

## **Avaliação de Risco a Rompimento da Represa de São Pedro, Juiz de Fora – MG, por meio dos Métodos de Árvore de Falhas e Causa e Consequência**

*Risk Assessment of the Rupture of São Pedro Dam, Juiz de Fora - MG, through the Fault Tree and Cause and Consequence Methods*

*Evaluación de Riesgos de la Ruptura de la Presa de São Pedro, Juiz de Fora - MG, a través de Métodos de Árbol de Fallas y de Causa y Consecuencia*

Virginia Amaralinda Calabrez Martins<sup>1</sup>

Ludmilla Alves Fernandes<sup>2</sup>

Geraldo César Rocha<sup>3</sup>

---

**RESUMO:** A atenção ao estudo e análise de risco cresce ao passo que crescem o número de eventos indesejáveis, que trazem prejuízos sociais e ambientais. No Brasil, os últimos anos foram marcados pela ocorrência de rompimento de barragens de rejeitos. Considerando o grande número, também, de barragens de água – utilizadas para variados usos, tais como abastecimento da população, irrigação e hidreletricidade, entre outros – torna-se importante o estudo e a análise de riscos que envolvem esses represamentos e suas barragens. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise de risco a rompimento da barragem da represa de São Pedro, no Município de Juiz de Fora, Minas Gerais. Metodologicamente, o trabalho foi realizado com base nos métodos de Árvore de Falhas (FTA) e Causa e Consequência (CCA). Ao findar das análises, embora tenha sido observado um cuidado no controle da vazão da represa, foram observados fatores que aumentam o risco da ocorrência de graves consequências a partir de um possível rompimento da barragem, como a ausência de um plano de emergência, alarmes e rotas de fuga.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise de riscos. Rompimento de barragem. Árvore de falhas.

**ABSTRACT:** Attention to risk study and analysis grows as the number of undesirable events increases, causing social and environmental damage. In Brazil, the last years have been marked by the occurrence of tailings dams rupture. Considering the large number of water dams - used for various uses, such as population supply, irrigation, hydroelectricity and others - it is important to study

---

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFJF - Universidade Federal de Juiz de Fora. Campus Universitário – Bairro Martelos - CEP 36036-900 - Juiz de Fora – MG. viamaralinda@gmail.com.

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFJF - Universidade Federal de Juiz de Fora. Campus Universitário – Bairro Martelos - CEP 36036-900 - Juiz de Fora – MG. ludmilla.fernandes@ich.ufjf.br.

<sup>3</sup> Departamento de Geociências da Universidade Federal de Juiz de Fora. Campus da Universidade Federal de Juiz de Fora - Rua José Lourenço Kelmer, S/Nº - São Pedro, Juiz de Fora - MG, 36036-900. geraldoroc@yahoo.com.br.

*and analyze the risks surrounding these dikes and their dams. In this sense, the present work has as objective to make a risk analysis to the rupture of the dam of São Pedro reservoir, in Juiz de Fora, Minas Gerais. Methodologically, the work was did based on the Fault Tree (FTA) and Cause and Consequence (CCA) methods. At the end of the analyzes, although care was taken to control the flow of the dam, factors were observed that increased the risk of serious consequences from possible dam disruption, such as the absence of an emergency plan, alarms and escape routes.*

**KEYWORDS:** *Risk analysis. Dam disruption. Fault tree.*

**RESUMEN:** *La atención al estudio y análisis de riesgo crece al paso que crecen el número de eventos indeseables, trayendo perjuicios sociales y ambientales. En Brasil, los últimos años fueron marcados por la ocurrencia de rompimiento de presas de residuos. Considerando el gran número, también, de presas de agua - utilizada para surtidos usos, tales como abastecimiento de la población, irrigación, hidroelectricidad, entre otros- tornase importante el estudio y análisis de riesgo que involucran esos embalses y sus presas. En este sentido, el presente trabajo tiene como finalidad hacer un análisis de riesgo de rompimiento de presa del embalse de São Pedro, en el municipio de Juiz de Fora, Minas Gerais. Metodológicamente, el trabajo fue realizado basado en los métodos de Árbol de Fallos (FTA) y Causa y Consecuencia (CCA). Al finalizar los análisis, aunque haya sido observado un cuidado en el control del vaciamiento del embalse, fueron observados factores que aumentan el riesgo de la ocurrencia de graves consecuencias a partir de un posible rompimiento del embalse, como la ausencia de un plan de emergencia, alarmas y rutas de escape.*

**PALABRAS-CLAVE:** *Análisis de riesgos. Interrupción de presas. Árbol de Fallos.*

---

## INTRODUÇÃO

Ao passo que cresce a ocorrência de eventos indesejados, cresce concomitantemente a necessidade de estudos e análises acerca dos riscos aos quais a sociedade e a natureza estão propensas. Como risco compreende-se a combinação da frequência, ou seja, o número de ocorrência de determinado acidente por período de tempo, com as consequências por ele geradas (ROCHA, 2005). Esses riscos podem ser classificados como naturais, tecnológicos e sociais, sendo possível ainda traçar ramificações dentro de cada um desses tipos.

Para Melo, Souza e Ross (2016) o risco somente é uma ameaça se há a possibilidade de afetar os sujeitos e se estes percebem essa ameaça como tal. Em Melo e Souza (2015), destaca-se que a relação do ser humano com a geomorfologia é muito antiga, pois é nela que se constroem as habitações, abrem caminhos para locomoção e fazem cultivos, entre outros. E é por isso que os impactos negativos causados por eventos podem ser agravados pelas atividades humanas.

No Brasil, têm-se observado nos últimos anos o aumento da discussão acerca dos riscos, sobretudo, tecnológicos. Isso pois tem crescido o número de eventos indesejáveis, sobretudo no que se refere ao rompimento de barragens, atentando a sociedade e gerando certa comoção social. Esses eventos têm ocorrido, em grande medida, em barragens de rejeitos, mas, considerando o papel desempenhado pelas barragens de água existentes no

país destinadas ao abastecimento da população, irrigação e hidreletricidade, entre outros usos, torna-se importante atentar para o estudo e a análise de risco de rompimento, também, destas.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo elaborar uma avaliação dos riscos de rompimento da barragem da Represa de São Pedro, no Município de Juiz de Fora – Minas Gerais, a partir dos métodos de Árvore de Falhas (Fault Tree Analysis - FTA) e de Causa e Consequência (Cause and Consequence – CCA). Ambos os métodos, inseridos em uma análise de riscos, tem por desígnio fornecer uma base para a avaliação da probabilidade de ocorrência de um evento e seus efeitos, como destacado por Rocha (2005), e possibilitar a seleção de medidas para a redução dos riscos a um nível aceitável.

A Represa de São Pedro torna-se uma interessante área de estudo uma vez que se insere na bacia hidrográfica do Córrego do São Pedro, uma das 156 sub-bacias que drenam a região urbana de Juiz de Fora - MG, e é responsável pelo abastecimento de cerca de 8% da população urbana do município. Além disso, a represa destaca-se no que se refere ao seu processo de ocupação. Segundo Rocha *et al.* (2018), a represa enfrenta problemas de incompatibilidade do uso e cobertura da terra, o que influencia diretamente na qualidade e disponibilidade da água.

## **UMA DISCUSSÃO SOBRE RISCOS E BARRAGENS**

O estudo e a gênese dos riscos acompanham a história da sociedade. Em séculos passados acreditava-se que a ciência poderia controlar, ou seja, prever e prevenir os desastres naturais. Entretanto, hoje, muitos dos riscos são gerados pela própria sociedade por meio do desenvolvimento científico e da técnica, no desenvolvimento de industriais, complexos nucleares e transgênicos, entre outros (VEYRET; RICHEMOND, 2007).

