

DESASTRES TECNOLÓGICOS EM BARRAMENTOS DE REJEITOS DE MINERAÇÃO: IMPACTOS, DANOS E PERSPECTIVAS DE GESTÃO DE RISCO

Mariano Andrade da Silva¹
Carlos Machado de Freitas²

Objetivou-se, neste capítulo, subsidiar a elaboração e discussão de políticas voltadas ao equacionamento e tratamento dos problemas de gestão e redução de risco de desastres decorrentes da implantação de projetos minerários que se utilizam de barramentos para disposição de resíduos/rejeitos de mineração. Tendo em vista a riqueza e complexidade do debate julgou-se pertinente proceder a uma revisão do arcabouço legislativo internacional da área de redução de risco de desastre, aí inclusas tanto a produção mais estritamente acadêmica quanto aquela, de caráter normativo, prescritivo ou legal, de agências e organizações envolvidas com a redução de risco de desastres em âmbito global/regional. Também se buscou contemplar a necessidade de incorporar ações estratégicas do setor saúde de Redução de Risco de Desastre (RRD) e os principais efeitos dos desastres tecnológicos de barragens de mineração sobre os processos ambientais, socioeconômicos, sanitários e sobre a saúde. Ao final, alinham-se diretrizes e lições para a redução substancial dos riscos de rompimento das barragens de mineração a serem incorporadas nas práticas de saúde e gestão de risco de desastres tecnológicos.

É necessário advertir, mesmo que liminarmente, que frente ao risco de enfrentamento de situações de emergências, em 2002, no marco de proposição das Funções Essenciais da Saúde Pública (FESP), a Redução do Impacto das Emergências e Desastres em Saúde surge como a décima primeira de todas as onze FESP. E, é neste contexto que as políticas de segurança de barragens devem reconhecer a necessidade urgente de reduzir os riscos atuando sobre os próprios determinantes sociais e ambientais da saúde, através da redução da vulnerabilidade e exposição dos grupos sociais.

O marco de Sendai e o conjunto de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) representam o plano de ação global para redução de risco de desastre, inclusão social e desenvolvimento econômico sustentável. As agendas apresentam oportunidades de mobilizar recursos humanos, físicos, tecnológicos e financeiros sem precedentes. Estes dois marcos internacionais reforçam a necessidade de adoção de mecanismos de cooperação e colaboração entre os governos, as organizações não governamentais, o setor privado e as comunidades para sua efetiva implementação.

1 Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Centro de Estudos e Pesquisas em Emergências e Desastres em Saúde (Cepedes) – Rio de Janeiro (RJ), Brasil. E-mail: marianoandradesilva@gmail.com.

2 Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Centro de Estudos e Pesquisas em Emergências e Desastres em Saúde (Cepedes) – Rio de Janeiro (RJ), Brasil. E-mail: caco.de.freitas@gmail.com.

O principal desafio ao setor saúde resulta ainda da ausência de diálogo com os principais mecanismos de redução de risco de desastre, apresentando três importantes conexões dos temas relacionados aos desastres e desenvolvimento humano, concernindo ao setor: (1)- que as políticas de saúde sejam aplicadas de forma articulada e intersetorialmente com os diversos órgãos de licenciamento, fiscalização e controle na perspectiva de prevenção e redução dos desastres; (2) – é necessário que o setor saúde esteja melhor preparado, ampliando sua capacidade de resposta institucional, não só no curto prazo (primeiros dias e meses), mas também no médio prazo (2 a 6 meses) e longo prazo (anos, décadas), envolvendo perspectivas integrativas e universais de atendimento das necessidades de saúde da população atingida; (3)- ainda resta ao setor saúde uma mudança de perspectiva. No Brasil, temos diversas unidades de saúde em áreas de risco e, provavelmente, na rota das barragens. Vulnerabilidade que fragiliza a capacidade de resposta, inclusive a integridade física e psicológica dos profissionais de saúde que nelas atuam, fazendo-se necessário ampliarmos a resiliência em nível nacional/local.

Introdução

Os desastres tecnológicos têm sua origem em uma das diferentes etapas do processo produtivo das sociedades industriais modernas. Nesse cenário, a produção industrial segmentada internacionalmente em suas diferentes etapas (extração, produção, transporte e armazenamento) vem resultando em eventos com grandes impactos locais e regionais sobre o meio ambiente, atingindo populações, por vezes distantes geograficamente desses empreendimentos, variando de dezenas de milhares a milhões de pessoas.

Um dos impactos imediatos já observados é o aumento na frequência e magnitude de eventos envolvendo o setor extrativo de mineração. No Brasil, destacam-se os recentes desastres envolvendo a mineração. Em 2015, levando 19 pessoas a óbito, o desastre do rompimento da barragem de Fundão (BRF), da mineradora Samarco (uma subsidiária da Vale S.A). Estima-se que 50 milhões de m³ de lama de rejeitos de mineração tenham sido liberado ao meio ambiente; afetou 36 municípios em uma extensão de 650 km ao longo do rio Doce (IBAMA; 2015; GRUPO DA FORÇA-TAREFA, 2016; BRASIL, 2016). Reconhecido como o maior desastre socioambiental brasileiro, este evento é, até então, o mais grave registro de rompimento de barragens de rejeito de mineração do mundo (FREITAS; SILVA; MENEZES, 2016; PIMENTEL, 2016). O segundo, envolvendo a multinacional Vale S.A, em 2019, totalizou cerca de 270 vítimas entre desaparecidos e óbitos, constituindo o maior acidente de trabalho já ocorrido no Brasil (FREITAS; SILVA, 2019). Além de vítimas fatais e atingidos, 13 milhões de m³ de lama de rejeitos foram liberados no meio ambiente, atingiu, ao menos, 18 municípios em uma extensão de centenas de quilômetros (BRASIL, 2019).

Em ambos, os impactos socioambientais nas bacias dos rios Doce e Paraopeba envolvem grande quantidade de rejeitos de mineração de ferro; elevados níveis de contaminação por metais pesados; milhares tiveram suas condições de vida e trabalho modificadas; os impactos ambientais ameaçam os serviços ecossistêmicos e os modos de sobrevivência das futuras gerações (FREITAS; BARCELLOS, 2019). Esses eventos, diferentemente dos pequenos acidentes, incidentes e desastres que são registrados anualmente pelas autoridades públicas nacionais, apresentam potencial de danos e efeitos que se ampliam no tempo e no espaço; mesmo sem registros de fatalidades, podem levar a consequências sociais, ambientais e econômicas duradouras e de difícil gestão; envolvem múltiplas substâncias químicas e geofísicas; resultam em exposições diretas e indiretas de populações; e apresentam o potencial de alterar os processos de saúde e doença (física e mental) das populações afetadas.

Do ponto de vista da Saúde Coletiva/pública, a importância de estudar os desastres e a gestão de risco de desastre no setor de mineração está, não só no potencial de danos no curto prazo- óbitos e efeitos à saúde imediatos-, mas também na identificação da emergência de novos cenários de riscos ambientais, sociais e de saúde; população exposta; condições de vulnerabilidade social e ambiental; e a insuficiente capacidade de redução de risco de doenças e agravos futuros. Estas condições estão intimamente relacionadas, pois desastres tecnológicos envolvem contaminantes (químicos, físicos, biológicos e ambientais), problemas de saúde de natureza difusa, além de valores e decisões urgentes para cessar ou diminuir a exposição e risco à saúde, bem como, cuidar dos danos e doenças, não só no curto prazo, mas também no médio e longo prazos.

O setor saúde como um elo central na redução de risco de desastres

Em 1989, a Assembleia Geral da ONU declarou os anos 90 como a Década Internacional para a Redução de Desastres Naturais, conclamando à necessidade imediata de desenvolver políticas de redução do impacto dos desastres. Os 10 anos seguintes, por meio da criação do primeiro acordo global: a Estratégia de Yokohama de 1994 para um mundo mais seguro; e a criação, em dezembro de 1999, da Estratégia Internacional para a Redução de Desastres (UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION, UNISDR, 2005) ocorreu o estabelecimento de investimentos em mecanismos de prevenção e fortalecimento do sistema internacional de RRD³.

O próximo grande passo veio apenas em 2005, após as devastadoras consequências do Tsunami ocorrido no oceano Índico, em 2004, sublinhando as enormes lacunas na preparação e no conhecimento sobre riscos que ainda existiam. Em janeiro de 2005, a assembleia geral da ONU convocou a segunda Conferência Mundial sobre RRD em Kobe, Hyogo, Japão, que concluiu a revisão da Estratégia de Yokohama e seu Plano de Ação. Resultando na adoção, no ano de 2005, do Quadro de Ação de Hyogo 2005–2015: construindo a resiliência das nações e Comunidades para Desastres (EBI; HESS, 2017). O acordo foi aprovado em consenso por 168 países e enfatizou cinco prioridades de ação para a área: (1) garantir que a RRD seja uma prioridade nacional e local, fortalecendo as bases institucionais para sua implementação; (2) identificar, avaliar e monitorar os riscos de desastres e melhorar o alerta precoce; (3) utilizar conhecimento, inovação e educação para fortalecer a cultura de segurança e resiliência em todos os níveis; (4) reduzir fatores de risco subjacentes; (5) fortalecer a preparação para desastres para uma resposta eficaz em todos os níveis.

O objetivo da RRD é permitir o fortalecimento das comunidades, tornando-as resilientes aos efeitos dos perigos naturais, tecnológicos e ambientais, reduzindo os riscos sistêmico que esses perigos representam à sociedade. Para sua implementação, os Estados signatários deverão estabelecer políticas e ações para reduzir os riscos de desastres futuros e atenuar o risco de desastres existente, por meio da implementação de medidas governamentais e não governamentais integradas. Tais medidas envolvem diferentes áreas de atuação sobre as dimensões econômicas, sociais, de saúde, culturais, educacionais e ambientais. Seu objetivo comum é prevenir e reduzir a exposição aos desastres.

O Quadro de ação de Hyogo desempenhou um papel de liderança ao colocar a questão do risco na agenda internacional, regional e nacional, fortalecendo o empenho de objetivos práticos e tangíveis. Considerando que o progresso aferido ocorreu de forma desigual, os maiores avanços foram observados nas ações de melhorias institucionais, aprovação de legislações específicas, estabelecimento de sistemas de aviso prévio e ações de preparação e resposta a desastres (UNISDR, 2015). No entanto, uma série de preocupações, tais como, a falta de avaliações sistemáticas dos múltiplos risco e perigos e a ausência de mecanismos

de sistemas de alerta precoce influenciaram a manutenção das vulnerabilidades sociais e econômicas, especialmente dos segmentos mais vulneráveis da sociedade.

Ainda nesse momento era insipiente a compreensão da importância do setor saúde; apenas com três menções no texto, o Quadro de ação de Hyogo concentrou-se em promover uma maior cultura de resiliência, bem como, melhorar a gestão prospectiva, assegurando a capacidade de funcionamento dos serviços públicos em situações de desastre, particularmente a aquelas unidades que fornecem cuidados de saúde primários. No entanto, negligenciou-se os determinantes sociais mais amplos da saúde e do bem-estar humanos (FREITAS; BARCELLOS, 2019).

A Terceira Conferência Mundial das Nações Unidas sobre Redução do Risco de Desastres e seu principal resultado, o Marco Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030, estabeleceu como objetivo a redução substancial do risco de desastres e seus danos associados. Destinado a ampliar avaliação dos riscos em cascata, criando cenários, ferramentas e informações para unir os gatilhos dos desastres aos seus padrões de consequências e, assim, reduzir os graves danos a indivíduos, comunidades, economias e ao meio ambiente. Suas principais características são: 1) mudança de foco de gerenciamento de desastres para gerenciamento riscos; 2) um escopo mais amplo de atuação, incluindo o risco de desastres de pequeno a grande porte, súbitos e de início lento, causados por perigos naturais ou provocados pelo homem; e 3) uma abordagem mais centrada nas pessoas e multirrisco, envolvendo ações de redução das perdas de vidas, meios de subsistência e saúde, bem como bens econômicos, físicos, sociais, culturais e ambientais de indivíduos, empresas, comunidades e países.

O Marco de Sendai foi adotado em 18 de março de 2015 por 187 Estados-Membros das Nações Unidas após extensivas negociações na Terceira Conferência Mundial sobre RRD (Sendai, Japão) (UNISDR, 2018). É um acordo não vinculante e voluntário e um quadro significativo para a implementação da saúde, que enfatiza o uso de abordagem multirrisco, objetivando ampliar a consciência para uma melhor prevenção, prontidão e resposta aos riscos e impactos das ameaças e perigos, inclusive tratando especificamente ao campo de epidemias e pandemias associados aos desastres. Esta nova e abrangente estrutura de redução de risco tem como resultado sete metas globais e um conjunto de quatro prioridades de ação. São elas, respectivamente:

- 1) Reduzir substancialmente a mortalidade global por desastres até 2030, com o objetivo de reduzir a média de mortalidade global por 100.000 habitantes;
- 2) Reduzir substancialmente o número de pessoas afetadas por desastre em todo o mundo até 2030, com o objetivo de reduzir a média global por 100.000 habitantes;
- 3) Reduzir as perdas econômicas diretas por desastres até 2030, em relação ao produto interno bruto (PIB) global;
- 4) Reduzir substancialmente os danos causados por desastres em infraestrutura básica e a interrupção de serviços básicos até 2030, protegendo unidades de saúde e de educação, inclusive por meio do aumento de sua resiliência;
- 5) Aumentar substancialmente o número de países com estratégias nacionais e locais de redução do risco de desastres até 2020;
- 6) Intensificar a cooperação internacional com os países em desenvolvimento até 2030, por meio de apoio adequado e sustentável para complementar suas ações nacionais na implementação deste quadro.
- 7) Aumentar substancialmente a disponibilidade e o acesso a sistemas de alerta precoce para vários perigos e as informações e avaliações sobre o risco de desastres até 2030.

Considerando a experiência adquirida com a implementação do Marco de Ação de Hyogo e buscando o resultado e o objetivo esperados, o Marco de Sendai 2015-2030 requer mecanismos de governança multissetorial e transdisciplinar que apoie uma colaboração

mais estreita entre os atores relevantes para prevenir, preparar e recuperar-se de desastres, bem como responder de forma eficaz. Assim, reconhece pela primeira vez o papel do setor privado na RRD. Inclusive, envolvendo orientações para apoiar a implementação da Estrutura de Sendai com foco nas instalações de rejeitos da indústria de minério e o seu potencial de risco de desastres (UNISDR, 2016). Desta forma, estabeleceu-se quatro prioridades de ação:

- 1) Compreensão do risco de desastres.
- 2) Fortalecimento da governança do risco de desastres para gerenciar o risco de desastres;
- 3) Investimento na redução do risco de desastres para a resiliência;
- 4) Melhoria na preparação para desastres a fim de providenciar uma resposta eficaz e de reconstruir, recuperar e reabilitar de maneira melhor que antes.

