

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Instituto de Ciências Agrárias**  
**Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Ambientais**

Gabriel Agenor de Araújo Souza

**ANÁLISE CRÍTICA DO TERMO DE REFERÊNCIA DA RESOLUÇÃO CONJUNTA  
SEMAD/FEAM/IEF/IGAM (MG), Nº3181/2022, QUE REGULAMENTA A POLÍTICA  
ESTADUAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS, REFERENTE AO  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Montes Claros  
2024

Gabriel Agenor de Araújo Souza

**ANÁLISE CRÍTICA DO TERMO DE REFERÊNCIA DA RESOLUÇÃO CONJUNTA  
SEMAD/FEAM/IEF/IGAM (MG), Nº3181/2022, QUE REGULAMENTA A POLÍTICA  
ESTADUAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS, REFERENTE AO  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Trabalho Final de Curso de Especialização (TFCE) apresentado ao Programa de Especialização em Recursos Hídricos e Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Recursos Hídricos e Ambientais.

Orientadora: Profa. Dra. Francinete Veloso Duarte

Montes Claros  
2024

Souza, Gabriel Agenor de Araújo.

S729a  
2024      Análise crítica do termo de referência da resolução conjunta SEMAD/FEAM/IEF/IGAM (MG), nº3181/2022, que regulamenta a política estadual de segurança de barragens, referente ao abastecimento de água [manuscrito] / Gabriel Agenor de Araújo Souza. Montes Claros, 2024.  
57 f.: il.

Monografia (especialização) - Área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientadora: Francinete Veloso Duarte

Banca examinadora: Francinete Veloso Duarte, Dalton Rocha Pereira, Flávio Pimenta de Figueiredo.

Inclui referências: f. 51-53

1. Recursos hídricos -- Desenvolvimento. 2. Água -- Poluição. 3. Barragens e açudes -- Segurança. 3. Políticas públicas. 4. Recursos naturais -- Água -- Conservação. I. Duarte, Francinete . II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 624.136



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
ESPECIALIZAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAIS

### FOLHA DE APROVAÇÃO

ANÁLISE CRÍTICA DO TERMO DE REFERÊNCIA DA RESOLUÇÃO CONJUNTA SEMAD/FEAM/IEF/IGAM (MG), Nº 3181/2022, QUE REGULAMENTA A POLÍTICA ESTADUAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS, REFERENTE AO ABASTECIMENTO DE ÁGUA

GABRIEL AGENOR DE ARAÚJO SOUZA

Trabalho Final de Curso de Especialização (TFCE) submetido à Comissão de Avaliação designada pela Comissão de Coordenação do curso de Especialização em Recursos Hídricos e Ambientais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Recursos Hídricos e Ambientais.

**TFCE aprovado em quatro de janeiro de 2024 pela comissão de avaliação constituída pelos membros:**

Francinete Veloso Duarte  
Orientadora - ICA/UFMG

Dalton Rocha Pereira  
Avaliador - ICA/UFMG

Flávio Pimenta de Figueiredo  
Avaliador - ICA/UFMG

Montes Claros, data da assinatura eletrônica.

Dalton Rocha Pereira  
Coordenador de Pós-graduação *Lato Sensu*



Documento assinado eletronicamente por **Dalton Rocha Pereira, Coordenador(a) de curso de pós-graduação**, em 09/01/2024, às 12:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **2949447** e o código CRC **630C5FE5**.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha mãe, Helena Beatriz, e ao meu namorado, Lucas Pedrosa, pelo apoio na elaboração desta monografia. Seu amor e incentivo foram essenciais para alcançar este objetivo.

Agradeço também à minha orientadora, Profa. DSc. Francinete Veloso Duarte, pela orientação valiosa e pelo apoio ao longo deste trabalho.

Além disso, expresso minha gratidão ao meu trabalho na Integratio Mediação Social e Sustentabilidade por proporcionar-me a oportunidade de aprofundar meus conhecimentos no âmbito de desastres naturais relacionados com barragens. Sou imensamente grato(a) por todas as experiências e aprendizados adquiridos.

“A lei da mente é implacável. O que você pensa, você cria. O que você sente, você atrai. O que você acredita, torna-se realidade” (Buda, s.d.).

## RESUMO

O abastecimento de água é essencial para garantir a sobrevivência e o bem-estar das comunidades, desempenhando um papel vital em diversas atividades humanas, como higiene, agricultura e indústria. Sua importância transcende as necessidades básicas, contribuindo para a saúde pública, o desenvolvimento econômico e a preservação do meio ambiente. Nessa ótica, esse estudo sugere aprimoramentos no termo de referência (Anexo I deste trabalho) para a apresentação do “Plano de proteção e minimização dos potenciais impactos em estações de captação de água para abastecimento urbano na mancha de inundação”, legislação, do estado de Minas Gerais. Utilizando a metodologia de *brainstorm* SCAMPER e Checklist foram identificadas estratégias principais de seguridade hídrica, como abastecimento por pipa, captação de água subterrânea e captação de água da chuva. O checklist revelou ajustes necessários na legislação, destacando a necessidade de foco em públicos vulneráveis, conscientização do uso da água, previsão da qualidade da água pós-contato com rejeitos, fluxogramas operacionais e a adoção do Índice de Segurança Hídrica (ISH) para apoiar à gestão. A conclusão aponta para lacunas significativas nas estratégias de seguridade da água existentes, destacando a necessidade de preenchê-las para assegurar uma resposta eficaz em emergências hídricas.

Palavras-chave: segurança hídrica; contaminação da água; rompimento de barragens; políticas públicas; estratégias de mitigação; emergência hídrica.

## **ABSTRACT**

The water supply is essential to guarantee communities' survival and well-being, playing a vital role in various human activities, such as hygiene, agriculture and industry. Its importance goes beyond basic needs, contributing to public health, economic development and environmental preservation. From this perspective, this study suggests improvements in the reference terms (Annex I of this study) for the presentation of the “Protection and minimization plan of potential impacts on water collection stations for urban supply in the flood zone”, legislation, of Minas Gerais state. Utilizing SCAMPER and Checklist brainstorm methodology, main water security strategies were identified, such as water supply, underground water capture and rainwater capture. The checklist revealed necessary adjustments to legislation, highlighting the need to focus on the vulnerable public, water use awareness , prediction of water quality post-contact with waste, operational flowcharts and the adoption of the Water Security Index (ISH) to support the management. The conclusion points to significant gaps in existing water security strategies, highlighting the need to fill them to ensure an effective response to water emergencies.

Keywords: water security; water contamination; dam failure; public policies; mitigation strategies; water emergency.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Usos e limites emergenciais de uso d'água .....	21
Figura 2 - Nuvem de palavras .....	39

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Metais pesados e limites permitidos na água bruta (CONAMA 357/2005) .....	16
Quadro 2 - Segurança hídrica e indicadores .....	17
Quadro 3 - Demanda geral de água para emergências .....	19
Quadro 4 - Consumo relacionado à necessidade básica .....	20
Quadro 5 - Legislação relacionado ao tema de escassez hídrica .....	24
Quadro 6 - Metodologia SCAMPER .....	31
Quadro 7 - Questionário aplicado para os profissionais .....	32
Quadro 8 - Resumo de respostas dadas pelos profissionais .....	35
Quadro 9 - Questões condutoras do <i>checklist</i> .....	41
Quadro 10 - Propostas de alteração e melhoria do termo de referência.....	46

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Nível de aderência ao checklist .....	40
---	----

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
2.1 Contaminação hídrica por rejeitos da mineração .....	15
2.2 Segurança Hídrica.....	16
2.3 Disponibilidade de água em situações de emergência .....	19
2.4 Soluções para escassez hídrica e retomada do abastecimento público utilizadas no mundo .....	21
2.5 Principais legislações pertinentes à escassez hídrica .....	23
2.6 Bacias hidrográficas e captação de água subterrânea: contaminação dos rejeitos de mineração.....	25
<b>3. JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>28</b>
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>29</b>
<b>5. METODOLOGIA .....</b>	<b>30</b>
5.1 SCAMPER.....	30
5.2 <i>Checklist</i> de Verificação .....	33
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>35</b>
<b>6.1 SCAMPER – APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS GOOGLE FORMS.....</b>	<b>35</b>
6.2 <i>Checklist</i> De Verificação.....	39
6.3 Segurança hídrica e alterações do termo de referência .....	44
<b>7. CONCLUSÃO .....</b>	<b>48</b>
<b>8. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>50</b>
<b>9. ANEXO I - termo de referência .....</b>	<b>53</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A temática abastecimento de água, trata-se de uma pauta de grande importância no rol de assuntos inerentes aos recursos hídricos e ambientais, uma vez que problemas de escassez hídrica já é um desafio constante em muitas partes do mundo. A crescente demanda por água, o uso excessivo de recursos hídricos e a falta de investimento em infraestrutura de abastecimento potencializam os eventos de emergência hídrica e chama atenção para um maior cuidado com o uso da água.

No Brasil, por exemplo, é possível citar cenários de emergência hídrica por meio dos recentes rompimentos de barragens de mineração em Mariana e Brumadinho, em Minas Gerais, que afetaram significativamente a disponibilidade de água em diversas regiões. A contaminação da água pelo rejeito causou danos ambientais e econômicos significativos, além de impactar na saúde populacional e na fauna dependente dessas fontes de água. Além disso, os rejeitos liberados podem obstruir os cursos da água e lençóis freáticos, diminuindo drasticamente a disponibilidade hídrica.

Polignano e Lemos (2020) salientam os impactos decorrentes do rompimento da Barragem da Vale na Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba, destacando a importância para o abastecimento público de água, sendo responsável pelo fornecimento de água para, em torno de, 53% da população da região metropolitana de Belo Horizonte, por meio dos sistemas Várzea das Flores, Serra Azul e Rio Manso. Assim, após o rompimento, esse se tornou um dos maiores impactos ambientais, uma vez que as águas ficaram contaminadas e inutilizáveis para o consumo humano. Como resultado, houve uma série de impactos sociais, como doenças de veiculação hídrica, limitação na pesca, diminuição da disponibilidade de água para abastecimento humano e animal, tornando as possibilidades de uso da água extremamente restritas.

Tucci e Chagas (2018) destacam que a segurança hídrica está intrinsecamente ligada à escassez de água para diversos usos, à qualidade da água e aos efeitos das inundações. Esses aspectos estão diretamente relacionados com a gestão do risco de falta de água para atender às necessidades básicas da população ou do excesso de água, que pode gerar graves impactos sociais e econômicos. Nesse contexto, os autores destacam ainda a necessidade de uma estrutura de segurança hídrica para

Minas Gerais contemplando programas de operação de obras hidráulicas e segurança de barragens.

Em virtude dos eventos citados, tendo em vista que a utilização de barragens coloca em risco o abastecimento populacional, políticas públicas foram orientadas para sanar ou mitigar possíveis situações de escassez hídricas provenientes do rompimento de barragens. Essa política está balizada principalmente pelas diretrizes para a apresentação do Plano de Ação de Emergência das barragens abrangidas pela Lei Estadual (MG) nº 23.291, de 25 de janeiro de 2019, no âmbito das competências do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos definidas pelo Decreto no 48.078, de 5 de novembro de 2020, bem como pela Resolução Conjunta SEMAD/FEAM/IEF/IGAM nº 3.181, de 11 de novembro de 2022.

O arcabouço legal citado sustenta a solicitação do plano de proteção e minimização dos potenciais impactos em estações de tratamento de água para abastecimento urbano, incluindo as estruturas de captação e distribuição de água, na mancha de inundação pelo órgão ambiental, no qual a Semad expediu o termo de referência para a apresentação do “Plano de proteção e minimização dos potenciais impactos em estações de captação de água para abastecimento urbano na mancha de inundação” (Anexo I deste trabalho), para orientar a sua elaboração. Esse plano, possui o objetivo de traçar as estratégias para mitigar ou eliminar os impactos provenientes do rompimento de barragens nos sistemas de abastecimento urbano.