Marandola Júnior e Hogan (2006) afirmam que a vida cotidiana na contemporaneidade está cada vez mais carregada de riscos. Tem havido um aumento de eventos de todas as naturezas, magnitudes e consequências. Os autores reforçam que esse cenário é produzido pela degradação do meio ambiente, cada vez mais deteriorado, juntamente com a degradação social (o que os autores chamam de retrocessos dos ganhos sociais). Desta forma, os riscos são intensificados e os efeitos e as consequências ampliados.

Segundo Cerri e Amaral (1998) risco é toda situação de perigo que possa causar perdas e danos para o homem em razão de algum processo induzido ou não. Para Castro (2000) risco é a probabilidade de ocorrência de um perigo e este é ao mesmo tempo um fenômeno em potencial e o fenômeno em si – o evento. Marandola Júnior e Hogan (2004) reiteram que para os geógrafos o risco é uma situação no futuro que traz incerteza. Já para

Rocha (2005) o risco é uma combinação de frequências de certo evento com consequências indesejadas, envolvendo perdas e danos.

Rodrigues (2016) caracteriza o risco como sendo aquele causado pela força da natureza. A autora também afirma que em uma análise de risco não se prevê algo, pois nem sempre os lugares estão sob mesmas condições físicas, mas deve-se sim construir cenários de prevenção. Assim, a amplitude das perdas e dos danos causados pelos desastres dependerá da magnitude das causas e das características do território em que este ocorrerá.

Há inúmeras formas de classificar os riscos com base no potencial de perdas e ganhos. Cerri e Amaral (1998) classificam os riscos em três categorias: riscos naturais, subdivididos em riscos físicos (geológico, atmosférico e hidrológico) e em riscos biológicos (associados à fauna e a flora). Os autores ainda classificam riscos tecnológicos e riscos sociais, compreendidos a partir do dano que uma sociedade pode causar ou intensificar. De acordo com Rocha (2005) as cidades são mais propensas a sofrerem com os riscos sociais, divididos em riscos individuais (um indivíduo tem seu próprio risco) ou em grupos de risco (grupo de pessoas sujeitas à ameaça da ocorrência de determinado evento ou fenômeno).

Isto posto, se faz necessária uma gestão de desastres a partir de uma gestão dos riscos feita com base em uma análise do risco, análise essa que, para Castro, Peixoto e Rio (2005), consiste na utilização de informações para estabelecer o risco para a população, propriedade e ambiente. Para os autores, a análise deve seguir as seguintes etapas: definição do objetivo, identificação do perigo e, por fim, a determinação do risco.

Para Rocha (2005), a gestão do risco deve ser interdisciplinar e interinstitucional com ampla participação da sociedade civil e política, funcionando de maneira preventiva e reconstrutiva. Rocha (2005) defende que essa gestão deve ser uma atividade contínua e conter todas as fases do ciclo de um desastre, sendo essas: prevenção, mitigação, resposta ao evento e reconstrução. Desta maneira, é preciso que se tenha uma cultura de segurança de risco, uma legislação efetiva e estudos de impacto ambientais para que seja possível estabelecer uma aceitabilidade e convivência com o risco.

Atualmente, as questões que envolvem os riscos, sobretudo, tecnológicos, e sua gestão, tem se destacado no Brasil, uma vez que o país parece estar colhendo os frutos de décadas de negligência e secundarização da preocupação ambiental. Essa situação tem se agravado com os eventos ocorridos a partir de 2015 na região de Mariana, Minas Gerais, quando do rompimento da barragem de rejeitos da empresa Samarco.

No entanto, é importante destacar que a água utilizada pela sociedade, seja para produção de energia, consumo, irrigação e recreação, entre outros, é, em grande parte, garantida por barragens construídas ao longo dos corpos hídricos. Segundo a (ANA) Agência Nacional de Águas (2019), as barragens são estruturas físicas que represam um

curso d'água e seus usos variam entre acumulação de água, hidroeletricidade, disposição final ou temporária de rejeitos minerais e disposição de rejeitos industriais. O (CBDB) Comitê Brasileiro de Barragens (2019) demonstra que, historicamente, as barragens desempenham papel fundamental como fonte confiável de água para a reprodução da vida ao longo dos últimos cinco mil anos, de acordo com registros arqueológicos baseados em investigações de ruínas e observação de estruturas ainda em funcionamento.

Quanto às barragens de água, utilizadas tanto para consumo quanto para hidroeletricidade, Collischonn (1997) destaca que o rompimento pode gerar grandes prejuízos, uma vez que aumentar rapidamente a vazão à jusante pode resultar em danos ambientais e sociais, caso haja ocupação humana. O autor salienta ainda que se os danos econômicos podem ser previstos no projeto de construção da barragem, os danos sociais, considerando as perdas de vidas humanas, é inaceitável. Viseu (2013), ao discutir o risco que afeta o vale à jusante da barragem, sintetiza-o na seguinte equação:

$$R_{v\grave{a}le} = P(\text{Evento}) \times P(\text{rotura/Evento}) \times P(N/\text{rotura}) \times N \text{ (Equação 1)}$$

Onde  $P(\text{Evento})$  consiste na probabilidade de ocorrência de um evento adverso,  $P(\text{rotura/Evento})$  a probabilidade de ocorrência do rompimento da barragem e, por fim,  $P(N/\text{rotura})$  consiste na probabilidade condicionada da ocorrência de  $N$  perdas dada a ocorrência do rompimento da barragem. Isto posto, percebe-se que para uma avaliação de risco de rompimento de barragem é necessário considerar variáveis para além da barragem, propriamente dita.

## **CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SÃO PEDRO E DA REPRESA HOMÔNIMA**

O município de Juiz de Fora está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna, um dos afluentes do rio Paraíba do Sul. Localiza-se na Região da Mantiqueira Setentrional com média de 800 a 900 metros de altitude. Está inserido geologicamente no contexto do segmento central da Faixa Ribeira, na borda sul/sudeste do Cráton do São Francisco (DUARTE, 1998).

Rocha (2005), de acordo com dados do (CPRM) Serviço Geológico do Brasil (2003), elucida que a área urbana do município assenta-se sobre rochas diversas, destacando-se a presença de duas grandes formações: o Complexo Juiz de Fora a sudeste e o Complexo da Mantiqueira ao norte. Essas unidades, caracterizadas por uma grande variedade de rochas metamórficas (que foram, ao longo do tempo, submetidas à inúmeros processos de dobramentos, falhamentos e fraturamentos), separam-se por um extenso sistema de falhamentos de empurrão, o que confere à área uma significativa fragilidade geológica.

Segundo o mesmo autor, quanto aos solos, constata-se a presença de Latossolos vermelho- amarelos álicos e distróficos, Cambissolos e Neossolos distróficos e Gleissolos.

Quanto à geomorfologia, observa-se que o relevo é bastante dissecado, tornando-se acidentado, declivoso e de aspecto serrano. Este se apresenta bastante instável, condição favorável para acontecimentos de movimentos de massas e alta ocorrência de erosão laminar nos topos de morros (GUIMARÃES; DIAS; FELIPPE, 2018). Rocha cita, ainda, as formas convexas das vertentes, que origina planícies intermontanas e anfiteatro (associados a processos erosivos). “A rede hidrográfica se encontra encaixada nos diversos lineamentos estruturais que recorta a área” (ROCHA, 2005, p. 56). Possui ainda uma cobertura vegetal composta por pastagem e capoeira, além de uma ocupação humana bem intensa nos arredores da represa.