Em toda a estrutura de Sendai, a saúde é destacada como um resultado e uma meta, com medidas voltadas para reduzir as perdas por desastres. Quatro das sete metas globais estão diretamente relacionados à saúde; os outros três estão indiretamente ligados. Preconiza-se a necessidade explícita de “aumentar a resiliência dos sistemas nacionais de saúde, integrando a gestão de risco de desastres aos cuidados primários, secundários e terciários, desenvolvendo a capacidade dos profissionais de saúde para compreensão dos risco de desastres e melhorar abordagens de RRD na rotina de trabalho do setor” (UNISDR, 2018, parágrafo 30). Assim, autoridades e trabalhadores do setor da saúde são identificados como atores chaves na gestão do risco de desastres e na construção da resiliência da comunidade.

Após a implementação do Marco de Sendai, na Conferência de Ciência e Tecnologia da UNISDR (Genebra, janeiro de 2016), a saúde como disciplina científica foi destacada em relação à necessidade de construção de bases científicas para a RRD. Além de incluir o setor saúde nas discussões sobre desastres (UNISDR, 2018), a Conferência Internacional sobre a Implementação dos Aspectos da Saúde do Marco de Sendai, realizada em Bangkok (março de 2016) identificou sete áreas de integração da RRD nos sistemas de saúde e no setor saúde (Figura 1), através dos Princípios de Bangkok (WHO, 2005).



Fonte: extraído de Freitas e Barcellos (2019)

Figura 1. Articulação das políticas de Redução de Risco de Desastre e as Emergências de Saúde Pública.

Os setes princípios visam uma maior integração da saúde aos programas de RRD; estimula a construção de sistemas de saúde resilientes e especifica investimento público e privado na construção da capacidade de RRD dos profissionais de saúde, incorporando dados relacionados a desastres em sistemas de informação de caráter público; e, identifica indicadores de alerta, promovendo o compartilhamento de informações transfronteiriças para todos os perigos, bem como, promover coerência política em todos os níveis. Nesse sentido, foi conduzido esforços de identificação das lacunas temáticas e necessidades de pesquisa voltadas aos fatores de risco à saúde não visibilizados pelo sistema (saúde mental, apoio psicossocial e bem-estar e saúde sexual e reprodutiva), além de discriminar desigualdades de exposição enfrentados pelas subpopulações (crianças, pessoas com deficiências, doentes crônicos e idosos) e suas respectivas capacidades e necessidades de gestão de riscos individuais e comunitário antes, durante e após os desastres (WHO, 2005; FREITAS; BARCELLOS, 2019; SILVA; XAVIER; ROCHA, 2020).

O Marco de Sendai é o resultado de um processo que se iniciou ainda nos anos 1970: uma mudança gradual de uma cultura de desastre reativa para uma cultura preventiva e redutiva dos riscos que incidem sobre os sistemas sociais. A redução de risco também responde a necessidade de redução substancial dos enormes custos - não apenas financeiros e econômicos, mas também sociais e políticos - depois de um desastre. Ao longo da história, o setor saúde teve um papel central nas respostas às necessidades de saúde durante os desastres, porém sua atuação, outrora, fora voltada ao atendimento das necessidades imediata (FREITAS; BARCELLOS, 2019; SILVA; XAVIER; ROCHA, 2020).

Nas últimas duas décadas, uma mudança conceitual vem ocorrendo, e é dentro deste contexto que deve ser compreendida não somente aos processos de preparação e resposta em Saúde Pública, mas também a necessidade de ampliar a abordagem de Gestão de Riscos de Emergências e Desastres em Saúde Pública, incluindo os processos relacionados à prevenção e recuperação. Autoridades e trabalhadores do setor da saúde são identificados como atores chaves. Com base no Marco de Hyogo e no Marco de Sendai, a saúde é um componente explícito das ações de RRD, aumentando em abrangência e especificidade, gerando mecanismo para incorporar a avaliação de risco de todos os perigos; previsão baseada em impacto; melhor capacidades de resposta e aviso prévio; gestão de recursos; criação e compartilhamento de conhecimento; construção de compromisso público e desenvolvimento de estruturas institucionais de apoio, integrada e orientada à redução de risco, envolvendo ações de prevenção, recuperação e reabilitação (UNISDR, 2016, 2018; WHO, 2005).

Nesse contexto, não faltam evidências de que o setor saúde deve estar inserido no processo de RRD, uma vez que estes eventos podem influenciar na propagação de vetores, e gerar fatores de riscos de interesse local, regional e global, dentre outras questões pertinentes ao setor.

Desastres atrasam ganhos de desenvolvimento econômico duramente atingidos e afetam todos os estratos socioeconômicos, instituições sociais e setores em maior ou menor intensidade; são endógenos à sociedade e o risco é construído através das múltiplas interações sociais e fatores de riscos que interagem com as vulnerabilidades preexistentes, levando a uma maior ou menor exposição das populações (FREITAS; BARCELLOS, 2019). O progresso na capacidade de redução de risco de desastres mostrou que muitas vezes não é o perigo que determina a ocorrência de um desastre, mas a vulnerabilidade, exposição e capacidade da sociedade de antecipar, responder e recuperar de seus efeitos (FREITAS; PORTO; GOMEZ, 1995). Isso inclui não só maximizar sinergias conceituais, mas também construir resiliência e reduzir vulnerabilidades e o risco.

Desastre tecnológico de Barragem de mineração

Tendo como referência a definição da Estratégia das Nações Unidas para Redução de Risco de Desastres (UNDRR, 2018), desastres tecnológicos são definidos como: *“qualquer evento não planejado envolvendo substâncias perigosas que causem ou possam causar danos à saúde, ao meio ambiente ou à propriedade, como a fuga de substâncias perigosas, explosões e incêndios”*. Os efeitos de um desastre tecnológico podem ser significativos para a comunidade e causar contaminação e impacto no meio ambiente de longo prazo, afetando direta e indiretamente os recursos e serviços ecossistêmicos.

Barragens são necessárias para diversos setores econômicos; seu uso para disposição final de rejeito é uma prática comum na indústria extrativista de minério brasileiro. Apesar dos benefícios econômicos da mineração e seu impacto positivo sobre a balança comercial nacional dos países produtores, a indústria também responde pela produção simultânea de um volume significativo de material residual. Quando gerido de forma adequada, a mineração pode criar empregos, estimular a inovação e trazer investimentos e infraestrutura pública em uma escala de mudanças de longo prazo, impactando positivamente sobre os indicadores sociais e os ODS. No entanto, quando ocorrem falhas na gestão, podem levar a degradação do meio ambiente, deslocamento de populações, aumento das desigualdades e conflitos sociais, entre outros processos deletérios à sociedade.

O crescente número e tamanho de barragens de rejeitos em todo o mundo aumenta o potencial custo ambiental, social e econômico do impacto de uma falha em sua estrutura. Ao terem suas origens nos processos produtivos de uma corporação empresarial, acidentes envolvendo barragens de rejeitos de mineração são primariamente acidentes de trabalho; e, por combinar o potencial de dano descritos, são denominados por alguns autores como *“acidentes químicos ampliados”*:

“Considera-se, portanto, acidentes químicos ampliados os eventos agudos (...), envolvendo uma ou mais substâncias perigosas com potencial de causar simultaneamente múltiplos danos ao meio ambiente e à saúde dos seres humanos expostos. O que caracteriza os acidentes químicos ampliados não é somente sua capacidade de causar grande número de óbitos, embora sejam frequentemente conhecidos exatamente por isto. É também o potencial da gravidade e extensão dos seus efeitos ultrapassarem os seus limites espaciais - de bairros, cidades e países - e temporais - como os efeitos à saúde que podem ser teratogênese, carcinogênese, mutagênese e causar danos a órgãos alvos específicos” (FREITAS, PORTO e GOMEZ, 1995).

Ao mesmo tempo, ao sobreporem as capacidades de respostas dos órgãos públicos e das localidades mais diretamente atingidas constituem-se também como *“desastres”*. Tendo como referência a definição da Organização Pan-Americana da Saúde, desastres são eventos que apresentam, ao menos, duas características importantes, que podem ser concomitantes ou não:

“...em uma séria interrupção do funcionamento normal de uma comunidade ou sociedade, afetando seu cotidiano. Esta interrupção envolve simultaneamente, perdas materiais e econômicas, assim como danos ambientais e à saúde das populações, através de agravos e doenças que podem resultar em óbitos imediatos e posteriores...”. E também, alguns excedem: “...a capacidade de uma comunidade ou sociedade afetada em lidar com a situação utilizando seus próprios recursos, podendo resultar na ampliação das perdas e danos ambientais e na saúde para além dos limites do lugar em que o evento ocorreu” (OPAS, 2014, p. 9).

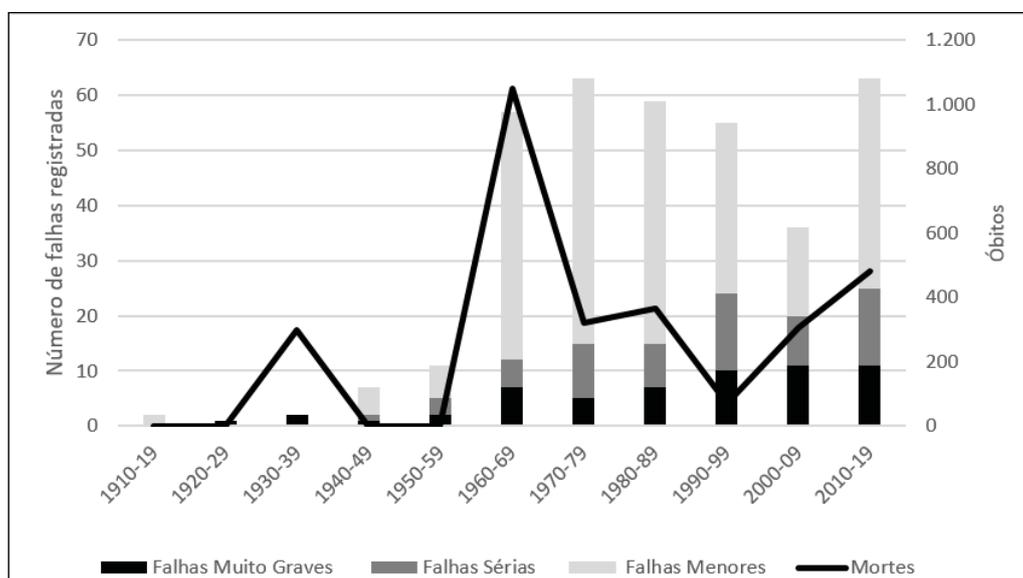
Para além dos óbitos imediatos que muitos desses desastres podem provocar, como no caso do rompimento da barragem da Vale S.A (2019), em Brumadinho, e da Samarco (2015), em Mariana, esse tipo de eventos apresentam o potencial de impactos sobre o meio ambiente e efeitos sobre a saúde que se prolongam no tempo e exigem um contínuo monitoramento e vigilância para detectar seus riscos e danos para as populações potencialmente expostas, não só no curto prazo, mas por anos após o evento.

A segurança de barragem de mineração como um tema de preocupação internacional

Embora os graves, desastres em barragens de mineração sejam caracterizados por possuírem baixa frequência de ocorrência. Eles são mais frequentes do que se imagina, no entanto, são geograficamente concentrados e com grande potencial de perdas, danos e mortalidade (FREITAS; PORTO; GOMEZ, 1995).

No Gráfico 1, apresentamos os desastres em barragens de mineração de maior gravidade em termos de óbitos, distribuídos pelo grau de severidade das falhas e acidentes. Freitas e Silva (2019), a partir de dados da World Mine Tailings Failures (WMTF), que cobre um período de pouco mais de cem anos (1915 à 2019), apresentam um total de 356 registros para o período. Verifica-se que a partir da década de 1960 há um crescimento dos eventos e, principalmente a partir dos anos 1980, o crescimento das falhas graves e muito graves. Em relação ao registro de óbitos, nota-se um crescimento ao longo dos anos 60 com redução nas décadas seguintes. A partir dos anos 90 essa tendência volta a ser ascendente, sugerindo associação positiva para ambas as categorias.

Gráfico 1. Ocorrência de rompimentos de barragens de maior gravidade nos anos 1915-2019.



Fonte: reproduzido de Freitas e Silva, 2019 - a partir dos dados da WMTF.

Ainda em relação à base de dados do WMTF, no Quadro 1, a partir da seleção dos mais graves desastres do ponto de vista dos impactos humanos (acima de 10 óbitos), apresentamos a frequência desses tipos de eventos. A partir dessa, salientamos que desastres graves envolvendo este tipo de empreendimento são relativamente recorrentes; podemos verificar, que ao longo dos últimos anos, ocorreram 27 desastres considerados muito graves. Verifica-se que o país com maior número de eventos desde os anos 60 foi a China. Apenas África do Sul nos anos 70 e 90 e Brasil em 2015 e 2019 tiveram mais de um registro, sendo que o mais recente, registrado no município de Brumadinho MG, foi o

maior nos últimos 40 anos e o terceiro em termos de vítimas fatais imediatas. Do total de 27 eventos apenas 2 ocorreram em países centrais (Reino Unido e EUA) nos anos 60/70 e todos os outros em países periféricos e semiperiféricos da economia global.

Quadro 1. Maiores desastres envolvendo barragens de mineração registrados nos anos 1915-2019.

