

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Luiz Henrique Rosolen Ferro

**Priorização de medidas de controle para gestão de riscos
associados à segurança da água tendo em vista a captação
superficial do Rio Corumbataí no município de Rio Claro – SP**

São Carlos
2023

Luiz Henrique Rosolen Ferro

Priorização de medidas de controle para gestão de riscos associados à segurança da água tendo em vista a captação superficial do Rio Corumbataí no município de Rio Claro – SP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para a conclusão da graduação em Engenharia Civil

Orientadora: Profa. Dra. Katia Sakihama Ventura

São Carlos
2023

AGRADECIMENTOS

Gostaria de registrar meus sinceros agradecimentos a todos os envolvidos, direta e indiretamente, em toda jornada que culmina no desenvolvimento deste importante Trabalho de Conclusão de Curso.

Especialmente aos meus pais e irmão, Luiz Fernando, Claudia e Luiz Felipe, por serem uma fonte inesgotável de amor, suporte e sabedoria. Por terem me proporcionado inúmeras oportunidades e me apoiarem em todas as situações.

Aos demais familiares, amigos e namorada, gostaria de expressar minha gratidão pela amizade verdadeira e apoio constante.

Aos meus professores que se empenharam no propósito de ensinar alunos. Em especial, à minha orientadora Profa. Dra. Katia Sakihama Ventura, pelos anos de acompanhamento acadêmico e pela orientação no desenvolvimento deste trabalho.

Meu eterno obrigado.

Dê-me um ponto de apoio e moverei a Terra
(Arquimedes)

RESUMO

Fruto do crescimento populacional e do desenvolvimento humano, o consumo de água aumentou nos últimos anos e apresenta tendência de majoração. A disponibilidade de água potável, por sua vez, se encontra em um cenário de escassez devido a desigualdade social e falta de planejamento adequado. Reconhecendo a situação atual e as limitações existentes, o Plano de Segurança da Água (PSA) surge com o intuito de abordar o Sistema de Abastecimento de Água (SAA), sendo definido como uma ferramenta de estudo do sistema, desde a captação até o consumidor final, baseando-se em análises de risco e gerenciamento deste. O PSA é um instrumento de gestão com foco na identificação de eventos perigosos, determinação de medidas de controle e métodos de priorização a fim de nortear os gestores nas tomadas de decisão. Dado que a captação superficial do Rio Corumbataí é responsável por abastecer 60% da população do município de Rio Claro – SP, o planejamento desta se mostra imprescindível. Dessa maneira, o presente estudo buscou propor um conjunto de medidas de controle, tendo em vista eventos perigosos existentes na captação superficial do Rio Corumbataí no município de Rio Claro, com o propósito de auxiliar na elaboração do PSA. Para isso, inicialmente realizaram-se visitas de campo a fim de identificar medidas existentes que contribuam positivamente para a qualidade da água, tendo sido identificadas ações relacionadas ao manejo de resíduos sólidos e manutenção da via de transporte. Em seguida, determinaram-se medidas de controle quanto aos eventos perigosos, tendo como base o princípio de múltiplas barreiras. Então, foi desenvolvido um método de priorização de medidas, buscando: (i) relevância do evento perigoso relacionado; (ii) prazo de execução e redução do risco; (iii) custo adequado e; (iv) projeções quanto às futuras mudanças climáticas. Por fim, foi possível realizar o emprego do método desenvolvido no objeto de estudo de modo a ser obtido, como resultado final, a priorização de medidas de controle. As principais medidas de controle identificadas foram as relacionadas à recuperação das margens do rio, à fiscalização das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e à listagem de materiais passíveis de causar contaminação.

Palavras-chave: sistema de abastecimento de água, manancial superficial, plano de segurança da água, gestão pública.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Balanço hídrico quantitativo no Brasil; ênfase para a região do estado de São Paulo.....	16
Figura 2 - Divisão do estado de São Paulo em 22 UGRHIs	17
Figura 3 - Fluxograma de um SAA com representação em planta e em perfil	19
Figura 4 - Fluxograma das etapas de elaboração do PSA.....	21
Figura 5 - Mudança no período de retorno esperado para o ano de 2080 quanto a inundação que deveria ocorrer em média 1 vez a cada 100 anos no século 20.....	26
Figura 6 - Fluxograma sequencial das atividades para realização do estudo	28
Figura 7 - Fluxograma das atividades de resultados.....	30
Figura 8 - Caminho percorrido em visitas de campo	31
Figura 9 - Localização da bacia do Rio Corumbataí no estado de São Paulo	33
Figura 10 - Sub-bacias da bacia do Rio Corumbataí; destaque para sub-bacia do Alto Corumbataí (zona 17)	34
Figura 11 - Distribuição das classes climáticas na bacia do Rio Corumbataí com destaque para zona 17.....	35
Figura 12 - Uso e ocupação do solo no mapa da bacia do Rio Corumbataí; destaque para zona 17	36
Figura 13 - Posição da captação e da ETA em função do Rio Corumbataí	39
Figura 14 - Localização da captação superficial do Rio Corumbataí no município de Rio Claro no mapa da bacia do Rio Corumbataí	40
Figura 15 – Localização dos pontos de risco	45
Figura 16 - Presença de placa de sinalização quanto ao manejo de resíduo sólido.....	46
Figura 17 - Conteúdo da placa de sinalização quanto ao manejo de resíduo sólido....	46
Figura 18 - Manutenção da via tendo em vista os pontos de escoamento.....	46
Figura 19 - Realização de valas nas laterais da via.....	46
Figura 20 - Obra realizada buscando o manejo das águas pluviais.....	47
Figura 21 - Obra em execução buscando o manejo de águas pluviais.....	47
Figura 22 - Margem do rio apresentando assoreamento e inexistência de mata ciliar.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Municípios da bacia do Rio Corumbataí e área correspondente.....	34
Tabela 2 - Classes e área de uso do solo por zonas; destaque para zona 17	36
Tabela 3 - Dinâmica do uso e ocupação do solo quanto a área de ocupação entre os anos de 2000 e 2017.....	37
Tabela 4 - Transição de classes quanto ao uso do solo entre os anos de 2000 e 2017	38
Tabela 5 - Dispositivos legais utilizados na gestão dos recursos hídricos	38
Tabela 6 - Grau de Vulnerabilidade (GV) dos municípios a montante da captação superficial do Rio Corumbataí	40
Tabela 7 - Parâmetros de qualidade da água para consumo humano no ano de 2022 para ETA II de Rio Claro	41
Tabela 8 - Critérios para classificação dos eventos perigosos quanto à probabilidade e severidade.....	42
Tabela 9 – Resultado da avaliação dos eventos perigosos no objeto de estudo	43
Tabela 10 - Análise do risco tendo em vista o resultado deferido	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Medidas de controle quanto a captação superficial do Rio Corumbataí..	48
Quadro 2 - Método de priorização das medidas de controle	52
Quadro 3 – Priorização das medidas de controle de eventos com risco muito alto ..	54
Quadro 4 – Priorização das medidas de controle de eventos com risco alto	55
Quadro 5 – Priorização das medidas de controle de eventos com risco médio	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APP	Área de Preservação Permanente
DAAE	Departamento Autônomo de Água e Esgoto
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
GV	Grau de Vulnerabilidade
hab	Habitantes
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
km	Quilômetros
km²	Quilômetros quadrados
mm	Milímetro
n°	Número
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PCJ	Piracicaba, Capivari e Jundiá
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PSA	Plano de Segurança da Água
s	Segundo
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SP	São Paulo
UGRHI	Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos
VMP	Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	OBJETIVOS	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	SITUAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	15
2.1.1	Recursos hídricos no Brasil	15
2.1.2	Recursos hídricos no estado de São Paulo	16
2.2	SAA: COMPOSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS	17
2.3	PSA: COMPOSIÇÃO E CONSIDERAÇÕES	19
2.3.1	Características do PSA	19
2.3.2	Conceito de múltiplas barreiras	20
2.3.3	Etapas para elaboração	21
2.4	PSA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS	24
2.4.1	Relevância	24
2.4.2	Consequências e riscos	25
3	METODOLOGIA	27
3.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E LEVANTAMENTO DE DADOS	28
3.2	PROPOSIÇÃO E ANÁLISE DE MEDIDAS DE CONTROLE	29
3.2.1	Etapa de visita de campo	30
3.2.2	Etapa de proposição de medidas de controle	31
3.2.3	Etapa de elaboração de método de priorização	32
3.2.4	Etapa de aplicação do método elaborado	32
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	33
4.1	ASPECTOS GERAIS DA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ	33
4.2	INFORMAÇÕES GERAIS DA CAPTAÇÃO SUPERFICIAL DO RIO CORUMBATAÍ E ENTORNO	39
4.3	EVENTOS PERIGOSOS NO MANANCIAL E NA CAPTAÇÃO SUPERFICIAL DO RIO CORUMBATAÍ	41
5	RESULTADOS	45
5.1	OBSERVAÇÕES DE CAMPO	45

5.2	PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS DE CONTROLE	48
5.3	ELABORAÇÃO DE MÉTODO DE PRIORIZAÇÃO	51
5.4	APLICAÇÃO DO MÉTODO DE PRIORIZAÇÃO DAS MEDIDAS DE CONTROLE	53
6	CONCLUSÕES	57

1 INTRODUÇÃO

O abastecimento público de água consiste em todo o processo de fornecimento de água potável à população. Compreende desde a retirada da água de um corpo hídrico até a distribuição final, atendendo parâmetros de qualidade e quantidade (Brasil, 2016). Segundo a Lei nº 11.445/2007, abastecimento de água potável é estabelecido como atividade e manutenção de infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição (Brasil, 2007).

No Brasil, aproximadamente 16% da população carece de abastecimento de água tratada (Instituto Trata Brasil, 2023). Buscando aprimorar o sistema, a Lei nº 9.433/1997, a qual institui a política nacional dos recursos hídricos, aborda que a água é um bem de domínio público. Ademais, tem como objetivo, de acordo com o artigo 2º, assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água e a prevenção contra eventos hidrológicos críticos naturais ou não (Brasil, 1997).

Rio Claro - SP, com uma população de 209.548 habitantes (IBGE, 2023), é um município com abastecimento de água realizado por meio de dois mananciais superficiais (Ribeirão Claro e Rio Corumbataí) que atendem a sede do município e os distritos de Ajapi e Batovi. Situado na bacia do Rio Corumbataí, o sistema referente a ETA II, objeto de estudo da presente pesquisa, abastece a maior parte do município e apresenta uma vazão de 500 L/s (RIO CLARO, 2021).

A fim de buscar o correto gerenciamento pelos municípios, a Portaria do Ministério da Saúde nº 177 destaca a necessidade do planejamento do Sistema de Abastecimento de Água (SAA) por meio do Plano de Segurança da Água (PSA) (Brasil, 2011). O PSA é um instrumento de abordagem preventiva que aborda todas as etapas de um SAA, buscando identificar riscos e estabelecer medidas de controle (Brasil, 2012).

Com vistas a combater os eventos perigosos, um SAA deve conter medidas de controle, como indicado pelo PSA, com o objetivo de controlar riscos. A elaboração de medidas, assim como a presente pesquisa, procura estabelecer ações corretivas e planejamentos a fim de minimizar, eliminar e prevenir possíveis riscos. Com o bom

funcionamento destas, as metas de saúde e potabilidade não de ser atingidas (Brasil, 2012).

1.1 JUSTIFICATIVA

Até meados do século XX, os padrões de potabilidade da água eram meramente características organolépticas. Devido ao desenvolvimento de estudos, estes padrões se mostraram ineficazes, existindo atualmente normas e parâmetros a serem seguidos a fim de disponibilizar água de qualidade para consumo (Moraes e Vieira, 2005).

Apesar dos parâmetros de potabilidade, ferramentas e tecnologias não serem empecilhos nos dias atuais, o acesso à água potável não é realidade para todos. Cerca de 2,1 bilhões de pessoas no mundo não têm acesso à água potável em suas residências (UNICEF, 2017); no Brasil, este número chega a 35 milhões de pessoas (Instituto Trata Brasil, 2023).

Em virtude da limitação da abordagem tradicional existente nos SAAs, a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda a elaboração do PSA. Com uma abordagem preventiva, a ferramenta possibilita uma gestão relacionada à avaliação de riscos, abordando todos os componentes do SAA e propondo medidas de controle de acordo com o sistema existente e a respectiva gestão (Brasil, 2012; Brasil, 2016).

A presente pesquisa justifica-se por buscar auxiliar a gestão de órgãos responsáveis pelo setor de abastecimento do município de Rio Claro - SP. Dada a priorização das medidas de controle, colabora-se na execução do PSA, atualmente recomendado para elaboração e administração de um SAA. Ademais, a etapa de identificação e priorização de medidas de controle quanto a eventos perigosos deve ser componente de todos os SAAs e respectivos PSAs, de modo que o presente resultado norteie demais sistemas no controle e gestão de riscos.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal desta pesquisa foi priorizar medidas de controle dos riscos de contaminação do manancial e da área de captação superficial do Rio Corumbataí visando a segurança hídrica no município de Rio Claro – SP e a colaboração com o desenvolvimento do Plano de Segurança da Água.

