



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E
SANEAMENTO AMBIENTAL**

ISADORA CATTOI FAGUNDES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO:

IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS POTENCIAIS EM SOLUÇÕES ALTERNATIVAS
COLETIVAS RURAIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA ELABORAÇÃO DE
PLANOS DE SEGURANÇA DA ÁGUA

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Fernandes Marques

Porto Alegre

Maio 2022

ISADORA CATTOI FAGUNDES

**IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS POTENCIAIS EM SOLUÇÕES ALTERNATIVAS
COLETIVAS RURAIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA ELABORAÇÃO DE
PLANOS DE SEGURANÇA DA ÁGUA**

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em
Recursos Hídricos e Saneamento
Ambiental da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul como requisito para a
obtenção de título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Fernandes Marques

Porto Alegre

Maio 2022

CIP - Catalogação na Publicação

Fagundes, Isadora Cattoi

Identificação de perigos potenciais em soluções alternativas coletivas rurais de abastecimento de água para elaboração de Planos de Segurança da Água / Isadora Cattoi Fagundes. -- 2022.

140 f.

Orientador: Guilherme Fernandes Marques.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Saneamento rural. 2. Gestão de riscos. 3. Abastecimento de água de pequeno porte. I. Marques, Guilherme Fernandes, orient. II. Título.

ISADORA CATTOI FAGUNDES

**IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS POTENCIAIS EM SOLUÇÕES ALTERNATIVAS
COLETIVAS RURAIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA ELABORAÇÃO DE
PLANOS DE SEGURANÇA DA ÁGUA**

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em
Recursos Hídricos e Saneamento
Ambiental da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul como requisito para a
obtenção de título de Mestre.

Aprovado em:

Prof. Dr. Antônio Domingues Benetti

data

Prof^a. Dra. Maria Cristina de Almeida Silva

data

Prof^a. Dra. Elizabeth Regina Halfeld da Costa

data

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão de bolsa de mestrado, e à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, pela oportunidade.

Ao Prof. Guilherme Marques, pela orientação e confiança, e ao Prof. Dieter Wartchow (*in memoriam*), pelo direcionamento inicial deste projeto e pela sua generosidade com o conhecimento.

Aos professores e colegas do IPH que me ajudaram a construir a base para esta transição acadêmica, em especial a Fabiane, Roberta, Antônio, Joel e Andreas, pelas trocas e pelas amizades construídas.

À fiscal regional do Vigiagua e minha tia Eliana Cattoi, pela acolhida do projeto e apoio em todas as capacidades.

Ao município de Travesseiro, pela recepção, e a todos os envolvidos nas etapas participativas.

À minha mãe, Cristina, e à minha irmã, Mariana, sem as quais nada disso seria possível.

A Rodrigo Hesse, com o qual isso tudo passou a ser melhor.

Ao meu pai, Niuton, pelo suporte pessoal e ortográfico.

A Thaís Christ, integrante indispensável da minha rede de apoio pessoal e acadêmica.

A Cezar Hesse, pela disposição e entusiasmo.

Enfim, agradeço a todos aqueles que estiveram de alguma forma envolvidos no desenvolvimento e redação deste trabalho.

RESUMO

A estrutura de segurança da água para consumo humano proposta pela Organização Mundial da Saúde e incluída na legislação brasileira é baseada na gestão de riscos à saúde, com a elaboração de Planos de Segurança da Água (PSAs) pelos fornecedores. No Brasil, cerca de 29,9 milhões de pessoas residem em localidades rurais, das quais 72,7% dependem de soluções alternativas de abastecimento e, embora existam iniciativas de aplicação de PSAs em pequenas comunidades, ainda permanecem lacunas de materiais oficiais direcionados a sistemas de pequeno porte. Este trabalho tem como principal contribuição a adaptação das ferramentas metodológicas que compõem a elaboração dos PSAs à avaliação de riscos no contexto das soluções alternativas coletivas (SACs) localizadas em áreas rurais. Para tanto, foi aplicada uma metodologia adaptada de identificação de perigos potenciais a uma SAC do município de Travesseiro (RS). Os resultados desse processo evidenciaram a importância da avaliação de sistemas desse tipo refletida na insuficiência de dados sobre a infraestrutura de abastecimento, a escassez de medidas de controle implementadas, dada a desinfecção como única barreira entre os perigos e os consumidores e a ausência de sistemas de monitoramento em todos os níveis. Diante disso, destacou-se a essencialidade da elaboração de protocolos de monitoramento operacional e planejamento de melhorias no âmbito do desenvolvimento de PSAs simplificados e a potencialidade da produção de subsídios para os instrumentos de gestão de recursos hídricos e investimentos em saneamento. Finalmente, os resultados substanciam a proposta de construção de banco de dados nacional para identificação de perigos potenciais e de que a avaliação seja estendida a toda a cobertura de abastecimento, permitindo que o mapeamento de perigos informe a tomada de decisões.