Mineradora/ localização	País	Minério Lavrado	Método de Construção	Óbitos Registrados	Ano de Ocorrência
Mina Córrego do Feijão, Barragem I, Vale, Minas Gerais	Brasil	FE	Montante	270	2019
Hpakant, Kachin state	Myanmar	Jade	N/I	115	2015
Barragem de Fundão, Samarco mineradora (Vale & BHP), Minas Gerais	Brasil	Fe	Montante	19	2015
Zijin Mining, Xinyi Yinyan Tin Mine, Guangdong Province.	China	Sn	N/I	22	2010
Ajka Alumina Plant, Kolontár (MAL Magyar Aluminum) #2	Hungria	Al	Jusante	10	2010
Lixi Tailings, Taoshi, Linfen City, Shanxi, China (Tahsan Mining Co.)	China	Fe	Montante	254	2008
Miliang, Zhen'an County, Shangluo, Shaanxi Province	China	Au	N/I	17	2006
Nandan Tin mine, Dachang, Guangxi	China	Sn	N/I	28	2000
Surigao del Norte Placer, (Manila Mining Corp) 2nd event	Filipina	Au	Retenção de água	12	1995
Longjiaoshan, Daye Iron Ore mine, Hubei	China	Fe	N/I	31	1994
Merriespruit, near Virginia, (Harmony) - No 4A Tailings Complex	África do Sul	Au	Montante	17	1994
Jinduicheng, Shaanxi Province.	China	Mo	Montante	20	1988
Huangmeishan, China	China	Fe	N/I	19	1986
Prestavel Mine - Stava, North Italy	Itália	Fe	Montante	269	1985
Niujiaolong, Shizhuyuan Non-ferrous Metals Co., Hunan	China	P	N/I	49	1985
Bafokeng, Morensky Tailings dam	África do Sul	Pt	Montante	13	1974
Buffalo Creek, West Virginia, USA (Pittson Coal Co.)	Estados Unidos da América	Coal	N/I	125	1972
Certej gold mine, Romania	Romênia	Au	N/I	89	1971
Mufulira, Roan Consolidated Mines	Zâmbia	Cu	N/I	89	1970
Iwiny Tailings Dam	Polônia		N/I	18	1967
Mir Mine, (Placalnica) Sgorigrad	Bulgária	Pb Zn	Montante	488	1966
Aberfan, South Wales Colliery	Reino Unido	Carvão	N/I	144	1966

continua

continuação

Mineradora/ localização	País	Minério Lavrado	Método de Construção	Óbitos Registrados	Ano de Ocorrência
El Cobre Old Dam	Chile	Cu	Montante	200	1965
Huogudu, Yunnan Tin Group Co., Yunnan	China	Sn	Montante	171	1962
Jupille	Bélgica	Carvão	N/I	11	1961
Luciana Tailings Failure Satanna.	Espanha	N/I	N/I	18	1960
Los Cedros, Tlalpujahua, Michoacán	México	Au Ag	Montante	300	1937

Legenda: N/I – não informado.

Fonte: Extraído de Freitas e Silva, 2019 - a partir dos dados da WMTF

A segurança de barragem como um tema de relevância internacional resulta, principalmente após os anos 1990, da tendência de aumento de casos de falhas de barragens de rejeito de alta severidade. Segundo a Comissão Internacional sobre Grandes Barragens (CHAMBERS; HIGMAN, 2011) é urgente e necessária que haja uma reforma no planejamento, gerenciamento e regulamentação de instalações de armazenamento de rejeitos. Ainda em 2001, ao analisar 221 rompimento de barragens de rejeito de mineração foi notório que se possuía o conhecimento técnico para construir e manter instalações de armazenamento de rejeitos de forma segura, no entanto, estruturas inseguras combinado com um gerenciamento inadequado foram as principais causas na maioria das falhas analisadas.

Chambers e Higman (2011) chamam atenção para uma taxa significativamente mais elevadas de falhas, acidentes e incidentes registrados em barramentos de rejeito de mineração quando comparada com a frequência de falhas envolvendo os demais tipos de reservatórios. Segundo os autores, as causas para a maior incidência de falhas nas barragens de rejeitos quando comparadas as barragens de abastecimento de água decorrem, provavelmente, devido: (1) a utilização de material de baixa qualidade na construção nas barragens de rejeitos; e, (2) barragens de rejeitos se utilizam de técnicas de alteamento nas que as tornam mais vulnerável estruturalmente. Frequentemente os empreendimentos minerários se utilizam de barragens que são construídas em “etapas” sequenciais ao longo de vários anos, fato que tornam o controle de qualidade mais desafiador, quando comparados aos métodos de alteamento utilizados nas barragens de armazenamento de água, que são construídas de uma só vez e utilizam insumos para sua construção de melhor qualidade.

Rico, Benito e Diez-Herrero (2008) apresentam uma série de características que tornam as barragens de rejeitos mais vulneráveis: (1) são comumente construídas a partir de materiais locais (solo, resíduos grosseiros, sobrecarga das operações de mineração e rejeitos) prontamente disponíveis, em vez do concreto usado, por exemplo, em barragens de retenção de água; (2) o alteamento ocorre à medida que o volume de produção, armazenado e geração de efluente ocorre, exigindo múltiplos estágios de construção; (3) existe falta de regulamentação sobre critérios específicos de construção; (4) ausência de monitoramento contínuo e controle durante construção e operação; e (5) o alto custo econômico de remediação pós encerramento das atividades de mineração.

Davies e Martin (2009) sugerem que além das vulnerabilidades inerentes ao processo minerário e as técnicas de engenharia utilizada na construção de barragens, há uma correlação positiva entre o ciclo de preços e demanda no mercado internacional de commodities mineral com os rompimentos de barragens de rejeito. Com base na análise de

143 eventos reportados entre os anos de 1968 e 2009, os autores apontam que após 24 a 36 meses do refazimento da demanda mineral mundial é registrado aumento da frequência de rompimentos de barragens de rejeitos. Segundo o estudo, ao longo do período de elevação do valor e demanda mundial, existe, de maneira geral, empenho em flexibilizar as legislações nacionais assegurando, dessa forma, aumento imediato da produção/ extração mineral, impactando negativamente a gestão de segurança dos empreendimentos minerários. Neste período, por meio da permissividade ou leniência do Estado regulador, existe, de forma geral, o uso de tecnologias e escolha de locais não adequados para a instalação dos projetos; pressão sobre as agências ambientais pela celeridade no licenciamento, favorecendo avaliações incompletas ou inadequadas; contratos de prestação de serviços técnicos de engenharia a preços mais elevados (aumentando o endividamento das firmas), ou utilização de profissionais menos experientes ou sobrecarregando os mais experientes (comprometendo a qualidade dos projetos ou a execução das obras); intensificação da produção e redução nos custos de produção, à medida que os preços da commodities retornam aos patamares anteriores.

Rico *et al.* (2008), ao analisarem 147 incidentes em barragens de mineração, apontam que 74% das falhas envolvendo barragens foram registrados nos EUA (39%), Europa (18%), Chile (12%) e Filipinas (5%). Quando considerado a altura do barramento, 55,9% dos casos ocorreram em barragens com mais de 15 metros de altura e apenas 22% ocorreram envolvendo barragens superior a 30 metros. Do número total de falhas, 83% ocorreram quando a barragem estava ativa, 15% em barragens inativas e abandonadas e apenas 2% das falhas ocorreram em barragens inativas, mas com manutenção. O método de construção de barragens que representa o maior número de incidentes está associado as estruturas à montante (upstream method), representando 76% dos casos. As barragens de rejeitos à jusante e à linha central representam 15% e 5% dos casos globais, respectivamente.

Os autores também chamam a atenção para a falta de regulamentação sobre os critérios específicos de projetos. Situação que, quando combinados com políticas frágeis e instituições públicas de controle e prevenção desestruturadas, favorecem a criação de cenário fértil para a ocorrência de um conjunto de causas, das quais destacamos: a manutenção deficiente das estruturas de drenagem; ausência de monitoramento contínuo e controle durante construção e operação; crescimento das barragens sem adequados procedimentos de segurança; a sobrecarga a partir de rejeitos de mineração.

AzameLi (2010) ao analisarem 218 falhas de barragens de rejeitos no mundo, ocorridas entre os anos 1910 e 2009, identificaram que as décadas de 1960, 1970 e 1980 registraram cerca de 50 eventos, respectivamente, corroborando com os achados apresentados no gráfico 1. Ao compararem acidentes registrados antes dos anos 2000 e após este período, identificam que falhas em barragens de até 15m de altura aumentaram de 28% para 30%, enquanto falhas em barragens com 15 e 30m de altura aumentaram de 21% para 60%. Comportamento similar ocorreu devido a falhas em decorrência de má gestão, passando de 10% para 30%. Outro aspecto relevante apontado é que geograficamente, os acidentes antes registrados com maior frequência nos países centrais, após os anos 2000, passaram a ser registrados em maior número nos países periféricos à economia global.

Bowker e Chambers (2015), analisaram 214 falhas e acidentes envolvendo barragens de mineração, ocorridas entre os anos 1940-2010. As falhas graves (>100.000 m³ e / ou perda de vida) e muito graves (>1 milhão de m³, extensão de 20 Km ou mais, e / ou > 20 óbitos) foram responsáveis por 31% (67) do total, mas representam 63% (33/52) dos acidentes nos anos 1990-2010. Quando analisado as falhas a partir dos anos 1940, observa-se que ocorreu um crescimento na frequência de falhas nos anos 60 a 80 e uma queda nos anos mais recentes. Mas, apesar da redução da ocorrência de falhas a partir dos anos 90, tivemos um aumento significativo de acidentes e incidentes envolvendo falhas graves ou muito graves nas últimas décadas.

A questão do armazenamento seguro de rejeitos pode se tornar ainda mais desafiadora nos próximos anos, uma vez que o volume de resíduos da extração mineral tende a aumentar em razão dos menores teores de minério encontrado no solo explorados e também devido a elevada demanda mundial dessa matéria prima. Entre 2003 e 2013, houve um aumento de 630% nas importações globais de minérios, no entanto, parte dessa demanda estivera concentradas em poucos países produtores (WANDERLEY *et al.*, 2016; BREDOW; LELIS; CUNHA, 2016).

Em grande medida, o setor ainda depende do uso de barragens, considerando que a proporção de rejeito é comumente muito alta, e, atualmente está, a depender da localidade e minério beneficiado, entorno de 200 partes de resíduo para 1 parte de mineral de interesse retirado do solo (KOSSOFF, 2014). Com a ampliação da demanda, no decorrer do tempo, observou-se que ocorrências de acidentes diminuíram em barragens de pequeno a médio porte e aumentaram nas de grande porte, de acordo com os dados apresentados anteriormente. E, por sua vez, o risco associado está aumentando em 20 vezes a cada 33 anos (ROBERTON, 2012).

Novos desastres envolvendo barramentos de mineração são inevitáveis. Na ausência de empenho legislativos coerente com os riscos em voga, veremos aumento da frequência, intensidades e volume de rejeito liberado ao meio ambiente nos próximos anos.

Desastres em barragens de mineração e seus riscos no Brasil

No Brasil, o colapso das barragens de fundão da empresa Samarco e da Vale S.A figuram entre os mais graves de uma série de rompimentos que ocorreram no século XXI, de acordo com os dados apresentados anteriormente. As barragens que se romperam eram classificadas pela agência nacional de mineração (ANM) como de baixo risco (situação quando a documentação da barragem está dentro do preconizado pela legislação, o que remeteria a uma percepção de boa administração e baixa probabilidade de acidente) e dano potencial associado (DPA) alto (considerado nesta classificação a proximidade de concentração populacional e integridade ecológica adjacente à estrutura, apresentando risco de grandes consequências, no caso de rompimento). O Modelo tecnológico de construção de barragem era realizado por alteamento a montante, utilizado por ambas as mineradoras, que é o mais barato, porém o menos seguro, conforme demonstramos nos registros passados de rompimento de barragem.

No dia do rompimento, a barragem de fundão da mineradora Samarco tinha capacidade de armazenamento de cerca de 50 milhões de m³ (BRASIL, 2016), sua altura estava entre 106m e 108m, a partir de sua base. A Barragem I da mineradora Vale S.A tinha 86 metros de altura e armazenava volume estimado de 12 milhões de m³ de rejeitos (BRASIL, 2019). Nos dois casos registrados, atenção especial deve ser dada a ausência de fiscalização e monitoramento dos empreendimentos; miopias aos sinais e indicativos de má gestão em segurança; cultura de segurança reversa (impondo ritmo de produção não preconizado no projeto inicial); modificação de projeto ao longo da vida útil; falhas na atividade de gestão e ausência de ações de remediação; cenário de opacidade e miopia da gestão de risco, assim como, gerenciamento artificial do risco (FREITAS; SILVA, 2019).

Soma-se, à ambos processos, o modo como vem ocorrendo o desmonte do papel do Estado nas suas capacidades de regulação e fiscalização das atividades de extração e produção industrial. A partir dos anos 90, este cenário vem sendo colonizado por uma série de stakeholders externos aos territórios produtivos. De modo que, a combinação desses processos parece ter contribuído para a elevação de desastres e precarização do sistema de gestão de risco e fiscalização em barragens de mineração no Brasil, tornando-os uma quase rotina, e tendo como desfecho os mais graves desastres ambientais já registrado no país.

Atualmente, podemos identificar 31 órgãos efetivamente fiscalizadores de barragens, que, quando somados aos órgãos potencialmente fiscalizadores, resultam em 43 instituições com essa atribuição (SILVA; SILVA, 2020). Esses atores têm a responsabilidade, guardadas as devidas competências, de realizar a coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre barragem, devendo ser contemplado barragens em construção e àquelas em operação ou desativadas.

Na Figura 2, apresentamos o sistema de fiscalização brasileiro. A ANA é responsável pela articulação dos órgãos fiscalizadores na implementação da Política Nacional de Segurança de Barragem (Lei n. 12.334/10); organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Segurança de Barragem (SNISB), que envolve desde a concepção das estratégias e diretrizes até sua disponibilização para os atores diretamente envolvidos na temática e para o público em geral; coordenar a elaboração do Relatório de Segurança de Barragens (RSB); e fiscalizar e monitorar, em conjunto com agências estaduais de recursos hídricos, a segurança das barragens de usos múltiplos. A Agência Nacional de Mineração (ANM) é responsável pela fiscalização das barragens de mineração, acumula tanto a função outorgante de direitos minerários para fins de disposição final ou temporária destes rejeitos; fiscalização e monitoramento destas barragens. Aos proprietários de barragens cabem executar ações de segurança e elaborar plano de segurança de Barragem (SB). Barragens de deposição de resíduo industrial e barramentos com finalidade de geração de energia elétrica apresentam órgãos fiscalizadores e outorgantes específicos, sendo o IBAMA e a Agência Nacional de Energia elétrica responsável, respectivamente.



Fonte: adaptado de GALLEN, 2016

Legenda: SB – segurança de barragem; OERHs - órgãos estaduais de recursos hídricos; OEMAs – órgãos estaduais de meio ambiente.

Figura 2. Sistema Nacional de Segurança de Barragens

A classificação das barragens se dá conforme suas características estruturais (altura) e volume do seu reservatório bem como os danos potenciais em caso de ruptura. Barragens de grande porte (> 15 metros de altura); qualquer barragem com altura de 5 a 15 metros em que o comprimento da crista seja maior que 500 metros; volume do reservatório maior que 3 milhões de m³ ou capacidade de descarga maior que 2 mil m³/s e/ou com fundações pouco usuais são as barragens de interesse para a Política Nacional de Segurança de Barragem (PNSB).

