

674 - PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA: DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA DE GESTÃO DE RISCOS EM MANANCIAIS DE CAPTAÇÃO DO DISTRITO SEDE DO MUNICÍPIO DE MARIANA, MG, BRASIL

Isabel Francisco de Araújo Reis ⁽¹⁾

Bióloga pela Universidade Federal de Ouro Preto. Mestra em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto (PPGSSA/UFOP). Bióloga do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Mariana (SAAE/Mariana). Doutoranda em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto (Proamb/UFOP).

Aníbal da Fonseca Santiago ⁽²⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Ana Letícia Pilz de Castro ⁽³⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal do Mato Grosso. Doutora em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Endereço⁽¹⁾: Rua Antônio Pacheco, 395 – São Pedro - Mariana - MG - CEP: 35420-196 - Brasil - Tel: (31) 999-366395 - e-mail: isabel.araujo@aluno.edu.ufop.br

Endereço⁽²⁾: Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro - Ouro Preto – MG - CEP 35400-000 – Brasil - Correio eletrônico: anibal@ufop.edu.br

Endereço⁽³⁾: Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro - Ouro Preto – MG - CEP 35400-000 – Brasil - Correio eletrônico: anacastro@ufop.edu.br

RESUMO

Associar eventos perigosos identificados em bacias hidrográficas e pontos de captação de água com os parâmetros da qualidade da água é um procedimento que subsidia a gestão de riscos de mananciais de abastecimento. A presente pesquisa objetivou desenvolver uma metodologia de gestão de riscos em mananciais de captação da cidade de Mariana, MG, por meio da comparação de eventos perigosos identificados na bacia hidrográfica e pontos de captação, como também avaliou a eficiência das análises laboratoriais em identificar perigos associados a esses sistemas. A pesquisa teve abordagem qualitativa e utilizou pesquisa bibliográfica, documental, análises laboratoriais e trabalho de campo que subsidiaram a identificação de eventos perigosos em bacias hidrográficas e pontos de captação de água, como também possibilitou a aplicação da matriz de classificação e priorização de riscos. Os resultados indicaram que eventos perigosos identificados nas bacias hidrográficas podem estar associados aos mananciais de captação e que análises laboratoriais nem sempre são eficazes para identificar perigos, o que remete à importância de desenvolver metodologias de gestão de risco em mananciais de abastecimento.

PALAVRAS-CHAVE: Bacia Hidrográfica; Matriz de Risco; Análises Laboratoriais; Eventos Perigosos; Pontos de Captação.

INTRODUÇÃO

O controle da qualidade da água pode ser realizado por meio de uma metodologia corretiva ou preventiva de riscos. A metodologia corretiva fundamenta-se na realização de ensaios laboratoriais, quando os resultados são comparados com valores paramétricos estipulados pela legislação vigente. Essa abordagem, ainda utilizada em muitos países, inclusive no Brasil, tem permitido elevar os padrões de qualidade da água distribuída, porém, não tem sido totalmente eficaz para garantir água inócua para a saúde (VIEIRA, 2018). Já a abordagem preventiva de riscos, recomendada pela Organização Mundial da Saúde (OMS), em WHO (2004), e pela Portaria MS/GM n. 888/21, em Brasil (2021), baseia-se na identificação de perigos e classificação dos riscos associados a todo o sistema de abastecimento (SAA), desde o ponto de captação até a sua entrega ao usuário

final. Essa abordagem preventiva de riscos é conhecida como Plano de Segurança da Água (PSA) e remete ao alcance de metas de saúde, qualidade da água e melhorias nos processos de tratamento (WHO, 2017).

Pontos de captação com água segura são o subsídio para avanços na saúde e o fundamento para o crescimento econômico e o desenvolvimento de um país, ratificando a importância da proteção dos mananciais e implementação de diretrizes do PSA (MUREI et al., 2022). Informações básicas sobre mananciais de captação são pilares fundamentais para a implementação de PSA, pois muitos pontos de captação são suscetíveis à contaminação quando não ocorre um manejo adequado (EWANG et al., 2021).

Considerando que a gestão de riscos ainda é incipiente na literatura brasileira, conforme mencionado por Ventura (2019), a presente pesquisa objetivou desenvolver uma metodologia de gestão de riscos em mananciais de abastecimento, que foram subsidiados por eventos perigosos identificados em bacias contribuintes aos mananciais de captação, como também avaliou a eficiência de análises laboratoriais em identificar perigos em sistemas de captação de água. Nesse contexto, pode-se dizer que a pesquisa é inovadora, pois, no Brasil, ainda não há registros, em escala real, de que análises laboratoriais não foram totalmente eficazes para identificar perigos em mananciais de captação, o que enfatiza a recomendação de Brasil (2021) em implementar uma abordagem preventiva de riscos.