Palavras-chave: *avaliação de riscos, saneamento rural, abastecimento de água de pequeno porte.*

ABSTRACT

The drinking-water safety framework proposed by the World Health Organization and included in Brazilian legislation is based on the management of health risks, with the elaboration of Water Safety Plans (WSP) by suppliers. In Brazil, about 29.9 million people live in rural locations, of which 72.7% depend on alternative supply solutions and, although there are initiatives to apply WSPs in small communities, there are still gaps in official materials directed to small-scale supply systems. This study aims to contribute with the adaptation of the methodological tools that make up the elaboration of WSPs to the risk assessment in the context of Brazilian alternative collective solutions (SACs) located in rural areas. Therefore, an adapted methodology for identifying potential hazards was applied to a SAC in the municipality of Travesseiro (RS). The results of this process highlighted the importance of evaluating systems of this type, reflected in the insufficiency of data on the supply infrastructure, the scarcity of implemented control measures, given disinfection as the only barrier between hazards and consumers and the absence of monitoring at all levels. In view of this, the essentiality of the elaboration of operational monitoring protocols and improvement planning within the scope of the development of simplified WSPs and the potential of producing subsidies for the instruments of water resources management and investments in sanitation was highlighted. Finally, the results substantiate the necessity of a national database to identify potential hazards and the argument for the extension of the assessment to the entire supply coverage, allowing such hazard mapping to inform decision-making.

Keywords: *risk assessment, rural sanitation, small-scale drinking water supply.*

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|--------|--|
| APPCC | Análise de Risco e Pontos Críticos de Controle |
| ARP | Análise de Riscos Preliminar |
| Capes | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior |
| CGH | Central de Geração Hidrelétrica |
| Conama | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| CRA | Do inglês, <i>Coarse Risk Analysis</i> |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| DNPM | Departamento Nacional de Produção Mineral |
| DRHS | Departamento de Recursos Hídricos |
| DQO | Demanda Química de Oxigênio |
| ETA | Estação de Tratamento de Água |
| FAO | Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura |
| FMEA | Do inglês, <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> |
| FMECA | Do inglês, <i>Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis</i> |
| FTA | Do inglês, <i>Fault Tree Analysis</i> |
| Funasa | Fundação Nacional de Saúde |
| GBD | Do inglês, <i>Global Burden of Disease</i> |
| GDWQ | Do inglês, <i>Guidelines for Drinking Water Quality</i> |
| GM | Gabinete do Ministro |
| Hazid | Do inglês, <i>Hazard Identification</i> |
| Hazop | Do inglês, <i>Hazard and Operability Study</i> |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| Inmet | Instituto Nacional de Meteorologia |
| JMP | Do inglês, <i>Joint Monitoring Program</i> |
| MS | Ministério da Saúde |
| ODS | Objetivos do Desenvolvimento Sustentável |
| OMS | Organização Mundial da Saúde |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PA | Ponto de Atenção |
| PC | Ponto de Controle |