A lei n. 12.334/10 estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). São objetivos desta a garantia dos padrões de segurança de barragens desde sua concepção até seu descomissionamento e usos futuros. Destaca-se ainda: o empreendedor é o

responsável pela segurança da barragem e deverá empenhar ações específicas e prover os recursos necessários para tal (inciso I); providenciar o projeto final “as built”, organizar e manter em bom estado de conservação as informações e a documentação referentes à barragem (inciso III); informar ao respectivo órgão fiscalizador qualquer alteração que possa comprometer sua segurança (inciso IV); manter serviço especializado em segurança de barragem (inciso V); providenciar Plano de Segurança de Barragem, incluindo o Plano de Ação de Emergência (incisos VII e X), quando necessário; realizar as inspeções de segurança (inciso VIII) e as revisões periódicas de segurança (inciso IX), além de implementar os mecanismos de controle social e do acesso à informação (SILVA; SILVA, 2020).

O último relatório de segurança de barragens, divulgado pela ANA (BRASIL, 2018), apresenta dados que levam a reflexão sobre a implementação da PNSB no setor de mineração. No total são 935 barragens de contenção de rejeitos de mineração cadastradas no sistema, 53% (492) estão submetidas à PNSB. O plano de segurança e sua revisão periódica foram regulamentados por 87% (427) dos empreendedores, enquanto apenas 5% (25) fizeram inspeções regulares e 51% realizaram inspeções especiais no ano da análise. Quando consideradas o total de barragens de contenção de rejeito, 39% apresentam plano de ação e emergência, conforme estabelece os artigos 11º e 12º da lei. Outro aspecto relevante apontado pela ANA é que até 2017, 23% (214) das barragens receberam ações de fiscalização e 33% (305) das barragens foram autuadas, fator imprescindível para que inconformidades sejam corrigidas.

Quando analisadas apenas as barragens classificadas quanto à categoria de risco (CRI) e dano potencial associado (DPA) (Tabela 1). Primeiro ponto que preocupa é a ausência de informação, uma vez que 473 (51%) barragens não são classificadas quanto ao risco. daquelas que possuem alto DPA (256), são 232 com CRI alto e médio. Quando combinadas alto risco e alto dano potencial, identificam-se 6 estruturas nessa situação.

Tabela 1. Número de barragens segundo categoria de risco e dano potencial associado no Brasil, 2017.

		Dano potencial associado				Total	%
		Alto	Médio	Baixo			
Categoria de risco	Alto	6	1	1	8	1%	
	Médio	226	118	57	401	43%	
	Baixo	24	33	7	64	7%	
	Não Classificada	0	0	462	462	49%	
Total		256	152	527	935	100%	
%		27%	16%	56%	100%		

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do SNISB/ANA, 2018 (BRASIL, 2018)

A incerteza quanto ao risco real permanece alta, 87% do total das barragens de contenção de rejeito não possuem documento de Projeto “Como construído” (as built) com localização conhecida e 13% (123) não apresentaram qualquer informação a respeito (BRASIL, 2018). O projeto de construção tem como principal objetivo registrar todo o processo gerido na barragem e aferir se as condições previstas vêm sendo respeitadas, o que garantirá a adequada segurança da barragem bem como de sua operação.

Segundo a PNSB, todas as barragens que apresentam o potencial de causar altos danos associados deveriam apresentar o Plano de Ação de Emergência (PAE). No entanto, nesta categoria, 23 barragens não apresentam tal instrumento, no total são 100 Barragens de contenção de rejeito que não possuem PAE. Em relação ao método construtivo, quando considerados os dados disponibilizados para o ano de 2017, são 69 estruturas que declararam utilizar o método de alteamento à montante, o mesmo tipo utilizado nas barragens da Samarco(2015) e da Vale (2019) que se romperam, sendo que o Estado de Minas Gerais foi a unidade da federação que apresentou a maior quantidade desse tipo de estruturas. Não obstante, 98 empreendimentos não declararam o método construtivo de sua estrutura de barramento (Quadro 2).

Quadro 2. Método de construção por unidade da federal brasileira, ano de 2017.

Método Construtivo						
Estado da Federação	Etapa única	Alteamento a montante ou desconhecido	Alteamento a jusante	Alteamento por linha de centro	Indefinido	Total
AM	14		1			15
AP	4	1	2		5	12
BA	14	3	24	26	6	73
ES	1					1
GO	4	3	5	3	1	16
MA				1	2	3
MG	215	49	63	14	17	358
MS	16	1		1		18
MT	15	2	45	11	18	91
PA	72	3	13	12	8	108
PB					1	1
PI					2	2
PR	1		1	1		3
RJ	2				1	3
RO	18				15	33
RS	2	3			1	6
SC	11				1	12
SE	3					3
SP	37	4	7	4	19	71
TO	4		1		1	6
Total Geral	433	69	162	73	98	835

Fonte: Fonte: Elaboração própria a partir de dados (BRASIL, 2017)

Quando se discute rompimentos de barragens no Brasil, a ênfase incide sobre o Desastre da Samarco e da Vale, em Mariana e Brumadinho, ambos em Minas Gerais. No entanto, entre os anos de 1986 a 2019, o Brasil registrou 7 acidentes graves envolvendo barragens de contenção de rejeito de mineração no estado de Minas Gerais. Decorrente desses eventos, ao menos 304 pessoas vieram a óbito (quadro 3). Quando contabilizado acidentes e incidentes, para o período de 2011-2019, ano de vigência da PNSB, há em média, 1 evento envolvendo barragem de contenção de rejeito de mineração a cada três anos.

Quadro 3. Acidentes com barragens no Brasil.

Ano	Empresa	Tipo de barragem	Município	Breve descrição
1986	Mineração Herculano	Barragem de Rejeito	Itabirito	Rompimento de Barragem: 7 óbitos.
2001	Mineração Rio Verde	Barragem de Rejeito	Nova Lima	Rompimento de Barragem: assoreamento do córrego taquara e 5 óbitos.
2008	CSN	Barragem de Rejeito	Congonhas	Rompimento de vertedouro: 40 famílias desalojadas.
2008	N/D	Barragem de Rejeito	Itabira	Rompimento de Barragem: danos ambientais.
2014	Herculano Mineração	Barragem de Rejeito	Itabirito	Rompimento de Barragem: 3 óbitos.
2015	Samarco S.A	Barragem de Rejeito	Mariana	Rompimento de Barragem (34 milhões m ³): 19 óbitos (12 terceirizados, 1 prestador de serviço, 1 funcionário e 5 moradores).
2019	Vale S.A	Barragem de Rejeito	Brumadinho	Rompimento de Barragem (>11 milhões m ³): 259 óbitos e 11 pessoas desaparecidas.

Fonte: adaptado de Silva e Silva, (2020).

Segurança de barragens de mineração: desafios na redução dos potenciais riscos à saúde pública

Desastres tecnológicos são eventos que derivam dos processos sociais e produtivos, constituem fraturas expostas das organizações, permitindo vislumbrar um universo pouco acessível em “situações normais”, em que as falhas e anormalidades, incidentes e acidentes de menor impacto tornam-se invisíveis e são transformados em “normalidades” (FREITAS; SILVA; MENEZES, 2016). Dessa forma, desastres, independentes da causalidade imediata que forem atribuídas, evidenciam situações ou eventos de riscos que traduzem a acumulação de aspectos organizacionais e gerenciais, fragilidades das políticas e despreparo das instituições encarregadas pela gestão e redução do risco.

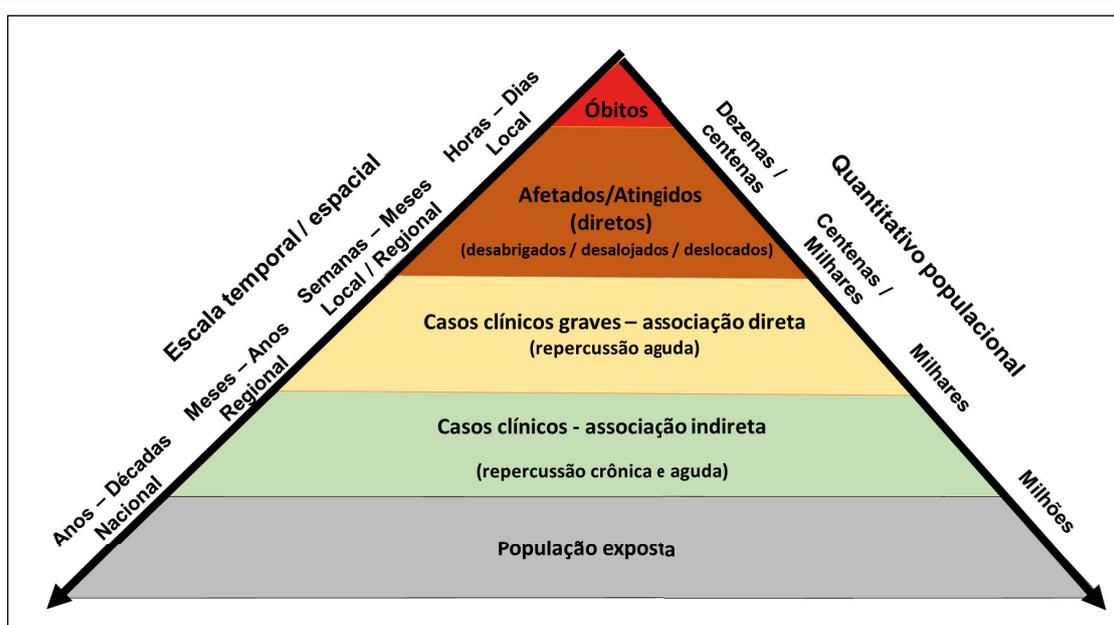
Sob a perspectiva das ciências sociais, ainda que sejam diversas as causas que levam à ocorrência de desastres tecnológicos, suas dimensões organizacionais (“riscos intensivos” ou “causas profundas”), revelam que algumas destas decisões são claramente erros; outras são julgamentos que podem ter sido considerados aceitáveis em determinado momento, mas que provaram ser catastróficos quando conjugados com outros eventos ou situações (PATÉ-CORNELL, 1993). Assim, esses processos estão relacionados com as concepções do projeto e/ou ausência de atualização; do licenciamento; da fiscalização, monitoramento e gerenciamento dos riscos (técnicos ou organizacionais) que foram tomadas e identificadas ao longo do tempo (LLORY; MONTMAYEUT, 2014).

Situações e/ou eventos de riscos, como os desastres da Samarco em 2015 e da Vale S.A em 2019, representam mudança dos cenários de riscos passados (ICOLD, 2001), isso inclui tanto os relacionados aos sistemas de risco intensivos, ligados ao projeto e operações das atividades tecnológicas de mineração e suas barragens, assim, como todos os procedimentos de controle e gestão de risco, mas também à situação de saúde; condições de vida; riscos ambientais; e processos de produção e reprodução social que já se constituíam nos territórios afetados.

Por outro lado, a partir do momento em que ocorrem, produzem novos cenários de riscos (NARVÁEZ; ORTEGA; LAVELL, 2009) e problemas extensivos (WYNNE, 1988), como os problemas ambientais e à saúde, que se estendem no espaço, atuam em unidades interescares - indo do local ao regional-, assim como no tempo, produzindo uma multiplicidade e sobreposição de situações de exposições, riscos e efeitos sobre a saúde, que vão dos imediatos aos de longo prazo (SILVA; SILVA, 2020). Os novos cenários de risco envolvem impactos que vão além dos dados oficiais da defesa civil e incluem contaminação e alterações ambientais (impactos sobre a biodiversidade e alterações dos ciclos de vetores, hospedeiros e reservatórios de doenças), como também a alteração abrupta da organização social e dos modos de viver e trabalhar historicamente constituídos nos territórios, com efeitos sobre a saúde

Dessa forma, os desastres tecnológicos interferem nas relações humanas com os ecossistemas, determinando e contribuindo para a existência de condições ou situações de riscos que influenciam o padrão de saúde das populações - causam alteração do perfil de morbimortalidade, em função da exposição desses grupos a diferentes fatores de risco ambientais. A exposição é central e *estabelece as possíveis interrelações entre a população presentes em um determinado lugar e as situações ambientais alteradas pelos eventos físicos ou por condições latentes de degradação ambiental* (OPAS, 2014, p. 14).

Na Figura 3, apresenta-se os possíveis desfechos negativos em decorrência de desastres de rompimento de barragem de mineração. Podemos notar que, os registros oficiais de populações afetadas diretamente (óbitos, afetados e desfechos negativos à saúde diretos) são populações que apresentam casualidade direta e imediata com o desastre. Para os demais segmentos afetados, são populações que dificilmente apresentarão desfechos atribuídos ao evento em si, porém são afetados por efeitos indiretos mediados e modulados pelo novo cenário de risco gerado a partir do desastre. Não obstante, afetados indiretamente são constantemente negligenciados no processo de reconstrução e dificilmente são inclusos entre os beneficiários de políticas públicas indenizatórias/reparatórias, porém poderão ao longo do tempo apresentar desfechos negativos sobre seu processo de saúde e doença no médio e longo prazo. No entanto, infelizmente, esses tipos de eventos colocam o desafio à saúde pública na compreensão dos mesmos, mas também na emergência de identificação e gestão de novos problemas e necessidades de saúde, pois nem sempre é possível estabelecer uma relação direta entre a exposição da população aos eventos e seus efeitos sobre a saúde esperados (OPAS, 2014).



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 3. Possíveis efeitos negativos à saúde nos eventos de desastre de rompimento de barragem de mineração.

Nesse tocante, uma visão simples e linear de causa e efeito são inadequados para definição e gestão do risco de desastres tecnológicos, como os rompimentos de barragens de rejeito de mineração, onde nem a suposta causa (agente/fator negativo) nem o efeito esperado (desfechos negativos) são facilmente detectáveis ou imagináveis. As limitações do conhecimento científico disponível estão, como sugere Wynner (1992), na própria aplicabilidade das técnicas analíticas existente. Assim, reduzir a análise aos componentes isolados do problema implicaria tanto no aumento da incerteza como na restrita compreensão do problema, resultando em estratégias limitadas de prevenção e controle do risco (FUNTOWICZ; RAVETZ, 2003).

