

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS E VALORAÇÃO DOS
DANOS SOCIOECONÔMICOS CAUSADOS PARA
AS COMUNIDADES ATINGIDAS PELO ROMPIMENTO
DA BARRAGEM DE FUNDÃO**

**Diagnóstico em Saúde dos Municípios
Atingidos pelo Rompimento da Barragem
de Fundão, Mariana (MG), em 5 de Novembro
de 2015: Estimativa de Anos de Vida
Perdidos por Incapacitação**



OUTUBRO DE 2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas/FGV

Fundação Getulio Vargas

Diagnóstico em Saúde dos Municípios Atingidos pelo Rompimento da Barragem de Fundão, Mariana (MG), em 5 de Novembro de 2015: Estimativa de Anos de Vida Perdidos por Incapacitação. – Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2021.

92 p.

Em colaboração com: Ana Paula Fonseca Oliveira, Ana Roas Linde Arias, Claudio José Struchiner, Eduardo Massad, Luiz Max Fagundes de Carvalho, Rita Daniela Fernandez Medina.

Acima do título: Projeto Rio Doce – Avaliação dos Impactos e Valoração dos Danos Socioeconômicos Causados para as Comunidades Atingidas pelo Rompimento da Barragem de Fundão.

Inclui bibliografia.

1. Projeto Rio Doce. 2. Fundão, Barragem de (MG). 3. Barragens e açudes – Aspectos sociais. 4. Indenização. 5. Vítimas de desastres – Aspectos econômicos. I. Título.

CDD – 627.8

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS E VALORAÇÃO DOS DANOS SOCIOECONÔMICOS
CAUSADOS PARA AS COMUNIDADES ATINGIDAS PELO ROMPIMENTO DA
BARRAGEM DE FUNDÃO**

NOTA TÉCNICA

**Diagnóstico em Saúde dos Municípios Atingidos pelo
Rompimento da Barragem de Fundão, Mariana (MG), em 5 de
Novembro de 2015: Estimativa de Anos de Vida Perdidos por
Incapacitação**

Outubro – 2021

EQUIPE TÉCNICA

Ana Paula Fonseca Oliveira

Ana Roas Linde Arias

Claudio José Struchiner

Eduardo Massad

Luiz Max Fagundes de Carvalho

Rita Daniela Fernandez Medina

EQUIPE RESPONSÁVEL PELA ANÁLISE JURÍDICA

Chiara Mori Passoni

Luiza Surita Pires de Almeida

Paloma Gerzeli Pitre

Thiago dos Santos Acca

SUMÁRIO

SUMARIO EXECUTIVO	4
1 INTRODUÇÃO	6
2 EFEITOS DOS METAIS PESADOS NA SAÚDE HUMANA	11
2.1 Efeitos carcinogênicos dos metais pesados	14
2.2 Estudos de risco à saúde humana	23
3 CARGA DE DOENÇAS	26
4 CAUSALIDADE EM EPIDEMIOLOGIA	34
5 LÓGICA FUZZY	39
6 RESULTADOS	42
6.1 Identificação de DALYs para grupos de doenças com Risco Atribuível ao desastre maior que zero	42
7 QUANTIFICAÇÃO DA INDENIZAÇÃO EM RAZÃO DE DANOS SOCIAIS E MORAIS COLETIVOS	52
7.1 Direitos e interesses lesados	52
7.2 Modalidade de dano jurídico indenizável configurada a partir dos DALYs	55
7.3 Propostas de reparação coletiva	59
8 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	72
APÊNDICE A	86

SUMARIO EXECUTIVO

Esta Nota Técnica tem como objetivo apresentar evidências dos impactos à saúde do rompimento da Barragem de Fundão, em novembro de 2015. A natureza desse desastre levou os indivíduos que habitam os municípios atingidos à exposição a efeitos ecológicos, sociais e econômicos dele resultantes, assim como ao contato potencial com uma série de substâncias tóxicas, fundamentalmente metais pesados e silício, provenientes dos rejeitos de mineração liberados ao meio ambiente na ocasião do rompimento da barragem. Esses elementos de exposição permitem levantar a hipótese da existência de efeitos negativos à saúde dos indivíduos atingidos decorrentes deste desastre que aqui se tentou elucidar.

A partir da avaliação das incidências de agravos e doenças presentes em quatro bancos de dados do Ministério da Saúde, a saber: Sistema de Informações Ambulatoriais (SIA), Sistema de Informações Hospitalares (SIH), Sistema de Informações de Mortalidade (SIM) e Sistema de Informações de Agravos de Notificação (SINAN), foram inicialmente comparadas as incidências acumuladas para todos os agravos nos 21 capítulos do CID-10, antes e depois do desastre, no conjunto de 45 municípios atingidos e em um grupo de comparação constituído por 100 municípios controle, dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo.

Foi realizado um estudo de Carga de Doenças, que permite quantificar a magnitude comparativa da perda de saúde devido a doenças, lesões e fatores de risco por idade, sexo e geografias para pontos específicos no tempo. Essa abordagem utiliza os anos de vida ajustados por incapacitação (DALYs no seu acrônimo em inglês e aqui utilizado) como medida que combina os anos de vida perdidos devido à mortalidade prematura e os anos de vida perdidos devido ao tempo vivido com algum grau de incapacitação, ou anos de vida saudável para uma população. Um DALY representa a perda do equivalente a um ano de vida vivido com saúde plena.

Neste estudo foram calculados os anos de vida perdidos por incapacitação (DALYs) para todos os agravos identificados a partir da avaliação dos parâmetros epidemiológicos (i) razão de risco atribuível (ao rompimento da barragem), (ii) razão de incidências acumuladas após e antes do desastre, para atingidos e controles, e (iii) coeficiente de plausibilidade (que expressa o grau de pertinência dos agravos analisados ao conjunto de condições de saúde plausivelmente associadas ao rompimento da barragem, com base em evidências científicas previamente demonstradas considerando a exposição a desastre e efeitos à saúde resultantes da

contaminação por elementos químicos (principalmente metais pesados) e compostos tóxicos).

Na avaliação dos quatro bancos, foram identificados 2.172 agravos com incidências cumulativas, após o desastre, maiores para os municípios atingidos do que para os controles. Foram descartados todos os agravos com risco atribuível menor a zero, assim como aqueles não potencialmente relacionados ao rompimento da barragem, resultando em 1.415 diagnósticos CID-10 ou agravos diferentes. Estes agravos foram classificados segundo a classificação de doenças nos estudos de carga de doença em (I) Doenças Infecciosas, parasitárias, maternas, perinatais e nutricionais, (II) Doenças Não Transmissíveis e (III) Causas Externas ou Lesões, e seus respectivos subgrupos.

Foram calculados os DALYs para todos estes agravos na situação contrafactual de não ocorrência do rompimento, a partir de uma análise de carga de doença para o Brasil realizada em 2016 pela Organização Mundial da Saúde. Os 1.415 diagnósticos identificados foram agrupados em 75 grupos de doenças que foram normalizados (i.e., divididos pelo maior valor de cada medida) segundo o risco atribuível e a razão de incidências. A seguir, foi utilizada uma abordagem de lógica Fuzzy para a escolha da medida mais relevante (plausível) a ser considerada para o cálculo dos DALYs considerando o rompimento da Barragem de Fundão, i.e., os valores de DALYs calculados para a situação contrafactual “sem ocorrência do desastre” multiplicados pela razão de incidências considerando a ocorrência do desastre. Por fim, a soma total de todos os DALYs perdidos nos municípios atingidos para as doenças identificadas foi subtraída da soma de todos os DALYs sem considerar a ocorrência do desastre.

Esta abordagem permitiu chegar à conclusão de que os moradores dos 45 municípios atingidos perderam, cada um, em média, 2,39 anos de vida por incapacitação considerando 75 grupos de agravos e doenças que tiveram incidências acumulativas e riscos atribuíveis maiores após o desastre, quando comparados com um conjunto de municípios controle, indicando uma piora na saúde destas populações. O estudo ainda indicou que as doenças respiratórias, diversos tipos de câncer, os transtornos mentais e a violência foram responsáveis por uma parcela muito expressiva dos danos identificados.

1 INTRODUÇÃO

Diversos estudos já foram desenvolvidos com o intuito de compreender a dimensão dos impactos do rompimento da Barragem de Fundão e o consequente desastre tanto para o meio ambiente quanto para a saúde dos atingidos (alguns exemplos: LACTEC 2018a, 2018b, 2018c¹ e 2019a, b; FGV, 2019c e 2019d²; FGV, 2020m³; FGV, 2021a⁴; ANDRADE et al., 2021⁵; ISS 2017⁶; DAS NEVES, 2018⁷; EPISUS, 2016⁸ e 2018⁹).

¹ LACTEC. **Diagnóstico Socioambiental do Rio Doce — Relatório pós-desastre Grupo 01 — Qualidade de Água, Águas Subterrâneas, Pesca, Toxicologia**. Institutos Lactec, Curitiba — Paraná — Brasil, jan. 2018a.

LACTEC. **Diagnóstico Socioambiental do Rio Doce — Relatório pós-desastre Grupo 02 — Meios Físico e Biótico, Geologia, Solos, Hidrologia e Hidrosedimentologia, Qualidade de Sedimentos, Unidades de Conservação, Flora e Fauna**. Institutos Lactec, Curitiba — Paraná — Brasil, maio 2018b.

LACTEC. **Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce Caracterização Parcial do Rejeito de Mineração do Complexo de Germano**. Institutos Lactec Curitiba — Paraná — Brasil, nov. 2018c.

² FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Análise de Agravos Notificados às Bases do DATASUS** — Parte 1. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2019c. Disponível em: <www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/fgv_analise-de-agravos-notificados-as-bases-do-datasus-parte-1>.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Análise de Agravos Notificados às Bases do DATASUS** — Parte 2. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2019d. Disponível em: <www.mpf.mp.br/grandes-casos/casosamarco/documentos/fgv/FGV_Analise%20de%20Agravos%20Notificados%20as%20Bases%20do%20DATASUS%20-%20Parte%202%20.pdf>.

³ FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Parâmetros e Subsídios para a Reparação dos Danos Socioeconômicos nos Territórios de Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado e Chopotó**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2020m. Disponível em: <www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/rosa-fortini-parametros-e-subsidios-para-a-reparacao-dos-danos-socioeconomicos_parte-1.pdf>.

⁴ FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **A Violência Doméstica contra as Mulheres Atingidas pelo Rompimento da Barragem de Fundão**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2021a. Disponível em: <www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/fgv_a-violancia-doma-c-stica-contra-as-mulheres-atingidas-pelo-rompimento-da-barragem-de-fundapso.pdf>.

⁵ ANDRADE, M. A. de; SOUZA NORONHA, K. V. M.; SOARES SANTOS, A. de; SOUZA, A.; GUEDES, G. R.; CAMPOLINA, B.; CAVALCANTE, A.; SOUZA MAGALHÃES, A.; DUARTE, D.; KIND, P. Estimation of Health-Related Quality of Life Losses Owing to a Technological Disaster in Brazil Using EQ-5D-3L: A Cross-Sectional Study. **Value in Health Regional Issues**, v. 26, p. 66-74, 2021.

⁶ INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE. **Avaliação dos riscos em saúde da população afetada pelo desastre de Mariana**. São Paulo: Instituto Saúde e Sustentabilidade, Greenpeace; mar. 2017.

⁷ DAS NEVES, M. C. L.; et al. **PRISMMA. Pesquisa sobre a saúde mental das famílias atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão em Mariana**. Belo Horizonte: Corpus, 2018.

⁸ EPISUS. **Estudo sobre o Perfil Epidemiológico da População de Barra Longa — MG, Pós-Desastre, 2016**. Relatório Final. Secretaria de Vigilância em Saúde/MS. Documento restrito. 2016.

⁹ EPISUS. **Dois anos pós-desastre da barragem do Fundão: perfil epidemiológico e toxicológico da população de Barra Longa, MG, 2018**. Relatório Final. Secretaria de Vigilância em Saúde/MS. Documento restrito. 2018.

Recentemente, a FGV realizou uma avaliação do impacto à saúde dos atingidos, baseada nas incidências de agravos registrados entre 2005 e 2019, em quatro bancos de dados do Sistema de Informações do Ministério da Saúde, DATASUS: SIA, SIH, SIM e SINAN (FGV, 2021e¹⁰, 2021f¹¹). As análises realizadas compreenderam dois tipos de comparações: uma temporal, utilizando as séries históricas de incidência para todos os agravos registrados nos bancos mencionados, no período analisado, e subsequente cálculo das incidências acumuladas para os 45 municípios atingidos (chamados daqui por diante de “atingidos”) num período de tempo igual, antes e depois do rompimento, e uma comparação contrafactual, *i.e.*, mediante a escolha de um conjunto de municípios de comparação pareados por condições socioeconômicas com os municípios atingidos os quais não experimentaram o desastre (chamados daqui por diante de “controles”). Este último grupo de municípios foi escolhido a partir de um processo de pareamento baseado em características socioeconômicas. Resumidamente¹², para cada município atingido foram selecionados três municípios controle, sendo permitida a reposição dos mesmos (isto é, um município não atingido (controle) pode ter sido pareado a mais de um município atingido). A seleção de variáveis para o pareamento representa características importantes para explicar as variações observáveis, relacionadas com a determinação de o município ser atingido ou não. As variáveis consideradas para o pareamento (sempre referentes a municípios) e suas fontes são:

- Proporção da população composta por mulheres (Censo Demográfico 2010 (IBGE));
- Proporção da população composta por brancos (Censo Demográfico 2010 (IBGE));
- Proporção da população de mulheres com idade entre 18 e 29 anos (Censo Demográfico 2010 (IBGE));
- Proporção da população com Ensino Médio completo (Censo Demográfico 2010 (IBGE));

¹⁰ FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Diagnóstico de Saúde para os Municípios Atingidos pelo Rompimento da Barragem de Fundão. Análise de Dados dos Sistemas de Informação em Saúde do DATASUS: SIA e SINAN** — Volume 1. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2021e.

¹¹ FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Diagnóstico de Saúde para os Municípios Atingidos pelo Rompimento da Barragem de Fundão. Análise de Dados dos Sistemas de Informação em Saúde do DATASUS: SIH e SIM** — Volume 2. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2021f

¹² Para maiores detalhes técnicos sobre o processo de pareamento de municípios de Minas Gerais e Espírito Santo para escolha de municípios controles, ver seção “Metodologia” do Produto FGV 2021e.

- Proporção da população que residia em zonas rurais (Censo Demográfico 2010 (IBGE));
- Proporção da população que estava ocupada (Censo Demográfico 2010 (IBGE))
- Proporção de ocupados em atividades de agropecuária e pesca (Censo Demográfico 2010 (IBGE));
- Proporção de ocupados em atividades de mineração (Censo Demográfico 2010 (IBGE));
- Proporção de ocupados em indústrias (Censo Demográfico 2010 (IBGE));
- Proporção da população em empregos no setor formal (Censo Demográfico 2010 (IBGE));
- Renda familiar *per capita* média (ln) (Censo Demográfico 2010 (IBGE));
- Índice de Gini (Censo Demográfico 2010 (IBGE));
- Variável binária (*dummy*) de existência de guarda municipal (Pesquisa de Informações Básicas Municipais — MUNIC (IBGE));
- Variável binária (*dummy*) de existência de Centro de Referência Especializado de Assistência Social — CREAS (Registro Mensal de Atendimentos — RMA (Ministério da Cidadania)).

Foram comparadas as incidências acumuladas de casos para todos os agravos nos 21 capítulos do CID-10, antes e depois, para os municípios atingidos (45) e o conjunto de 100 municípios controle.

No estudo foram identificados diversos agravos com maior incidência no grupo de atingidos após o rompimento da barragem, quando comparados com o grupo controle. Os resultados vão ao encontro de outros, apresentados previamente em pesquisas realizadas pelo Ministério da Saúde (Programas EPISUS, 2016¹³ e 2018¹⁴), pela FGV

¹³ EPISUS. **Estudo sobre o Perfil Epidemiológico da População de Barra Longa — MG**, Pós-Desastre, 2016. Relatório Final. Secretaria de Vigilância em Saúde/MS, 2016.

¹⁴ EPISUS. **Dois anos pós-desastre da barragem do Fundão: perfil epidemiológico e toxicológico da população de Barra Longa**, MG, 2018. Relatório Final. Secretaria de Vigilância em Saúde/MS, 2018.

(FGV, 2019c, 2019d¹⁵ e 2020m¹⁶) e pelos próprios municípios atingidos, seja nas narrativas dos próprios atingidos (FGV, 2020k¹⁷; FGV, 2020l¹⁸; FGV, 2020m¹⁹) como das prefeituras municipais (comunicação verbal).

A população dos 45 municípios atingidos é sem dúvida uma população heterogênea, não só do ponto de vista de aspectos relacionados com os modos de vida, as condições de saúde prévias, sanitárias, alimentação, renda etc., como também no que diz respeito à exposição aos efeitos do rompimento da Barragem de Fundão. As diversas especificidades regionais e locais levam a formas diferentes de exposição aos rejeitos, o que, junto à variabilidade individual dos próprios processos envolvidos no adoecimento, resultam em uma heterogeneidade de agravos bastante significativa, como ficou demonstrado a partir dos dados obtidos nos bancos do DATASUS analisados por nossa equipe.

O estudo permitiu levantar indícios em relação aos agravos de saúde que devem ser levados em consideração na população atingida, seja mediante a realização de pesquisas de campo, ainda insuficientes tanto quanto necessárias para compreender a real situação de saúde destas populações, como para alertar aos gestores em saúde e do atendimento básico para dar a devida atenção a certas queixas que possam ser recorrentes nos pacientes nestes municípios.

¹⁵ FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Análise de Agravos Notificados às Bases do DATASUS** — Parte 1. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2019c. Disponível em: <www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/fgv_analise-de-agravos-notificados-as-bases-do-datasus-parte-1>.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Análise de Agravos Notificados às Bases do DATASUS** — Parte 2. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2019d. Disponível em: <www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/FGV_Analise%20de%20Agravos%20Notificados%20as%20Bases%20do%20DATASUS%20-%20Parte%202%20.pdf>.

¹⁶ FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Parâmetros e Subsídios para a Reparação dos Danos Socioeconômicos nos Territórios de Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado e Chopotó**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2020m. Disponível em: <www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/rosa-fortini-parametros-e-subsidios-para-a-reparacao-dos-danos-socioeconomicos_parte-1.pdf>.

¹⁷ FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Parâmetros e Subsídios para a Reparação dos Danos Socioeconômicos na Cadeia da Pesca do Camarão na Praia do Suá em Vitória (ES)**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2020k. Disponível em: <www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/camaroeiros_parte-1.pdf>.

¹⁸ FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Parâmetros e Subsídios para a Reparação dos Danos Socioeconômicos dos Povos Tupiniquim e Guarani em Aracruz (ES)**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2020l. Disponível em: <www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/tupiniquim-e-guarani_parte-1.pdf>.

¹⁹ FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Parâmetros e Subsídios para a Reparação dos Danos Socioeconômicos nos Territórios de Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado e Chopotó**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2020m. Disponível em: <www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/rosa-fortini-parametros-e-subsidios-para-a-reparacao-dos-danos-socioeconomicos_parte-1.pdf>.

A natureza deste desastre leva à potencial exposição dos indivíduos que habitam os municípios atingidos, não só aos efeitos ecológicos, sociais e econômicos resultantes dele, mas ao contato com uma série de substâncias potencialmente tóxicas, fundamentalmente de metais pesados e silício, provenientes dos rejeitos de mineração. A impossibilidade de degradação dos metais pesados no meio ambiente permite a permanência deles e sua acumulação em diversos órgãos e tecidos dos indivíduos a eles expostos, afetando órgãos como cérebro, fígado, ossos e tecido adiposo dos indivíduos expostos (MUNIZ; OLIVEIRA-FILHO, 2006²⁰). Em nível celular, os efeitos cumulativos destes elementos são muito danosos, já que são capazes de formar complexos com grupos funcionais de proteínas e enzimas, alterando sua funcionalidade. Eles podem causar uma série de danos, alguns dos quais irreversíveis, que vão desde transtornos do desenvolvimento ósseo, agravos ao sistema nervoso, podendo ocasionar problemas no desenvolvimento cognitivo, alucinações, tremores musculares, paralisia, agravos renais, respiratórios, problemas de pele, alterações metabólicas e uma vasta quantidade de sintomas e doenças.

Esta Nota Técnica teve por objetivo apresentar evidências dos impactos à saúde do rompimento da Barragem de Fundão, a partir da avaliação de dados secundários presentes nos diversos bancos de dados do Ministério da Saúde, mediante um estudo de carga de doenças, utilizando os anos de vida perdidos devido a incapacitação: o indicador DALY (*Disability Adjusted Life Year* — Anos de Vida Perdidos Ajustados por Incapacitação) como medida resumo. Este parâmetro incorpora os impactos de eventos fatais e não fatais de forma combinada mediante a soma das parcelas de Anos de Vida Perdidos por Morte Prematura aos Anos de Vida Perdidos devido à Incapacitação.

²⁰ MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. **Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente**. Universitas: Ciências da Saúde, v. 4, n. 1/2, p. 83-100, 2006.

2 EFEITOS DOS METAIS PESADOS NA SAÚDE HUMANA

Os metais são contaminantes persistentes no meio ambiente, já que não são decompostos por microrganismos como o são os poluentes orgânicos (RAHMAN, 2019²¹). Uma vez no ambiente, eles se acumulam e bioconcentram nos ecossistemas, levando a situações de contaminação crônica do ambiente e dos diversos organismos que vivem nele.

Sua toxicidade depende de vários fatores, incluindo a dose, a via de exposição e a espécie química do elemento, bem como idade, sexo, genética e estado nutricional dos indivíduos expostos. Os metais podem agir como pseudoelementos do corpo e podem interferir em processos metabólicos naturais do organismo (JAISHANKAR, 2014²²).

Devido ao seu alto grau de toxicidade, o Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Chumbo (Pb) e Mercúrio (Hg) estão entre os metais prioritários para a saúde pública. Esses elementos metálicos são considerados tóxicos sistêmicos que induzem danos a múltiplos órgãos, mesmo em níveis baixos de exposição. Esses metais foram amplamente estudados e seus efeitos na saúde humana são regularmente revisados por organismos internacionais como a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2007²³).

Além de diversas doenças e agravos associados à exposição a metais pesados, as interações entre diferentes componentes de uma mistura contendo diversos metais podem alterar a toxicocinética e a toxicodinâmica dos mesmos (SPURGEON, 2010²⁴; ANDRADE, 2017²⁵) resultando em maior toxicidade (fenômeno de sinergia) (LISTER, 2011²⁶). Isto se torna particularmente preocupante quando os componentes da mistura afetam individualmente os mesmos órgãos e sistemas do corpo humano (ANDRADE, 2017).

²¹ RAHMAN, Zeeshan Ur; SINGH, Ved Pal. The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 7, p. 419, 2019.

²² JAISHANKAR, M. et al. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. **Interdisciplinary Toxicology**, v. 7, n. 2, p. 60-72, 2014.

²³ WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution. Joint WHO/**Convention Task Force on the Health Aspects of Air Pollution**. 2007.

²⁴ SPURGEON, D. J. et al. Systems toxicology approaches for understanding the joint effects of environmental chemical mixtures. **The Science of the Total Environment**, v. 408, n. 18, 3725-34, 2010.

²⁵ ANDRADE, V. M. et al. Neurotoxicity of metal mixtures. **Advances in Neurobiology**, v. 18, p. 227-265, 2017.

²⁶ LISTER, L. J. et al. Modelling the joint effects of a metal and a pesticide on reproduction and toxicokinetics in Lumbricid earthworms. **Environment International**, v. 37, n. 4, p. 663-670, 2011.

Além de exercerem efeitos tóxicos em praticamente todos os sistemas do corpo, também são classificados como carcinógenos humanos (conhecidos ou prováveis) segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA²⁷) e a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC, 2012²⁸). O Arsênio, Cádmio, Cromo e Níquel são classificados como carcinógenos pertencentes ao grupo 1 pela IARC.

Sabe-se que o câncer resulta da interação entre a genética e o meio ambiente. Mas os fatores genéticos por si só explicam cerca de 5 a 10% de todos os cânceres (KNUDSON 1985²⁹, PERERA 1997³⁰). O restante pode ser atribuído a fatores ambientais que atuam em conjunto com a suscetibilidade genética dos indivíduos. Neste sentido, as consequências para a saúde humana da liberação no meio ambiente de 44 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração, provocadas pelo rompimento da Barragem de Fundão, em novembro de 2015 (LACTEC, 2020), são de extrema preocupação no que diz respeito à saúde das populações expostas a esses resíduos. Estudos elaborados pelos institutos LACTEC indicaram que a lama do rejeito de mineração estava composta principalmente por Ferro (mais de 12 milhões de toneladas), Silício e Alumínio (aproximadamente 400 mil toneladas), mas também continha diversos metais como Arsênio (As), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Bário (Ba), Níquel (Ni), Cobalto (Co), Chumbo (Pb), Antimônio (Sb), Selênio (Se), Estanho (Sn) e Mercúrio (Hg) em quantidades que vão de 12 a mais de 55 mil toneladas destes elementos (Figura 1 e Gráfico 1). A presença de fenol e fenóis clorados foram também detectadas em concentrações variáveis nas barragens de Germano, Fundão e Santarém (LACTEC). Estas substâncias são extremadamente tóxicas, mesmo quando presentes em concentrações muito baixas.