No que se refere ao clima, o município encontra-se na região de tipo climático definido como Tropical de Altitude, segundo Pimentel (2017). De acordo com Torres (2006, p. 162), “[...] o clima de Juiz de Fora apresenta duas estações bem definidas: uma que vai de outubro a abril, com temperaturas mais elevadas e maiores precipitações pluviométricas, e outra de maio a setembro, mais fria e com menor presença de chuvas”. A região possui um alto índice pluviométrico (média de 1572,8 milímetros anuais), com encostas íngremes e vales profundos, o que possivelmente age como uma das causas de uma intensa dinâmica superficial.

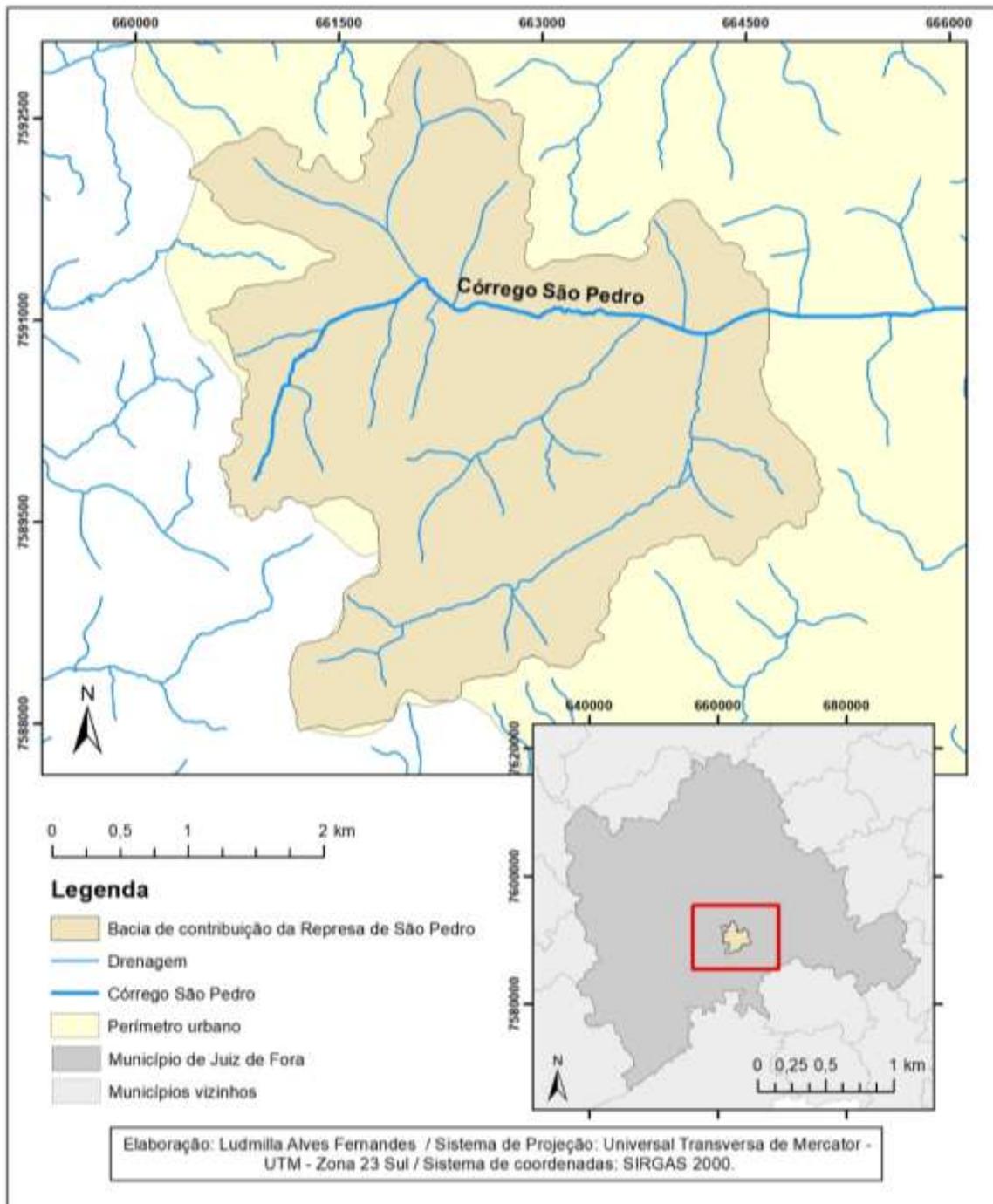
Juiz de Fora teve seu crescimento atrelado à produção de café e condicionado pela sua posição favorável entre Vila Rica e o porto da cidade do Rio de Janeiro. Foi a partir de aberturas de vias, como estradas e ferrovias, que se deu a ocupação da cidade, começando pela margem esquerda do rio Paraibuna, principal rio que corta a cidade (MACHADO, 2016).

É nesse contexto que está inserida a área de estudo do presente trabalho: a represa de São Pedro, também conhecida como Represa dos Ingleses e/ou Represa do Cruzeiro de Santo Antônio. O córrego São Pedro e o córrego da Grota do Pinto são os principais afluentes da represa, pertencente à bacia hidrográfica do córrego São Pedro. Esta é classificada, pelo método Strahler, como uma bacia de 4ª ordem. Além disso, possui altitudes entre 680 e 1000 metros e uma declividade acentuada, o que propicia o aumento dos processos de erosão e a velocidade do escoamento superficial (MACHADO, 2010).

Localizada na zona oeste da cidade, chamada de Cidade Alta, a bacia hidrográfica do córrego São Pedro (figura 1) passa a sofrer com a expansão urbana intensificada a partir das décadas de 1960 e 1970, com a construção de grandes equipamentos urbanos de transporte, lazer e educação, como o aeroporto, a Universidade Federal de Juiz de Fora e o estádio municipal. Além disso, com o saturamento do centro houve um grande incentivo à ocupação dessa área, sobretudo, com a construção da Avenida Independência (hoje, Avenida Itamar Franco) e medidas tomadas pela Prefeitura Municipal de Juiz de Fora para

efetivar ocupação a partir da descentralização de serviços e moradias. (MACHADO, 2010). Desta forma, a região atrai até hoje um grande contingente populacional, principalmente de classes mais altas e, além disso, observa-se um aumento consistente da especulação imobiliária (LATUF, 2004; MACHADO, 1998).

**Figura 1** – Mapa de localização da bacia hidrográfica de contribuição da represa de São Pedro, em Juiz de Fora, MG



Fonte: IBGE (2019).

Para Latuf (2004), quando há um crescimento urbano intenso cresce também a demanda por serviços públicos, que muitas vezes os órgãos públicos não conseguem suprir. E assim há uma grande pressão nos corpos hídricos quando muitos passam a ser receptores diretos de esgoto e passam por um aumento do represamento de alguns canais para o abastecimento da população. Esse processo pode ser observado na área da represa de São Pedro. Segundo a (CESAMA) Companhia de Saneamento Municipal (2019), essa é ameaçada por um processo de degradação gerado por atividades e ocupações concentradas ao longo das planícies de inundação. Além disso, observam-se assoreamentos intensos em época de estiagem, quando a vazão é muito reduzida.

A represa de São Pedro, um dos três reservatórios de água da cidade de Juiz de Fora, foi construída em 1949 com o intuito de suprir as necessidades industriais e com o crescimento da região passou a compor o sistema de abastecimento público municipal em 1967. De acordo com a Companhia de Saneamento Municipal (2019), a Estação de Tratamento de Água (ETA) instalada no local produz cerca de 120 litros de água por segundo, variando de acordo com o nível da represa. Isso representa o abastecimento de aproximadamente 8% do município, principalmente das regiões oeste e sul.

A distribuição da água da represa é feita pela a força da gravidade a partir de uma adutora, possível porque a represa se encontra na parte mais elevada da bacia (alto curso). A barragem para o represamento é de terra, com seu maciço de 200 metros de comprimento e 5 metros de altura, coberta por uma camada superficial de concreto, como se observa na figura 2. Já a represa possui uma profundidade média de 1.2 metros e aproximadamente 400.000 metros cúbicos de volume. Para o controle da vazão, constam seis ladrões e dois extravasadores (figuras 3 e 4).