Em Minas Gerais, o órgão ambiental exige a elaboração desse último plano, mas por ser recente e pouco explorado, necessita de contribuições, principalmente, na vertente acadêmica. Assim, o objetivo desse trabalho é demonstrar as possibilidades de mitigação de impactos causados no abastecimento de água potável por estruturas de barragens de mineração, tendo em vista o seu alto potencial de contaminação e difícil reversibilidade de impacto. Além disso, esse trabalho visa alcançar uma análise crítica no termo de referência existente que exige a elaboração do plano de proteção citado.

Nesse contexto, para a análise crítica do termo de referência (Anexo I deste trabalho) que consta o plano de proteção, exigido pela Semad - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do estado de Minas Gerais, foi utilizado um *checklist* com questões condutoras para identificar lacunas existentes,

geradas por aplicação da técnica de SCAMPER, ferramenta que reuni opinião de especialistas para propor alternativas de abastecimento de água potável em situações de rompimento de barragens.

Como conclusão geral, por se tratar de uma legislação recente, existe fragilidades no âmbito do termo de referência pertinente para apresentação do plano, bem como necessidade de exigência de estudos adicionais para melhor atuação no cenário de emergência hídrica, fato esse constante nesse trabalho.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Contaminação hídrica por rejeitos da mineração

A questão da contaminação hídrica por rejeitos de mineração é um problema ambiental significativo. Os rejeitos de mineração são os resíduos sólidos resultantes do beneficiamento do minério, como areia, argila, silte e resíduos químicos. Estes rejeitos, quando dispostos inadequadamente, podem contaminar recursos hídricos superficiais e subterrâneos por lixiviação de metais e sedimentos. Além disso, a qualidade da água impactada afeta a fauna e flora e a saúde humana, já que muitas comunidades utilizam esses recursos hídricos para consumo e atividades cotidianas.

De acordo com Vanderlei (2022), a contaminação da água e do sedimento por rejeito de mineração resulta em toxicidade crônica aos organismos aquáticos, afetando sua reprodução e crescimento populacional em diferentes níveis tróficos. Embora o manganês e o ferro, que são os metais encontrados em maiores proporções nos rejeitos contaminantes, sejam essenciais para o desenvolvimento dos organismos, sua mistura binária pode causar efeitos letais e subletais.

Polignano e Lemos (2020) ao citar os impactos no sistema hídrico pelo rompimento da Barragem da Vale, em Brumadinho (MG) ressaltam que a presença de metais pesados e o aumento exorbitante de turbidez provocaram alterações intensas na qualidade das águas. As concentrações desadequadas desses contaminantes comprometeram significativamente os demais parâmetros que avaliam a qualidade dos recursos hídricos. Constatou-se que a poluição por metais pesados havia excedido os limites toleráveis para um rio daquela classe, restringindo severamente os usos da água. Como mostrado no Quadro 1, os níveis desses contaminantes atingiram valores extremos nos primeiros dias após o acidente, comprometendo a qualidade do rio em toda a sua extensão.

**Quadro 1** - Metais pesados e limites permitidos na água bruta (CONAMA 357/2005)

<b>Metais pesados</b>	<b>Limite permitido na água (mg/L) – Classe II</b>	<b>Concentração de metais pesados pós o rompimento</b>
Manganês	0,01	736 vezes acima do limite permitido
Cádmio	0,01	800 vezes acima do limite permitido
Cromo	0,05	49 vezes acima do limite permitido
Mercurio	0,2	21 vezes acima do limite permitido

Fonte: Polignano e Lemos (2020)

O efeito mais prejudicial foi, portanto, a restrição generalizada do aproveitamento dos recursos hídricos devido à contaminação excessiva por metais pesados.

## 2.2 Segurança Hídrica

A Segurança Hídrica, de acordo com o conceito da Organização das Nações Unidas (ONU), existe quando há disponibilidade, quantidade e qualidade de água suficientes para o atendimento às necessidades humanas e à conservação dos ecossistemas aquáticos. Sendo assim, deve-se buscar, um cenário ideal de Segurança Hídrica, em que a infraestrutura esteja planejada, dimensionada, implantada e gerida adequadamente, atendendo tanto ao equilíbrio entre a oferta e a demanda de água quanto a situações contingenciais (ANA, 2019).

Nesse contexto, surge como iniciativa da união, o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), alinhada com o conceito internacional de Segurança Hídrica. Esse partiu de um estudo dos graus de segurança hídrica em todo o território nacional, definidos mediante um Índice de Segurança Hídrica (ISH), no qual a metodologia foi desenvolvida com dados advindos de diversos estudos preexistentes da ANA –

Agência Nacional das Águas e parceiros, aplicada em escala com alto grau de detalhamento – ottobacias <sup>1</sup> (ANA, 2019).

De acordo com a mesma, os conceitos envolvidos na composição do ISH foram projetados segundo dimensões, indicadores, variáveis ou atributos, assim definidos e relacionados:

- As quatro dimensões de Segurança Hídrica (Humana, Econômica, Ecológica e de Resiliência) foram consideradas e combinadas para formar o Índice de Segurança Hídrica (ISH) do territorial nacional– ver quadro abaixo.
- Cada dimensão possui um ou mais indicadores, capazes de quantificar aspectos dessas.
- Cada indicador é formado por uma combinação de variáveis ou atributos mensuráveis.
- Os indicadores utilizados no Índice de Segurança Hídrica (ISH) foram classificados em cinco faixas de gradação, normalizadas por meio da atribuição de valores numéricos naturais de 1 a 5, sendo que quanto menor o valor, menor o nível de segurança hídrica. A única exceção é o indicador de segurança das barragens de rejeito de mineração, que varia de 1 a 3.

No processo de composição do ISH, em cada dimensão foram atribuídos pesos aos respectivos indicadores para cálculo da média ponderada e normalização do índice. As classes e os pesos foram atribuídos segundo a visão de especialistas e testes de aderência à realidade, tendo por base a função que cada um dos aspectos considerados desempenha na composição da segurança hídrica (ANA, 2019).

**Quadro 2 - Segurança hídrica e indicadores**

<b>Indicadores do ISH – Índice De Segurança Hídrica</b>	
<b>Dimensão</b>	<b>Indicadores do ISH</b>
Humana	Garantia de água para abastecimento humano

<sup>1</sup> Ottobacias são áreas de contribuição dos trechos da rede hidrográfica codificadas segundo o método de Otto Pfafstetter para classificação de bacias. No fim da década de 1980, o engenheiro brasileiro Otto Pfafstetter, funcionário do extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS) desenvolveu um método de codificação numérica de bacias hidrográficas, considerando como insumo principal as áreas de contribuição direta de cada trecho da rede hidrográfica (ANA, 2019).

<b>Indicadores do ISH – Índice De Segurança Hídrica</b>	
<b>Dimensão</b>	<b>Indicadores do ISH</b>
Econômica	Garantia de água para irrigação e pecuária Garantia de água para atividade industrial
Ecosistêmica	Quantidade adequada de água para usos naturais Qualidade adequada da água para usos naturais Segurança das barragens de rejeito de mineração
Resiliência	Reservação artificial Reservação natural Potencial de armazenamento subterrâneo Variabilidade pluviométrica

Fonte: ANA, 2019

Segundo a ANA (2019) os indicadores de cada dimensão, Quadro 2, foram definidos considerando a garantia de água para abastecimento humano, irrigação e pecuária, atividade industrial, a quantidade adequada de água para usos naturais, qualidade adequada da água para usos naturais, reservação artificial, reservação natural, potencial de armazenamento subterrâneo, Variabilidade pluviométrica e segurança de barragens. Este último, indicador da dimensão ecossistêmica, considerou a existência de um total de mais de 700 barragens de rejeitos de mineração no País em 2017 e os danos potenciais (impactos) nos trechos de jusante decorrentes de um eventual rompimento, com base na avaliação da sua condição de segurança (risco de rompimento).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) brasileira abrange as três concepções de Segurança Hídrica. O Art. 2º da PNRH estabelece como objetivo principal assegurar a disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados aos seus usos, tanto para as gerações presentes quanto para as futuras, levando em consideração a ideia de desenvolvimento sustentável e a necessidade de evitar a degradação da qualidade da água disponível. O objetivo III da PNRH trata da prevenção e defesa contra eventos críticos, tanto naturais quanto decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais, incluindo a gestão de risco, a qual está relacionada às mudanças climáticas ao longo dos anos, bem como o rompimento de barragens. A terceira abordagem é contemplada na diretriz IV do Art. 3º, que indica a necessidade de uma articulação do planejamento de recursos hídricos com os setores usuários e

os planejamentos regional, estadual e nacional, visando a um planejamento integrado para a utilização dos recursos hídricos compartilhados e evitando conflitos entre os diferentes setores (BRASIL, 1997).

### 2.3 Disponibilidade de água em situações de emergência

O Manual de Saneamento da Funasa estabelece medidas sanitárias mínimas em situações de emergência ocasionadas por inundações, sendo que essas contemplem: a provisão de abrigos, assistência, prevenção de enfermidades, promoção da saúde, saneamento ambiental e provisão de água (BRASIL, 2019). O Manual ainda salienta a demanda mínima diária de água que deve ser fornecida em caso de emergência, conforme Quadro 3 abaixo:

**Quadro 3 - Demanda geral de água para emergências**

<b>Tipo de emergência</b>	<b>Quantidade de água (litros/dia)</b>
Em climas frios e temperados	3
Em climas quentes	7
Hospitais de campanha e postos de primeiros socorros	40-60
Centros de alimentação para população	20-39
Albergues temporários e acampamentos	15-20
Instalações de lavagem	35
Gado	30
Caprinos e animais de pequeno porte	12

Fonte: Brasil, 2019

Em condições usuais de fornecimento, a Coordenadoria Estadual de Defesa Civil (CEDEC) de Minas Gerais, adota como parâmetro a orientação estabelecida na Instrução Técnica número 1/2021. De acordo com essa normativa, que trata dos critérios e procedimentos para a aprovação do Plano de Ação de Emergência (PAE) pelo Gabinete Militar do Governador e pela Coordenadoria Estadual de Defesa Civil (GMG/CEDEC-MG), o consumo diário de 150 litros de água por pessoa é considerado como referência. Esse valor é utilizado tanto para o dimensionamento de novos

Sistemas de Abastecimento de Água quanto para a formulação de soluções de abastecimento de médio e longo prazo. O objetivo é assegurar que o abastecimento da população seja mantido próximo aos padrões considerados normais (CEDEC, 2021).

De acordo com as informações fornecidas pelas Companhias de Água ao Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS), em 2020 o consumo médio per capita de água no Estado de Minas Gerais é de 159 l/hab/dia, valor este que oscila conforme as condições socioeconômicas entre 80 e 200 l/hab/dia. Já no Brasil, o consumo médio per capita de água em 2020 é de 152,1 L/hab/dia, ou seja, Minas Gerais está acima do consumo médio brasileiro.