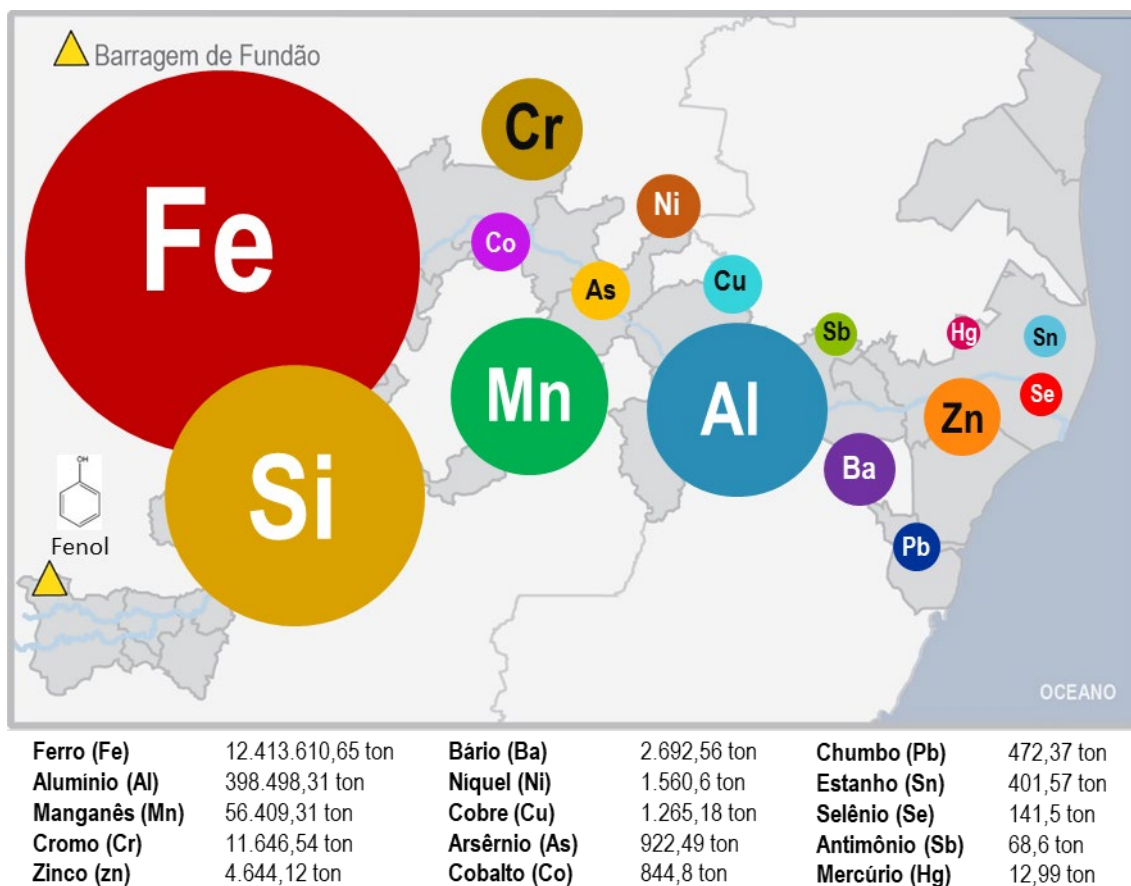
²⁷ ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Guidelines for carcinogen risk assessment**, 2005.

²⁸ INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). **Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans**. Arsenic, metals, fibres, and dusts. Volume 100 C. A review of human carcinogens, 2012.

²⁹ KNUDSON JR., A. G. Hereditary cancer, oncogenes, and antioncogenes. **Perspectives in Cancer Research**, v.45, p.1437-1443, 1985.

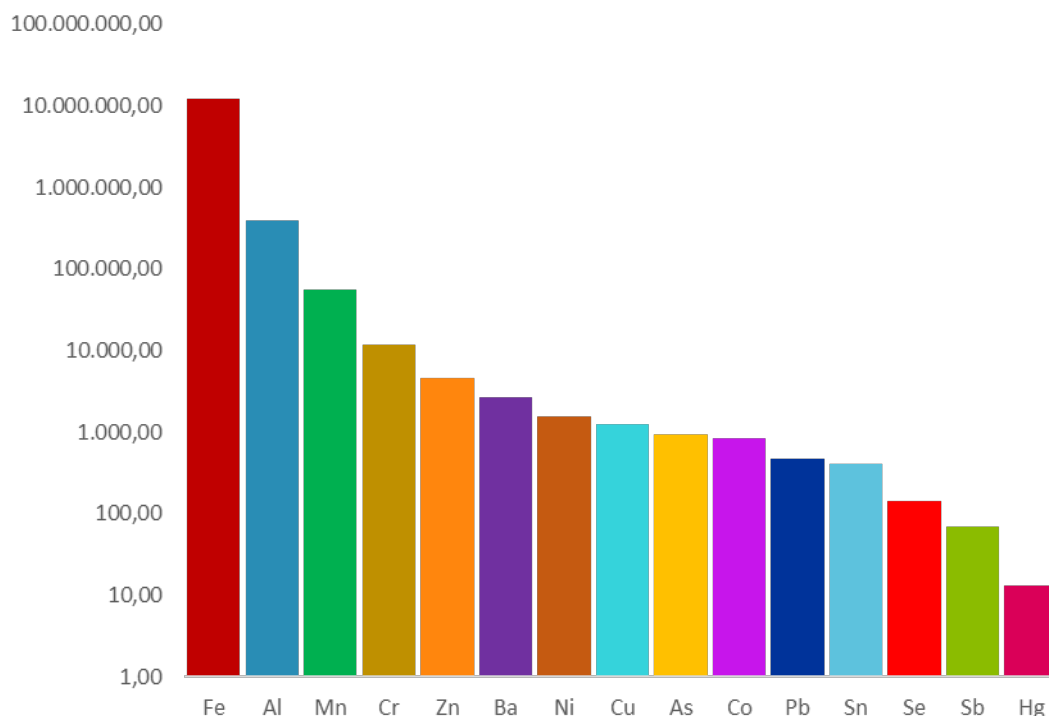
³⁰ PERERA, P. Environment and cancer: who are susceptible? **Science**, v. 278, n. 5340, p. 1068–1073, 1997.

Figura 1 — Representação dos principais elementos químicos achados nos rejeitos de mineração da Barragem de Fundão (não representados a escala, ver gráfico 1). Embaixo da figura encontram-se as toneladas de metais liberadas ao ambiente



Fonte: Elaboração própria (2021), sobre dados de LACTEC (2020).

Gráfico 1 — Toneladas de metais liberados ao meio ambiente após o rompimento da Barragem de Fundão (escala logarítmica)



Fonte: Elaboração própria (2021), sobre dados de LACTEC (2020).

2.1 Efeitos carcinogênicos dos metais pesados

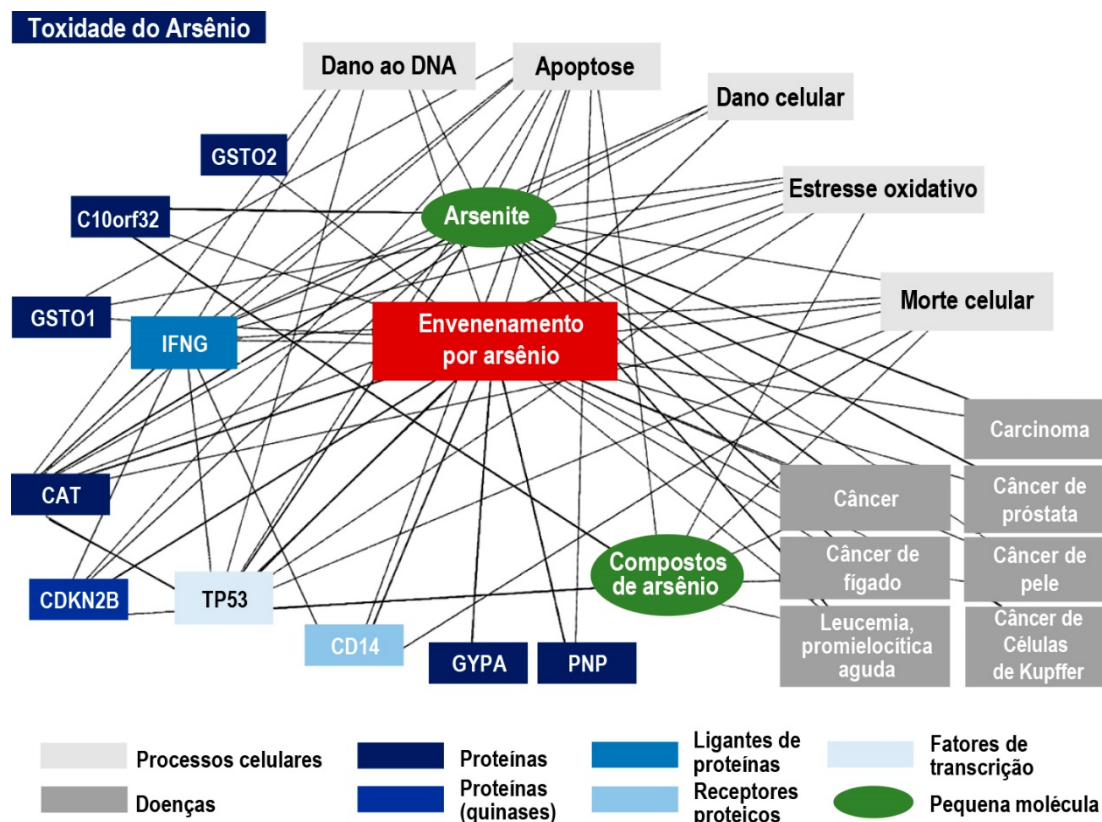
O estresse oxidativo causado por espécies reativas de oxigênio (ROS) é o principal mecanismo envolvido nos danos moleculares e celulares induzidos por metais pesados (REHMAN, 2018; Kim, 2015³¹). Nas figuras a seguir estão representados diversos mecanismos moleculares que relacionam os metais Níquel, Arsênio, Cadmio e Cromo a processos fisiológicos e metabólicos que interferem com processos neoplásicos (Figuras 2 a 5 modificadas a partir de Kim, 2015).

A Figura 2 representa os mecanismos moleculares envolvidos na toxicidade do Arsênio, os quais se encontram principalmente associados à apoptose, dano celular, estresse oxidativo e dano ao DNA (Kim, 2015). Os dados mostram potenciais caminhos de interações genômicas, processos celulares e doenças induzidas pela exposição ao Arsênio. Dez proteínas, 5 processos celulares, 8 doenças e 2 pequenas moléculas apareceram na figura. A análise permite inferir uma série de relações genômicas entre diversas proteínas, incluindo a P53 (proteína supressora de tumores), o interferón gama,

³¹ KIM, H. S.; YEO, Kim J.; ROK, Seo Y. An overview of carcinogenic heavy metal: molecular toxicity mechanism and prevention. **J Cancer Prev.**, v. 20, n. 4, p. 232-240, 2015.

catalases etc. e o Arsênio. Os cânceres de pele, fígado, próstata e células de Kuffer se encontraram associados ao envenenamento por arsênio (Kim, 2015).

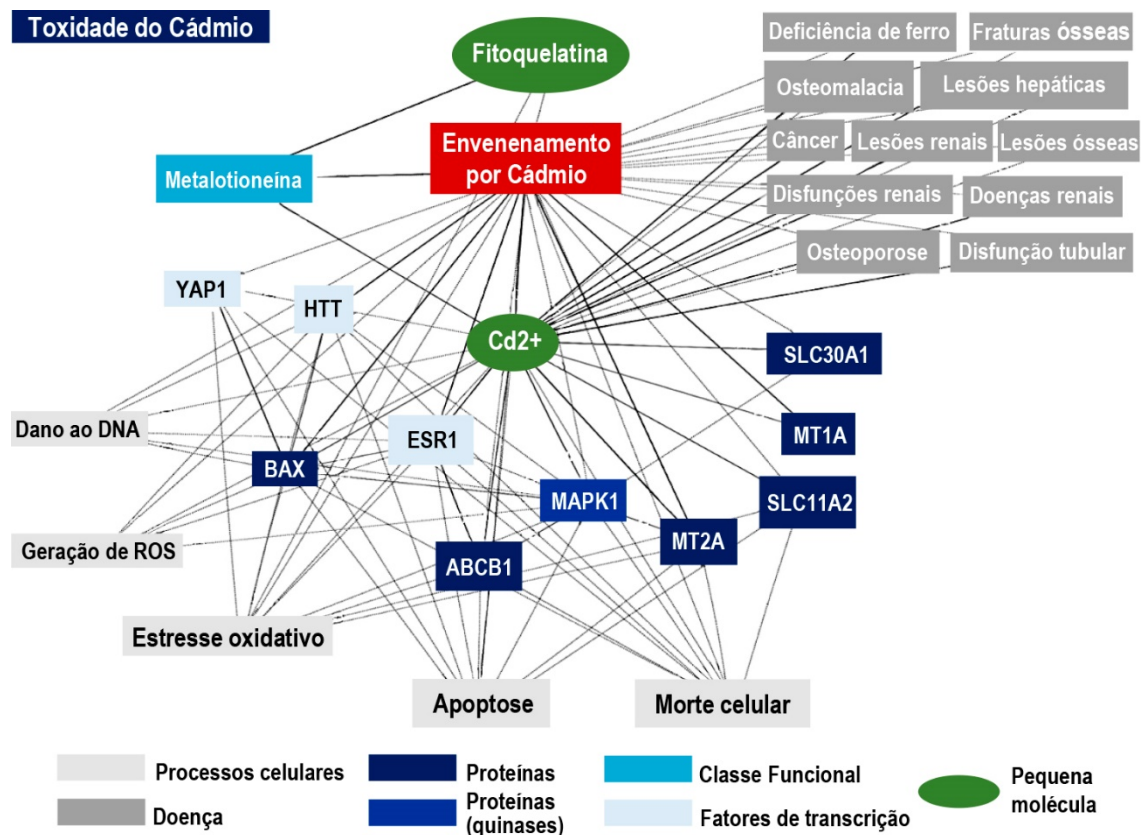
Figura 2 — Representação de relações entre o Arsênio e diversas vias fisiológicas celulares envolvendo interações genômicas, processos celulares e doenças



Fonte: Modificada de Kim (2015).

A Figura 3 mostra que o envenenamento por Cádmio está principalmente associado à apoptose, estresse oxidativo e resposta a danos no DNA. Além disso, apresenta interações genômicas entre a proteína associada à proteína do linfoma 2 de células B (BCL2) (BAX), a proteína quinase-1 ativada por mitógeno, a Huntingtina etc. A figura representa 10 proteínas, 5 processos celulares, 13 doenças, 2 pequenas moléculas e 1 classe funcional de proteínas potencialmente envolvidas à toxicidade pelo Cd. Várias doenças nos ossos e nos rins se encontram associadas à toxicidade por este metal (KIM, 2015).

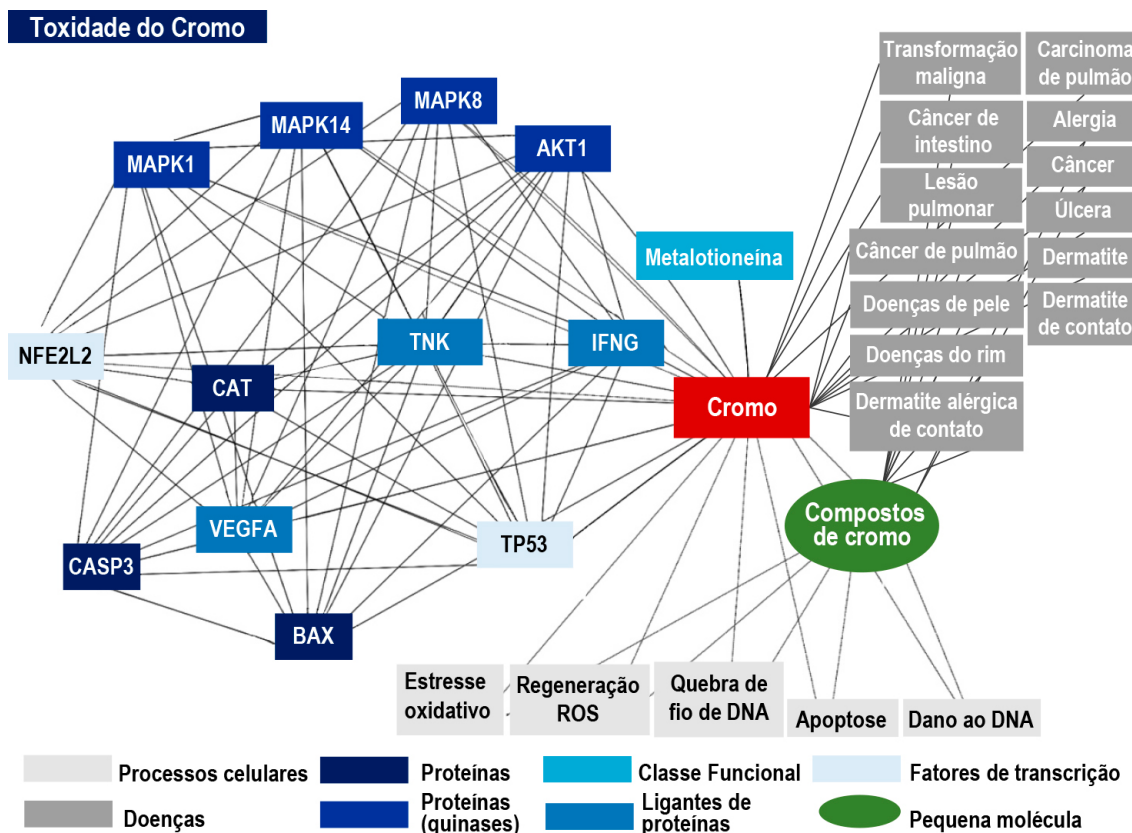
Figura 3 — Representação de relações entre o Cádmio e diversas vias fisiológicas celulares envolvendo interações genômicas, processos celulares e doenças



Fonte: Modificada de Kim (2015).

A Figura 4 mostra que o Cromo e seus compostos têm capacidade de induzir apoptose, estresse oxidativo e danos ao DNA (ver Kim, 2015 para detalhes). As análises dos caminhos fisiológicos relacionados com doenças envolvem relações com câncer de pulmão, alergia de pele, dermatite e doenças renais (KIM, 2015).

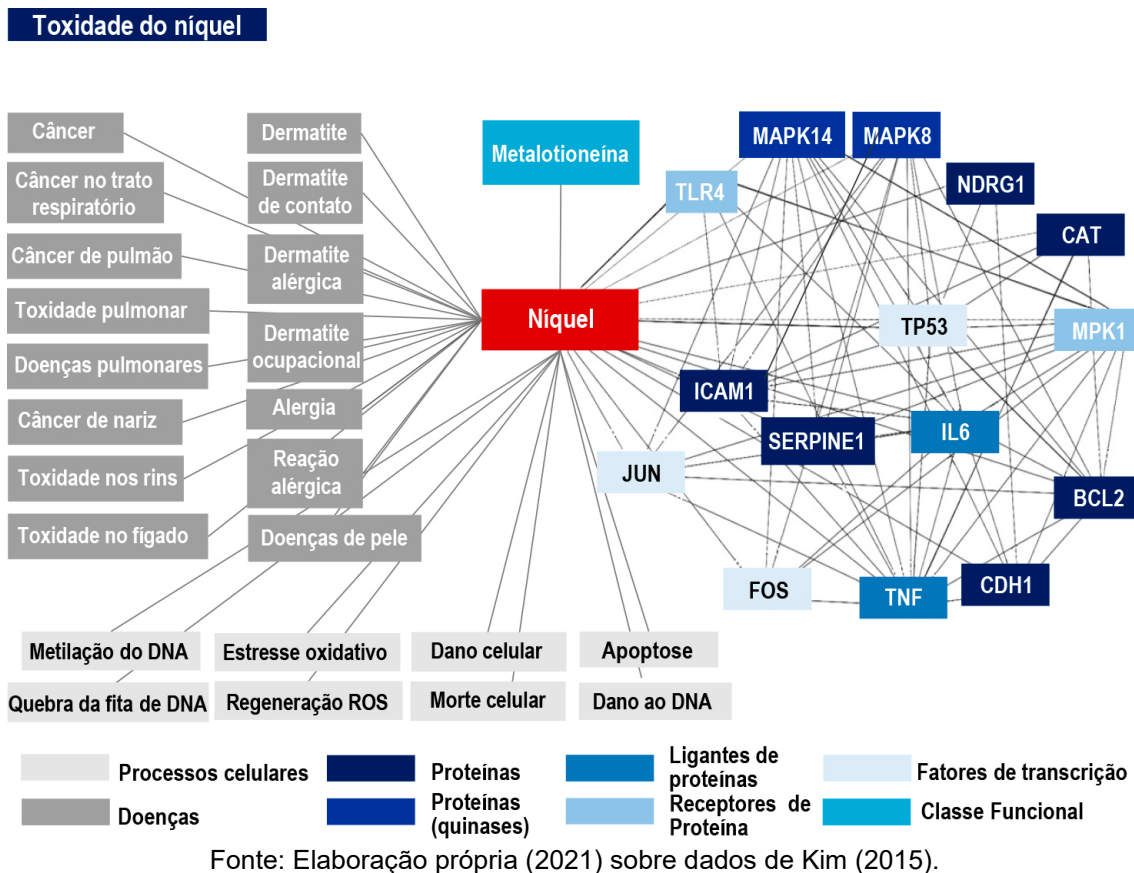
Figura 4 — Representação de relações entre o Cromo e diversas vias fisiológicas celulares envolvendo interações genômicas, processos celulares e doenças



Fonte: Modificada de Kim (2015).

Na Figura 5 se apresenta uma série de vias fisiológicas relacionando o Níquel (Ni) com processos de apoptose, estresse oxidativo, metilação do DNA e danos ao DNA. Diversas moléculas com interações genômicas se relacionam ao Níquel e envolvem a proteína antitumoral P53, TNF, BCL2 etc. A evidência indica toxicidade pelo Níquel a pulmão, nariz, pele, rim e fígado (KIM, 2015).

Figura 5 — Representação de relações entre o Níquel e diversas vias fisiológicas celulares envolvendo interações genômicas, processos celulares e doenças



O quadro a seguir apresenta os principais efeitos demonstrados na saúde para os metais pesados (Quadro 1). Fica claro que praticamente todos os sistemas do corpo humano podem ser afetados pela intoxicação aos metais. Os efeitos ainda podem ser agudos ou crônicos. A exposição continuada a alguns destes metais configura um risco à saúde humana de grande relevância para a saúde pública.

Quadro 1 — Principais efeitos à saúde da toxicidade de metais pesados no corpo humano

Metal	Sintoma	Autor, ano de publicação
Alumínio (Al)	Metaloestrogênio (metais com atividade estrogênica, relacionados com câncer de mama)	DARBRE, 2006
		THÉVENOD, 2013
	Proliferação e migração de células de câncer de mama	BAKIR; DARBRE, 2015
		DARBRE, 2016
	Câncer gástrico	GUNDUZ, 2010
		ESKANDARI, 2015
	Osteomalácia, anemia e demência	DUNEA, 2001
		MAHURKAR, 1973
		SANDHU, 2011
	Pneumoconiose e fibrose pulmonar se for respirado	IGBOKWE, 2019
		GORALEWSKI, 1941
		MCLAUGHLIN, 1962
	Alzheimer	IGBOKWE, 2019
	Interrompe o metabolismo mineral de Fe, P, Ca, Zn, Cu, alterando a absorção intestinal e a captação celular	JEFFERY, 1996
		CONTINI, 2007
		ZHU, 2014
	Tromboses e infarto isquêmico	ABEDINI, 2014
Arsênio (As)	Afeta praticamente todos os sistemas do corpo, já que interfere com reações enzimáticas de ampla distribuição	ATSDR, 2014
	Carcinogênese	HYUN, 2015
	Lesões de pele (queratose, hiperqueratose, hiperpigmentação)	WHO, 2018
	Lesões vasculares no sistema nervoso e fígado	WHO, 2018
	Efeitos no desenvolvimento, diabetes, doenças pulmonares e cardiovasculares	ATSDR, 2007
	Infarto do miocárdio	ATSDR, 2007
	Classificado no grupo I de substâncias cancerígenas pela IARC	IARC, 2004; NRC, 2000
	Carcinogênico (basilioma e carcinoma de células escamosas, pulmão, hepático, linfoma e câncer de bexiga, rins e nasofaringe (carcinoma broncogênico)	
	Câncer de pele, pulmão e bexiga	CHEN, 1986

Metal	Sintoma	Autor, ano de publicação
	Angiosarcoma hepático	POPPER, 1978
		ZALDIVAR, 1981
	Efeitos adversos na gravidez/abortos	QUANSAH, 2015
	Efeitos adversos no desenvolvimento	FARZAN, 2013
	Neurotoxicidade	TOLINS, 2014
Cádmio (Cd)	O Cádmio apresenta absorção dérmica, respiratória e gastrointestinal	BERNARD, 2008
	Exerce efeitos tóxicos nos rins, sistema esquelético e respiratório	WHO, 2005-2007
	Carcinogênico	HYUN, 2015
		CHEN, 2019
		BISHAK, 2015
		IARC, 2010
	Dano renal	WHO, 2008
	A intoxicação pelo Cádmio é caracterizada por dano renal com proteinúria	SATARUG, 2018
		JARUP, 2012
	Absorção aumentada na presença de uma dieta pobre em cálcio, ferro ou pobre em proteínas	BERGLUND, 1994
		KAUR, 2008
	Doenças ósseas (Itai-itai). O cádmio afeta o metabolismo do Cálcio, Fósforo e vitamina D, interferindo na calcificação, descalcificação e remodelação óssea. Ao afetar o metabolismo do Cálcio, Fósforo e vitamina D, surgirão determinadas patologias, particularmente a osteoporose, a osteomalácia ou a doença de Itai-Itai	INABA, 2005
		JÄRUP, 2009
	Metaloestrogênio: mímica de estrogênios, câncer de mama	THÉVENOD, 2013
Chumbo (Pb)	Exposição ao Chumbo é considerada risco para a saúde e o desenvolvimento de crianças	ATSDR, 2011
	Maior depósito nos ossos: interfere na função do Cálcio, inibe a síntese de hemoglobina e causa danos neurológicos	WHO, 1998
	Os efeitos agudos no sistema nervoso central incluem parestesia, dor muscular e fraqueza, crise hemolítica grave-anemia e hemoglobinúria. Também afeta os rins com oligúria e albuminúria. O envenenamento agudo pode causar a morte, mas mais frequentemente o paciente se recupera com danos	WHO, 2005-2007

Metal	Sintoma	Autor, ano de publicação
	gastrointestinais, neuromusculares, nervosos, hematológicos, renais e reprodutivos	
	A exposição ao chumbo tem sido associada à esterilidade e morte neonatal em humanos. Em animais, foi demonstrado um efeito tóxico sobre os gametas e um aumento na concentração de chumbo no sangue materno, reduzindo a duração da gestação e o peso ao nascer da prole	TAVAKOLY, 2011
	O sistema nervoso, a medula óssea e os rins, são os órgãos alvo da exposição ao Chumbo	KLAASSEN, 2001
		OWDA, 2003
	Efeitos neurológicos	MASON, 2014
	Abortos	BELLINGER, 2005
		WHO, 2019
Cobre (Cu)	Anorexia, náuseas e diarreia têm sido atribuídas à ingestão de poeiras do metal	POHANKA, 2019
		DE JONG, 2018
	Alzheimer	ZHAO, 2018
		BOLOGNIN, 2019
		GRASSO, 2011
	Parkinson	KARPENKO, 2018
		IYECHOVA, 2018
	Fibrose pulmonar	LAI, 2018
		GOSENS, 2016
	Cromo (Cr)	BARUTHIO, 1992
		BREGNBAK, 2015
		IARC, 1980
		IARC, 1990
		LANGÅRD, 1990
		EPA, 1984
	Sangramento gastrointestinal, úlceras da mucosa intestinal	WHO
	Carcinogênico	LANGÅRD, 1983
		ZHITKOVICH, 2005
	Câncer de pulmão	SALNIKOW, 2008
		LUIPPOLD, 2003
		HYUN, 2015

Metal	Sintoma	Autor, ano de publicação
		AXELSSON, 1980
		LANGÅRD, 1990
	Danos renais	
	Necroses de rim	KAUFMAN, 1970
	Altos níveis de Cr hexavalente na corrente sanguínea causam danos às células sanguíneas por oxidação e degradação funcional do fígado e dos rins	DARTSCH, 1998
	Efeitos pulmonares Asma, bronquiolite crônica, irritação crônica, faringite, rinite, ulceração da mucosa nasal	ARSDR, 1983
Níquel (Ni)	Reações alérgicas	AHLSTRÖM, 2019
	Autoimunidade	DRENOVSKA, 2020
	Doenças do trato respiratório	SALNIKOW, 2004
		GILLESPIE, 2010
	Câncer	LANGÅRD, 1994
		ZAMBELLI, 2016
		HYUN, 2015
Ferro (Fe)	Doença de Parkinson	MEZZAROBÀ, 2019
		MOSTILE, 2017
	Esclerose múltipla	FUJIWARA, 2017
		MEHTA, 2013
	Pneumoconiose	KELLY, 2018
	Efeitos tóxicos para o fígado, pâncreas, coração e pele	OH, 2019
	Cirrose e Câncer de fígado	OH, 2019, HARRISON, 2005; AMMANN, 1980
	Doenças metabólicas e inflamação	OH, 2019
Manganês (Mn)	Neurotoxicidade	MEZZAROBÀ, 2019
	Doenças neurodegenerativas (Manganismo)	LUCCHINI, 2016
		AVILA, 2013
Mercúrio (Hg)	Alterações do sistema nervoso central	SMITH, 1981
	Efeitos neurotóxicos	CHANG, 1977
	Câncer digestivo	TÜRKDOĞAN, 2003

Metal	Sintoma	Autor, ano de publicação
	Dano celular	BHATTACHARYYA, 2014
	Aberrações cromossômicas	MARTIN MATEO, 1997
	Disfunção imune	AKIYAMA, 2001
		BEM-OZER, 2000

Fonte: Elaboração própria (2021).