É inegável que a construção de uma barragem pode trazer benefícios sociais e econômicos, mas também apresentam riscos significativos e impactos de modo sistêmicos ao meio onde se integram. Porém, a partir do desastres e falhas em sua operação, apresentam o potencial de causarem tragédias pessoais e sofrimento coletivo, altos níveis de mortalidade e morbidade, impactos diretos e indiretos no progresso político, social e econômico, criando ciclos viciosos de vulnerabilidade; favorecem condições para o surgimento de doenças e agravos em saúde, bem como, afetam as condições de vida como um todo (FREITAS; SILVA; MENEZES, 2016; FREITAS *et al.*, 2019). As consequências na saúde pública e no bem-estar são diversas (figura 3 e quadro 4), não se limitam apenas ao limite geográfico que estão situados e apresentam efeitos de longo prazo e de difícil gestão e avaliação (FREITAS, SILVA; MENEZES, 2016; FREITAS; BARCELLOS, 2019; SILVA; SILVA, 2020).

Segundo Freitas e Gomes (1996), esses desastres tecnológicos revelam algumas características que devem ser destacadas. A primeira é envolver instalações fixas de processamento de materiais perigosos, localizadas muito próximas de áreas densamente povoadas. A segunda é que para além do ponto de origem do desastre, os danos e degradação ambiental, bem como agravos à saúde, se ampliam no espaço e tempo. A terceira se refere ao fato que mesmo com tecnologias de segurança disponíveis, o desenvolvimento de sequência de eventos incontrolados no processo de produção acaba por resultar em desastres, apresentando liberação de produtos perigosos para a saúde e o meio ambiente para além das fronteiras físicas da empresa. Como observa o

autor, incidentes e acidentes nesses tipos de instalações são mais frequentes do que a imagem pública que as empresas envolvidas procuram divulgar, de modo que em todos esses desastres, investigações posteriores demonstraram falhas e até mesmo degradação nos sistemas de segurança e prevenção de acidentes (BRASIL, 2016; 2019). Por fim, em alguns casos, como Seveso e Bophal, Three Mile Island e Chernobyl, houve demora na obtenção de informações precisas sobre os produtos envolvidos e seus riscos e efeitos para a saúde pública, resultando na demora em ações de emergência para redução da exposição e riscos das populações atingidas, bem como comprometimento do tratamento inicial dos diretamente expostos aos produtos perigosos.

Essas características estiveram presentes em dois dos mais graves desastres tecnológicos em barragens de mineração no mundo, ambos ocorridos no Brasil. O primeiro, da empresa Samarco em 2015, com 19 óbitos, atingiu 36 municípios em uma extensão de 650 km ao longo do rio Doce. O segundo envolvendo a Vale S.A, em 2019, entre óbitos e desaparecidos, totaliza cerca de 270 vítimas. Além de vítimas fatais e atingidos, esse desastre atingiu, ao menos, 18 municípios em uma extensão centenas de quilômetros (FREITAS *et al.*, 2019). No Quadro 4, apresentamos os possíveis cenários de risco para além dos dados gerados no curto prazo.

Quadro 4. Principais efeitos negativos à saúde, meio ambiente e condição socioeconômica, em caso de incidente de barragens de mineração.

	Curto prazo (dias, semanas e meses)	Médio e longo prazo (meses e anos)
Impacto à saúde	<ul style="list-style-type: none"> · óbitos diretamente associados; · afogamentos e sufocamento; · impacto social (desabrigados, deslocados, desalojados); · comprometimento dos serviços de provisão de alimentos e água potável; · doenças transmitidas pelo uso de água não adequada para o consumo humano; · doenças respiratórias e contaminação com a transformação da lama em fonte de poeiras e material particulado; · dermatites; · impactos psicossociais e na saúde mental (ansiedade, transtornos mentais, depressão); · parasitoses, mordeduras e picadas; · arboviroses (dengue, zika, chikungunya, febre amarela, malária); · hipertensão arterial sistêmica; 	<ul style="list-style-type: none"> · intoxicação e danos à saúde resultado da toxicidade; · doenças respiratórias e contaminação com a transformação da lama em fonte de poeiras e material particulado; · impactos psicossociais e na saúde mental; · doenças transmitidas pelo uso de água não adequada para o consumo humano; · doenças respiratórias e contaminação com a transformação da lama em fonte de poeiras e material particulado; · Dermatites; · arboviroses (dengue, zika, chikungunya, febre amarela, malária); · desfechos negativos à saúde derivado das águas, solo e cadeia alimentar contaminados;
Impacto ambiental	<ul style="list-style-type: none"> · contaminação química (mentais; metaloides; oligoelementos), física, radioativa e biológica do manancial e sedimento; · contaminação química (mentais; metaloides; oligoelementos), física, radioativa e biológica do solo e atmosférica; · modificações na qualidade da água e dos sedimentos; · escassez hídrica; · biota aquática e terrestre potencialmente afetado por centenas de quilômetros; · supressão da vegetação ripária; · morte e impacto sobre a fauna e flora aquática e terrestre; · remobilização de contaminantes não disponível; · alteração dos ciclos de vetores, hospedeiros e reservatórios de doenças; · de regulação do clima local; · erosão das margens; 	<ul style="list-style-type: none"> · alteração da dinâmica fluvial; · alteração da qualidade atmosférica; · alteração do leito da bacia hidrográfica impactada; · elevação do risco de inundações e enxurradas; · contaminação química (mentais; metaloides; oligoelementos), física, radioativa e biológica do manancial e sedimento; · contaminação química (mentais; metaloides; oligoelementos), física, radioativa e biológica do solo e atmosférica; · bioacumulação e biomagnificação trófica; · de regulação do clima local;

continua

continuação

	Curto prazo (dias, semanas e meses)	Médio e longo prazo (meses e anos)
Impacto socioeconômico	<ul style="list-style-type: none"> · interrupção da atividade econômicas associadas e de entorno; · desemprego; · perda de recursos ecossistêmicos; · danos às habitações e infraestrutura; · perda de equipamentos públicos (impactos sobre os serviços públicos essenciais); · interrupção de dessedentação animal e práticas agrícolas; 	<ul style="list-style-type: none"> · interrupção da atividade econômicas associadas e de entorno; · impactos econômicos sistêmicos; · desemprego;

Fonte: adaptado de Silva e Silva (2020)

Considerando os dados apresentados (Quadro 4), a complexidade dos desastres tecnológicos está na forte relação dos diversos níveis de indeterminância e nossa ínfima capacidade de controle e previsibilidade da situação; envolvem problemas extensivos com grande variedade de interações que são inerentes aos sistemas abertos e suas relações de causa e efeito indeterminados (WYNNE, 1992). Envolvem desde contaminantes ambientais, dispersos e acumulados em diferentes compartimentos (ar, água, solo, alimentos etc.); múltiplas formas de uso e ocupação humana que se utilizam desses serviços ecossistêmicos até os efeitos sobre a saúde – efeitos subclínicos, desenvolvimento de doença e agravos ou mesmo a morte – a depender da nocividade do poluente, da intensidade e tempo da exposição e da suscetibilidade individual (SILVA *et al.*, 2020).

Para populações mais vulneráveis, os impactos serão intensos, as respostas mais lentas e a distribuição dos problemas de saúde se darão em tempos diferenciados, tanto no espaço como sobre as diferentes populações (SILVA, *et al.*, 2020). A exposição ocorre em um contexto espacial (país, estado, município, bairro, setor censitário, assentamento rural, distrito sanitário, etc) e os impactos sobre a saúde podem ocorrer em escalas temporal particular, caracterizando-se em períodos que variam entre (dias, semanas, meses, anos) (figura 3) (OPAS, 2014). Assim, apesar do risco de ser atingido por desastre ocorra indistintamente, a condição social particulariza seus efeitos, em especial aos grupos populacionais de maior vulnerabilidade, como gestantes, crianças e idosos, podendo resultar em desfechos negativo à saúde, não necessariamente de caráter agudo, e com possíveis repercussões clínicas tardias (BRASIL, 2011).

Para além da magnitude e da probabilidade dessas consequências, reconhecer que grupos estão expostos de forma diferenciada frente ao risco é ainda um desafio ao setor público. Nesse sentido, as soluções de enfrentamento da situação devem envolver, simultaneamente, distintas perspectivas, dinâmicas e visões de conhecimento, não podendo limitar-se a mentalidade científica tradicional. Como observam De Marchi & Ravetz (1999), quaisquer decisões sobre os riscos envolvem vários tipos de incerteza e compromissos de valores e, por isso, o lado científico de qualquer análise deve ser complementado por outra vertente de análise derivadas, principalmente, mas não exclusivamente, os aspectos políticos. Muitos dos novos riscos, como os gerados pelos desastres em barragem de mineração, combinam incertezas e ignorância e tomada de decisão sobre os problemas extensivos e irreversíveis, exigindo novas formas de processos decisórios.

Para Narváez, Ortega e Lavell (2009) estas condições estão intimamente relacionadas nos processos de gestão de risco que necessitam de maior articulação intra e intersectorial e na participação social para a tomada de decisão. Assim, é do encontro da necessidade de ampliar as abordagens sobre gestão, bem como de se

ampliar as abordagens sobre riscos, que nos propomos a apresentar os dois maiores desastres envolvendo barragens de mineração no Brasil.

Desastre tecnológico de Barragem de Mineração

No dia 05 de novembro de 2015, o rompimento da barragem de rejeito de fundão (BRF), controlada pela mineradora Samarco, uma joint-venture da companhia Vale S.A e a anglo-australiana BHP Billiton, se rompeu e liberou ao meio ambiente um volume estimado de 34 milhões de metros cúbicos (m^3) de lama. Esta barragem, que se destinava a armazenar rejeitos da extração de minério de ferro possuía armazenado volume estimado em 55 milhões de m^3 de rejeito (BRASIL, 2016). O evento, ocorrido no município de Mariana (MG), levou 19 pessoas a óbito. Quando considerado o volume de rejeito liberado; extensão geográfica atingida; e custos econômicos associados (FREITAS; SILVA; MENEZES, 2016; PIMENTEL, 2016), este evento é, até então, o mais grave desastre envolvendo barragens de rejeito de mineração do mundo.

Passados três anos, no dia 25 de janeiro de 2019, em Brumadinho (MG), o Brasil voltou a registrar o rompimento da barragem de rejeito (B1) do complexo minerário Córrego do Feijão, um empreendimento da mineradora Vale S.A. No momento do acidente, a estrutura possuía, entre barramento e rejeitos armazenados, aproximadamente 11.600.000 m^3 . Em seu caminho, formou uma enxurrada de rejeitos que avançou sobre trabalhadores e sede administrativa da empresa; encontrou as barragens de contenção de sedimentos B IV e B IV-A, que também se romperam. Totalizam-se, entre vítimas reconhecidas e desaparecidas, 270 óbitos (BRASIL, 2019).

No caso do Rompimento da BRF, da mineradora Samarco, o rejeito, inicialmente, foi carregado até o Rio Gualaxo do Norte, à 55 km da barragem, atingiu o leito do Rio do Carmo e seguiu em direção ao Rio Doce; chegando, após 16 dias, em 21 novembro, ao litoral do Espírito Santo; contaminou a zona costeira do mar capixaba com uma pluma de dispersão de mais de 60 km (7.000 Km^2) (42,1).

O desastre tecnológico da BRF, que é o mais grave desastre socioambiental da história brasileira e um dos maiores do mundo, afetou no primeiro momento, de forma direta 10.482 pessoas nos municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce e Santa Cruz Escalvado, desabrigando 644 pessoas e desalojando 716 (FREITAS; SILVA; MENEZES, 2016). Os danos agudos se concentraram, principalmente, nos dois primeiros municípios, respectivamente. De maneira indireta, estima-se que tenham sido afetados 1,4 milhão de pessoas em 38 municípios, sendo 35 no estado de Minas Gerais e 3 no Espírito Santo (SEDRU, 2016). O desastre foi classificado pela defesa civil como nível IV, isto é, "desastre de porte muito grande", o que significa que os danos causados são graves e os prejuízos muito vultosos e consideráveis (FEMA, 2016).

O volume armazenado na BRF era de cerca de 50 milhões de m^3 (IBAMA, 2015). Nos primeiros dias, estima-se que um volume de cerca de 34 milhões de m^3 de rejeito de minério de ferro tenha sido liberado ao meio ambiente. Deste total, 16 milhões de m^3 permaneceram acumulados e, ao longo dos meses seguintes, parte desse material foi carregado ao curso hídrico (ANA, 2015). No trecho mais próximo a barragem que se estende até a Usina Hidrelétrica Risoleta Neves (também conhecida como UHE Candonga), localizada no município do Rio Doce, os danos agudos ocorreram de forma intensa (GRUPO DA FORÇA-TAREFA, 2016).

No caso da Vale, ocorrido em Brumadinho, os danos humanos e socioeconômicos ocorreram de forma degressiva à barragem. Segundo Romão *et al.* (2019), o rejeito atingiu 9 setores censitários com população municipal estimada em 3.485 pessoas e 1.090 domicílios, o que representa mais de 10% da população municipal atingidas de forma

direta e imediata. As áreas atingidas pelo rejeito em Brumadinho são, de acordo com a classificação do IBGE, em sua maioria zonas rurais. Destacam-se, entre as áreas próximas a mineradora, a vila Córrego do Feijão e Parque Cachoeira, as maiores densidade habitacional atingidas, apesar de ser considerada zona rural pelo IBGE (MILANZEZ *et al.*, 2019).

A partir do evento, o novo cenário de risco gerado, apresentou-se como um grande desafio de gestão sobre a organização do setor saúde. No município de Brumadinho, por exemplo, a implementação de um conjunto integrado de ações de prevenção (ações de comunicação de risco), imunização (para difteria, tétano, hepatites A e B, sarampo, caxumba, rubéola, febre amarela), vigilância em saúde (epidemiológica e sanitária) e atenção em saúde (UPA, hospital, laboratórios, Centros de Atenção Psicossocial - CAPS, Núcleo de Práticas Integrativas e Complementares em Saúde - NUPIC, unidades básicas de saúde - UBS, Estratégia Saúde da Família - ESF, e Núcleos de Apoio à Saúde da Família - NASF) permitiu ofertar à população serviços à saúde estratégicos para reduzir os danos do evento. Esse conjunto de ações contou com o apoio tanto do Ministério da Saúde quanto da Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais, permitindo também ações articuladas ao longo do Rio Paraopeba, envolvendo a vigilância da qualidade da água nos 18 municípios atravessados pelo o mesmo (FREITAS *et al.*, 2019).