MATERIAIS E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Mariana, MG, Brasil, situa-se no Quadrilátero Ferrífero, na microrregião de Ouro Preto, onde é drenada pelas bacias do Ribeirão do Carmo, Rio Gualaxo do Norte e Rio Gualaxo do Sul (COSTA, 2007). A população do município, avaliada no último censo demográfico, ocorrido no ano de 2010, foi de 54.219 pessoas, sendo estimado para o ano de 2021, uma população de aproximadamente 61.830 habitantes (IBGE, 2021). Os mananciais de captação do distrito sede localizam-se nas bacias hidrográficas do Rio Gualaxo do Sul e bacia do Ribeirão do Carmo. O sistema de abastecimento (SAA) do município conta com 13 pontos de captação superficiais que abastecem quatro estações de tratamento convencional e cinco cloradores de pastilhas, quando a água passa por processo de desinfecção simples, sem haver o processo de clarificação (SAAE, 2019).

Na FIGURA 1 foram identificados os pontos de captação do distrito sede do município de Mariana.

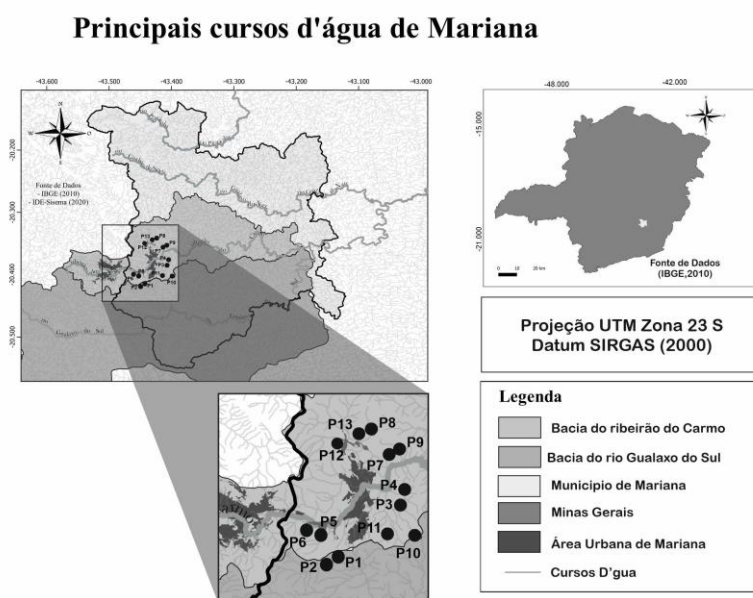


Figura 1: Localização da cidade de Mariana e os pontos de captação de água em suas respectivas bacias hidrográficas. Onde: P1 – captação Belém, P2 – captação Serrinha; P3 - captação Principal do Seminário, P4 – captação Matadouro, P5 – captação Efigênia, P6 – captação Pantera, P7 – captação Maquiné, P8 – captação Del Rey, P9 – captação Cristal, P10 – captação Dulico, P11 – captação Cartucha, P12 – captação Gogó, 13 – captação Bicão. Fonte: Autores (2023)

AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DE ENSAIO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Os resultados de ensaios foram contemplados com parâmetros mensais e semestrais de novembro de 2018 a janeiro de 2020. A amostragem foi realizada nos pontos de captação que abastecem o distrito sede e serviram de subsídio para a identificação de perigos e classificação de riscos.

Na TABELA 1, foram apresentados os parâmetros avaliados nos pontos de captação de água.

Tabela1: Parâmetros de qualidade da água avaliados na pesquisa.

Parâmetros	Frequência do monitoramento	Métodos
Alumínio, Antimônio (Sb), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni), Prata (Ag), Selênio (Se), Zinco (Zn)	Semestral	200.7 - Rev. 4.4 (USEPA, 1994)
Nitrogênio amoniacal	Semestral	4500-NH3 B/F (APHA, 2012)
Sulfeto de hidrogênio (H ₂ S)	Semestral	4500 S2-H (APHA, 2012)
Nitrato como N, Nitrito com N, Sulfato, Glifosato,	Semestral	300.1 - Rev 1.0 (USEPA, 1997)
Cor	Mensal	2120C (APHA, 2012)
Turbidez	Mensal	2130B (APHA, 2012)
Cianobacteria	Mensal	9222G (APHA, 2012)
<i>E. coli</i>	Mensal	9223B (APHA, 2012)
pH	Mensal	4500H+ (APHA, 2012)
Aldrin + Dieldrin, Alacloro, Atrazina, 2,4D, Benzo[a]pireno, Clordano cis + trans, DDD DDT DDE, Malationa, Lindano gama (HCH), Metolacoloro, Pentaclorofenol, Simazina, Trifuralina	Semestral	8270D-07 (USEPA, 2014)

IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

O processo de identificação de perigos foi subsidiado por vinte e quatro visitas de campo e levantamento bibliográfico que embasaram a identificação de fontes poluidoras, eventos perigosos e perigos potenciais associados à bacia contribuinte ao manancial de captação. Nesses procedimentos foram consideradas as características dos mananciais de captação como as estruturas da barragem de elevação de nível (presença de grades e descarga de fundo), características do processo de adução, tratamento de água utilizada e uso do solo a montante da captação.