Os objetivos específicos foram:

- Realizar visita de campo com o propósito de identificar medidas de controle existentes;
- Propor medidas de controle tendo em vista os eventos perigosos na captação superficial do Rio Corumbataí e entorno;
- Elaborar método de priorização de medidas de controle;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SITUAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

2.1.1 Recursos hídricos no Brasil

O atendimento com água tratada no Brasil contempla 93,5% da população urbana, correspondendo a 167,5 milhões de pessoas. Com 179,3 milhões de habitantes na área urbana, tem-se que cerca de 12 milhões destes não têm acesso à água potável (Brasil, 2021). Além disso, de acordo com a publicação Pobreza na Infância, 14,3% das crianças e adolescentes brasileiros não têm o direito à água garantido (UNICEF, 2021).

A fim de contemplar o tema, a legislação federal, por meio da Lei 9.433/1997, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Em seu artigo 1º, capítulo I, fundamenta que a água é um bem de domínio público, limitada e dotada de valor econômico. Ademais, a legislação prioriza o uso dos recursos hídricos para fins humanos e conclui: “a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades” (Brasil, 1997).

Buscando tratar sobre projeções futuras, a Lei nº 14.026/2020 atualiza o marco legal do saneamento básico. De acordo com o artigo 11-B desta, os contratos de prestação de serviços públicos de saneamento deverão definir metas a fim de garantir atendimento de 99% da população com água potável até 31 de dezembro de 2023 (BRASIL, 2020). A Lei 11.445/2007, por sua vez, no artigo 2º, estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e apresenta os fundamentos (Brasil, 2007):

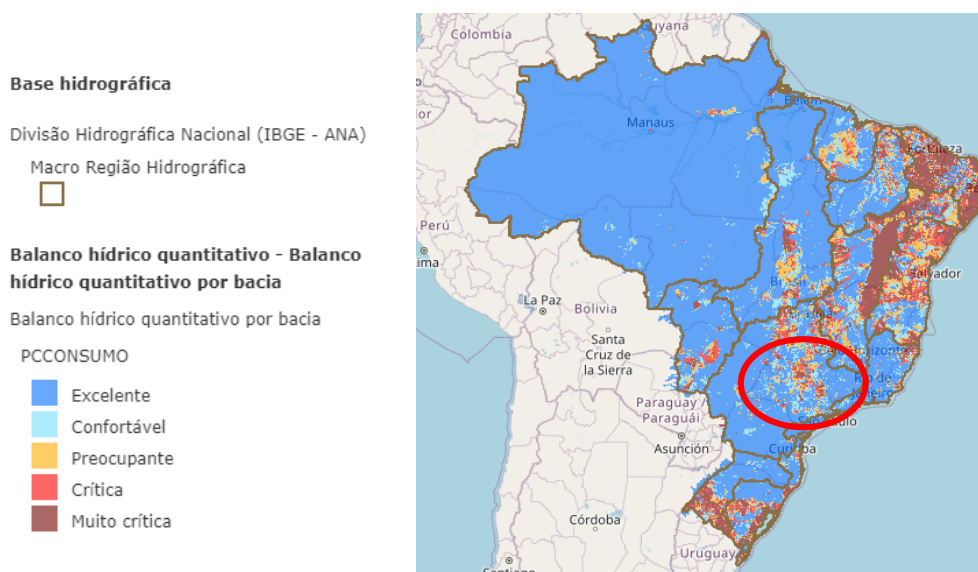
- I - universalização do acesso e efetiva prestação de serviço;
- II - abastecimento de água, [...] realizados de forma adequada à saúde pública, à conservação dos recursos naturais e à proteção do meio ambiente;
- V - adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais;
- VIII - estímulo à pesquisa, ao desenvolvimento e à utilização de tecnologias apropriadas, consideradas a capacidade de pagamento dos usuários, a adoção de soluções graduais e progressivas e a melhoria da qualidade com ganhos de eficiência e redução dos custos para os usuários;

2.1.2 Recursos hídricos no estado de São Paulo

O estado de São Paulo apresenta uma taxa de urbanização de 97%. Possuindo população total superior a 46 milhões de habitantes, o estado é o mais populoso do Brasil e o segundo em densidade demográfica, apresentando 166,25 hab/km² (IBGE, 2023).

Analisando o balanço hídrico, o qual representa a quantidade de água disponível em relação ao consumo de água da área analisada, constata-se que o estado de São Paulo apresenta regiões em todos os níveis. Como consta na Figura 1, existem regiões em que a demanda por consumo de água é superior à disponibilidade dos mananciais (SNIRH, 2023).

Figura 1 - Balanço hídrico quantitativo no Brasil; ênfase para a região do estado de São Paulo



Fonte: SNIRH, 2023.

Buscando delimitar as áreas de atuação dos gestores, a divisão hidrográfica do estado ocorre por meio de vinte e duas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), conforme mapa disposto na Figura 2. Tais UGRHI consideram, para tal divisão, critérios hidrológicos, ambientais, socioeconômicos e administrativos, buscando, assim, otimizar aspectos técnicos e burocráticos (Portal SIGRH, 2023).

Figura 2 - Divisão do estado de São Paulo em 22 UGRHIs



Fonte: Brasil, 2016.

Visando a proteção e recuperação de bacias hidrográficas, a Lei 9.866/1997 dispõe diretrizes e normas. No artigo 1º, apresenta os objetivos (Brasil, 1997):

- I - preservar e recuperar os mananciais de interesse regional no Estado de São Paulo;
- II - compatibilizar as ações de preservação dos mananciais de abastecimento e as de proteção ao meio ambiente com o uso e ocupação do solo e o desenvolvimento socioeconômico;
- III - promover uma gestão participativa, integrando setores e instâncias governamentais, bem como a sociedade civil;
- IV - descentralizar o planejamento e a gestão das bacias hidrográficas desses mananciais, com vistas à sua proteção e à sua recuperação;
- V - integrar os programas e políticas habitacionais à preservação do meio ambiente.

2.2 SAA: COMPOSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS

O SAA é uma infraestrutura destinada à produção de água de forma segura à população. Para isso, propõe um conjunto de obras e instalações com o objetivo de

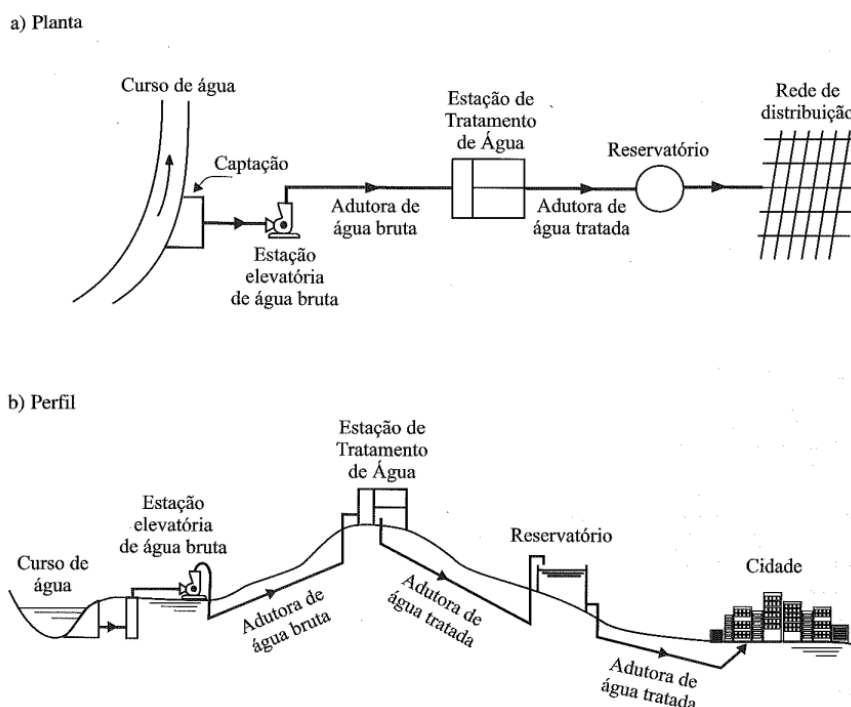
captar água do manancial e fornecer aos consumidores por meio de redes de distribuição (Brasil, 2011).

De acordo com Tsutiya (2006), o SAA possui 7 partes principais, sendo estas:

- Manancial: corpo d'água superficial ou subterrâneo em que é retirada a água para abastecimento. Deve possuir disponibilidade hídrica para atender a demanda do projeto;
- Captação: conjunto de estruturas dispostas junto ao manancial para retirada de água;
- Estação Elevatória: dispositivos destinados a recalcar a água para a unidade seguinte, podendo transportar água bruta e água tratada;
- Adução: tubulação que conduz água bruta ou tratada e antecede a rede de distribuição;
- Estação de Tratamento de Água (ETA): local destinado a tratar a água para atender os padrões de potabilidade;
- Reservatório: componente do sistema de distribuição de água que tem por objetivo regularizar as variações de vazões de adução, da distribuição e de garantir as pressões na rede de distribuição;
- Rede de distribuição: tubulações e órgãos acessórios com o objetivo de distribuir a água potável para os consumidores de forma contínua, em quantidade e pressão adequadas.

A Figura 3 apresenta um fluxograma básico de um SAA com os componentes mencionados.

Figura 3 - Fluxograma de um SAA com representação em planta e em perfil



Fonte: Tsutiya, 2006.

Ao se projetar um SAA e para elaboração de planos de gestão, devem haver etapas de levantamento de dados contendo informações detalhadas das partes contidas no fluxograma da Figura 3. Além disso, a concepção de um SAA depende principalmente: (i) do manancial, sendo analisado informações do tipo de manancial, da qualidade da água e uso e ocupação do solo; (ii) da topografia; (iii) da população a ser atendida (Mierzwa *et al.*, 2020).

Para elaboração do sistema existem diversas soluções, não havendo um modelo específico a ser seguido. Dessa maneira, cabe aos responsáveis adotarem a melhor solução quanto à localidade em que será aplicado e se proporem a constantes verificações e ajustes (Tsutiya, 2006; Heller e Pádua, 2010).

2.3 PSA: COMPOSIÇÃO E CONSIDERAÇÕES

2.3.1 Características do PSA

Devido aos limites da abordagem tradicional do controle da qualidade da água de um SAA, referindo-se a métodos demorados e de baixa capacidade de alerta, a

existência do PSA se mostra necessária. Se basear apenas no monitoramento de contaminantes químicos e microbiológicos passíveis de quantificação é uma abordagem limitada, sendo então inviável avaliar potenciais problemas de saúde e ações combinadas de substâncias (Mierzwa *et al.*, 2020; BRASIL, 2012).

O PSA é um instrumento de gestão de riscos com foco no consumidor final. Ademais, é um processo metodológico baseado em conceitos de gestão direcionados ao aprimoramento da operação e do controle de sistemas de abastecimento público de água, com foco em sua atualização constante (BRASIL, 2012).

Tendo como objetivo eliminar e reduzir riscos à saúde referentes à água de abastecimento, o PSA propõe uma prática de oferta de água potável. De acordo com Ministério da Saúde, o PSA pode: (i) identificar perigos e riscos no momento oportuno; (ii) orientar as decisões sobre investimentos; (iii) reduzir custos associados ao tratamento; (iv) aumentar a eficiência dos processos por meio da sistematização de documentos e procedimentos operacionais existentes; (v) melhorar a qualificação dos profissionais envolvidos; (vi) garantir que a água atenda aos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação vigente; (vii) aumentar a confiabilidade dos consumidores na empresa responsável pelo SAA (Brasil, 2012).

2.3.2 Conceito de múltiplas barreiras

A implementação do PSA justifica-se pela limitação das abordagens tradicionais que utilizam como base parâmetros passíveis de mensuração, com resultados de ensaios demorados e conseqüente tomada de ações tardias. Nesse contexto, justifica-se a necessidade da adoção de uma abordagem que integre todo o SAA, com destaque para o conceito de múltiplas barreiras (Mierzwa *et al.*, 2020).

O conceito aborda a utilização de ferramentas administrativas, de gestão, tecnológicas e educacionais, buscando assegurar e proporcionar qualidade à água em todo o processo. Por possuir diversas barreiras, o objetivo é que cada uma delas proporcione uma redução adicional nos contaminantes presentes na água e, caso haja falhas, as demais barreiras sejam capazes de arcar com a minimização ou mitigação do risco existente (Mierzwa *et al.*, 2020; WHO, 2005).

