aumento de 0,43% (IC 95%: 0,13; 0,74) no risco de nascimentos com baixo peso para cada 1.000 hectares de mineração.

Para a base de mineração 2 (MapBiomias), nas condições A e B, com áreas de exposição à mineração de 50 e 150 km a montante do município, não houve significância estatística, tendo como resultados -0,33% (IC 95%: -2,93; 1,93) e 0,31% (IC -1,15; 1,81), respectivamente. Na terceira condição (C), que corresponde a área de exposição com raio de 300 Km a montante do município de residência materna, os resultados indicam associação positiva em que, a cada 1.000 hectares de mineração, há aumento de 0,77% (IC 95%: 0,08; 1,46) no risco de nascidos com baixo peso. A quarta condição (D), que abrange toda a área da BH Tapajós a montante do município de residência materna, os resultados indicam aumento de 0,34 % (IC 95%: 0,15; 0,54) no risco de nascimentos com baixo peso para cada 1.000 hectares de mineração. A Figura 11 mostra a variação percentual no risco de nascidos com baixo peso associado à mineração para a base 2 (MapBiomias) nas quatro condições de exposição no período de 1997 a 2017.

#### **4.2.3 Más-formações Congênitas**

Entre a população analisada de 426.034 nascidos no período de 1997 a 2017, 1.894 recém-nascidos apresentaram malformação congênita (0,44%); desses, 56,60% eram do sexo feminino e 43,40% do masculino. A raça parda corresponde a 65,68% dos nascidos, seguida da branca (29,46%), preta (2,32%), indígena (1,85%) e amarela (0,26%); e 88,17% das mães realizaram mais de quatro consultas pré-natal. A evolução temporal dos casos de nascidos com malformação congênita é mostrada

na Figura 9, e o Apêndice 7.3 apresenta a distribuição municipal dos casos acumulados para o período em estudo. A descrição quantitativa dos nascidos com malformação congênita está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Características dos nascidos com malformação congênita, BH Tapajós, 1997 - 2017

<b>Característica</b>	<b>n</b>	<b>%</b>
Sexo: Feminino	1.072	56,60%
Sexo: Masculino	822	43,40%
Cor/Raça materna: Branca	558	29,46%
Cor/Raça materna: Preta	44	2,32%
Cor/Raça materna: Amarela	5	0,26%
Cor/Raça materna: Parda	1.244	65,68%
Cor/Raça materna: Indígena	35	1,85%
Pré-natal: < 4 consultas	224	11,83%
Pré-natal: > 4 consultas	1.670	88,17%

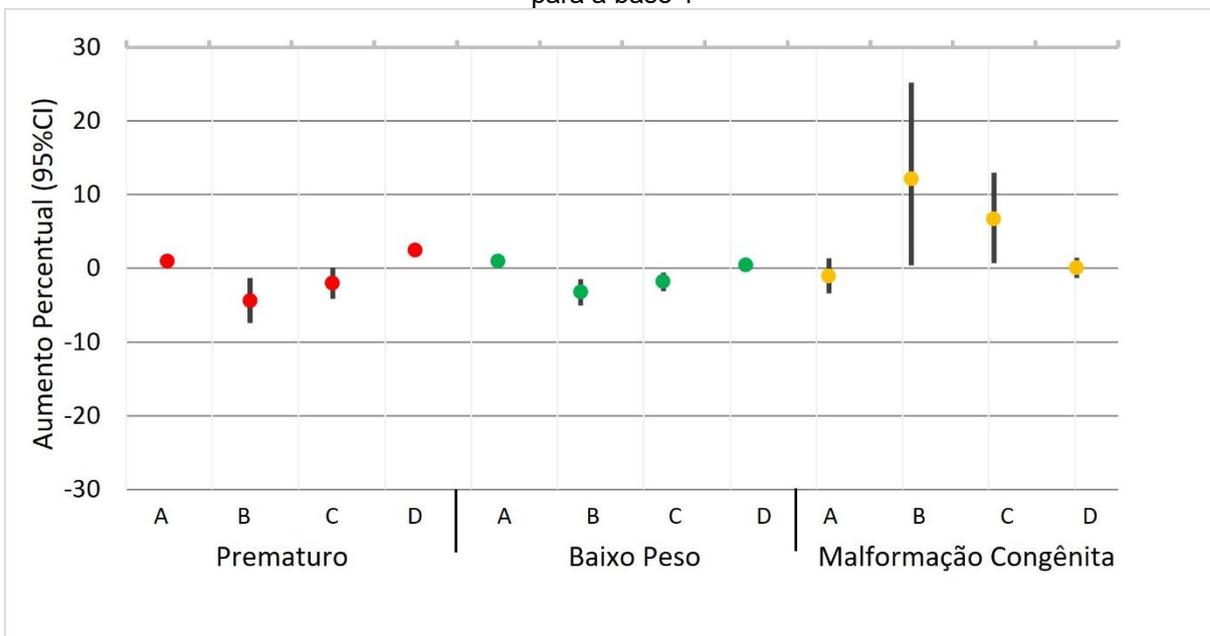
Fonte: Elaboração própria.

A Figura 10 mostra a variação percentual no risco de nascidos com malformação congênita associado à mineração para a base 1 nas quatro condições de exposição para o período de 1997 a 2017. Para a base 1, na primeira condição (A), que corresponde à área de exposição à mineração com raio de 50 km a montante do município de residência materna, não houve significância estatística, tendo como resultado -1,04% (IC 95%: -3,39; 1,36). Na condição B, que representa a área de exposição à mineração com raio de 150 km a montante do município, os resultados indicam aumento de 12,13% (IC 95%: 0,43; 25,19) no risco de nascidos com malformação congênita para cada 1.000 hectares de mineração. Na terceira condição (C), que corresponde à área de exposição à mineração com raio de 300 km a montante do município de residência materna, os resultados indicam que, para cada 1.000 hectares de mineração, há aumento de 6,67% (IC 95%: 0,72; 12,96) no risco de nascidos com malformação congênita. Para a quarta condição (D), não houve significância estatística, tendo como resultado 0,06% (IC 95%: -1,33; 1,48).

Para a base de mineração 2 (MapBiomias), não houve significância estatística para as quatro condições de exposição (A, B, C e D) e os resultados obtidos foram -1,11% (IC 95%: -9,46; 8,00); 3,42% (IC 95%: -2,98; 10,24); -1,21% (IC 95%: -4,09; 1,75); -0,56% (IC 95%: -1,41; 0,29), respectivamente (Figura 11).

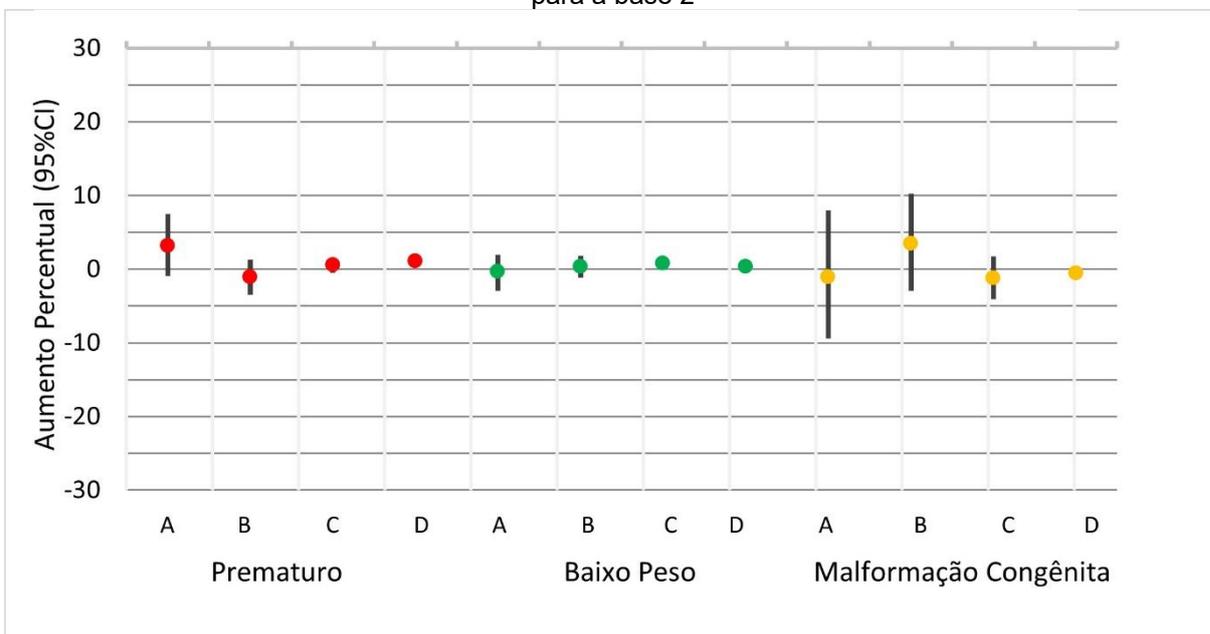
Os coeficientes obtidos para as duas bases de mineração estão descritos nos Apêndices 7.4 e 7.5.

Figura 9 - Variação percentual no risco (IC 95%) de prematuridade, baixo peso e malformação congênita, associado à mineração nas condições de exposição A, B, C e D, no período de 1997 – 2017 para a base 1



Fonte: Elaboração própria.

Figura 10 - Aumento percentual no risco (IC 95%) de prematuridade, baixo peso e malformação congênita, associado à mineração nas condições de exposição A, B, C e D, no período de 1997 – 2017 para a base 2



Fonte: Elaboração própria.

### 4.3 DISCUSSÃO

O estudo mostrou uma relação não linear dos resultados obtidos para as quatro condições de exposição (fig. 6), conforme é observado nas Figuras 10 e 11. Tal

comportamento pode ser atribuído a fatores não considerados no modelo estatístico, relativos à hidrologia, às atividades agropecuárias, ao desmatamento, aos contaminantes diversos, aos aspectos socioeconômicos, dentre outros.

Ciclos hidrológicos influenciam nos teores de matéria orgânica dos corpos hídricos, o que tende a elevar os níveis de mercúrio tóxico no ecossistema aquático durante as cheias dos rios e lagos (LACERDA e SALOMONS, 1996; TRIGUEIRO e MELAMED, 1996). Desta forma, bebês nascidos de gestações nas quais os primeiros três meses foram simultâneos ao período de cheias, em tese estariam mais expostos à intoxicação por mercúrio.