Para a Saúde Coletiva os desafios no enfrentamento desses tipos de eventos não são pequenos. Pois, para além das pessoas definidas oficialmente como afetadas, temos diversas populações à jusante da barragem que tiveram múltiplas rupturas e perdas, simbólicas, culturais, econômicas, infraestrutura, familiares, rupturas comunitárias e lugares de referência. O número de expostos pode ser ainda maior se consideramos populações que se beneficiam dos serviços ecossistêmicos (rios, solos e matas) para seus usos e ocupações do solo historicamente constituídos

Entre as alterações ambientais estão aquelas associadas à supressão de ambientes naturais florestais e a sobreposição das faixas marginais dos mananciais atingidos. Segundo o órgão ambiental, estima-se que o desastres da Samarco, a partir do rompimento da barragem de fundão, causou destruição de 1.587 hectares (ha), dos quais 1.026,65 ha de cobertura vegetal, sendo que 511,08 ha de Mata Atlântica preservada, foram atingidos e danificadas. Já em Brumadinho, nas localidades mais próximas do empreendimento minerário da Vale S.A, estima-se que o evento causou a destruição de 269,8 ha. Foram subtraídos, com a passagem da lama, 133,27 ha de vegetação nativa de Mata Atlântica e 70,65 hectares de Áreas de Preservação Permanente (APP). Dos 269,8 ha de área atingida diretamente pelos rejeitos, aproximadamente 218,1 ha estão situados dentro da Zona de Amortecimento (ZA) do Parque Estadual Serra do Rola Moça (IBAMA, 2019).

As modificações registradas no curso das bacias foram intensas e deletérias ao meio ambiente. Alterações no curso do rio e, portanto, na dinâmica fluvial, são registrados no leito do Rio Doce (GRUPO FORÇA-TAREFA, 2016). Este fator vem favorecendo maior e frequência e intensidade de inundações na bacia afetada, mesmo após anos do evento da Samarco (RODRIGUES, 2020). Observou-se também, nessa área a deposição de rejeitos sobre o leito dos rios e vastas áreas marginais, soterrando a vegetação aquática e terrestre, destruindo habitats e impactando negativamente a fauna aquática (GRUPO FORÇA-TAREFA, 2016). Para o IBAMA, *"o nível de impacto foi tão profundo e perverso ao longo de diversos estratos ecológicos que é impossível estimar um prazo de retorno da fauna ao local"* (IBAMA, 2015).

À medida que a onda de rejeitos avançava, danos principalmente associados à poluição hídrica foram causados, e registrou-se a interrupção do abastecimento de água em vários municípios (ANA, 2015). O monitoramento realizado entre os meses de novembro e dezembro de 2015, nas águas brutas e superficiais captadas nos

Municípios de Barra Longa, Rio Doce, Ipatinga, Governador Valadares, Baixo Guandu, Colatina e Linhares, evidenciou que os parâmetros de turbidez e metais ficaram, em regra, acima dos valores máximos permitidos pelo CONAMA (Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces – Classe 2) (MPF, 2016).

Segundo a empresa Samarco, responsável pelo desastre, o rejeito liberado no ambiente “é inerte” e “composto, em sua maior parte, por sílica (areia) proveniente do beneficiamento do minério de ferro e não apresentava nenhum elemento químico que seja danoso à saúde humana” (MPF, 2016). Conforme a NBR 10.004, o resíduo da barragem era classificado como não perigoso e não inerte para ferro e manganês (IBAMA, 2015). Para a Agência Nacional de Águas (ANA, 2016), com a onda de cheia diversos metais e metaloides apresentaram elevações significativas em suas concentrações (alumínio, arsênio, cádmio, cobre, cromo, fósforo, manganês e níquel). Elementos como chumbo e mercúrio apresentaram níveis superiores ao limite da legislação de 165 e 1465 vezes, respectivamente (EMBRAPA, 2015; ANA, 2018).

O monitoramento ambiental realizado ao longo da bacia do Rio Doce, por exemplo, ainda apresenta concentrações muito elevadas de substâncias perigosas nos diversos compartimentos ambientais afetados (solo, água, ar) envolvendo, inclusive, a presença de contaminantes metálicos (SILVA, 2019; IGAM, 2018). Há de se considerar que os elementos metálicos, ao contrário de muitos compostos orgânicos, não apresentam degradação ao longo do tempo para “espécies” menos tóxicas. Alguns tornam-se, inclusive, mais tóxicos com o passar do tempo (SILVA, 2019).

Tal situação ambiental comprometeu temporariamente a capacidade de tratamento da água pelas estações de tratamento e, conseqüentemente, atendimento aos valores máximos permitidos pela legislação, em especial dos parâmetros turbidez, metais e organolépticos - resultando na interrupção total ou parcial do abastecimento de água em 12 cidades, afetando uma população estimada de 424 mil pessoas. No estado do Espírito Santo, os Municípios de Colatina e Baixo Guandu sofreram total interrupção na distribuição de água captada do rio Doce. Já em Minas Gerais, parcela da população de Aimorés, Marilândia, Resplendor, Galiléia, Tumiritinga e Ituêta tiveram a distribuição de água proveniente do rio Doce temporariamente interrompida, afóra o Município de Governador Valadares, com população superior a 30.000 mil habitantes, que suspendera integralmente o serviço de abastecimento e distribuição de água à população (MPF, 2016). Passados os primeiros dias/meses, verificou-se o decaimento do parâmetro, no entanto, variações durante os períodos chuvosos foram aferidas nos meses seguintes (IGAM, 2018).

Na bacia do Rio Paraopeba, manancial superficial afetado pelo rompimento da barragem da Vale S.A, os resultados do monitoramento superficial não demonstram situação ambiental diferente. A análise da caracterização química do rejeito da barragem realizada pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2020) apontaram elevados teores de ferro e manganês em 100% das amostras. O parâmetro manganês chegou a ser registrado com valores de até 27 vezes o teor médio encontrados na região. Os parâmetros Cobre e Bário foram encontrados acima do preconizados pela legislação vigente, em 60% e 10%, respectivamente, das amostras. A agência estadual ambiental (IGAM) destacou as concentrações de ferro total (3095,5 mg/L) que superaram em até 2.200 vezes o valor máximo permitido para mananciais classe II; manganês total (736,500 mg/L) foi encontrado em valor de 7.365 vezes maior que o máximo permitido. Dentre os metais pesados, os parâmetros chumbo total e mercúrio total apresentaram valores de até 21 vezes acima do limite preconizado (IGAM, 2019).

Thompson *et al.* (2020) realizaram monitoramento da qualidade de água em 7 locais ao longo do manancial afetado. Imediatamente após o desastre, o ponto de coleta à 6 km da barragem registrou elevação de turbidez (3000 NTU) 30 vezes maior que o valor recomendado pela legislação. Ainda, os teores de Ferro, Alumínio, Cadmio

e Cobre apresentaram registro, respectivamente, de 2.8, 1.9, 6, 7.7 acima dos valores preconizados. Em relação as amostras realizadas no mês de maio, os teores de Fe apresentaram alteração em relação a legislação em 5 pontos, Alumínio em 7 pontos, Cobre em 5 pontos e Cádmio em 1 ponto. Em outro estudo, o parâmetro cobre chegou a ser registrado com valores de até 600 vezes o permitido. Além do Cobre, outros elementos como o Ferro, Manganês e Cromo, encontrados em nível elevados, são de interesse à saúde pública (SOS MATA ATLÂNTICA, 2019).

Em relação as soluções de abastecimentos humano, o Ministério da Saúde coletou 1.847 amostras em 16 municípios afetados. Foram utilizados 104 pontos de coleta, a uma distância de até 100 metros das margens do rio Paraopeba. Os resultados indicam valores insatisfatórios para os parâmetros: Ferro em 336 amostras; Alumínio em 117 amostras; e Manganês em 207 amostras, sendo que em 38 amostras todos esses contaminantes estiveram acima do valor permitido. Os parâmetros microbiológicos e organolépticos estavam insatisfatórios, embora tenham sido identificados, pontualmente, valores insatisfatórios para os parâmetros Antimônio, Arsênio, Bário, Chumbo, Cromo, Mercúrio, Níquel e Selênio (BRASIL, 2020). As concentrações detectadas para algumas dessas substâncias superam os valores de risco a saúde sugeridos pela Organização Mundial da Saúde e estão em inconformidade com a Norma de Potabilidade Brasileiro.

Em Colatina, município afetado pelo desastre da Samarco, confirmou um significativo aumento de entrada de pacientes relatando dores abdominais, diarreias, náuseas, vômitos e perturbações cutâneas motivados pelo consumo da água captada do rio Doce (SEDRU, 2016). Mesmo um ano após o rompimento, uma série de problemas de saúde decorrentes do consumo da água do rio Doce foram relatados nos municípios: Colatina (ES); Baixo Guandu (ES); Governador Valadares (MG); São Mateus/ES (Barra Nova); Periquito (MG), Ipaba e Belo Oriente (MG), especialmente no distrito de Cachoeira Escura, além de Gesteira, em Barra Longa (MG) (FERNANDES, 2019).

Em relação a população de Mariana, pesquisa realizada envolvendo o grupo populacional de deslocados/desabrigado revelou efeitos na saúde mental associados a discriminação que os afetados e expostos passaram a sofrer (NEVES *et al.*, 2018). Estigmatizados e culpadas pelos prejuízos causados pelo fechamento, mesmo que temporário, da empresa Samarco, esta população passara a sofrer discriminação e assédio na cidade devido a uma relação ambígua, que envolve sentimentos de punição e interrupção da atividade minerária no local, combinados com o risco de desemprego e interrupção dos ciclos econômicos ali instalados. Problemas relacionados a atenção psicossocial (uso de álcool e drogas, tentativas de autoextermínio, uso de medicamento, depressão e tensão pós-traumática) foram registrados no estudo.

Em Brumadinho, dados da secretaria municipal mostraram um aumento de 80% no consumo de ansiolíticos e de 60% no uso de antidepressivos (COMISSÃO PARLAMENTAR DE INQUÉRITO, 2019). Os dados de Registro das Ações Ambulatoriais de Saúde (RAAS), demonstram aumento dos episódios depressivos em 151%, de 352 casos em 2018 em 2019 houveram 883 registros; reações ao estresse grave aumentara em 1.272% no ano de 2019 em comparação com o ano anterior. No ano de 2019, houveram 52 tentativas de suicídios, sendo que 75% utilizaram medicamentos como agente tóxico (BRASIL, 2020).

Em relação aos habitantes de Barra Longa, município vizinho de Mariana, distante 80 km da barragem, a equipe de campo do EPI_SUS - Ministério da Saúde- realizou um rastreamento descritivo seccional, em julho de 2016. O Estudo apontou um aumento significativo de manifestação clínicas de Infecção nas Vias Aéreas Superiores (IVAS), parasitoses e diarreias, Dengue, hipertensão sanguínea e diabetes, quando comparado aos anos anteriores ao desastre. Conclui-se que os problemas de saúde identificados, principalmente IVAS, Dengue e transtornos psicossociais, podem estar relacionados ao desastre, encontrando associação

positiva quando comparados as áreas afetadas com áreas não afetadas. Os agravos apresentaram diferenças em relação as duas áreas avaliadas em 70% para insônia; 60% maior para dor muscular; irritabilidade 80%; Dengue 2,9 mais casos registrados.

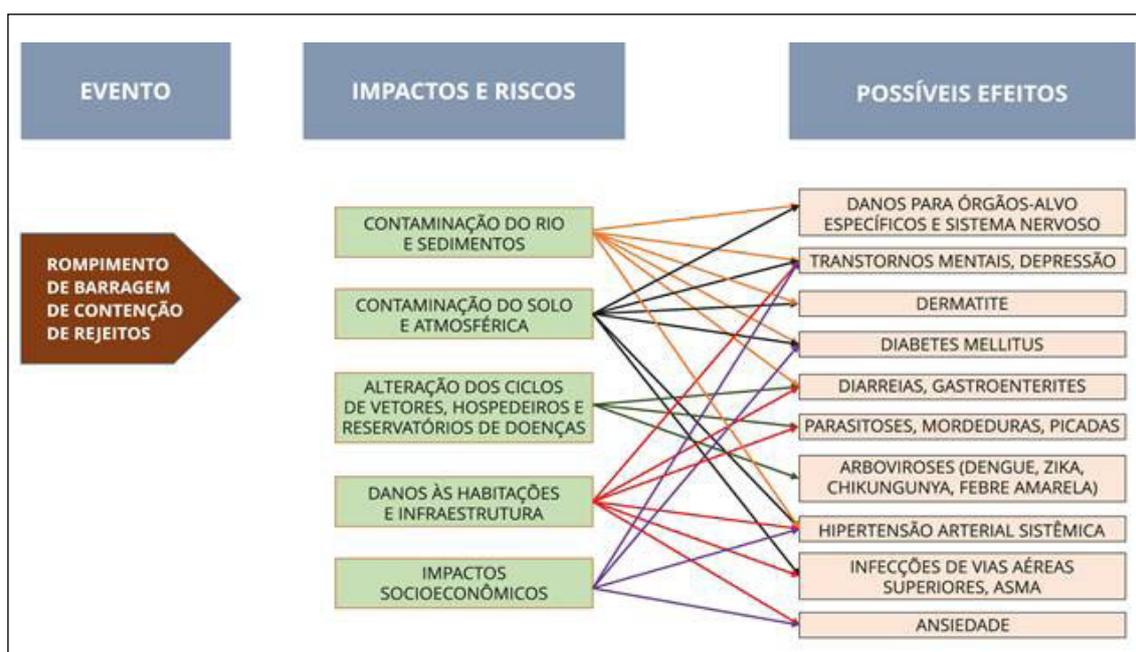
Em outro estudo realizado na mesma região de Barra Longa, o Instituto Saúde e Sustentabilidade (INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE, 2017) desenvolveu pesquisa exploratória transversal e descritiva com a finalidade de rastrear a situação de saúde da população residente na área urbana e rural (comunidades de Gesteira e Barreto). A pesquisa conclui que os sintomas neurológicos são os mais prevalentes, aferido em 45% da população investigada, seguidos por sintomas respiratório (42,2%), osteoarticulares (39,3%), gástricos (37,3%) e dérmico (33,9%). A amostragem incluiu 507 indivíduos entrevistados por meio de questionário estruturado de auto avaliação de saúde. Os resultados apontam, que entre os participantes, 37% deles alegaram piora na saúde após o desastre. Dentre os problemas relatados, queixas ligadas ao sistema respiratório foram as mais frequente (40% para a população em geral e, na faixa etária infantil - 0 a 13 anos, o índice alcançou 60%); 15,8% afecções de pele; 11% transtornos mentais e comportamentais; 6,8% doenças infecciosas; 6,3% doenças de olho; e 3,1% problemas gástricos e intestinais. Em relação aos sintomas emocionais, 83,4% dos participantes alegaram comprometimento após o desastre, a insônia foi o mais frequente dentre esses (36,9% para a população geral e 19% nas crianças entre 6 a 13 anos.); seguido por preocupação ou tensão (21,7%).