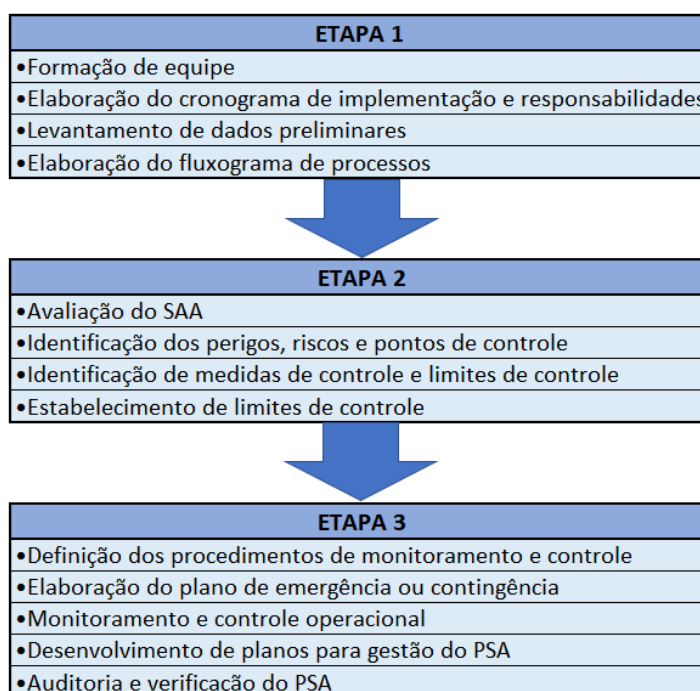
Segundo Mierzwa *et al.* (2020, p. 18), no Guia Prático para o Desenvolvimento de Planos Municipais de Segurança da Água, o PSA é abordado buscando aplicar o conceito de múltiplas barreiras e deve considerar

(i) proteção dos mananciais; (ii) a definição de padrões de qualidade para a água potável; (iii) a implantação de sistemas adequados de tratamento de água; (iv) o desenvolvimento de programas que garantam a integridade da estrutura de armazenagem e distribuição da água tratada; (v) o monitoramento da água distribuída em diversos pontos do manancial, da estrutura de tratamento, da rede de distribuição e dos reservatórios de armazenagem; (vi) a implantação de sistema para análise e correção de eventuais desvios em relação às metas do plano de segurança.

2.3.3 Etapas para elaboração

Como mostra a Figura 4, existem 3 etapas a serem seguidas para elaboração do PSA.

Figura 4 - Fluxograma das etapas de elaboração do PSA



Fonte: Adaptado de NBR, 2023; Brasil, 2012.

Cada etapa contempla respectivos tópicos e pode ser descrita, de acordo com NBR (2023) e Mierzwa *et al* (2020), como:

Etapa 1

A etapa conta inicialmente com a formação de equipe, interna ou externa, de profissionais qualificados e capacitados. A administração da equipe deve ser realizada por um indivíduo indicado pela coordenação responsável, tendo como foco o cumprimento dos objetivos propostos. Ademais, recomenda-se que haja as competências requeridas para os cargos antes da escolha dos integrantes.

Em seguida, devem ser elaborados cronogramas que considerem a complexidade das etapas do SAA, assim como as responsabilidades de cada órgão. Nos cronogramas deve haver a indicação clara de prazos e metas a serem cumpridas de todas as atividades que compõem o PSA.

Então, realiza-se o levantamento de dados preliminares que possibilita o conhecimento prévio do SAA, seus documentos, rotinas operacionais, parâmetros de operação, de medições e relatórios de desempenho. Tais dados devem auxiliar no desenvolvimento do PSA, assim como nas futuras análises e visitas de campo, sendo possível comparar os dados preliminares obtidos com os dados coletados em campo.

Finalizando a primeira etapa, deve haver a elaboração de um fluxograma de processo permitindo uma visão clara e sequencial das etapas de um SAA. Por meio de documentos e visita de campo realizada por equipe técnica, o fluxograma torna possível a identificação de pontos críticos associados aos riscos existentes.

Etapa 2

A segunda etapa se inicia com a avaliação do SAA buscando, assim, validar as informações obtidas nas etapas anteriores e identificar possíveis pontos de risco passíveis de falhas no sistema. Esta fase conta com a descrição detalhada do SAA considerando o estado atual, incluindo documentação sobre a qualidade da água bruta e sobre a estrutura de tratamento e de distribuição. Além disso, aborda as medidas de controle existentes, sendo contempladas as rotinas operacionais relacionadas ao desempenho da unidade e laudos técnicos.

Em seguida, sugere-se a identificação de perigos, riscos e pontos de controle críticos. Os perigos em um SAA abordam situações não conformes que comprometem a qualidade final da água. Tais riscos devem ser mensurados, sendo analisada a severidade de suas consequências e a frequência de ocorrência. Assim, nos pontos

com potencial de comprometimento da qualidade da água, deverão existir determinadas ações para mitigar, controlar e minimizar os riscos.

Finalizando a etapa 2, deve ser realizada identificação de medidas e limites de controle com o objetivo de estabelecer uma rotina de monitoramento operacional quanto ao controle dos riscos em todo o SAA. As medidas de controle consideram cada risco especificamente e estabelecem um conjunto de ações e atividades corretivas. É adotado como base os limites de referência para cada ponto crítico para posterior proposição de procedimentos de monitoramento e planos de emergência.

Etapa 3

A etapa final se inicia com a definição de procedimentos de monitoramento e controle de forma clara, sendo propostas rotinas de execução e verificação visando a necessidade de adoção de medidas corretivas e planos de emergência. Para isso, sugerem-se análises que apresentem resultados em curtos períodos, de modo que eventuais riscos gerem o mínimo de dano no sistema.

Em seguida, recomenda-se a elaboração de planos de emergência e contingência. Estes têm o objetivo de propor respostas rápidas quanto à potenciais vulnerabilidades relacionadas ao SAA e pode ser estruturado em 3 tópicos: (i) aspectos gerais, contendo informações básicas sobre o plano e facilitando a obtenção de informações; (ii) planos de emergência, contendo as etapas essenciais para realização de uma ação de resposta; e (iii) anexos de apoio, abordando demais informações essenciais aos planos de emergência.

Durante uma emergência, pode ser necessário modificar o tratamento da água ou substituí-lo por outra fonte. Para isso, deve haver clara comunicação entre os órgãos responsáveis e frequente medição dos parâmetros de potabilidade. Vale ressaltar que este tópico contempla ainda a elaboração de análises pós acidente, contendo então informações sobre o histórico do ponto analisado, relatório de acompanhamento e críticas aos planos e medidas existentes.

Tendo disponíveis as informações relativas aos perigos, as medidas de controle e operações do sistema, realiza-se então um plano que garanta que o SAA e o PSA ocorram conforme esperado. O plano de gestão deve realizar ações como: (i) realização de auditorias e revisão do PSA; (ii) identificação de não conformidades; (iii) proposição de melhorias.

Por fim, tem-se espaço para as auditorias e verificações do PSA. O objetivo destas é ter um controle sobre a eficiência global do sistema, garantindo então o fornecimento seguro de água. Esta verificação pode contar com uma estrutura interna de avaliação, com auditorias, a fim de verificar se o plano está em conformidade com os pressupostos de implementação e projeto; com revisões externas, com auditorias realizadas por autoridades regulamentadoras ou por auditores independentes; com consumidores, por meio de portais de reclamação.

2.4 PSA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

2.4.1 Relevância

Mudanças climáticas alteram o meio ambiente e a sociedade. Podem impactar na natureza de perigos existentes no SAA, afetando sua probabilidade, severidade e introduzindo novos riscos. Nesse contexto, o planejamento de longo prazo de um SAA é repleto de incertezas devido ao crescimento de mudanças climáticas, colocando em risco a disponibilidade de água potável caso não sejam considerados os níveis atuais de variabilidade climática e projeções futuras (WHO, 2017).

O *Climate-resilient water safety plans* (Plano de segurança da água resiliente ao clima) busca auxiliar equipes a lidar com as mudanças climáticas e como este fator pode ser inserido no PSA (WHO, 2017). No documento, discute-se como considerar o fator das mudanças climáticas, a vulnerabilidade regional devido ao clima, a redução de riscos e eventos climáticos que podem se tornar mais perigosos e severos.

Dessa maneira, o documento aborda que o estudo da mudança climática deve ser considerado nas etapas para elaboração do PSA, sendo estas: (i) formação de equipe; (ii) avaliação do SAA; (iii) identificação de perigos, riscos e pontos de controle críticos; (iv) definição dos procedimentos de monitoramento e controle; (v) desenvolvimento de planos para gestão do PSA. Para isso, deve ser considerado o histórico de mudanças climáticas que afetaram o SAA, sendo desenvolvidas projeções de futuros impactos e riscos (WHO, 2017).

2.4.2 Consequências e riscos

As mudanças climáticas afetam a distribuição espacial, temporal e a intensidade de eventos. Com a projeção de ocorrências mais frequentes e severas, as mudanças climáticas irão alterar a disponibilidade e qualidade da água, alterando assim a segurança para o consumo. Tais eventos, com ênfase para o aumento da incidência de secas e inundações, resultam em situações adversas no SAA, colocando em risco a saúde humana. Ademais, o crescimento populacional, urbanização e expansão da industrialização resultarão no aumento da demanda por água e potencializarão as mudanças climáticas (WHO, 2017).

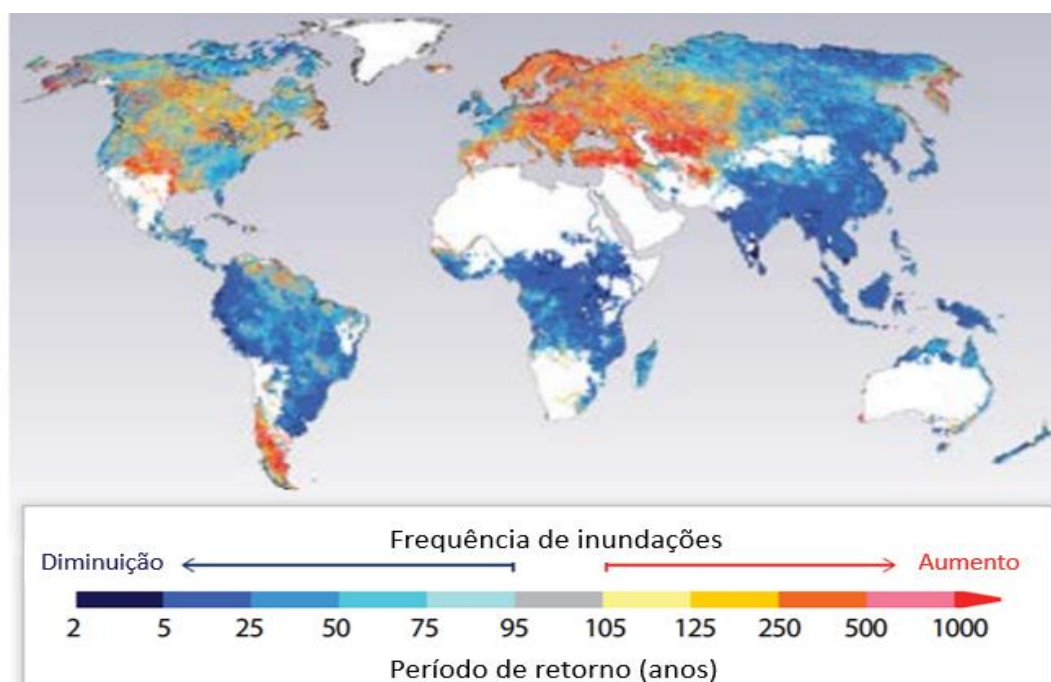
Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), o aumento da temperatura global é o principal efeito das mudanças climáticas que preocupa especialistas (ONU, 2023). As consequências deste efeito estão relacionadas principalmente com impactos à saúde humana, sendo ocasionados por meio do consumo de água insalubre e contato desta, contendo patógenos e produtos químicos, com alimentos. De acordo com WHO (2017), as consequências das mudanças climáticas, tendo em vista a segurança da água, são:

- Precipitações intensas e inundações

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) prevê que as mudanças no ciclo da água nas próximas décadas irão mostrar efeitos em larga escala similares aos observados recentemente. Nesse contexto, ocorrerão aumentos substanciais em eventos de precipitação intensa em relação às regiões que experimentarão diminuição das precipitações.

Chuvas mais intensas estão associadas à diminuição da qualidade da água em um curto período. A turbidez aumenta devido ao assoreamento do solo; inundações podem sobrecarregar os sistemas de águas residuais e pluviais; cresce a quantidade de contaminantes presentes na água. A Figura 5 mostra as regiões que serão afetadas pelas mudanças das intensidades das precipitações.

Figura 5 - Mudança no período de retorno esperado para o ano de 2080 quanto a inundação que deveria ocorrer em média 1 vez a cada 100 anos no século 20



Fonte: Adaptado de WHO, 2017.

- Aumento das secas

É previsto que as secas no século 21 irão se intensificar em determinadas épocas do ano e regiões devido à redução das precipitações e aumento da evapotranspiração, como em regiões do norte do Brasil. A longo prazo, a seca é um fator que diminui a qualidade da água devido ao aumento da concentração de poluentes.

Uma vez que os contaminantes estão presentes na água, baixas vazões tendem a aumentar a concentração de poluentes e nutrientes. Alta temperatura e baixa vazão diminuem a quantidade de oxigênio disponível na água. Esta água menos oxigenada, por sua vez, tende a liberar nutrientes bentônicos, como o fósforo, aumentando a atividade de fitoplânctons e a liberação de metais como ferro e manganês dos sedimentos de lagos para o corpo d'água.