Além da mineração, as atividades agropecuárias são tidas como importantes emissores de contaminantes hídricos, provenientes principalmente do uso de pesticidas e de fertilizantes químicos (RESENDE, 2002; STEFFEN, STEFFEN e ANTONIOLLI, 2011). A sojicultura ocupava, em 2017, cerca de 9,47% da BH Tapajós, concentrada principalmente na porção alta da bacia (MapBiomias, 2022). Pesquisadores verificaram contaminação hídrica por constituintes químicos de pesticidas aplicados em lavouras de soja no município de Lucas de Rio Verde/MT (MOREIRA, et al., 2012). Dutra e Ferreira (2017) encontraram associação positiva entre o uso de pesticidas e o risco de nascidos com malformações congênitas. Outro estudo apontou indícios de prematuridade associada à exposição aos pesticidas (CREMONESE et al., 2012).

Os solos da BH Tapajós são naturalmente ricos em mercúrio, e a exposição do solo devido à perda da cobertura vegetal e de matéria orgânica favorece as transferências deste contaminante para os corpos hídricos (ROULET et al., 1998; ROULET et al., 1999; FARELLA et al., 2001; ALMEIDA et al., 2005). Segundo a Figura 2, até o ano de 2017, cerca de 26,35% da bacia havia sido convertida para a produção agropecuária.

Observa-se também que a base de mineração 1 obteve intervalos de confiança menores em relação à segunda base (MapBiomias), o que pode ser atribuído ao fato de a primeira base conter tanto as áreas de mineração ativas quanto as inativas, o que resulta na melhor distribuição logística dos dados para os casos binários.

A Tabela 1 mostra os percentuais do total de nascidos em 2017 para casos com prematuridade, baixo peso e malformação congênita no estado do Pará, o que corresponde a 11,83%, 7,52% e 0,49%, respectivamente. Quando comparados com os respectivos percentuais de 14,25%, 5,32% e 0,58% para a Região de Saúde do Tapajós (fig. 3), região na qual se concentra atualmente a mineração da BH Tapajós, verifica-se que prematuridade e malformação congênita possuem valores acima da média estadual. Os percentuais médios obtidos para prematuridade, baixo peso e malformação congênita para a série temporal 1997 – 2017 na BH Tapajós são 9,75%, 11,52% e 0,44%, respectivamente, com destaque para o percentual elevado de nascidos com baixo peso.

Contudo, os resultados aferiram a associação positiva entre a mineração e os riscos de prematuridade e baixo peso para a base 1 em duas condições de exposição (A e D), e para base 2 (MapBiomias) na condição e exposição D.

Estudo com 1.024 gestantes residentes em Michigam, nos Estados Unidos, verificou que aquelas com níveis mais elevados de mercúrio em amostras de cabelo eram mais propensas a terem o parto prematuro (XUE et al., 2007). Outro estudo, realizado no Japão com 525 gestantes, observou associação negativa entre os níveis de mercúrio no sangue materno com o peso dos recém-nascidos (VIGEH et al., 2018).

Em relação aos casos de malformação congênita, os coeficientes obtidos para a base 1 indicam significância estatística para duas condições de exposição (B e C), entretanto o nível de incerteza para a associação de risco é maior, uma vez que os intervalos de confiança alcançados foram maiores que os encontrados para as demais variáveis respostas. Isto pode ser atribuído ao menor número amostral dos casos de malformação congênita (0,44%) quando comparado aos de prematuridade (9,7%) e baixo peso (11,52%).

A exposição ao mercúrio pode causar efeitos adversos ao sistema nervoso, sendo o cérebro em desenvolvimento particularmente vulnerável (MYERS, 1998; CLARKSON e MAGOS, 2006). Assim, fetos são especialmente suscetíveis aos efeitos tóxicos do mercúrio, sendo a prematuridade, o baixo-peso e a incidência de más-formações congênitas importantes marcadores do desenvolvimento intrauterinos e preditores do desenvolvimento infantil (BARKER, 1990).

Embora a associação entre a exposição à mineração e os riscos à saúde de recém-nascidos tenha sido observada neste estudo, os resultados devem ser interpretados tomando-se em conta algumas limitações. Primeiro, os resultados apenas sugerem uma associação entre a mineração e o risco à saúde de recém-nascidos, pois não indicam a causa-efeito entre exposição e nascimentos prematuros, com baixo-peso e más-formações congênitas. Segundo, não foram consideradas importantes as variáveis preditoras relativas à exposição a contaminantes advindos de outras atividades poluentes, como, por exemplo, a agropecuária e os serviços de saneamento precários, as emissões decorrentes do desmatamento e das queimadas, os ciclos hidrológicos, além de informações individuais maternas, tais como: obesidade, tabagismo, hábito alimentar e outras. A potencial implicação desta limitação está relacionada à estimativa imprecisa (subestimar ou superestimar) da associação entre a exposição à mineração e a saúde de recém-nascidos.

Quanto aos aspectos positivos, os resultados contribuem para fortalecer a evidência de que a mineração representa um risco para a saúde de recém-nascidos, segundo levantamento, pois se trata do primeiro estudo no Brasil que verifica esta associação para um período de vinte anos e com uma amostragem substancial, uma vez que abrangeu mais de 400 mil registros de nascimentos em toda a BH Tapajós. Outro ponto positivo, se refere à replicabilidade da metodologia utilizada em novas análises, envolvendo outras atividades que não a mineração, tais como a agropecuária, a expansão urbana, obras de infraestrutura, e o risco que estas venham a representar para a saúde das populações circunstantes, evidenciando potenciais conflitos hídricos.

## 5 CONCLUSÕES

O estudo sugere que a exposição à mineração pode aumentar os riscos associados aos nascimentos prematuros, ao baixo peso e à malformação congênita de recém-nascidos da BH Tapajós. As hipóteses apresentadas foram verificadas para ambas as bases de mineração consideradas. Análises adicionais são demandadas para consolidar as evidências científicas, visto que este é um dos poucos estudos que associam atividades de mineração como fator de risco para a saúde de recém-nascidos na BH Tapajós.

No contexto da gestão dos recursos hídricos, o conflito entre usuários necessita ser percebido, caracterizado e reconhecido pelos órgãos gestores, para que decisões sejam tomadas. Os resultados obtidos indicam a presença de conflito latente entre usuários de recursos hídricos, com potencial de evolução para um estado de difícil remediação. O estudo contribui na percepção deste conflito, e evidencia a necessidade de celeridade na implementação da política de recursos hídricos na BH Tapajós. Uma vez que a poluição hídrica decorrente da mineração comumente atua de forma silenciosa e lenta na saúde das pessoas, quando percebida tardiamente provoca danos totais ou parcialmente irreversíveis.

No âmbito do programa ProfÁgua, o estudo condiz com a linha de pesquisa Segurança Hídrica e Usos Múltiplos da Água, da área de concentração Regulação e Governança de Recursos Hídricos, ao propor um modelo que contribui para a gestão de riscos envolvendo poluição de corpos hídricos, degradação de ambientes aquáticos e doenças de veiculação hídrica. Diante de uma dinâmica espacial e temporal, pode subsidiar a tomada de decisões pelos órgãos gestores e colegiados do sistema de gestão das águas.

Cita-se ainda, o Programa de Apoio ao Desenvolvimento da Mineração Artesanal e em Pequena Escala (Pró-Mape), recém instituído pelo Decreto Federal Nº 10.966/2022, que visa promover a mineração artesanal no país, entretanto a sua implementação passa pela governança hídrica. Visto a interdependência entre as questões socioeconômicas, ambientais e a mineração, o contrário tende a agravar a problemática apresentada.

Por fim, os resultados destacam a importância do monitoramento da qualidade das águas na BH Tapajós associado à saúde de gestantes e recém-nascidos. O estudo demonstra a aplicabilidade de análises espaço temporais na geração de informações capazes de subsidiar a implementação de políticas públicas, tanto de vigilância em saúde pública como da gestão dos recursos hídricos.

## 6 REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Outorgas emitidas**. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/outorga/outorgas-emitidas>. Acesso em: 02/07/2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020**: informe anual / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília: ANA, 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Enquadramento dos corpos d'água em classes** / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. -- Brasília: ANA, 2020a.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos** / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Sistemas de Informação na gestão de águas**: conhecer para decidir / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água** / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Plano estratégico de recursos hídricos dos afluentes da margem direita do rio Amazonas**: resumo executivo / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2012.
- ALEIXO, Eriki; LIMA, Ariene dos Santos; AURELIANO, Ivo Cípio. Mortes, invasões e garimpo em terras indígenas no estado de Roraima: entre mobilizações étnicas e conflitos sociais. **Vukkápanavo: revista Terena**, n. 3, p. 13-36, nov. 2020. Disponível em: <http://ds.saudeindigena.icict.fiocruz.br/handle/bvs/4166>.
- ALMEIDA, Marcelo D.; LACERDA, Luiz D.; BASTOS, Wanderley R.; HERRMANN, João Carlos. Perda de mercúrio do solo após conversão de floresta em pastagem em Rondônia, Amazônia Ocidental, Brasil. **Poluição ambiental**, v. 137, n. 2, p. 179-186, 2005.
- AMARAL, Wander Gladson; PEREIRA, Israel Marinho; MUCIDA, Danielle Puzana; MACHADO, Evandro Luiz Mendonça; SILVA, Michele Aparecida Pereira da. Dinâmica da vegetação colonizadora em três áreas degradadas pelo garimpo na Serra do Espinhaço Meridional. **Nativa**, v. 8, n. 2, p. 231-238, 2020.
- AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê; VANZELA, Luis Sergio; CASTRO, Cristina Veloso; Mansano, Cleber Fernando Menegasso; TAGLIAFERRO, Evandro Roberto. A gestão das águas no Brasil: uma abordagem sobre os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 7, n. 53, 2019.
- ARAÚJO, Marlon Aurélio Tapajós; DE SALES BELO, Patrícia. Grandes projetos minerários e comunidades tradicionais na Amazônia: impactos e perspectivas. **Revista de Políticas Públicas**, v. 13, n. 2, p. 265-277, 2009.