Após esses procedimentos, e tendo como base os resultados dos ensaios da qualidade da água, associaram-se às bacias hidrográficas, vinte e dois eventos perigosos. Desses, foram considerados que onze eram relevantes aos pontos de captação do distrito sede de Mariana, nomeadamente, erosão com deposição de solos e sedimentos; eventos climáticos (seca, estiagem e incêndios florestais); obstáculos físicos como grades obstruídas por folhas, impedindo o fluxo de água, mananciais de captação com fácil acesso a animais, incluindo pássaros e vermes; mananciais de captação com fácil acesso a seres humanos; ações de vandalismo e sabotagem; presença de captações de água de abastecimento inadequadas, sem estruturas mínimas, como barragem de elevação de nível e grades, falhas mecânicas, elétricas, estruturais e dificuldades de comunicação em sistemas de captação de água; vegetação inadequada, incluindo a presença de erosão, criação de animais a montante da captação, como também a presença de tratamento inadequado da água bruta.

Após a identificação desses eventos perigosos, foi associado, a cada um deles, um perigo potencial, aplicando-se, na sequência, a matriz de classificação e priorização de risco, proposta pela Organização Mundial da Saúde (OMS), WHO (2004), que utiliza a escala de probabilidade de ocorrência e severidade das consequências do evento perigoso. O produto da pontuação dessas duas escalas fornecerá a matriz de classificação de riscos (VIEIRA, 2018).

Na classificação de risco, aos riscos baixos é associada a cor verde; moderado, o amarelo; alto, o alaranjado, e extremo, o vermelho. Medidas de controle e rotina, foram indicadas para mitigar e/ou eliminar os riscos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

COMPARAÇÃO ENTRE OS EVENTOS PERIGOSOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS E OS PONTOS DE CAPTAÇÃO

As bacias hidrográficas que drenam o município de Mariana apresentaram características geológicas, morfológicas, pedológicas, clima, vegetação e potencial erosivo, similares. Essas questões corroboraram em analogias no uso do solo nas três bacias hidrográficas, como também nos eventos perigosos a montante dos pontos de captação, sendo o garimpo, a agricultura, a pecuária, a mineração industrial, a presença de efluentes domésticos não tratados, incêndios florestais, erosão e drenagem pluvial urbana as principais fontes poluidoras identificadas nas bacias hidrográficas que drenam o município, no entanto, na bacia do Rio Gualaxo do Sul não foi identificada a mineração industrial.

Em antagonismo às fontes poluidoras identificados nas bacias hidrográficas, contribuintes aos pontos de captação, não foram identificadas atividades de garimpo, agricultura, lançamento de efluentes e mineração industrial nos pontos de captação, o que corroborou os resultados dos ensaios laboratoriais, que apresentaram valores máximos permitidos (VMP) abaixo dos valores de referência, TABELA 1, para os metais arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), mercúrio (Hg), níquel (Ni) e zinco (Zn), que, segundo Costa (2007), são perigos potenciais nos locais onde ocorre a atividade de garimpo. Ratificando esse resultado, os metais antimônio (Sb), prata (Ag) e cobre (Cu) também apresentaram resultados inferiores aos valores de referência. De acordo com Rhodes (2010), esses metais também estão associados à atividade de garimpo.

Apesar de Barbosa (2018) mencionar que cerca de 95% das atividades econômicas do município estão representadas pela extração de minério de ferro e IGAM (2010), descrever que as bacias hidrográficas do município possuem a mineração como a atividade econômica mais importante, resultados de ensaio abaixo do VMP em metais como alumínio, ferro, manganês, cádmio, e cobre, TABELA 1, também corroboraram a ausência de mineração industrial, que segundo Vieira (2018), tem como perigo potencial esses metais.

Resultados de análises laboratoriais abaixo dos valores referência também foram identificados nos ensaios de *E. coli*, sulfato e sulfureto de hidrogênio (TABELA 1). A presença de resultados de ensaio de *E. coli* acima dos valores de referência indica que devem ser realizados ensaios para que ocorra a identificação de outros patógenos que poderiam ser perigos potenciais associados a efluentes domésticos, pecuária de subsistência ou drenagem pluvial que foram fontes poluidoras associadas às bacias hidrográficas. No ponto de captação P2, foi identificada a pecuária de subsistência que poderia estar associada à presença de patógenos como os protozoários *Cryptosporidium* e *Giardia* (DERX et al. 2023), no entanto os resultados de *E. coli* apresentaram-se abaixo dos valores de referência, não relacionando possíveis patógenos que poderiam estar associados a esse ponto de captação com os resultados de *E. coli*, o que remeteu na ineficácia desse parâmetro em identificar esse perigo potencial. Já o sulfureto de hidrogênio e sulfatos acima dos valores paramétricos recomendados indicam um perigo potencial que pode estar associado aos eventos perigosos efluentes domésticos, listados nas bacias contribuintes (WHO, 2017). Como os resultados de ensaio apresentaram valores abaixo do VMP para esses contaminantes, o resultado corroborou a ausência desse evento perigoso nos pontos de captação de água.