Além disso, a baixa disponibilidade aumentará a concorrência pelo uso da água. Assim sendo, serão observadas maiores ocorrências de cenários de busca por fontes alternativas que, quando não geridas por órgãos responsáveis, comumente apresentam risco de contaminação e baixa segurança.

- Aumento da temperatura

O aumento da temperatura pode ocasionar o aumento da floração de cianobactérias e, conseqüentemente, elevar o número de toxinas e matéria orgânica nos recursos hídricos. Ademais, com ambientes mais quentes e água menos oxigenada, o nível de metais, fósforo e fitoplânctons tendem a ser maiores, requerendo, então, tratamentos adicionais na ETA.

Quanto ao sistema de distribuição e armazenamento, o aumento da temperatura, possivelmente combinado com a redução da disponibilidade hídrica, proporciona condições favoráveis ao crescimento de patógenos. Além disso, reduz a estabilidade de cloro residual e favorece a presença de patógenos.

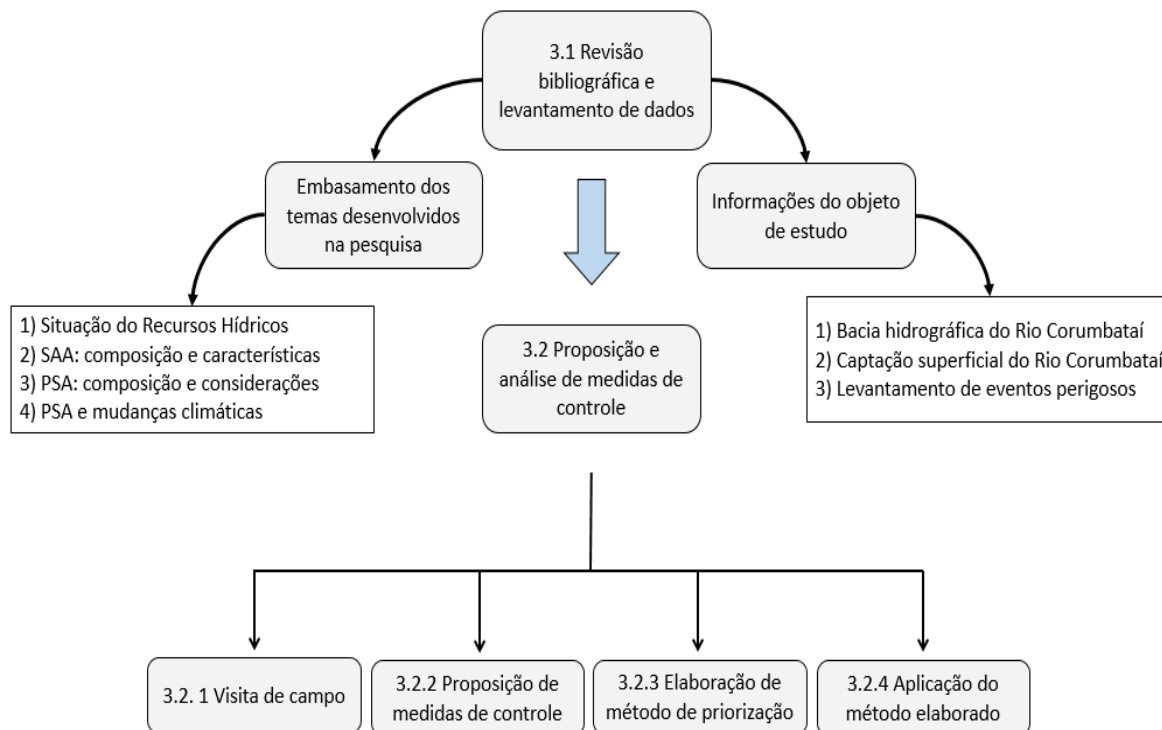
- Elevação do nível do mar

O SAA na região costeira será afetado pela disponibilidade de água subterrânea e pela elevação do nível do mar. O aumento do nível do mar combinado com o nível da água subterrânea define a interface entre os tipos de água. Dessa maneira, tendo em vista aquíferos não confinados, ocorrerá a intrusão de água salgada e, do ponto de vista de padrões de qualidade, este contato aumentará os custos do tratamento para tornar a água potável.

3 METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em 2 etapas. Cada etapa possui um respectivo objetivo e está conectada com as demais, assim como apresenta o fluxograma da Figura 6.

Figura 6 - Fluxograma sequencial das atividades para realização do estudo



Fonte: Próprio autor, 2023.

3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E LEVANTAMENTO DE DADOS

Esta etapa contou com 2 itens principais: a revisão bibliográfica dos assuntos que embasaram a pesquisa e o levantamento de dados e informações referente ao objeto de estudo. O primeiro item contou com 4 temas, sendo estes:

1) Inicialmente, foram levantadas as características da atual situação dos recursos hídricos no Brasil e no estado de São Paulo. Foram abordados os índices de abastecimento de água e situação do balanço hídrico, assim como aspectos gerenciais e legislações existentes.

2) Em seguida, buscando melhor entendimento de um SAA, foram abordadas informações sobre infraestrutura, componentes e características. Junto a isso, foi apresentado o fluxograma de um SAA, assim como aspectos de elaboração e gestão com base principalmente em Tsutiya (2006).

3) A apresentação do PSA foi realizada tendo em vista as características, conceitos que o compõem e etapas de elaboração. Assim, baseando-se em Brasil (2012),

Mierzwa *et al.* (2020) e NBR (2023), foi apresentada a metodologia e a justificativa de sua aplicação.

4) Por fim, abordou-se o cenário atual de mudanças climáticas quanto a elaboração de um PSA, de acordo com *Climate-resilient water safety plans: managing health risks associated with climate variability and change* (Plano de segurança da água resiliente ao clima: gerenciamento de riscos à saúde associados com a variação e mudança do clima) (WHO, 2017). Foi observado que tais mudanças geram consequências no abastecimento público e, por conseguinte, oferecem riscos à população.

Já o levantamento de dados e informações sobre o objeto de estudo foi composto por 3 temas:

1) Primeiramente, foram desenvolvidos os assuntos relacionados à bacia do Rio Corumbataí e à sub-bacia do Alto Corumbataí com base principalmente no Relatório Final – Estudo dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí (Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020). Foram abordadas questões hídricas da região, uso e ocupação do solo e demais elementos a fim de caracterizar a região.

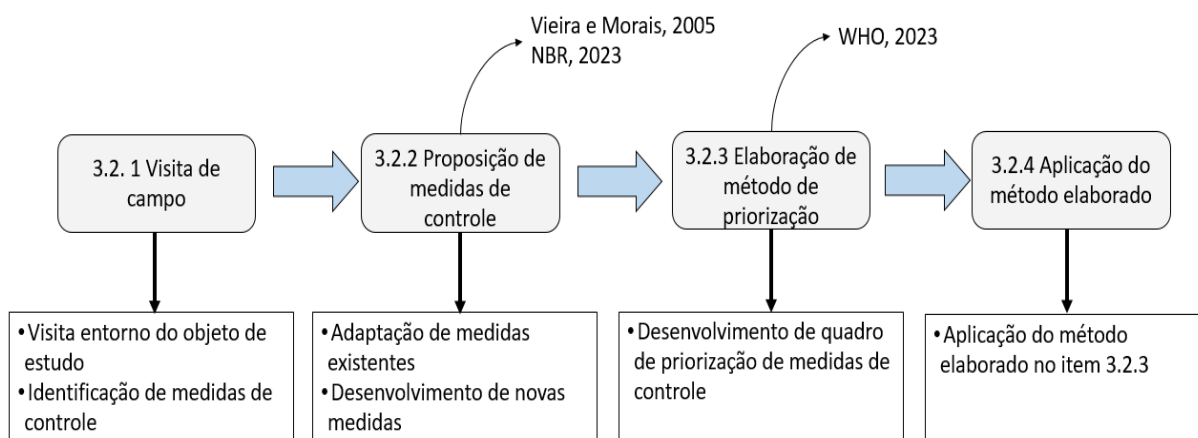
2) Em seguida, foram apresentados os dados técnicos da captação superficial do Rio Corumbataí. Abordaram-se informações sobre a localização na bacia e valores de operação de modo a elucidar os aspectos da captação.

3) Por fim, foram levantados os eventos perigosos presentes na captação superficial do Rio Corumbataí e entorno observados por Ferro (2023). Por meio de visitas de campo e literaturas, o autor da pesquisa indicou os eventos perigosos existentes e adaptou o método da ABNT NBR 17080/2023 a fim de priorizar tais eventos. Então, foi apresentado o quadro com a listagem dos eventos perigosos identificados, assim como a adaptação do método de priorização deste e o mapa elaborado contendo a localização dos eventos perigosos identificados.

3.2 PROPOSIÇÃO E ANÁLISE DE MEDIDAS DE CONTROLE

O resultado do presente estudo conta com a proposição e análise de medidas de controle. Para isso, foram tratados 4 itens, conectados entre si, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Fluxograma das atividades de resultados



Fonte: Próprio autor, 2023.

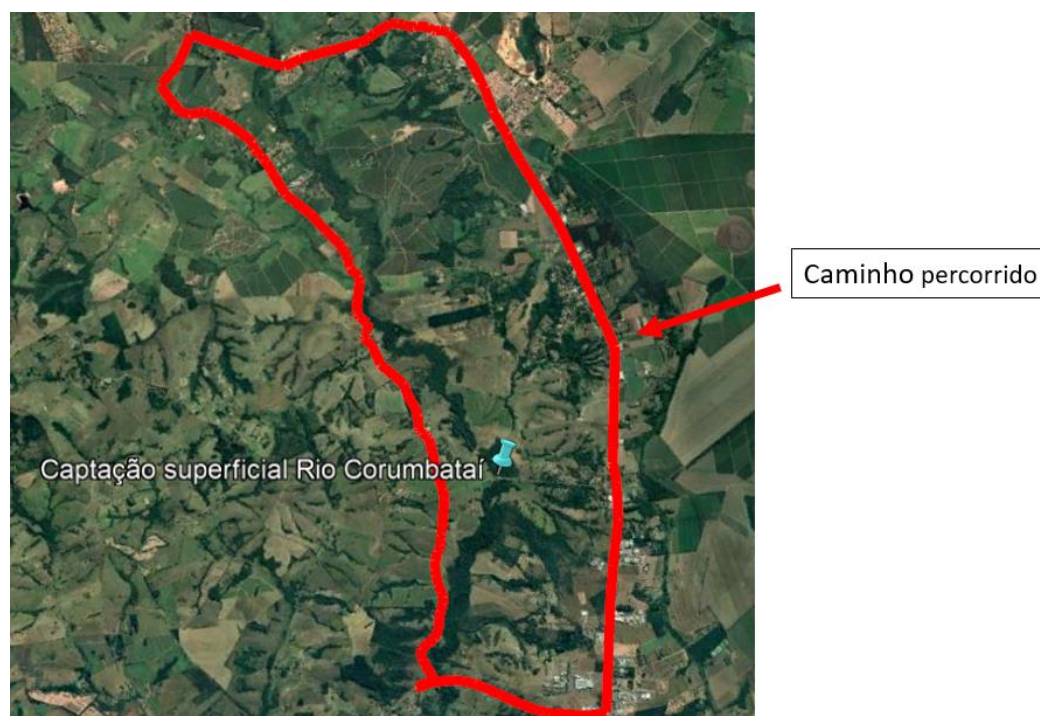
3.2.1 Etapa de visita de campo

Realizaram-se visitas de campo no entorno da captação superficial do Rio Corumbataí por meio de veículo particular. Foram percorridos cerca de 100 km entre estradas vicinais e rurais e observadas possíveis soluções e medidas de controle quanto aos eventos perigosos determinados por Ferro (2023).

Nas visitas realizadas nos dias 18 de junho e 23 de julho de 2023, procurou-se identificar atividades dos gestores passíveis de controlar os riscos existentes quanto a qualidade da água. A Figura 8 apresenta o caminho percorrido. Buscou-se, neste percurso, identificar as medidas a fim de avaliar a eficiência destas e definir a necessidade de melhorias e novas ações. Nesse contexto, buscou-se observar:

- Áreas de reflorestamento;
- Existência de fiscalização, atividades e pontos de monitoramento;
- Manutenção das margens do rio quanto a APPs;
- Atividades de manejo de resíduos sólidos.

Figura 8 - Caminho percorrido em visitas de campo



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro, 2023

3.2.2 Etapa de proposição de medidas de controle

Dados os eventos perigosos apresentados por Ferro (2023), foi determinado um conjunto de medidas de controle, relativo aos respectivos eventos, buscando dar continuidade no auxílio à elaboração do PSA. Para isso, com base no princípio de múltiplas barreiras, buscou-se a indicação de medidas capazes de reduzir ou mitigar a severidade dos riscos existentes, diminuir a frequência de ocorrência destes e indicar a necessidade de atividades de controle e gestão.

Para realização desta etapa, foram consultadas literaturas nacionais e internacionais sobre o assunto. No âmbito internacional, o manual “Planos de segurança em sistemas públicos de abastecimento de água para consumo humano”, da Universidade de Minho, abrange medidas a serem adotadas tendo em vista eventos perigosos em questão (Vieira e Moraes, 2005). Nacionalmente, a norma ABNT NBR 17080/2023 aborda medidas de controle que podem ser usadas no SAA (NBR, 2023).