2.2 Estudos de risco à saúde humana

A fim de estabelecer os riscos à saúde humana decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão, uma série de estudos foi realizada por diversas instituições em diferentes localidades dos municípios da bacia do Rio Doce.

Ainda que não seja objetivo desta nota técnica discursar sobre os estudos de avaliação de risco à saúde humana (ARSH), é relevante conhecer os resultados dos estudos previamente realizados nesse sentido, para poder contextualizar os resultados e conclusões desta nota técnica, principalmente no que diz respeito à exposição a metais e seus efeitos na saúde.

Um estudo de avaliação de risco à saúde humana (ARSH) realizado nas localidades de Mariana e Barra Longa (MG), no alto Rio Doce, e em Linhares (ES) na foz do Rio Doce, apontou para a presença de contaminantes com forte impacto à saúde das populações atingidas (AMBIOS, 2019a,³² 2019b³³). Foram encontrados cádmio no solo superficial, e cádmio, chumbo, níquel, cobre e zinco em sedimentos e poeira nas localidades estudadas nos municípios de Mariana e Barra Longa. Nas localidades estudadas do município de Linhares, foram estabelecidos como contaminantes de interesse o cádmio, tendo como rota de exposição completa o solo superficial e a poeira domiciliar, o arsênio, tendo como rota de exposição completa o solo superficial, o antimônio, com rota de exposição completa o solo superficial e a poeira domiciliar, o zinco, com rota de exposição completa pela poeira domiciliar, e o chumbo, com rota de exposição completa pela água de consumo humano. Esses dados indicam que estes locais tiveram impactos adversos na saúde humana e foram enquadrados

³² AMBIOS. **Estudo de avaliação de risco à saúde humana em localidades atingidas pelo rompimento da barragem do Fundão – MG**. Etapa I. Municípios de Mariana e Barra Longa (MG). Relatório final. São Paulo, 17 abr. 2019a.

³³ AMBIOS. **Estudo de avaliação de risco à saúde humana em localidades atingidas pelo rompimento da barragem do Fundão – MG**. Etapa I. Município de Linhares (ES). Relatório final. São Paulo, 15 maio 2019b.

como risco para a saúde humana de categoria A, ou seja, perigo urgente para a saúde pública.

Foi também realizado um estudo encomendado pela Fundação Renova à empresa TecnoHidro Engenharia São Paulo (TECNOHIDRO) para desenvolver uma avaliação de risco à saúde humana em três áreas-alvo, contemplando as regiões de Bento Rodrigues e os distritos de Paracatu, Monsenhor Horta, Claudio e Barretos entre Mariana e Barra Longa (TECNOHIDRO, 2019).³⁴ Este estudo não foi realizado seguindo estritamente as Diretrizes para Elaboração de Estudo de Avaliação de Risco à Saúde Humana por Exposição a Contaminantes Químicos, do Ministério da Saúde (2010),³⁵ principalmente no que diz respeito ao estabelecimento donexo causal, pois o seu principal objetivo foi estabelecer os fatores de risco adicional que contribuem para a causalidade, o que não faz parte de um estudo de ARSH. De qualquer forma, os resultados do estudo indicam a existência de contaminantes em alguns compartimentos ambientais pelos metais arsênio, ferro, manganês, alumínio, antimônio, chumbo, cobalto, cobre, mercúrio, selênio e zinco nas diferentes regiões avaliadas. Foram identificados riscos carcinogênicos e não carcinogênicos para as três áreas avaliadas no estudo.

Para risco carcinogênico, foram identificados riscos para compartimentos ambientais (solo superficial, sedimento, água subterrânea, poeira domiciliar, hortaliça, tubérculo, fruta, leite e ovo), enquanto para risco não carcinogênico foram identificados riscos para diversos endpoints [...] (TECNOHIDRO, 2019, p. 970).

Também, de modo a estimar o risco à saúde humana decorrente da ingestão de metais e semimetais por meio do consumo de pescados originários de regiões afetadas pelo rompimento da Barragem de Fundão, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa)³⁶ apresentou, em 2019, um parecer técnico sobre o impacto à saúde humana decorrente do consumo de pescado proveniente de regiões afetadas pelo desastre. Foi analisado um total de 11 mil resultados analíticos de amostras de pescado coletadas pela Fundação Renova na porção continental da bacia do Rio Doce e pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG) nas porções estuarina-marinha desta (de Guarapari/ES até Abrolhos/BA). Embora essa avaliação tenha sido realizada com um número expressivo de dados, a mesma apresenta limitações em relação a um estudo de

³⁴ TECNOHIDRO. **Relatório técnico de avaliação de risco à saúde humana**. Metodologia Ministério da Saúde. Áreas-alvo 1, 2 e 3. Mariana – MG, maio 2019.

³⁵ Ministério da Saúde. **Diretrizes para elaboração de estudo de avaliação de risco à saúde humana por exposição a contaminantes químicos**. 2010.

³⁶ ANVISA. **Nota Técnica nº 8/2019/SEI/GEARE/GGALI/DIRE2/ANVISA**. 2019.

avaliação de risco à saúde humana como: (i) ausência de dados de consumo da população local, (ii) utilização de diferentes metodologias na quantificação dos metais, (iii) utilização de metodologias não adequadas ao propósito, (iv) ausência de especificação dos metais, (v) ausência de estudos toxicológicos conclusivos sobre alguns metais e (vi) ausência de avaliação do tamanho dos peixes.

Contudo, foi possível concluir que os pescados da região afetada pelo desastre apresentam médias maiores de concentração de cádmio (peixes de água salgada), mercúrio e chumbo quando comparados com pescados comercializados mundialmente. Adicionalmente, para o cádmio, foi observado que 6% dos resultados em peixes de água salgada e 2% dos resultados de crustáceos apresentaram valores acima dos limites máximos permitidos.

Todos esses dados e outros não referenciados aqui, mas que mostram a existência de contaminantes nas regiões atingidas, indicam que as populações dos municípios atingidos se encontram de fato convivendo com diversos riscos à saúde.

3 CARGA DE DOENÇAS

Apresenta-se aqui uma análise da Carga de Doenças nos municípios atingidos após o rompimento da Barragem de Fundão, a partir dos resultados obtidos pela nossa equipe, na avaliação dos impactos à saúde do rompimento da Barragem de Fundão, baseados em dados obtidos a partir da mineração dos principais quatro bancos de informações de saúde do DATASUS (FGV, 2021e e 2021f).

A abordagem dos estudos denominados de Carga de Doença — *Global Burden of Disease (GBD)* — apresenta um esforço sistemático para quantificar a magnitude comparativa da perda de saúde devido a doenças, lesões e fatores de risco por idade, sexo e geografia para pontos específicos no tempo em praticamente todas as regiões do mundo (MURRAY, 1997³⁷; LEITE, 2005³⁸; DEVLEESSCHAUWER, 2014³⁹; FERNANDEZ, 2015⁴⁰; FEWTRELL, 2008⁴¹). Este tipo de estudos permite evidenciar mudanças nos padrões de morbi-mortalidade em um determinado local geográfico em certo momento no tempo.

A metodologia de Carga de Doenças foi proposta originalmente por Murray e Lopez (1994⁴²) em um estudo no qual estimativas consistentes de Carga de Doença, referentes a um conjunto de agravos e sequelas segundo sexo e idade, foram disponibilizadas para várias regiões do mundo. O indicador utilizado para medir a Carga de Doença de uma população, o DALY (*Disability Adjusted Life Year* — Anos de Vida Perdidos Ajustados por Incapacitação), é uma medida resumo, que incorpora os impactos de eventos fatais e não fatais de forma combinada. Um DALY equivale a um ano de vida saudável perdido por incapacitação e é calculado pela soma de duas parcelas: o YLL (*Years of Life Lost* — Anos de Vida Perdidos por Morte Prematura), que é o componente da mortalidade, e o YLD (*Years Lost due to Disability* — Anos de Vida Perdidos devido à Incapacitação), o componente de morbidade. Desta forma, assumindo que cada indivíduo nasce com certo número de anos de vida potencialmente

³⁷ MURRAY, C. J.; LOPEZ, A. D. Global mortality, disability, and the contribution of risk factors: Global Burden of Disease Study. **Lancet**, v. 349, n. 9063, p. 1436-1442, 1997.

³⁸ LEITE, I. C.; VALENTE, J. G.; SCHRAMM, J. M. A. **Carga Global de Doença do estado de Minas Gerais**, 2005. Relatório final. Rio de Janeiro: ENSP/Fiocruz/ENSPTEC, 2011.

³⁹ DEVLEESSCHAUWER, B.; HAVELAAR, A. H.; MAERTENS DE NOORDHOUT, C. et al. Calculating disability-adjusted life years to quantify burden of disease. **Int J Public Health**, v. 59, n. 3, p. 565-569, 2014.

⁴⁰ FERNANDEZ, A.; BLACK, J.; JONES, M.; WILSON, L.; SALVADOR-CARULLA, L.; ASTELL-BURT, T. et al. Flooding and mental health: a systematic mapping review. **PLoS ONE**, v. 10, n. 4, e0119929, 2015.

⁴¹ FEWTRELL, L.; KAY, D. An attempt to quantify the health impacts of flooding in the UK using an urban case study. **Public Health**, v. 122, n. 5, p. 446-451, 2008.

⁴² MURRAY, C. J. L. Quantifying the burden of disease: the technical basis for DALYs. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 72, p. 429-445, 1994.

vividos com saúde, pode se perder anos de vida saudável ao conviver com uma doença crônica ou morrendo tempo antes de uma esperança de vida de referência. Essas perdas, em anos de vida saudável, são exatamente o que esta métrica quantifica.

No contexto aqui estudado, diversos agravos à saúde foram identificados previamente a partir da análise comparativa das incidências cumulativas, antes e depois do rompimento da barragem, em municípios atingidos e em controles (Quadro 2). O quadro, a seguir, apresenta as doenças e agravos classificados segundo o CID-10, que apresentaram maiores Razões de Incidência Acumulativa (RI) e Razão de Risco Atribuível (RRA) nos municípios atingidos comparados com os controles, segundo os dados secundários dos bancos de dados do DATASUS analisados pela nossa equipe previamente (FGV, 2021e, 2021f).

A razão de incidência acumulada se define como a quantidade de casos acumulada no tempo, na comparação entre o período igual de tempo antes e depois do desastre para atingidos e para controles. Ela está determinada pela seguinte fórmula:

$$\text{Razão de Incidências.Ac para Atingidos} = \frac{\text{IncAc.Depois.Atingidos}}{\text{IncAc.Antes.Atingidos}}$$

$$\text{Razão de Incidências.Ac para Controles} = \frac{\text{IncAc.Depois.Controles}}{\text{IncAc.Antes.Controles}}$$

$$\text{Razão de Incidências} = \frac{\text{Razão de Incidências.Ac. (Atingidos)}}{\text{Razão de Incidências.Ac (Controles)}}$$

O risco atribuível se define como o risco, ou probabilidade de adoecer de determinada doença sendo morador dos municípios atingidos. Ele está determinado pela seguinte fórmula:

$$RAD = (1 - e^{(-IncAc.Atingidos.Depois)}) - (1 - e^{(-IncAc.Controles.Depois)})$$

$$RAA = (1 - e^{(-IncAc.Atingidos.Antes)}) - (1 - e^{(-IncAc.Controles.Antes)})$$

$$RRA = \frac{(1 - e^{(-IncAc.Atingidos.Depois)}) - (1 - e^{(-IncAc.Controles.Depois)})}{(1 - e^{(-IncAc.Atingidos.Antes)}) - (1 - e^{(-IncAc.Controles.Antes)}) *}$$

Onde:

RAD : Risco Atribuível Depois do Desastre

RAA : Risco Atribuível Antes do Desastre

RRA : Razão de Riscos Atribuíveis

IncAc.Ating.Depois : Incidência Acumuladas em Atingidos depois do desastre

IncAc.Ating.Antes : Incidência Acumuladas em Atingidos antes do desastre

IncAc.Controles.Depois : Incidência Acumuladas em Controles depois do desastre

IncAc.Controles.Antes : Incidência Acumuladas em Controles antes do desastre

* : Se IncAc.Ating.Antes = 0, calculamos só o risco atribuível depois do desastre

Quadro 2 — Doenças e agravos achados nos bancos de dados SIA, SIH e SIM com incidências comparativas entre antes e depois do rompimento, para atingidos e controles, indicando piora nos municípios atingidos após o rompimento da Barragem de Fundão

Capítulo (CID-10)	Nome do Capítulo	Tipo de Agravo
I	Algumas doenças infecciosas e parasitárias	Doenças vectoriais Doenças de veiculação hídrica Tuberculose
II	Neoplasias (tumores)	Sistema respiratório Sistema digestivo Pele Sistema hematopoiético Anemias Outros
III	Doenças do sangue e dos órgãos hematopoiéticos e alguns transtornos imunitários	Anemias Aplasias Púrpuras
IV	Doenças endócrinas, nutricionais e metabólicas	Desnutrição Raquitismo e osteomalacia Obesidade Transtornos da tireoides Transtornos glandulares

Capítulo (CID-10)	Nome do Capítulo	Tipo de Agravo
		Distúrbios de metabolismo mineral
V	Transtornos mentais e comportamentais	Diversos transtornos mentais e comportamentais
VI	Doenças do sistema nervoso	Epilepsia Alzheimer Parkinson Doenças neurodegenerativas
IX	Doenças do aparelho circulatório	Infarto de miocárdio Infarto cerebral Hipertensão
X	Doenças do aparelho respiratório	Pneumonias Bronquite Pneumoconiose Sinusites Infecções virais Doença pulmonar obstrutiva Asma
XII	Doenças da pele e do tecido subcutâneo	Dermatites Urticárias, úlceras, prurigo, abscesso
XIII	Doenças do sistema osteomuscular e do tecido conjuntivo	Osteoporose e osteomalácia
XIV	Doenças do aparelho geniturinário	Síndromes nefríticas
XV	Gravidez, parto e puerpério	Aborto
XVI	Algumas afecções originadas no período perinatal	Recém-nascido de baixo peso — Recém-nascido pré-termo
XVIII	Sintomas, sinais e achados anormais de exames clínicos e de laboratório, não classificados em outra parte	Violência física
XIX	Lesões, envenenamentos e algumas outras consequências de causas externas	Diversos tipos de intoxicações Efeitos tóxicos de venenos de animais peçonhentos
XX	Causas externas de morbidade e de mortalidade	Agressão sexual Intoxicação alcoólica Efeitos adversos de drogas e medicamentos
XXI	Fatores que influenciam o estado de saúde e o contato com os serviços de saúde	Abuso de álcool Abuso de drogas

Fonte: Elaboração própria (2021).

A partir destes agravos foram calculados os DALYs nesta população e comparados com dados estimados previamente para a população brasileira.

As estimativas de Carga de Doença, quantificadas em DALYs, são realizadas para um conjunto de condições de saúde, que representam as menores unidades de análise para cada conjunto de diagnósticos possível. As causas específicas são agregadas dentro de grandes grupos de causas, que guardam certa correspondência com os Capítulos da Classificação Internacional de Doenças (CID). As causas específicas e os grupos de causas são hierarquizados segundo a contribuição de cada um para o total da Carga de Doença na população analisada (LEITE; VALENTE; SCHRAMM, 2011⁴³). Enquanto as doenças no CID-10 são classificadas em 21 capítulos principais (Quadro 3), os grupos de causas (agravos ou doenças) são agregados em três Grandes Grupos de Causas de Carga de Doença (Quadro 4):

Quadro 3 — Classificação de Agravos e Doenças segundo o Código Internacional de Doenças CID-10

Capítulo	Código CID-10	Agravos ou Doenças
I	A00-B99	Algumas doenças infecciosas e parasitárias
II	C00-D48	Neoplasmas (tumores)
III	D50-D89	Doenças do sangue e dos órgãos hematopoiéticos e alguns transtornos imunitários
IV	E00-E90	Doenças endócrinas, nutricionais e metabólicas
V	F00-F99	Transtornos mentais e comportamentais
VI	G00-G99	Doenças do sistema nervoso
VII	H00-H59	Doenças do olho e anexos
VIII	H60-H95	Doenças do ouvido e da apófise mastoide
IX	I00-I99	Doenças do aparelho circulatório
X	J00-J99	Doenças do aparelho respiratório
XI	K00-K93	Doenças do aparelho digestivo
XII	L00-L99	Doenças da pele e do tecido subcutâneo
XIII	M00-M99	Doenças do sistema osteomuscular e do tecido conjuntivo

⁴³ LEITE, I. C.; VALENTE, J. G.; SCHRAMM, J. M. A. **Carga Global de Doença do estado de Minas Gerais**, 2005. Relatório final. Rio de Janeiro: ENSP/Fiocruz/ENSPTEC, 2011.

Capítulo	Código CID-10	Agravos ou Doenças
XIV	N00-N99	Doenças do aparelho geniturinário
XV	O00-O99	Gravidez, parto e puerpério
XVI	P00-P96	Algumas afecções originadas no período perinatal
XVII	Q00-Q99	Malformações congênitas, deformidades e anomalias cromossômicas
XVIII	R00-R99	Sintomas, sinais e achados anormais de exames clínicos e de laboratório, não classificados em outra parte
XIX	S00-T98	Lesões, envenenamentos e algumas outras consequências de causas externas
XX	V01-Y98	Causas externas de morbidade e de mortalidade
XXI	Z00-Z99	Fatores que influenciam o estado de saúde e o contato com os serviços de saúde
XXII	U00-U99	Códigos para propósitos especiais

Fonte: Elaboração própria (2021).

Quadro 4 — Classificação de doenças segundo os grupos principais dos estudos de Carga de Doença

CLASSIFICAÇÃO — DALY	CID10
Grupo I — Doenças Infecciosas e Parasitárias, Maternas, Perinatais e Nutricionais	A00-B99; G00-G05; N70-N73; J00-J06; J10-J18; J20-J22; H65-H66; O00-O99; P00-P96; E00-E02; E40-E46; E50; D50-D53
I.A. Infecciosas e parasitárias	A00-B99; G00-G05; N70-N73
I.B. Infecciosas respiratórias	J00-J06; J10-J18; J20-J22; H65-H66
I.C. Condições maternas	O00-O99
I.D. Condições perinatais	P00-P96
I.E. Deficiências nutricionais	E00-E02; E40-E46; E50; D50-D53
Grupo II — Doenças Não Transmissíveis	E51-89; F01; G06-G99; F00; F02-F99; H00-H61; H68-H95; I00-I99; J30-J99; K20-K92; N00-N64; N75-N99; L00-L99; M00-M99; Q00-Q99; K00-K14
II.A Câncer	C00-C97
II.B. Neoplasias benignas	D00-D48
II.C. Diabetes mellitus	E10-E14
II.D. Doenças endócrinas e metabólicas	D55-89; E03-07; E15-16; E20-34; E51-89
II.E. Doenças Neurológicas	F01; G06-G99
II.F. Desordens de órgãos do sentido	H00-H61; H68-H95
II.G. Doenças cardiovasculares	I00-I99

CLASSIFICAÇÃO — DALY	CID10
II.H. Doenças respiratórias crônicas	J30-J99
II.I. Doenças do aparelho digestivo	K20-K92
II.J. Doenças genito-urinárias	N00-N64; N75-N99
II.K. Doenças da pele	L00-L99
II.L. Doenças músculo-esqueléticas	M00-M99
II.M. Anomalias congênitas	Q00-Q99
II.N. Condições orais	K00-K14
Grupo III — Causas Externas	S00-T98; V01-Y98
III.A. Causa externa não intencional	V01-X59; Y40-Y86; Y88
III.B. Causa externa intencional	X60-Y09; Y35-Y36; Y87

Fonte: Elaboração própria (2021).

O Banco Mundial encomendou o primeiro estudo global de doenças, Global Burden of Disease (GBD), para o seu Relatório de Desenvolvimento 1993 (Banco Mundial, 1993⁴⁴). O estudo foi realizado em uma colaboração entre a Escola de Saúde Pública de Harvard e a Organização Mundial da Saúde. Esse primeiro estudo quantificou os efeitos na saúde de mais de 100 doenças e lesões em oito regiões do mundo em 1990 (MURRAY; LOPEZ, 1996⁴⁵). Baseando-se em bancos de dados de informações fornecidos pelos Estados-Membros, a OMS produz anualmente estimativas e análises de Carga Global de Doenças (GBD) atualizadas⁴⁶. Para atender à necessidade de estimativas de DALY consistentes com as estimativas globais de saúde para mortalidade por causas específicas, a OMS também divulga estimativas regionais e nacionais de DALYs por causa, idade e sexo⁴⁷ (WHO, 2015-2018⁴⁸). No ANEXO a este

⁴⁴ WORLD BANK. **World development report 1993**. Washington: World Bank, 1993.

⁴⁵ MURRAY, C. J. L.; LOPEZ, A. D. (Ed.). **The global burden of disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries and risk factors in 1990 and projected to 2020**. Cambridge: Harvard University Press, 1996.

⁴⁶ Disponível em: <www.who.int/data/gho/data/themes/mortality-and-global-health-estimates>.

⁴⁷ Disponível em: <www.who.int/healthinfo/global_health_estimates/en/>.

⁴⁸ WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO Estimates of the Global Burden of Foodborne Diseases**. Geneva: World Health Organization, 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO methods and data sources for country-level causes of death 2000-2015** (Global Health Estimates Technical Paper WHO/HIS/HSI/GHE/2016.3), 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000-2015** (Global Health Estimates Technical Paper WHO/HIS/IER/GHE/2017.1), 2017.

documento apresenta-se a tabela com os DALYs estimados para um conjunto de mais de 200 doenças e agravos à saúde, estimados para a população do Brasil em 2016 (207.653.000 habitantes). Os valores de DALYs (multiplicados por 1.000) foram utilizados para estimar a carga de doenças nos municípios atingidos após o rompimento da Barragem de Fundão.

4 CAUSALIDADE EM EPIDEMIOLOGIA

A epidemiologia estuda a frequência, a distribuição e os 'determinantes' das doenças que afetam as populações em momentos determinados. Esta ciência desenvolveu procedimentos metodológicos baseados em modelos estatísticos que buscam identificar a etiologia e a distribuição das doenças.

A natureza do processo saúde-doença é intrinsecamente complexa, e pode-se afirmar que a grande maioria das doenças têm múltiplas causas ou fatores com elas relacionados, ou seja, que existem diversas "causas componentes" envolvidas no surgimento dos sintomas relacionados com elas. Segundo Rothman e Greenland (1998⁴⁹), uma causa pode ser entendida como qualquer evento que desempenhe uma função essencial na ocorrência da doença, e definiram "causa suficiente como um conjunto de eventos e condições mínimos que inevitavelmente levam à ocorrência de doença". Ainda, para uma determinada doença acontecer, podem existir diversos conjuntos de causas suficientes (LUIZ; STRUCHINER, 2002⁵⁰).

A passagem da atribuição de associação entre a exposição (suposto agente causal) e a doença para atribuição de causa tem sido a tônica da discussão sobre causalidade. Muitas causas que são de interesse nos estudos epidemiológicos, embora não sejam suficientes, são componentes de causas suficientes. Fumar não é suficiente para produzir câncer de pulmão; muitos fumantes não desenvolvem esta doença, e algumas pessoas desenvolvem câncer de pulmão sem estar expostas ao fumo. Mas fumar é uma causa componente de causas suficientes para câncer de pulmão. Assim, utiliza-se em epidemiologia a noção de risco para ajudar a conceitualizar as discussões sobre causalidade. Se, de fato, fumar tem algum efeito na predisposição ao câncer de pulmão, seria esperado encontrar um risco maior de ocorrência deste tipo de câncer entre aqueles indivíduos fumantes em comparação com um grupo similar de pessoas não fumantes. Nesta perspectiva, o papel do mecanismo utilizado para designar a exposição ao fumo (indivíduos fumantes) é fundamental assim como sua distinção daqueles indivíduos que não estão expostos e sobre os quais será mensurado o risco (LUIZ; STRUCHINER, 2002).