Contaminantes como o Aldrin + Dieldrin, glifosato, Alacloro, Atrazina, 2,4D, Clordano cis + trans, DDD DDT DDE, Malationa, Lindano gama (HCH), Metolacoloro, Simazina, Trifuralina, TABELA 1, também apresentaram resultados de ensaio abaixo do VMP recomendado, remetendo a ausência de agricultura nos pontos a montante das captações, pois, segundo Brasil (2021), esses contaminantes são agrotóxicos que representam riscos à saúde e são perigos potenciais em mananciais onde é identificada a agricultura.

Compostos nitrogenados, como nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal, TABELA 1, apresentaram resultados de ensaio abaixo dos valores de referência. A principal fonte desse contaminante relaciona-se a atividades agropecuárias como a criação de gado e fertilizantes, conforme mencionou WHO (2017), o que não corroborou a classificação de risco no ponto P2 para o evento perigoso criação de gado. As cianobactérias são microrganismos que podem estar associadas à presença do fósforo (P), na água. Esse mineral é um perigo potencial associado à agricultura e à criação de animais (SHARPLEY, et al. 2001).

Já os incêndios florestais e a erosão laminar foram eventos perigosos identificados nos pontos de captação, que também foram detectados como fontes poluidoras nas bacias contribuintes aos mananciais de abastecimento. Incêndios florestais e erosão laminar não foram identificados quando foi realizada a pesquisa, no entanto, esses eventos perigosos têm como perigo potencial a presença de grande quantidade de mercúrio, que pode estar associado às cinzas derivadas da vegetação queimada, que possibilitam o ponto de captação (HAN-HAN, et al. 2022). Já a erosão laminar tem como perigo potencial alterações na turbidez, que são influenciadas por alterações sazonais (CHALOV, et al. 2022).

RESULTADO DA MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DE RISCOS

Todos os pontos de captação do distrito sede apresentaram resultados de ensaios abaixo dos valores de referência recomendados pela legislação vigente, TABELA 1, no entanto, ao aplicar a matriz de classificação e priorização de risco, foram identificados riscos extremos, associados à cor vermelha, nos eventos perigosos vida selvagem, acesso humano, criação de gado e tratamento inadequado da água bruta. Esses eventos perigosos são fontes potenciais de patógenos que podem ocasionar riscos adversos a saúde (DERX et al., 2023).

O monitoramento da qualidade microbiológica da água é baseado na detecção de bactérias indicadoras (DERX et al., 2023; WHO, 2017). No Brasil, usualmente, utiliza-se a *E. coli* como microrganismo indicador, sendo recomendado que os resultados de ensaio se apresentem abaixo dos valores de referência (1.000 *E. coli* NMP/100mL). Essa recomendação ratifica que resultados de ensaio acima dos valores de referência são indicativos de contaminação, por microrganismos patogênicos (BRASIL, 2021).

O ponto de captação P3 foi classificado com risco extremo, associado à cor vermelha, no evento perigoso vida selvagem. O risco extremo (TABELAS 2a) tiveram sua severidade influenciada pela identificação do helminto, *Schistosoma mansoni*, agente etiológico da esquistossomose no manancial de captação, apesar de os resultados de análises de *E. coli* estarem abaixo dos valores de referência. Esse resultado corroborou a ideia de que as análises laboratoriais nem sempre são eficientes para identificar perigos em um SAA, conforme descreveram Abuzerr et al. (2020), ratificando a importância de desenvolver metodologias de gestão de riscos, conforme diretrizes do PSA (WHO, 2004).

A criação de gado (TABELAS 2a) foi outro evento perigoso mensurado com risco extremo, no ponto de captação P2, pois a severidade das consequências desse evento perigoso foi influenciada pela presença desses animais que podem contaminar os mananciais de captação (DERX et al., 2023). Seres humanos também podem contaminar os corpos hídricos com microrganismos patogênicos, o que remeteu à mensuração de riscos extremos e altos nos pontos de captação P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, no evento perigoso acesso humano (VIEIRA, 2018). Corroborando os resultados de análises de *E. coli* do manancial P3, esses pontos de captação também apresentaram resultados de ensaio de *E. coli* menores do que os valores de referência, ratificando a importância de implementar PSA. O cercamento das captações e ações de educação ambiental são medidas de controle importantes nesses eventos perigosos.