O assoreamento é um dos maiores problemas enfrentados na represa, sendo esse gerado e intensificado a partir construção da BR 040 (Rodovia Presidente Juscelino Kubitschek) e pelo aumento da ocupação urbana dos arredores, aumento de desmatamento e construções de fossas sépticas nas margens desse manancial. Essas características também contribuem para a degradação das águas da bacia, podendo afetar a represa. Rocha e Costa (2015) destacam que a proximidade da rodovia BR 040, do Centro de Convenções Expominas e do Condomínio Alphaville ao corpo d'água principal contribuem para supressão da vegetação ciliar, o assoreamento e a emissão in natura de esgotos domésticos prejudicando a qualidade da água para abastecimento público da região.

**Figura 2** - Barragem da represa de São Pedro



Fonte: Ludmilla Fernandes (2019).

**Figura 3** - Extravassador de controle da represa de São Pedro



Fonte: Ludmilla Fernandes (2019).

**Figura 4** - Ladrão de controle da barragem de São Pedro



Fonte: Ludmilla Fernandes (2019).

## METODOLOGIA

Para analisar o risco de rompimento da barragem da represa de São Pedro e suas possíveis consequências, neste trabalho utilizou-se os métodos de Árvore de Falhas (Fault Tree Analysis – FTA) e a Análise de Causa e Consequência (Cause and Consequence – CCA).

A Árvore de Falhas consiste em um diagrama lógico que mostra as inter-relações entre um potencial evento e razões para a sua ocorrência a partir de portas lógicas. Essas

razões podem ser condições ambientais, falhas humanas e eventos normais, entre outros (CABRAL *et. al.*, 2017; ROCHA, 2005). Para Pimenta (2009, p. 480) “[...] trata-se de um método dedutivo que a partir de uma determinada falha procura identificar todas as sequências e combinações de eventos (até os acontecimentos iniciadores) que podem conduzir à sua ocorrência”. De acordo com Rausand e Hoyland (2004, p. 96):

A fault tree is a logic diagram that displays the interrelationships between a potential critical event (accident) in a system and the causes for this event. The causes may be environmental conditions, human errors, normal events (events that are expected to occur during the life span of the system) and specific components failures.

Essa metodologia facilita observar a totalidade do funcionamento de um sistema e suas possíveis falhas na estrutura e nos processos, uma vez que consiste em um registro organizado de todos os eventos que podem ocasionar falhas. Por esse motivo, ela é bastante usada para dados de monitoramento, pois sua estrutura gráfica revela as fragilidades do sistema, caracterizando-a como uma ferramenta de fácil interpretação, tanto qualitativa quanto quantitativa. Devido às previsões presentes na Árvore de Falhas é possível usá-la para auxiliar os órgãos públicos e as instituições privadas na tomada de decisão na gestão do risco (BANDO; MARQUES; PATIAS, 2015).

Já a metodologia de Causa e Consequência consiste em um diagrama que demonstra as possíveis consequências a partir da ocorrência de determinado evento, ou seja, o evento de topo. Para essa análise são delineadas barreiras de segurança utilizadas (existentes ou não) para prevenir a ocorrência do evento ou reduzir as consequências caso ocorra o evento. Essas barreiras, por sua vez, só podem ser traçadas após uma análise da Árvore de Falhas (ROCHA, 2005). Sobre a análise de Causas e Consequências considera-se que:

Cause-consequence analysis (CCA) is a blend of fault tree and event tree analysis. This technique combines cause analysis (described by fault trees) and consequence analysis (described by event trees), and hence deductive and inductive analysis is used. The purpose of CCA is to identify chains of events that can result in undesirable consequences. With the probabilities of the various events in the CCA diagram, the probabilities of the various consequences can be calculated, thus establishing the risk level of the system (N.E.M. BUSINESS SOLUTIONS, 2019).

Metodologicamente, o trabalho foi subdividido em três etapas: pesquisa bibliográfica, trabalho de campo e construção da análise do risco. Quanto ao trabalho de campo, este foi realizado em dois momentos. Em um primeiro momento, não houve a entrada nas instalações da represa. Entretanto, foi possível observar como é feito o controle da vazão, as condições físicas da barragem e também a utilização da terra em seus arredores. Em um segundo momento, foi feito um acompanhamento da leitura dos piezômetros (figura 5) e

observadas, mais de perto, as condições físicas, as questões do preparo para um possível rompimento, como é feito o controle da vazão, entre outros aspectos.

**Figura 5** – Leitura de um dos piezômetros da barragem de São Pedro



**Fonte:** Ludmilla Fernandes (2019).

De posse das informações coletadas nos trabalhos de campo, foram construídos os diagramas da Árvore de Falhas e Causa e Consequência. A Árvore de Falhas foi elaborada a partir do evento topo “Rompimento da barragem da represa de São Pedro”, seguindo nos demais níveis elencando as possíveis causas para a culminância desse evento. Seguiu-se traçando as causas de cada evento até chegar às falhas básicas.

Já o diagrama de Causa e Consequência foi feito a partir da suposição da ocorrência do evento topo, ou seja, o rompimento da barragem da represa de São Pedro. Posteriormente, foram definidas as barreiras de segurança para redução de danos como um sistema de segurança com resposta rápida, tais como alarmes, monitoramento e métodos para diminuir os efeitos, dentre outros. Por fim, foi montado o diagrama mostrando o desenvolvimento cronológico, a começar pelo evento e posterior inserção das possíveis barreiras utilizadas para a diminuição das consequências negativas. A partir da ramificação das barreiras, respondendo se elas funcionaram ou não, essas foram avaliadas qualitativamente: se a ramificação direciona-se para a esquerda compreende-se que há eficiência no sistema e a área de estudo sofreria pequenas consequências a partir da ocorrência do evento; se caminha para a direita compreende-se que o sistema é falho e a área de estudo sofreria graves consequências a partir da ocorrência do evento, e se a ramificação se mantém ao centro compreende-se que as consequências seriam médias a partir da ocorrência do evento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do método de Árvore de Falhas foram detectadas oito potenciais causas para o evento de primeiro nível (rompimento da barragem de São Pedro), ou seja, oito causas no segundo nível da árvore. A saber: aumento da carga hídrica, entupimento dos ladrões, falha estrutural da barragem, tremores de terra, erosão interna da barragem, queda de aeronaves, evento extremo de precipitação e por fim movimentos de massa.

A partir dos eventos do segundo nível, abrem-se outros níveis que apresentam causas (que também são eventos em si mesmos) e assim por diante. No presente trabalho foram identificados os eventos até o quinto nível, como mostra a figura 6 indicando os símbolos presentes na figura 7.

Uma primeira possível causa para o rompimento da barragem consiste no aumento da carga hídrica, derivada do rompimento de pequenos açudes e represas que se localizam à montante da represa, estas muitas vezes construídas por proprietários de terra e, na maioria das vezes, feitas sem supervisões técnicas. Constata-se que essas construções inadequadas de pequenas barragens somente são possíveis com a falta de fiscalização dos órgãos públicos e também de conscientização e educação ambiental da população.