⁴⁹ ROTHMAN, K. J.; GREENLAND, S. **Modern epidemiology**. 2. ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1998.

⁵⁰ LUIZ, R. R.; STRUCHINER, C. J. **Inferência causal em epidemiologia: o modelo de respostas potenciais** [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2002. 112 p. Disponível em: <<http://books.scielo.org>>.

A atribuição de interpretações causais em epidemiologia possui diferentes abordagens (ROTHMAN et al., 2008⁵¹). Entre elas, os critérios propostos por Hill (HILL, 1965⁵²) exercem, ainda hoje, especial influência na produção científica da área. Esses critérios estabelecem que uma vez identificada uma associação entre determinada exposição e certa doença, uma série de aspectos devem ser seguidos para diferenciar uma associação causal de uma não causal:

- Força da associação — uma associação será tão mais forte quanto mais distante do valor de nulidade estiver a medida de efeito⁵³ de interesse utilizada.
- Consistência — referente à possibilidade de repetição dos achados para diferentes populações. Resultados similares reforçam a hipótese de causalidade.
- Especificidade — uma causa é específica para um determinado efeito se a introdução de um suposto fator causal é seguida da ocorrência do efeito e sua remoção implica que tal efeito não ocorra. Em razão do fato de que muitos fatores implicam muitos efeitos e praticamente todas as doenças têm múltiplas causas, a especificidade de uma associação respalda uma interpretação causal, mas sua falta não deve ser indicação de não causalidade.
- Temporalidade — a causa deve necessariamente preceder o efeito.
- Gradiente biológico — este aspecto refere-se à presença de uma curva dose-resposta. Observar uma frequência crescente de ocorrência de doença à medida que se aumenta a dose ou o nível da exposição reforça a hipótese de causalidade. Entretanto, a observação de um efeito dose-resposta pode ser devida completamente a algum viés.
- Plausibilidade — a plausibilidade biológica se refere à consistência de uma relação entre dois fatores, considerando o conhecimento científico existente na época. O conhecimento científico pertinente para o caso radica em conhecimento de fisiologia, patologia, toxicologia e outras áreas relativas à medicina e à biologia. Se o efeito hipotetizado é plausível diante do conhecimento biológico vigente, a interpretação causal é fortalecida. No entanto,

⁵¹ ROTHMAN, K. J.; GREENLAND, S.; LASH, T. L. **Modern epidemiology**. Philadelphia: Wolters Kluwer Health; Lippincott Williams & Wilkins, 2008.

⁵² HILL, A. B. The environment and disease: association or causation? **Proceedings of the Royal Society of Medicine**, v. 58, n. 5, p. 295-300, 1965.

⁵³ As medidas de efeito retratam comparações (diferenças ou razões) entre medidas de frequência de doença (como prevalência, risco, taxa ou *odds ratios*) calculadas para dois grupos, frequentemente, expostos e não expostos a determinado fator sob investigação causal.

plausibilidade biológica não pode ser exigida, uma vez que depende do conhecimento disponível à época da investigação.

- Coerência — o critério de coerência é satisfeito quando a associação encontrada não entra em conflito com o que é conhecido sobre a história natural e a biologia da doença.
- Evidência experimental — é conhecido o poder da experimentação na avaliação de causalidade. Entretanto, a obtenção de tal evidência é raramente disponível em estudos envolvendo populações humanas devido, principalmente, a questões éticas.
- Analogia — uma analogia simples pode aumentar a credibilidade para uma atribuição de causalidade. Por exemplo, se é conhecido que certa droga causa má-formação congênita, talvez uma outra similar que se está estudando também poderia, por analogia, apresentar o mesmo efeito.

À exceção do critério de temporalidade, nenhum outro desses nove critérios de evidência epidemiológica sugeridos por Hill (1965) deve ser exigido como condição *sine qua non* para julgar se uma associação é causal.

Essa abordagem é condicionada a aspectos e critérios que na maioria das vezes não são nem necessários nem suficientes. Quando são satisfeitos, reforçam a hipótese de causalidade, mas quando isso não ocorre, não são *per se* suficientes para descartá-la (LUIZ; STRUCHINER, 2002)

É importante observar que os critérios enunciados anteriormente não são condições necessárias nem suficientes para o estabelecimento de uma relação causal. Segundo suas próprias palavras, Hill nos alerta para que

Nenhum dos meus nove pontos de vista pode trazer evidências indiscutíveis a favor ou contra a hipótese de causa e efeito e nenhum pode ser exigido como condição *sine qua non*. O que eles podem fazer, com maior ou menor força, é nos ajudar a decidir sobre a questão fundamental — existe alguma outra maneira de explicar o conjunto de fatos diante de nós, existe alguma outra resposta igualmente, ou mais, provável do que causa e efeito?

Mais recentemente, o estabelecimento de relações causais em epidemiologia se apoia em critérios desenvolvidos no campo da “inferência causal” (HERNÁN; ROBINS, 2020⁵⁴). Nossa adaptação desses critérios para o contexto de estudos observacionais

⁵⁴ HERNÁN, M. A.; ROBINS, J. M. **Causal inference**: what if. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2020.

é motivada e facilitada pela ferramenta ROBINS-I (STERNE et al., 2016⁵⁵) que procura identificar sete domínios distintos por meio dos quais vieses podem ser introduzidos em estudos observacionais ao serem analisados e interpretados como se fossem estudos experimentais. Durante a análise, consideramos a possibilidade da presença de confusão e seleção de áreas que possam expressar diferenças já existentes entre as populações a serem comparadas antes da data do desastre (“linha de base”), assim como vieses que interferem com a comparação entre grupos no período que se segue à data de ocorrência do desastre: vieses devido a dados ausentes, medição de resultados e seleção do resultado relatado.

No caso da avaliação de impactos à saúde ocasionados pelo rompimento da Barragem de Fundão aqui apresentada, as condições de exposição ambiental às quais os habitantes dos municípios atingidos ficaram e ainda continuam expostos são de naturezas múltiplas, complexas e persistentes no tempo, dada a magnitude deste desastre e a ausência de ações para reparar os danos provocados até o momento, adicionando assim uma nova camada de complexidade. Experimentar um desastre de grandes dimensões configura um fator de exposição potencialmente relacionado com o adoecimento por uma série de agravos, como amplamente se encontra demonstrado na literatura científica disponível (SAULNIER et al., 2017⁵⁶; MACHADO DE FREITAS et al., 2019⁵⁷; AHERN et al., 2005⁵⁸; XAVIER et al., 2014⁵⁹). Um estudo recente relatou “perdas catastróficas para os indivíduos atingidos estudados no município de Mariana” (ANDRADE, 2021⁶⁰) constatando que 74% dos entrevistados declararam prejuízos à saúde após o rompimento da barragem”. Por outro lado, no caso específico do rompimento da Barragem de Fundão, a composição da lama, produto de rejeitos de mineração de Ferro e a mobilização de elementos presentes nas calhas dos rios afetados expuseram os atingidos a elementos potencialmente tóxicos que ainda não têm sido totalmente caracterizados. Segundo parecer dos institutos LACTEC, tanto na

⁵⁵ STERNE, J. A. C. et al. ROBINS-I: a tool for assessing risk of bias in non-randomized studies of interventions. **BMJ**, v. 355, i4919; 2016.

⁵⁶ SAULNIER, D. D.; BROLIN, Ribacke K.; VON SCHREEB, J. No calm after the storm: a systematic review of human health following flood and storm disasters. **Prehosp Disaster Med.**, v. 32, n. 5, p. 568-579, 2017.

⁵⁷ MACHADO DE FREITAS, C.; BARCELLOS, C.; HELLER, L.; LUZ, Z. M. P. da. Mining dam disasters: lessons from the past for reducing current and future risks. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 28, n. 1, e201801208, 2019.

⁵⁸ AHERN, M.; KOVATS, R. Sari; WILKINSON, P.; FEW, R.; MATTHIES, F. Global health impacts of floods: epidemiologic evidence. **Epidemiologic Reviews**, v. 27, n. 1, 2005.

⁵⁹ XAVIER, D. R.; BARCELLOS, C.; FREITAS, C. M. **Eventos climáticos extremos e consequências sobre a saúde: o desastre de 2008 em Santa Catarina segundo diferentes fontes de informação.** Ambient Soc [Internet], 2014.

⁶⁰ ANDRADE, M. A et al. Estimation of health-related quality of life losses owing to a technological disaster in Brazil using EQ-5D-3L: a cross-sectional study. **Value in Health Regional Issues**, v. 26, p. 66-74, 2021.

calha do rio Doce quanto a região marinha-estuarina da foz do rio Doce, há uma importante mobilização e contribuição da pluma de rejeitos na contaminação de cursos de águas, sedimento, solo e biota local, por metais e semimetais, associados à atividade histórica de mineração (LACTEC, 2019a, Parecer Técnico 22). Além disso, embora existam evidências da sedimentação e acúmulo do material em suspensão no fundo dos rios, estes materiais podem ser ressuspensos e disponibilizados na coluna d'água, desencadeando, conseqüentemente, alterações significativas na qualidade da água, biogeoquímica de sedimentos, bioacumulação e efeitos de toxicidade para a biota local e até mesmo para a população humana por longos períodos de tempo. Os impactos relacionados com contaminação e exposição por metais pesados em toda a bacia e região estuarina do Rio Doce não estão apenas relacionados com o potencial tóxico direto de contaminação, mas também e sobretudo aos efeitos de biomagnificação no ecossistema, sendo as conseqüências da exposição passíveis de serem evidenciadas a curto, médio e longo prazo como demonstrado por diversos trabalhos (IBAMA, 2015⁶¹; FERNANDES et al., 2016⁶²; FERNANDES et al., 2009⁶³; UERJ, 2016⁶⁴; HATJE et al., 2017⁶⁵; IBAMA, 2016⁶⁶; ICMBio, 2017⁶⁷; SEGURA et al., 2016⁶⁸; MUNIZ; OLIVEIRA-FILHO, 2006⁶⁹).

⁶¹ INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Lauda técnico preliminar dos impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais**, 2015.

⁶² FERNANDES, G. W. et al. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza e Conservação**, v. 14, p. 35-45, 2016.

⁶³ FERNANDES, V. O.; CAVATI, B.; SOUZA, B. D. A.; MACHADO, R. G.; COSTA, A. G. Lagoa Mãe-Bá (Guarapari-Anchieta, ES): um ecossistema com potencial de floração de cianobactérias? **Oecologia Brasiliensis**, v. 13, n. 2, p. 366-381, 2009.

⁶⁴ UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (UERJ). **Estudo preliminar sobre a detecção da pluma de sedimentos do Rio Doce sobre o Parque Nacional dos Abrolhos-BA, para o evento de 5-6 de Janeiro 2016**, 2016.

⁶⁵ HATJE, V.; PEDREIRA, R. M. A.; REZENDE, C. A. et al. The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. **Scientific Reports**, 2017.

⁶⁶ INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Parecer técnico sobre os resultados obtidos das coletas de amostras de água na região da foz do rio Doce, no período de 22/11/15 a 01/01/16**, 2016. Disponível em: <www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias_ambientais/laudo_tecnico_preliminar.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2016.

⁶⁷ INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Relatório de avaliação do impacto da lama/pluma Samarco sobre os ambientes costeiros e marinhos (ES e BA) com ênfase nas Unidades de Conservação — 1ª Expedição do Navio de Pesquisa Soloncy Moura do CEPISUL/ICMBio (28 de abril de 2016)**. Equipe de Pesquisa Universidade Federal do Rio Grande — FURG/Coral Vivo. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF, 28 abr. 2016d. 62p.

⁶⁸ SEGURA, F. R. Potential risks of the residue from Samarco's mine dam burst (Bento Rodrigues, Brazil). **Environmental Pollution**, v. 218, 2016.

⁶⁹ MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da Saúde**, v. 4, n. 1/2, p. 83-100, 2006.

5 LÓGICA FUZZY

A Lógica Nebulosa (ou *Fuzzy Logic*, em inglês) foi proposta inicialmente por Zadeh em 1965⁷⁰. Essa teoria se propõe a lidar com conjuntos de informações com fronteiras pouco claras quanto à pertinência de um determinado conjunto, representando conceitos vagos e trabalhando com variáveis linguísticas; permitindo trabalhar de uma forma alternativa com o conceito de incerteza, principalmente a opinião subjetiva de especialistas (MASSAD, 2008⁷¹, GROSSI, 2005,⁷² SEPEHRVAND, 2011,⁷³ TORRES, 2006).⁷⁴ Particularmente, no caso de doenças crônico-degenerativas onde existem transições entre os estados de saúde e doença para os quais o uso de uma lógica nebulosa (Fuzzy), em vez de uma lógica binária, resulta mais apropriado.

Na teoria clássica de conjuntos, é possível classificar os objetos mediante um critério binário de classificação: ou bem o objeto pertence a certo conjunto (valor lógico “Verdadeiro”), ou bem ele não pertence (valor lógico “Falso”); assim pode se afirmar que ou $x \in A$, ou $x \notin A$. Porém, existe um grande número de situações nas quais não é possível asseverar claramente se o elemento pertence ou não a um determinado conjunto. Foi para situações como estas que a noção de Conjuntos Fuzzy foi proposta originalmente por Zadeh (1965). Assim, um conjunto Fuzzy ou nebuloso é uma classe de objetos com um *continuum* de graus de pertinência parcial. Tal conjunto é caracterizado por uma função de pertinência (característica) que atribui a cada objeto um grau de pertinência que varia entre zero e um. Esses graus de pertinência podem ser interpretados como o grau no qual cada objeto é compatível com as características que definem tal grupo.

Tomando o exemplo dado anteriormente sobre os fumantes, no caso em que não se quer definir a exposição como uma função discreta: “fumante” ou “não fumante”, senão como uma função contínua, relacionada com o número e frequência de cigarros fumados diariamente, isto é, ao grau de exposição ao fumo que a pessoa tem. Uma pessoa que fuma 40 cigarros ao dia terá uma exposição maior que aquela que fuma três e, portanto, a intensidade da exposição varia de maneira contínua entre 0 (não exposto)

⁷⁰ ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

⁷¹ MASSAD, E.; ORTEGA, N.; BARROS, L.; STRUCHINER, C. **Fuzzy Logic in action: applications in epidemiology and beyond**, 2008.

⁷² GROSSI, E. Medical concepts related to individual risk are better explained with "plausibility" rather than "probability". **BMC cardiovascular disorders**, v. 5 31. 27 sep. 2005, doi:10.1186/1471-2261-5-31.

⁷³ SEPEHRVAND, Nariman et al. Practice guidelines and clinical risk assessment models: is it time to reform?. **BMC medical informatics and decision making**, v. 11 63, 18 out. 2011.

⁷⁴ TORRES, A.; NIETO, J. J. Fuzzy logic in medicine and bioinformatics. **Journal of biomedicine & biotechnology**, v. 2006, n. 2 2006.

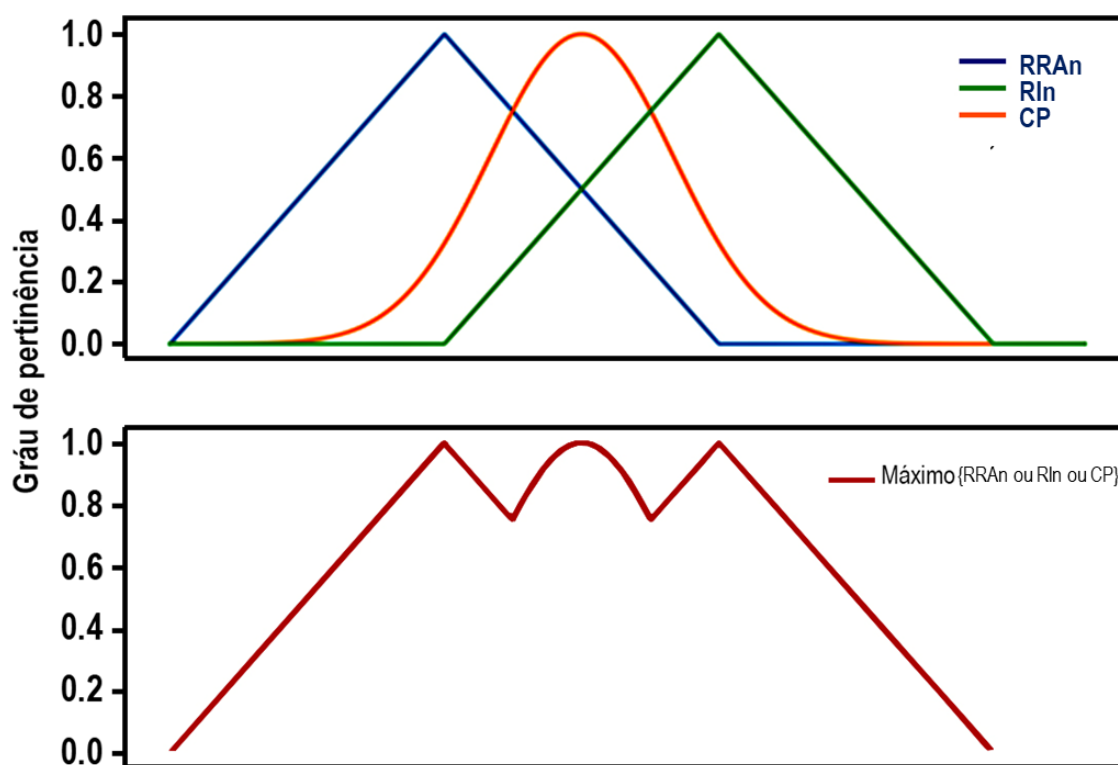
e 1 (totalmente exposto). Por outro lado, um indivíduo não fumante, mas exposto ao fumo de cigarro por convivência com fumantes, por exemplo, pode ter, um grau de pertinência basal de, por exemplo, 0,1 ao conjunto de expostos ao fumo de cigarro. Ou seja, esta incerteza pode ser representada pela função “exposto ao fumo de cigarro” cujo domínio é o número de cigarros fumados por dia. As funções de pertinência podem ter formas diferentes, dependendo do conceito que seja representado e do contexto. É importante enfatizar que um elemento pode pertencer simultaneamente a mais de um conjunto nebuloso, e dado que seus graus de pertinência a cada conjunto não representam probabilidades, não precisam somar 1.

Assumindo a existência de um conjunto Fuzzy (nebuloso) para o caso tratado, isto é, um conjunto de todas as doenças potencialmente relacionadas com o rompimento da Barragem de Fundão, é possível definir um coeficiente de plausibilidade (CP) (GROSSI, 2005) que expresse o grau de pertinência do agravo em questão ao conjunto de doenças determinadas ou associadas ao rompimento da barragem. De maneira análoga, normalizando a Razão de Riscos Atribuíveis (RRA) e a Razão de Incidências (RI) pelos seus respectivos valores máximos, é possível assumir a existência de dois outros conjuntos Fuzzys de todas as doenças relacionadas ao rompimento da Barragem de Fundão cujas funções de pertinências correspondentes sejam esses dois índices normalizados.

A seguir, a figura representa três funções que hipoteticamente representam todos os valores possíveis da Razão de Risco Atribuível Normalizada (RRAn) (curva azul), a Razão de Incidências normalizada (RIn) (curva laranja) e o Coeficiente de Plausibilidade (CO) (curva verde). As curvas são superpostas e todas representam valores entre 0 e 1 (Gráfico 2). O objetivo é utilizar os três indicadores (RRAn, RIn ou o CP) para ponderar os DALYs obtidos para a população nos municípios atingidos. Cada um desses indicadores (RRAn, RIn, CP) pode ser interpretado como uma função de pertinência (como já citado) que define um conjunto fuzzy das doenças potencialmente relacionadas ao rompimento da Barragem de Fundão, correspondente. Tem-se assim, 3 conjuntos fuzzy diferentes cada um definido por um desses 3 indicadores. Considera-se, assim, a união desses 3 conjuntos fuzzy como a solução mais abrangente, aquela que leva em consideração os 3 indicadores. Para fazer a união dos 3 conjuntos fuzzy, usa-se o operador (da Lógica Fuzzy) “t-conorma”, entre os quais o mais usual é o operador “MAX”, isto é, o máximo. Entretanto, a t-conorma MAX é a menor das t-conormas. Assim, como métricas para a elaboração de um instrumento que permita ponderar os anos de vida perdidos ajustados por incapacidade (DALYs) em média pelas populações dos territórios atingidos.

É importante salientar que os resultados aqui apresentados mantêm a mesma sensibilidade em relação aos três parâmetros utilizados ao estimar os DALYs, i.e (i) a razão de áreas (ou a razão de incidências acumuladas), (ii) a razão de riscos atribuíveis e o (iii) coeficiente de Plausibilidade. Ou seja, que qualquer um deles que seja modificado alterará os resultados obtidos na mesma magnitude. O modelo não é mais sensível a nenhum deles. Os dois primeiros parâmetros foram calculados a partir das informações presentes nos bancos de dados do DATASUS, e o terceiro foi estimado a partir das evidências científicas que indicam o grau de pertinência de determinados achados (doenças e agravos) ao conjunto de fatores relacionados à exposição aos efeitos do rompimento da Barragem de Fundão.

Gráfico 2 — Representação gráfica de três funções hipotéticas representando o Risco Atribuível Normalizado (RA), a Razão de Incidências Normalizada (RI) e o Coeficiente de Plausibilidade (CP). Todos com valores entre 0 e 1. A função no segundo gráfico representa o possível valor máximo das três funções utilizando um operador lógico de tipo “OU”



Fonte: Elaboração própria (2021).

6 RESULTADOS

6.1 Identificação de DALYs para grupos de doenças com Risco Atribuível ao desastre maior que zero

A análise dos bancos de dados de informações Ambulatoriais (SIA), Hospitalares (SIH), sobre Mortalidade (SIM) e SINAN do DATASUS acerca de informações sobre incidência de agravos e doenças classificados nos 21 capítulos do CID-10 entre 2005 e 2020, nos 45 municípios atingidos e em 100 municípios pareados por condições socioeconômicas (FGV, 2021e e 2021f), nos permitiu realizar um diagnóstico de saúde dos municípios atingidos.

No total, 2.171 diagnósticos diferentes (considerando os resultados dos quatro bancos de dados analisados) apresentaram incidências acumuladas (área sob a curva da série temporal) maiores que um após o rompimento da barragem, nos municípios atingidos em comparação com os controles (Razão de incidências (RI) entre atingidos e controles). A partir do cálculo de Razão de Risco Atribuível (RA) para cada um destes agravos, foram selecionados todos aqueles com RRA maior a zero (totalizando 1.415 diagnósticos). A coluna de RRA foi normalizada pelo diagnóstico com maior valor para esta medida (representado pelo CID-10: O064 “Aborto não especificado, incompleto, sem complicações” obtido no SIH) e a coluna com valores de RI foi também normalizada por seu valor máximo que correspondeu ao CID-10: D015 “Carcinoma de fígado, vesícula biliar e vias biliares”. Até aqui foram obtidos os agravos ponderados pelas suas RA e RI. A seguir, as doenças e agravos classificados segundo o sistema de classificação de doenças CID-10 foram agrupados para coincidir com a classificação por grupo e subgrupo utilizada nos estudos de Carga Global de Doenças.

Por exemplo, 22 CID-10 relacionados com a doença ou agravo “tuberculose” foram identificados nos bancos SIA, SIH e SIM. Entre eles, a modo de exemplo, pode-se mencionar o caso dos diagnósticos relacionados com tuberculose. No SIA obtivemos nove diagnósticos diferentes com $RRA > 0$ e $RI > 1$, por exemplo: “Tuberculose pulmonar, com confirmação por exame microscópico da expectoração, com ou sem cultura, CID: A150”, “Tuberculose pulmonar, com confirmação por meio não especificado, CID: A153”, “Pleuris tuberculoso, com confirmação bacteriológica e histológica. CID: A156”, “Outras formas de tuberculose das vias respiratórias, com confirmação bacteriológica e histológica, CID: A158”. No SIH, 10 diagnósticos diferentes cumpriram essa condição: “Tuberculose pulmonar com confirmação histológica, CID: A152”, “Tuberculose pulmonar com confirmação por meio não especificado, CID: A153”,

“Tuberculose pulmonar sem realização de exame bacteriológico ou histológico, CID: A161”, e no SIM três diagnósticos: “Tuberculose pulmonar, com confirmação por exame microscópico da expectoração, com ou sem cultura, CID: A150”, “Tuberculose Pulmonar, Com Confirmação Somente Por Cultura, CID: A151” e “Tuberculose Pulmonar Com Exames Bacteriológico e Histológico Negativos, CID: A160”. Ou seja, existe uma multiplicidade de diagnósticos para tuberculose (assim como para a maior parte das doenças) que se relacionam com um único diagnóstico no sistema classificatório utilizado nos estudos de carga de doença que utiliza os DALYs como parâmetro. A seguir, foi escolhido um diagnóstico representativo para cada conjunto de agravos no sistema CID finalizando com um conjunto de 75 diagnósticos apresentando $RRA > 0$ e $RI > 1$. Foram associados DALYs a cada um desses 75 agravos, seguindo as estimativas da Organização Mundial da Saúde para o Brasil no ano 2018 (Anexo). A soma destes DALYs dividida pela população estimada para o Brasil, na época (207.653 milhões de pessoas), resultou no valor de 0,17 DALYs por pessoa. Isso indica que, sem considerar o rompimento da Barragem de Fundão, a população dos municípios atingidos sofreria uma carga de doenças quantificada pelo quantificador DALY de 0,17 anos de vida perdidos por incapacidade. A seguir, foi estimada a carga de doença para os municípios atingidos considerando os impactos do rompimento da Barragem de Fundão, para isto, foi multiplicada a Razão de Incidências Acumuladas (ou seja, quantas vezes a mais foi a incidência acumulada para cada agravo nos atingidos do que nos controles), pelo DALY estimado sem considerar o rompimento da barragem.

A aplicação da Lógica Fuzzy permite o cálculo de DALYs ponderados para cada um dos 75 agravos, pela multiplicação dos 3 fatores abaixo:

- I DALY Brasil de cada agravo considerado;
- II RI acumulado de cada agravo considerado;
- III Máximo entre RRA normalizado, RI normalizada e Coeficiente de Plausibilidade, para cada agravo considerado.