BALLESTER, Ferran; IÑIGUEZ, Carmen; MURCIA, Mario; GUXENS, Mònica; BASTERRETXEA, Mikel; REBAGLIATO, Marisa; VIOQUE, Jesús; LERTXUNDI, Aitana; FERNANDEZ-SOMOANO, Ana; TARDON, Adonina; SUNYER, Jordi; LLOP, Sabrina. Prenatal exposure to mercury and longitudinally assessed fetal growth: relation and effect modifiers. **Environmental research**, v. 160, p. 97-106, 2018.

BARKER, David J. The fetal and infant origins of adult disease. **British Medical Journal** - BMJ, v. 301, n. 6.761, p. 1.111, 1990.

BARRETO, Luciano Vieira; BARROS, Flávia Mariani; BONOMO, Paulo; ROCHA, Felizardo Adenilson; AMORIM, Jhones da Silva. Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia biosfera**, v. 9, n. 16, 2013.

BARRETO, Maria Laura. **Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001.

BARROS, Márcio Júnior Benassuly. **Mineração, finanças públicas e desenvolvimento local no município de Barcarena-Pará**. 2009. Dissertação (Mestre em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGeo. Organização e gestão do território. Universidade Federal do Pará. Belém – Pará, 2009.

BASTA, Paulo Cesar (Coord.). **Avaliação da Exposição Ambiental ao Mercúrio Proveniente de Atividade Garimpeira de Ouro na Terra Indígena Yanomami, Roraima, Amazônia, Brasil**. Relatório parcial em 22 de março de 2016. Disponível em: <https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/yad00603.pdf>.

BASTA, Paulo Cesar; HACON, Sandra de Souza. **Impacto do mercúrio na saúde do povo indígena Munduruku, na bacia de Tapajós**. Fundação Oswaldo Cruz – Fiocruz, 2020. Disponível em: <http://ds.saudeindigena.icict.fiocruz.br/handle/bvs/3749>

BASTOS, W. R.; LACERDA, L. D. A contaminação por mercúrio na bacia do rio madeira: uma breve revisão. **Geochimica Brasiliensis**, v. 18, p. 99-114, 2004.

BENICIO, Maria Helena D'Aquino; MONTEIRO, Carlos Augusto; SOUZA, José Maria Pacheco de; CASTILHO, Euclides Aires de; LAMONICA, Isildinha Marques dos Reis. Análise multivariada de fatores de risco para o baixo peso ao nascer em nascidos vivos do município de São Paulo, SP (Brasil). **Revista de Saúde Pública**, v. 19, n.4, p. 311-320, 1985. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/YVcnXwS6ZBL-ByYfK5cTrSnd/?lang=pt>.

BISINOTI, Márcia Cristina; JARDIM, Wilson F. O comportamento do metilmercúrio (metilHg) no ambiente. **Química Nova** [online], v. 27, n. 4, p. 593-600, 2004. Disponível em: [http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0100-40422004000400014&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-40422004000400014&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt).

BJÖRNBERG, Karolin Ask; VAHTER, Marie; GRAWÉ, Kierstin Petersson; BERGLUND, Marika. Methyl mercury exposure in Swedish women with high fish consumption. **Science of the total environment**, v. 341, n. 1-3, p. 45-52, 2005.

BOBAK, Martin. Outdoor air pollution, low birth weight, and prematurity. **Environmental health perspectives**, v. 108, n. 2, p. 173-176, 2000.

BOISCHIO, Ana Amelia P.; BARBOSA, Antonio. Exposição ao mercúrio orgânico em populações ribeirinhas do Alto Madeira, Rondônia, 1991: resultados preliminares. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 9, n. 2, p. 155-160, 1993. Disponível em:

[https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource\\_ssm\\_path=/media/assets/csp/v9n2/06.pdf](https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/csp/v9n2/06.pdf).

BORDENAVE, Guy. Louis Pasteur (1822–1895). **Microbes infect**, v. 5, n. 6, p. 553-560, 2003.

BRABO, Edilson da Silva; SANTOS, Elisabeth de Oliveira; JESUS, Iracina Maura de; MASCARENHAS, Artur Fernando; FAIAL, Kleber Freitas. Níveis de mercúrio em peixes consumidos pela comunidade indígena de Sai Cinza na Reserva Munduruku, Município de Jacareacanga, Estado do Pará, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 15, n. 2, p. 325-332, 1999.

BRAGA, A.L.F.; PEREIRA, L.A.A.; MARTINS, C.M.; GARCIA LOPES, R.M.; KUMMROW F. **Manual de Epidemiologia Ambiental Nível Superior**. Santos, SP: Editora Universitária Leopoldiana, 2015. Disponível em: <https://www.unisantos.br/wp-content/uploads/2018/05/Vigilancia-saude-ambiental-superior.pdf>.

BRANCO, Maria Alice Fernandes. Sistemas de informação em saúde no nível local. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 12, n. 2, p. 267-270, 1996.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de águas superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes. Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Mortalidade infantil no Brasil. **Boletim Epidemiológico 37**, v. 52, Brasília, 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância em saúde no Brasil 2003|2019: da criação da Secretaria de Vigilância em Saúde aos dias atuais. **Bol. Epidemiol.** [Internet], v. 50, n. esp., p. 1-154, set. 2019. Disponível em: <http://www.saude.gov.br/boletins-epidemiologicos>.

BRASIL, Ministério da Saúde, **Resolução Nº 1, de 29 de setembro de 2011**. Estabelece diretrizes gerais para a instituição de Regiões de Saúde no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS), nos termos do Decreto Nº 7.508, de 28 de junho de 2011. Brasília, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Assistência pré-natal**: normas e manuais técnicos / equipe de colaboração: Martha Ligia Fajardo... [et al.]. 3º ed. Brasília: Ministério da Saúde, 1998. 62p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. **Portaria MS/SVS Nº 685, de 27 de agosto de 1998**. Aprova o Regulamento Técnico: "Princípios Gerais para o Estabelecimento de Níveis Máximos de Contaminantes Químicos em Alimentos" e seu Anexo: "Limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos". Brasília, 1998.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, Brasília, 1997. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm).

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm).

BRASIL. Presidência da República. Secretaria de Imprensa e Divulgação. **Grande Carajás**. Grande Carajá, Brasília, 1982. 35p

CABRAL, Ana Lúcia Borges; RIBEIRO, Andressa de Andrade; LIMA, Lucas Rodrigues Castilho de; MACHADO, Lara Cândida de Sousa. A gravidez na adolescência e seus riscos associados: revisão de literatura. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 6, p. 19647-19650, 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJHR/article/view/22248>.

CAETANO, Laíse Conceição; NETTO, Luciana; MANDUCA, Juliana Natália de Lima. Gravidez depois dos 35 anos: uma revisão sistemática da literatura. **Revista mineira de enfermagem**, v. 15, n. 4, p. 579-587, 2011. Disponível em: <http://www.reme.org.br/artigo/detalhes/73>.

CARAPETO, Cristina. **Poluição das águas**: causas e efeitos. Lisboa: Universidade Aberta, 1999. 241p.

CAROLSFELD, Joachim; HARVEY, Brian; ROSS, Carmen; BAER, Anton (eds.). **Migratory fishes of South America**: biology, fisheries and conservation status. World Fisheries Trust, World Bank, IDRC, 2003.

CASTRO, Edna; CARMO, Eunápio do (org.). **Dossiê Desastres e Crimes da Mineração em Barcarena**. Belém: NAEA: UFPA, 2019. Disponível em: <https://conflito-sambientaismg.lcc.ufmg.br/wp-content/uploads/2021/03/Dossie-desastes-da-minerac%CC%A7a%CC%83o.pdf>.

CAVALCANTI, Matuzalem; FERNANDES, Bernardo Mançano. Territorialização do agronegócio e concentração fundiária. **Revista Nera**, n. 13, p. 16-25, 2012. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/nera/article/view/1387>.

CÉSAR, J. A.; HORTA, B. L. **Desigualdade e perversidade: epidemiologia do adoecer no extremo sul do Brasil**. Rio Grande: Editora da FURG, 1997.

CLARKSON, Thomas William. Human health risks from methylmercury in fish. **Environmental Toxicology and Chemistry**: An International Journal, v. 9, n. 7, p. 957-961, 1990. Disponível em: <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/etc.5620090713>.

CLARKSON, Thomas William; MAGOS, Laszlo. The toxicology of mercury and its chemical compounds. **Crit. Rev. Toxicol.**, 36(8): p. 609-662, Sep. 2006. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16973445/>.

COELHO, Maria Célia Nunes; MONTEIRO, Maurílio de Abreu. **Mineração e reestruturação espacial na Amazônia**. Belém: NAEA, 2007.

COELHO, Tádzio. Mineração e dependência no quadrilátero ferrífero. **Revista Intra-textos**, v. 3, n. 1, p. 128-146, 2012.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CONAMA. **Resolução n. 29, de 11 de dezembro de 2002**. Define diretrizes para a outorga de uso dos recursos hídricos para o aproveitamento dos recursos minerais. Publicado DOU em 31/03/2003. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2018/02/Resolu%C3%A7%C3%A3o-n%C2%BA-29-de-11-de-Dezembro-de-2002-CNRH.pdf>.

COSTA Jr., José Maria Farah; SILVA, Camile Irene Mota da; LIMA, Abner Ariel da Silva; RODRIGUES Junior, Dario; SILVEIRA, Luiz Carlos de Lima; SOUZA, Givago

da Silva; PINHEIRO, Maria da Conceição Nascimento. Teores de mercúrio em cabelo e consumo de pescado de comunidades ribeirinhas na Amazônia brasileira, região do Tapajós. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 23, p. 805-812, 2018. Disponível em: <https://www.cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/teores-de-mercúrio-em-cabelo-e-consumo-de-pescado-de-comunidades-ribeirinhas-na-amazonia-brasileira-regiao-dos-tapajos/15682?id=15682>.

COSTA, Marcelo Pires da; CONEJO, João Gilberto Lotufo. A implementação do enquadramento dos corpos d'água em bacias hidrográficas: Conceitos e procedimentos. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2009, **Anais [...]**, Brasília: ABRHidro, 2009. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=10809>.