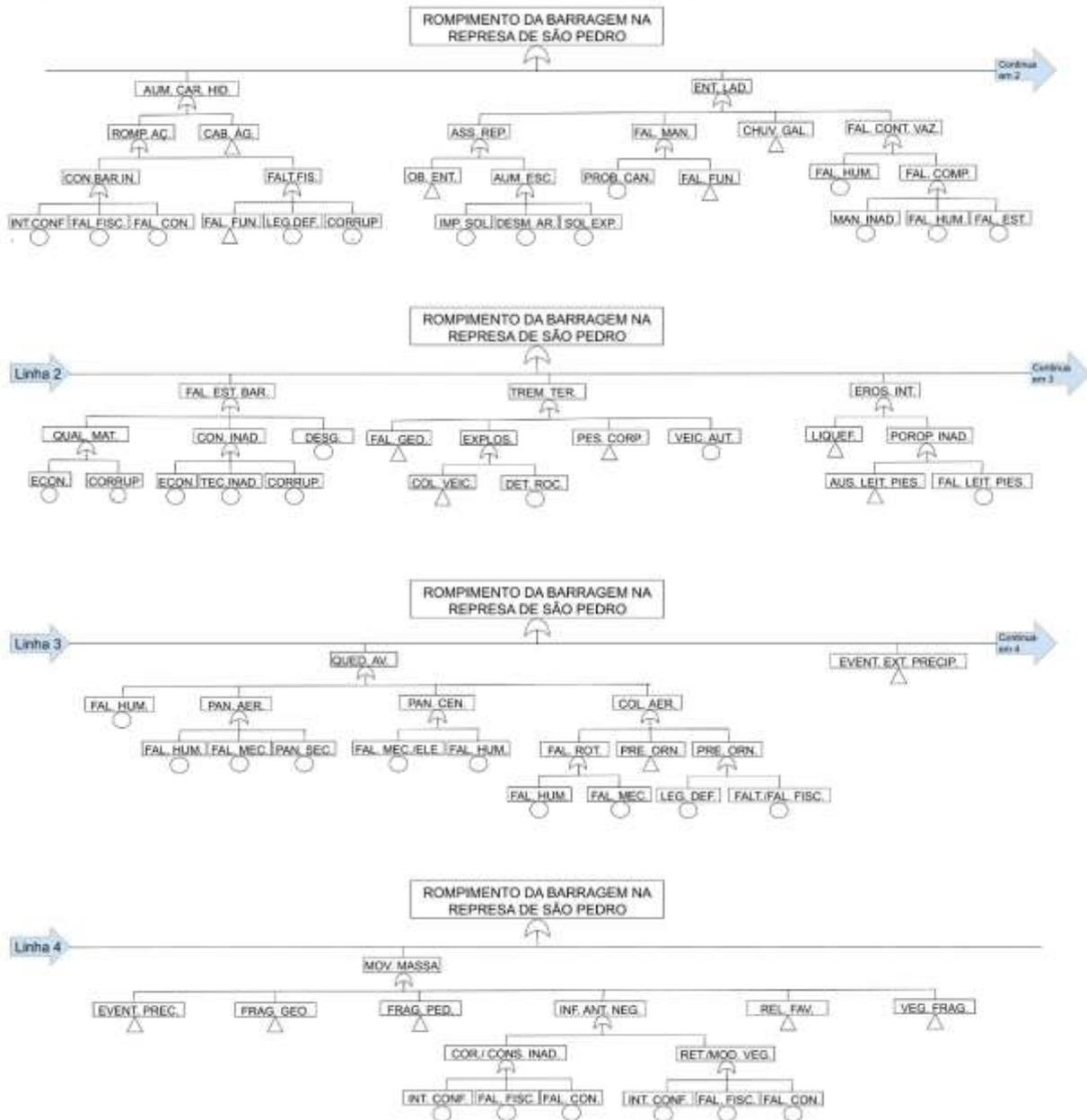
Os ladrões são mecanismos utilizados para controlar o transbordamento da água e, dessa forma, evitar o excesso de água. O entupimento dos ladrões pode causar efeitos diversos na represa, até mesmo romper a barragem. Observa-se nas figuras 6 e 7 que uma das causas para a ocorrência do entupimento consiste no assoreamento (aumento de sedimentos e partículas na represa), que pode ser provocado por aumento do escoamento superficial, impermeabilização do solo pela urbanização, retirada inadequada da vegetação ciliar etc. Por outro lado, o entupimento dos ladrões pode ocorrer devido à falta de manutenção destes, seja por problemas de canalização e/ou falta de funcionários e, ainda, pode derivar de alguma falha na manutenção da vazão – estrutural ou humana. Além disso, em períodos de chuvas intensas há um aumento da capacidade de transporte dos rios que abastecem a represa podendo carregar mais galhos de árvores e sedimentos e estes impedirem o funcionamento correto dos ladrões.

Ademais, uma série de causas envolve a própria estrutura da represa e da barragem, como construção inadequada, uso de técnicas inapropriadas, utilização de materiais de baixa qualidade visando a economia e, também, o próprio desgaste causado pelo tempo. Por isso, é importante salientar que é necessária uma manutenção constante da estrutura da barragem.

Uma terceira possível causa são os tremores de terra, originados tanto de falhas geológicas quanto de explosões e o próprio peso dos corpos d'água. Considerando a localização da represa de São Pedro, é possível pensar também na ocorrência desses

pequenos tremores de terra, que podem impactar a estrutura da barragem. Por estar localizada próxima a estradas e áreas urbanas, apresenta o risco de ocorrência de explosões advindas de colisão de veículos ou de detonação de rochas, por exemplo. Além do que a própria passagem constante de veículos automotivos, principalmente ônibus e caminhões, pode causar rachaduras na barragem e, conseqüentemente, seu rompimento.

**Figura 6** – Árvore de Falhas para o rompimento da barragem da represa de São Pedro



**Fonte:** adaptado de Cabral *et al.* (2017), Rocha (2005) e trabalho de campo (2019), por Virginia Martins e Ludmilla Fernandes (2019).

Outra grande causa de rompimento de barragens consiste na erosão interna provocada por liquefação (exemplo do caso do rompimento da barragem de rejeito da Vale na cidade de Brumadinho – MG) e uma poropressão inadequada. Para que ocorram esses

dois eventos é preciso que aconteça uma falha na leitura dos piezômetros ou até a ausência dela. A leitura dos seis piezômetros instalados na represa de São Pedro é feita com regularidade, o que diminui o risco de ocorrência dos processos apontados anteriormente. Essa é feita com a utilização de uma fita métrica, possibilitando a avaliação do nível de água. Por meio de conversas informais, nota-se que há uma diferenciação nos níveis dos piezômetros instalados em diferentes lugares da represa. No entanto, essa situação é considerada normal, uma vez que se mantém estável.

**Figura 7** – Legenda da Árvore de Falhas para o rompimento da barragem da represa de São Pedro

**LEGENDA – ÁRVORE DE FALHAS**

AUM. CAR. HID.: Aumento da carga hídrica.  
 ROM. AÇ.: Rompimento de pequenos açudes a montante  
 CON. BAR. IN.: Construção de barragens inadequadas.  
 INT. CONF.: Interesses próprios conflitantes.  
 FAL. FISC.: Falta de fiscalização.  
 FAL. FS.: Falta de fiscalização.  
 FAL. FUN.: Falta de funcionários.  
 LEG. DEF.: Legislação deficiente.  
 CORRUP.: Corrupção.  
 CAB. ÁG.: Cabeça d'água.  
 ENT. L.: Entupimento dos ladrões.  
 ASS. REP.: Assoreamento da represa.  
 OB. ENT.: Obras no entorno da barragem.  
 AUM. ESC.: Escocamento superficial.  
 IMP. SOL.: Impermeabilização do solo no entorno da barragem.  
 DESM. AR.: Desmatamento nos arredores da barragem.  
 SOL. EXP.: Solos expostos e/ou pouco permeáveis.  
 FAL. MAN.: Falta de manutenção.  
 PROB. CAN.: Problemas na canalização.  
 FAL. FUN.: Falta de funcionários.  
 CHUV. GAL.: Chuva forte com carregamento de galhos.  
 FAL. CONT. VAZ.: Falha no controle da vazão.  
 FAL. HU.: Falha humana.  
 FAL. COM.: Falha nas comportas.  
 MAN. INAD.: Manutenção inadequada.  
 FAL. HUM.: Falha humana.  
 FAL. EST.: Falha estrutural.  
 FAL. EST. BAR.: Falha estrutural da barragem.  
 QUAL. MAT.: Uso de materiais de baixa qualidade.