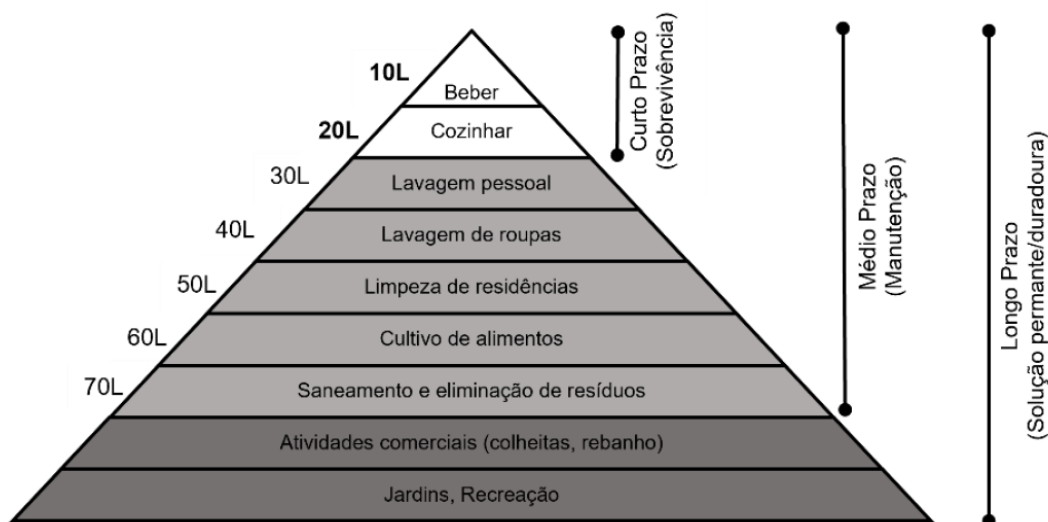
Em situações de emergência, como falta de abastecimento ou desastres naturais, a Organização das Nações Unidas (ONU) recomenda que se forneça pelo menos 20 litros de água potável por pessoa, garantindo o acesso básico da população a água para consumo humano, preparação de alimentos, limpeza de utensílios e higiene pessoal, conforme Quadro 4 e Figura 1 apresentados abaixo (WHO, 2017).

**Quadro 4 - Consumo relacionado à necessidade básica**

<b>Tipo de necessidade</b>	<b>Quantidade (L/dia)</b>	<b>Observações</b>
Sobrevivência (Beber e comer)	2,50 a 3	Depende do clima e fisiologia individual
Práticas básicas de higiene	2 a 6	Depende do padrão social e cultural
Necessidades básicas para cozinhar	3 a 6	Depende do tipo de comida e padrão social culturais
<b>Total</b>	<b>7,5 a 15</b>	

Fonte: WHO, 2017

**Figura 1 - Usos e limites emergenciais de uso d'água**



Fonte: WHO, 2017

#### 2.4 Soluções para escassez hídrica e retomada do abastecimento público utilizadas no mundo

Em situações de emergência hídrica, é crucial encontrar alternativas para assegurar o fornecimento de água à população. Algumas soluções que podem ser consideradas incluem medidas adotadas em casos anteriores de escassez hídrica em diferentes partes do mundo, conforme demonstrado abaixo.

A partir da crise provocada pelo desastre ambiental da Samarco, foram adotadas soluções alternativas para transporte de água bruta, como a utilização de sistemas de outros municípios, o uso de carros-pipa, a instalação de caixas d'água comunitárias e a distribuição de água mineral, dentre outras medidas emergenciais (SAMARCO, apud DUTRA, 2018).

Conforme o acordo judicial firmado, a empresa Vale tem o compromisso de realizar a reparação integral dos danos causados pelo rompimento da barragem em Brumadinho. No que diz respeito ao abastecimento público, a empresa já tomou diversas medidas, como a instalação de poços e novas estruturas de captação e armazenamento de água, entrega emergencial por caminhão-pipa e instalação de sistemas de tratamento. Essas medidas visam garantir que os moradores impactados

pela interrupção da captação no rio Paraopeba tenham acesso a água de qualidade e em quantidade suficiente. Algumas das medidas específicas incluem 183 captações subterrâneas, 2 adutoras em funcionamento, 3500 estruturas hidráulicas e de reservação e 100 caminhões-pipa em operação diária (VALE, 2022).

Tschiedel *et al.* (2019) discute possíveis soluções para garantir o abastecimento de água caso ocorra o rompimento da barragem do rio Descoberto, que abastece uma população de quase 2 milhões de habitantes do Distrito Federal. As alternativas genéricas passariam por avaliar a viabilidade de: (i) usar caminhões-pipa transportando água de outros mananciais; (ii) estabelecer estações de bombeamento de água bruta a montante da barragem ou em mananciais próximos à área afetada; (iii) utilizar poços artesianos já existentes na região; (iv) adquirir água de fornecedores diversos, como irrigantes ou outras empresas distribuidoras. No contexto específico da barragem do Descoberto, a opção de usar água recalcada de reservatórios vizinhos, como o Lago Santa Maria ou o Lago Paranoá, também poderia ser viável. O autor sugere, portanto, uma série de soluções emergenciais para garantir o abastecimento d'água em caso de ruptura do barramento.

Durante as crises de escassez hídrica que ocorreram entre 2005 e 2006 na Inglaterra e no País de Gales, as restrições de água foram estabelecidas através de níveis de ações de emergência. O nível 1 proibia o uso doméstico de mangueiras e sprinklers, mas permitia o enchimento de piscinas e a lavagem de carros e jardinagem. No nível 2, ficava proibida a rega por mangueira de áreas públicas e privadas, o preenchimento de piscinas privadas (exceto para tratamento médico), o preenchimento de lagos ornamentais, e a lavagem por mangueira, aspersão ou aparelho similar de veículos, estradas, barcos, material circulante ferroviário ou aeronaves, a menos que fosse por segurança e higiene. No nível 3, as interrupções de abastecimento de emergência podiam ser decretadas em determinados momentos do dia (LENNTECH, 2014).

Borges *et al.* (2019) salienta que a estratégia para a oferta de água na Califórnia, em cenários de escassez, se baseia na implantação e ampliação de estações de tratamento de efluentes no nível terciário, estações de dessalinização, renovação de redes de água e ampliação dos volumes de armazenamento. A estratégia de redução do consumo de água potável ocorre na forma de campanhas

educativas sobre o uso racional da água; elevação do preço da água; restrições de lavagem de veículos, áreas externas, calçadas, fontes e irrigação de jardins com multas; comprometimento de todas as autoridades no cumprimento das metas estabelecidas; política de incentivo a dispositivos de uso racional da água para usuários residenciais, comerciais, industrial, irrigação de áreas públicas; políticas de promoção de novas leis e regulações, que permitam o atendimento das metas propostas.

O mesmo autor destaca as ações estabelecidas no estado de São Paulo, em janeiro de 2014, um plano de rodízio de abastecimento foi divulgado na Região Metropolitana de São Paulo, devido à falta de precipitação muito abaixo da mínima histórica. O rodízio de abastecimento, que já havia sido utilizado em décadas passadas em razão da infraestrutura inadequada, baseava-se em blocos de abastecimento que intercalavam cortes de água.

De acordo com o Manual da Funasa, Brasil (2019), em situações de emergência que possam interromper os serviços de saneamento básico, é necessário que os responsáveis pela operação tenham estruturas de apoio para a recuperação dos serviços no menor prazo possível. Para isso, é possível recorrer a fontes alternativas, como água produzida ou armazenada em sistemas privados, poços, captações de água superficiais com tratamento, águas subterrâneas, águas superficiais, unidades de tratamento portáteis, armazenamento de água alternativos, distribuição de água em caminhões e tubulações provisórias e fontes públicas. É importante que essas fontes alternativas de água passem por processos de desinfecção e tratamento, garantindo a potabilidade da água para consumo humano.

## 2.5 Principais legislações pertinentes à escassez hídrica

A legislação pertinente à escassez hídrica e emergência hídrica pode variar entre países e regiões, mas no Brasil existem algumas leis e normas específicas que abordam essas questões, principalmente no âmbito de rompimento de barragens. Algumas delas são explicitadas no quadro abaixo.

**Quadro 5 - Legislação relacionado ao tema de escassez hídrica**

<b>Legislação</b>	<b>Jurisdição</b>	<b>Assunto correlacionado ao tema de escassez hídrica</b>
Decreto nº 24.643/1934	Federal	Regula o uso das águas e dá outras providências. Embora antigo, ainda é utilizado para regular a exploração dos recursos hídricos. Prevê a possibilidade de racionamento e suspensão do uso da água em casos de escassez.
Lei nº 9.433/1997	Federal	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. Estabelece os instrumentos de gestão de recursos hídricos, incluindo os planos de recursos hídricos e a outorga de direitos de uso. Prevê a declaração de situação de escassez e de emergência hídrica.
Lei nº 12.608/2012	Federal	Lei de Proteção e Defesa Civil: Esta é a lei que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Ela estabelece os princípios, diretrizes e instrumentos para a gestão de riscos e desastres naturais no país, incluindo a gestão da escassez hídrica e da emergência hídrica.
Resolução Conjunta SEMAD/IGAM nº 2.668/2017 – MG	Estadual (Minas Gerais)	Esta é uma resolução conjunta da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável e do Instituto Mineiro de Gestão das Águas de Minas Gerais que estabelece medidas para a gestão da escassez hídrica em bacias hidrográficas do estado.
Resolução nº 1/2018 – ANA	Federal	Esta é uma resolução da Agência Nacional de Águas que estabelece critérios para a declaração de situação crítica de escassez hídrica em bacias hidrográficas. A resolução também define medidas a serem adotadas para enfrentar a escassez em situações de crise, incluindo a possibilidade de se decretar estado de emergência hídrica.
Lei Estadual de Minas Gerais (segurança de barragens) 23.291/2019	Estadual (Minas Gerais)	(art. 9, parágrafo 1º) que salienta: “Constarão no PAE a previsão de instalação de sistema, de alerta sonoro ou outra solução tecnológica de maior eficiência, capaz de alertar e viabilizar o resgate das populações passíveis de serem diretamente atingidas pela mancha de inundação, bem como as medidas específicas para resgatar atingidos, pessoas e animais, mitigar impactos ambientais, assegurar o abastecimento de água potável às comunidades afetadas e resgatar e salvaguardar o patrimônio cultural.
Lei nº 14.026/2020	Federal	Marco Legal do Saneamento: Esta é a lei que estabelece o novo marco legal do saneamento básico no Brasil. Ela estabelece metas para a universalização dos serviços de saneamento e prevê a possibilidade de se decretar estado de emergência hídrica em casos de crise nos serviços de abastecimento de água.

Legislação	Jurisdição	Assunto correlacionado ao tema de escassez hídrica
Lei Federal 14.066, de 30/09/2020	Federal	altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) (art. 12, inciso VI) que salienta: “medidas específicas, em articulação com o poder público, para resgatar atingidos, pessoas e animais, para mitigar impactos ambientais, para assegurar o abastecimento de água potável e para resgatar e salvaguardar o patrimônio cultural”
Decreto Estadual de Minas Gerais nº 48.078/2020	Estadual (Minas Gerais)	(artigo 7º, inciso VI) compete ao SISEMA: “apresentar diretrizes e aprovar a seção do PAE referentes às ações necessárias à proteção e à minimização dos potenciais impactos em estações de captação de água para abastecimento urbano, na mancha de inundação.”
Resolução Conjunta SEMAD/FEAM/IEF/IGAM nº 3.181, de 11 de novembro de 2022	Estadual (Minas Gerais)	(artigo 6º, inciso V): “plano de proteção e minimização dos potenciais impactos em estações de tratamento de água para abastecimento urbano, incluindo as estruturas de captação e distribuição de água, na mancha de inundação, conforme termo de referência disponibilizado pela Semad.”

## 2.6 Bacias hidrográficas e captação de água subterrânea: contaminação dos rejeitos de mineração

A legislação estabelece a bacia hidrográfica como uma área de interesse para políticas públicas e como uma unidade fundamental para a implementação de sistemas de gestão de recursos hídricos, especialmente diante da crescente preocupação com a escassez hídrica e a possibilidade de emergências causadas por rompimentos de barragens. Reconhecer a bacia como unidade de gestão e planejamento permite uma abordagem mais eficaz na resposta a essas situações, garantindo uma gestão integrada e adaptativa dos recursos hídricos. No Brasil, conforme definido no artigo 1º, em particular seu inciso V, da Lei Federal n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997, a bacia hidrográfica é reconhecida como uma unidade territorial para a aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos e para as atividades do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Além disso, o artigo 8º da mesma lei estipula que os planos de recursos hídricos devem ser elaborados por bacia hidrográfica, tanto em nível estadual quanto nacional. Portanto, ao considerar a bacia como unidade de gestão, torna-se possível desenvolver estratégias específicas para

lidar com a escassez hídrica e os riscos associados ao rompimento de barragens, levando em conta as características particulares de cada região hidrográfica.