A soma de todos estes DALYs (533.108,17) dividida pela população brasileira, subtraída do valor calculado na situação contrafactual, ou sem desastre (0,17), oferece o valor final de Anos de Vida Perdidos por Incapacidade em média, sofridos pela população dos municípios atingidos pelo rompimento da Barragem de Fundão, totalizando igual a 2,39 anos.

O Quadro 5, a seguir, apresenta de forma resumida o algoritmo de estimação deste valor e a Tabela 1 apresenta todos os valores mencionados para cada um dos 75 diagnósticos estudados.

Quadro 5 — Passos para a determinação dos Anos de Vida Perdidos por Incapacitação (DALYs) relacionados com o rompimento da Barragem de Fundão

1. Mineração dos bancos SIA, SIH, SIM e SINAN e cálculo de **Incidências por 100 mil habitantes (séries temporais)** para todos os agravos classificados nos 21 capítulos do CID-10 para os 45 municípios atingidos e 100 municípios controle;
2. Cálculo das áreas (Integral sob a curva) delimitadas pelas curvas de incidências — passo 1. — (**incidências acumuladas**), antes e depois do rompimento da Barragem de Fundão;
3. **Razão de incidências Acumuladas Atingidos** (Depois/Antes-rompimento);
4. **Razão de incidências Acumuladas Controles** (Depois/Antes-rompimento);
5. **Razão de incidências Acumuladas Atingidos/Controles**;
6. Seleção de todos os agravos com **Razão de Incidências > 1**;
7. **Risco Atribuível (RA)** = $(1 - e^{(-Inc.Ac.Ating)}) - (1 - e^{(-Inc.Ac.Controles)})$;
8. **Razão de RA (RRA)** (Depois/Antes) = $(1 - e^{(-Inc.Ac.Ating.depois)}) - (1 - e^{(-Inc.Ac.Controles.depois)}) / (1 - e^{(-Inc.Ac.Ating.Antes)}) - (1 - e^{(-Inc.Ac.Controles.Antes)})$;
9. Seleção dos agravos com **RRA>0**;
10. **Normalização e ordenação** da Razão de **Risco Atribuível** e **Razão de Incidências Acumuladas**;
11. **Atribuição de DALYs** para cada agravo segundo DALYs estimados para o Brasil no ano 2018;
12. **Ponderação de DALYs por grupo de doenças** (“Tradução” da classificação por capítulo e agravo CID-10 para a classificação de DALYs). Escolha do CID-10 com maior RRA ou RazãoIncAc como “representante” de cada agravo identificado;
13. **Soma de todos os DALYs** e divisão pela população brasileira em 2018 (207.653.000) = estimativa dos **DALYs Sem ocorrência do rompimento da Barragem de Fundão** (0,17 *per capita*);
14. Multiplicação do valor do DALYs pela Razão de Incidências, ou seja, quantas vezes mais os atingidos foram afetados pelo desastre em comparação aos controles;
15. Estimativa do **Coefficiente de Plausibilidade (CP)**⁷⁵ — relação do desfecho com o conjunto de agravos associados ao rompimento da barragem — para cada um dos 75 agravos determinados no passo 12;

⁷⁵ O coeficiente de plausibilidade (CP) aqui definido tem um valor entre 0 e 1 e expressa o grau de pertinência do agravo considerado ao conjunto de doenças determinadas ou associadas ao rompimento da Barragem de Fundão. Foi estimado com base na literatura científica.

16. Ponderação (multiplicação) dos DALYs pelo máximo valor entre **RRA normalizado**, **RazãoInc.Acu normalizadas** e o **CP**;
17. **Soma de todos os DALYs calculados no passo 15 (533.108,17 DALYs) = DALYs** para os municípios que experimentaram o rompimento da barragem;
18. Divisão do total de DALYs calculados no **passo 17** (DALYs experimentados pelos atingidos) pela população brasileira em 2018 (ano-base para os DALYS de referência) subtraído o valor de DALYs calculado para a situação contrafactual de não ocorrência do rompimento (passo 13) = **Número de anos de vida perdidos por incapacitação** devido a doenças e agravos relacionados com o rompimento da Barragem de Fundão (**2,39** anos de vida perdidos por incapacitação, em média, para cada indivíduo exposto ao rompimento da Barragem de Fundão).

Fonte: Elaboração própria (2021).

Tabela 1 — Valores de DALYs, Razão de Risco Atribuível, Razão de Incidências e Coeficiente de Plausibilidade para 75 agravos à saúde e doenças identificados neste estudo

Grupo (DALYs)	Subgrupo (DALYs)	Nome do Agravado (DALYs)	DALYs estimados (x000) por causa para Brasil (2016). População 207.653.000	Razão de Risco Atribuível	Razão de Risco Atribuível Normalizado	Razão de Incidências	Razão de Incidências Normalizada	Coeficiente Plausibilidade	MAX (F _i , H _i)	DALYs * RI * MAX (F _i , H _i)
A. Doenças	I Infeciosas e parasitárias	Tuberculose	224,12	12,972	0,003	15,311	0,027	0,60	0,60	2058,89
A. Doenças	I Infeciosas e parasitárias	Diarreias	556,80	0,000	0,000	4,944	0,009	0,40	0,40	1101,21
A. Doenças	I Infeciosas e parasitárias	Meningites	111,70	2527,365	0,562	0,898	0,002	0,10	0,56	56,34
A. Doenças	I Infeciosas e parasitárias	Encefalites	111,20	0,450	0,000	3,616	0,006	0,10	0,10	40,21
A. Doenças	I Infeciosas e parasitárias	Hepatite A	3,30	0,119	0,000	0,623	0,001	0,60	0,60	1,23
A. Doenças	I Infeciosas e parasitárias	Malária	3,00	0,408	0,000	0,691	0,001	0,50	0,50	1,04
A. Doenças	I Infeciosas e parasitárias	Esquistossomose	100,10	36,527	0,008	0,930	0,002	0,40	0,40	37,25
A. Doenças	I Infeciosas e parasitárias	Leishmaniose	35,30	0,446	0,000	1,749	0,003	0,40	0,40	24,70

Grupo (DALYs)	Subgrupo (DALYs)	Nome do Agravado (DALYs)	DALYs estimados (x000) por causa para Brasil (2016). População 207.653.000	Razão de Risco Atribuível	Razão de Risco Risco Atribuível Normalizado	Razão de Incidências	Razão de Incidências Normalizada	Coefficiente Plausibilidade	MAX (F,H,I)	DALYs * RI * MAX (F,H,I)
I	A. Doenças infecciosas e parasitárias	Dengue	78,80	0,462	0,000	2,266	0,004	0,40	0,40	71,43
I	A. Doenças infecciosas e parasitárias	Febre amarela	1,19	0,215	0,000	2,048	0,004	0,40	0,40	0,98
I	B. Infecções respiratórias	Vias respiratórias superiores	173,70	0,000	0,000	7,129	0,012	0,40	0,40	495,31
I	B. Infecções respiratórias	Vias respiratórias inferiores	2.125,80	0,000	0,000	191,325	0,332	0,50	0,50	203359,66
I	C. Condições maternas	Abortos	96,70	4498,347	1,000	0,956	0,002	1,00	1,00	92,45
I	E. Deficiências nutricionais	Desnutrição proteico-calórica	243,60	0,200	0,000	6,8123	0,012	0,60	0,60	995,69
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de cerviz	311,00	0,000	0,000	1,993	0,003	0,40	0,10	247,97
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de corpo de útero	73,70	0,218	0,000	1,909	0,003	0,40	0,10	56,28
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de ovário	124,40	0,000	0,000	1,407	0,002	0,40	0,10	70,04
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de próstata	328,70	0,000	0,000	1,222	0,002	0,40	0,10	160,70
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de rim	116,60	0,000	0,000	1,317	0,002	0,40	0,10	61,43
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de bexiga	101,70	0,726	0,000	1,221	0,002	0,40	0,10	49,68
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de laringe	157,90	0,000	0,000	1,616	0,003	0,40	0,10	102,04
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de boca e lábio	293,79	426,093	0,095	1,642	0,003	0,40	0,10	193,00
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de esôfago	296,80	60,100	0,013	4,811	0,008	0,40	0,10	571,12
II	A. Neoplasias malignas	Linfoma Hodgkin	33,00	1,582	0,000	1,483	0,003	0,40	0,10	19,57
II	A. Neoplasias malignas	Linfoma não Hodgkin	182,10	0,342	0,000	5,455	0,009	0,40	0,20	198,66
II	A. Neoplasias malignas	Mieloma múltiplo	92,70	33,434	0,007	1,802	0,003	0,40	0,10	66,80
II	A. Neoplasias malignas	Leucemia	335,30	4,425	0,001	12,606	0,022	0,40	0,40	1690,70
II	A. Neoplasias malignas	Outras neoplasias malignas	536,00	0,177	0,000	20,994	0,036	0,40	0,40	4501,02

Grupo (DALYs)	Subgrupo (DALYs)	Nome do Agravado (DALYs)	DALYs estimados (x000) por causa para Brasil (2016). População 207.653.000	Razão de Risco Atribuível	Razão de Risco Risco Atribuível Normalizado	Razão de Incidências	Razão de Incidências Normalizada	Coefficiente Plausibilidade	MAX (F,H,I)	DALYs * RI * MAX (F,H,I)
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de estômago	487,00	76,261	0,017	3,969	0,007	0,40	0,40	773,07
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de cólon e reto	551,70	0,056	0,000	2,754	0,005	0,40	0,40	607,67
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de fígado	287,80	0,830	0,000	576,333	1,000	0,40	1,00	165.868,83
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de pâncreas	262,60	12,363	0,003	1,368	0,002	0,40	0,40	143,66
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de traqueia, brônquios e pulmão	769,20	12,731	0,003	1,164	0,002	0,40	0,40	358,19
II	A. Neoplasias malignas	Melanoma e outros cânceres de pele	111,90	0,210	0,000	22,464	0,039	0,40	0,40	1005,49
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de mama	612,70	2,365	0,001	1,991	0,003	0,40	0,40	487,89
II	B. Neoplasias benignas	Outras neoplasias benignas	138,70	66,824	0,015	30,667	0,053	0,40	0,40	1701,39
II	C. Diabetes	Diabetes mellitus	2.139,00	0,000	0,000	12,6000	0,022	0,40	0,40	10780,56
II	D. Transtornos endócrinos, metabólicos e sanguíneos	Hemoglobinopatias e anemias hemolíticas	95,10	0,000	0,000	13,267	0,023	0,90	0,90	1135,50
II	D. Transtornos endócrinos, metabólicos e sanguíneos	Transtornos endócrinos, imunes e sanguíneos	481,00	15,983	0,004	6,6513	0,012	0,90	0,90	2879,37
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtorno depressivo	1.100,00	0,525	0,000	4,951	0,009	1,00	1,00	5445,58
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Outros transtornos mentais e comportamentais	294,10	11,455	0,003	20,806	0,036	1,00	1,00	6119,03
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtorno bipolar	489,50	0,000	0,000	1,360	0,002	0,60	0,60	399,30

Grupo (DALYs)	Subgrupo (DALYs)	Nome do Agravado (DALYs)	DALYs estimados (x000) por causa para Brasil (2016), População 207.653.000	Razão de Risco Atribuível	Razão de Risco Risco Atribuível Normalizado	Razão de Incidências	Razão de Incidências Normalizada	Coefficiente Plausibilidade	MAX (F,H,I)	DALYs * RI * MAX (F,H,I)
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Esquizofrenia	317,10	0,000	0,000	1,643	0,003	0,50	0,50	260,56
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtornos pelo uso de álcool	1.149,30	0,491	0,000	3,589	0,006	0,90	0,90	3712,17
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtornos pelo uso de cocaína	102,80	0,486	0,000	2,728	0,005	0,90	0,90	252,44
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtornos pelo uso de opiáceos	272,10	33,503	0,007	1,438	0,002	0,90	0,90	352,18
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtornos pelo uso de canabinoides	17,80	0,810	0,000	1,602	0,003	0,90	0,90	25,66
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtornos mentais e comportamentais devidos ao uso de alucinógenos transtorno psicótico	106,80	0,253	0,000	4,447	0,008	0,90	0,90	427,42
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtornos mentais e comportamentais devidos ao uso de fumo síndrome de dependência	106,80	0,113	0,000	4,600	0,008	0,90	0,90	442,17
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtornos mentais e comportamentais devidos ao uso de múltiplas drogas	106,80	0,358	0,000	6,044	0,010	0,90	0,90	580,95

Grupo (DALYs)	Subgrupo (DALYs)	Nome do Agravado (DALYs)	DALYs estimados (x000) por causa para Brasil (2016). População 207.653.000	Razão de Risco Atribuível	Razão de Risco Risco Atribuível Normalizado	Razão de Incidências	Razão de Incidências Normalizada	Coefficiente Plausibilidade	MAX (F,H,I)	DALYs * RI * MAX (F,H,I)
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtornos mentais e comportamentais devidos ao uso de sedativos e hipnóticos — síndrome amnésica	106,80	0,709	0,000	9,383	0,016	0,90	0,90	901,94
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtornos de ansiedade	1.257,70	0,000	0,000	1,227	0,002	1,00	1,00	1542,83
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtorno da alimentação	87,00	0,164	0,000	1,139	0,002	0,60	0,60	59,46
II	F. Condições neurológicas	Alzheimer e outras demências	651,10	1,490	0,000	1,778	0,003	0,40	0,40	463,00
II	F. Condições neurológicas	Outras condições neurológicas	499,40	0,037	0,000	19,659	0,034	0,70	0,70	6872,37
II	F. Condições neurológicas	Epilepsia	365,80	0,000	0,000	3,525	0,006	0,10	0,10	129,00
II	F. Condições neurológicas	Enxaqueca	947,20	1,113	0,000	1,158	0,002	0,30	0,30	329,20
II	H. Doenças cardiovasculares	Infarto isquêmico	1.357,80	12,639	0,003	1,630	0,003	0,80	0,80	1770,11
II	I. Condições respiratórias	Outras doenças respiratórias	493,20	1,956	0,000	13,296	0,023	0,90	0,90	5901,91
II	I. Doenças respiratórias	Doença pulmonar obstrutiva crônica	1.312,90	0,000	0,000	4,114	0,007	0,90	0,90	4861,20
II	I. Doenças respiratórias	Asma	394,70	0,000	0,000	88,633	0,154	0,80	0,80	27986,86
II	I. Doenças respiratórias	Outras doenças respiratórias (doença intersticial)	493,20	0,307	0,000	5,018	0,009	0,70	0,70	1732,38
II	I. Doenças respiratórias	Outras doenças respiratórias pneumoconioses	493,20	6,970	0,002	2,443	0,004	0,90	0,90	1084,61

Grupo (DALYs)	Subgrupo (DALYs)	Nome do Agravado (DALYs)	DALYs estimados (x000) por causa para Brasil (2016), População 207.653.000	Razão de Risco Atribuível	Razão de Risco Risco Atribuível Normalizado	Razão de Incidências	Razão de Incidências Normalizada	Coefficiente Plausibilidade	MAX (F,H,I)	DALYs * RI * MAX (F,H,I)
II	J. Doenças aparelho digestivo	Úlcera	135,00	3,650	0,001	64,463	0,112	0,50	0,50	4351,28
II	J. Doenças aparelho digestivo	Outras cirroses	80,70	0,000	0,000	1,506	0,003	0,60	0,60	72,93
II	J. Doenças aparelho digestivo	Pancreatites	172,10	0,000	0,000	1,468	0,003	0,30	0,30	75,80
II	K. Doenças geniturinárias	Glomerulonefrite aguda	2,40	4,456	0,001	2,400	0,004	0,80	0,80	4,61
II	K. Doenças geniturinárias	Outras doenças crônicas renais	556,30	1,393	0,000	7,961	0,014	0,80	0,80	3542,78
II	L. Doenças da pele	Doenças da pele (urticárias)	769,90	2,928	0,001	1,650	0,003	0,90	0,90	1143,36
III	A. Causas externas não intencionais	Envenenamento	23,40	46,180	0,010	2,0899	0,004	0,80	0,80	39,12
III	A. Causas externas não intencionais	Intoxicação benzodiazepinas	23,40	1,460	0,000	9,8606	0,017	0,90	0,90	207,66
III	A. Causas externas não intencionais	Intoxicação (cocaína)	23,40	1,707	0,000	1,2614	0,002	0,80	0,80	23,61
III	A. Causas externas não intencionais	Envenenamento (intoxicação por Fe)	23,40	0,619	0,000	1,244	0,002	1,00	1,00	29,10
III	B. Causa externa intencional	Violência interpessoal (violência física)	3.950,90	12,217	0,003	12,597	0,022	1,00	1,00	49771,23
III	B. Causa externa intencional	Violência interpessoal (agressão sexual)	3.950,90	1,032	0,000	0,032	0,000	1,00	1,00	127,34

Fonte: Elaboração própria (2021).

Tabela 2 — Resultados de DALYs considerando os agravos sem a existência do rompimento da barragem e com o rompimento da Barragem de Fundão

Total DALYs (sem o rompimento da barragem)	35.020,60	TOTAL DALYs (após o rompimento da barragem, para a população atingida)	533.108,17
DALYs / pessoa (sem o rompimento da barragem)	0,17	DALYs / pessoa (após o rompimento da barragem, para a população atingida)	2,39

Fonte: Elaboração própria (2021).

7 QUANTIFICAÇÃO DA INDENIZAÇÃO EM RAZÃO DE DANOS SOCIAIS E MORAIS COLETIVOS⁷⁶

7.1 Direitos e interesses lesados

As possibilidades de cálculo indenizatório (detalhadas no item 7.3 deste documento) visam ressarcir a coletividade pelo tempo e qualidade de vida perdidos nos territórios atingidos (resultando no total de 2,39 anos de vida perdidos).

Os valores apresentados são alternativos entre si, o que significa dizer que apenas um dos montantes propostos (vide item 7.3) será utilizado para o fim de remediação aqui considerado. Além disso, o montante é devido para a coletividade afetada e não em nível individual⁷⁷, uma vez que o valor de DALYs foi calculado para uma coletividade.

No caso concreto, os DALYs calculados demonstram que houve danos de distintas naturezas à coletividade atingida, o que gera o dever de ressarcimento, a título de danos sociais e/ou danos morais coletivos, conforme veremos adiante.

Nesta seção, veremos o respaldo e o fundamento jurídico que balizam essa indenização.

A violação de um direito gera o dever de reparação, sendo uma de suas possíveis formas a indenização. Assim, antes de adentrar na análise da modalidade aplicável de dano jurídico indenizável em razão da perda de 2,39 anos de vida vividos com qualidade, em média, por cada indivíduo da população atingida, é cabível identificar qual ou quais foram os direitos lesados no caso concreto e verificar se estes se tratam de interesses difusos, coletivos ou individuais homogêneos.

Conforme visto (item 3), o DALY representa um indicador da carga de doença que expressa simultaneamente o impacto da mortalidade e da morbidade sobre a saúde de uma determinada população. Assim, o resultado do cálculo de DALYs permite compreender em que medida a saúde de uma população foi afetada e qual o impacto disso na qualidade e tempo de vida de uma coletividade.

⁷⁶ Os itens 7.1 e 7.2 foram desenvolvidos pela equipe jurídica apontada no início desta NT.

⁷⁷ Ressalta-se que a possibilidade de indenização em nível individual no âmbito da saúde já foi abordada na Matriz Indenizatória Geral (FGV, 2021h).

A redução de 2,39 anos de vida e de qualidade de vida evidencia uma lesão ao direito à saúde,⁷⁸ ao direito à vida previsto no art. 5º da Constituição Federal (BRASIL, 1988), bem como ao direito à qualidade de vida⁷⁹ da coletividade atingida.

Desse indicador se depreende uma lesão ao direito à vida, uma vez que nele se considera a perda de anos vividos em razão de morte prematura associada à incidência de doenças. Há, ainda, uma lesão à qualidade de vida, visto que a perda de anos vividos com qualidade é outro componente do conceito de DALYs. Por fim, se infere também uma piora geral na saúde da coletividade e uma violação ao direito à saúde, visto que a afetação da vida e da qualidade de vida decorrem, no contexto do cálculo em escopo, de um aumento relevante na incidência de doenças na população atingida.

Por conseguinte, este dado também significa uma lesão a direitos de personalidade, como o já mencionado direito à vida, o direito à dignidade da pessoa humana e à segurança, por exemplo, previstos no art. 1º, III e art. 5º da Constituição Federal (BRASIL, 1988).

Outra possível consequência danosa, que se infere a partir do aumento do índice de agravos nos territórios, é a sobrecarga do Sistema Único de Saúde, o que implica o comprometimento do pleno direito de acesso à saúde.⁸⁰ Significa dizer, o aumento de doenças tende a demandar mais do sistema de saúde. Esse é fato notório em contexto de desastres (ONU, 2011; 2019, p. 15-16; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011, p. 9-10) e, inclusive, já foi reconhecido no caso do Rio Doce em relatórios anteriormente publicados pela FGV (FGV, 2020m, p. 493-499; FGV, 2021i).

Identificados os possíveis direitos violados em razão da diminuição da qualidade e dos anos vividos nos territórios da bacia do Rio Doce, passa-se a investigar se tal violação constitui lesão a interesse difuso, coletivo ou individual homogêneo, a seguir definidos.

⁷⁸ Direito que possui o devido respaldo e fundamento normativo, conforme abordado no relatório **Parâmetros e Subsídios para a Reparação dos Danos Socioeconômicos nos Territórios de Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado e Chopotó** (FGV, 2020m, p. 471-475).

⁷⁹ Direito que possui o devido respaldo e fundamento normativo, conforme abordado no relatório matriz indenizatória territorial (FGV, 2021i).

⁸⁰ Direito que possui o devido respaldo e fundamento normativo, conforme abordado no relatório **Parâmetros e Subsídios para a Reparação dos Danos Socioeconômicos nos Territórios de Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado e Chopotó** (FGV, 2020m, p. 493-499).

Quadro 6 — Definição de interesses difusos, coletivos e individuais homogêneos

Interesses ou direitos difusos	Direitos transindividuais, indivisíveis, dos quais são titulares pessoas indeterminadas e ligadas por circunstâncias de fato em comum.
Interesses ou direitos coletivos	Direitos transindividuais, indivisíveis, cujo titular seja grupo, categoria ou classe de pessoas ligadas entre si ou com a parte contrária por uma mesma relação jurídica.
Interesses ou direitos individuais homogêneos	Direitos decorrentes de origem comum, ou seja, uma circunstância em comum que se associa a todos os titulares do direito.

Fonte: art. 81, incisos I, II e III do Código de Defesa do Consumidor (BRASIL, 1990).

Como a metodologia de cálculo do DALYs permite mensurar os anos e qualidade de vida perdidos apenas ao nível da coletividade, entende-se que a informação trazida à tona pela presente Nota Técnica diz respeito tão somente à afetação dos direitos acima abordados em sua acepção coletiva. Nesse sentido, de antemão se conclui que devem ser apenas considerados os interesses difusos e coletivos, visto que são os únicos, de acordo com as definições acima expostas, que explicitamente dizem respeito a interesses transindividuais, ou seja, interesses que extrapolam a individualidade e que afetam seus titulares em nível da coletividade, sendo, portanto, indivisíveis.

Dando prosseguimento à análise, para compreender se a violação em questão é uma lesão a um interesse difuso ou coletivo, deve-se investigar se as pessoas ofendidas são indeterminadas ou não, por ser este um critério que diferencia ambas as categorias. No caso em tela, entende-se que muito embora os direitos dos ofendidos tenham sido afetados em sua coletividade, é possível identificar em nível individual quem são as pessoas que compõem esse grupo, bastando para isso uma prova documental adequada⁸¹. Não significa dizer que essa prova seja fácil de produzir, contudo, realizar este tipo de identificação em nível individual é possível. Portanto, não se pode dizer que os titulares dos direitos em discussão são indeterminados.

⁸¹ Neste sentido, cita-se a possibilidade de comprovação da chamada “condição de atingido”, abordada no relatório, a qual pode ser realizada por meio de comprovante de que o ofendido reside ou residiu em um dos 45 municípios atingidos ou mediante as possibilidades probatórias flexibilizadas em igual sentido para a prova da condição de atingido (FGV, 2021h).

Nesse sentido, descarta-se a hipótese de se tratar de interesse difuso e conclui-se pela categorização dos interesses afetados como coletivos.

Assim, tem-se que os direitos à vida, à qualidade de vida, à saúde e direitos de personalidade são garantias violadas pela redução dos anos e da qualidade de vida da população atingida em sua esfera coletiva. Ainda, essa violação deve ser compreendida como uma lesão a direitos ou interesses coletivos.

7.2 Modalidade de dano jurídico indenizável configurada a partir dos DALYs

Nesta seção, serão abordadas as definições de dano moral coletivo e de dano social e, em seguida, será investigado se as lesões decorrentes da perda de anos vividos e da qualidade de vida, por parte da população atingida, se enquadram em alguma das duas modalidades.

7.2.1 Dano moral coletivo

Abaixo serão abordadas algumas definições de dano moral coletivo trazidas pela doutrina, a fim de compreender que tipo de lesão configura essa modalidade de dano.

Sérgio Cavalieri Filho entende que dano moral coletivo consiste no

sentimento de despreço que afeta negativamente toda a coletividade pela perda de valores essenciais; sentimento coletivo de comoção, intranquilidade ou insegurança pela lesão a bens de titularidade coletiva, como o meio ambiente, a paz pública, a confiança coletiva, o patrimônio histórico, artístico, cultural, paisagístico (CAVALIERI FILHO, 2015 p. 145).

De acordo com Tartuce, trata-se de dano que atinge simultaneamente vários direitos da personalidade, de pessoas determinadas ou determináveis (TARTUCE, 2014). Por sua vez, Medeiros Neto entende que o dano moral coletivo se relaciona à lesão a direitos transindividuais titularizados por uma coletividade determinada e sua indenização possui como intuito a reparação, repressão da conduta e prevenção de novas violações (MEDEIROS NETO, 2014 p. 171-208).

Vale também ressaltar a definição previamente trazida pelo relatório “Parâmetros e Subsídios para a Reparação dos Danos Socioeconômicos nos Territórios de Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado e Chopotó” a qual, além de considerar alguns dos apontamentos dos autores supracitados, descreve o dano moral coletivo como

a lesão a bens e valores jurídicos extrapatrimoniais inerentes a toda a coletividade, de forma indivisível, como resultado de conduta lesiva que agride, de modo injusto e intolerável, o ordenamento jurídico e os valores éticos fundamentais da sociedade em si considerada, a provocar repulsa e indignação na própria consciência coletiva” (FGV, 2020m, p. 388).