CREMONESE, Cleber; FREIRE, Carmen; MEYER, Armando; KOIFMAN, Sergio. Exposição a agrotóxicos e eventos adversos na gravidez no Sul do Brasil, 1996-2000. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 28, n. 7, p. 1.263-1.272, jul. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/Gsk7CmR6VZL4G4JqxpdtGxq/abstract/?lang=pt>.

CUNHA, Luís Veiga da. Perspectivas da gestão da água para o século XXI: desafios e oportunidades. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH**, v. 7, n. 4, p. 65-73, out./dez. 2002. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=101&SUMARIO=1601>.

DOLK, Helen; VRIJHEID, Martine. The impact of environmental pollution on congenital anomalies. **British Medical Bulletin**, v. 68, n. 1, p. 25-45, 2003.

DUTRA, Lidiane Silva; FERREIRA, Aldo Pacheco. Associação entre malformações congênitas e a utilização de agrotóxicos em monoculturas no Paraná, Brasil. **Saúde em Debate**, v. 41, p. 241-253, 2017.

ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN – ECLAC. **Network for Cooperation in Integrated Water Resource Management for Sustainable Development in Latin America and the Caribbean. Circular N° 45**. February 2017R.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – Embrapa; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **GeoPortal TerraClass**. Disponível em: <https://www.terraclass.gov.br/geoportal-aml/>. Acesso em: 05/05/21.

ENRÍQUEZ, Maria Amélia. Mineração na Amazônia. **Parcerias Estratégicas**, v. 19, n. 38, p. 155-198, 2015.

ETO, Komyo. Minamata disease. **Neuropathology**, v. 20, p. 14-19, 2000.

EVANS, Emily C. The FDA recommendations on fish intake during pregnancy. **Journal of Obstetric, Gynecologic, & Neonatal Nursing**, v. 31, n. 6, p. 715-720, 2002.

FARELLA, N.; LUCOTTEA, M.; LOUCHOUARNB, P.; ROULETC, M. Deforestation modifying terrestrial organic transport in the Rio Tapajos, Brazilian Amazon. **Organic Geochemistry**, v. 32, n. 12, p. 1.443-1.458, 2001.

FARIAS, Carlos Eugênio Gomes. Mineração e meio ambiente no Brasil. **Relatório do CGEE/PNUD**, v. 76, p. 2, 2002.

FENNER, André Luiz Dutra; CALDAS, Ricardo Wahrendorff; VILLARDI, Juliana Wotzasek Rulli; MACHADO, Aletheia de Almeida; GOMES, Guilherme Augusto Pires;

- MOURA, Bianca Coelho. Nova Convenção Internacional sobre o mercúrio expõe desafios para Saúde Global. **Comunicação em Ciências da Saúde**, v. 28, n. 03/04, p. 326-332, 2017. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/40447>.
- FERNANDES, F.R.C.; ARAUJO, E.R. Mineração no Brasil: crescimento econômico e conflitos ambientais. In: **Conflitos ambientais na indústria mineira e metalúrgica...** Rio de Janeiro: CETEM/CICP, 2016, p.65-88. [No texto está 2012]
- FREITAS MUNIZ, Daphne Heloisa de; OLIVEIRA-FILHO, Eduardo Cyrino. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da saúde**, v. 4, n. 1, p. 83-100, 2006.
- FREITAS, C. M. D.; BARCELLOS, C.; ASMUS, C. I. R. F.; SILVA, M. A. D.; XAVIER, D. R. Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva. **Cadernos de Saúde Pública**, 35, 2019.
- FREITAS, Marcelo Bessa; FREITAS, Carlos Machado de. A vigilância da qualidade da água para consumo humano: desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 10, p. 993-1004, 2005.
- GAIOLI, Marisa; AMOEDO, Diego; GONZÁLEZ, Daniel. Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente. **Archivos argentinos de pediatría**, v. 110, n. 3, p. 259-264, 2012.
- GIATTI, Leandro Luiz; CUTOLO, Silvana Audrá. Acesso à água para consumo humano e aspectos de saúde pública na Amazônia Legal. **Ambiente & Sociedade**, v. 15, n. 1, p. 93-109, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/xnZFSk-kvGz9Cz7qkRvrZ9VL/?lang=pt>.
- GONÇALVES, Lílian Daniele Pantoja; LISBOA, Gilberlene Serra; BEZERRA, José Fernando Rodrigues. Alterações ambientais decorrentes da extração do ouro no garimpo de Caxias-município de Luís Domingues-MA. **Revista Equador**, v. 6, n. 2, p. 165-179, 2017.
- GOOGLE EARTH. **Website**. Disponível em: <http://earth.google.com/>. Acesso em: 2022.
- GRANDJEAN, Philippe; WEIHE, Pal; WHITE, Roberta F.; DEBES, Frodi; ARAKI, Shunichi; YOKOYAM, Kazuhito; MURATA, Katsuyuki; SØRENSEN, Nicolina; DAHL, Rasmus; JØRGENSEN, Poul J. Cognitive deficit in 7-year-old children with prenatal exposure to methylmercury. **Neurotoxicology and teratology**, v. 19, n. 6, p. 417-428, 1997. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892036297000974>.
- GRANZIERA, Maria Luiza Machado. **Direito ambiental**. São Paulo: Atlas, 2009.
- GUIMARÃES, Carolina Lucinda; MILANEZ, Bruno. Mineração, impactos locais e os desafios da diversificação: revisitando Itabira. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 41, 2017.
- HARADA, Masazumi. Minamata disease. In: **Adverse effects of foods**. Springer, Boston, MA, 1982. p. 135-148.
- HARADA, Masazumi. Congenital Minamata disease: intrauterine methylmercury poisoning. **Teratology**, v. 18, n. 2, p. 285-288, 1978.
- HARADA, Masazumi. Congenital (or fetal) Minamata disease. In: **Study Group of Minamata Disease**. Kumamoto Univ., Japan, 93-117, 1968.

HARADA, Masazumi; NAKANISHI, Junko; YASODA, Eiichi; PINHEIRO, Maria da Conceição N.; OIKAWA, Teiichi; GUIMARÃES, Geraldo de Assis; CARDOSO, Bernardo da Silva; KIZAKI, Takako; OHNO, Hideki. Mercury pollution in the Tapajos River basin, Amazon: mercury level of head hair and health effects. **Environment international**, v. 27, n. 4, p. 285-290, 2001.

HAUPT, J. P. O. **Metodologia para avaliação do potencial de produção de poluição difusa**: estudo de caso da bacia do rio Jundiaí. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 129 p. São Paulo, 2009.

HOSMER JR., David W.; LEMESHOW, Stanley; STURDIVANT, Rodney X. **Applied logistic regression**, v. 398. John Wiley & Sons, 2013.

IGATA, AKIHIRO. Epidemiologic and clinical features of Minamata disease. **Environmental Research**, v. 63, n. 1, p. 157-169, 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estimativas da População**. 01.12.2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=28674&t=resultados>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Informações sobre a economia mineral brasileira 2020 – Ano base 2019**. Instituto Brasileiro de Mineração (org.), 1.ed. Brasília: IBRAM, 2020. 80p. Disponível em: <https://ibram.org.br/publicacoes/>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Mineração em Números**. Brasília: IBRAM, 01/05/2021. Disponível em: <https://ibram.org.br/publicacoes/>

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura (Diset). Contribuição do Setor Mineral no Produto Interno Bruto Brasileiro, Rodrigo César de Vasconcelos dos Santos. **Radar**: tecnologia, produção e comércio exterior: n.65, abr. 2021. Brasília: Ipea, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10588>.

JESUS, Leda Freitas de; MARINHA, Marden Samir; MOREIRA, Fátima Ramos. Amálgama dentário: fonte de contaminação por mercúrio para a Odontologia e para o meio ambiente. **Cad. Saúde Colet.**, v. 18, n. 4, p. 509-15, 2010. Disponível em: [http://www.cadernos.iesc.ufrj.br/cadernos/images/csc/2010\\_4/artigos/CSC\\_v18n4\\_509-515.pdf](http://www.cadernos.iesc.ufrj.br/cadernos/images/csc/2010_4/artigos/CSC_v18n4_509-515.pdf).

JULIANI, Caetano; MONTEIRO, Lena Virginia Soares; CARNEIRO, Cleyton de Carvalho; MISAS, Carlos Mario Echeverri. Metalogênese da Província Tapajós. **Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras**. Belo Horizonte: CPRM, 2014. p.229-268.

JUNGER, Washington Leite; PONCE DE LEON, Antonio. Poluição do ar e baixo peso ao nascer no Município do Rio de Janeiro, Brasil, 2002. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 23, p. S588-S598, 2007.

KASPER, Daniele; BOTARO, Daniele; PALERMO, Elisabete Fernandes Albuquerque; MALM, Olaf. Mercúrio em peixes-fontes e contaminação. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, n. 2, p. 228-239, 2007.

KHOURY, Eliana Dirce Torres; SOUZA, Givago da Silva; SILVEIRA, Luiz Carlos de Lima; COSTA, Carlos Araújo da; ARAÚJO, Amélia A. de; PINHEIRO, Maria da Conceição Nascimento. Manifestações neurológicas em ribeirinhos de áreas expostas ao mercúrio na Amazônia brasileira. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 29, n.11, p.

2.307-2.318, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/ZzmVQ3T85sYxzX3bt7QrYPn/abstract/?lang=pt>.

KIM, Byung-Mi; LEE, Bo-Eun; HONG, Yun-Chul; PARK, Hyesook; HÁ, Mina; KIM, Young-Ju; KIM, Yangho; CHANG, Namsoo; KIM, Bung-Nyun; OH, Se-young; YOO, Mirim; HA, Eun-Hee. Mercury levels in maternal and cord blood and attained weight through the 24 months of life. **Science of the total environment**, v. 410, p. 26-33, 2011.

KIM, Euy Hyuk; KWON, Ja Young; KIM, Sang Wun; PARK, Yong Won. The effect of fish consumption on blood mercury levels of pregnant women. **Yonsei Medical Journal**, v. 47, n. 5, p. 626-633, 2006.