Nesse contexto, foi possível propor medidas para os eventos perigosos existentes. Buscou-se adaptar as propostas contidas na literatura para o objeto de

estudo em questão, assim como houve a necessidade de desenvolvimento de novas medidas com o intuito de contemplar os riscos e garantir a existência do princípio de múltiplas barreiras.

3.2.3 Etapa de elaboração de método de priorização

Esta etapa teve o objetivo de contemplar os quesitos relevantes para a correta adoção das medidas de controle. Com base no documento *Water safety plan manual. Step-by-step risk management for drinking-water suppliers* (Manual do plano de segurança da água. Passo a passo da gestão de risco para sistemas de água potável) de WHO (2023), buscou-se a elaboração de um quadro com a função de priorizar medidas de controle que:

- Correspondam a eventos perigosos relevantes;
- Sejam efetivas na redução do risco associado;
- Sejam de fácil execução, implementação e manutenção;
- Possuam custo adequado à situação financeira da unidade gestora;
- Sejam efetivas tendo em vista as prováveis futuras mudanças climáticas.

O documento propõe ainda a análise de medidas de controle por meio de um resultado final. Tal resultado deve ser obtido por meio de uma pontuação, sendo considerado os fatores de priorização que se enquadrem no contexto do objeto de estudo. Assim, dado os parâmetros analisados e a relevância indicada para estes, as medidas com os maiores resultados devem ser interpretadas como prioridade de execução.

3.2.4 Etapa de aplicação do método elaborado

Tendo sido desenvolvido o método de priorização, esta etapa foi responsável por contemplar a aplicação deste. Foram determinados os valores para os respectivos quesitos desenvolvidos, sendo consideradas as medidas de controle propostas, de modo a se obter valores numéricos capazes de elencar as medidas mais relevantes.

Buscou-se, nesta etapa, a obtenção de uma listagem de medidas que devem compor o planejamento. Nesse contexto, torna-se possível o auxílio aos responsáveis

na escolha das medidas de controle a serem adotadas e no planejamento destas, de modo que as medidas com maior relevância são indicadas em detrimento das que surtiriam menores efeitos e teriam menores condições de serem executadas.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 ASPECTOS GERAIS DA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ

A bacia do Rio Corumbataí é uma das cinco sub-bacias componentes da Bacia Hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ). Localizada no centro-leste do estado de São Paulo, como ilustra a Figura 9, se destaca principalmente pelo desenvolvimento agrícola e industrial (Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020).

Figura 9 - Localização da bacia do Rio Corumbataí no estado de São Paulo



Fonte: CEAPLA, 2023.

Com uma extensão territorial de 1.719,46 km², a bacia do Rio Corumbataí abrange nove municípios, de acordo com a Tabela 1, apresentando 92% do território composto por áreas rurais e 8% por áreas urbanas. Ademais, possui uma população estimada em cerca de 710 mil habitantes (Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020).

Tabela 1 - Municípios da bacia do Rio Corumbataí e área correspondente

Município	Área Total (km ²)	% de área na bacia	Sede na bacia?
Analândia	325,95	54	Sim
Charqueada	175,85	70	Sim
Cordeirópolis	135,58	4	Não
Corumbataí	278,62	83	Sim
Ipeúna	190,01	100	Sim
Itirapina	564,6	52	Não
Piracicaba	1378,07	8	Não
Rio Claro	498,42	98	Sim
Santa Gertrudes	98,29	100	Sim

Fonte: Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020.

Além dos limites territoriais dos respectivos municípios, de acordo com IPEF (2002), a bacia do Rio Corumbataí é composta por 5 sub-bacias, denominadas de zonas, como mostra a Figura 10. A definição destas zonas busca facilitar a gestão e a análise dos recursos hídricos da bacia. De acordo com a Fundação Agência das Bacias PCJ (2020), tem como critério de divisão: “foz de rio principal (entrega de água), manancial presente ou futuro a preservar, montante de importante captação de abastecimento público, jusante de importante lançamento de esgotos e ou de efluentes industriais, uso do solo, e unidades de conservação”.

Figura 10 - Sub-bacias da bacia do Rio Corumbataí; destaque para sub-bacia do Alto Corumbataí (zona 17)



Fonte: Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020.

Analisando as características climáticas, a bacia está localizada numa região de clima subtropical úmido, de modo que entre os meses de abril a setembro ocorre 30% das precipitações; nos meses de outubro a março ocorre 70%. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da bacia se subdivide em 3 faixas: Cwa, Cxb e Cfb, de acordo com a Figura 11. Estas faixas decorrem da variação topográfica, sendo caracterizadas por (Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020):

- Cfb: clima subtropical sem estação seca (mês mais seco com precipitação > que 40 mm) e com verão ameno (temperatura média no verão < que 22 °C);
- Cwa: clima subtropical com inverno seco (mês mais seco com precipitação < que 40 mm) e com verão quente (temperatura média no verão > que 22 °C);
- Cwb: clima subtropical com inverno seco (mês mais seco com precipitação < que 40 mm) e com verão ameno (temperatura média no verão < que 22 °C).

Figura 11 - Distribuição das classes climáticas na bacia do Rio Corumbataí com destaque para zona 17



Fonte: Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020

As características do uso e ocupação do solo da bacia, por sua vez, são de suma importância para a compreensão do uso dos recursos hídricos. Acompanhar as

mudanças que acontecem é ter controle sobre a gestão, sendo possível estudar novas demandas devido à projeções e análises em diferentes períodos (SINGH, 1989 apud Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020).

Com as tecnologias de imagens de satélite e sensoriamento remoto, as informações sobre o uso do solo se tornaram claras e de fácil acesso. A Tabela 2 apresenta os valores referentes ao uso do solo por zonas da bacia do Rio Corumbataí; a Figura 12 ilustra as respectivas áreas no mapa da bacia.

Tabela 2 - Classes e área de uso do solo por zonas; destaque para zona 17

Classes	Área em km ² por Zona					Total
	Zona 17	Zona 18	Zona 19	Zona 20	Zona 21	
Área Urbanizada	15,99	18,73	5,41	32,60	14,31	87,05
Campo	57,63	8,59	177,03	12,98	28,94	285,17
Campo Úmido	0,08	1,01	8,79	11,70	10,31	31,89
Cana de Açúcar	220,56	78,13	147,63	128,20	179,44	753,97
Corpos D'Água	0,41	1,27	1,54	1,07	2,67	6,97
Lavoura Permanente	57,70	37,27	17,76	1,01	0,39	114,13
Lavoura Temporária	1,91	1,81				3,72
Mata Nativa	111,65	49,30	147,73	29,23	53,24	391,15
Mineração	2,04	0,37	0,36	5,72		8,48
Outros Usos				1,20		1,20
Silvicultura	1,92		32,62	0,59	0,60	35,73
Total	469,89	196,49	538,86	224,31	289,91	1719,46

Fonte: Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020.

Figura 12 - Uso e ocupação do solo no mapa da bacia do Rio Corumbataí; destaque para zona 17



Fonte: Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020.

Tais tecnologias possibilitam a análise e comparação de dados históricos e características de determinada região. Assim, é possível detectar as alterações ocorridas na paisagem, como indica a Tabela 3, ao longo dos últimos 20 anos, sendo observadas as alterações ocorridas, tendências de expansão e dinâmicas do uso do solo. Possibilita ainda, por meio da relação entre os usos detectados para cada período, identificar quais as exatas transformações do uso do solo, ou seja, quais ocupações deram espaço às outras, como mostra a Tabela 4.

Tabela 3 - Dinâmica do uso e ocupação do solo quanto à área de ocupação entre os anos de 2000 e 2017

<i>Classe</i>	<i>Área 2000 (km²)</i>	<i>Área 2017 (km²)</i>	<i>Diferença de área (km²)</i>	<i>%</i>
Formação Florestal	254,2	219,6	-34,6	-14%
Formação Savânica (Cerrado)	3,1	3,1	0	0,0%
Floresta Plantada (Silvicultura)	23,6	75,0	51,4	218%
Formação Campestre (Campo)	1,4	1,4	0	0,0%
Pastagem	505,6	271,0	-234,6	-46%
Cultura Anual e Perene	0,5	3,5	3	562%
Cultura Semiperene	299,5	403,1	103,6	35%
Mosaico de Agricultura e Pastagem	584,7	678,5	93,8	16%
Infraestrutura Urbana	38,6	57,4	18,8	49%
Outra área não vegetada	5,7	2,4	-3,3	-58%
Mineração	0,6	2,5	1,9	298%
Rio, lago e oceano	2,0	2,0	0	0,0%
Total	1.719,5	1.719,5	-	-

Fonte: Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020.

Tabela 4 - Transição de classes quanto ao uso do solo entre os anos de 2000 e 2017

Classe 2000 (origem)	Classe 2017 (destino)	Variação	Área (km ²)	Processos Associados	
				-	+
Formação florestal	Floresta plantada	2,4%	6,2	Retração florestal	Expansão de Silvicultura
Formação florestal	Pastagem	1,8%	4,6	Retração florestal	Expansão pecuária
Formação florestal	Cultura semiperene	1,1%	2,7	Retração florestal	Expansão Canavieira
Formação florestal	Mosaico de Agricultura e Pastagem	19,8%	50,3	Retração florestal	Expansão agrícola
Pastagem	Floresta plantada	6,8%	34,6	Retração Pecuária	Expansão de Silviculturas
Pastagem	Cultura semiperene	12,0%	60,9	Retração Pecuária	Expansão Canavieira
Pastagem	Mosaico de Agricultura e Pastagem	35,0%	177,2	Retração Pecuária	Expansão agrícola
Pastagem	Infraestrutura urbana	0,5%	2,4	Retração Pecuária	Expansão urbana
Cultura semiperene	Floresta plantada	0,7%	2,1	Retração agrícola	Expansão de Silviculturas
Cultura semiperene	Pastagem	1,3%	3,9	Retração agrícola	Expansão pecuária
Cultura semiperene	Mosaico de Agricultura e Pastagem	19,4%	58,2	Retração agrícola	Expansão agrícola
Cultura semiperene	Infraestrutura urbana	0,6%	1,9	Retração agrícola	Expansão urbana
Cultura semiperene	Mineração	0,6%	1,8	Retração agrícola	Expansão minerária
Mosaico de Agricultura e Pastagem	Formação florestal	5,0%	29,2	Retração agropecuária	Expansão florestal
Mosaico de Agricultura e Pastagem	Floresta plantada	1,4%	8,5	Retração agropecuária	Expansão de Silvicultura
Mosaico de Agricultura e Pastagem	Pastagem	5,5%	32,1	Retração agropecuária	Expansão pecuária
Mosaico de Agricultura e Pastagem	Cultura anual e Perene	0,5%	2,9	Retração agropecuária	Expansão agrícola
Mosaico de Agricultura e Pastagem	Cultura semiperene	18,5%	108,0	Retração agropecuária	Expansão Canavieira
Mosaico de Agricultura e Pastagem	Infraestrutura urbana	2,5%	14,5	Retração agropecuária	Expansão urbana

Fonte: Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020.

Dos nove municípios que compõem a bacia, sete apresentam administração pública direta como ente responsável pela oferta destes serviços. A Tabela 5 exibe a existência de dispositivos legais utilizados na gestão dos recursos hídricos para cada município.

Tabela 5 - Dispositivos legais utilizados na gestão dos recursos hídricos

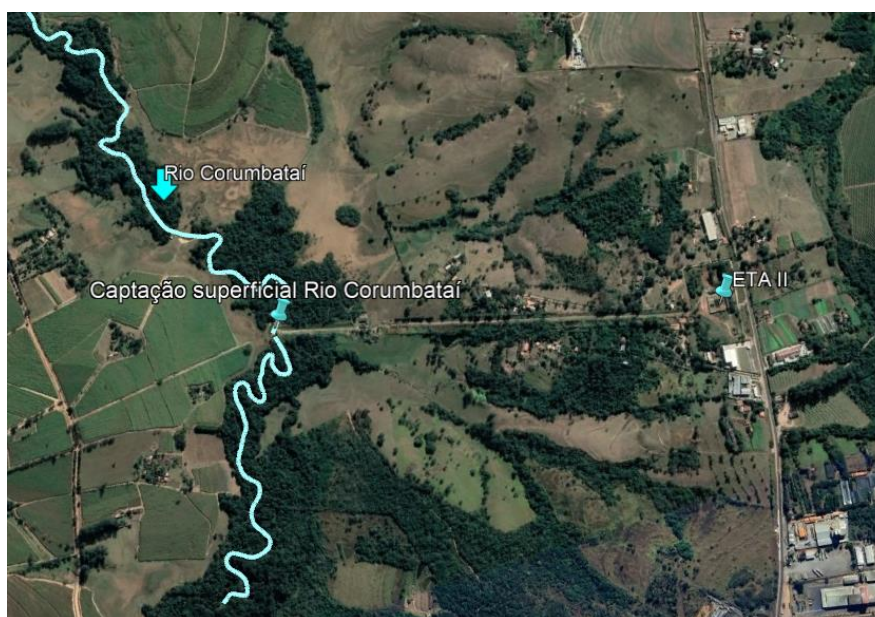
Município	Plano Diretor	Plano Municipal de Saneamento Básico	Política Municipal de Educação Ambiental	Política Municipal de Recursos Hídricos
Analândia	×	×		
Charqueada		×		
Cordeirópolis	×		×	
Corumbataí		×		×
Ipeúna		×	×	
Itirapina		×		
Piracicaba	×	×	×	×
Rio Claro	×	×	×	×
Santa Gertrudes		×		×

Fonte: Agência das Bacias PCJ, 2020

4.2 INFORMAÇÕES GERAIS DA CAPTAÇÃO SUPERFICIAL DO RIO CORUMBATAÍ E ENTORNO

O SAA da captação superficial do Rio Corumbataí é responsável por captar água do Rio Corumbataí e abastecer as porções norte e oeste de Rio Claro (sede municipal) e o distrito de Ajapi. A ETA em questão está localizada no km 08 da Estrada Municipal de Rio Claro/Ajapi, como ilustra a Figura 13. O sistema de barragem existente é composto por 2 poços de sucção, apresenta vazão média de captação de 382 L/s e uma vazão máxima de 519,57 L/s (Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020).