| | |
|----------|--|
| PCA | Pontos Críticos de Atenção |
| PCC | Pontos Críticos de Controle |
| PCH | Pequenas Centrais Hidrelétricas |
| Plansab | Plano Nacional de Saneamento Básico |
| PMSB | Plano Municipal de Saneamento Básico |
| PNSR | Programa Nacional de Saneamento Rural |
| PSA | Planos de Segurança da Água |
| SAA | Sistema de Abastecimento de Água |
| SAAE | Serviço Autônomo de Água e Esgotos |
| SAC | Solução Alternativa Coletiva |
| SAI | Solução Alternativa Individual |
| Sasb | Sistema de Apoio ao Saneamento Básico |
| Sema | Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Infraestrutura |
| Siagas | Sistema de Informações de Águas Subterrâneas |
| Siout | Sistema de Outorgas |
| Sisagua | Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano |
| SMS | Secretaria Municipal de Saúde |
| SUS | Sistema Único de Saúde |
| SVS | Secretaria de Vigilância em Saúde |
| Techneau | Do inglês, <i>Technology Enabled Universal Access to Safe Water</i> |
| THDB | Do inglês, <i>Techneau Hazard Database</i> |
| UFMG | Universidade Federal de Minas Gerais |
| UFSCar | Universidade Federal de São Carlos |
| UFV | Universidade Federal de Viçosa/MG |
| UG | UG Unidades de Gestão |
| UHE | Usinas Hidrelétricas |
| Unicef | Fundo das Nações Unidas para a Infância |
| Vigiagua | Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 OBJETIVOS | 15 |
| 2.1 OBJETIVOS GERAIS | 15 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 15 |
| 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 16 |
| 3.1 SANEAMENTO NO CONTEXTO BRASILEIRO | 16 |
| 3.2 ABASTECIMENTO DE ÁGUA | 18 |
| 3.2.1 Aspectos estruturais | 18 |
| 3.2.2 Qualidade da água de abastecimento | 21 |
| 3.3 PLANOS DE SEGURANÇA DA ÁGUA | 25 |
| 3.3.1 Aspectos conceituais | 25 |
| 3.3.1.1 Avaliação de riscos de contaminação no abastecimento de água | 29 |
| Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle | 32 |
| Análise de Riscos “Grosseira” ou Preliminar | 35 |
| Matriz de priorização de riscos | 36 |
| 3.3.1.2 Diretrizes brasileiras | 38 |
| Etapa preliminar | 41 |
| Avaliação do sistema | 42 |
| Monitoramento operacional | 44 |
| Planos de gestão | 46 |
| 3.3.2 PSAs no abastecimento de água de pequena escala | 47 |
| 4 METODOLOGIA | 51 |
| 4.1 ANÁLISE DO MÉTODO PSA DIANTE DAS PARTICULARIDADES DAS SACS E IDENTIFICAÇÃO DE ALTERAÇÕES PERTINENTES | 52 |
| 4.1.1 Etapa 1 – Descrição do sistema e construção do diagrama de fluxo | 54 |
| 4.1.2 Etapa 2 – Avaliação do sistema e identificação de perigos potenciais | 56 |
| 4.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO ALTERADO EM UMA ÁREA DE ESTUDO | 57 |
| 4.3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS | 61 |
| 5 RESULTADOS | 62 |
| 5.1 ANÁLISE DO MÉTODO PSA DIANTE DAS PARTICULARIDADES DAS SACS E IDENTIFICAÇÃO DE ALTERAÇÕES PERTINENTES | 62 |
| 5.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO ALTERADO EM UMA ÁREA DE ESTUDO | 65 |
| 5.2.1 Etapa 1 – Descrição do sistema e construção do diagrama de fluxo | 65 |
| 5.2.1.1 Descrição do sistema | 65 |

| | |
|---|------------|
| 5.2.1.2 Diagrama de fluxo | 74 |
| 5.2.1.3 Visita à área de estudo | 75 |
| 5.2.2 Etapa 2 – Identificação de perigos potenciais | 81 |
| 5.3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS | 82 |
| 6 CONCLUSÃO | 88 |
| REFERÊNCIAS | 89 |
| APÊNDICE A – SEÇÕES SELECIONADAS DO THDB TRADUZIDAS DO ORIGINAL EM INGLÊS | 97 |
| APÊNDICE B – CHECKLIST RESULTANTE DA IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS POTENCIAIS NA ÁREA DE ESTUDO | 123 |

1 INTRODUÇÃO

O acesso ao abastecimento de água para consumo humano com garantia de qualidade é globalmente considerado uma questão de direitos humanos, sendo assim reconhecido pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2010, e sua universalização figura entre os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da organização desde 2015 (WHO, 2017c). De acordo com o relatório de 2019 do Programa de Monitoramento Conjunto (JMP – *Joint Monitoring Program*) para água e saneamento da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do Fundo de Emergência Internacional das Nações Unidas para a Infância (Unicef), estima-se que existem 785 milhões de pessoas ainda sem acesso a serviços básicos de abastecimento de água; destas, 144 milhões consomem água coletada diretamente de corpos e cursos superficiais. Além de defender a instalação de abastecimento universal melhorado, as instituições consideram que existe uma gestão segura da água quando o serviço básico é acessível localmente, disponível quando necessário e livre de contaminação; até 2017, a cobertura de abastecimento que atendia a esses critérios era de 53% da população em áreas rurais, sendo que a diferença entre o atendimento rural e o urbano diminuiu em 15 pontos percentuais. Enquanto isso, no Brasil, 8% da população rural (mais de 2,3 milhões de pessoas) ainda não contava com acesso melhorado ao abastecimento de água e estima-se que 40% das soluções de esgotamento sanitário não atingem os critérios de nível básico da OMS (WHO/UNICEF, 2019).