ECON.: Economia.  
 CORRUP.: Corrupção.  
 CON. INAD.: Construção inadequada da barragem.  
 ECON.: Economia.  
 TEC. INAD.: Uso de técnicas inadequadas.  
 CORRUP.: Corrupção.  
 DESG.: Desgaste pelo uso e pelo tempo.  
 TREM. TER.: Tremor de terra.  
 FAL. GEO.: Falha geológica.  
 EXPLOS.: Explosão.  
 COL. VEIC.: Colisão entre veículos.  
 DET. ROC.: Detonação de rochas.  
 PES. CORP.: Peso do corpo d'água.  
 VEIC. AUT.: Passagem constante de veículos automotores.  
 EROS. INT.: Erosão interna.  
 LIQUEF.: Liquefação.  
 POROP. INAD.: Poropressão inadequada.  
 AUS. LEIT. PIEZ.: Ausência de leitura de piezômetro.  
 FAL. LEIT. PIEZ.: Falha na leitura de piezômetro.  
 QUED. AV.: Queda de aeronaves.  
 FAL. HUM.: Falha Humana  
 PAN. AER.: Pane elétrica da aeronave.  
 FAL. HUM.: Falha humana.  
 FAL. MEC.: Falha mecânica.  
 PAN. SEC.: Pane seca.  
 PAN. CEN.: Pane no centro de comando.  
 FAL. MEC./ELE.: Falha mecânica e/ou eletrônica.  
 FAL. HUM.: Falha humana.  
 COL. AER.: Colisão aérea.  
 FAL. ROT.: Falha no planejamento ou execução das rotas.  
 FAL. HUM.: Falha humana.  
 FAL. MEC.: Falha mecânica.  
 PRE. ORN.: Presença de ornitofauna.  
 PRE. OBJ.: Presença de objetos aéreos.  
 LEG. DEF.: Legislação deficiente.  
 FALT./FAL. FISC.: Falta ou falha de fiscalização.

ECON.: Economia.  
 CORRUP.: Corrupção.  
 CON. INAD.: Construção inadequada da barragem.  
 ECON.: Economia.  
 EVENT. CHUV.: Evento extremo de precipitação.  
 MOV. MASSA: Movimento de Massa  
 EVENT. PREC.: Evento de precipitação.  
 FRAG. GEO.: Fragilidade geológica.  
 FRAG. PED.: Fragilidade pedológica.  
 INF. ANT. NEG.: Influência antrópica negativa.  
 COR./CONS. INAD.: Corte do terreno e/ou construções inadequadas.  
 INT. CONF.: Interesses próprios conflitantes.  
 FAL. FISC.: Falta de fiscalização.  
 FAL. CON.: Falta de consciência e educação ambiental.  
 RET./MOD. VEG.: Retirada e/ou modificação da vegetação.  
 INT. CONF.: Interesses próprios conflitantes.  
 FAL. FISC.: Falta de fiscalização.  
 FAL. CON.: Falta de consciência e educação ambiental.  
 REL. FAV.: Ralevo favorável.  
 VEG. FRAG.: Vegetação frágil e/ou pouco protetora.

**LEGENDA DE SÍMBOLOS**

 Ocorrência de um dos eventos.  
 Não requer detalhamento.  
 Sem maiores informações.  
 Evento.

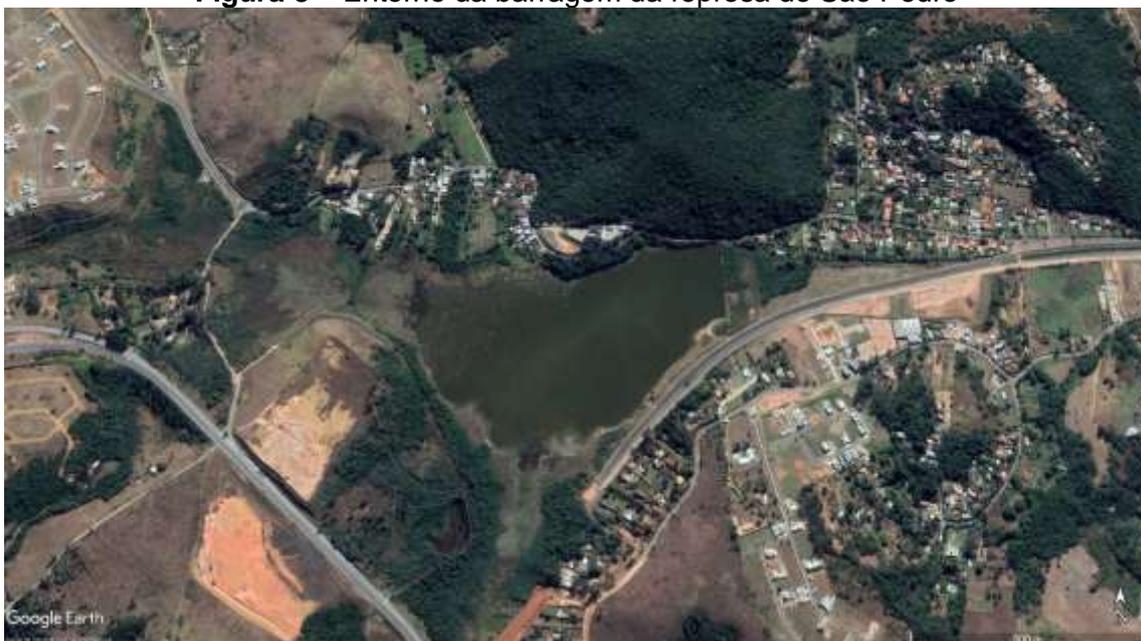
**Fonte:** adaptado de Cabral et al. (2017), Rocha (2005) e trabalho de campo (2019) por Virginia Martins e Ludmilla Fernandes (2019).

A Represa de São Pedro se encontra na região oeste da cidade de Juiz de Fora onde também está localizado o Aeroporto Municipal Francisco Álvares de Assis com alguns voos nacionais e onde também funciona um aeroclube. Está a uma distância em torno de cinco quilômetros da represa, sendo assim possível a ocorrência de acidentes aéreos como a queda de aeronaves. Fatores que podem contribuir para esse evento estão relacionados com falhas técnicas e falhas humanas na aeronave e também na central de controle. Além disso, há grandes chances da colisão das aeronaves com a ornitofauna e assim como com outros objetos aéreos (VANT's, balões e outras aeronaves, por exemplo).

Quanto à influência climática na probabilidade de ruptura da barragem é sabido que chuvas intensas podem aumentar a vazão da represa e conseqüentemente aumentar a pressão exercida sobre a barragem, podendo ocasionar seu rompimento. Por isso, é importante atentar-se para a ocorrência de eventos extremos de precipitação. Oliveira *et al.* (2019), ao fazerem uma análise dos eventos extremos de precipitação em Juiz de Fora no período de 1972-2018 a partir dos dados da estação meteorológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), demonstram que esses ocorrem pelo menos uma vez em todos os anos, sobretudo nos meses de novembro, dezembro e janeiro, deflagrando impactos negativos no espaço urbano da cidade.