A respeito do tema no âmbito da jurisprudência, destaca-se o REsp nº 1.546.170, julgado pelo STJ:

compreendido como o resultado de uma lesão a bens e valores jurídicos extrapatrimoniais inerentes a toda a coletividade, de forma indivisível, se dá quando a conduta lesiva agride, de modo injusto e intolerável, o ordenamento jurídico e os valores éticos fundamentais da sociedade em si considerada, a provocar repulsa e indignação na própria consciência coletiva. [...] Assim, para haver a condenação à reparação por dano moral coletivo, é essencial que o ato antijurídico praticado atinja alto grau de reprovabilidade e transborde os lindes do individualismo, afetando, por sua gravidade e repercussão, o círculo primordial de valores sociais. Logo, não basta a mera infringência à lei ou ao contrato para a sua caracterização (STJ, 2020).

Os fundamentos normativos para a reparação por danos morais coletivos podem ser extraídos de vários dispositivos legais, tal qual o art. 1º da Lei nº 7.347/1985 e o art. 6º, VI, da Lei nº 8.078/1990 (BRASIL, 1985; 1990).

Considerando que a definição de danos morais coletivos pressupõe uma lesão a interesses transindividuais que abarcam bens e valores jurídicos extrapatrimoniais inerentes à coletividade, sendo seus titulares pessoas determinadas ou determináveis, conclui-se que a lesão em escopo configura dano moral coletivo. Isso porque, decorre do valor de DALYs calculado uma lesão a interesses transindividuais, mais especificamente, interesses coletivos, os quais abarcam valores e bens jurídicos imateriais inerentes à coletividade e considerados essenciais (direito à qualidade de vida, à vida, à saúde, direitos de personalidade, dentre outros), sendo sua violação injusta e intolerável. Além disso, os titulares de tais direitos são pessoas determinadas ou determináveis, as quais integram uma coletividade.

Por todos esses motivos, conclui-se que as lesões supramencionadas são categorizadas como danos morais coletivos.

7.2.2 Dano social

Visando compreender o dano social e suas características, passa-se agora a discorrer sobre algumas definições doutrinárias deste tipo de dano jurídico.

Azevedo compreende o dano social como “lesões à sociedade, no seu nível de vida, tanto por rebaixamento de seu patrimônio moral – principalmente a respeito da segurança – quanto por diminuição da qualidade de vida”. Ainda, o autor entende que tais danos decorrem de condutas socialmente reprováveis ou comportamentos exemplares negativos (AZEVEDO, 2004, p. 376). Este entendimento encontra respaldo na jurisprudência (TRT4, 2021).

Por sua vez, Tartuce complementa que danos sociais podem gerar não apenas repercussões na esfera moral, mas também na esfera material.

É possível encontrar, também em precedentes, as funções do dano social, bem como o reconhecimento do dano social em contexto de lesão a interesses coletivos:

Ademais, é de se ter em mente que o dano social possui uma dupla natureza: uma, de índole eminentemente punitiva; outra, de prevenção geral, no desiderato de desincentivar os agentes na reiteração de atos análogos, o que justamente fundamenta a condenação ora imposta ao demandado (TJPR, 2021).

Visando coibir esta atitude que desencadeia em incontáveis ações sobre um mesmo assunto, já estudado e pacificado, e, com a intenção de dar fim a causas que se arrastam com o exclusivo escopo procrastinatório, este relator passa a adotar uma postura repressiva de forma a preservar o que é do interesse coletivo, então prestigiando a reparação do dano moral social (STJ, 2019).

Vale considerar também a definição de danos sociais utilizada previamente no relatório “Parâmetros e Subsídios para a Reparação dos Danos Socioeconômicos nos Territórios de Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado e Chopotó”, segundo a qual o dano social pode ser compreendido como lesões à sociedade, em seu nível médio de vida, relacionadas especialmente ao rebaixamento da segurança e diminuição da qualidade de vida coletivas, estando o seu reconhecimento associado a aplicação de indenização punitiva por dolo ou culpa (FGV, 2020m, p. 388).

cabe ressaltar que há autores (FRIEDE; ARAGÃO, 2016, p. 207-233) e precedente jurisprudencial do STJ⁸² que entendem que o fundamento normativo da reparação por danos sociais decorre do art. 1º, III, da CF/1988. Além disso, o Enunciado nº 456 da V

⁸² Cita-se trecho de jurisprudência do STJ (STJ, 2014) que se refere ao dano social: “malgrado a assertiva contrária do reclamante, é bem de ver que o artigo 1º, inciso III, da Constituição Federal – inserindo em nosso ordenamento jurídico a cláusula geral da dignidade da pessoa humana como fundamento da República Federativa do Brasil – permite o reconhecimento de novos direitos indenizáveis, além dos já previstos no Código Civil (TARTUCE, Flávio. **Ensaio sobre responsabilidade civil na pós-modernidade**, v. 2/ Giselda Maria Fernandes Novaes Hironaka e José Fernando Simão (Coord.). Porto Alegre: Magister, 2009, p. 178-179) (...) não há dúvida de que o instituto tem previsão legal, tanto no âmbito constitucional, quanto no infraconstitucional”.

Jornada de Direito Civil do CJF/STJ,⁸³ é também considerado para fundamentar o dano social como uma categoria autônoma.

Frente às definições e considerações acima, depreende-se que o dano social decorre de uma lesão à sociedade em seu nível de vida, podendo envolver uma redução do patrimônio moral, o rebaixamento da segurança e a diminuição da qualidade de vida, todos em nível da coletividade. Nesse sentido, conclui-se que a lesão aqui discutida consubstancia-se juridicamente em um dano social, visto que a perda de anos e de qualidade de vida da população atingida se traduz numa lesão à sociedade em seu nível de vida (lesão ao direito à vida, à qualidade de vida, saúde, a direitos de personalidade, entre outros), havendo um impacto patente nesse sentido (redução de anos vividos), além de que se verifica também um evidente rebaixamento do patamar de qualidade de vida em nível coletivo (redução dos anos vividos com qualidade). Por esses motivos, pode-se concluir pela configuração de dano social como uma categoria adequada às lesões decorrentes do valor de DALYs identificado.

Diante das considerações feitas ao longo deste item 7, é possível concluir que os danos decorrentes da perda de anos vividos e da perda de anos vividos com qualidade configuram violação ao direito à vida, à qualidade de vida, à saúde, aos direitos de personalidade, entre outros. Na acepção metodológica do cálculo do DALYs tais violações configuram lesão a interesses coletivos, sendo adequado tanto assumir a ocorrência de dano moral coletivo quanto de dano social. Nesse sentido, o fato de ambas as modalidades serem adequadas para categorizar as lesões aqui discutidas evidencia que os danos infligidos à população atingida possuem respaldo jurídico, normativo, doutrinário e jurisprudencial para serem ressarcidos. Ainda, a lesão dos direitos em sua esfera coletiva bem como o caráter transindividual que tanto o dano moral coletivo quanto o dano social partilham evidenciam que a reparação deve se dar na esfera coletiva.

O quadro a seguir sintetiza as conclusões jurídicas da presente análise.

⁸³ Nesse sentido, "A expressão 'dano' no art. 944 abrange não só os danos individuais, materiais ou imateriais, mas também os danos sociais, difusos, coletivos e individuais homogêneos a serem reclamados pelos legitimados para propor ações coletivas" (CJF, 2011).

Quadro 7 — Qualificação dos direitos, danos e reparação em função dos anos e da qualidade de vida perdidos

Tipo de direito/interesse	Interesses/direitos coletivos
Modalidades de dano jurídico	• Dano moral coletivo; • Dano social.
Tipo de reparação	Coletiva

Fonte: Elaboração própria (2021).

7.3 Propostas de reparação coletiva

No quadro a seguir estão apresentadas três propostas para a reparação de dano social e moral coletivo (Quadro 8). Nos dois primeiros casos, utilizam-se indicadores para valoração das indenizações para os indivíduos atingidos, baseados em renda. No primeiro caso, a renda *per capita* calculada para o ano 2015, ou seja, o valor mensal médio de R\$ 1.113,00. Tomando esse indicador, a indenização por dano social e moral coletivo resultaria em R\$ 31.920,84 para cada indivíduo atingido. Uma segunda opção consiste na utilização do produto interno bruto (PIB) *per capita* para os 45 municípios, em 2015, como indicador de valoração desse tipo de dano. Nesse caso, obteve-se o valor de R\$ 85.562,00 por indivíduo nos territórios atingidos. Uma terceira opção aqui considerada está baseada em valores previamente estabelecidos calculados (BRENT, 2011). Este autor utiliza uma abordagem de preferência revelada para estimar o preço de um ano de vida ajustado por incapacidade (DALY) implícito nas decisões de concessão do Fundo Global para AIDS, tuberculose (TB) e malária (GFATM). Nele é utilizado um critério de custo/benefício que exige que o preço por DALY exceda a relação custo/benefício. O preço estimado foi de US\$ 6,300/DALY para qualquer doença. Foi utilizado este valor e multiplicado pela cotação do dólar em 7 de setembro de 2021, resultando em um valor total por indivíduo atingido de R\$ 76.979,75.

Quadro 8 — Propostas de reparação coletiva

1. Valoração pela renda *per capita* mensal média dos brasileiros em 2015 (R\$ 1.113,00):

Reparação por indivíduo

$$= 2,39 \times 1.113 \times 12 = \text{R\$ } 31.920,84$$

2. Valoração pelo PIB per capita dos 45 municípios em 2015 (R\$ 35.800,00):

Reparação por indivíduo

$$= 2,39 \times 35.800 = \text{R\$ } 85.562,00$$

3. Valoração pelo valor estimado de cada DALY*(US\$ 6.230,00):

Reparação por indivíduo

$$= 2,39 \times 6.230 \times 5,17^{**} = \text{R\$ } 76.979,75$$

* BRENT RJ (2011) An implicit price of a DALY for use in a cost-benefit analysis of ARVs, *Applied Economics*, 43:11, 1413-1421, DOI: 10.1080/00036840802600475

** Cotação do dólar em 7 de setembro de 2021

Fonte: Elaboração própria (2021).

8 CONCLUSÃO

Nesta Nota Técnica foram identificadas, a partir dos dados secundários analisados, as diferenças nas incidências acumulativas de doenças e agravos após o desastre do rompimento da Barragem de Fundão nas populações dos municípios atingidos quando comparados com municípios controle. Com base nos estudos realizados, concluímos que os moradores dos 45 municípios atingidos perderam, cada um, em média, 2,39 anos de vida por incapacitação, considerando um conjunto de 75 agravos e doenças que tiveram incidências acumulativas e riscos atribuíveis maiores após o desastre, quando comparados com municípios controle, indicando uma piora na saúde das populações nos municípios atingidos.

Considerando os resultados apresentados nesta NT que indicam uma perda de 2,39 anos de vida por incapacidade como consequência do desastre, até o presente momento (2021), recomenda-se fortemente a realização de estudos de seguimento nessas populações no futuro, já que vários dos agravos aqui identificados constituem doenças ou condições de natureza crônica e de longo prognóstico que podem ainda causar perdas para a saúde destas populações no futuro. Principalmente para a aparição de neoplasias, problemas respiratórios crônicos e saúde mental.

Cabe apontar que uma parte das populações expostas ao desastre possui baixa escolaridade, baixa renda, subemprego e condições precárias de saneamento. Assim, a exposição aos efeitos desse desastre, assim como às substâncias químicas nocivas para a saúde liberadas no evento, produz um fator de risco adicional, agravando sua vulnerabilidade. Além disso, como já discutido na sessão introdutória desta nota técnica, a resposta à exposição provoca respostas biológicas variadas nos indivíduos, o que nem sempre corresponde às descrições já existentes na literatura. Nesse sentido, o conjunto de doenças aqui consideradas constitui um cálculo conservador dos possíveis agravos à saúde.

Como já afirmado no estudo de Avaliação de Risco de Linhares (AMBIOS, 2019b, p. 99).

“...nos casos de exposição de longo prazo e baixas doses, como no presente Estudo, o efeito tóxico das substâncias (contaminantes de interesse) encontradas, pode se manifestar de forma ampla, abrigando desde processos de adoecimento específicos como manifestações alérgicas, como difusos, através do desencadeamento ou agravamento de processos mórbidos que apresentam etiologia multicausal”

A tabela a seguir (Tabela 3) apresenta a “plausibilidade biológica” para aqueles grupos de doenças com riscos relativos maiores para os municípios atingidos identificados aqui, (sustentada pelo conhecimento científico atual representado por referências bibliográficas em diversas revistas internacionais e nacionais) e o coeficiente de plausibilidade utilizado para cada relação estabelecida entre agravos e doenças nesta nota técnica. Na coluna “referências” apresentam-se referências bibliográficas de publicações científicas que subsidiam a relação entre os agravos detectados com riscos maiores nos municípios atingidos e a exposição a diferentes fatores.

Tabela 3 — Plausibilidade biológica para a relação entre as doenças achadas em atingidos e o rompimento da Barragem de Fundão

Grupo (DALYs)	Subgrupo (DALYs)	Nome do agravo (DALYs)	Coeficiente plausibilidade	Plausibilidade	Referências
I	A. Doenças Infecciosas e parasitárias	Tuberculose	0,60	Silicose Pneumoconiose	KONEČNÝ, 2019 LANZAFAME, 2021 SNIDER, 1978 BARBOZA, 2008 REES, 2007 EHRlich, 2021
I	A. Doenças Infecciosas e parasitárias	Diarreias	0,40	Desequilíbrio ambiental Enchente provocada pelo rompimento, contaminação de águas de uso humano	WATSON, 2007 JISEON, 2020 SAULNIER, 2017
I	A. Doenças Infecciosas e parasitárias	Meningites	0,10	Desequilíbrio ambiental	WATSON, 2007 SAULNIER, 2017
I	A. Doenças Infecciosas e parasitárias	Encefalites	0,10	Desequilíbrio ambiental	WATSON, 2007 SAULNIER, 2017 PATZ, 2000
I	A. Doenças Infecciosas e parasitárias	Hepatite A	0,60	Enchente provocada pelo rompimento, contaminação de águas de uso humano	WATSON, 2007 JISEON, 2020 FONGARO, 2019 SAULNIER, 2017

Grupo (DALYs)	Subgrupo (DALYs)	Nome do agravo (DALYs)	Coefficiente plausibilidade	Plausibilidade	Referências
I	A. Doenças Infecciosas e parasitárias	Malária	0,50	Alterações ambientais Desequilíbrio de população de vetores Perturbação ecológica	AHERN, 2005 JISEON, 2020 KONDO, 2002 PATZ, 2000 SAULNIER, 2017 VORA, 2008 WATSON, 2007 XAVIER, 2008
I	A. Doenças Infecciosas e parasitárias	Esquistossomose	0,40		
I	A. Doenças Infecciosas e parasitárias	Leishmaniose	0,40		
I	A. Doenças Infecciosas e parasitárias	Dengue	0,40		
I	A. Doenças Infecciosas e parasitárias	Febre amarela	0,40		
I	B. Infecções respiratórias	Vias respiratórias superiores	0,40	Efeitos da contaminação e toxicidade dos metais pesados	TREVINO, 1996 DERBYSHIRE, 2007 HU, 2019 WU, 2018 LOSACCO, 2018 LEEM, 2015 MCLAUGHLIN, 1962
I	B. Infecções respiratórias	Vias respiratórias inferiores	0,50	Efeitos do material particulado no ambiente	
I	C. Condições maternas	Abortos	1,00	Contaminação por metais (As)	SHIH, 2010 SOHEL, 2010 AMADI, 2017 QUANSAH, 2015 FARZAN, 2013 TOLINS, 2014 GERHARD, 1998 TURAN, 2019 BELLINGER, 2019

Grupo (DALYs)	Subgrupo (DALYs)	Nome do agravo (DALYs)	Coefficiente plausibilidade	Plausibilidade	Referências
I	E. Deficiências nutricionais	Desnutrição proteico-calórica	0,60	Contaminação por metais (Al, Cu) Mudança na alimentação	JEFFERY, 1996 FARZAN, 2013 POHANKA, 2019
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de cervix	0,40	Praticamente todos os elementos químicos identificados nos resíduos da Barragem de Fundão possuem efeitos carcinogênicos (ver quadro 1) (Al, As, Cd, Cr, Ni, Hg)	ATSD, 2008 AXELSSON, 1980 BAKIR; DARBRE, 2015 BEYERSMANN, 2008 BISHAK, 2015 CHEN, 1986 CHEN, 2019 ESKANDARI, 2015 FEI, 2018 GONDAL, 2016 GUNDUZ, 2010 HARTWIG, 2013 HUFF, 2007 IARC, 2010 HYUN, 2015 JAISHANKAR, 2014 KIM, 2018 KROLL, 2013 LANGÂRD, 1983 LANGÂRD, 1990 LUIPPOLD, 2003 MARTÍN MATEO, 1997 POPE, 2002 QAYYUM, 2019
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de Ee útero	0,40		
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de ovário	0,40		
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de próstata	0,40		
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de rim	0,40		
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de bexiga	0,40		
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de laringe	0,40		
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de boca e lábio	0,40		
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de esôfago	0,40		
II	A. Neoplasias malignas	Linfoma Hodgkin	0,40		
II	A. Neoplasias malignas	Linfoma não Hodgkin	0,40		
II	A. Neoplasias malignas	Mieloma múltiplo	0,40		

Grupo (DALYs)	Subgrupo (DALYs)	Nome do agravo (DALYs)	Coefficiente plausibilidade	Plausibilidade	Referências
II	A. Neoplasias malignas	Leucemia	0,40		SALNIKOW, 2008 STRAIF, 2009 TÜRDOGAN, 2003 WENZHEN, 2016 POPPER, 1978 ZALDIVAR, 1981 ZHITKOVICH, 2005 ZAMBELLI, 2016
II	A. Neoplasias malignas	Outras neoplasias malignas	0,40		
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de estômago	0,40		
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de cólon e reto	0,40		
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de fígado	0,40		
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de pâncreas	0,40		
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de traqueia, brônquios e pulmão	0,40		
II	A. Neoplasias malignas	Melanoma e outros cânceres de pele	0,40		
II	A. Neoplasias malignas	Câncer de mama	0,40		
II	B. Neoplasias benignas	Outras neoplasias benignas	0,40		
II	C. Diabetes	Diabetes mellitus	0,40	Contaminação por metais (As)	ATSDR, 2007
II	D. Transtornos endócrinos, metabólicos e sanguíneos	Hemoglobinopatias e anemias hemolíticas	0,90	Contaminação por metais (Pb, Al)	DUNEA, 2001 MAHURKAR, 1973 SANDHU, 2011 WHO, 2005-2008

Grupo (DALYs)	Subgrupo (DALYs)	Nome do agravo (DALYs)	Coefficiente plausibilidade	Plausibilidade	Referências
II	D. Transtornos endócrinos, metabólicos e sanguíneos	Transtornos endócrinos, imunes e sanguíneos	0,90	Contaminação por metais (Cr)	IAVICOLI, 2009 DARTSCH, 1998
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtorno depressivo	1,00	Experiência do desastre, falta de trabalho, expectativa de vida, mudanças de estilo de vida	ARAKI, 1995 BAUM, 1983 BERG, 2005 BRACKBILL, 2009 DORN, 2007 GOENJIAN, 1994 KAR, 2009 ROQUE, 2018
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Outros transtornos mentais e comportamentais	1,00		
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtorno bipolar	0,60		
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Esquizofrenia	0,50		
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtornos pelo uso de álcool	0,90		
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtornos pelo uso de cocaína	0,90		
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtornos pelo uso de opiáceos	0,90		

Grupo (DALYs)	Subgrupo (DALYs)	Nome do agravo (DALYs)	Coefficiente plausibilidade	Plausibilidade	Referências
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtornos pelo uso de canabinoides	0,90		
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtornos mentais e comportamentais devidos ao uso de alucinógenos, transtorno psicótico	0,90		
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtornos mentais e comportamentais devidos ao uso de fumo – síndrome de dependência	0,90		
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtornos mentais e comportamentais devidos ao uso de múltiplas drogas	0,90		
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtornos mentais e comportamentais devidos ao uso de sedativos e hipnóticos – síndrome amnésica	0,90		
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtornos de ansiedade	1,00		
II	E. Transtornos mentais e comportamentais por abuso de substâncias	Transtorno da alimentação	0,60		

Grupo (DALYs)	Subgrupo (DALYs)	Nome do agravo (DALYs)	Coefficiente plausibilidade	Plausibilidade	Referências
II	F. Condições neurológicas	Alzheimer e outras demências	0,40	Contaminação por metais (Cu e Al)	IGBOKWE, 2019 LAI, 2018 BOLOGNIN, 2019 GRASSO, 2011
II	F. Condições neurológicas	Outras condições neurológicas	0,70	Contaminação por metais (Cu, Fe)	MEZZAROBBA, 2019 MOSTILE, 2017 FUJIWARA, 2017 MEHTA, 2013 KARPENKO, 2018 IYECHOVA, 2018 MASON, 2014
II	F. Condições neurológicas	Epilepsia	0,10	Contaminação por metais	MASON, 2014
II	F. Condições neurológicas	Enxaqueca	0,30	Contaminação por metais	WHO, 2008 MASON, 2014
II	H. Doenças cardiovasculares	Infarto isquêmico	0,80	Contaminação por metais (Al As)	ABEDINI, 2014
II	I. Condições respiratórias	Outras doenças respiratórias	0,90	Contaminação por metais e material particulado	WU, 2019 XU, 2020 LEEM, 2015 HU, 2019 BRACKBILL, 2009 LOSACCO, 2018
II	I. Doenças Respiratórias	Doença pulmonar obstrutiva crônica	0,90		
II	I. Doenças respiratórias	Asma	0,80		
II	I. Doenças respiratórias	Outras doenças respiratórias (doença intersticial)	0,70		
II	I. Doenças respiratórias	Outras doenças respiratórias Pneumoconioses	0,90		

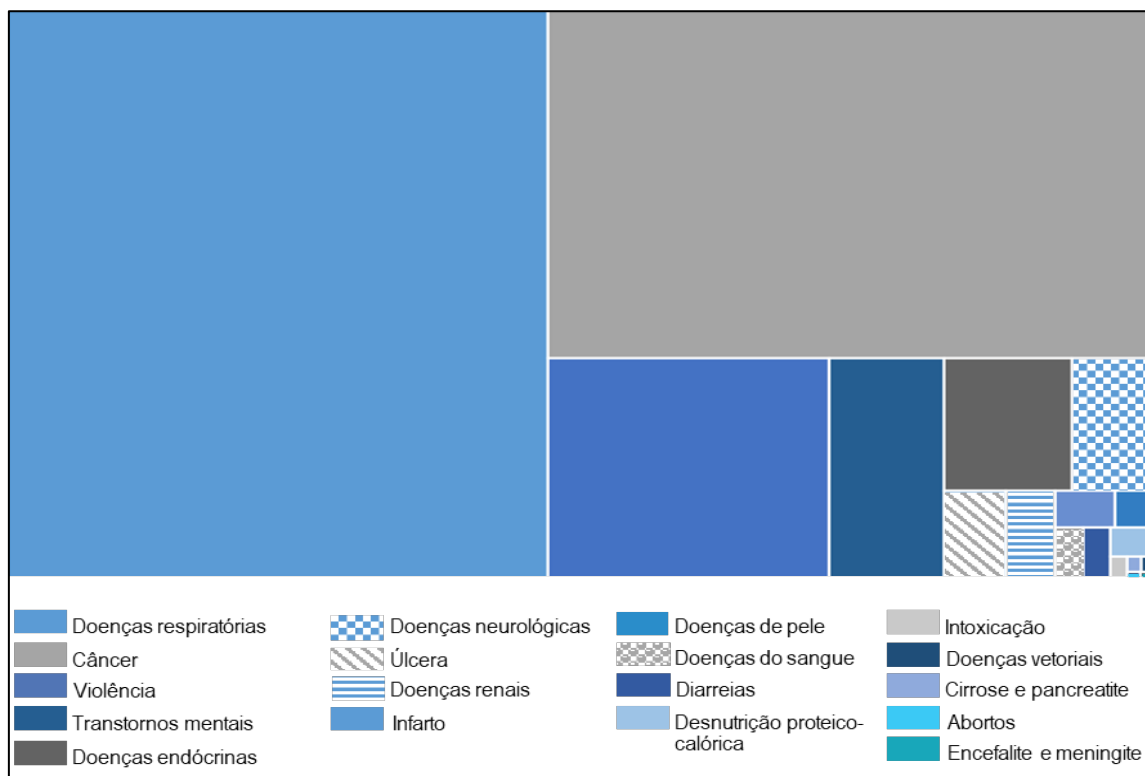
Grupo (DALYs)	Subgrupo (DALYs)	Nome do agravo (DALYs)	Coefficiente plausibilidade	Plausibilidade	Referências
II	J. Doenças aparelho digestivo	Úlcera	0,50	Estresse Contaminação por metais (Cr)	WHO, 2008
II	J. Doenças aparelho digestivo	Outras cirroses	0,60	Alcoolismo Contaminação por metais (Cr, As, Al)	DARTSCH, 1998 POPPER, 1978 ZALDIVAR, 1981 CONTINI, 2007
II	J. Doenças aparelho digestivo	Pancreatites	0,30	Contaminação por metais (As, Zn, Mn, Cd)	DOVER, 2018
II	K. Doenças geniturinárias	Glomerulonefrite aguda	0,80	Contaminação por metais (Cd)	WHO, 2008
II	K. Doenças geniturinárias	Outras doenças crônicas renais	0,80	Contaminação por metais (Cr, Pb, Cd)	KAUFMAN, 1970 DARTSCH, 1998 WHO, 2005-2007 WHO, 2008
II	L. Doenças da pele	Doenças da pele (urticárias)	0,90	Contaminação por metais (As, Ni)	SHAKIR, 2017 SHARMA, 2021 GARCIA-RABASCO, 2014
III	A. Causas externas não intencionais	Envenenamento	0,80	Estresse psicológico	ALEXANDER, 2018
III	A. Causas externas não intencionais	Intoxicação (benzodiazepinas)	0,90		
III	A. Causas externas não intencionais	Intoxicação (cocaína)	0,80		
III	A. Causas externas não intencionais	Envenenamento (intoxicação por Fe)	1,00		

Grupo (DALYs)	Subgrupo (DALYs)	Nome do agravo (DALYs)	Coefficiente plausibilidade	Plausibilidade	Referências
III	B. Causa externa intencional	Violência interpessoal (violência física)	1,00	Estresse psicológico Saúde mental	FISHER, 2010 PARKINSON-ZARA, 2013
III	B. Causa externa intencional	Violência interpessoal (agressão sexual)	1,00		DELANEY, 2000 ENARSON, 2000

Fonte: Elaboração própria (2021).