Em relação aos agravos de saúde registrados na bacia do Paraopeba, o boletim epidemiológico do ministério da Saúde apontou um aumento significativo de manifestação clínicas ao longo do primeiro ano pós desastre. Em 2019, o município de Brumadinho apresentou elevação de cerca de 31,22% nos registros de doenças diarreicas agudas quando comparadas ao ano de 2018. De acordo com a agência, o aumento dos casos pode estar relacionado a inconformidade da qualidade da água analisadas.

Uma possível alteração nos ciclos de vetores e de hospedeiros de doenças também é destacado para ambos os desastres. Os registros de dengue em 2019, em relação ao mesmo período do ano anterior, apresentaram incremento de 4.028% no município de Brumadinho (BRASIL, 2020). Na região do Rio Doce, afetada pelo desastre, surtos de dengue, zika e chikungunya e febre amarela foram registrados nos meses seguintes a ocorrência. Segundo especialistas, a degradação ambiental é um importante componente no alastramento do surto. Para a secretaria de saúde do Estado de Minas gerais (SES_MG), de acordo com o veiculado na mídia nacional, destaca-se três fatores que se sobrepõem no tempo e no espaço para o aumento do número de casos: armazenamento de água de maneira inadequada; ausência de protocolo de acompanhamento e atendimento; baixos índices de imunização.

São muitos os casos semelhantes apresentados ao longo da Bacia do Rio Doce, além da poluição ambiental constatada, danos sobre os recursos ecossistêmicos são inúmeros: redução dos recursos pesqueiros; recursos hídricos poluídos; produção agrícola impactadas; geração de energia hidrelétrica interrompida; e impacto sobre os ciclos de produção de matérias-primas (FERNANDES *et al.*, 2016). As ameaças às comunidades ribeirinhas são particularmente críticas, pois são populações vulneráveis do ponto de vista econômico e habitantes de áreas remotas desprovidas de serviço público e dependente da agricultura de subsistência e pesca; devido ao seu modo de vida, estarão provavelmente mais vulneráveis e exposta a situações deletérias à saúde (mental, física e biológica) no longo prazo.

Na Figura 4 e tendo como referência o desastre da Samarco, apresentamos o conjunto de impactos e riscos ambientais, bem como efeitos sobre a saúde que se sobrepõem no tempo e no espaço nos territórios afetados.



Fonte: reproduzido de Freitas et al. (2019)

Figura 4. Potenciais efeitos relacionados aos impactos e riscos causados pelo desastre.

O desastre não só envolveu danos humano, ambientais e sobre a infraestrutura, mas também as perdas de receitas arrecadas, que se reflete na capacidade de oferta dos serviços essenciais como a saúde, educação, saneamento, entre outros. Mariana e os municípios do entorno apresentaram retração na base tributária após a abrupta paralisação da atividade de mineração da empresa Samarco, ocasionando impactos diretos sobre a economia regional. No município de Mariana, o sistema econômico era pouco diversificado e “minério-dependente” (95% da atividade econômica estava baseada em extração de minério de ferro ou em sua economia periférica), após o desastre a retração da receita municipal representou 80% (SEDRU, 2016). No período 2014-2018, as receitas correntes foram reduzidas de R\$ 445 milhões para R\$ 264,6 milhões (MILANEZ *et al.*, 2019).

Para a organização do setor saúde em Brumadinho, no médio longo prazo, os desafios também não são menores. O desastre provocou uma sobrecarga no sistema de saúde: os atendimentos na atenção básica apresentaram aumento de 63% no primeiro quadrimestre de 2019. Tal alteração da rotina exigiu a contratação de mais de 80 profissionais, além dos que já existiam, com um custo de mais de 1,5 milhão de reais por mês. Com isso, os gastos da prefeitura com saúde – devem chegar a R\$ 70 milhões no ano de 2019, contra R\$ 55 milhões em 2018 (COMISSÃO PARLAMENTAR DE INQUÉRITO, 2019).

Como ocorreu no desastre da Samarco, tal situação pode se agravar nos próximos meses, devemos considerar que para além das situações já definidas e contabilizadas, temos diversas populações a jusante da barragem que tiveram múltiplas rupturas e perdas e modificação de seu processo de saúde e doença. Realidade que exige continuidade do monitoramento e a garantia da prestação dos serviços estratégicos, uma vez que muitos efeitos podem se manifestar de forma tardia, exigindo sensibilidade dos serviços públicos, inclusive os de saúde, no médio e longo prazo (BRASIL, 2020).

Além disso, Freitas *et al.* (2019) salientam para o risco de interrupção da cadeia econômica formada por pequenas e médias empresas que gravitam entorno da prestação de serviços à mineração, levaram ao declínio do ciclo econômico local/regional. Esses processos afetam populações e territórios de modo mais amplo e sistêmico, gerando impactos sobre as condições de vida e situações de saúde (tensões,

depressões, inseguranças, ampliação e agravamento das doenças crônicas como as reportadas no caso de Barra de Longa) com elevação dos problemas e necessidades de saúde, exigindo maiores investimentos financeiros para a ampliação dos serviços, exatamente quando as receitas tendem a diminuir ao longo do tempo.

Em algumas localidades o risco de impacto econômico sistêmico pode não ter sido ainda estimado com precisão. Segundo o MPF (2016), graves prejuízos estão relacionados ao comprometimento no fornecimento de água para consumo de animais de criação; irrigação de campos de produção agrícolas; prejuízos econômicos sobre as indústrias extrativistas (economia pesqueira, na extração de areia) e no turismo.

Além de perda de produtividade das propriedades, do acesso a renda e de bens de uso coletivo. Temos também danos imateriais, como a perda de padrões de organização social, identidade coletiva, vínculos de vizinhança e comunitários, como as diversas práticas culturais que configuram os modos de vida (RAMBOLL, 2018). Na Bacia do rio Doce, alguns dos grupos afetados são comunidades tradicionais, como Quilombolas, Pomeranos, Areeiros, Faiscadores, Pescadores, enquanto outros são remanescentes e representantes legítimos de comunidades indígenas da região: Krenak, Tupiniquim e Aymorés (ÁIRESA *et al.*, 2018). Já no Paraopeba, tendo como referência os dados do Censo Agropecuário de 2017 e considerando um raio de 500 e 1000 metros ao longo dos 18 municípios em que a lama atingiu o rio Paraopeba, numa extensão aproximada de 250 km, estima-se que há respectivamente 147 e 424 comunidades (indígenas, quilombolas, silvicultores e pescadores artesanais) atingidas (ANA, 2015).

Nesse sentido, o desastre lesou direitos fundamentais das populações afetadas, especialmente se considerarmos que a recuperação das condições ambientais poderá demorar décadas para se concretizar. Após o desastre da Samarco, diversas medidas na esfera judicial e extrajudicial foram adotadas em face dos empreendedores responsáveis, entre elas, a celebração do termo de ajustamento de conduta (TAC), instituído por uma ação civil pública (ACP), assinados com Ministério Público Federal (MPF) e Ministério Público Estadual de Minas Gerais (MPE/MG). Não havia dúvida naquele momento, de que a Samarco, como operadora da Barragem de fundão, era a poluidora direta e a principal responsável pela reparação integral do dano ambiental causado (ADAMS *et al.*, 2019).

A Fundação Renova, solução institucional adotada no desastres da Samarco, visando a necessária agilidade para receber recursos financeiros e efetuar despesas levou com que os fundos compensatórios e reparatórios ficassem “sob total controle” da empresa e com “deplorável falta de transparência” e participação das comunidades atingidas no processo de negociação (UNITED NATIONS HUMAN RIGHTS, 2016 *apud* HELLER, 2019). Apesar de haver participação de componente governamental e das empresas responsáveis, essa última possuía um poder desproporcional para influenciar as decisões (ADAMS *et al.*, 2019). Assim, a Renova se tornou responsável por gerir todas as informações e decisões do ponto de vista ambiental, social e econômico. Conferindo à empresa autonomia na celebração de acordos extrajudiciais e na definição de quem é ou não “atingido” (MILANEZ; MAGNO; PINTO, 2019).

Desafios atuais e futuros na Redução de Risco de Desastres Tecnológicos de Barragem de Mineração

Se destes desastres podemos extrair lições, estas deveriam resultar em políticas e ações para a redução de riscos de desastres mais efetivas. Isto significa incorporar no modelo de desenvolvimento os custos ambientais e humanos internalizando aos custos de produção, evitando assim novas tragédias; termos planos e ações de redução de riscos em que as injustiças ambientais não seja tolerada; que as incongruências

e contradições das políticas e dos planos sejam expostas e enfrentadas com efetiva transparência e participação da sociedade. Sem isto, teremos certamente muitos empenhos sociais imediatos e pontuais, mas insuficientes para gerar lições para a redução de riscos de desastres no país.

Atualmente, temos no território Brasileiro um total de 935 barragens de contenção de rejeitos de mineração cadastradas no sistema, deste total são classificados 492 pelas autoridades nacionais como barragens particularmente perigosa, e, portanto, inseridas na PNSB. Dasquelas que possuem alto DPA (256), são 232 com CRI alto e médio. Quando considerados as barragens que não foram classificadas quanto a sua categoria de risco (49% do total das barragens) não podemos deixar de considerar que temos ainda 87% do total das barragens sem documento de Projeto “Como construído” (as built) com localização conhecida e 13% (123) não apresentaram qualquer informação a respeito. Tal situação é um indicativo da necessidade de esforços para a reconfiguração de um cenário de risco nacional que ainda é opaco em relação as funções públicas de regulação e gestão de risco.

Ainda temos 100 Barragens de contenção de rejeito que não possuem Plano de Ação de Emergência (PAE). Nesse sentido, o sistema de gestão de risco de desastre na mineração avançou pouco sobre o princípio 5 do Marco de Sendai - Aumentar substancialmente o número de países com estratégias nacionais e locais de redução do risco de desastres até 2020- configurando um cenário pouco prospectivo. A ausência desse tipo de informação, envolve não só a indisponibilidade e o acesso a sistemas de alerta precoce com informações disponíveis ao escrutínio público, mas também, impossibilita a preparação e avaliações sobre o risco de desastres de outros setores estratégicos, como o setor saúde e de meio ambiente.

E é nesse contexto que se inserem uma tendência internacional de aproximação e integração das agendas de Redução de Riscos de Desastres (RRD) com outros setores correlatos, entre eles o ambiental, o de saúde e o de desenvolvimento econômico. Nesse sentido, a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, que inclui um conjunto de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para 2015-2030 representam o plano abrangente de ação no mundo para a inclusão social, sustentabilidade ambiental e desenvolvimento econômico que em conjunto com o Marco de Sendai, eleva e protagoniza a necessidade de preparação e fortalecimento da capacidade de gestão de risco de emergências e desastre dos sistemas nacionais de RRD e do setor saúde.

As consequências dos desastres à sociedade são muitas. O impacto na saúde humana e sobre os sistemas social, ambiental e sanitário que nos últimos anos, as questões de saúde passaram a ganhar reconhecimento e defesa de causa nos círculos de políticas internacionais. Como resultado, a saúde é um ator claramente transversal na gestão de Risco de Desastres, não só para o momento imediato ao evento.

Não faltam evidências de que o setor saúde deve se preocupar com a gestão de risco de desastres tecnológicos, uma vez que elas podem influenciar na propagação de vetores, na poluição do ar, na qualidade das águas para consumo humano, dentre outras questões pertinentes ao setor. A ênfase está claramente no processo, onde a combinação dos fatores, tanto físicos como humanos, se juntam em tempo e lugar específico para expor algumas populações de maneira diferenciada.

Atualmente, as políticas, ações e estratégias para resposta aos desastres em saúde são quase sempre separadas dos objetivos de desenvolvimento e recuperação, reabilitação e reconstrução de longo prazo. No entanto, as populações e comunidades, ao mesmo tempo em que enfrentam esses eventos como ocorrências restritas a temporalidades específicas (de horas a anos, a depender do evento), necessitam muitas vezes que as respostas pontuais e focais específicas sejam acompanhadas de políticas que contribuam para reduzir suas condições de vulnerabilidade e exposição, o que envolve o desenvolvimento econômico

e social de longo prazo, incluindo a necessidade de implementar meios de subsistência sustentáveis e equitativos. Nessa perspectiva, a redução de riscos de emergências e desastres em saúde torna-se não só um resultado dos ODS e de toda a agenda pós-2015, mas também uma contribuição fundamental da saúde pública para a sua implementação. E, nesse processo, o Marco de Sendai torna-se de grande importância para orientar as políticas, as ações e estratégias de redução de riscos de emergências e desastres associadas às políticas de desenvolvimento sustentável.

Desastres, como os de 2015 e 2019, nem sempre promovem o aprendizado social e não se obtêm respostas legais no tempo esperado, e, tampouco, a elaboração de um conjunto de políticas saneadoras necessárias. É fundamental que o poder Judiciário, a Assistência Social, a Defesa Civil, o Meio Ambiente e a Saúde do Trabalhador e o SUS, estejam preparados para o desafio de indenizar, reparar e restaurar as histórias perdidas, envolvendo-se imediatamente nas respostas não só de curto prazo, mas também de médio e longo prazo, pois os inúmeros impactos sociais, econômicos, ambientais e sanitários desses eventos se prolongam por anos.

Por fim, será necessário anos de esforços e trabalho para amenizar os efeitos à saúde causados pelos desastres, bem como a implementação de um conjunto de serviços públicos prestados estrategicamente aos atingidos e integrados com os de reconstrução. Ao ser um problema mais grave e mais intenso para as comunidades mais vulneráveis (economicamente, socialmente ou politicamente) a relação entre sociedade civil e Estado – vínculo esse indispensável na gestão de risco de desastre – mostra-se em profunda tensão. Ao mesmo tempo, no atual contexto global e nacional do setor de extração minerária, os mecanismos de produção de condições de vulnerabilidades e riscos são aprofundados, ampliando a necessidade de fortalecimento das capacidades de preparação e respostas nos municípios vulneráveis aos riscos de barragens nos seus órgãos de defesa civil, meio ambiente, saúde e assistência social; garantindo que os processos de recuperação ambiental e da saúde das populações e trabalhadores afetados sejam combinados com a reconstrução melhor e mais segura das condições de vida e trabalho das pessoas.

Nota

3 A redução do risco de desastres abrange as atividades científicas, políticas e práticas que visam reduzir as perdas em vidas, meios de subsistência e saúde. Assegurar que a resposta emergencial aos desastres seja adequada e implemente os mais altos padrões de gestão clínica e de recursos para minimizar ferimentos, sofrimento e perda de vidas, requer prevenção e preparação em todo o ambiente de serviços de emergência em saúde e outros setores (AITSI-SELMI; MURRAY, 2016).