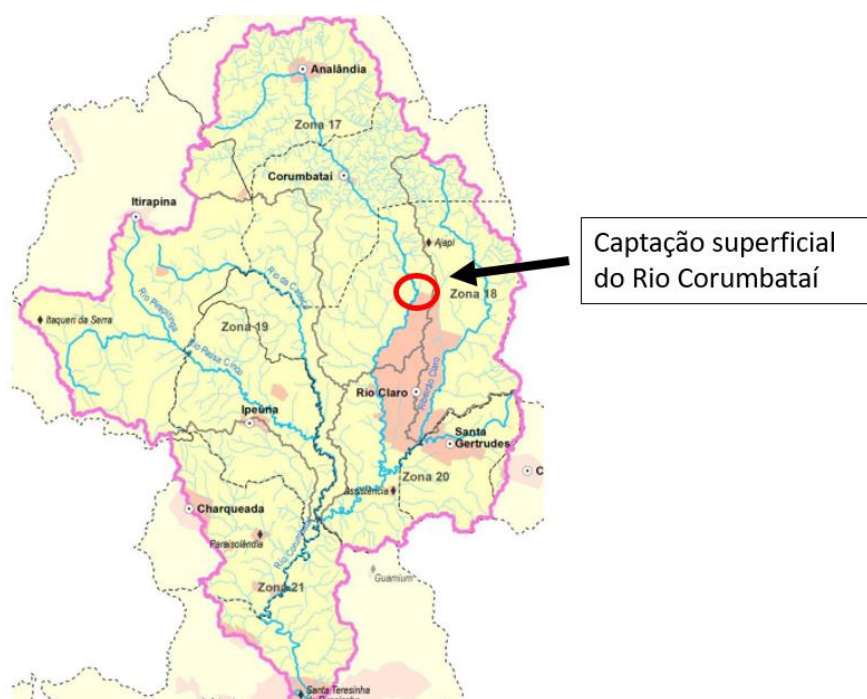
Figura 13 - Posição da captação e da ETA em função do Rio Corumbataí



Fonte: Google Earth Pro, 2023.

O Rio Corumbataí, enquadrado na Classe 2 de acordo com o Decreto Estadual nº 10.755/77, tem sua nascente no município de Analândia, passando ainda por Corumbataí, pelo distrito de Ferraz e por parte de Rio Claro antes de encontrar a captação superficial da ETA II, como indica a Figura 14. Dessa maneira, as características destes municípios geram consequências na qualidade e disponibilidade de água nos pontos a jusante (Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020; Brasil, 1997).

Figura 14 - Localização da captação superficial do Rio Corumbataí no município de Rio Claro no mapa da bacia do Rio Corumbataí



Fonte: adaptado de Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020

A Tabela 6 apresenta os valores de Grau de Vulnerabilidade (GV) para os municípios a montante da captação. O GV de um manancial é um parâmetro que considera a poluição decorrente da ocupação urbana, o índice de coleta e tratamento de esgoto e cargas remanescentes das atividades industriais tendo em vista a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), de modo que valores inferiores a 1 indicam que a qualidade atende aos parâmetros estabelecidos; superiores a 1 indicam não atendimento (Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020).

Tabela 6 - Grau de Vulnerabilidade (GV) dos municípios a montante da captação superficial do Rio Corumbataí

Municípios	Área de Contribuição	GV
Analândia	CRUM014	25,16%
Corumbataí	CRUM014	25,28%
Rio Claro	CRUM016	34,64%

Fonte: Fundação Agência das Bacias PCJ, 2020

Exigindo os padrões de qualidade adequados do tratamento de água, a Portaria do Ministério da Saúde, nº 05 anexo XX de 2017, dispõe que o Departamento

Autônomo de Água e Esgoto (DAAE) de Rio Claro deve publicar o relatório anual de qualidade da água (Brasil, 2017). A Tabela 7 apresenta os valores disponibilizados da qualidade da água para consumo humano da ETA II, estação referente à captação superficial do Rio Corumbataí, quanto ao ano de 2022.

Tabela 7 - Parâmetros de qualidade da água para consumo humano no ano de 2022 para ETA II de Rio Claro

RESULTADOS ANÁLISES ETAII 2022														
PARAMETRO	UNIDADE	VMP(1)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
		PORTARIA												
		Nº5/2017 (alterado pela Portaria GM/MS Nº888/2021)												
Cor Aparente	mg Pt-Co/l	15,0(1)	4,0	4,5	3,5	2,9	2,7	2,6	1,7	1,1	1,9	2,0	0,3	1,9
Cloro Livre	mg/l	0,2-5,0	1,30	1,24	1,59	1,80	1,56	1,51	1,45	1,44	1,44	1,38	1,27	1,08
Cloreto	mg/l	250	21,99	26,68	21,59	16,03	15,71	8,23	14,28	14,65	13,25	16,68	18,73	20,59
Fluor	mg/l	0,60-0,80(2)	0,72	0,68	0,71	0,68	0,67	0,69	0,65	0,68	0,67	0,65	0,66	0,67
Ferro	mg/l	0,30(1)	-	-	0,02	0,04	0,00	-	-	-	0,01	0,01	0,02	0,02
Manganês	mg/l	0,10(1)	0,013	-	0,015	-	0,008	0,001	0,006	-	0,000	0,003	0,005	0,003
pH	-	6,0-9,5	7,0	6,8	6,9	7,2	7,3	6,8	7,4	7,3	6,5	6,5	6,5	6,4
Turbidez	unt	5,0(1)	0,43	0,67	0,78	0,56	0,37	0,47	0,40	0,40	0,32	0,44	0,53	0,75
Coliformes totais	nmp/100 ml	Ausência(3)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Coliformes Termotolerantes	nmp/100 ml	Ausência(4)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Bactérias heterotrófica	Colonia/mi	500(1)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Fonte: DAAE, 2022.

Os parâmetros dispostos abordam a qualidade da água tratada pela ETA II. A terceira coluna dispõe os Valores Máximos Permitidos (VMP), sendo este o valor máximo ou intervalo que cada parâmetro deve se enquadrar de acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021 (Brasil, 2021). Conforme os dados, a ETA II apresentou conformidade em todos os parâmetros dispostos na tabela, realizou 14.111 exames e registrou 233 valores anômalos (DAAE, 2022).

4.3 EVENTOS PERIGOSOS NO MANANCIAL E NA CAPTAÇÃO SUPERFICIAL DO RIO CORUMBATAÍ

Ferro (2023) estudou as características da captação superficial do Rio Corumbataí e seu entorno. Inicialmente, buscou identificar os eventos perigosos presentes na bacia e no entorno da captação superficial com base em literaturas e visitas de campo. Em seguida, adaptou o método de priorização dos eventos perigosos encontrados buscando verificar quais eventos ocasionam maiores riscos.

O estudo contou com a análise do uso e ocupação do solo e contemplou aspectos da região que pudessem interferir na qualidade da água captada. Para isso, contou com literaturas, como Beuken (2008) e Brasil (2012), assim como com visitas de campo em diferentes épocas do ano a fim de validar os pontos contidos na literatura e verificar a existência de pontos ainda não contemplados (Ferro, 2023).

Tendo a descrição dos pontos e eventos perigosos, Ferro (2023) adaptou o método proposto pela ABNT (2023) e por Brasil (2012) de priorização dos eventos identificados. Nesse contexto, contemplou os aspectos de modo a se adequar ao objeto de estudo, como mostra a Tabela 8.

Tabela 8 - Critérios para classificação dos eventos perigosos quanto à probabilidade e severidade

Escala de probabilidade de ocorrências		
Probabilidade de ocorrências	Descrição	Peso
Quase certa	Espera-se que ocorra uma vez por dia Acréscimo: alta probabilidade de existência	5
Muito provável	Vai acontecer provavelmente uma vez por semana	4
Provável	Vai ocorrer provavelmente uma vez por mês Acréscimo: probabilidade de existência moderada	3
Pouco provável	Pode ocorrer uma vez por ano	2
Raro	Pode ocorrer em situações excepcionais (uma vez em cinco anos) Acréscimo: baixa probabilidade de existência	1
Escala de severidade de consequências		
Severidade das consequências	Descrição	Peso
Catastrófica	Potencial agravo à saúde para uma grande da população Acréscimo: não pode ser minimizado na etapa seguinte do sistema e/ou demandaria grande investimento para tal	5
Grande	Potencial agravo à saúde para uma pequena parte da população Acréscimo: não pode ser minimizado na etapa seguinte do sistema e/ou demandaria grande investimento para tal	4
Moderada	Potencial prejudicial para uma grande parte da população Acréscimo: potencial impacto estético na água, podendo ser minimizado na etapa seguinte do sistema existente	3
Pequena	Potencialmente prejudicial para uma pequena parte da população Acréscimo: pequeno impacto estético/organoléptico na água, podendo ser minimizado na etapa seguinte do sistema existente	2
Insignificante	Sem impacto ou não detectável	1

Fonte: Ferro, 2023.

A priorização estabelecida tem a função de nortear os gestores responsáveis, disponibilizando uma lista de eventos por ordem de relevância técnica, para que estes possam desenvolver, em questões financeiras e relacionadas a gestão, o planejamento do sistema de maneira assertiva. A Tabela 9 apresenta os eventos perigosos identificados e priorizados por Ferro (2023); a Tabela 10 apresenta a análise do risco.

Tabela 9 – Resultado da avaliação dos eventos perigosos no objeto de estudo

Lista referente aos eventos na captação superficial do Rio Corumbataí							
n.	Descrição do evento perigoso	P	S	Resultado			
				<6	6-9	10-15	>15
1	Carreamento de contaminantes pelo escoamento superficial	5	4				20
2	Chuvas intensas com elevação na turbidez da água	3	5			15	
3	Contaminação por contato direto com excesso de esterco e agrotóxicos proveniente da agropecuária	3	5			15	
4	Interrupção no fornecimento de energia e falha no sistema devido a temporais, defeitos, acidentes ou vandalismo	3	5			15	
5	Lançamento de esgoto tratado proveniente da ETE próximo à captação	5	3			15	
6	Abate de animais em torno da fonte (APP)	4	3			12	
7	Descarga de efluentes devido à limpeza de tanques de reserva de água, piscicultura e afins	4	3			12	
8	Erosão e presença de rejeitos devido ação de mineradoras	4	3			12	
9	Lançamento inadequado de esgoto próximo à captação	3	4			12	
10	Óleo depositado em rodovias por emissão, vazamento ou derramamento, sendo transportado por escoamento superficial	4	3			12	
11	Presença de latrina (fossa negra) até 30 metros da captação; contaminação fecal através de lixiviação de resíduos humanos ou de animais	3	4			12	
12	Derramamento de carga na rodovia devido a acidente de veículos podendo atingir o manancial	2	5			10	
13	Existência de outra fonte de poluição até 10 metros da captação	3	3		9		
14	Extravasamento de fossas existentes em locais não cobertos pela rede pública de esgotamento sanitário	3	3		9		

Lista referente aos eventos na captação superficial do Rio Corumbataí							
n.	Descrição do evento perigoso	P	S	Resultado			
				<6	6-9	10-15	>15
15	Assoreamento e contaminação devido ao uso das margens para recreação	4	2		8		
16	Disposição de resíduos sólidos em torno da fonte (APP) e seus lixiviados	4	2		8		
17	Erosão provocada por dragagem e areiro em torno da fonte (APP)	2	4		8		
18	Ocorrência de seca e/ou cheias prolongadas, inviabilizando a captação	2	4		8		
19	Contaminação por excretas de animais silvestres	5	1	5			
20	Contaminação química devido à acidentes (como industriais ou incêndios florestais)	1	5	5			
21	Entupimentos e/ou assoreamento na área de captação devido a presença de resíduos sólidos	2	2	4			
22	Presença de carcaças de animais ao redor da fonte (APP)	4	1	4			

Fonte: Ferro, 2023.