KOREN, Gideon; BEND, John R. Fish consumption in pregnancy and fetal risks of methylmercury toxicity. **Canadian Family Physician**, v. 56, n. 10, p. 1001-1002, 2010.

KOTTEK, Markus Jürgen Grieser Christoph Beck e Bruno Rudolf. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

LACERDA, Luiz Drude de. Contaminação por mercúrio no Brasil: fontes industriais vs garimpo de ouro. **Química Nova**, v. 20, p. 196-199, 1997. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/hjbCmKwN3TnKJnsYzvPNswD/?lang=pt>.

LACERDA, Luiz Drude de; MALM, Olaf. Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 173-190, 2008.

LACERDA, Luiz Drude de; SALOMONS, Win. **Mercúrio na Amazônia: uma bomba-relógio química?** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 1992. (Série Tecnologia Ambiental, 03).

LEÓN PEREZ, Daniel Esteban; PEÑUELA MESA, Gustavo Antonio. Transcendência do metil-mercúrio no ambiente, a alimentação e a saúde humana. **Producción+ Limpia**, v. 6, n. 2, p. 108-116, 2011.

LIBÂNIO, Paulo Augusto Cunha; CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira. A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 219-228, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/DLtJG9yFQ89CBxKpMpDSyMC/abstract/?lang=pt>.

LINS, Fernando Antonio Freitas. **Aspectos diversos da garimpagem de ouro**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1992. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/165/1/stm-54.pdf>.

MACHADO, Enéas Souza; KNAPIK, Heloise Garcia; BITENCOURT, Camila de Carvalho Almeida de. Considerações sobre o processo de enquadramento de corpos de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 261-269, 2019.

MALHEIRO, Bruno Cezar. Mineração e territorialização de exceção na Amazônia: a geografia em ruínas dos Grandes Projetos. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 40, n. 01, p. 1-24, 2020.

MALM, Olaf; BRANCHES, Fernando J.P.; AKAGI, Hirokatsu; CASTRO, Miriam B.; PFEIFFER, Wolfgang C.; HARADA, Masazumi; BASTOS, Wanderley R.; KATO, Hiroo. Mercury and methylmercury in fish and human hair from the Tapajos River basin, Brazil. **Science of the total Environment**, v. 175, n. 2, p. 141-150, 1995.

MARIOTONI, Gladys Gripp Bicalho; BARROS FILHO, Antônio de Azevedo. A gravidez na adolescência é fator de risco para o baixo peso ao nascer. **J Pediatr (RJ)**, v. 74, n. 2, p. 107-113, 1998.

MECHI, Andréa; SANCHES, Djalma Luiz. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos avançados**, v. 24, p. 209-220, 2010.

MEDEIROS, Kátia Rejane de; MACHADO, Heleny de Oliveira Pena; ALBUQUERQUE, Paulette Cavalcante de; GURGEL Jr., Garibaldi Dantas. O Sistema de Informação em Saúde como instrumento da política de recursos humanos: um mecanismo importante na detecção das necessidades da força de trabalho para o SUS. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 10, p. 433-440, 2005.

MELAMED, Ricardo Gonçalves; VILLAS BÔAS, Roberto Cerrini. **Mecanismos de interação físico química e mobilidade do mercúrio em solos, sedimentos e rejeitos de garimpo de ouro**. Rio de Janeiro: CETEM, 2002.

MELO, Vander de Freitas; ANDRADE, Maísa de; BATISTA, Araújo Hulmann; FAVARETTO, Nerilde; GRASSI, Marco Tadeu; CAMPOS, Mônica Soares de. Chumbo e zinco em águas e sedimentos de área de mineração e metalurgia de metais. **Química nova**, v. 35, n. 1, p. 22-29, 2012.

MIRANDA, A. M.; BRABO, Edilson da Silva; LIMA, Marcelo de Oliveira; SAGICA, F. E. S.; FAIAL, Kleber Raimundo Freitas; SANTOS, Elisabeth Conceição de Oliveira. Prevalência de sintomas clínicos e sua relação com a concentração de mercúrio metálico na urina dos Garimpeiros do São Chico e do Creporzinho na Amazônia. **Rev. Bras. Toxicol.**, p. 174-174, 2009. Disponível em: <https://patua.iec.gov.br/handle/iec/1463>

MONTE, Christiane do Nascimento; RODRIGUES, Ana Paula de Castro; MACEDO, Sara; RÉGIS, Carolina; SALDANHA, Edinelson Correa; RIBEIRO, Anne Caroline; MACHADO, Wilson. A influência antrópica na qualidade da água do rio Tapajós, na cidade de Santarém-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 06, p. 3695-3710, 2021.

MONTEIRO, Maurílio de Abreu. Mineração industrial na Amazônia e suas implicações para o desenvolvimento regional. **Novos Cadernos NAEA**, v. 8, n. 1, 2008.

MONTEIRO, Maurílio de Abreu. Meio século de mineração industrial na Amazônia e suas implicações para o desenvolvimento regional. **Estudos avançados**, Dossiê Amazônia Brasileira, v. 19, n.53, p. 187-207, 2005. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10054>.

MORAES, Danielle Serra de Lima; JORDÃO, Berenice Quinzani. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, p. 370-374, 2002.

MOREIRA, Josino Costa; Frederico PERES; Ana Cristina SIMÕES; Wanderlei Antonio PIGNATI; Eliane de Carvalho DORES; Sandro Nunes VIEIRA; Christine STRÜSSMANN; Tamí MOTT. Contaminação de águas superficiais e de chuva por

agrotóxicos em uma região do estado do Mato Grosso. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, p. 1.557-1.568, 2012.

MURCIA, Mario; BALLESTER, Ferran; ENNING, Ashley Michel; IÑIGUEZ, Carmen; VALVI, Damaskini; BASTERRECHEA, Mikel; REBAGLIATO, Marisa; VIOQUE, Jesús; MARURI, Maite; TARDON, Adonina; RIAÑO-GALÁN, Isolina; VRIJHEID, Martine; LLOP, Sabrina. Prenatal mercury exposure and birth outcomes. **Environmental research**, v. 151, p. 11-20, 2016.

MYERS, G. J.; DAVIDSON, P. W.; SHAMLAYE, C. F. A review of methylmercury and child development. **Neurotoxicology**, v. 19, n. 2, p. 313-328, 1998.

NASCIMENTO, Luiz Fernando Costa; GOTLIEB, Sabina Léa Davidson. Fatores de risco para o baixo peso ao nascer, com base em informações da declaração de nascido vivo em Guaratinguetá, SP, no ano de 1998. **Informe epidemiológico do SUS**, v. 10, n. 3, p. 113-120, 2001.

NILSON, Luana Gabriele; Deise Warmling; Mateus Santaella Vivaz Oliveira. Proporção de baixo peso ao nascer no Brasil e regiões brasileiras, segundo variáveis sócio-demográficas. **Revista de Saúde Pública de Santa Catarina**, v. 8, n. 1, p. 69-82, 2015.

NIŠEVIĆ, Jelena Radić; PRPIĆ, Igor; KOLIĆ, Ivana; BAŽDARIĆ, Ksenija; SNOJTRATNIK, Janja; PRPIĆ, Ingrid Škarpa; MAZEJ, Darja; ŠPIRIĆ, Zdravko; BARBONE, Fabio; HORVAT, Milena. Combined prenatal exposure to mercury and LCPUFA on newborn's brain measures and neurodevelopment at the age of 18 months. **Environmental research**, v. 178, p. 108682, 2019.

NRIAGU, Jerome O.; PACYNA, Jozef M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. **Nature**, v. 333, n. 6169, p. 134-139, 1988.

OLIVEIRA Jr., Aristeu de; MAGALHÃES, Tiago de Brito; MATA, Renan Neves da; SANTOS, Fabiana Sherine Ganem dos; OLIVEIRA, Daniel Cobucci de; CARVALHO, Jonas Lotufo Brant de; ARAÚJO, Wildo Navegantes de. Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua): características, evolução e aplicabilidade. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 28, p. e2018117, 2019.

OLIVEIRA, Ana Paula Almeida de; LUZ, Adão Benvindo da. **Recursos hídricos e tratamento de águas na mineração**. Rio de Janeiro: CETEM, 2001.

OLIVEIRA, Cyntia Meireles de; SANTANA, Antônio Cordeiro de. A governança no Arranjo Produtivo de Grãos de Santarém e Belterra, estado do Pará: uma análise a partir do grão soja. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 50, p. 683-704, 2012.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **A ONU e a Água**. Disponível em: <http://nacoesunidas.org/acao/agua.htm>. Acesso em 22/07/2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. Resolution adopted by the Human Rights Council – 15/9 **Human rights and access to safe drinking water and sanitation**. September 2010. Disponível em: <https://www.right-docs.org/doc/a-hrc-res-15-9/>

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. Cúpula Mundial Sobre Desenvolvimento Sustentável em Joanesburgo, África do Sul entre 2 e 4 de setembro de 2002.

**Declaração de Johanesburgo sobre Desenvolvimento Sustentável:** das nossas origens ao futuro. 2002. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2013/12/decpol.pdf>.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Declaração de Dublin sobre a Água e Desenvolvimento Sustentável**, Dublin, IRLANDA, 1992 / RELATÓRIO.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE – OPAS. **Agenda 2030 para abastecimento de água, esgotamento sanitário e higiene na América Latina e Caribe:** Um olhar a partir dos direitos humanos. Washington, DC.: OPAS; 2019. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/documents/2030-agenda-drinking-water-sanitation-and-hygiene-latin-america-and-caribbean-look-human>.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE – OPAS. **Cooperação Técnica entre Brasil, Bolívia e Colômbia:** Teoria e Prática para o fortalecimento da vigilância em Saúde de populações expostas a mercúrio. Brasília: OPAS/OMS, 2011.

PACHECO, Vanessa Cardoso; SILVA, Jean Carl; MARIUSSI, Ana Paula; LIMA, Monica Roeder; SILVA, Thiago Ribeiro e. As influências da raça/cor nos desfechos obstétricos e neonatais desfavoráveis. **Saúde em debate**, v. 42, p. 125-137, 2018.