Referências

- ADAMS, L. I. L. *et al.* **Saindo da lama:** a atuação interfederativa concertada como melhor alternativa para solução dos problemas decorrentes do desastre de Mariana. Belo Horizonte: Fórum, 2019.
- AIRESA, U. R. V. *et al.* Changes in land use and land cover as a result of the failure of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. **Land Use Policy**, v. 70, p. 63-70, Jan. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.10.026>.
- AITSI-SELMI, A.; MURRAY, V. Protecting the health and well-being of populations from disasters: Health and health care in the Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030. **Prehospital and disaster medicine**, v. 31, n. 1, p. 74-78, 2016.

- ANA-AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Encarte especial sobre a bacia do Rio Doce**: rompimento da barragem em Mariana MG. Brasília/DF: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos-SPR/Ministério de Meio Ambiente, 2016. 50 p.
- ANA-AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Encarte especial sobre a bacia do Rio Doce**: rompimento da barragem em Mariana MG. Brasília/DF: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos-SPR/Ministério de Meio Ambiente, 2015. 50 p.
- ANA-AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Relatório de segurança de barragens 2017**. Brasília, 2018. 81 p.
- AZAM, S.; LI, Q. Tailings dam failures: a review of the last one hundred years. **Geotechnical news**, v. 28, n. 4, p. 50-54, 2010.
- BOWKER, L. N.; CHAMBERS, D. M. The risk, public liability, & economics of tailings storage facility failures. **Earthwork Act**, p. 1-56, 2015.
- BRASIL. Ministério da Economia. Secretaria Especial de Previdência e Trabalho. Secretaria do Trabalho. Subsecretaria de Inspeção do Trabalho Superintendência Regional do Trabalho em Minas Gerais SEGUR. Seção de Segurança e Saúde do Trabalhador. **Relatório de análise de acidente de trabalho**: rompimento da barragem B I da Vale S.A. em Brumadinho/MG em 25/01/2019. Belo Horizonte, 2019. 238 p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Saúde ambiental**: guia básico para construção de indicadores. Brasília, 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Um ano do desastre da Vale Organização e resposta do Ministério da Saúde. **Boletim Epidemiológico**. Secretaria de Vigilância em Saúde, v. 51, n. esp., p. 1-35, jan. 2020.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência Social. **Relatório de análise de acidente rompimento da barragem de rejeitos fundão em Mariana, MG**. Brasília, 2016. 138 p.
- BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens-SNISB. Agência Nacional das Águas. **Relatório de segurança de barragens 2018**: cadastro de barragens. planilha excel. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2018>. Acesso em: 25 fev. 2020.
- BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens-SNISB. Agência Nacional das Águas. **Relatório de segurança de barragens 2017**: cadastro de barragens: planilha Excel. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2017>. Acesso em: 19 jun. 2019.
- BREDOW, S. M. S.; LÉLIS, M. T. C.; CUNHA, A. M. O ciclo de alta nos preços das commodities e a economia brasileira: uma análise dos mecanismos externos de transmissão entre 2002 e 2014. **Economia e Sociedade**, v. 25, n. 3, p. 695-731, 2016.
- CHAMBERS, D. M.; HIGMAN, B. Long term risks of tailings dam failure. **Center for Science in Public Participation**. Montana, p. 1-34, out. 2011.
- COMISSÃO PARLAMENTAR DE INQUÉRITO. **Relatório**: rompimento da barragem de Brumadinho. Brasília, 2019. 2287 p.
- DAVIES, M.; MARTIN, T. Mining market cycles and tailings dam incidents. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TAILINGS AND MINE WASTE, BANFF, A.B. 13., 2009. **Proceedings [...]**. 2009. Disponível em: <http://www.infomine.com/publications/docs/Davies2009.pdf>. Acesso em: 10 set. 2019.
- EBI, K. L.; HESS, J. J. The past and future in understanding the health risks of and responses to climate variability and change. **International Journal of Biometeorology**, v. 61, n. 1, p. 71-80, 2017.
- EMBRAPA. **Avaliação dos impactos causados ao solo pelo rompimento de barragem de rejeito de mineração em Mariana, MG**: apoio ao plano de recuperação agropecuária. Brasília, 2015.
- FEMA. **Inventário de barragem do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: FEMA, 2016. p. 54.

- FERNANDES, D. J. A Lama da Samarco e a saúde dos atingidos. *In*: TARCÍSIO, M. P.; POLIAGNANO, M. V.; ANDRADE, M. **Mar de lama da Samarco na bacia do rio Doce**: em busca de respostas. Belo Horizonte : Instituto Guaicuy, 2019. Cap. 10, p. 316.
- FERNANDES, G. W. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, v. 14, n. 2, p. 35-45, 2016.
- FREITAS, C. M. D. *et al.* Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva. **Cad. Saúde Pública [online]**, v. 35, n. 5, mar. 2019.
- FREITAS, C. M. de; BARCELLOS, C.(Coord.). Mudanças climáticas, redução de riscos de desastres e emergências em saúde pública nos níveis global e nacional. **Iniciativa Brasil saúde amanhã**: prospecção estratégica do sistema de saúde brasileiro. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2019. p. 119. Disponível em: <https://saudeamanha.fiocruz.br/wp-content/uploads/2020/02/FREITAS-CARLOS-et-al-Mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas-redu%C3%A7%C3%A3o-de-riscos-de-desastres-e-emerg%C3%Aancias-em-sa%C3%BAde-p%C3%BAblica.pdf>. Acesso em: 10 set. 2019.
- FREITAS, C.; GOMEZ, C. Análise de riscos tecnológicos na perspectiva das ciências sociais. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 3, n. 3, p. 485-504, 1996.
- FREITAS, C. M. D.; PORTO, M. F. D. S.; GOMEZ, C. M. Acidentes químicos ampliados: um desafio para a saúde pública. **Revista de Saúde Pública**, v. 29, p. 503-514, 1995.
- FREITAS, C. M.; SILVA, M. A. D. Acidentes de trabalho que se tornam desastres: os casos dos rompimentos em barragens de mineração no Brasil. **Rev Bras Med Trab**, n. 17, 2019.
- FREITAS, C. M. D.; SILVA, M. A. D.; MENEZES, F. C. D. O desastre na barragem de mineração da Samarco: fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. **Cienc. Cult**, v. 68, n. 3, p. 25-30, set. 2016.
- FUNTOWICZ, S.; RAVETZ, J. Post-normal science. **International Society for Ecological Economics. Internet Encyclopaedia of Ecological Economics**. 2003. Disponível em: <http://isecoeco.org/pdf/pstnormsc.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2020.
- GRUPO DA FORÇA-TAREFA. **Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da barragem de Fundão em Mariana-MG**. Belo Horizonte: Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional, Política Urbana e Gestão Metropolitana-Governo de Minas Gerais, 2016. p. 273.
- HELLER, L. Desastres de mineração e saúde pública no Brasil: lições (não) aprendidas. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 5, maio 2019. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00073619>.
- IBAMA. **Laudo técnico preliminar**: impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. IBAMA; MMA. Brasília, 2015. p. 38.
- IBAMA. **Nota Técnica nº 5/2019/NUBIO-MG/DITEC-MG/SUPES-MG**. [S.l.], 2019. p. 3.
- ICOLD. **Tailings dams**: risk of dangerous occurrences: lessons learnt from practical experiences. Paris: Commission Internationale des Grands Barrages, 2001.
- IGAM-INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Encarte especial sobre a qualidade das águas do Rio Doce após 3 anos do rompimento da barragem de fundão 2015-2018**. Belo Horizonte/MG: SEMAD, 2018. p. 65.
- IGAM-INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Informativo diário dos parâmetros de qualidade das águas nos locais monitorados ao longo do Rio Paraopeba, após o desastre na barragem B1 no complexo da Mina Córrego Feijão da Mineradora Vale/SA no município de Brumadinho – Minas Gerais. **Informativo nº 3**. [S.l.], 2019. p. 25.
- INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE. **Avaliação dos riscos em saúde da população de Barra Longa/MG afetada pelo desastre**. São Paulo, 2017. 217 p. Disponível em: <https://www.saudeesustentabilidade.org.br/wp-content/uploads/2017/04/Resumo>. Acesso em: 18 abr. 2017.

- KOSSOFF, D. E. A. Mine tailings dams: characteristics, failure, environmental impacts, and remediation. **Applied Geochemistry**, v. 51, p. 229-245, 2014.
- LLORY, M.; MONTMAYEUT, R. **O acidente e a organização**. Belo Horizonte, MG: Fabrefactum Editora, 2014. Disponível em: <http://renastonline.ensp.fiocruz.br/recursos/acidente-organizacao>. Acesso em: 25 fev. 2020.
- MILANEZ, B. *et al.* Minas não há mais: avaliação dos aspectos econômicos e institucionais do desastre da Vale na Bacia do Rio Paraopeba. **Versos: Textos para Discussão**, v. 3, n. 1, p. 1-114, 2019.
- MILANEZ, B.; MAGO, L.; PINTO, R. G. Da política fraca à política provada: o papel do setor mineral nas mudanças da política ambiental em Minas Gerais, Brasil. **Cad Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 5, maio 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-311x00051219>.
- MPF-MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. **Parecer Pericial nº 115/2016/6ªCCR: Impactos do desastre socioambiental causado pelo rompimento da Barragem do Fundão, em Mariana, sobre as comunidades indígenas Tupiniquim e Guarani das TIs. Caieiras Velhas II, Comboios e Tupiniquim**. [S.l.]: MPF, 2016. 25 p.
- NARVÁEZ, L.; ORTEGA, G. P.; LAVELL, A. **La gestión del riesgo de desastres: un enfoque basado en procesos**. Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina - PREDECAN. Lima, Perú: Secretaria General de la Comunidad Andina, 2009. p. 105.
- NEVES, M. *et al.* **Pesquisa sobre a saúde mental das famílias atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão em Mariana**. Belo Horizonte: Corpus, 2018.
- OPAS. **Desastres naturais e saúde no Brasil**. Brasília: OPAS, Ministério da Saúde, 2014. (Série Desenvolvimento sustentável e saúde, 2).
- OPAS. **La salud en las Américas**, 2002, v. 2. (Publicación Científica y Técnica, 587).
- PATÉ-CORNELL, M. E. Learning from the piper alpha accident: a postmortem analysis of technical and organizational factors. **Risk Analysis**, v. 12, n. 2, p. 215-232, 1993.
- PIMENTEL, T. MPF pede R\$ 155 bilhões em ação civil contra Samarco, Vale e BHP. **Desastre Ambiental em Mariana**. Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/minas-gerais/desastre-ambiental-em-mariana/noticia/2016/05/mpf-pede-r-155-bilhoes-em-acao-civil-contrasamarco-vale-e-bhp.html>. Acesso em: 10 set. 2019.
- RAMBOLL. **Avaliação do programa de reparação integral da Bacia do Rio Doce**. São Paulo, 2018. p. 48.
- RICO, M. *et al.* Reported tailings dam failures: a review of the European incidents in the worldwide context. **Journal of hazardous materials**, v. 2, n. 152, p. 846-852, 2008.
- ROBERTSON, M. Risk analysis: failure modes and effects analysis. In: SEMINÁRIO GESTÃO DE RISCOS E SEGURANÇA DE BARRAGENS DE REJEITOS, 2., 2012, Belo Horizonte-MG. **Anais [...]**. Belo Horizonte, MG: FMEA, 2012.
- RODRIGUES, L. Enchentes em rios afetados por lama da Samarco e da Vale preocupam MP. **Agência Brasil**, 2020. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2020-02/enchentes-em-rios-afetados-por-lama-da-samarco-e-da>. Acesso em: 08 fev. 2020.
- ROMÃO, A. *et al.* **Nota técnica: avaliação preliminar dos impactos sobre a saúde do desastre da mineração da Vale (Brumadinho, MG)**. Rio de Janeiro: Fiocruz - Observatório de Clima e Saúde, 2019. p. 21.
- SEDRU. **Força-tarefa: avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG**. Belo Horizonte/MG: Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional, Política Urbana e Gestão Metropolitana, 2016. p. 289.
- SILVA, A. P. (Coord.). **Estudo de avaliação de risco à saúde humana em localidades atingidas pelo rompimento da barragem do fundão – MG**. São Paulo: Ambios Engenharia e Processos, 2019. 369p.
- SILVA, M. A. *et al.* Sobreposição de riscos e impactos no desastre da Vale em Brumadinho. **Ciência e Cultura**, Belo Horizonte, 2020 (prelo).
- SILVA, E. L.; SILVA, M. A. Segurança de barragens e os riscos potenciais à saúde pública.

Saúde em Debate, Rio de Janeiro, v. 44, n. especial 2, 2020 (prelo).

SILVA, M.; XAVIER, D.; ROCHA, V. Do global ao local: desafios para redução de riscos à saúde relacionados a mudanças climáticas, desastre e Emergências em Saúde Pública.

Saúde em debate, Rio de Janeiro, 2020 (prelo).

SOS MATA ATLÂNTICA. **O retrato da qualidade da água nas bacias dos rios Paraopeba e Alto São Francisco após o rompimento da barragem Córrego do Feijão – Minas Gerais**. [S.l.]: Fundação SOS Mata Atlântica, 2019. p. 7.

THOMPSON, F. *et al.* Severe impacts of the Brumadinho dam failure (Minas Gerais, Brazil) on the water quality of the Paraopeba River. **Science of The Total Environment**, v. 705, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135914>.

UNISDR. **Bangkok principles for the implementation of the health aspects of the Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030**. [S.l.]: United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2016.

UNISDR. **Hyogo Framework for Action: 2005–2015**. Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2005.

UNISDR. **Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030**. [S.l.]: nited Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2015.

UNISDR. **Words into action man-made and technological hazards practical considerations for addressing man-made and technological hazards in disaster risk reduction**. Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2018. 66 p.

WANDERLEY, L. J. *et al.* Desastre da Samarco/Vale/BHP no Vale do Rio Doce: aspectos econômicos, políticos e socio ambientais. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 3, p. 30-5, 2016.

WHO. **Revision of the international health regulations**. [S.l.]: World Health Assembly (WHA), 2005.

WYNNE, B. Uncertainty and environmental learning: reconceiving science and policy in the preventive paradigm. **Global Environmental Change**, v. 2, n. 2, p. 111-127, 1992.

WYNNE, B. Unruly technology: practical rules, impractical discourses and public understanding. **Social Studies of Science**, v. 18, p. 147-167, 1988.