De acordo com Soares (2021), é crucial investigar a poluição a jusante causada pela percolação através do corpo da barragem. Para isso, são necessárias estações de coleta de amostras de água superficial e subterrânea, com o objetivo de analisar as composições químicas dos solos em suspensão e da água, incluindo o pH e a presença de metais pesados. Essa investigação visa obter dados comparativos relacionados à qualidade da água e suas variações, sugerindo-se que a coleta seja iniciada antes mesmo da operação da mina. Durante a operação e desativação, a principal consideração ambiental é manter a qualidade das águas de superfície e subterrâneas, especialmente quando os rejeitos produzem efluentes tóxicos, ácidos, alcalinos, metais pesados ou outras características que impactam o meio ambiente.

De acordo com a pesquisa conduzida pela Aedas - Associação Estadual de Defesa Ambiental e Social, para avaliar os danos ambientais e os riscos à saúde decorrentes do colapso da barragem da Vale em Brumadinho, os resultados revelaram que as amostras coletadas durante duas campanhas apresentaram problemas significativos. Os testes realizados nas águas superficiais não atenderam aos padrões de qualidade devido à concentração de minerais, com todas as amostras também contendo coliformes fecais. Além disso, foi observado um potencial risco para irrigação em 35% das amostras de águas subterrâneas (ALMG, 2022).

Esse contexto evidencia a importância da consideração das bacias hidrográficas e da água subterrânea em situações de emergência hídrica, como rompimentos de barragens. Reconhecer a bacia como unidade de gestão é essencial para uma abordagem completa dos recursos hídricos nos referidos cenários. A pesquisa em Brumadinho ressalta os danos ambientais e riscos à saúde, evidenciando a contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Portanto, a análise conjunta desses elementos é crucial para desenvolver estratégias eficazes de gestão e mitigação dos impactos.

A gestão integrada das bacias hidrográficas e a consideração da captação de água subterrânea são fundamentais para lidar com a escassez hídrica e os riscos associados a eventos como rompimentos de barragens. Ao reconhecer a bacia como

unidade de gestão e planejamento, torna-se possível desenvolver estratégias específicas e adaptativas para enfrentar essas situações, levando em conta as características únicas de cada região hidrográfica. É essencial investigar e monitorar continuamente a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, especialmente em áreas afetadas pela mineração, a fim de proteger o meio ambiente e a saúde pública.

### 3. JUSTIFICATIVA

O direito humano ao acesso à água potável é reconhecido mundialmente. Todos devem ter garantido o abastecimento contínuo de água segura, o que só é possível por meio de um sistema público. A gestão racional e sustentável dos recursos hídricos também depende do abastecimento público, evitando desperdícios. Uma vez que a água é um bem finito, seu uso responsável é estratégico para as futuras gerações.

Em situações de crise, como escassez hídrica, secas, cheias, acidentes ou atentados, o abastecimento público é primordial para a segurança e sobrevivência da população. Permite prevenir e mitigar impactos, atendendo a população em casos emergenciais. Assim, realizar estudos e avaliações de como agir em situações de emergência hídrica, torna-se necessário – tendo em vista a relevância do uso da água pela população.

Ademais, fornecer soluções alternativas de abastecimento público para empreendedores que possuem barragens, torna-se essencial para atuação no cenário de emergência hídrica. Sendo assim possível facilitar a tomada de decisão de gestores da área de segurança de barragens e que operacionalizam o Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM).

#### 4. OBJETIVOS

O objetivo geral a ser alcançado é a análise crítica das estratégias de seguridade no abastecimento de água potável afetado por rompimentos de barragens de mineração no estado de Minas Gerais e propor estratégia para definir possibilidade de abastecimento de água em situação de escassez hídrica. Para tanto, os seguintes objetivos específicos são necessários:

- Sugerir um aprimoramento no termo de referência para a apresentação do “Plano de proteção e minimização dos potenciais impactos em estações de captação de água para abastecimento urbano na mancha de inundação” (anexo I), existente no estado de Minas Gerais.
- Elucidar alternativas de abastecimento de água público, no contexto de rompimento de barragens;

## 5. METODOLOGIA

Este estudo utilizará uma abordagem qualitativa, concentrando-se na aplicação da técnica de SCAMPER e no uso de um Checklist de Verificação. A técnica de SCAMPER envolverá a coleta de opiniões de especialistas para propor alternativas de abastecimento de água potável em situações de rompimento de barragens. Por outro lado, o Checklist de Verificação será empregado para analisar o termo de referência (anexo I) e oferecer sugestões de melhoria para a legislação existente. Essas metodologias combinadas fornecerão uma visão abrangente e detalhada das questões relacionadas ao abastecimento de água.

Na primeira etapa da metodologia, a técnica de SCAMPER será empregada para gerar alternativas de abastecimento de água público no contexto de rompimento de barragens. SCAMPER, um acrônimo em inglês que significa Substituir, Combinar, Adaptar, Modificar, Pôr em outro uso, Eliminar e Inverter (Substitute, Combine, Adapt, Modify, Put to another use, Eliminate e Reverse) (Inverter), é uma técnica que reúne a opinião de especialistas que auxiliará na concepção de soluções inovadoras para o desafio do fornecimento de água potável em circunstâncias de escassez hídrica.

Na segunda etapa da metodologia, será aplicado um *Checklist* de Verificação ao termo de referência (anexo I) atualmente em vigor no estado de Minas Gerais. Esse *checklist* permitirá uma análise detalhada do termo de referência, com a intenção de sugerir aprimoramentos no "plano de proteção e minimização dos potenciais impactos em estações de tratamento de água para abastecimento urbano, incluindo as estruturas de captação e distribuição de água, na mancha de inundação".

É relevante ressaltar que esta pesquisa consiste na coleta de opiniões de profissionais, com o intuito de avaliar a percepção destes no campo de atuação. Dessa forma, ela não adota uma abordagem probabilística, mas sim qualitativa, com o propósito de desenvolver propostas para minimizar os danos causados em sistemas de abastecimento de água.

### 5.1 SCAMPER

A técnica SCAMPER é notadamente uma abordagem que possibilita uma perspectiva diferenciada da usual, podendo ser aplicada para reformular um processo ou produto. De acordo com Carvalho et al (2018), conclui-se que SCAMPER se

destaca como uma das ferramentas mais eficazes para estimular o pensamento criativo, explorando a habilidade de questionamento e de adaptação a cenários presentes.

Segundo Carvalho et al (2018), o SCAMPER, acrônimo que se traduz como Substituir, Combinar, Adaptar, Modificar, Propor outros usos, Eliminar e Reorganizar, é uma metodologia de geração de ideias orientada à atividade, que pode ser executada mediante a aprendizagem colaborativa.

Já Santos (2012) destaca que a técnica SCAMPER utiliza uma série de diretrizes para incentivar a geração de ideias sobre algo pré-existente, visando melhorar ou mesmo ultrapassar a realidade atual. A execução do SCAMPER ocorre por meio de uma lista de verificação, conforme exemplificado no 6 a seguir.

**Quadro 6 - Metodologia SCAMPER**

<b>Letra</b>	<b>Significado</b>	<b>Questões típicas</b>
S	SUBSTITUIR	O que eu posso substituir para melhorar?
C	COMBINAR	Quais materiais, características, processos, pessoas, produtos ou componentes podem ser integrados para abordar o problema em questão? Como posso promover a sinergia com outras áreas, produtos ou processos para otimizar as soluções?
A	ADAPTAR	Como podemos identificar outros produtos ou processos que apresentem semelhanças com o nosso problema? Quais ajustes poderíamos realizar para adequá-los à nossa situação específica?
M	MODIFICAR/ MAGNIFICAR/ MINIFICAR	Como podemos realizar uma transformação completa no produto ou processo? Pode ser aprimorado tornando-o mais robusto, amplo, exuberante ou frequente? Ou, por outro lado, pode ser otimizado tornando-o mais compacto, leve, breve, menos significativo ou menos frequente?
P	POR EM OUTROS USOS	Quais outros produtos ou processos têm a capacidade de atender às nossas necessidades? Como podemos aproveitar produtos ou processos existentes que já estão em andamento?
E	ELIMINAR	Quais seriam as consequências de remover uma parte do produto ou processo? E como seriam os resultados se eliminássemos completamente o produto ou processo? Como podemos alcançar o mesmo objetivo caso não seja viável seguir por esse caminho?
R	REORGANIZAR	E se invertêssemos a ordem do processo? E se realizássemos o passo B antes do passo A? E se reorganizássemos o processo de forma a que A se torne o último passo e Z o primeiro? E se executássemos os passos de forma simultânea?

Fonte: Santos, 2012

Este método é um ótimo exemplo de uma técnica que se baseia em perguntas direcionadas ao problema em questão, visando estimular a criação de novas ideias. O estímulo é oriundo da formulação de respostas a questões que normalmente não

seriam consideradas. Foi Bob Eberle quem concebeu esta técnica, que ganhou popularidade graças a Michael Michalko (Michalko, 2000).

Nesse contexto, foi elaborado um questionário com perguntas orientativas, utilizando a metodologia SCAMPER, no *Google Forms* para ser aplicado a profissionais da área. As perguntas orientativas do questionário foram baseadas em um cenário de interrupção de água para abastecimento ocasionado por um rompimento de barragens hipotético, sendo essas destacadas abaixo:

**Quadro 7** - Questionário aplicado para os profissionais

Pergunta	Questionário - <i>Google Forms</i>	SCAMPER
1	Quais alternativas você sugere para <b>substituir</b> as captações de água afetadas por um desastre de barragem de rejeitos?	Substituir
2	Que <b>combinações</b> de fontes ou métodos de captação de água você sugeriria para garantir um abastecimento de água seguro em uma situação de emergência?	Combinar
3	Quais estratégias de <b>adaptação</b> você considera viáveis para otimizar a captação e distribuição de água em uma situação de emergência?	Adaptar
4	Que <b>modificações</b> você recomendaria nos métodos atuais de captação, tratamento e distribuição de água para enfrentar uma situação de emergência?	Modificar
5	Quais fontes de água não tradicionais você acredita que poderiam ser <b>utilizadas</b> em uma situação de emergência?	Por em outros usos(utilizações)
6	Quais usos de água não essenciais você acredita que poderiam ser <b>eliminados</b> para conservar a água em uma situação de emergência?	Eliminar
7	Como você sugere que ocorra a <b>reorganização</b> de recursos hídricos e sistemas de distribuição para garantir o abastecimento de água em uma situação de emergência?	Reorganizar

Fonte: Do Autor, 2023

Este questionário foi distribuído para especialistas, selecionados com base em suas relações profissionais com o pesquisador, e também foi disponibilizado para os alunos de pós-graduação da especialização em questão. No entanto, devido à natureza voluntária da participação, apenas os profissionais que possuíam relação profissional com o pesquisador optaram por participar. Sendo quatro profissionais,

com formação em arquitetura, engenharia geotécnica e engenharia ambiental, que demonstraram conhecimento sobre o tema, que faz parte de suas respectivas formações acadêmicas.

## 5.2 *Checklist* de Verificação

A metodologia *Checklist*, também conhecida como lista de verificação, é uma técnica utilizada para garantir que sejam seguidos todos os passos necessários de um processo, atividade ou tarefa. Trata-se de uma ferramenta prática e fácil de usar que organiza as informações de forma estruturada e sequencial.

Em sua essência, a lista de verificação é composta por uma série de itens ou ações que devem ser realizadas. Cada item da lista deve ser marcado ou verificado à medida que é concluído, proporcionando uma visualização clara e rápida do progresso da atividade (Carvalho e Paladini, 2012).