PINHEIRO, Maria da Conceição Nascimento; GUIMARÃES, Geraldo de Assis; NAKANISHI, Junko; OIKAWA, Teiichi; VIEIRA, José Luiz; QUARESMA, Manoel; CARDOSO, Bernardo; AMORAS, Walter. Avaliação da contaminação mercurial mediante análise do teor de Hg total em amostras de cabelo em comunidades ribeirinhas do Tapajós, Pará, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 33, n. 2, p. 181-184, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsbmt/a/8bmHnZM6Vcyj3ss7XqkF4gy/?format=html>.

POMPEU, C. T. **Direito de Águas no Brasil**. 2.ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2010.

PONTES, J. C. de; FARIAS, M.S.S. de; LIMA, V.L.A. de. Mineração e seus reflexos socioambientais: Estudo de Impactos de vizinhança (EIV) causados pelo desmonte de rochas com uso de explosivos. **POLÊMICA**, v. 12, n. 1, p. 77-90, 2013.

PROJETO MAPBIOMAS – **Mapeamento da superfície de mineração industrial e garimpo no Brasil** - Coleção 6. Disponível em: [https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact\\_Sheet\\_1.pdf](https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact_Sheet_1.pdf). Acesso em: 18/04/2022.

PRÜSS-ÜSTÜN, A.; CORVALÁN, C. **Preventing disease through healthy environments:** towards an estimate of the environmental burden of disease. World Health Organization, 2006.

PRÜSS-ÜSTÜN, Annette; WOLF, J.; CORVALÁN, Carlos F.; BOS, R.; NEIRA, Maria Purificación. **Preventing disease through healthy environments:** a global assessment of the burden of disease from environmental risks. World Health Organization, 2016.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS Geographic Information System. **QGIS Association**, 2022. Disponível em: <http://www.qgis.org>.

R CORE TEAM R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em :05/01/2020.

RESENDE, A. V. de. **Agricultura e qualidade da água:** contaminação da água por nitrato. Embrapa Cerrados-Documents (INFOTECA-E), 2002.

- RESENDE, A. V. de. **Agricultura e qualidade da água**: contaminação da água por nitrato. Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E), 2002. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/546464/1/doc57.pdf>.
- REZENDE, Vanessa Leite. A mineração em Minas Gerais: uma análise de sua expansão e os impactos ambientais e sociais causados por décadas de exploração. **Sociedade & Natureza**, v. 28, n. 3, p. 375-384, 2016.
- RIBEIRO, Adolfo Monteiro; GUIMARÃES, Maria José; LIMA, Marília de Carvalho; SARINHO, Silvia Wanick; COUTINHO, Sonia Bechara. Fatores de risco para mortalidade neonatal em crianças com baixo peso ao nascer. **Revista de Saúde Pública**, v. 43, n. 2, p. 246-255, 2009.
- RIBEIRO, M. I. F. C. A. **Mineração e garimpo em terras indígenas**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2016. 56p.
- RIBEIRO, Wagner Costa. **Geografia política da água**. São Paulo: Annablume Editora, 2008.
- ROCHA, Joao de Albuquerque. Baixo peso, peso insuficiente e peso adequado ao nascer, em 5.940 nascidos vivos na cidade do Recife: associação com algumas variáveis maternas. **J. pediatr. (RJ)**, p. 297-304, 1991.
- RODRIGUES FILHO, Saulo. **Metais pesados nas sub-bacias hidrográficas de Poconé e Alta Floresta**. Rio de Janeiro: CETEM, 1995.
- RODRIGUES, Rita Maria; MASCARENHAS, Arthur F. S.; ICHIHARA, Ambrósio Hajime; SOUZA, Terezinha Maria Cid; BIDONE, Edison Dausacker; BELLIA, Víctor; HACON, Sandra; SILVA, Alberto Rogério Benedito da; BRAGA, João Bosco P.; STILIANIDI Filho, Bernard. **Estudo dos impactos ambientais decorrentes do extrativismo mineral e poluição mercurial no Tapajós**: pré-diagnóstico. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 1994. (Série Tecnologia Ambiental, 04).
- ROULET, M.; LUCOTTE, M.; FARELLA, N.; SERIQUE, G.; COELHO, H.; PASSOS, C. J. Sousa; SILVA, E. de Jesus da; ANDRADE, P. Scavone de; MERGLER, D.; GUIMARÃES, J.-R. D.; AMORIM, M. Effects of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems. **Water, air, and soil pollution**, v. 112, n. 3, p. 297-313, 1999. Disponível em: <https://www.proquest.com/docview/746436862>.
- ROULET, M. et al. Distribuição e partição do mercúrio total nas águas da bacia do rio Tapajós, Amazônia brasileira. **Ciência do Meio Ambiente Total**, v. 213, n. 1-3, p. 203-211, 1998.
- ROULET, M.; LUCOTTE, Marc. The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chao formation of the lower Tapajós River Valley, Pará state, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 223, n. 1, p. 1-24, 1998.
- SÁNCHEZ, Luís Enrique. Gerenciamento ambiental e a indústria de mineração. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 67-75, 1994.
- SANTOS, Breno Augusto dos. Recursos minerais da Amazônia. **Estudos avançados**, v. 16, p. 123-152, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/sdjvCX-zfQWRKfLFsTPVFJhK/?format=html&lang=pt>

SANTOS, Eder Rodrigues; MATTIONI, José Victor Dornelles; FALCÃO, Márcia Teixeira. Extração Mineral e Conflitos: Ensaio Geo-Histórico do Garimpo Ilegal nas Terras Indígenas no Extremo Norte Brasileiro. **Geographia Opportuno Tempore**, v. 7, n. 1, p. 104-119. 2021.

SANTOS, Elisabeth C. Oliveira; Volney de Magalhães CÂMARA; Edilson da Silva BRABO; Edvaldo Carlos Brito LOUREIRO; Iracina Maura de JESUS; Kleber FAYAL; Fernanda SAGICA. Avaliação dos níveis de exposição ao mercúrio entre índios Paakaanóva, Amazônia, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 19, p. 199-206, 2003.

SANTOS, Elisabeth Conceição de Oliveira; JESUS, Iracina Maura de; CÂMARA, Volney de Magalhães; BRABO, Edilson da Silva; SILVA, Dorotéa de Fátima Lobato da; SÁ FILHO, Gregório Carrera; ROCHA, C. S. G.; FAIAL, Kleber Raimundo Freitas; SAGICA, F.; SILVEIRA, I. M. Níveis de mercúrio ao nascer na Região do Tapajós, Município de Itaituba, Pará, Brasil. 2003. **Revista Brasileira de Toxicologia**, v. 16, supl. I, p. 85, ago. 2003.

SANTOS, João Paulo de Oliveira; EL-DEIR Soraya Giovanetti; ALENCAR, Sidney Kal-Rais Pereira de; SILVA, Kardelan Arteiro da; PESSOA, Lidiane Almeida. Pegada hídrica na mineração: análise de aplicabilidade na extração e beneficiamento da Gipsita Pernambucana. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 4, p. 1493-1508, 2020. Disponível em: <file:///C:/Users/Windows/Downloads/7211-Outros-49072-1-10-20200929.pdf>.

SANTOS, Raimundo Nonato do Espírito Santo. **Investigação do passivo ambiental em Cachoeira do Piriá, NE do Pará**: base para a gestão ambiental em áreas garimpadas na Amazônia. 2004. Tese (Doutor em Ciências). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

SAUER, Sérgio; MARFINS, Pedro Sérgio Vieira. **Cultivo da soja e conflitos por terra na região de Santarém, Pará**. Terra e Direito em Águas Turbulentas. Livro Online, p. 21-38, 2016.

SEMA, Secretaria de Estado do Mato Grosso. **Sistemas** – SIMGEO. 2021. Disponível em: <http://www.sema.mt.gov.br/transparencia/index.php/sistemas/simgéo>.

SILVA, D. Sampaio da; LUCOTTE, M.; ROULET, M.; POIRIER, H.; MERGLER, D.; CROSSA, M. Mercúrio nos peixes do rio Tapajós, Amazônia Brasileira. **InterfaceHS**, v. 1, n. 1, p.1-31, 2006. Disponível em: <http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfaceHS/wp-content/uploads/2013/07/2006-v1-art6-portugues.pdf>.

SILVA, Fernanda Pereira da. **Avaliação de exposição ambiental a mercúrio e chumbo em população infanto-juvenil da Bacia do Rio Tapajós**. Monografia (Bacharel em Gestão Ambiental). Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SILVA, Isis A.; CAMPAGNA, Adriana R.; LIPP-NISSINEN, Kátia H. Recuperação de áreas degradadas por mineração: uma revisão de métodos recomendados para garimpos. **Pesquisas em Geociências**, v. 45, n. 3, p. 0691, 2018.

SILVA, José Augusto Ferreira da; REIS, Cláudio Henrique. Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos no Brasil. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, Campos dos Goytacazes/RJ, v. 4, n. 2, p. 139-153, jul./dez. 2010.

SILVEIRA, Luiz Carlos L.; VENTURA, Dora Fix; PINHEIRO, Maria da Conceição N. Toxicidade mercurial: avaliação do sistema visual em indivíduos expostos a níveis tóxicos de mercúrio. **Ciência e Cultura**, v. 56, n. 1, p. 36-38, 2004. Disponível em: [http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252004000100025&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252004000100025&script=sci_arttext&tlng=en)

SISTEMA ESTADUAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS DO PARÁ – SEIRH, 2021. Disponível em: <http://monitoramento.se-mas.pa.gov.br/seirh/#/SecaoTematica/1>

SOBREIRA, Frederico Garcia; FONSECA, Marco Antônio. Impactos físicos e sociais de antigas atividades de mineração em Ouro Preto, Brasil. **Geotecnia**, n. 92, 2001. Disponível em: [http://morrodaqueimada.fiocruz.br/pdf/4\\_Impactos%20fisicos%20e%20sociais%20de%20antigas%20atividades%20de%20minerao%20em%20Ouro%20Preto\\_Brasil.pdf](http://morrodaqueimada.fiocruz.br/pdf/4_Impactos%20fisicos%20e%20sociais%20de%20antigas%20atividades%20de%20minerao%20em%20Ouro%20Preto_Brasil.pdf).