Riscos extremos também foram associados aos pontos de captação P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12 e P13, (TABELA 2b) no evento perigoso tratamento inadequado da água bruta. Essa classificação foi influenciada pela ausência de tratamento de ciclo completo nesses pontos de captação, onde a água passa por processo de desinfecção simples, em cloradores de pastilha, sem passar, no entanto, por processo de clarificação. Libânio (2010) mencionou que a turbidez é decisiva na eficiência da desinfecção, pois, em valores de turbidez acima de 1,0 uT, ocorre baixa remoção de bactérias quando o cloro é o desinfetante. Nesse contexto, a ausência de tratamento de ciclo completo nesses mananciais influenciou na severidade desse evento perigoso, pois, esses pontos de captação apresentaram valores de turbidez maiores que 1,0 uT, tanto na estiagem, quanto na estação chuvosa, corroborando a disseminação de microrganismos patogênicos. A instalação de um sistema adequado para o tratamento da água é uma medida de controle importante nesse evento perigoso.

Na TABELA 2a e 2b foram apresentados os resultados da matriz de classificação de risco.

Tabela 2a: Resultado da matriz de classificação de riscos. Onde: O: Probabilidade de ocorrência, S: Severidade das consequências, P: Pontuação, PCR: Primeira classificação de risco (pior cenário no qual não são consideradas medidas de controle já adotadas no sistema). B: Baixo (Verde), M: Moderado (Amarelo), A: alto (Alaranjado), E: Extremo (Vermelho). Vida selvagem inclui animais, aves e vermes. P1 – captação Belém, P2 – captação Serrinha; P3 - captação Principal do Seminário, P4 – captação Matadouro, P5 – captação Efigênia, P6 – captação Pantera, P7 – captação Maquiné, P8 – captação Del Rey, P9 – captação Cristal, P10 – captação Dulico, P11 – captação Cartucha, P12 – captação Gogô, 13 – captação Bicão. Fonte: Autores (2023) (continua...)

Evento perigoso	Perigo potencial	Avaliação	Pontos de captação												
			P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13
Obstáculos físicos como grade obstruída por folhas	Aumento da cor da água	O	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		S	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		P	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		PCR	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Vida Selvagem	Microrganismos patogênicos	O	1	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		S	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		P	5	5	25	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		PCR	B	B	E	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Acesso humano	Microrganismos patogênicos, contaminantes químicos	O	1	5	5	3	1	3	3	3	3	5	5	5	3
		S	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		P	5	25	25	15	15	15	15	15	15	25	25	25	15
		PCR	B	E	E	A	A	A	A	A	A	E	E	E	A
Ações de vandalismo e sabotagem	Microrganismos patogênicos, aumento da turbidez e cor da água	O	1	3	3	1	1	1	3	1	3	1	1	3	1
		S	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		P	5	15	15	5	5	5	15	5	15	5	5	15	5
		PCR	B	A	A	B	B	B	A	B	A	B	B	A	B
Eventos climáticos (estiagem, seca, incêndios florestais)	Microbiológicos, químicos, aumento de turbidez e cor	O	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		S	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		P	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		PCR	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Erosão com deposição de solo ou sedimento	Aumento da turbidez da água	O	2	1	3	1	2	2	1	1	1	2	2	1	1
		S	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		P	6	3	9	3	6	6	3	3	3	6	6	3	3
		PCR	M	B	M	B	M	M	B	B	B	M	M	B	B
Criação de gado	Microrganismos patogênicos, aumento da turbidez e cor da água	O	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		S	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		P	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		PCR	B	E	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B

Tabela 2b: Resultado da matriz de classificação de riscos. Onde: O: Probabilidade de ocorrência, S: Severidade das consequências, P: Pontuação, PCR: Primeira classificação de risco (pior cenário no qual não são consideradas medidas de controle já adotadas no sistema). B: Baixo (Verde), M: Moderado (Amarelo), A: alto (Alaranjado), E: Extremo (Vermelho). Vida selvagem inclui animais, aves e vermes. P1 – captação Belém, P2 – captação Serrinha; P3 - captação Principal do Seminário, P4 – captação Matadouro, P5 – captação Efigênia, P6 – captação Pantera, P7 – captação Maquiné, P8 – captação Del Rey, P9 – captação Cristal, P10 – captação Dulico, P11 – captação Cartucha, P12 – captação Gogô, 13 – captação Bicão. Fonte: Autores (2023) (conclusão).