Por exemplo, nas práticas de gestão de qualidade, o uso de *checklists* se tornou uma estratégia fundamental para assegurar a aderência às normas e regulamentos vigentes, além de ser um instrumento que favorece a busca constante pela excelência dos processos. Na gestão ambiental e em práticas voltadas para os recursos hídricos, as *checklists* têm sido essenciais para assegurar o cumprimento das normativas ambientais e padrões estabelecidos, bem como para promover a melhoria contínua de processos relacionados ao uso sustentável e à conservação da água. Elas funcionam como ferramentas eficazes para identificar potenciais impactos negativos ao meio ambiente e orientar ações preventivas e corretivas, garantindo a preservação dos recursos hídricos.

O uso do *Checklist* será necessário para identificar as fragilidades existentes no termo de referência para a apresentação do “Plano de proteção e minimização dos potenciais impactos em estações de captação de água para abastecimento urbano na mancha de inundação” (Anexo I) no âmbito do plano de proteção e minimização dos potenciais impactos em estações de tratamento de água para abastecimento urbano. A metodologia empregada para a criação do *checklist* e análise crítica do termo de referência baseia-se na expertise dos profissionais em engenharia ambiental, envolvidos nesse trabalho, com o objetivo de aprimorar a legislação existente relacionada a seguridade hídrica em contexto de rompimento de barragens. As

questões condutoras foram criadas com base nas experiências do autor em consultoria de elaboração de Planos de proteção e minimização dos potenciais impactos em estações de captação de água para abastecimento, além disso o resultados da metodologia SCAMPER direcionaram a criação dessas questões de maneira a abranger aspectos essenciais, visando a proteção e minimização dos potenciais impactos ambientais nas estruturas de captação e distribuição de água, especialmente em áreas sujeitas à inundação.

## 6. RESULTADOS

A metodologia SCAMPER, utilizada de forma não probabilística, desempenhou um papel preponderante como instrumento de envolvimento de quatro profissionais, da área de meio ambiente e recursos hídricos, sendo essencial para fomentar a geração de ideias entre os participantes do estudo. Importa salientar que a coleta de dados foi realizada por meio da plataforma *Google Forms*, com a participação ativa de profissionais de arquitetura, engenharia geotécnica e engenharia ambiental.

A opinião desses profissionais subsidiou a formulação do *checklist* de adequação do termo de referência (anexo I), bem como contribuiu para a formulação de ideias para enfrentar cenários de escassez hídrica.

### 6.1 SCAMPER – APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS GOOGLE FORMS

Os quatro profissionais consultados para oferecer alternativas à substituição das fontes de captação de água afetadas por um desastre de barragem de rejeitos apresentaram uma gama de estratégias que abrangem tanto soluções imediatas quanto a médio e longo prazo. O resumo das repostas dos questionários pode ser verificado no quadro abaixo:

**Quadro 8** - Resumo de repostas dadas pelos profissionais

Pergunta	Respostas dos profissionais
<p style="text-align: center;"><b>1</b> <b>Substituir</b></p>	<p>Em termos de abordagens de curto prazo, enfatizaram a captação de água por lençóis freáticos e a coleta e tratamento de água pluvial como opções viáveis. Além disso, sugeriram o aproveitamento de outros corpos hídricos, na região, complementado por sistemas de reuso da água e captação de água da chuva, enfatizando que a viabilidade de cada uma dessas opções dependa do contexto local. Para um horizonte mais distante, ressaltaram a importância do tratamento da fonte de água afetada pelo desastre quando possível, propondo intervenções de engenharia, como a criação de ensecadeiras, a remoção mecânica de sedimentos e o bombeamento de efluentes líquidos. Uma sugestão inovadora incluiu a verificação das fontes de água não afetadas pelo desastre, considerando-os como uma nova fonte de captação potencial.</p>

Pergunta	Respostas dos profissionais
<p style="text-align: center;"><b>2</b> <b>Combinar</b></p>	<p>Os profissionais ofereceram diversas sugestões. Primeiramente, a captação subterrânea por meio de poços foi mencionada como uma opção imediata. Além disso, a utilização de água da chuva, o reuso de água e, em situações extremas, a dessalinização da água foram destacados como métodos complementares, em regiões litorâneas.</p> <p>Outras estratégias propostas incluíram a captação de água subterrânea de lençóis freáticos, que abrange poços rasos, drenos e nascentes, bem como a captação de água de lençóis confinados, envolvendo poços jorrantes e não jorrantes. O abastecimento por meio de pipas foi ressaltado como uma solução ágil e aplicável em situações de emergência. Além disso, a utilização de galões de água potável foi mencionada como uma alternativa prática e rápida</p>
<p style="text-align: center;"><b>3</b> <b>Adaptar</b></p>	<p>Os profissionais destacaram primeiramente, o armazenamento de água das chuvas em cada residência por meio de coletores individuais e tratamento padronizado, ressaltando a descentralização como uma abordagem eficiente. Além disso, enfatizaram a importância da criação de sistemas de cisternas e outras formas de armazenamento dessa água, visando a acumulação e distribuição eficaz de recursos hídricos. Como medida emergencial, sugeriram o abastecimento de caixas d'água por meio de caminhões-pipa. Por fim, apontaram a necessidade de explorar novas fontes de captação e distribuição de água, indicando um compromisso com a inovação e a diversificação de abordagens para garantir o acesso à água durante cenários de emergência.</p>
<p style="text-align: center;"><b>4</b> <b>Modificar</b></p>	<p>Primeiramente, ressalta-se a importância da diversificação das fontes de captação como uma medida para aumentar a segurança da população. A ideia central é manter a capacidade de suprimento de água por meio de múltiplas fontes, reduzindo a dependência de uma única fonte de abastecimento. Em segundo lugar, é recomendado o redirecionamento do ponto de coleta caso a fonte original seja impactada por eventos como o rompimento de barragens, visando garantir o fornecimento contínuo de água a partir de uma fonte segura.</p>
<p style="text-align: center;"><b>5</b> <b>Utilizações</b></p>	<p>Menciona-se a captação de água pluvial como uma fonte potencial, enfatizando a necessidade de sistemas de tratamento mais simples e o reuso da água para tornar essa fonte viável. Em seguida, é apontado que, dependendo da aplicação, outras fontes podem ser consideradas, embora a resposta destaque que isso pode não ser prático em situações de emergência, pois as pessoas podem resistir a soluções fora do habitual.</p>
<p style="text-align: center;"><b>6</b> <b>Eliminar</b></p>	<p>Primeiramente, enfatiza-se a importância de utilizar a água de forma econômica e inteligente em vez de eliminá-la completamente de atividades. Essa resposta destaca a necessidade de promover a conscientização e a mudança de comportamento para otimizar o uso da água. Em segundo lugar, aponta-se que as ações para conservação da água podem variar dependendo do perfil da localidade</p>

Pergunta	Respostas dos profissionais
<p style="text-align: center;"><b>7</b> <b>Reorganizar</b></p>	<p>Em primeira instância, enfatizaram a imperatividade de dar prioridade ao fornecimento público de água como uma medida de extrema relevância, assegurando que as comunidades tenham acesso contínuo a água potável durante períodos críticos. Paralelamente, ressaltaram a relevância estratégica da diversificação das fontes de captação de água como uma tática central para a reorganização, visando incrementar a resiliência do sistema de abastecimento. Os especialistas também realçaram a implementação de ações pragmáticas no curto prazo, tais como o fornecimento temporário de água por meio de caminhões-pipa, seguido pela instauração de adutoras como uma solução de longo prazo. Essa abordagem denota um planejamento gradual para a restauração do sistema hídrico após eventos de emergência, destacando, adicionalmente, a significância da conscientização e educação da comunidade para fomentar o uso eficiente da água. Por último, reconheceram a importância crítica de evitar a dependência exclusiva de uma única fonte de abastecimento, especialmente em regiões propensas a riscos, como rupturas de barragens, enfatizando a necessidade de diversificar as fontes e desenvolver planos de contingência como medidas essenciais para assegurar o fornecimento ininterrupto de água em cenários críticos. Essas recomendações encapsulam uma abordagem abrangente e embasada na gestão de recursos hídricos durante situações de emergência.</p>

Fonte: *google forms*, do autor, 2023

O resultado das perguntas aplicadas apresenta uma série de alternativas e estratégias propostas pelos profissionais para garantir o abastecimento de água em situações emergenciais, particularmente após desastres como o rompimento de barragens. Diversas abordagens são sugeridas, abrangendo desde soluções de curto prazo, como a captação de água por lençóis freáticos e a utilização de caminhões-pipa, até intervenções de longo prazo, como o tratamento da água afetada e o desenvolvimento de infraestruturas de armazenamento e distribuição. Nota-se um consenso sobre a necessidade de diversificar as fontes de água, evitando a dependência de uma única fonte. Além disso, fica evidente a recomendação de medidas que promovam a conscientização e a educação da comunidade sobre o uso eficiente da água.

As soluções propostas reafirmam a necessidade de planejamento, flexibilidade e inovação na gestão de recursos hídricos, principalmente em cenários de emergência. O foco central está na segurança e continuidade do fornecimento de água, garantindo que as comunidades não fiquem desprotegidas em momentos críticos. A diversificação de fontes e a educação da população emergem como pilares fundamentais para enfrentar tais desafios. Este compêndio de respostas e sugestões de especialistas fornece um guia valioso para formuladores de políticas, autoridades

locais e organizações envolvidas na gestão de água, apontando para estratégias sustentáveis em situações adversas.

Para subsidiar a interpretação das respostas dos questionários, utilizou-se a técnica da nuvem de palavras,

Figura 2. Essa ferramenta gráfica, aplicada às respostas as perguntas do questionário, exhibe palavras ou termos em tamanhos variáveis, indicando sua frequência ou importância em um determinado conjunto de dados. Dessa forma, as palavras mais frequentemente mencionadas são as consideradas mais relevantes e são exibidas em tamanhos maiores, enquanto termos menos frequentes são mostrados em tamanhos menores. Essa visualização permite uma rápida compreensão das ênfases e tendências em um conjunto de texto.

A Nuvem de Palavras é uma abordagem qualitativa da pesquisa social, comumente utilizada no desenvolvimento de projetos sociais e ambientais. A sua utilização exige conhecimentos das técnicas acerca da captura de discursos e/ou narrativas empregadas e a análise, por meio de escalas de valoração da frequência e/ou valor das palavras que são expressas. Diante do volume de informações reunidas nos questionários aplicados, são precisos instrumentos que permitam resumir e apontar os focos principais da análise, juntamente com a associação direta dessas informações às suas respectivas fontes, garantindo maior segurança e precisão sobre o que está exposto.

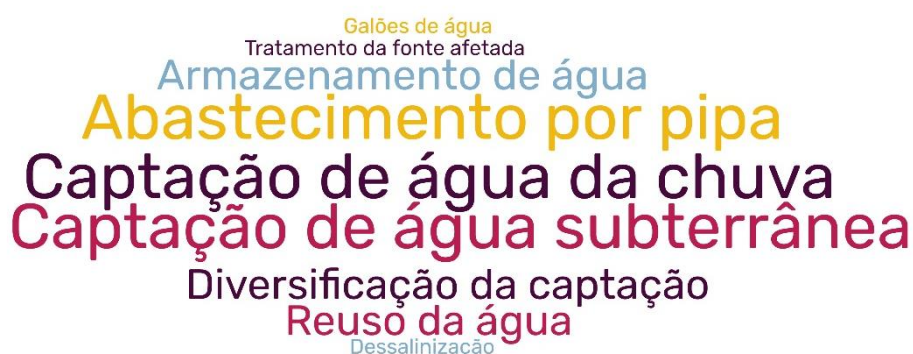
Interpretando a nuvem gerada a partir das sugestões de especialistas sobre cenários de escassez hídrica, percebe-se que a "Captação de água da chuva/pluvial" surge como uma solução frequentemente citada. Essa predominância sugere um reconhecimento coletivo da importância e viabilidade da coleta e tratamento da água pluvial como uma abordagem sustentável para enfrentar crises hídricas. A ênfase dada a esta alternativa reflete, possivelmente, um entendimento de que é fundamental aproveitar todos os recursos hídricos disponíveis, especialmente quando fontes tradicionais estão em risco.