Rocha *et al.* (2018) mostram em seu mapa de uso e ocupação da bacia hidrográfica do córrego São Pedro que há áreas de vegetação e pastagem conjugadas com áreas urbanas bem próximas à represa. O uso e ocupação torna-se um fator ao passo que é responsável pela modificação e artificialização de áreas naturais em vários níveis, impactando na diminuição da vegetação, modificação dos cursos d'água e poluição, entre outros. Na figura 8 é possível observar essa caracterização do entorno. Considerando essa realidade, a retirada da vegetação fragiliza o solo, podendo ocorrer uma movimentação de terra, principalmente em períodos mais chuvosos, onde sua capacidade de infiltração poderá não ser suficiente para drenar a água da chuva. Além disso, a represa encontra-se alocada em uma área com declividade mais acentuada, o que favorece naturalmente a movimentação de massa.

**Figura 8** – Entorno da barragem da represa de São Pedro



Fonte: Google Earth (2019).

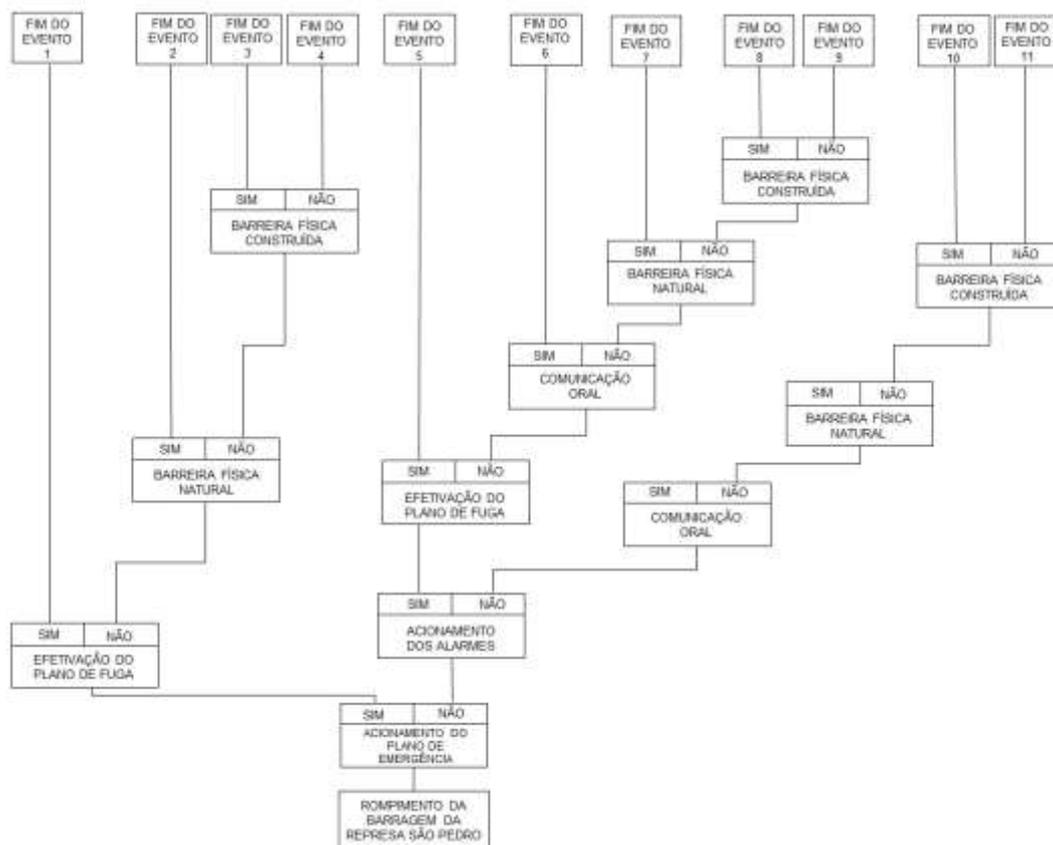
o findar da construção e da Análise da Árvore de Falhas, é importante destacar a presença da falta de fiscalização e manutenção, bem como a possível ocorrência de corrupção e a questão dos interesses conflitantes, como possíveis causas dos eventos em todo o processo. A falta de fiscalização e os interesses conflitantes entre o público e o privado fazem por agravar a situação, aumentando a retirada da vegetação, cortes irregulares e a impermeabilização do solo, entre outros aspectos. Em campo foi possível observar casas ocupando as margens do córrego à jusante da barragem. Os moradores dessas casas serão os primeiros a serem impactados por um possível rompimento da barragem, como observado na figura 8. Cabe ressaltar aqui que os movimentos de massa podem aumentar a pressão na barragem e assim rompê-la.

Já a partir do método de Causa e Consequência, o diagrama foi construído considerando seis barreiras hipotéticas a serem ativadas a partir do evento, a saber: acionamento do plano de fuga, efetivação do plano de fuga, acionamento dos alarmes, comunicação oral, barreira física natural e barreira física construída. A partir dessas barreiras, foram elaborados 11 possíveis caminhos até o fim do evento, que podem ser observados na figura 9.

Ao fazer a leitura do diagrama é importante considerar o fator tempo, pois a efetivação das barreiras delineadas ali demora um período de tempo que se torna crucial quando se pensa nos riscos e nas possíveis perdas e danos derivados do evento. Então, os 11 caminhos foram divididos em três grupos, a depender do grau e intensidade das possíveis consequências e considerando o fator tempo. São eles: do fim do evento 1 ao fim do evento 4 classificou-se como baixas ou pequenas consequências; do fim do evento 5 ao fim do evento 9, classificou-se como médias consequências, e; por fim, o fim do evento 10 e o fim do evento 11 classificou-se como graves consequências.

Quanto ao acionamento e efetivação do plano de fuga ou evacuação, a partir de conversas informais durante os trabalhos de campo observou-se a ausência de um plano e de preparo para agir a partir da ocorrência do rompimento. A existência desse mecanismo de ação emergencial é fundamental uma vez que é a partir dele que os danos sociais serão minimizados. Com a ausência do plano, tem-se, por consequência, a ausência também de alarmes e barreiras físicas construídas, o que aumenta o risco de perdas e danos para a população que reside e vive no entorno, bem como para a fauna e flora.

Assim sendo, no caso estudado, as barreiras que teriam certo grau de efetividade seriam a comunicação oral e a barreira física natural, ou seja, a própria conformação do relevo enquanto barreira. Essa soma de ausências das barreiras do plano de fuga e alarmes faz com que, caso ocorra o rompimento da barragem, a população sofra graves consequências, considerando a divisão de grupos estabelecida aqui.

**Figura 9** – Diagrama de Causa e Consequência para o rompimento da barragem da represa de São Pedro

**Fonte:** adaptado de Cabral et. al. (2017), Rocha (2005) e trabalho de campo (2019), por Virginia Martins e Ludmilla Fernandes (2019).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos sobre os riscos de rompimento de barragens no Brasil vêm aumentando consideravelmente, principalmente após os eventos ocorridos nas barragens da Samarco e da Vale (Mariana e Brumadinho – MG, respectivamente), enfatizando a importância da gestão dos riscos e uma política de segurança efetiva. A barragem da represa de São Pedro, mesmo sendo de água, tem um grande potencial de destruição caso ocorra o seu rompimento. Pode-se observar em campo que a água tomará caminhos à jusante do córrego São Pedro, onde se localizam bairros urbanizados, podendo causar inundações nas casas, ferimentos e até mortes.

Outro fator que aumenta o risco do rompimento da barragem da represa de São Pedro é a ausência de um plano de emergência para a população. Desta forma, não há alarmes de alerta e nem rotas de fuga para facilitar a sobrevivência da população residente à jusante da represa.

Em contrapartida, foi possível observar um cuidado no que se refere à leitura dos piezômetros e, também, à manutenção da barragem tanto na estrutura como no controle da vazão e dos ladrões, que são feitas com regularidade.