Os dados aqui apresentados indicam que o rompimento da Barragem de Fundão afetou a saúde e, portanto, a qualidade de vida dos moradores dos municípios atingidos, resultando em uma perda de anos de vida com qualidade igual a 2,39 para cada indivíduo nos territórios atingidos. Cabe apontar que de todos os agravos identificados, as doenças respiratórias, as neoplasias e a violência representam 92% de todos os agravos identificados (Figura 6).

Figura 6 — Representação das 75 doenças e agravos agrupados em 18 principais grupos de doenças e classificados pelo valor de DALYs



Fonte: Elaboração própria (2021).

REFERÊNCIAS

ABEDINI, M.; FATEHI, F.; TABRIZI, N. Ischemic stroke as a rare manifestation of aluminium phosphide poisoning: a case report. **Acta Med Iran**, v. 52, n. 12 p. 947–949, 2014.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for arsenic**. Draft for Public Comment. Atlanta: US Department of Health and Human Services, 2007. Disponível em: <www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2.htm>.

_____. What are the physiologic effects of chromium exposure? Chromium Toxicity. **Environmental Health and Medicine Educatio**, 2007. Disponível em: <www.atsdr.cdc.gov/csem/chromium/physiologic_effects_of_chromium_exposure.html>.

_____. División de Toxicología y Medicina Ambiental. Departamento de Salud y Servicios humanos de los EEUU. Washington (USA): Servicio de Salud Pública, 2011.

AHERN, M.; KOVATS, R. S.; WILKINSON, P.; FEW, R.; MATTHIES, F. Global health impacts of floods: epidemiologic evidence. **Epidemiologic Reviews**, v. 27, n. 1, 2005.

AHLSTRÖM, M. G. et al. Nickel allergy and allergic contact dermatitis: A clinical review of immunology, epidemiology, exposure, and treatment. **Contact Dermatitis**, v. 81, n. 4, p. 227-241, 2019.

AKIYAMA, M.; OSHIMA, H.; NAKAMURA, M. Genotoxicity of mercury used in chromosome aberration tests. **Toxicology in Vitro**, v. 15, n. 4-5, p. 463-467, 2001.

AMBIOS. **Estudo de avaliação de risco à saúde humana em localidades atingidas pelo rompimento da barragem do Fundão – MG**. Etapa I. Municípios de Mariana e Barra Longa (MG). Relatório final. São Paulo, 17 abr. 2019a.

AMBIOS. **Estudo de avaliação de risco à saúde humana em localidades atingidas pelo rompimento da barragem do Fundão – MG. Etapa I**. Município de Linhares (ES). Relatório final. São Paulo, 15 maio 2019b.

AMMANN, R. W.; MULLER, E.; BANSKY, J.; SCHULER, G.; HACKI, W. H. High incidence of extrahepatic carcinomas in idiopathic hemochromatosis. **Scand. J. Gastroenterol.**, v. 15, p. 733-736, 1980.

ANDRADE, M. A. et al. Estimation of Health-Related Quality of Life Losses Owing to a Technological Disaster in Brazil Using EQ-5D-3L: A Cross-Sectional Study. **Value in Health Regional Issues**, v. 26, p. 66-74, 2021.

ANDRADE, V. M. et al. *Neurotoxicity of metal mixtures*. **Advances in Neurobiology**, v. 18, p. 227-265, 2017.

ANVISA. **Nota Técnica nº 8/2019/SEI/GEARE/GGALI/DIRE2/ANVISA**. 2019.

AVILA, D. S. et al. Manganese in health and disease. **Metal Ions in Life Sciences**, v. 13, p. 199-227, 2013.

AXELSSON, G. et al. Mortality and incidence of tumours among ferrochromium workers. **British Journal of Industrial Medicine**, v. 37, p. 121-127, 1980.

AZEVEDO, Antonio Junqueira de. Por uma nova categoria de dano na responsabilidade civil: o dano social. In: FILOMENO, José Geraldo Brito; WAGNER JÚNIOR, Luiz Guilherme da Costa; GONÇALVES, Renato Afonso (Coord.). **O Código Civil e sua interdisciplinaridade**. Belo Horizonte: Del Rey, 2004.

BAKIR, A.; DARBRE, P. D. Effect of aluminium on migration of oestrogen unresponsive MDA-MB-231 human breast cancer cells in culture. **J Inorg Biochem.**, v. 152, p. 180-185, 2015.

BARUTHIO, F. Toxic effects of chromium and its compounds. **Biological Trace Element Research**, v. 32, p. 145-153, 1992.

BELLINGER, D. C. Teratogen update: lead and pregnancy. Birth defects research. Part A. **Clinical and Molecular Teratology**, v. 73, n. 6, p. 409-420, 2005.

BEN-OZER, E. Y.; ROSENSPIRE, A. J.; MCCABE, M. J. Jr. et al. Mercuric chloride damages cellular DNA by a non-apoptotic mechanism. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 470, n. 1, p. 19-27, 2000.

BERGLUND, M. Intestinal-absorption of dietary-cadmium in women depends on body iron stores and fiber intake. **Environmental Health Perspectives**, v. 102, n. 12, p. 1058-1066, 1994.

BERNARD, A. Cadmium & its adverse effects on human health. **The Indian Journal of Medical Research**, v. 128, n. 4, p. 557-564, 2008.

BISHAK, Y. K.; PAYAHOO, L.; OSATDRAHIMI, A.; NOURAZARIAN, A. Mechanisms of cadmium carcinogenicity in the gastrointestinal tract. **Asian Pac J Cancer Prev**, v. 16, p. 9-21, 2015.

BHATTACHARYYA, R. C. A.; MITRA, S.; CROWE, S. E. Oxidative stress: an essential factor in the pathogenesis of gastrointestinal mucosal diseases. **American Physiological Society**, v. 94, n. 2, p. 329-354, 2014.

BRACKBILL, R. M. et al. Asthma and posttraumatic stress symptoms 5 to 6 years following exposure to the World Trade Center terrorist attack. **JAMA**, v. 302, n. 5, p. 502-516, 2009.

BRASIL. Lei nº 7.347, de 24 de julho de 1985. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7347Compilada.htm>. Acesso em: 1 out. 2021.

_____. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 1 out. 2021.

_____. **Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990 (Código de Defesa do Consumidor)**. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8078compilado.htm>. Acesso em: 1 out. 2021.

BRASILINO, Fábio Ricardo Rodrigues. "O dano social e função social da responsabilidade civil" in FIÚZA, César Augusto de Castro et al. **Direito Civil I**. Florianópolis: CONPEDI, 2014, p. 412-433. Disponível em <<http://www.publicadireito.com.br/artigos/?cod=1cde2efe98ea537f>>. Acesso em: 24/09/2021.

BOLOGNIN, S.; MESSORI, L.; DRAGO, D.; GABBIANI, C.; CENDRON, L.; ZATTA, P. Aluminum, copper, iron and zinc differentially alter amyloid- β (1-42) aggregation and toxicity. **Int J Biochem Cell Biol**, v. 43, n. 6, p. 877-885, 2011.

BREGNBAK, D.; JOHANSEN, J. D.; JELLESEN, M. S.; ZACHARIAE, C.; MENNÉ, T.; Thyssen, J. P. Chromium allergy and dermatitis: prevalence and main findings. **Contact Dermatitis**, v. 73, p. 261-280, 2015.

BRENT, R. J. An implicit price of a DALY for use in a cost-benefit analysis of ARVs. **Applied Economics**, v. 43, n. 11, p. 1413-1421, 2011.

CAVALIERI FILHO, Sérgio. **Programa de responsabilidade civil**. 12. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

CHANG L. W. **Neurotoxic effects of mercury** — a review. **Environmental Research**, v. 14, Issue 3, p. 329-373, 1977.

CHEN, C. J.; CHUANG, Y. C.; YOU, S. L. et al. A retrospective study on malignant neoplasms of bladder, lung, and liver in Blackfoot disease endemic area in Taiwan. **Br J Cancer**, v. 53, p. 399-405, 1986.

CHEN, Q. Y.; DESMARAIS, T.; COSTA, M. Metals and mechanisms of carcinogenesis. **Annu Rev Pharmacol Toxicol.**, v. 59, p. 537-554, 2019.

CONSELHO DA JUSTIÇA FEDERAL (CJF). **V Jornada de Direito Civil do CJF/STJ**. Enunciado 455. 2011. Disponível em: <www.cjf.jus.br/enunciados/enunciado/403>. Acesso em: 1 out. 2021.

CONTINI, M. C.; FERRI, A.; BERNAL, C. A.; CARNOVALE, C. E. Study of iron homeostasis following partial hepatectomy in rats with chronic aluminum intoxication. **Biol Trace Elem Res.**, v. 115, p. 31-45, 2007.

DARBRE, P. D. Aluminium and the human breast. **Morphologie**, v. 100, n. 329, p. 65-74, 2016.

_____. Metaloestrógenos: una clase emergente de xenoestrógenos inorgánicos con potencial para aumentar la carga estrogénica de la mama humana. **Revista de Toxicología Aplicada**, v. 26, n. 3, p. 191-197, 2006.

DARTSCH, P. C.; HILDENBRAND, S.; KIMMEL, R.; SCHMAHL, F. W. Investigations on the nephrotoxicity and hepatotoxicity of trivalent and hexavalent chromium compounds. **Int Arch Occup Environ Health**, v. 71(Suppl), S40-5, 1998.

DAS NEVES, M. C. L. et al. **PRISMMA. PESQUISA SOBRE A SAÚDE MENTAL DAS FAMÍLIAS ATINGIDAS PELO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO EM MARIANA**. Belo Horizonte: CORPUS, 2018.

DE JONG, W. H.; DE RIJK, E.; BONETTO, A. et al. Toxicity of copper oxide and basic copper carbonate nanoparticles after short-term oral exposure in rats. **Nanotoxicology**, v. 19, p. 1-23, 2018.

DERBYSHIRE, E. Natural minerogenic dust and human health. **Ambio**, v. 36, n. 1, p. 73-77, 2007. Review.

DEVLEESSCHAUWER, B.; HAVELAAR, A. H.; MAERTENS DE NOORDHOUT, C. et al. Calculating disability-adjusted life years to quantify burden of disease. **Int J Public Health**, v. 59, n. 3, p. 565-569, 2014.

DOVER, E.; NICOLE et al. Impact of in vitro heavy metal exposure on pancreatic β -cell function. **Toxicology Letters**, v. 299, p. 137-144, 2018.

DRENOVSKA, Kossara et al. **Nickel and skin: from allergy to autoimmunity. Endocrine, Metabolic & Immune Disorders Drug Targets**, v. 20, n. 7, p. 1032-1040, 2020.

DUNEA G. Dialysis dementia: an epidemic that came and went. **ASAIO J**, v. 47, p. 192-194, 2001.

EHRlich, R.; AKUGIZIBWE, P.; SIEGFRIED, N. et al. The association between silica exposure, silicosis and tuberculosis: a systematic review and meta-analysis. **BMC Public Health**, v. 21, 953, 2021.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Research triangle park, NC, United States Environmental Protection Agency. **Health assessment document for chromium**. (Final report No. EPA600/8-83-014F), 1984.

_____. **Guidelines for carcinogen risk assessment**, 2005.

EPISUS. **Estudo sobre o perfil epidemiológico da população de Barra Longa — MG, pós-desastre, 2016**. Relatório final. Secretaria de Vigilância em Saúde/MS, 2016.

_____. **Dois anos pós-desastre da barragem do Fundão: perfil epidemiológico e toxicológico da população de Barra Longa, MG, 2018**. Relatório Final. Secretaria de Vigilância em Saúde/MS, 2018.

ESKANDARI, O.; GHAS, M.; FATEHIZADEH, A.; ZARE, M.; AMIN, M.; KAZEMI. Geographical distribution of stomach cancer related to heavy metals in Kurdistan, Iran. **International Journal of Environmental Health Engineering**, v. 4, n. 1, p. 12, 2015.

FARZAN, S. F.; KARAGAS, M. R.; CHEN, Y. In utero and early life arsenic exposure in relation to long-term health and disease. **Toxicol Appl Pharmacol.**, v. 272, n. 2, p. 384-390, 2013.

FERNANDES, G. W. et al. Deep into the mud: ecological and sócio economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza e Conservação**, v. 14, p. 35-45, 2016.

FERNANDES, V. O.; CAVATI, B.; SOUZA, B. D. A.; MACHADO, R. G.; COSTA, A. G. Lagoa Mãe-Bá (Guarapari-Anchieta, ES): um ecossistema com potencial de floração de cianobactérias? **Oecologia Brasiliensis**, v. 13, n. 2, p. 366-381, 2009.

FERNANDEZ, A.; BLACK, J.; JONES, M.; WILSON, L.; SALVADOR-CARULLA, L.; ASTELL-BURT, T. et al. Flooding and mental health: a systematic mapping review. **PLoS ONE**, v. 10, n. 4, e0119929, 2015.

FEWTRELL, L.; KAY, D. An attempt to quantify the health impacts of flooding in the UK using an urban case study. **Public Health**, v. 122, n. 5, p. 446-451, 2008.

FUJIWARA, E.; KMECH, J. A.; COBZAS, D.; SUN, H.; SERES, P.; BLEVINS, G.; WILMAN, A. H. Cognitive implications of deep gray matter iron in multiple sclerosis. **AJNR Am J Neuroradiol.**, v. 38, n. 5, p. 942-948, 2017.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (FGV). **Análise de Agravos Notificados às Bases do DATASUS** — Parte 1. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2019c. Disponível em: <www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/fgv_analise-de-agravos-notificados-as-bases-do-datasus-parte-1>.

_____. **Análise de Agravos Notificados às Bases do DATASUS** — Parte 2. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2019d. Disponível em: <www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/FGV_Analise%20de%20Agravos%20Notificados%20as%20Bases%20do%20DATASUS%20-%20Parte%202%20.pdf>.

_____. **Parâmetros e Subsídios para a Reparação dos Danos Socioeconômicos na Cadeia da Pesca do Camarão na Praia do Suá em Vitória (ES)**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2020k. Disponível em: <www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/camaroeiros_parte-1.pdf>.

_____. **Parâmetros e Subsídios para a Reparação dos Danos Socioeconômicos dos Povos Tupiniquim e Guarani em Aracruz (ES)**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2020l. Disponível em: <www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/tupiniquim-e-guarani_parte-1.pdf>.

_____. **Parâmetros e Subsídios para a Reparação dos Danos Socioeconômicos nos Territórios de Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado e Chopotó**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2020m. Disponível em: <www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/rosa-fortini-parametros-e-subsidios-para-a-reparacao-dos-danos-socioeconomicos_parte-1.pdf>.

_____. **A Violência Doméstica contra as Mulheres Atingidas pelo Rompimento da Barragem de Fundão**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2021a. Disponível em: <www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/documentos/fgv/fgv_a-violencia-domestica-contra-as-mulheres-atingidas-pelo-rompimento-da-barragem-de-fundao.pdf>.

_____. **Diagnóstico de Saúde para os Municípios Atingidos pelo Rompimento da Barragem de Fundão. Análise de Dados dos Sistemas de Informação em Saúde do DATASUS: SIA e SINAN** – Volume 1. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2021e.

_____. **Diagnóstico de Saúde para os Municípios Atingidos pelo Rompimento da Barragem de Fundão. Análise de Dados dos Sistemas de Informação em Saúde do DATASUS: SIH e SIM** – Volume 2. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2021f.

_____. **Matriz Indenizatória Geral para o Desastre da Barragem de Fundão: Parâmetros para Danos Relacionados à Renda e Saúde**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2021h. No prelo.

_____. **Matriz Indenizatória Territorial para os Municípios de Conselheiro Pena, Tumiritinga, Galiléia, Resplendor, Itueta e Aimorés, no Médio Rio Doce**. Rio de Janeiro; São Paulo: FGV, 2021i. No prelo.

FRIEDE, Reis; ARAGÃO, Luciano. Dos Danos Sociais. **Revista EMERJ**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 75, p. 207 - 233, jul. - set. 2016. Disponível em <https://www.emerj.tjrj.jus.br/revistaemerj_online/edicoes/revista75/revista75_207.pdf>. Acesso em: 24/09/2021.

GERHARD, I.; WAIBEL, S.; DANIEL, V.; RUNNEBAUM, B. Impact of heavy metals on hormonal and immunological factors in women with repeated miscarriages. **Hum. Reprod. Update.**, v. 4, p. 301-309, 1998.

GILLESPIE, P. A.; KANG, G. S.; ELDER, A. et al. Pulmonary response after exposure to inhaled nickel hydroxide nanoparticles: short and long-term studies in mice. **Nanotoxicology**, v. 4, n. 1, p. 106-119, 2010.

GORALEWSKI, G.; JAEGER, R. Clinical study, pathology and pathogenesis of the aluminum lung. **Arch Gewebepathol Gewerbehygiene**, v. 11, p. 102-105, 1941.

GOSENS, I.; CASSEE, F. R.; ZANELLA, M. et al. Organ burden and pulmonary toxicity of nano-sized copper (ii) oxide particles after short-term inhalation exposure. **Nanotoxicology**, v. 10, n. 8, p. 1084-1095, 2016.

GRASSO, G.; PIETROPAOLO, A.; SPOTO, G. et al. Copper(i) and copper(ii) inhibit abeta peptides proteolysis by insulin-degrading enzyme differently: Implications for metallosis alteration in alzheimer's disease. **Chemistry**, v. 17, n. 9, p. 2752-2762, 2011.

GROSSI, E. **Medical concepts related to individual risk are better explained with "plausibility" rather than "probability"**. *BMC cardiovascular disorders*, vol. 5 31. 27 Sep. 2005, doi:10.1186/1471-2261-5-31.

GUNDUZ; SIMSEK, C.; HASOZBEK, A. Arsenic pollution in the groundwater of Simav Plain, Turkey: its impact on water quality and human health. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 205, n. 1-4, p. 43-62, 2010.

HARRISON, S. A.; BACON, B. R. Relation of hemochromatosis with hepatocellular carcinoma: Epidemiology, natural history, pathophysiology, screening, treatment, and prevention. **Med. Clin. N. Am.**, v. 89, p. 391-409, 2005.

HATJE, V.; PEDREIRA, R. M. A.; REZENDE, C. A. et al. The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. **Scientific Reports**, 2017.

HERNÁN, M. A.; ROBINS, J. M. **Causal inference: what if**. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2020.

HILL, A. B. The environment and disease: association or causation? **Proceedings of the Royal Society of Medicine**, v. 58, n. 5, p. 295-300, 1965.

KIM, H. S.; YEO, Kim J.; ROK, Seo Y. An overview of carcinogenic heavy metal: molecular toxicity mechanism and prevention cancer. **Prev.**, v. 20, n. 4, p. 232-240, 2015.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). Some metals and metallic compounds. **IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans**, Lyon, v. 23, 1980.

_____. Chromium, nickel and welding. **IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans**, Lyon, v. 49, p. 463-474, 1990.

_____. Some Drinking Water Disinfectant and Contaminants, Including Arsenic. **IARC Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans**, Lyon, v. 84, 2004.

_____. A review of human carcinogens. C: Metals, arsenic, dusts, and fibres. **IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans**, Lyon, v. 100, 2010. [Summary in: STRAIF, K. et al. A review of human carcinogens—Part C: Metals, arsenic, dusts, and fibres. **The Lancet Oncology**, v. 10, p. 453-454, 2009. Disponível em: <[www.thelancet.com/journals/lanonc/article/PIIS1470-2045\(09\)70134-2/fulltext](http://www.thelancet.com/journals/lanonc/article/PIIS1470-2045(09)70134-2/fulltext)>].

_____. **Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans**. Arsenic, metals, fibres, and dusts. Volume 100 C. A review of human carcinogens, 2012.

IAVICOLI, I.; FONTANA, L.; BERGAMASCHI, A. The effects of metals as endocrine disruptors. **J. Toxicol. Environ. Health Crit. Rev.**, v. 12, p. 206-222, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Laudo Técnico Preliminar dos impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais**, 2015.

_____. **Parecer técnico sobre os resultados obtidos das coletas de amostras de água na região da foz do rio Doce**, no período de 22/11/15 a 01/01/16, 2016. Disponível em: <www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias_ambientais/laudo_tecnico_preliminar.pdf>. Acesso em 11 jan. 2016.

IGBOKWE, Ikechukwu Onyebuchi et al. Aluminium toxicosis: a review of toxic actions and effects. **Interdisciplinary toxicology**, v. 12, n. 2, p. 45-70, 2019.

INABA, T.; KOBAYASHI, E.; SUWAZONO, Y. et al. Estimation of cumulative cadmium intake causing itai-itai disease. **Toxicol Lett**, v. 159, p. 192-201, 2005.

IYECHOVA, E. Y.; MILIUKHINA, I. V.; ORLOV, I. A.; MURUZHEVA, Z. M.; PUCHKOVA, L. V.; KARPENKO, M. N. A low blood copper concentration is a comorbidity burden factor in Parkinson's disease development. **Neurosci Res**, v. 135, p. 54-62, 2018.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Relatório de avaliação do impacto da lama/pluma Samarco sobre os ambientes costeiros e marinhos (ES e BA) com ênfase nas Unidades de Conservação — 1ª Expedição do Navio de Pesquisa Soloncy Moura do CEPSUL/ICMBio (28 de abril de 2016)**. Equipe de Pesquisa Universidade Federal do Rio Grande — FURG/Coral Vivo. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF, 28 abr. 2016d.

INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE. **Avaliação dos riscos em saúde da população afetada pelo desastre de Mariana**. São Paulo: Instituto Saúde e Sustentabilidade, Greenpeace; mar. 2017.

INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY (IPCS). **Cadmium, cadmium chloride, cadmium oxide, cadmium sulphide, cadmium acetate, cadmium sulphate**. Genebra: World Health Organization, International Programme on Chemical Safety (International Chemical Safety Cards 0020, 0116, 0117, 0404, 1075 and 1318). 2005-2007. Disponível em: <www.who.int/ipcs/publications/icsc/en/index.html>.

JAISHANKAR, M. et al. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. **Interdisciplinary Toxicology**, v. 7, n. 2, p. 60-72, 2014.

JÄRUP, L.; AKESSON, A. Current status of cadmium as an environmental health problem. **Toxicol Appl Pharmacol**, v. 238, p. 201-208, 2009.

JÄRUP, L. et al. Low level exposure to cadmium and early kidney damage: the Oscar study. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 3, n. 6, p. 668- 672, 2012.

JEFFERY, E. H.; ABREO, K.; BURGESS, E.; CANNATA, J.; GREGER, J. L. Systemic aluminum toxicity: effect on bone haematopoietic tissue and kidney. **J Toxicol Environ Health**, v. 46, n. 6, p. 649-665, 1996.

KARPENKO, M. N. et al. Role of copper dyshomeostasis in the pathogenesis of Parkinson's disease. **Bull Exp Biol Med**, v. 164, n. 5, p. 596-600, 2018.

KAUFAMAN, D. B. et al. Acute potassium dichromate poisoning treated by peritoneal dialysis. **American Journal of Diseases of Children**, v. 119, p. 374-376, 1970.

KAUR, S.; WALIA, T. P. S.; MAHAJAN, R. K. Comparative studies of zinc, cadmium, lead and copper on economically viable adsorbents. **Journal of Environmental Engineering & Science**, v. 7, p. 83-90, 2008.

KELLY, J.; BUTNOR, M. D.; VICTOR, L.; ROGGLI, M. D. Pneumoconioses. In: **Practical pulmonary pathology: a diagnostic approach**. 3. ed. 2018.

KIM, T. H.; SEO, J. W.; HONG, Y. S.; SONG, K. H. A case-control study of skin cancer and exposure of toxic heavy metals. **Ann Dermatol.**, v. 30, n. 2, p. 238-240, 2018.

KLAASSEN, C.D. **Casarett and doull's toxicology: the basic science of poisons**. 6. ed. McGraw-Hill, p. 812-837, 2001.

KNUDSON JR., A. G. Hereditary cancer, oncogenes, and antioncogenes. **Perspectives in Cancer Research**, v.45, p.1437-1443, 1985.

LACTEC. **Diagnóstico Socioambiental do Rio Doce — Relatório pós-desastre Grupo 01 —Qualidade de Água, Águas Subterrâneas, Pesca, Toxicologia**. Institutos Lactec, Curitiba — Paraná — Brasil, jan. 2018a.

_____. **Diagnóstico Socioambiental do Rio Doce — Relatório pós-desastre Grupo 02 — Meios Físico e Biótico, Geologia, Solos, Hidrologia e Hidrosedimentologia, Qualidade de Sedimentos, Unidades de Conservação, Flora e Fauna**. Institutos Lactec, Curitiba — Paraná — Brasil, maio 2018b.

_____. **Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce Caracterização Parcial do Rejeito de Mineração do Complexo de Germano**. Institutos Lactec Curitiba – Paraná – Brasil, nov. 2018c.

_____. **Parecer técnico sobre a qualidade da água bruta e da água para o consumo humano**. Institutos Lactec, Curitiba – Paraná – Brasil, out. 2019a.

_____. **Diagnóstico Socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce – Qualificação e quantificação de elementos potencialmente tóxicos (metais e semimetais) em pescado proveniente da área de proibição da pesca**. Institutos Lactec, Curitiba – Paraná – Brasil, nov. 2019b.

LAI, X.; ZHAO, H.; ZHANG, Y. et al. Intranasal delivery of copper oxide nanoparticles induces pulmonary toxicity and fibrosis in c57bl/6 mice. **Sci Rep**, v. 8, n. 1, p. 018–22556, 2018.

LANGÅRD, S. The carcinogenicity of chromium compounds in man and animals. In: Burrows, D. (Ed.). **Chromium: metabolism and toxicity**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1983.

_____. One hundred years of chromium and cancer; a review of the epidemiological evidence and selected case reports. **American Journal of Industrial Medicine**, v. 17, p. 189-215, 1990.

_____. Nickel-related cancer in welders. **The Science of the Total Environment**, v. 148. P. 303-309, 1994.

LANGÅRD, S. et al. Incidence of cancer among ferrochromium and ferrosilicon worker; an extended follow up. **British Journal of Industrial Medicine**, v. 47, p. 14-19, 1990.