Além disso, a interpretação da nuvem de palavras também destaca soluções como o "Abastecimento por pipa" e a "Captação de água subterrânea/lençóis freáticos". Ambas as alternativas indicam uma busca por soluções práticas e imediatas

para situações de emergência. O abastecimento por pipa é indicativo da necessidade de respostas rápidas em momentos críticos, enquanto a menção à captação subterrânea mostra uma valorização de fontes de água protegidas de contaminações superficiais. Em conjunto, a análise da nuvem de palavras oferece um panorama diversificado das abordagens recomendadas, ilustrando a complexidade da gestão de recursos hídricos em contextos desafiadores.

Observando a Figura 2, fica claro uma ordem de prioridade nas soluções apresentadas pelas respostas dos profissionais, tendo em vista a frequência das soluções propostas para o abastecimento de água em situações de escassez hídrica. Os profissionais que participaram possuíam conhecimentos multidisciplinares que incluem a área de recuperação de áreas degradadas, meio ambiente e geotecnia.

**Figura 2** - Nuvem de palavras



Essa imagem, ou seja, a nuvem de palavras apresentada acima, permite a visualização da frequência de palavras utilizadas em um determinado discurso, destacando as palavras mais citadas no texto original. Ao invés de resumir um documento inteiro, a nuvem permite examinar o uso de cada palavra em particular.

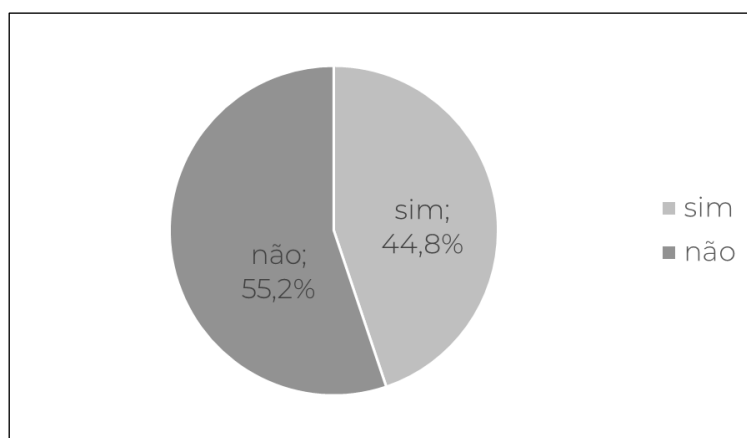
Nesse sentido, uma Nuvem de Palavras pode ser tratada como resultado da análise, mas também serve como ponto inicial para uma nova avaliação a ser feita, uma vez que aponta temáticas que possam ser mais bem aprofundadas em estudos posteriores.

## 6.2 Checklist De Verificação

No desenvolvimento deste estudo, as questões condutoras presentes no *checklist* foram formuladas a partir de duas fontes. Inicialmente, optou-se por aplicar a metodologia SCAMPER na elaboração de questionamentos relacionados à escassez hídrica, em consulta a profissionais especializados na área. As sugestões desses profissionais quanto a alternativas para o abastecimento de água proporcionaram o pesquisador questionamentos que foram confrontados com o termo de referência estabelecido. Essa abordagem não apenas forneceu uma estrutura sólida para explorar diversas perspectivas de inovação, mas também possibilitou problematizar aspectos específicos relacionados ao termo em foco. Adicionalmente, com o intuito de enriquecer a análise do checklist, foram incorporadas questões oriundas da experiência prática em consultoria e do conhecimento do pesquisador na área. É relevante destacar que, além dessa combinação de fontes, as perguntas foram fundamentadas em um estudo bibliográfico especializado, presente nesta pesquisa, garantindo, assim, uma abordagem embasada.

Com base na análise do *checklist*, Quadro 9, dos 29 itens de questões condutoras, 13 foram respondidos com "Sim", o que representa aproximadamente 44,8% do total. Os restantes 16 itens foram respondidos com "Não", correspondendo a 55,2% do total.

**Gráfico 1 - Nível de aderência ao checklist**



Esta distribuição revela que o termo de referência (Anexo I) aborda menos da metade, 44,8%, das questões condutoras propostas. A predominância de respostas "Não" (55,2%) indica áreas significativas de omissão ou falta de abordagem no documento. Estas lacunas podem resultar em vulnerabilidades no planejamento e na resposta a cenários de rompimento de barragens de mineração, potencialmente

comprometendo a segurança hídrica e a proteção ambiental em Minas Gerais. A ausência de estratégias claras e abrangentes pode levar a impactos adversos na qualidade da água, na saúde pública, nos ecossistemas aquáticos e na biodiversidade.

É importante ressaltar que as questões condutoras foram criadas para realizar uma análise crítica do termo de referência existente e foram criadas pelo autor deste trabalho, após a aplicação da metodologia SCAMPER supracitada. Além disso, o estudo do material bibliográfico subsidiou o desenvolvimento dessas questões, bem como potencializou um olhar crítico para os instrumentos existentes de segurança hídrica.

**Quadro 9** - Questões condutoras do *checklist*

<b>Item</b>	<b>Questões orientadoras</b>	<b>Sim</b>	<b>Não</b>	<b>Item do Anexo I do termo de referência</b>
1	Identificação do empreendedor/empreendimento?	x		IDENTIFICAÇÃO
2	Identificação dos municípios afetados?	x		CARACTERIZAÇÃO DO SANEAMENTO EIXO ABASTECIMENTO DE ÁGUA
3	Contempla a caracterização dos sistemas de saneamento impactados pela mancha?	x		CARACTERIZAÇÃO DO SANEAMENTO EIXO ABASTECIMENTO DE ÁGUA
4	O plano propõe alternativas de uso d'água no cenário de emergência por rompimento de barragens?	x		AÇÕES NECESSÁRIAS À PROTEÇÃO E À MINIMIZAÇÃO DOS POTENCIAIS IMPACTOS
5	O plano estabelece estratégias de atuação por nível de emergência?		x	
6	É identificado as estruturas danificadas pelo rompimento (adutora, ETA, captação, bombas...?)	x		CAPTAÇÕES PARA ABASTECIMENTO, ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA ATINGIDAS PELA MANCHA DE IMUNDAÇÃO
7	O Índice de Segurança Hídrica (ISH) é utilizado, bem como a correlacionado com o Plano Nacional de Segurança Hídrica?		x	-
8	Valor mínimo de volume de água é fornecido para auxiliar nos dimensionamentos?		x	-
9	Há estimativa orçamentária pelos danos ocasionados por barragens?		x	-

Item	Questões orientadoras	Sim	Não	Item do Anexo I do termo de referência
10	Há estimativa orçamentária para executar as ações propostas (recursos)?		x	-
11	O plano contempla identificação de públicos vulneráveis para o direcionamento de ações específicas?		x	-
12	O plano contempla ações de conflitos de usos d'água, educação ambiental para racionalização?		x	-
13	Estratégias para diminuição de perdas são propostas?		x	-
14	Qual a previsão de qualidade da água após contato com o rejeito?		x	-
15	Qual a classe do Rejeito (perigosa ou não perigosa)?		x	-
16	Contempla a realização de estudos de tratabilidade para subsidiar as alternativas propostas?	x		ANEXOS QUE ACOMPANHAM O PRESENTE - PLANO
17	Contempla a realização de estudos hidrológicos subsidiar as alternativas propostas, considerando o contexto da bacia hidrográfica?	x		AÇÕES NECESSÁRIAS À PROTEÇÃO E À MINIMIZAÇÃO DOS POTENCIAIS IMPACTOS
18	Contempla estudos hidrogeológicas para subsidiar as alternativas propostas, considerando o contexto da bacia hidrográfica?	x		AÇÕES NECESSÁRIAS À PROTEÇÃO E À MINIMIZAÇÃO DOS POTENCIAIS IMPACTOS
19	Contempla as build conceitual dos sistemas necessários para reestabelecer o abastecimento de água?	x		AÇÕES NECESSÁRIAS À PROTEÇÃO E À MINIMIZAÇÃO DOS POTENCIAIS IMPACTOS
20	Contempla ações de captação de água pluvial?	x		AÇÕES NECESSÁRIAS À PROTEÇÃO E À MINIMIZAÇÃO DOS POTENCIAIS IMPACTOS
21	Dimensionamento de caminhão pipa?	x		AÇÕES NECESSÁRIAS À PROTEÇÃO E À MINIMIZAÇÃO DOS POTENCIAIS IMPACTOS
22	há memorial de cálculo da população afetada, bem como a quantidade de água necessária mínima para o cenário de emergência?	x		AÇÕES NECESSÁRIAS À PROTEÇÃO E À MINIMIZAÇÃO DOS POTENCIAIS IMPACTOS
23	Há metas para serem alcançadas?		x	-
24	Há cronograma executivo das ações de reestabelecimento de água?	x		ANEXOS QUE ACOMPANHAM O PRESENTE - PLANO
25	Há definição de equipe mínima para executar o plano?		x	-
26	Há listagem de materiais necessários para mitigar os danos causados?		x	-
27	Contempla alternativas para dessedentação de animais domésticos?		x	-

Item	Questões orientadoras	Sim	Não	Item do Anexo I do termo de referência
28	Contempla alternativas para abastecimento de locais críticos como: escola, hospitais, quartéis, presídios?		x	-
29	Há fluxograma operacional indicando as ações a serem executadas nos cenários de emergência?		x	-
<b>Total</b>		<b>13</b>	<b>16</b>	-

Fonte: Do autor, 2023

A análise do checklist revela os pontos de melhorias e áreas que demandam atenção no termo de referência (Anexo I), especialmente no que se refere à segurança hídrica em cenários de rompimento de barragens de mineração em Minas Gerais. Utilizando a metodologia do *checklist*, composta por questões condutoras respondidas com "Sim" ou "Não", o exame dessas respostas proporciona uma avaliação das lacunas e ineficiências no referido termo de referência. Em suma, essa abordagem atua como uma ferramenta analítica que destaca de maneira mais precisa as áreas específicas que precisam ser melhoradas ou mais cuidadosamente consideradas no documento. Diante do exposto as principais lacunas evidenciadas no termo de referência são explicitadas abaixo

O item 7, que explicita a ausência do Índice de Segurança Hídrica (ISH), evidenciado no *checklist* acima, no termo de referência Estadual é uma omissão significativa. O ISH é um instrumento utilizado na avaliação quantitativa e qualitativa dos riscos e vulnerabilidades associados à segurança hídrica. Sem este índice, a capacidade de avaliar, monitorar e responder a ameaças específicas à qualidade e disponibilidade da água, frente ao rompimento de barragens, é severamente comprometida. Esta lacuna pode resultar em uma preparação inadequada nas respostas e recuperação em eventos de contaminação da água, exacerbando os impactos ambientais e sociais.

O item 11, do quadro 9, destaca A falta de identificação de públicos vulneráveis e a ausência de estratégias para a gestão de conflitos de uso da água e educação ambiental são outras lacunas críticas. A não identificação de grupos vulneráveis pode resultar em respostas que não atendem às necessidades específicas de populações em risco, exacerbando as desigualdades e os impactos adversos em comunidades desfavorecidas. A gestão inadequada dos conflitos de uso da água pode levar a tensões sociais, degradação dos recursos hídricos e perda de biodiversidade.

Já o item 14, salienta a previsão da qualidade da água após o contato com o rejeito e a classificação do rejeito são áreas insuficientemente abordadas no termo. A contaminação da água pode ter consequências devastadoras para a saúde humana, incluindo doenças transmitidas pela água e problemas de saúde de longo prazo. Além disso, a contaminação pode devastar ecossistemas aquáticos, resultando em perda de biodiversidade, alterações nos ecossistemas e impactos em cadeias alimentares e habitats.