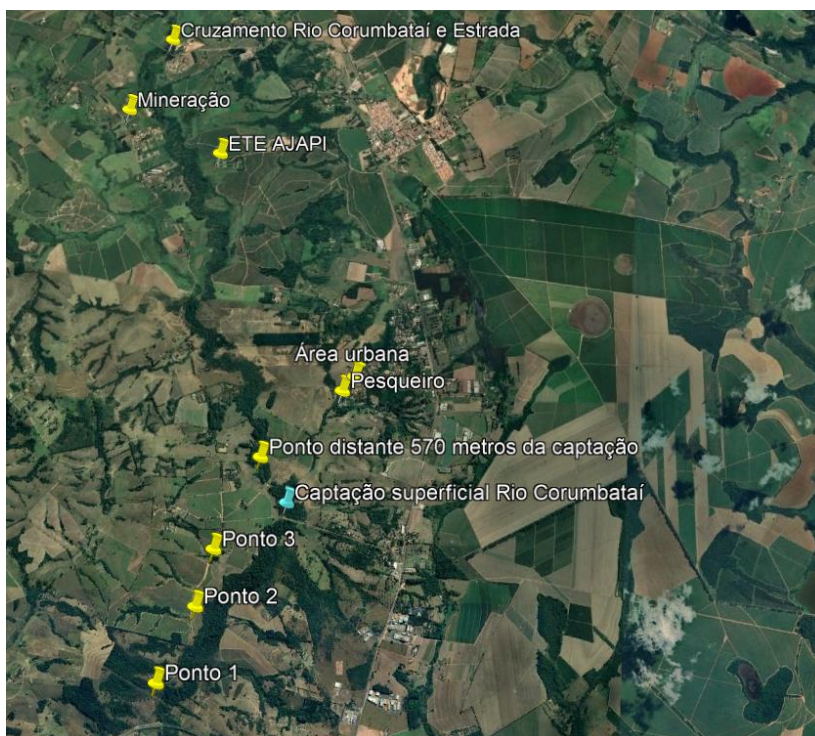
Tabela 10 - Análise do risco tendo em vista o resultado deferido

Análise de risco	
Análise	Pontuação
Muito alto - necessidade de ação imediata	> 15
Alto - necessidade de especial atenção	10 a 15
Médio - necessidade de atenção	6 a 9
Baixo - controlável com procedimentos de rotina	< 6

Fonte: ABNT,2023.

Além disso, dada as visitas de campo, Ferro (2023) elaborou mapas com as localizações dos eventos identificados e características de uso do solo. A Figura 15 apresenta o mapa elaborado. Os itens indicados como “pontos” correspondem a fluxos de água em direção ao rio identificados em diferentes épocas do ano, validando a existência de escoamento superficial em direção ao rio.

Figura 15 – Localização dos pontos de risco



Fonte: adaptado de Ferro, 2023.

5 RESULTADOS

5.1 OBSERVAÇÕES DE CAMPO

Com as visitas de campo realizadas, foi possível identificar medidas de controle adotadas pela gestão pública que contribuem para a manutenção do município, preservação do manancial e conseqüentemente da qualidade da água na captação. As figuras 16 e 17 exibem os registros da medida de controle relacionado ao manejo de resíduos sólidos; as figuras 18 a 21 apresentam ações realizadas pelos órgãos gestores em trechos da via rural.

Figura 16 – Presença de placa de sinalização quanto ao manejo de resíduo sólido



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 17 - Conteúdo da placa de sinalização quanto ao manejo de resíduo sólido



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 18 - Manutenção da via tendo em vista os pontos de escoamento



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 19 - Realização de valas nas laterais da via



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 20 – Obra realizada buscando o manejo das águas pluviais



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 21 – Obra em execução buscando o manejo de águas pluviais



Fonte: Próprio autor, 2023.

Os registros apresentam atividades realizadas pelos órgãos responsáveis que impactam positivamente na região. A placa de aviso orienta sobre o manejo ideal de resíduo sólido e busca orientar os moradores locais quanto aos pontos de coleta. A manutenção da via de transporte, por sua vez, melhora as condições de locomoção e direciona o fluxo das águas pluviais aos pontos determinados pelos gestores.

Contudo, pode-se perceber pela Figura 16 que apenas a placa de aviso não é suficiente. Devem haver demais proposições de medidas para que o manejo de resíduos sólidos seja eficiente na região. Ademais, quanto a manutenção da via, a medida pode retardar o contato da água de escoamento pluvial com o rio e determinar o ponto em que ocorrerá este contato, mas não é efetiva tendo em vista que a infiltração do solo se mantém a mesma e a água continuará a desaguar no rio.

Dessa forma, os pontos identificados no presente item quanto ao manejo de resíduos sólidos e escoamento superficial não são suficientes para sanar o evento perigoso relacionado. Além disso, constata-se que não foram identificadas áreas de reflorestamento, monitoramento e tampouco manutenção das margens do rio. O ponto em que é possível a visualização da margem, como mostra a Figura 22, apresenta assoreamento e inexistência de mata ciliar.

Figura 22 - Margem do rio apresentando assoreamento e inexistência de mata ciliar



Fonte: Próprio autor, 2023.

5.2 PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS DE CONTROLE

Tendo em vista a lista de eventos perigosos elaborada por Ferro (2023), o Quadro 1 apresenta as medidas de controle determinadas para os respectivos eventos perigosos.

Quadro 1 - Medidas de controle quanto a captação superficial do Rio Corumbataí

Eventos perigosos determinados por Ferro (2023)	Resultado	Medidas de controle
Carreamento de contaminantes pelo escoamento superficial	20	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperação das margens do canal buscando distanciamento de fontes de contaminação, maior capacidade de infiltração do solo e estabilidade estrutural, contando com: <ul style="list-style-type: none"> - reflorestamento com plantas nativas (inicialmente de crescimento rápido) - obras de terra (aterro e corte) • Identificação e fiscalização das APPs • Desenvolvimento de listagem de materiais e compostos passíveis de causar contaminação • Fiscalização do uso do solo e de atividades no manancial com destaque aos locais próximos da
Chuvas intensas com elevação na turbidez da água	15	
Contaminação por contato direto com excesso de esterco e agrotóxicos provenientes da agropecuária	15	

Eventos perigosos determinados por Ferro (2023)	Resultado	Medidas de controle
		captação <ul style="list-style-type: none"> • Definição de pontos de monitoramento e respectivas operações • Elaboração de planos de contingência • Padronização de operações em caso de chuvas intensas
Interrupção no fornecimento de energia e falha no sistema devido a temporais, defeitos, acidentes ou vandalismo	15	<ul style="list-style-type: none"> • Restrição do acesso da área em questão com cercamento
Contaminação por excretas de animais silvestres	5	<ul style="list-style-type: none"> • Realização de rondas de segurança • Vigilância por meio de câmeras
Presença de carcaças de animais ao redor da fonte (APP)	4	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboração de planos de contingência
Lançamento de esgoto tratado proveniente da ETE próximo à captação	15	<ul style="list-style-type: none"> • Estabelecimento de contato com os responsáveis da ETE • Definição de pontos de monitoramento e respectivas operações
Abate de animais em torno da fonte (APP)	12	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperação e fiscalização das margens do canal, por meio de reflorestamento, garantindo distanciamento de fontes de contaminação
Descarga de efluentes devido à limpeza de tanques de reserva de água, piscicultura e afins	12	<ul style="list-style-type: none"> • Realização de ações de conscientização da população sobre as consequências das atividades realizadas
Erosão e presença de rejeitos devido ação de mineradoras	12	<ul style="list-style-type: none"> • Fiscalização do uso do solo e de atividades no manancial com destaque aos locais próximos da captação
Erosão provocada por dragagem e areeiro em torno da fonte (APP)	8	<ul style="list-style-type: none"> • Estabelecimento de contato com os responsáveis • Fiscalização das medidas de segurança e determinadas por Lei quanto a mineradora e areeiro • Definição de pontos de monitoramento e respectivas operações
Lançamento inadequado de esgoto próximo à captação	12	
Presença de latrina (fossa negra) até 30 metros da captação; contaminação fecal através de lixiviação de resíduos humanos	12	<ul style="list-style-type: none"> • Ampliação da rede de esgoto sanitário existente com priorização das áreas próximas da captação • Fiscalização dos métodos de coleta de esgoto de áreas próximas da captação
Extravasamento de fossas existentes em locais não cobertos pela rede pública de esgotamento sanitário	9	<ul style="list-style-type: none"> • Realização de ações de conscientização da população sobre as consequências das atividades realizadas
Óleo depositado em rodovias por emissão, vazamento ou derramamento, sendo	12	<ul style="list-style-type: none"> • Definição de pontos de monitoramento e respectivas operações

Eventos perigosos determinados por Ferro (2023)	Resultado	Medidas de controle
transportado por escoamento superficial	10	<ul style="list-style-type: none"> • Vigilância por meio de câmeras • Elaboração de planos de contingência
Derramamento de carga na rodovia devido a acidente de veículos podendo atingir o manancial		
Existência de outra fonte de poluição até 10 metros da captação	9	<ul style="list-style-type: none"> • Fiscalização a fim de avaliar as características da área com raio de 10 metros da fonte
Assoreamento e contaminação devido ao uso das margens para recreação	8	<ul style="list-style-type: none"> • Fiscalização do correto uso do solo • Realização de ações de conscientização da população sobre as consequências das atividades realizadas
Disposição de resíduos sólidos em torno da fonte (APP) e seus lixiviados	8	<ul style="list-style-type: none"> • Ampliação da rede de coleta de resíduos sólidos • Ampliação do sistema de manejo de resíduos sólidos
Entupimentos e/ou assoreamento na área de captação devido a presença de resíduos sólidos	4	
Ocorrência de seca e/ou cheias prolongadas, inviabilizando a captação	8	<ul style="list-style-type: none"> • Construção de reservatório a fim de reservar água e estabilizar a qualidade da água bruta em casos de chuvas intensas • Elaboração de planos de contingência • Definição de pontos de monitoramento e respectivas operações
Contaminação química devido à acidentes (como industriais ou incêndios florestais)	5	<ul style="list-style-type: none"> • Definição de pontos de monitoramento e respectivas operações • Vigilância por meio de câmeras • Estabelecimento de contato com responsáveis por locais que possam oferecer risco • Elaboração de planos de contingência

Fonte: Próprio autor, 2023.

Vale ainda ressaltar que:

- A definição de pontos de monitoramento e respectivas operações devem contemplar:
 - Análise dos pontos de monitoramento em que serão obtidos os registros, recomendando-se que seja a montante e próximo captação, facilitando assim sua implantação e representando as consequências dos respectivos eventos perigosos;

- Definição da frequência de coleta e registro das amostras a depender do parâmetro analisado;
 - Definição de limites críticos dos parâmetros de modo a ser possível a percepção de ocorrências a montante que prejudiquem a qualidade da água;
 - Definição de parâmetros a serem mensurados dado os eventos perigosos a montante do rio descritos por Ferro (2023).
- O monitoramento das medidas de controle deve prover respostas rápidas sobre os parâmetros a serem analisados, sendo os operadores prontamente informados em situações de ultrapassagem de limites críticos;
 - Os planos de contingência devem conter procedimentos para manter a qualidade da água no sistema, assim como ter definido protocolos de comunicação, alerta e documentação das ocorrências.

5.3 ELABORAÇÃO DE MÉTODO DE PRIORIZAÇÃO

O método de priorização foi desenvolvido tendo como resultado 4 critérios de avaliação. Tais critério apontam medidas com vistas a se obter: (i) consequências rápidas; (ii) intervalo de custo financeiro adequado, avaliando possibilidade de execução com possível caixa dos gestores e a necessidade de investimento externo; (iii) medidas de fácil execução, ponderando-se exigência de pareceres técnicos e contratação de equipes especializadas; (iv) desempenho tendo em vista as mudanças climáticas previstas para o futuro.

Dessa maneira, desenvolveu-se o Quadro 2. É indicado em cada célula a explicação do conteúdo que nela deve ser avaliado. Ademais, constam as notas a serem adotadas para cada respectiva medida. Finalmente, a coluna de resultado final contempla a multiplicação das notas das colunas anteriores, de modo que terá a função de elencar as medidas por ordem de prioridade.

Quadro 2 - Método de priorização das medidas de controle

Método de priorização das medidas de controle					
Medida de controle	Potencial de redução do risco	Custo	Prazo de execução	Efetividade com base nas mudanças climáticas	Nota de priorização
Deve ser indicada a medida de controle a ser avaliada	Deve ser considerado quão efetiva é a medida de controle tendo em vista a redução ou controle do risco no tempo. Escala deve considerar se a medida controla, reduz ou suspende o risco em um período:	Avaliar a viabilidade financeira por ordem de grandeza, sendo o investimento:	Avaliar o prazo necessário para execução ou adoção da medida, sendo:	Considerar se a medida será efetiva tendo em vista as prováveis mudanças climáticas no futuro, sendo:	Este valor deve ser composto pela multiplicação dos itens anteriores. Medidas com o resultado final superior devem ser priorizadas em detrimento das com resultado final inferior
	<ul style="list-style-type: none"> • Nota 1: > 1 ano • Nota 2: < 1 ano • Nota 3: imediato 	<ul style="list-style-type: none"> • Nota 1: > 1 milhão de reais • Nota 2: < 1 milhão de reais • Nota 3: < 100 mil reais 	<ul style="list-style-type: none"> • Nota 1: > 1 ano • Nota 2: < 1 ano • Nota 3: < 1 mês 	<ul style="list-style-type: none"> • Nota 1: não • Nota 2: parcial • Nota 3: sim 	

Fonte: Próprio autor, 2023.