SOUZA, Julia Nascimento; CUNHA, Armando Lucas Cherem da; SOBRAL, Luis Gonzaga Santos; ARAUJO, Patricia Correia de. **Perdas de metais preciosos e liberação de mercúrio elementar durante a decomposição térmica de amálgamas**: uma abordagem prática. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018. 72 p. (Série Tecnologia Ambiental, 99). Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2189>.

SOUZA, Maurício Novaes. **Degradação e recuperação ambiental e desenvolvimento sustentável**. 2004. 371f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2004.

STEFFEN, Gersa Pauli Kist; STEFFEN, Ricardo Bemfica; ANTONIOLLI, Zaida Inês. Contaminação do solo e da água pelo uso de agrotóxicos. **Tecno-lógica**, v. 15, n. 1, p. 15-21, 2011.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA - SUDAM. **Programa de Polos Agropecuários e Agrominerais da Amazônia**: Amazônia Poloamazônia – Síntese. Belém, 1975. 105p.

TEIXEIRA, Bárbara ES; CUNHA, Igor MM; TERRA, Ademir. A expansão da fronteira agrícola da soja no município de Santarém (PA) e suas transformações socioespaciais. In: XXI ENCONTRO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA. **Anais**. 2012.

TEIXEIRA, J.C.; GOMES, M.H.R.; SOUZA, J.A. de. Associação entre cobertura por serviços de saneamento e indicadores epidemiológicos nos países da América Latina: estudo com dados secundários. **Rev. Panam. Salud Publica**, v.32, n.6, p.419–25, 2012. Disponível em: <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/9233/a05v32n6.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

TELMER, Kevin; COSTA, Maycira; ANGÉLICA, Rômulo Simões; ARAUJO, Eric S.; MAURICE, Yvon. The source and fate of sediment and mercury in the Tapajós River, Pará, Brazilian Amazon: Ground-and space-based evidence. **Journal of environmental management**, v. 81, n. 2, p. 101-113, 2006.

TORRES, Cássia Juliana Fernandes. **Desenvolvimento metodológico para apoio à tomada de decisão sobre o programa de efetivação do enquadramento dos corpos d'água**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2014.

TRIGUEIRO, Flávia Elias; MELAMED, Ricardo Gonçalves. Estudo do efeito do ácido húmico na solubilidade e complexação do mercúrio. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 4. Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1996.

UNITED NATIONS - UN. General Assembly. **Resolution 71/313, 6 July 2017**. "Work of the statistical commission pertaining to the 2030 Agenda for Sustainable Development". Disponível em: <http://undocs.org/A/RES/71/313>. Acesso em: 07/2021.

UNITED NATIONS – UN. United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC). Network for Cooperation in Integrated Water Resource Management for Sustainable Development in Latin America and the Caribbean. **Circular N° 45**. February 2017

VAN WIJNGAARDEN, Edwin; HARRINGTON, D.; KOBROSLY, R; THURSTON, S.W.; O'HARA, T.; McSORLEY, E.M.; MYERS, G.J.; WATSON, G.E.; SHAMLAYE, C.F.; STRAIN, J.J.; DAVIDSON, P.W. Prenatal exposure to methylmercury and LCPUFA in relation to birth weight. **Annals of epidemiology**, v. 24, n. 4, p. 273-278, 2014. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3951518/>

VARGAS, Éverton Vieira. Água e relações internacionais. **Revista brasileira de política internacional**, v. 43, n. 1, p. 178-182, 2000.

VEIGA, Marcello Mariz da; SILVA, Alberto Rogério Benedito da; HINTON, Jennifer J. O garimpo de ouro na Amazônia: aspectos tecnológicos, ambientais e sociais. In: **Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente**. Cap.11. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. p. 277-305.

VEJRUP, Kristine; BRANTSÆTER, Anne Lise; KNUTSEN, Helle K.; MAGNUS, Per; ALEXANDER, Jan; KVALEM, Helen E.; MELTZER, Helle M.; HAUGEN, Margaretha. Prenatal mercury exposure and infant birth weight in the Norwegian Mother and Child Cohort Study. **Public health nutrition**, v. 17, n. 9, p. 2071-2080, 2014.

VIANA, Rosana Lima; FREITAS, Carlos Machado de; GIATTI, Leandro Luiz. Saúde ambiental e desenvolvimento na Amazônia legal: indicadores socioeconômicos, ambientais e sanitários, desafios e perspectivas. **Saúde e Sociedade**, v. 25, p. 233-246, 2016.

VIGEH, M., NISHIOKA, E., OHTANI, K., OMORI, Y., MATSUKAWA, T., KODA, S., & YOKOYAMA, K. Prenatal mercury exposure and birth weight. **Reproductive Toxicology**, 76, 78-83, 2018

VILLAR, Pilar Carolina; GRANZIERA, Maria Luiza Machado. **Direito de Águas à Luz da Governança**. Brasília: Ana, 2020. Disponível em: <https://limaens.pagi-nas.ufsc.br/files/2020/09/Direito-de-%C3%A1guas-%C3%A0-luz-da-governan%C3%A7a.pdf>

VILLAS-BÔAS, Hariessa Cristina; BARRETO, Laura. **Mineração em terras indígenas: a procura de um marco legal**. CYTED-CETEM, 2005. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Uubq3X5UHEcC&oi=fnd&pg=PA2&dq=minera%C3%A7%C3%A3o+VILLAS+B%C3%94AS,+2005&ots=wiukgY4F0C&sig=rAmdLAR-NUP9sd\\_lpFlvzRk9lc9M#v=onepage&q=minera%C3%A7%C3%A3o%20VILLAS%20B%C3%94AS%2C%202005&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Uubq3X5UHEcC&oi=fnd&pg=PA2&dq=minera%C3%A7%C3%A3o+VILLAS+B%C3%94AS,+2005&ots=wiukgY4F0C&sig=rAmdLAR-NUP9sd_lpFlvzRk9lc9M#v=onepage&q=minera%C3%A7%C3%A3o%20VILLAS%20B%C3%94AS%2C%202005&f=false).

WADT, Paulo Guilherme Salvador. **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas**. Embrapa Acre-Documentos (INFOTECA-E), 2003.

WANDERLEY, Luiz Jardim. Movimentos sociais em área de mineração na Amazônia Brasileira. **e-cadernos CES**, n. 17, 2012.

WASSERMAN, Julio Cesar; HACON, Sandra S.; WASSERMAN, Maria Angélica. O ciclo do mercúrio no ambiente amazônico. **Mundo & vida**, v. 2, n. 1/2, p. 46-53, 2001.

WHEATLEY, Brian; PARADIS, Sylvain. Exposição de povos aborígenes canadenses ao metilmercúrio. In: **Mercúrio como um poluente global**. Springer, Dordrecht, 1995. p. 3-11

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Exposição ao mercúrio**: um grave problema de saúde pública. 2.ed. Prevenção de Doenças através de ambientes saudáveis. WHO, 8 April 2021. Disponível em: <https://www.who.int/pt/publications/i/item/9789240023567>. Acesso em: 05/07/2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Guidelines for drinking-water quality**: fourth edition incorporating the first addendum, 24 April 2017. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Health in 2015**: from MDGs, millennium development goals to SDGs, sustainable development goals. 2015. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/200009/?sequence=1>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Programme of Acute Respiratory Infections. (1993)**. Programme for Control of Acute Respiratory Infections: interim programme report. World Health Organization, 1992. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/59457>.

XUE, Fei; HOLZMAN, Claudia; RAHBAR, Mohammad Hossein; TROSKO, Kay; FISCHER, Lawrence. Maternal fish consumption, mercury levels, and risk of preterm delivery. **Environmental health perspectives**, v. 115, n. 1, p. 42-47, 2007.

YASSUDA, Eduardo Riomey. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Brazilian Journal of Public Administration**, v. 27, n. 2, p. 5 a 18-5 a 18, may 10 1993. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rap/article/view/8663>

ZHANG, Ying; NAKAI, Satoshi; MASUNAGA, Shigeki. An exposure assessment of methyl mercury via fish consumption for the Japanese population. **Risk Analysis: An International Journal**, v. 29, n. 9, p. 1281-1291, 2009.

## 7 APÊNDICES

### APÊNDICE 7.1

Tabela 7.1 - Área anual de mineração na BH Tapajós para as duas bases de referência no período de 1997 – 2017

Ano	Área (hectare)	
	Base 1	Base 2 (MapBiomias)
1997	32.541	17.362
1998	35.883	16.652
1999	37.369	17.077
2000	38.166	19.018
2001	38.441	17.817
2002	38.974	18.893
2003	39.344	19.422
2004	40.500	18.980
2005	40.994	18.766
2006	42.791	17.987
2007	44.359	18.519
2008	45.336	17.763
2009	45.776	18.690
2010	46.462	19.763
2011	47.213	22.638
2012	49.330	24.671
2013	50.997	31.755
2014	53.109	35.384
2015	56.231	39.380
2016	59.768	45.630
2017	63.498	51.072

Fonte: Elaboração própria.