Além disso, o item 29, informa a ausência de um fluxograma operacional detalhado para orientar as ações em cenários de emergência é uma deficiência que não pode ser ignorada. Sem um plano de ação claro, as respostas podem ser descoordenadas e ineficazes, exacerbando os danos ambientais e sociais e prolongando os períodos de recuperação após eventos de rompimento de barragens.

Portanto, a análise acima evidencia a necessidade de revisão e aprimoramento do termo de referência (Anexo I) no sentido de contemplar itens que envolvam: a exigência do ISH, o desenvolvimento de estratégias detalhadas para a gestão de conflitos de uso da água, a elaboração de planos claros para a proteção de públicos vulneráveis e a garantia da qualidade da água em cenários pós-contaminação. Essas medidas não apenas fortalecerão a resiliência dos sistemas de abastecimento de água, mas também garantirão a proteção da saúde pública e a preservação da integridade ecológica dos sistemas afetados.

### 6.3 Segurança hídrica e alterações do termo de referência

A segurança hídrica é um conceito fundamental para garantir o acesso contínuo e adequado à água para as necessidades humanas e a preservação dos ecossistemas aquáticos. Segundo a definição da Organização das Nações Unidas (ONU), a segurança hídrica é alcançada quando há disponibilidade, quantidade e qualidade de água suficientes para atender às demandas da população e conservar os recursos hídricos (ANA, 2019). No contexto brasileiro, a Agência Nacional das Águas (ANA) desempenha um papel crucial na promoção da segurança hídrica, desenvolvendo o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) e elaborando indicadores para avaliar a segurança hídrica em todo o território nacional.

O PNSH, alinhado com os conceitos internacionais de segurança hídrica, visa garantir que a infraestrutura relacionada à água seja planejada, dimensionada, implantada e gerida de forma adequada, considerando tanto a oferta e a demanda de água quanto situações contingenciais, como desastres naturais e rompimentos de barragens. Nesse sentido, a ANA desenvolveu o Índice de Segurança Hídrica (ISH), que considera quatro dimensões principais: Humana, Econômica, Ecológica e de Resiliência. Essas dimensões abrangem uma variedade de indicadores, incluindo a segurança das barragens de rejeitos de mineração, que é crucial para evitar desastres ambientais e garantir a disponibilidade de água para abastecimento público.

O rompimento de barragens representa uma séria ameaça à segurança hídrica, pois pode contaminar as fontes de água potável e comprometer o abastecimento público. O impacto desses desastres pode ser sentido em várias dimensões da segurança hídrica, afetando não apenas a disponibilidade de água para consumo humano, mas também a qualidade da água e a resiliência dos ecossistemas aquáticos. Portanto, é essencial que políticas e práticas de gestão de recursos hídricos considerem os riscos associados aos rompimentos de barragens e adotem medidas preventivas e de resposta adequadas para proteger a segurança hídrica da população e do meio ambiente.

Sob essa ótica da segurança hídrica, torna-se necessário orientar os empreendedores que possuem barragens de rejeitos ou resíduos tóxicos a considerar em seus “planos de proteção e minimização dos potenciais impactos nas estações de captação de água para abastecimento urbano na área de inundação.”, além do solicitado no termo de referência existente os seguintes aspectos considerados no quadro abaixo.

**Quadro 10 - Propostas de alteração e melhoria do termo de referência**

<b>Estratégias de seguridade hídrica (homem)</b>		
Ações	Nível de Emergência	Valor mínimo de volume de água para auxiliar nos dimensionamentos
<b>Estratégias de dessedentação (animais)</b>		
Ações	Nível de Emergência	Valor mínimo de volume de água para auxiliar nos dimensionamentos
<b>Índice de Segurança Hídrica (ISH) da região afetada pela mancha de inundação?</b>		
Município	ISH	Ações de seguridade hídrica
<b>Orçamentos (adicionar memorial de cálculo)</b>		
Valor danos ocasionados nos sistemas de abastecimento (R\$)		
Valor para estabelecer os sistemas de abastecimento (R\$)		
<b>Ações de seguridade da água para públicos vulneráveis ou de usos críticos</b>		
Público	ações	Prioridade de abastecimento
Estabelecimentos Assistenciais de Saúde		
Vilas e favelas		
Segurança pública		
Presídios		
Escolas		
Outros		
<b>Educação Ambiental - Uso da água</b>		
Público	Ações	Veículo de comunicação
<b>Conflitos de usos</b>		
áreas favoráveis a crises	Formas de mediação	responsáveis
<b>Redução de perdas de água</b>		
Dispositivo/ação		
<b>Qualidade da água da região afetada pela mancha</b>		
Atual (IQA)	pós contato com o rejeito (informar se é formar efluente perigoso) - IQA	Formas de tratabilidade

<b>Metas a serem alcançados com plano</b>	
<b>Metas</b>	<b>Nível de Emergência</b>
<b>Equipe mínima para execução das ações</b>	
<b>Materiais necessários para mitigar os efeitos dos rompimentos nos sistemas de abastecimento</b>	
<b>Fluxograma operacional das ações a serem realizadas</b>	

## 7. CONCLUSÃO

Em conclusão, este estudo destaca o problema da contaminação hídrica decorrente de rupturas em barragens de mineração, enfatizando os principais impactos ocorrentes em sistemas de abastecimento público. A avaliação dos impactos adversos desses eventos ressalta a urgência de estratégias adaptáveis para assegurar a segurança hídrica diante de situações que afetam os sistemas de abastecimento. A contaminação da água, a degradação ambiental e os riscos à saúde humana emergem como questões centrais, demandando abordagens inovadoras e rigorosas no âmbito da segurança hídrica.

A análise crítica do termo de referência, Anexo I, identifica lacunas significativas que carecem de preenchimento para uma resposta eficaz às emergências hídricas. A legislação existente, embora um passo positivo, revela-se insuficiente para abordar a complexidade dos desafios apresentados pelos rompimentos de barragens. Reformulações e a integração de abordagens práticas e teóricas são essenciais para fortalecer a resiliência dos sistemas de abastecimento de água. Os resultados, provenientes da aplicação do *checklist* de análise crítica, proporcionam ideias para aprimorar estratégias de gestão de recursos hídricos, atendendo ao objetivo de sugerir aprimoramentos no termo de referência. Assim, as principais mudanças propostas permeiam a exigência do ISH, o desenvolvimento de estratégias detalhadas para a gestão de conflitos de uso da água, a elaboração de planos claros para a proteção de públicos vulneráveis e a garantia da qualidade da água em cenários pós-contaminação

Além disso, ao elucidar alternativas de abastecimento público de água no contexto de rupturas de barragens, utilizando a metodologia SCAMPER, destaca-se opções como o abastecimento por caminhão-pipa, captação de água subterrânea e aproveitamento da água da chuva. Contudo, é crucial reconhecer que as possibilidades de abastecimento público em situações de emergência hídrica são limitadas, evidenciando a necessidade de mais pesquisa no tema para desenvolver novas tecnologias de captação de água. A promoção de estratégias de armazenamento de água torna-se essencial para diversificar as formas de captação existentes, atendendo, assim, ao segundo objetivo estabelecido neste trabalho. Por fim, esta pesquisa não apenas destaca os desafios críticos relacionados à

contaminação hídrica e à segurança hídrica, mas também oferece soluções diferenciadas e um guia para inovação e melhoria contínua.

## 8. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.ppi.gov.br/wp-content/uploads/2023/04/pnsh.pdf>. Acesso em: 1 out. 2023.

ALMG. (2022). **Contaminação de moradores de Brumadinho é exposta em audiência**. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/comunicacao/noticias/arquivos/Contaminacao-de-moradores-de-Brumadinho-e-exposta-em-audiencia/>. Acesso em: 11 de fevereiro de 2024.

AQUINO BORGES, V. M. N. de et al. **Experiência internacional em gestão de escassez hídrica: é bom para o Brasil?** Tratamento de Água, [s.l.], 11 jul. 2019. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/gestao-escassez-hidrica/>. Acesso em: 6 ago. 2023.

BRASIL, Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde: Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – 5.ed. Brasília: Funasa, 2019. 545 p.: il. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br>. Acesso em: 1 fev. 2023.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1997. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm) Acesso em: 6 abr. 2023.

CARVALHO, D. N. de et al. **Revisão estruturada de literatura: SCAMPER - método de geração de ideias**. São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/561/pdf>. Acesso em: 1 out. 2023.

CARVALHO, M.M. de; PALADINI, E.P. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

CEDEC, Coordenadoria Estadual de Defesa Civil – Minas Gerais, **Instrução Técnica 01/2021** – Critérios para Elaboração e Aprovação do Plano de Ação de Emergência - PAE. Belo Horizonte, 2021. Disponível em: [http://www.defesacivil.mg.gov.br/images/documentos/2021\\_Instrucao%20T%C3%A9cnica\\_vers%C3%A3o\\_publicada.pdf](http://www.defesacivil.mg.gov.br/images/documentos/2021_Instrucao%20T%C3%A9cnica_vers%C3%A3o_publicada.pdf). Acesso em: 5 jun. 2023.

DUTRA, Pollyana Rocha Franco. **Análise dos impactos relacionados ao rompimento da barragem de Fundão em Mariana/MG com ênfase em recursos hídricos**. 2018. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-BCCLS9>. Acesso em: 22 ago. 2023.

LENNTECH BV. **Droughts and water shortage** - the English case. [S.l.: s.n.], [2014]. Disponível em: <http://www.lennotech.com/water-shortage.htm>. Acesso em: 10 fev. 2023.

MICHALKO, M. T. **A Handbook of Creative Thinking Techniques**. Berkeley: Ten Speed Press, 2006.

MINAS GERAIS. Decreto nº 48.078, de 2020. **Regulamenta os procedimentos para análise e aprovação do Plano de Ação de Emergência – PAE**. Diário Oficial do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/DEC/48078/2020/?cons=1>. Acesso em: 5 out. 2023.

MINAS GERAIS. Lei nº 23.291, de 2019. **Institui a política estadual de segurança de barragens**. Diário Oficial do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/texto/LEI/23291/2019/>. Acesso em: 5 jul. 2023.

MINAS GERAIS. **Resolução Conjunta SEMAD/FEAM/IEF/IGAM nº 3.181, de 11 de novembro de 2022**. Estabelece diretrizes para a apresentação do Plano de Ação de Emergência. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=56489>. Acesso em: 15 mar. 2023.

POLIGNANO, Marcus Vinicius; LEMOS, Rodrigo Silva. **Rompimento da Barragem da Vale em Brumadinho: Impactos Socioambientais na Bacia do Rio Paraopeba**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v72n2/v72n2a11.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2023.

SANTOS, V. M. P. D. dos. **Criatividade e inovação no processo de planejamento de sistemas de informação**. 2012. Universidade do Minho, Portugal. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1822/22908>. Acesso em: 16 jul. 2023.

SNIS, SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (Brasil). **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto Gestão Técnica de Água**. Brasília, 2020. Disponível em: [http://antigo.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO\\_TEMATICO\\_GESTAO\\_TECNICA\\_DE\\_AGUA\\_AE\\_SNIS\\_2022.pdf](http://antigo.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_GESTAO_TECNICA_DE_AGUA_AE_SNIS_2022.pdf). Acesso em: 5 out. 2023.

SOARES, Lindolfo. **Barragem de rejeitos**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/769/1/CCL00410010.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2024.