Evento perigoso	Perigo potencial	Avaliação	Pontos de captação												
			P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13
Vegetação inadequada (solo exposto)	Alterações de turbidez da água	O	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		S	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		P	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		PCR	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Captação inadequada	Alterações da turbidez da água	O	1	5	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	5
		S	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		P	3	15	3	3	3	3	3	15	3	3	3	3	15
		PCR	B	A	B	B	B	B	B	A	B	B	B	B	A
Falhas mecânicas elétricas e estruturais. Dificuldades de comunicação	Alterações de turbidez	O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		S	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		P	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
		PCR	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Tratamento inadequado da água bruta	Microrganismos patogênicos, alterações da turbidez e cor da água	O	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		S	1	1	1	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		P	1	1	1	1	25	25	25	25	25	25	25	25	25
		PCR	B	B	B	B	E	E	E	E	E	E	E	E	E

Riscos altos também foram associados ao evento perigoso ações de vandalismo e sabotagem nos pontos de captação P2, P3, P7, P9 e P12, TABELA 2a. Em sua pesquisa, Correa & Ventura (2021), associaram risco extremo a esse evento perigoso, pois, nos pontos de captação avaliados na pesquisa, ações de vandalismo e sabotagem podem estar associadas a perigos potenciais, como a adição de produtos químicos que impactavam na severidade de consequências. No município de Mariana, a classificação de risco alto refere-se à frequência em que ocorrem intermitências no sistema de abastecimento, ou obstruções de registros ou furtos de fios na rede elétrica, não sendo observado o lançamento de contaminantes na água. A severidade do evento perigoso foi caracterizada como um perigo potencial responsável por introduzir microrganismos patogênicos nos sistemas de abastecimento quando ocorrem as rupturas, o que remete a riscos para a saúde pública. Trabalhos de conscientização ambiental como também a criação de canais de disque-denúncia, são medidas de controle importantes que podem atenuar o risco associado a esse evento perigoso.

A classificação de risco alto, associado à cor alaranjada em eventos climáticos, como seca, estiagem e incêndios florestais, (TABELA 2a) é considerado desastre natural, que pode provocar efeitos adversos à saúde humana (OPAS, 2015), o que impactou na severidade das consequências desse evento perigoso. Em relação aos incêndios florestais, Lima et al. (2018) afirmaram que a estiagem prolongada, somada a temperaturas elevadas e ventos intensos são fatores responsáveis pelo aumento desses eventos que foram identificados como fontes poluidoras associadas às bacias hidrográficas. O município de Mariana insere-se na mata atlântica, onde foram registrados, no ano de 2020, 17.572 casos de incêndios florestais (INPE, 2021), o que influenciou na classificação de risco desse evento perigoso. Aliada aos incêndios florestais, a ausência de hidrometração na cidade de Mariana é outro fator que corrobora ao risco alto nesse evento perigoso, pois

remete ao aumento do consumo de água e a utilização de carros-pipa nos períodos de estiagem. Investimentos em projetos de combate a incêndios florestais, recuperação da mata ciliar e vegetação de topo de morros, como também a implementação da hidrometração na cidade de Mariana são medidas de controle importantes na mitigação do risco.

Captações inadequadas, sem estruturas mínimas, como barragem de elevação de nível, grade ou descarga de fundo, (TABELA 2b), podem influenciar na turbidez da água. Os pontos de captação P2, P8, e P13 apresentaram captações inadequadas, o que remeteu a alterações de turbidez e à chegada de animais silvestres na estação de tratamento (ETA) que recebe água do ponto P2. Apesar de a turbidez ocasionar alterações organolépticas na qualidade água, não causa efeitos nocivos para a saúde, WHO (2004), entretanto, influencia no processo de desinfecção, conforme mencionou Oliveira & Bastos (2018) e Libânio (2010), o que remeteu à classificação de risco alto, e associado à cor alaranjada, nesses pontos de captação. Além dessas características, a ausência de grades corroborou a classificação de risco, pois sua ausência está associada à presença de animais que podem alcançar as estruturas do tratamento, o que eleva o perigo de contaminação da água por microrganismos patogênicos. Melhorias nas estruturas físicas das captações, com a implementação de medidas preventivas e corretivas são medidas de controle importantes nesse evento perigoso.

Condições inadequadas das captações com a presença de adutoras antigas, com idades superiores a 20 anos, conforme mencionou Oliveira & Bezerra (2018), e dificuldade de acesso ao ponto de captação, remetem a falhas mecânicas elétricas e estruturais, (TABELA 2b), que corroboram a necessidade de manutenções frequentes; o que determinou a classificação de risco alto no evento perigoso falhas mecânicas, elétricas e estruturais em todos os pontos de captação. Registrar a frequência de rupturas em adutoras de água bruta e estabelecer procedimentos preventivos, para a detecção de vazamentos, são medidas de controle que podem mitigar os riscos relacionados a esse evento perigoso (OLIVEIRA & BEZERRA 2018).