A partir da construção e da análise da Árvore de Falhas, o presente trabalho destaca a existência de interesses conflitantes para a construção de uma efetiva gestão de riscos na cidade de Juiz de Fora - MG. Observaram-se construções inadequadas, obras aos arredores da represa e também espaços sendo utilizados pela especulação imobiliária para o crescimento da região oeste da cidade. Sem a devida fiscalização da prefeitura todas as causas apontadas na Árvore de Falhas, ficam mais propensas à ocorrência podendo gerar assim um grande e indesejável evento.

Por fim, sugere-se a implantação das barreiras listadas nas Causas e Consequências a partir da criação de um Plano de Emergência com a participação de diversas instituições como a defesa civil, a prefeitura municipal, bombeiros, (CESAMA) e população. Recomenda-se também a inserção do tema nas escolas a partir de uma efetiva educação ambiental.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Barragens e reservatórios**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/gestao-da-agua/saiba-quem-regula/reservatorios>. Acesso em: 15 set. 2019.

BANDO, F. M.; MARQUES, J. M.; PATIAS, J. Análise probabilística de árvore de falhas na gestão de segurança de barragens – bloco D38 da barragem de Itaipu. *In*: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 26., 2015, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: Comitê Brasileiro de Barragens, 2015. p. 1-14.

CABRAL, A. E.; LOO, A.; COSTA, L. H.; QUINA, R. R.; ROCHA, R. S.; ROCHA, G. C. Identificação de riscos relacionado à aeroportos: tendo como área de estudo o aeroporto regional presidente Itamar Franco, Goianá, MG. *In*: SEMINÁRIO DA PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, 2017, Juiz de Fora. **Anais [...]**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2017. p. 230-245.

CASTRO, C. M.; PEIXOTO, M. N. O.; RIO, G. A. P. Riscos ambientais e geografia: conceituações, abordagens e escalas. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, p. 11-30, 2005.

CASTRO, S. D. A. Riesgos e peligros: uma visión desde lá Geografía. **Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**, Barcelona, n. 60, p. 1-18, 2000.

CERRI, L. E. S.; AMARAL, C. P. Riscos geológicos. *In*: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (ed.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 301-310.

COLLISCHONN, W. **Análise do rompimento hipotético da barragem de Ernestina - RS**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS - CBDB. **Apresentação das barragens**. Disponível em: <http://www.cbdb.org.br/5-38/Apresenta%3%a7%3%a3o%20das%20Barragens>. Acesso em: 15 set. 2019.

- 
- COMPANHIA DE SANEAMENTO MUNICIPAL. **Represa de São Pedro**. Juiz de Fora, MG: CESAMA, 2019. Disponível em: <http://www.cesama.com.br/mananciais/represa-de-sao-pedro-2>. Acesso em: 15 set. 2019.
- DUARTE, B. P. **Evolução tectônica dos ortognaisses dos complexos Juiz de Fora e Mantiqueira na região de Juiz de Fora, MG**: geologia, petrologia e geoquímica. 1998. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- GOOGLE EARTH. **Google earth web**. Disponível em: <http://earth.google.com/> Acesso em: 20 abr. 2019.
- GUIMARÃES, I. P. M. B.; DIAS, P. H. R.; FELIPPE, M. F. Áreas úmidas de cabeceira de drenagem: estudo panorâmico na bacia hidrográfica de contribuição da represa de São Pedro, Juiz de Fora - MG. *In*: SEMINÁRIO DA PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, 6., 2018, Juiz de Fora, MG. **Anais [...]**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2018. p. 251-256.
- IBGE. Dados. **Geociências**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 20 abr. 2019.
- LATUF, M. O. Diagnóstico das águas superficiais do córrego São Pedro, Juiz de Fora - MG. **Revista Geografia**, Londrina, v. 13, n. 1, p. 21-55, 2004.
- MACHADO, P. J. O. A bacia hidrográfica do Córrego São Pedro (BHCSP). *In*: MACHADO, P. J. O. (org.). **Diagnóstico físico-ambiental da bacia hidrográfica do córrego São Pedro**: um exercício acadêmico de gestão dos recursos hídricos. Ubá: Geographica, 2010. p. 11-18.
- MACHADO, P. J. O. **Uma proposta de zoneamento ambiental para a bacia hidrográfica da Represa de São Pedro – Juiz de Fora/MG**. 1998. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 1998.
- MACHADO, P. J. O. Urbanização e modificações no Córrego Independência, Juiz de Fora/MG. **Cadernos do Núcleo de Análises Urbanas**, Rio Grande, v. 9, n. 1, p. 135-154, 2016.
- MARANDOLA JÚNIOR, E.; HOGAN, D. J. As dimensões da vulnerabilidade. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 33-43, jan./mar. 2006.
- MARANDOLA JÚNIOR, E.; HOGAN, D. J. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 7, n. 2, p. 95-109, jul./dez. 2004.
- MELO, F. P.; SOUZA, R. M.; ROSS, J. L. S. Modelagem de geoformas para mitigação do risco geoambiental em Garanhuns - PE. **Acta Geográfica**, Boa Vista, v. 10, n. 22, p. 87-105, jan./abr. 2016.
- MELO, F. P.; SOUZA, R. M. Mapeamento geomorfológico da fragilidade ambiental do Sítio Urbano de Garanhuns - Pe. **Nativa**: pesquisas agrárias e ambientais, Sinop, v. 3, n. 4, p. 263-267, 20 dez. 2015.
- N.E.M. BUSINESS SOLUTIONS. **Risk analysis methodologies**. Disponível em: <http://nem.org.uk/risk.htm#2.4%20Cause-Consequence>. Acesso em: 15 set. 2019.
- OLIVEIRA, T. A.; TAVARES, C. M. G.; FERREIRA, C. C. M.; SANCHES, F. Eventos extremos no município de Juiz de Fora: análise das características e da espacialidade do evento de 12/11/2016. *In*: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, 13., 2019, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: USP, 2019. p. 1-15.
- PIMENTA, L. **Abordagens de riscos em barragens de aterro**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

- PIMENTEL, F.O. **Clima urbano**: o uso de modelos geoespaciais na investigação do comportamento térmico em Juiz de Fora – MG. 2017. 146 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.
- RAUSAND, M.; HOYLAND, A. **System reliability theory**: models, statistical methods, and applications. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.
- ROCHA, C. H. B.; COSTA, H. F. Variação temporal de parâmetros limnológicos em manancial de abastecimento em Juiz de Fora, MG. **RBRH**: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 543-550, abr./jun. 2015.
- ROCHA, C. H. B.; FERREIRA, R. C.; ALONSO, M.; OLIVEIRA, M. Capacidade de resiliência da Represa de São Pedro, Juiz de Fora (MG), Brasil. *In*: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL, 3., 2018, Juiz de Fora, MG. **Anais [...]**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2018. p. 1-10.
- ROCHA, G. C. **Riscos ambientais**: análise e mapeamento em Minas Gerais. Juiz de Fora: UFJF, 2005.
- RODRIGUES, V. E. S. **Vulnerabilidade socioambiental e capacidade de resposta no contexto do risco de desastres naturais**: o projeto “Distritos de Petrópolis-RJ”. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. Mapas e Publicações. **Mapa geológico da folha Juiz de Fora**. Belo Horizonte: COMIG/CPRM, 2003.
- TORRES, F. T. P. Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 7, n. 18, p. 162-171, 2006.
- VEYRET, Y.; RICHEMOND, N. M. O risco, os riscos. *In*: VEYRET, Y. (org.). **Os riscos**: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 2007. p. 23-25.
- VISEU, M. T. O risco e as barragens. *In*: LOURENÇO, L. F.; MATEUS, M. A. (org.). **Riscos naturais, antrópicos e mistos**: homenagem ao professor doutor Fernando Rebelo. Coimbra: Ed. Universidade de Coimbra, 2013. p. 425-440.

**Recebido:** outubro de 2019.

**Aceito:** abril de 2020.