TSCHIEDEL, Arthur et al. **A Barragem rompeu, e agora?** Impactos imediatos e de curto prazo a jusante e a montante de uma barragem de abastecimento urbano de água. 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/338430986\\_A\\_BARRAGEM\\_ROMPEU\\_E\\_AGORA\\_IMPACTOS\\_IMEDIATOS\\_E\\_DE\\_CURTO\\_PRAZO\\_A\\_JUSANTE\\_E\\_A\\_MONTANTE\\_DE\\_UMA\\_BARRAGEM\\_DE\\_ABASTECIMENTO\\_URBANO\\_DE\\_AGUA\\_A\\_WATER\\_SUPPLY\\_DAM\\_HAVE\\_BROKEN\\_AND\\_NOW\\_IMMEDIATE\\_AND\\_SHORT\\_TERM\\_DOW](https://www.researchgate.net/publication/338430986_A_BARRAGEM_ROMPEU_E_AGORA_IMPACTOS_IMEDIATOS_E_DE_CURTO_PRAZO_A_JUSANTE_E_A_MONTANTE_DE_UMA_BARRAGEM_DE_ABASTECIMENTO_URBANO_DE_AGUA_A_WATER_SUPPLY_DAM_HAVE_BROKEN_AND_NOW_IMMEDIATE_AND_SHORT_TERM_DOW). Acesso em: 20 set. 2023.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; CHAGAS, Maria de Fátima. **Segurança hídrica: conceitos e estratégia para Minas Gerais**. REGA, Porto Alegre, v. 14, e12, 2017. Disponível em: [https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/198/802534ee73e9bcb48c662546a9f2f9e3\\_fbb8585ef27dacdc1075b1e435cb19e3.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/198/802534ee73e9bcb48c662546a9f2f9e3_fbb8585ef27dacdc1075b1e435cb19e3.pdf). Acesso em: 12 mai. 2023.

VALE S.A. **Balço de Reparaço - 1º semestre de 2022**. Brumadinho: Minas Gerais, 2022. Disponível em: [https://vale.com/documents/d/guest/val3862-2\\_revista-balanco-da-reparacao-1-sem-22\\_final?\\_gl=1\\*1nx11dr\\*\\_ga\\*NzU5MzExMzkuMTY5NjYyMTM4MQ..\\*\\_ga\\_BNK5C1QYMC\\*MTY5NjYyMTM4MC4xLjEuMTY5NjYyMTM5OC40Mi4wLjA](https://vale.com/documents/d/guest/val3862-2_revista-balanco-da-reparacao-1-sem-22_final?_gl=1*1nx11dr*_ga*NzU5MzExMzkuMTY5NjYyMTM4MQ..*_ga_BNK5C1QYMC*MTY5NjYyMTM4MC4xLjEuMTY5NjYyMTM5OC40Mi4wLjA). Acesso em: 12 ago. 2023.

VANDERLEI, Marina Reghini. **Contaminação aquática por rejeito de mineração: o caso do desastre ambiental de Mariana (MG)**. 2022. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-30112022-145535/pt-br.php>. Acesso em: 23 jun. 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Technical Notes On Drinking-Water, Sanitation And Hygiene In Emergencies**. Geneva, Switzerland, 2017. Disponível em: [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/who-tn-09-how-much-water-is-needed.pdf?sfvrsn=1e876b2a\\_6](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/who-tn-09-how-much-water-is-needed.pdf?sfvrsn=1e876b2a_6). Acesso em: 17 mai. 2023.

## 9. ANEXO I - termo de referência

## ANEXO I

TERMO DE REFERÊNCIA PARA APRESENTAÇÃO DO "PLANO DE PROTEÇÃO E MINIMIZAÇÃO DOS POTENCIAIS IMPACTOS EM ESTAÇÕES DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO URBANO, NA MANCHA DE INUNDAÇÃO			
<b>IDENTIFICAÇÃO</b>			
Nome da barragem			
Município do eixo da barragem			
Municípios abrangidos pela mancha de inundação			
Nível de Emergência da barragem			
<b>Identificação do empreendedor</b>			
Razão social/Nome			
Nome Fantasia			
CNPJ/CPF			
Cargo / Função			
E-mail			
Telefone			
<b>Identificação do Empreendimento</b>			
Razão social/Nome			
Nome Fantasia			
CNPJ/CPF			
Cargo / Função			
E-mail			
Telefone			
<b>Identificação da empresa responsável pela elaboração dos estudos</b>			
Razão social/Nome			
Nome Fantasia			
CNPJ/CPF			
E-mail			
Telefone			
<b>Identificação dos responsáveis técnicos pela elaboração dos estudos</b>			
Nome			
Formação profissional			
Nº ART ou equivalente			
Cargo / Função			
ART			
<b>ORIENTAÇÃO:</b>			
Os dados apresentados de abastecimento de água referentes a caracterização do sistema devem ser preferencialmente primários, caso não seja possível, poderão ser secundários desde que sejam de fontes confiáveis e devidamente referenciadas.			
<b>CARACTERIZAÇÃO DO SANEAMENTO EIXO ABASTECIMENTO DE ÁGUA</b>			
<b>Dados Gerais do Município</b>			
De acordo com o último censo do IBGE, informar:	Ano de referência do censo		
	População Urbana (hab.)		
	População Rural (hab.)		
	População Total (hab.)		
Informar Distritos/Aglomerados Comunidades rurais	Nome		População
	Nome		População

CARACTERIZAÇÃO DO SANEAMENTO EXISTENTE DO MUNICÍPIO LOCALIZADO TOTAL OU PARCIALMENTE DENTRO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO				
Abastecimento de água potável	População Atendida (hab.)	Urbana (hab.)		
		Rural (hab.)		
Abastecimento de água potável	Distritos/Aglomerados Comunidades rurais (DACR)	População atendida por DACR (hab.)		
		População atendida por DACR (hab.)		
Consumo médio per capita de água do município				
Qualidade da água de abastecimento				
Dados dos Mananciais Localizados Total ou Parcialmente na Mancha de Inundação				
Localidade de abastecimento	Nome do manancial/Tipo	Vazão captada (m³/s)	Coordenadas Geográficas decimais do ponto de captação	
			Latitude	Longitude
Caracterização da Estação de Tratamento de Água				
Nome da Estação de tratamento de água		Coordenadas Geográficas decimais	Latitude	Longitude
Área total do terreno (m²)		Área Construída (m²)		
O empreendimento está localizado em zona:	( ) urbana	( ) rural	( ) de expansão urbana	
População Atendida – início de plano (hab.):		População Atendida – fim de plano (hab.):		
Formas de Tratamento da água				
( ) Convencional - Clarificação com utilização de coagulação e floculação, seguida de desinfecção e correção de pH	( ) Simplificado - Clarificação por meio de filtração e desinfecção e correção de pH quando necessário	( ) Avançado - Técnicas de remoção e/ou inativação de constituintes refratários aos processos convencionais de tratamento, os quais podem conferir à água características, tais como: cor, odor, sabor, atividade tóxica ou patogênica bem como também processos que envolvam a dessalinização da água.		
CAPTAÇÕES PARA ABASTECIMENTO, ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA ATINGIDAS PELA MANCHA DE INUNDAÇÃO				
Nome	População atendida pelo equipamento (habitantes)	Portaria de Outorga (Caso aplicável)		

PRINCIPAIS ESTRUTURAS PRESENTES NO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA					
Identificação das estruturas (adutoras, Estação elevatória, Reservatório etc.)	Quantidade	Estrutura atingida pela mancha		Coordenadas Geográficas decimais	
		Sim	Não	Latitude	Longitude
AÇÕES NECESSÁRIAS À PROTEÇÃO E À MINIMIZAÇÃO DOS POTENCIAIS IMPACTOS NAS ESTRUTURAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA					
Sistema de abastecimento de água atingido pela mancha de inundação (captações, adutoras, reservatórios, ETA, rede de distribuição principal etc.)	Informar as ações de proteção e minimização que serão adotadas.				
	Ações emergenciais	Ações de curto prazo	Ações de médio prazo	Ações de longo prazo	
<b>Observação 1</b>	É obrigatório que todas as ações propostas garantam água à população em quantidade compatível com o consumo médio per capita da comunidade atingida e em qualidade adequada à portaria de potabilidade demais normas vigentes.				
<b>Observação 2</b>	As ações propostas devem ser especificadas separadamente por município atingido total ou parcialmente e devem ser informados a forma de execução dessas medidas e a população que será atendida. Deverão ser considerados como municípios atingidos não só o município onde se localiza a captação atingida pela mancha de inundação, mas também todos os municípios que fizerem uso daquela captação.				
<b>NOTA 01:</b> <i>Em localidade que forem identificadas Estações de Tratamento de Esgoto dentro da mancha de inundação, as mesmas deverão ser caracterizadas, uma vez que, em caso de rompimento e/ou impactos à essas infraestruturas, o lançamento de carga orgânica de efluentes sem tratamento impacta a qualidade da água e do solo, podendo comprometer diretamente o abastecimento de água das populações a jusante. Desta forma, faz-se necessária a apresentação das ações de mitigação de impacto de curto, médio e longo prazo, de modo a mitigar os impactos no abastecimento.</i>					

<b>AÇÕES NECESSÁRIAS À PROTEÇÃO E À MINIMIZAÇÃO DOS POTENCIAIS IMPACTOS NAS ESTRUTURAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO</b>				
Sistema de tratamento de esgoto atingido pela mancha de inundação (ETE, interceptores etc.).	Informar as ações de proteção e minimização que serão adotadas			
	Ações emergenciais	Ações de curto prazo	Ações de médio prazo	Ações de longo prazo
<b>ANEXOS QUE ACOMPANHAM O PRESENTE - PLANO</b>				
Arquivo KML e arquivo PDF de Planta topográfica planialtimétrica georreferenciada acompanhada de ART, contendo os limites do município/distrito, da macro localização de todos os elementos que compõem o sistema de abastecimento de água e de tratamento de esgoto, a rede hidrográfica, os locais de disposição dos resíduos, pontos de lançamento de efluentes; pontos de monitoramento ambiental implantados e/ou previstos; dentre outros aspectos ambientais relevantes.				
<i>NOTA: Os arquivos digitais com a representação dos objetos deverão ser entregues no formato KML). Os arquivos deverão ser elaborados em coordenadas geográficas e referenciadas ao Datum oficial do Sistema Geodésico Brasileiro e do Sistema Cartográfico Nacional, estabelecido conforme Resolução IBGE nº 01 de 2015 como SIRGAS 2000 (código EPSG: 4674). Além disso, deverão ser observadas todas as orientações técnicas disponibilizadas no IDE-Sisema.</i>				
Caso seja necessário a implantação de novas estruturas como Estação de Tratamento de Água, adutoras, reservatórios, interceptores, estações elevatórias e Estação de Tratamento de Esgotos, deverão ser apresentados estudos com a descrição da localização, população atendida, sistema de tratamento da água ou esgoto proposto, tratabilidade da água dentre outros.				
Caso sejam necessárias novas captações de água como medida emergencial, apresentar estudo de tratabilidade, com intuito de verificar se o sistema de abastecimento do município atende aos critérios técnicos para a nova captação.				
Cronograma de implantação do empreendimento, se for o caso.				
Outros. Especificar:				
<p>Observação:</p> <p>Os estudos devem ser elaborados com base em dados técnicos específicos para o empreendimento, observando-se as recomendações de boas práticas da engenharia, normas e legislação correlata que se aplicarem, a exemplo das normas da ABNT, Agência Nacional das Águas (ANA), Instrução Técnica 01/2021 – Critérios para elaboração e aprovação do Plano de Ação de Emergência – PAE da Coordenadoria Estadual de Defesa Civil de Minas Gerais – CEDEC utilizando-se preferencialmente de dados primários ou dados secundários validados pelos prestadores de serviços dos municípios avaliados.</p> <p>Fazer constar no PAE que qualquer eventual sistema ou parte componente do sistema não considerado no plano, seja captação, tratamento, adução, reservação e/ou distribuição de água que porventura seja afetado em caso de rompimento da barragem, deverá ser atendido de acordo com os mesmos protocolos apresentados para áreas consideradas no estudo.</p> <p>Todos os estudos, planos, relatórios e laudos apresentados deverão ser acompanhados de anotação de responsabilidade técnica – ART.</p>				