5.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE PRIORIZAÇÃO DE MEDIDAS DE CONTROLE

Tendo sido elaborado o método de priorização de medidas de controle, foi possível aplicar o método com base nas medidas propostas. Os quadros 3 a 5 apresentam os resultados obtidos por meio da metodologia desenvolvida. Assim sendo, as medidas com maiores valores de resultado final são as determinadas para serem realizadas com prioridade.

Vale ressaltar que foram propostas distintas medidas de controle para o mesmo evento perigoso. Além disso, nos quadros apresentados não constam eventos perigosos de risco baixo devido ao fato de que as respectivas medidas de controle são contempladas pelos demais níveis de perigo.

As medidas dispostas no Quadro 3, por se tratarem de eventos perigosos de risco muito alto, devem ser abordadas com prioridade pelos gestores em relação aos quadros 4 e 5. Dentre as medidas do Quadro 3, as que devem ser tratadas com prioridade são as de maior pontuação na célula de nota final, assim como entre as medidas do Quadro 4 e Quadro 5, respectivamente.

Quadro 3 – Priorização das medidas de controle de eventos com risco muito alto

Medida de controle	Potencial de redução do risco	Custo	Prazo de execução	Efetividade com base nas mudanças climáticas	Nota de priorização
Recuperação das margens do canal buscando distanciamento de fontes de contaminação, maior capacidade de infiltração do solo e estabilidade estrutural, contando com: - reflorestamento com plantas nativas de crescimento rápido - obras de terra (aterro/corte)	2	3	3	3	54
Identificação e fiscalização das APP	2	3	3	3	54
Padronização de operações em caso de chuvas intensas	2	3	2	2	24
Elaboração de planos de contingência	2	3	2	2	24
Desenvolvimento de listagem de materiais e compostos passíveis de causar contaminação	2	3	3	1	18
Definição de pontos de monitoramento e respectivas operações	2	2	2	2	16
Fiscalização, junto ao auxílio de agentes externos, do uso do solo e de atividades no manancial com destaque aos locais próximos da captação	1	3	3	1	9

Fonte: Próprio autor, 2023.

Quadro 4 – Priorização das medidas de controle de eventos com risco alto

Medida de controle	Potencial de redução do risco	Custo	Prazo de execução	Efetividade com base nas mudanças climáticas	Nota de priorização
Restrição do acesso da área em questão com cercamento	3	3	3	1	27
Realização de rondas de segurança	3	3	3	1	27
Realização de ações de conscientização da população sobre as consequências das atividades realizadas	3	3	3	1	27
Estabelecimento de contato com os responsáveis (ETE, mineradora, areeiro e demais setores)	2	3	3	1	18
Fiscalização das medidas de segurança e determinadas por Lei quanto a mineradora e areeiro	2	3	3	1	18
Fiscalização dos métodos de coleta de esgoto das áreas próximas da captação	2	3	3	1	18
Vigilância por meio câmeras	2	2	3	1	12
Ampliação da rede de esgoto sanitário existente com priorização das áreas próximas da captação	1	1	3	1	3

Fonte: Próprio autor, 2023.

Quadro 5 – Priorização das medidas de controle de eventos com risco médio

Medida de controle	Potencial de redução do risco	Custo	Prazo de execução	Efetividade com base nas mudanças climáticas	Nota de priorização
Fiscalização a fim de avaliar as características da área com raio de 10 metros da fonte	2	3	3	1	18
Ampliação da rede de coleta de resíduos sólidos	2	3	3	1	18
Ampliação do sistema de manejo de resíduos sólidos	2	2	2	1	8
Reservatório a fim de reservar água e estabilizar a qualidade da água bruta em casos de chuvas intensas	1	1	1	2	2

Fonte: Próprio autor, 2023

6 CONCLUSÕES

O objetivo principal da pesquisa, sendo este a priorização de medidas de controle, foi atingido. Buscando dar continuidade ao estudo de Ferro (2023) na elaboração do PSA, o presente estudo identificou medidas de controle existentes, assim como desenvolveu um conjunto de medidas de controle específicas quanto aos respectivos eventos perigosos. Por fim, elencou as medidas propostas utilizando o método elaborado.

Para cumprimento de tais objetivos, inicialmente realizaram-se visitas de campo no entorno da captação superficial do Rio Corumbataí, tendo sido percorrido o mesmo caminho de Ferro (2023). Foram identificadas ações tomadas pelos gestores do município que contribuem para a qualidade da água na captação, sendo estas a manutenção da via e indicações quanto ao manejo de resíduos sólidos. Tais ações foram interpretadas com potencial auxílio na manutenção da qualidade da água, mas insuficientes em um cenário que se encontram isoladas, de tal maneira que foi necessária a proposição de novas medidas.

Com base nos eventos perigosos existentes levantados na literatura, determinaram-se medidas de controle adaptando as propostas de Vieira e Morais (2005) e NBR (2023), elaborando-se novas medidas e indicando a elaboração de planos de contingência e emergência. Tais medidas abordaram todos os eventos perigosos do objeto de estudo e devem ser contempladas no decorrer da gestão.

Com base nas medidas de controle propostas, foi necessária a elaboração de um método de priorização. Tal método desenvolvido foi capaz de elencar as medidas e identificar as mais relevantes quanto ao grau de risco do evento perigoso associado, período de execução e redução de risco, custo financeiro e resiliência quanto às mudanças climáticas.

Por fim, aplicou-se o método utilizando as medidas estabelecidas. O resultado desta última etapa, contemplando o objetivo principal do estudo, fornece a priorização das medidas de controle e norteia os gestores nas tomadas de decisão. Tendo isso em vista, sugere-se que as medidas referentes aos eventos perigosos de risco muito alto, como recuperação das margens do canal e desenvolvimento de listagem de

substâncias passíveis de causar contaminação, sejam priorizadas pelos órgãos responsáveis.

Por conseguinte, a presente pesquisa foi capaz de elaborar resultados que podem auxiliar na gestão dos recursos hídricos do município de Rio Claro – SP e no desenvolvimento do PSA. O método de priorização proposto pode ainda assistir demais gestores com a proposição de questões técnicas e administrativas quanto à tomada de decisão.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 17080. Plano de segurança da água — Princípios e diretrizes para elaboração e implementação.

ABNT NBR 17080. Plano de segurança da água — Princípios e diretrizes para elaboração e implementação. ABNT/CB – 177, outubro de 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Balanço Hídrico Quantitativo. Disponível em:

<https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=ac0a9666e1f340b387e8032f64b2b85a>. Acesso em: 10 fev. 2023.

ANA. Catálogo de Metadados da ANA. Demandas Hídricas Consuntivas, 22 de março de 2016. Disponível em:

<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/4b9960a4-6436-43d7-9beb-bad256f090fc>. Acesso em: 23 de julho de 2023.

BEUKEN, R.; et al. Identification and description of hazards for water supply systems – A catalogue of today's hazards and possible future hazards. TECHNEAU, 2008. 79.

Brasil, Ministério da Saúde. Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Disponível em:

https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html. Acesso em: 29 jul. 2023.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 16 fev. 2023.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em:

https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html.

Acesso em: 20 jul. 2021.

BRASIL, Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Plano de Segurança da Água: Garantindo a qualidade e promovendo a saúde – Um olhar do SUS. Brasília, 2012, 61 p.

BRASIL. Decreto nº 10.755 de 22 de novembro de 1977. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976 e dá providências correlatas. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html>. Acesso em: 13 fev. 2023.

BRASIL. Decreto nº 8.468 de 8 de setembro de 1976. Dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html>. Acesso em: 13 fev. 2023.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000 [...]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 13 fev. 2023.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm. Acesso em: 16 jul. 2022.

BRASIL. Lei nº 16.337, de 14 de dezembro de 2016. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2016/lei-16337-14.12.2016.html>. Acesso em: 13 fev. 2023.

BRASIL. Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH e dá providências correlatas. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1991/lei-7663-30.12.1991.html>. Acesso em: 13 fev. 2023.

BRASIL. Lei nº 9.866, de 28 de novembro de 1997. Dispõe sobre diretrizes e normas para a proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional do Estado de São Paulo e dá outras providências. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1997/lei-9866-28.11.1997.html>. Acesso em: 13 fev. 2023.

BRASIL. Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 16 jan. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Plano Municipal de Saneamento Básico. Cadernos Temáticos de Saneamento Básico: Abastecimento de Água Potável, 2016.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS). 2021. Disponível em: <http://antigo.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-setor-saneamento>. Acesso em: 13 fev. 2023.

Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA). Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí. Localização da Bacia. Disponível em: <http://www1.rc.unesp.br/igce/ceapla/atlasv3/localizacao.php>. Acesso em 20 jun. 2023.

CETESB. O problema da escassez de água no mundo. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/o-problema-da-escasez-de-agua-no-mundo/>. Acesso em: 20 jun. 2023.

DAAE. Relatório anual de qualidade da água, 2022. Disponível em: <https://daaeriolclaro.sp.gov.br/qualidade-da-agua/>. Acesso em: 20 jul. 2021.

FERRO, L. H. R. Caracterização de riscos na captação superficial do Rio Corumbataí como contribuição ao Plano de Segurança da Água em Rio Claro – SP. Relatório Final de Iniciação Científica, 2023.

Fundação Agência das Bacias PCJ. Estudo do Uso dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí visando estabelecer cenários e planejamento das alternativas de abastecimento de água para os municípios pertencentes a esta bacia. Relatório Final. Piracicaba, 2020.

ICICT–Fiocruz – Fundação Oswaldo Cruz. Glossário Saneamento e Meio Ambiente. 2010. Disponível em: <https://www.aguabrasil.icict.fiocruz.br/index.php?pag=sane>. Acesso em: 13 fev. 2023.

Instituto Trata Brasil. Principais Estatísticas. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/principais-estatisticas/agua/>. Acesso em: 12 jan. 2023.

IPEF. Plano Diretor: Conservação dos Recursos Hídricos por meio da Recuperação e Conservação da Cobertura Florestal da Bacia do Rio Corumbataí. 2002.

MIERZWA, J. C. et al. Guia prático para o desenvolvimento de planos municipais de segurança da água (livro eletrônico). São Paulo: Editora Limiar, 2020.

Organização das Nações Unidas (ONU). Causas e Efeitos das Mudanças Climáticas. Disponível em: <https://www.un.org/pt/climatechange/science/causes-effects-climate-change>. Acesso em: 20 jun. 2023.

PORTAL SIGRH. Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Divisão Hidrográfica. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/divisaohidrografica>>. Acesso em: 13 fev. 2023.

PRINCE, A. A. Captação de água de superfície. In: HELLER, L.; PADUA, V.L. Abastecimento de água para consumo humano. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. p. 325- 371.

REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/panorama>. Acesso em: 16 jan. 2023.

REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/rio-claro.html>. Acesso em: 16 jan. 2023.

RIO CLARO. DAAE, há 52 anos cuidando da água de Rio Claro com respeito e eficiência. IMPRENSA RIO CLARO - SP, 3 de dezembro de 2021. Disponível em: <https://imprensa.rioclaro.sp.gov.br/?p=67184>. Acesso em: 18 jul. 2022.

SINGH, A. Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 10, n. 6, 1989.

TSUTIYA, M. T. Abastecimento de água. 3ª ed. São Paulo: SABESP, 2006. 645p

UNICEF. 2,1 bilhões de pessoas não têm acesso a água potável em casa, e mais do dobro de pessoas não tem acesso a saneamento seguro, 13 julho 2017. Disponível em: <https://www.unicef.org/angola/comunicados-de-imprensa/21-bilh%C3%B5es-de-pessoas-n%C3%A3o-t%C3%AAm-acesso-%C3%A1-gua-pot%C3%A1vel-em-casa-e-mais-do-dobro>. Acesso em: 16 jan. 2023.

UNICEF. Uma em cada cinco crianças em todo o mundo não tem água suficiente para atender às suas necessidades diárias, 18 março 2021. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/uma-em-cada-cinco-criancas-em-todo-o-mundo-nao-tem-agua-suficiente>. Acesso em: 13 fev. 2023.

VIEIRA, J.; MORAIS, C. Planos de segurança da água para consumo humano em sistemas públicos de abastecimento. Guimarães: Universidade do Minho - Instituto Regulador de Águas e Resíduos, 2005.

WHO. Climate-resilient water safety plans: managing health risks associated with climate variability and change. Geneva: World Health Organization; 2017. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

WHO. Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers, second edition. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Geneva, 2023.

WHO. Water Safety Plans – Managing drinking-water quality from catchment to consumer. *Water, Sanitation and Health Protection and the Human Environment*. Geneva, 2005. Disponível em:

https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42890/WHO_SDE_WSH_05.06_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 16 jan. 2023.