Os pontos de captação P1, P3, P5, P6, P10 e P11 foram classificados com risco moderado associado à cor amarela, pois processos de erosão com deposição de solo ou sedimento, (TABELA 2a), podem ocasionar alterações de turbidez, conforme mencionado por Vieira (2018), que refletem em alterações organolépticas na qualidade água, porém, não causam efeitos nocivos para a saúde (WHO, 2004). Outra característica que corroborou a classificação de risco, nesse evento perigoso, foi a presença de cambissolos háplicos, relevo montanhoso e de alta declividade nesses pontos de captação, pois, segundo Souza (2015), essas características são identificadas no município e influenciam em processos erosivos, conforme constatado em pontos de captação de Mariana. Esse município é drenado por bacias hidrográficas, onde foram observadas áreas ocupadas por pastagens e solo exposto, conforme descreveu IGAM (2010), o que influenciou na classificação de risco alto, associado à cor vermelha no evento perigoso vegetação inadequada. Nos pontos de captação do distrito sede, no entanto, não foram identificadas áreas ocupadas por pastagens ou desmatadas, o que corroborou a classificação de risco baixo em todos os pontos de captação nesse evento perigoso.

Outro evento perigoso em que todos os pontos de captação foram classificados com risco baixo, associado à cor verde, foram obstáculos físicos como grade obstruída por folhas, (TABELA 2a), impedindo o escoamento da água. Os pontos de captação do município estão inseridos em uma região de florestas semidecíduais, onde a vegetação passa pelo processo de queda foliar, de frequência anual, conforme mencionou Souza (2015), que teria como consequência alterações de cor, sem, no entanto, causar efeitos adversos a saúde (WHO, 2004). Como as folhas não ficam depositadas nas grades por um período superior a 24 horas, pois essas grades passam por limpezas diárias, as mudanças de cor são imperceptíveis, sendo essa a justificativa para a classificação do evento perigoso em risco baixo em todos os pontos de captação.

CONCLUSÃO

Hierarquizar o processo de identificação dos eventos perigosos e perigos potenciais da bacia hidrográfica, área de maior abrangência, passando pelo manancial de abastecimento, até o ponto de captação, área de menor abrangência, foi uma estratégia que auxiliou na identificação de perigos relevantes e na aplicação da matriz de classificação e priorização de riscos.

Relacionar os eventos perigosos das bacias hidrográficas e seu respectivo ponto de captação, com os parâmetros de qualidade da água, permitiu que fossem feitas relações com o uso do solo por meio da identificação de perigos potenciais, ratificando, no entanto, que as análises laboratoriais não foram totalmente

eficazes para pontuar todos os perigos potenciais identificados na bacia hidrográfica e pontos de captação, o que remeteu a importância de implementar metodologias preventivas de risco, conforme é previsto no PSA.

AGRADECIMENTOS

À Capes e Fapemig pelo apoio ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto.

Ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Mariana (SAAE/Mariana) pelo subsídio logístico a pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABUZERR, S., HADI, M., ZINSZER, K., NASSERI, S., YUNESIAN, M., MAHVI, A. H., NABIZADEH, R., & MOHAMMED, S. H. Comprehensive risk assessment of health-related hazardous events in the drinking water supply from source to tap in Gaza Strip, Palestine. *Journal of Environmental and Public Health*, 2020.
2. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22th ed., Washington, D.C.: APHA, AWWA, WEF, 2012.
3. BARBOSA, R. J. R. A dependência econômica da cidade de Mariana no segmento de mineração: uma análise do período de 2013 a 2017. 58p. Monografia. (Graduação.) - Instituto de Ciências Sociais Aplicadas., Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2018.
4. BRASIL. Portaria no 888, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 05, de 28 de setembro de 2017. *Diário Oficial da União: seção1*, ed. 85, Brasília, DF, p. 127, 07 mai. 2021.
5. CHALOV, S.; PROKOPEVA, K. Sedimentation and Erosion Patterns of the Lena River Anabranching Channel. *Water*, v. 14, n. 3845, 2022.
6. CORRÊA, R. F. M.; VENTURA, K. S. V. Plano de Segurança da Água: modelo conceitual para monitoramento de riscos à contaminação de água em comunidades rurais. *Eng Sanit Ambient*, v.26, n.2, 2021, p. 369-379
7. COSTA, A. T. Registro histórico de contaminação por metais pesados associados a exploração aurífera na bacia do ribeirão do Carmo, QF: um estudo de sedimentos de planícies de inundação e terraços aluviais. 259 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais. Área de concentração: Geodinâmica Superficial/Geoquímica Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Geologia Ambiental – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.
8. EWANG, A. B. A.; CHELEA, M. B. J. N.; BAOMOG B. A. M.; JORELLE, J. B. A.; HIPPOLYTE, T. M.; MBANGA, M. R. B.; EBENG, S. R.; MARIE-CHANTAL, N.; LANTUM D. N. The use of alternative water sources as a means of adaptation to water shortages in Nsimyong, Yaounde city: a quality assessment, *Scientific African*, v. 13, 2021
9. DERX, J.; KILIÇ, H. S.; LINKE, R.; CERVERO-ARAGÓ, S.; FRICK, C.; SCHIJVEN, J.; KIRSCHNER, A. K. T.; LINDNER, G.; WALOCHNIK, J.; STALDER, G.; SOMMER, R.; SARACEVIC, E.; ZESSNER, M.; BLASCHKE, A. P.; FARNLEITNER, A. H. Probabilistic fecal pollution source profiling and microbial source tracking for an urban river catchment, *Science of The Total Environment*, v. 857, 2023.
10. HAN-HAN, L.; MARTIN, T. T.; PEIJIA, K.; HUAN, C.; ZIYU, Y.; RANDY, A. D.; SANJAI J. P.; JIANJUN, W.; THAM, C. H.; ALEX, T. C.; ZHANG C.; XUE-MEI, Z. Impacts of Forest Fire Ash on Aquatic Mercury Cycling. *Environmental Science & Technology*, v. 56, n. 16, 2022, p. 11835-11844.
11. IGAM. Plano integrado de recursos hídricos da bacia do rio Doce e dos planos de ação dos recursos hídricos para as unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia do rio Doce – PARH Piranga. Belo Horizonte: IGAM, 2010. 127p.
12. INPE. Programa de queimadas monitorando dos focos ativos por estado. São José dos Campos: INPE, 2021.
13. LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 3 ed. Campinas: Editora Átomo, 2010. 486p.
14. LIMA, G. S.; TORRES, F.T. P.; COSTA, A. G.; FELIX, G. A.; JÚNIOR, M. R. S. Avaliação da eficiência de combate aos incêndios florestais em unidades de conservação brasileiras. *Floresta*, Curitiba. v. 48, n. 1, 2018, p. 113–122.
15. MUREI, A.; MOGANE, B.; MOTHIBA, D.P.; MOCHWARE, O.T.W.; SEKGOBELA, J.M.; MUDAU, M.; MUSUMUVHI, N.; KHABO-MMEKOA, C.M.; MOROPENG, R.C.; MOMBA, M.N.B. Barriers

- toWater and Sanitation Safety Plans in Rural Areas of South Africa-A Case Study in the Vhembe District, Limpopo Province. *Water*, v. 14, 2022.
16. OLIVEIRA, K. C., XAVIER, R. B. K., SILVA, C. V. Esporos de bactérias aeróbias são bons indicadores da eficiência do tratamento de água? Um estudo exploratório. *Eng. Sanit. Ambient.*, v. 23, n. 6, 2018, p.1103-1109.
 17. OLIVEIRA, L. L.; BEZERRA, N. R. Avaliação de riscos na rede de distribuição de água do município de Formosa-GO para implantação do Plano de Segurança da Água - PSA. In: Congresso Nacional de Saneamento da Assemae, 48., Exposição de Experiências Municipais, Anais Fortaleza, 2018.
 18. OPAS. Desastres Naturais e Saúde no Brasil. Brasília, DF: OPAS, Ministério da Saúde, 2015, 56p.
 19. RHODES, V. P. Distribuição de mercúrio e arsênio nos sedimentos da área afetada por garimpo de ouro – Rio Gualaxo do Norte, Mariana, MG. 2010. 113 f. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.
 20. SAAE. Arquivos internos. Mariana, Minas Gerais: SAAE, 2019.
 21. SHARPLEY, A.N., MCDOWELL, R.W., KLEINMAN, P.J.A. Phosphorus loss from land to water: Integrating agricultural and environmental management. *Plant and Soil*, v. 237, n. 2, 2001, p. 287-307
 22. SOUZA, L. A. Cartografia geoambiental e cartografia geotécnica progressiva em diferentes escalas: aplicação na bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo, municípios de Ouro Preto e Mariana, Minas Gerais. 461 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.
 23. USEPA. Method 300.1 Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography, EUA: USEPA, 1997. 40p.
 24. USEPA. Method 200.7 Revision 4.4: Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, EUA: USEPA, 1994. 59P.
 25. USEPA. Method 8270D Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry, EUA: USEPA, 2014.
 26. VENTURA, K. S.; VAZ FILHO, P.; NASCIMENTO, S. G. Plano de Segurança da Água implementado na estação de tratamento de água Guaraú, em São Paulo. *Eng. Sanit. Ambient.*, Rio de Janeiro, v.24, n.1, 2019, p.109-119.
 27. VIEIRA, J.M.P. Água e Saúde Pública. 1ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2018. 459p.
 28. WHO. Guideliness for drinking water quality. 3ed. Geneva: WHO, 2004.
 29. WHO. Guideliness for drinking water quality. 3ed. Geneva: WHO, 2017.