LEEM, A. Y.; KIM, S. K.; CHANG, J. et al. Relationship between blood levels of heavy metals and lung function based on the Korean National Health and Nutrition Examination Survey IV-V. **Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.**, v. 10, p. 1559-1570, 2015.

LEITE, I. C.; VALENTE, J. G.; SCHRAMM, J. M. A. **Carga Global de Doença do Estado de Minas Gerais**, 2005. Relatório final. Rio de Janeiro: ENSP/Fiocruz/ENSPTEC, 2011.

LISTER, L. J. et al. Modelling the joint effects of a metal and a pesticide on reproduction and toxicokinetics in Lumbricid earthworms. **Environment International**, v. 37, n. 4, p. 663-670, 2011.

LUCCHINI, R. G. et al. Neurotoxicity of manganese: Indications for future research and public health intervention from the Manganese 2016 conference. **Neurotoxicology**, v. 64, p. 1-4, 2018.

LUIPPOLD, R. S.; MUNDT, K. A.; AUSTIN, R. P. et al. Lung cancer mortality among chromate production workers. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 60, p. 451-457, 2003.

LUIZ, R. R.; STRUCHINER, C. J. **Inferência causal em epidemiologia: o modelo de respostas potenciais** [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2002. Disponível em: <<http://books.scielo.org>>.

MACHADO DE FREITAS, C.; BARCELLOS, C.; HELLER, L.; LUZ, Z. M. P. da. Mining dam disasters: lessons from the past for reducing current and future risks. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 28, n. 1, e20180120, 2019.

MAHURKAR, S. D.; SALTA, R.; SMITH, E. C.; DHAR, S. K.; MEYERS, L. Jr.; DUNEA, G. Dialysis dementia. **Lancet**, v. 1, p. 1412-1415, 1973.

MASON, L. H.; HARP, J. P.; HAN, D. Y. Pb neurotoxicity: neuropsychological effects of lead toxicity. **Biomed Res Int.**, 2014.

MASSAD, E.; ORTEGA, N.; BARROS, L.; STRUCHINER, C. **Fuzzy Logic in action: applications in epidemiology and beyond**, 2008.

MARTÍN MATEO, M. C.; MARTÍN, B.; BENEIT, M. S.; RABADÁN, J. Catalase activity in erythrocytes from colon and gastric cancer patients. Influence of nickel, lead, mercury, and cadmium. **Biological Trace Element Research**, v. 57, n. 1, p. 79-90, 1997.

MCLAUGHLIN, A. I.; KAZANTZIS, G; KING, E. et al. Pulmonary fibrosis and encephalopathy associated with the inhalation of aluminium dust. **Br J Ind Med.**, v. 19, p. 253-263, 1962.

MEDEIROS NETO, Xisto Tiago. **Dano moral coletivo**. 4. ed. São Paulo: LTr, 2014.

MEHTA, V.; PEI, W.; YANG, G.; LI, S.; SWAMY, E.; BOSTER, A.; SCHMALBROCK, P.; PITT, D.; MEHTA; VEELA et al. Iron is a sensitive biomarker for inflammation in multiple sclerosis lesions. **PloS ONE**, v. 8, n. 3, e57573, 2013.

MEZZAROBÀ, Leda et al. The role of zinc, copper, manganese and iron in neurodegenerative diseases. **Neurotoxicology**, v. 74, p. 230-241, 2019.

Ministério da Saúde. **Diretrizes para elaboração de estudo de avaliação de risco à saúde humana por exposição a contaminantes químicos**. 2010.

_____. **Guia de preparação e resposta à emergência em saúde pública por inundação**. 2011. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_preparacao_respostas_emergencia_saude> Acesso em: 30 set. 2020.

MOSTILE, G.; CICERO, C. E.; GIULIANO, L.; ZAPPIA, M.; NICOLETTI, A. Iron and Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. **Molecular Medicine Reports**, v. 15, p. 3383-3389, 2017.

MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. **Universitas: Ciências da Saúde**, v. 4, n. 1/2, p. 83-100, 2006.

MURRAY, C. J. L. Quantifying the burden of disease: the technical basis for DALYs. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 72, p. 429-445, 1994.

_____.; LOPEZ, A. D. (Ed.). **The global burden of disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries and risk factors in 1990 and projected to 2020**. Cambridge: Harvard University Press, 1996.

_____.; LOPEZ, A. D. Global mortality, disability, and the contribution of risk factors: global burden of disease study. **Lancet**, v. 349, n. 9063, p. 1436-1442, 1997.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Arsenic in drinking water**. Washington, DC: National Academy Press, 2000.

OH, C. K.; MOON, Y. Dietary and sentinel factors leading to hemochromatosis. **Nutrients**, v. 11, n. 5, p. 1047, 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Overview of emergency risk management for health**. Fact sheet, 2011. p. 1. Disponível em: <www.who.int/hac/events/drm_fact_sheet_overview.pdf>. Acesso em: 21 set. 2020.

_____. **Health emergency and disaster risk management framework**. 2019. Disponível em: <www.who.int/hac/techguidance/preparedness/health-emergency-and-disaster-risk-management-framework-eng.pdf?ua=1>. Acesso em: 2 set. 2020.

OWDA, A. K.; ALAM, Muhammad G.; SHAH, Sudhir V. Environmental lead exposure and chronic renal disease. **New England Journal of Medicine**, v. 348, n. 18, 2003.

PERERA, P. Environment and cancer: who are susceptible? **Science**, v. 278, n. 5340, p. 1068–1073, 1997.

POHANKA, M. Copper and copper nanoparticles toxicity and their impact on basic functions in the body. **Bratislavske Lekarske Listy**, v. 120, n. 6, p. 397-409, 2019.

POPPER, H.; THOMAS, L. B.; TELLES, N. C. et. al. Development of hepatic angiosarcoma in man induced by vinyl chloride. **Thorotrast and arsenic. Am J Pathol.**, v. 92, p. 349-376, 1978.

QUANSAH, R.; ARMAH, F. A.; ESSUMANG, D. K.; LUGINAAH, I.; CLARKE, E.; MARFOH, K. et al. Association of arsenic with adverse pregnancy outcomes/infant mortality: a systematic review and meta-analysis. **Environ Health Perspect.**, v. 123, n. 5, p. 412-421, 2015.

RAHMAN, Z. U.; SINGH, V. P. The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 7, p. 419, 2019.

ROTHMAN, K. J.; GREENLAND, S. **Modern epidemiology**. 2. ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1998.

_____.; GREENLAND, S.; LASH, T. L. **Modern epidemiology**. Philadelphia: Wolters Kluwer Health; Lippincott Williams & Wilkins, 2008.

SALNIKOW, K.; ZHITKOVICH, A. Genetic and epigenetic mechanisms in metal carcinogenesis and cocarcinogenesis: nickel, arsenic, and chromium. **Chem Res Toxicol.**, v. 21, n. 1, p. 28-44, 2008.

SALNIKOW, K. et al. Effect of nickel and iron co-exposure on human lung cells. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 196, n. 2, p. 258-265, 2004.

SANDHU, G.; DJEBALI, D.; BANSAL, A.; CHAN, G.; SMITH, S. D. Serum concentrations of aluminum in hemodialysis patients. **Am J Kidney Dis**, v. 57, 523, 2011.

SATARUG, S. Dietary cadmium intake and its effects on kidneys. **Toxics**, v. 6, n. 1, 15, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/toxics6010015>>.

SAULNIER, D. D.; BROLIN, Ribacke K.; VON SCHREEB, J. No calm after the storm: a systematic review of human health following flood and storm disasters. **Prehosp Disaster Med.**, v. 32, n. 5, p. 568-579, 2017.

SEGURA, F. R. Potential risks of the residue from Samarco's mine dam burst (Bento Rodrigues, Brazil). **Environmental Pollution**, v. 218, 2016.

SMITH, W. E.; SMITH, A. M. **Minamata**: words and photographs, 1981.

SPURGEON, D. J. et al. Systems toxicology approaches for understanding the joint effects of environmental chemical mixtures. **The Science of the Total Environment**, v. 408, n. 18, 3725-34, 2010.

STERNE, J. A. C et al. ROBINS-I: a tool for assessing risk of bias in non-randomized studies of interventions. **BMJ**, v. 355, n.4919; 2016.

STRAIF, K. et al. A review of human carcinogens. C: Metals, arsenic, dusts, and fibres. Lyon, International Agency for Research on Cancer. **IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans**, v. 100, 2009. **The Lancet Oncology**, v. 10, p. 453-454. Disponível em: <[www.thelancet.com/journals/lanonc/article/PIIS1473-2045\(09\)70134-2/fulltext](http://www.thelancet.com/journals/lanonc/article/PIIS1473-2045(09)70134-2/fulltext)>.

SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA (STJ). Rcl 13.200/GO. Rel. Ministro Luis Felipe Salomão/Segunda Seção. Publicada em: 14 de novembro de 2014. Disponível em: <https://ww2.stj.jus.br/processo/revista/documento/mediado/?componente=ITA&sequencial=1355711&num_registro=201301978357&data=20141114&formato=PDF>. Acesso em: 19/06/2020.

_____. **AgInt no REsp nº 1598709/SP**. Relatora: ministra Maria Isabel Gallotti/Quarta Turma. Publicada em 2 out. 2019. Disponível em: <ww2.stj.jus.br/processo/revista/documento/mediado/?componente=ITA&sequencial=1862567&num_registro=201601180068&data=20191002&formato=PDF>. Acesso em: 17 jun. 2020.

_____. **REsp nº 1.546.170/SP**. Relator: ministro Ricardo Villas Bôas Cueva. Publicado em 5 de março de 2020. Disponível em: <https://ww2.stj.jus.br/processo/revista/documento/mediado/?componente=ITA&sequencial=1912154&num_registro=201500679500&data=20200305&formato=PDF>. Acesso em: 22 jun. 2020.

TARTUCE, Flávio. **Direito civil: direito das obrigações e responsabilidade civil**. 9. ed. Rio de Janeiro: Forense, 2014

TAVAKOLY, B.; SULAIMAN, A. H.; MONAZAMI, G. H.; SALLEH, A. Assessment of sediment quality according to heavy metal status in the West Port of Malaysia. **Engineering and Technology**, v. 3, n. 2, p. 633-637, 2011.

TECNOHIDRO. **Relatório técnico de avaliação de risco à saúde humana**. Metodologia Ministério da Saúde. Áreas-alvo 1, 2 e 3. Mariana – MG, maio 2019.

THÉVENOD, F.; LEE, W. K.. Capítulo 14. Toxicología del cadmio y su daño a los órganos de los mamíferos. In: SIGEL, Astrid; SIGEL, Helmut; SIGEL, Roland K. O. (Ed.). **Cadmio: de la toxicología a la esencialidad**. Iones metálicos en ciencias biológicas. 11. Saltador, p. 465-466, 2013. Disponível em: <pr.wikibube.net>.

TOLINS, M.; RUCHIRAWAT, M.; LANDRIGAN, P. The developmental neurotoxicity of arsenic: cognitive and behavioral consequences of early life exposure. **Ann Glob Health**, v. 80, n. 4, p. 303-314, 2014.

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO PARANÁ (TJPR). **Apelação Cível nº 0004295-27.2020.8.16.0174**. Relator: juiz subst. 2º grau Luciano Campos de Albuquerque. Publicada em 2 jun. 2021. Disponível em: <<https://portal.tjpr.jus.br/jurisprudencia/j/4100000016011401/Ac%C3%B3rd%C3%A3o-0004295-27.2020.8.16.0174>>. Acesso em: 22 jun. 2020.

TRIBUNAL REGIONAL FEDERAL DA 2ª REGIÃO (TRF2). AP 0001487-18.2009.4.02.5102. Rel. Desembargadora Vera Lúcia Lima/Oitava Turma Especializada. Publicada em: 29 de outubro de 2015. Disponível em: <http://jurisprudencia.trf2.jus.br/sm/download?name=apolo-inteiro-teor&id=2015,10,29,00014871820094025102_255036.pdf>. Acesso em: 29/06/2020.

TRIBUNAL REGIONAL DO TRABALHO DA 4ª REGIÃO (TRT4). **Processo nº 0020750-38.2020.5.04.0405**. Relator: Marcelo José Ferlini D'ambroso. Publicado em 27 set. 2021. Disponível em: <https://www.trt4.jus.br/pesquisas/rest/download/acordao/pje/JeQ1HT5XS2_vvUhDk62uGg>. Acesso em: 30 set. 2021.

TURAN, K.; ARSLAN, A.; UÇKAN, K.; DEMIR, H.; DEMIR, C. Change of the levels of trace elements and heavy metals in threatened abortion. **J Chin Med Assoc.**, v. 82, n. 7, p. 554-557, 2019.

TÜRKDOĞAN, M. K.; KILICEL, F.; KARA, K.; TUNCER, I.; UYGAN, I. Heavy metals in soil, vegetables and fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of Turkey. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 13, n. 3, p. 175-179, 2003.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (UERJ). **Estudo preliminar sobre a detecção da pluma de sedimentos do Rio Doce sobre o Parque Nacional dos Abrolhos-BA, para o evento de 5-6 de Janeiro 2016**, 2016.

WENZHEN, Y.; NING, Y.; XIANGKAI, L. Advances in understanding how heavy metal pollution triggers gastric cancer. **BioMed Research International**, v. 2016, Article ID 7825432, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). International programme on chemical safety. **Environmental health criteria: Copper**. Genebra (Suíça), 1998.

_____. **Chromium**. Genebra: World Health Organization; Copenhagen, Dinamarca, 2000.

_____. **Inorganic Lead**. Environmental Health Criteria. Genebra (Suíça), 2005.

_____. **Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution**. Joint WHO/Convention Task Force on the Health Aspects of Air Pollution, 2007.

_____. Cadmium. In: **Guidelines for drinking-water quality**. 3. ed. incorp. 1. e 2. addenda. Vol. 1. Recommendations. Genebra: World Health Organization, 2008. Disponível em: <www.who.int/water_sanitation_health/dwq/GDW12rev1and2.pdf>.

_____. **Preventing disease through healthy environments exposure to cadmium: a major public health concern**. 2010. Disponível em: <www.who.int/ipcs/features/cadmium.pdf>.

_____. **Estimates of the global burden of foodborne diseases**. Genebra: World Health Organization, 2015.

_____. **WHO methods and data sources for country-level causes of death 2000-2015**, 2016. (Global Health Estimates Technical Paper WHO/HIS/HSI/GHE/2016.3).

_____. **WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000-2015**, 2017. (Global Health Estimates Technical Paper WHO/HIS/IER/GHE/2017.1).

_____. **WHO methods and data sources for country-level causes of death 2000-2016**, 2018. (Global Health Estimates Technical Paper WHO/HIS/IER/GHE/2018.3).

_____. **Lead poisoning and health**. Genebra: World Health Organization, 2019.

WORLD BANK. **World development report 1993**. Washington: World Bank, 1993.

WU, J. Z.; GE, D. D.; ZHOU, L. F.; HOU, L. Y.; ZHOU, Y.; LI, Q. Y. Effects of particulate matter on allergic respiratory diseases. **Chronic Dis Transl Med.**, v. 4, n. 2, p. 95-102, 2018.

XU, X.; ZHANG, J.; YANG, X.; ZHANG, Y.; CHEN, Z.. The role and potential pathogenic mechanism of particulate matter in childhood asthma: a review and perspective. **Journal of Immunology Research**, v. 2020, Article ID 8254909, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2020/8254909>>.

XAVIER, D. R.; BARCELLOS, C.; FREITAS, C. M. Eventos climáticos extremos e consequências sobre a saúde: o desastre de 2008 em Santa Catarina segundo diferentes fontes de informação. **Ambient Soc** [Internet], 2014.

ZADEH, L A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

ZALDIVAR, R.; PRUNES, L.; GHAI, G. L. Arsenic dose in patients with cutaneous carcinomata and hepatic haemangio-endothelioma after environmental and occupational exposure. **Arch Toxicol.**, v. 47, p. 145-154, 1981.

ZAMBELLI, B.; UVERSKY, V. N.; CIURLI, S. Nickel impact on human health: an intrinsic disorder perspective. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Proteins and Proteomics**, 2016.

ZHAO, J.; GAO, W.; YANG, Z.; LI, H.; GAO, Z. Nitration of amyloid-beta peptide (1–42) as a protective mechanism for the amyloid-beta peptide (1–42) against copper ion toxicity. **J Inorg Biochem**, v. 190, p. 15-23, 2019.

ZHITKOVICH, A.; PETERSON-ROTH, E.; REYNOLDS, M. Killing of chromium-damaged cells by mismatch repair and its relevance to carcinogenesis. **Cell Cycle**, v. 4, p. 1050-1052, 2005.

ZHU, Y.; LI, Y.; MIAO, L.; WANG, Y.; LIU, Y.; YAN, X. Immunotoxicity of aluminum. **Chemosphere**, v. 104, p. 1-6, 2014.

APÊNDICE A — Estimativas de DALYs — anos de vida perdidos — para todas as causas de doença, para o Brasil em 2016

Tabela 1 — Estimativas de Anos de Vida perdidos por Incapacidade para o Brasil, em 2016, segundo a Organização Mundial da Saúde

 World Health Organization Department of Information, Evidence and Research June 2018 BRASIL Estimativa de DALYs ('000) por causa, sexo e Estado-Membro da OMS (1), 2016	
População('000) (2)	207.653
Todas as causas	61533,6
Doenças Infecciosas e Parasitárias, Maternas, Perinatais e Nutricionais	8604,2
A. Doenças infecciosas e parasitárias	2949,4
1. Tuberculose	224,1
2. DTSs excluindo HIV	108,6
a. Sífilis	30,6
b. Clamídia	27,2
c. Gonorreia	17,5
d. Tricomoníase	8,8
e. Herpes genital	11,0
f. Outras DSTs	13,5
3. HIV/AIDS	768,5
4. Doenças diarreicas	556,8
5. Doenças coletivas na infância	16,6
a. Coqueluche	12,3
b. Difteria	0,2
c. Sarampo	0,0
d. Tétano	4,1
6. Meningite	111,7
7. Encefalite	111,2
8. Hepatite	56,4
a. Hepatite A aguda	3,3

b. Hepatite B aguda	34,9
c. Hepatite C aguda	0,1
d. Hepatite E aguda	18,1
9. Doenças parasitárias e vetores	429,9
a. Malária	3,0
b. Tripanossomíase africana	0,1
c. Doença de Chagas	158,6
d. Esquistossomose	100,1
e. Leishmaniose	35,3
f. Filariose linfática	0,0
g. Oncocercose	0,0
h. Cisticercose	43,6
i. Equinococose	2,9
j. Dengue	78,8
k. Tracoma	5,8
l. Febre amarela	1,2
m. Raiva	0,4
10. Infecções intestinais por nematoides	71,8
a. Ascaridíase	23,9
b. Tricuríase	9,4
c. Doença de ancilostomíase	38,5
d. Trematódeos transmitidos por alimentos	.
11. Hanseníase	4,1
12. Outras doenças infecciosas	489,7
B. Infeccioso respiratório	2382,1
1. Infecções respiratórias inferiores	2125,8
2. Infecções respiratórias superiores	173,7
3. Otite média	82,5
C. Condições maternas	96,7
D. Condições neonatais	2103,6
1. Complicações de parto prematuro	899,9
2. Asfixia e trauma de nascimento	405,7
3. Seps neonatal e infecções	350,9
4. Outras condições neonatais	447,1

E. Deficiências nutricionais	1072,4
1. Desnutrição proteico-energética	243,6
2. Deficiência de iodo	20,7
3. Deficiência de vitamina A	6,0
4. Anemia por deficiência de ferro	784,4
5. Outras deficiências nutricionais	17,7
Doenças não comunicáveis	43238,5
A. Neoplasias malignas	6636,6
1. Câncer de boca e orofaringe	293,8
a. Lábio e cavidade oral	145,3
b. Nasofaringe	15,0
c. Outro faringe	133,4
2. Câncer de esôfago	296,8
3. Câncer de estômago	487,0
4. Cânceres de cólon e reto	551,7
5. Câncer de fígado	287,8
a. Câncer de fígado secundário à hepatite B	110,8
b. Câncer de fígado secundário à hepatite C	65,9
c. Câncer de fígado secundário ao uso de álcool	89,0
d. Outro câncer de fígado	22,1
6. Câncer de pâncreas	262,6
7. Traqueia, brônquio, câncer de pulmão	769,2
8. Melanoma e outros cânceres de pele	111,9
a. Melanoma maligno da pele	63,2
b. Câncer de pele não melanoma	48,7
9. Câncer de mama	612,7
10. Câncer de colo do útero	311,0
11. Câncer do corpo do útero	73,7
12. Câncer de ovário	124,4
13. Câncer de próstata	328,7
14. Câncer de testículo	28,5
15. Câncer de rim	116,6
16. Câncer de bexiga	101,7
17. Cânceres do cérebro e do sistema nervoso	410,4
18. Câncer de vesícula biliar e trato biliar	102,3
19. Câncer de laringe	157,9

20. Câncer de tireoide	24,6
21. Mesotelioma	3,9
22. Linfomas, mieloma múltiplo	307,9
a. Linfomas, mieloma múltiplo	33,0
b. Linfoma não Hodgkin	182,1
c. Mieloma múltiplo	92,7
23. Leucemia	335,3
24. Outras neoplasias malignas	536,0
B. Outras neoplasias	138,7
C. Diabetes mellitus	2139,0
D. Doenças endócrinas, sanguíneas, imunológicas	671,5
1. Talassemias	29,1
2. Transtornos e traço da célula falciforme	66,4
3. Outras hemoglobinopatias e anemias hemolíticas	95,1
4. Outras doenças endócrinas, sanguíneas e imunológicas	481,0
E. Transtornos mentais e por uso de substâncias	6046,8
1. Transtornos depressivos	1341,1
a. Transtorno depressivo maior	1100,0
b. Distímia	241,0
2. Transtorno bipolar	489,5
3. Esquizofrenia	317,2
4. Transtornos por uso de álcool	1149,3
5. Transtornos por uso de drogas	536,6
a. Transtornos por uso de opioides	272,1
b. Transtornos por uso de cocaína	102,8
c. Transtornos por uso de anfetaminas	37,1
d. Transtornos por uso de cannabis	17,8
e. Outros transtornos por uso de drogas	106,8
6. Transtornos de ansiedade	1257,7
7. Transtornos alimentares	87,0
8. Autismo e síndrome de Asperger	263,7
9. Transtornos comportamentais na infância	185,5
a. Síndrome de déficit de atenção / hiperatividade	21,5
b. Transtorno de conduta	164,1
10. Deficiência intelectual idiopática	125,0
11. Outros transtornos mentais e comportamentais	294,1

F. Condições neurológicas	2822,3
1. Doença de Alzheimer e outras demências	651,1
2. Doença de Parkinson	73,0
3. Epilepsia	365,8
4. Esclerose múltipla	21,0
5. Enxaqueca	947,2
6. Dor de cabeça sem enxaqueca	264,7
7. Outras condições neurológicas	499,4
G. Doenças dos órgãos dos sentidos	3041,5
1. Glaucoma	80,2
2. Cataratas	117,2
3. Erros de refração não corrigidos	1105,2
4. Degeneração macular	65,0
5. Outra perda de visão	235,5
6. Outra perda auditiva	1247,0
7. Outros distúrbios de órgãos dos sentidos	191,3
H. Doenças cardiovasculares	9214,1
1. Doença cardíaca reumática	103,1
2. Doença cardíaca hipertensiva	446,9
3. Doença isquêmica do coração	4189,8
4. Stroke AVC	2603,5
a. AVC isquêmico	1357,9
b. AVC hemorrágico	1245,6
5. Cardiomiopatia, miocardite, endocardite	596,6
6. Outras doenças circulatórias	1274,1
I. Doenças respiratórias	2200,9
1. Doença pulmonar obstrutiva crônica	1312,9
2. Asma	394,8
3. Outras doenças respiratórias	493,2
J. Doenças digestivas	2521,9
1. Úlcera péptica	135,0
2. Cirrose do fígado	924,4
a. Cirrose devida à hepatite B	364,8
b. Cirrose devida à hepatite C	165,4
c. Cirrose devida ao uso de álcool	313,3
d. Outra cirrose hepática	80,7

3. Apendicite	44,4
4. Gastrite e duodenite	53,6
5. Íleo paralítico e obstrução intestinal	146,4
6. Doença inflamatória intestinal	37,5
7. Vesícula biliar e doenças biliares	145,9
8. Pancreatite	172,1
9. Outras doenças digestivas	862,6
K. Doenças geniturinárias	1510,9
1. Doenças renais	784,4
a. Glomerulonefrite aguda	2,4
b. Doença renal crônica devida ao diabetes	225,7
c. Outra doença renal crônica	556,3
2. Hiperplasia benigna da próstata	56,7
3. Urolitíase	19,5
4. Outras doenças urinárias	371,2
5. Infertilidade	46,3
6. Doenças ginecológicas	232,6
L. Doenças de pele	797,0
M. Doenças musculoesqueléticas	3289,1
1. Artrite reumatoide	163,4
2. Osteoartrite	477,2
3. Gota	20,9
4. Dor nas costas e pescoço	1516,1
5. Outros distúrbios musculoesqueléticos	1111,5
N. Anomalias congênitas	1445,0
1. Defeitos do tubo neural	130,1
2. Fenda labial e fenda palatina	6,1
3. Síndrome de Down	60,0
4. Anomalias cardíacas congênitas	485,1
5. Outras anomalias cromossômicas	102,7
6. Outras anomalias congênitas	661,0
O. Condições orais	744,6
1. Cárie dentária	51,7
2. Doença periodontal	159,0
3. Edentulismo	416,0
4. Outros distúrbios orais	117,9
P. Síndrome de morte súbita infantil	18,5

Lesões	9690,9
A. Lesões não intencionais	5092,9
1. Lesão na estrada	2499,5
2. Envenenamentos	23,4
3. Quedas	1080,6
4. Fogo, calor e substâncias quentes	104,1
5. Afogamento	353,8
6. Exposição a forças mecânicas	162,8
7. Desastres naturais	0,9
8. Outras lesões não intencionais	867,8
B. Lesões intencionais	4598,0
1. Automutilação	646,3
2. Violência interpessoal	3950,9
3. Violência coletiva e intervenção jurídica	0,8

Fonte: Elaboração e tradução própria sobre dados do Organização Mundial da Saúde (OMS), 2016 (2021).