## APÊNDICE 7.2

Tabela 7.2 – Áreas de mineração, em 2017, distribuídas por município para as quatro condições de exposição nas duas bases de referência

ID	Município	UF	Mineração 2017 (hectare)							
			Base 1				Base 2 (MapBiomass)			
			A	B	C	D	A	B	C	D
1	ALTA FLORESTA	MT	337	16.223	18.145	19.257	353	11.890	13.414	13.414
2	APIACAS	MT	0	4.383	21.168	22.529	0	0	12.315	13.414
3	AVEIRO	PA	0	86	7.933	63.484	0	0	9.478	50.955
4	BELTERRA	PA	0	0	86	63.484	0	117	9.478	50.955
5	BRASNORTE	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
6	CAMPO NOVO DO PARECIS	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
7	CAMPOS DE JULIO	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
8	CARLINDA	MT	842	17.829	18.145	19.257	1.208	13.212	13.414	13.414
9	CASTANHEIRAS	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
10	COLIDER	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
11	COTRIGUACU	MT	0	1.240	1.240	1.240	0	0	0	0
12	GUARANTA DO NORTE	MT	2.468	2.512	2.512	2.534	2.674	2.674	2.674	2.674
13	IPIRANGA DO NORTE	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
14	ITAITUBA	PA	63	86	870	25.028	0	700	23.416	50.948
15	ITANHAGA	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
16	ITAUBA	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
17	JACAREACANGA	PA	5.341	15.982	19.604	43.433	2.987	14.270	18.936	32.351
18	JUARA	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
19	JUINA	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
20	JURUENA	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
21	LUCAS DO RIO VERDE	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
22	MATUPA	MT	14.441	14.441	15.636	15.636	10.206	11.071	11.071	11.071
23	NOVA BANDEIRANTES	MT	0	2.547	2.547	2.547	0	0	0	0
24	NOVA CANAA DO NORTE	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
25	NOVA GUARITA	MT	14.154	17.457	17.457	17.457	9.479	12.316	12.316	12.316
26	NOVA MARINGA	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
27	NOVA MONTE VERDE	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
28	NOVA MUTUM	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
29	NOVA SANTA HELENA	MT	792	1.707	1.707	1.707	511	1.323	1.323	1.323
30	NOVO HORIZONTE DO NORTE	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
31	NOVO MUNDO	MT	15.058	18.145	18.145	18.145	11.089	13.414	13.414	13.414
32	NOVO PROGRESSO	PA	17	8.066	10.073	10.073	0	3.915	5.772	5.772
33	PARANAITA	MT	1.752	5.350	19.981	19.981	0	3.588	13.414	13.414
34	PARANATINGA	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
35	PEIXOTO AZEVEDO	MT	14.822	15.639	15.639	15.639	10.568	11.098	11.098	11.098
36	PLANALTO DA SERRA	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
37	PORTO DOS GAUCHOS	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
38	RUROPOLIS	PA	0	86	12.223	63.484	0	13	13.470	50.955
39	SANTA RITA DO TRIVELATO	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
40	SANTAREM	PA	0	13	99	63.484	0	0	124	50.955
41	SAO JOSE DO RIO CLARO	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
42	SAPEZAL	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
43	SINOP	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
44	SORRISO	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
45	TABAPORA	MT	0	0	0	0	0	0	0	0

46	TAPURAH	MT	0	0	0	0	0	0	0	0
47	TERRA NOVA DO NORTE	MT	11.021	15.100	15.100	15.100	7.522	10.348	10.348	10.348
48	TRAIRAO	PA	0	4.618	33.677	63.398	0	6.270	28.931	50.949
49	VERA	MT	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaboração própria.

## APÊNDICE 7.3

Tabela 7.3 – Quantitativos de desfechos na saúde dos nascidos por município no período de 1997 – 2017

ID	Município	UF	Nascimentos (1997 - 2017)						Total
			Prematuro		Baixo-peso		Malformação		
			Nasc.	%	Nasc.	%	Nasc.	%	
1	ALTA FLORESTA	MT	1.322	8,3	1.793	11,3	49	0,3	15.855
2	APIACAS	MT	210	9,3	289	12,8	5	0,2	2.263
3	AVEIRO	PA	297	8,3	263	7,4	21	0,6	3.566
4	BELTERRA	PA	375	10,2	412	11,2	17	0,5	3.674
5	BRASNORTE	MT	392	10,2	528	13,7	16	0,4	3.854
6	CAMPO NOVO DO PARECIS	MT	880	10,5	1.039	12,4	43	0,5	8.349
7	CAMPOS DE JULIO	MT	161	10,5	210	13,7	10	0,7	1.538
8	CARLINDA	MT	232	7,7	295	9,8	10	0,3	2.996
9	CASTANHEIRAS	MT	-	-	-	-	-	-	-
10	COLIDER	MT	852	9,9	1.212	14,0	38	0,4	8.628
11	COTRIGUACU	MT	238	7,5	333	10,5	14	0,4	3.176
12	GUARANTA DO NORTE	MT	786	9,1	1.010	11,7	39	0,5	8.624
13	IPIRANGA DO NORTE	MT	388	11,0	412	11,7	16	0,5	3.524
14	ITAITUBA	PA	3.019	7,5	3.325	8,3	146	0,4	40.199
15	ITANHAGA	MT	-	-	-	-	-	-	-
16	ITAUBA	MT	141	8,2	205	11,9	6	0,3	1.721
17	JACAREACANGA	PA	1.124	19,5	992	17,2	10	0,2	5.772
18	JUARA	MT	868	9,1	1.158	12,1	47	0,5	9.548
19	JUINA	MT	1.207	9,9	1.481	12,1	77	0,6	12.195
20	JURUENA	MT	224	9,0	280	11,2	14	0,6	2.500
21	LUCAS DO RIO VERDE	MT	1.664	12,0	1.794	13,0	58	0,4	13.820
22	MATUPA	MT	310	7,7	384	9,5	28	0,7	4.023
23	NOVA BANDEIRANTES	MT	247	10,6	230	9,8	10	0,4	2.337
24	NOVA CANAA DO NORTE	MT	1.163	9,8	1.526	12,8	28	0,2	11.899
25	NOVA GUARITA	MT	127	10,3	179	14,6	10	0,8	1.230
26	NOVA MARINGA	MT	96	7,2	142	10,7	28	2,1	1.331
27	NOVA MONTE VERDE	MT	140	8,2	174	10,2	3	0,2	1.708
28	NOVA MUTUM	MT	997	11,1	1.069	11,9	3	0,0	9.021
29	NOVA SANTA HELENA	MT	81	11,7	108	15,7	6	0,9	690
30	NOVO HORIZONTE DO NORTE	MT	56	7,0	91	11,4	56	7,0	797
31	NOVO MUNDO	MT	113	8,1	140	10,1	8	0,6	1.388
32	NOVO PROGRESSO	PA	682	10,5	593	9,1	2	0,0	6.504
33	PARANAITA	MT	259	9,2	355	12,6	5	0,2	2.810
34	PARANATINGA	MT	530	9,7	702	12,8	27	0,5	5.486
35	PEIXOTO AZEVEDO	MT	-	-	-	-	-	-	-
36	PLANALTO DA SERRA	MT	53	10,3	62	12,0	26	5,0	517
37	PORTO DOS GAUCHOS	MT	462	8,0	586	10,2	0	0	5.769
38	RUROPOLIS	PA	450	6,6	496	7,2	5	0,1	6.863
39	SANTA RITA DO TRIVELATO	MT	54	11,3	59	12,3	36	7,5	479
40	SANTAREM	PA	10.877	9,7	13.114	11,7	18	0,0	112.255
41	SAO JOSE DO RIO CLARO	MT	229	5,2	391	8,9	0	0	4.387
42	SAPEZAL	MT	603	11,9	685	13,5	490	9,7	5.073
43	SINOP	MT	4.172	11,0	4.772	12,6	20	0,1	37.801
44	SORRISO	MT	2.289	11,2	2.495	12,2	24	0,1	20.480
45	TABAPORA	MT	206	9,7	253	11,9	189	8,9	2.118

46	TAPURAH	MT	281	8,7	345	10,6	96	3,0	3.242
47	TERRA NOVA DO NORTE	MT	276	8,6	362	11,2	15	0,5	3.228
48	TRAIRAO	PA	301	9,8	321	10,4	12	0,4	3.082
49	VERA	MT	1.151	10,7	1.336	12,4	16	0,1	10.790

Fonte: Elaboração própria.

## APÊNDICE 7.4

Tabela 7.4 - Coeficientes obtidos para a base de mineração 1

<b>Base 1</b>	<b>Condição de Exposição</b>	<b>Aumento %</b>	<b>Limite mínimo 95%CI</b>	<b>Limite máximo 95%CI</b>
Prematuro	A	0,96	0,12	1,81
	B	-4,40	-7,42	-1,27
	C	-2,06	-4,16	0,08
	D	2,41	1,88	2,94
Baixo Peso	A	0,90	0,37	1,43
	B	-3,26	-5,04	-1,45
	C	-1,81	-3,08	-0,52
	D	0,43	0,13	0,74
Malformação Congênita	A	-1,04	-3,39	1,36
	B	12,13	0,43	25,19
	C	6,67	0,72	12,96
	D	0,06	-1,33	1,48

Fonte: Elaboração própria.

## APÊNDICE 7.5

Tabela 7.5 - Coeficientes obtidos para a base de mineração 2 (MapBiomass)

<b>Base 2</b>	<b>Condição de Exposição</b>	<b>Aumento %</b>	<b>Limite mínimo 95%CI</b>	<b>Limite máximo 95%CI</b>
Prematuro	A	3,16	-0,97	7,48
	B	-1,09	-3,44	1,32
	C	0,53	-0,51	1,59
	D	1,06	0,74	1,37
Baixo Peso	A	-0,33	-2,94	1,93
	B	0,31	-1,15	1,80
	C	0,77	0,08	1,46
	D	0,34	0,15	0,54
Malformação Congênita	A	-1,11	-9,46	8,00
	B	3,42	-2,98	10,24
	C	-1,21	-4,09	1,75
	D	-0,56	-1,42	0,29

Fonte: Elaboração própria.

## APÊNDICE 7.6

Modelos (*script*) utilizados no *software* R – versão 2.13.1 (R Core Team, 2020) para a análise estatística dos dados de prematuridade (*modelo\_1*), baixo peso (*modelo\_2*) e malformação congênita (*modelo\_3*):

```
modelo_1 <- glm(prematuro_pp ~ as.numeric(area_m) + as.factor(res_MUNNOMEX) + PESO + IDADEMAE + GESTACAO + ano_nasc + as.factor(SEXO) + CONSULTAS + as.factor(def_raca_cor) + as.factor(res_SIGLA_UF), family = "binomial", data = MIN_MB_total_I)
```

```
modelo_2 <- glm(baixo_peso_pp ~ as.numeric(area_m) + as.factor(res_MUNNOMEX) + IDADEMAE + GESTACAO + ano_nasc + as.factor(SEXO) + CONSULTAS + as.factor(def_raca_cor) + as.factor(res_SIGLA_UF), family = "binomial", data = MIN_MB_total_I)
```

```
modelo_3 <- glm(malformacao_pp ~ as.numeric(area_m) + as.factor(res_MUNNOMEX) + PESO + IDADEMAE + GESTACAO + ano_nasc + as.factor(SEXO) + CONSULTAS + as.factor(def_raca_cor) + as.factor(res_SIGLA_UF), family = "binomial", data = MIN_MB_total_I)
```