As estruturas de abastecimento descritas na legislação brasileira são categorizadas como sistemas de abastecimento de água (SAA), solução alternativa coletiva (SAC) e solução alternativa individual (SAI); destas, as primeiras são de uso comum e se diferenciam pela ausência de rede de distribuição na segunda. Segundo o Censo Demográfico de 2010, cerca de 29,9 milhões de pessoas residem em localidades rurais, das quais 72,7% dependem de soluções alternativas de abastecimento (IBGE, 2012). No Rio Grande do Sul, ao menos 10,4% da população total não está ligada à rede de abastecimento, dependendo, portanto, de soluções

alternativas, e estima-se que 280.140 pessoas consomem água de manancial subterrâneo que não passa por tratamento simplificado (BRASIL, 2020a).

Até o final do século XX a garantia da qualidade da água de abastecimento se resumia à fiscalização conforme as diretrizes de amostragem e padrões de potabilidade vigentes, estratégia que se mostrou vulnerável por diversos motivos relacionados às escalas de tempo e espaço inerentes aos processos de análise amostral e às limitações orçamentárias das agências responsáveis (VIEIRA, 2011). A estrutura de segurança da água para consumo humano proposta pela OMS a partir de 1999 e adotada em inúmeros territórios, inclusive no Brasil, é baseada na gestão de riscos à saúde e compreende o estabelecimento de metas pelos órgãos governamentais responsáveis, a elaboração de Planos de Segurança da Água (PSAs) pelos fornecedores e a atuação de vigilância independente sobre amostras do produto final (DAVISON *et al.*, 2005). Em linhas gerais, PSAs são instrumentos que buscam identificar e priorizar perigos e riscos em um sistema de abastecimento, do manancial ao consumidor. A partir desta identificação, o PSA estabelece medidas de controle e processos de gestão preventiva para reduzir os riscos (BRASIL, 2015).

Inicialmente, a elaboração de PSAs foi estruturada a partir dos princípios da Análise de Risco e Pontos Críticos de Controle (APPCC ou HACCP – *Hazard Analysis and Critical Control Points*) utilizada na indústria de alimentos (HOWARD, 2003); desde então, diversas metodologias foram adaptadas ao abastecimento de água tanto de caráter qualitativo como quantitativo, tais como a Análise de Riscos Preliminar (ARP), a Análise de Modos de Falhas e Efeitos (FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis*), a Análise da Árvore de Falhas (FTA – *Fault Tree Analysis*), o Estudo de Perigos e Operabilidade (Hazop – *Hazard and Operability Study*), entre outros (DEERE *et al.*, 2001; HOKSTAD *et al.*, 2009; KOŽÍŠEK *et al.*, 2008). Conforme resumem Bartram *et al.* (2009), a elaboração de um PSA nos moldes da OMS pode ser dividida em três etapas principais: a avaliação do sistema, que compreende sua descrição e a avaliação dos riscos associados a perigos identificados, a definição do monitoramento operacional e a determinação dos procedimentos de gestão operacional e emergencial. São descritas ainda uma etapa

preliminar de planejamento e constituição de equipe de trabalho e uma etapa de revisão periódica do plano em *feedback*.

A abordagem já passou por adaptações em todos os continentes, tendo sido adotada por 93 países até 2017, com diferentes níveis de efetivação e de desenvolvimento de instrumentos regulatórios, segundo relatório de progresso publicado pela OMS; o levantamento indicou que em 55 países os PSAs estavam sendo implementados inclusive (43% do total) ou somente (7%) nas áreas rurais (WHO, 2017a). Posto que os desafios na introdução da metodologia em comunidades atendidas por sistemas de abastecimento de pequeno porte, possivelmente em situação de vulnerabilidade social, são distintos dos enfrentados em outras condições, foram realizados estudos de caso em diversos contextos desta categoria (MAHMUD *et al.*, 2007; LINDHE *et al.*, 2010; HASAN; HICKING; DAVID, 2011; SAMWEL; JORRITSMA; RADU, 2010; BARRINGTON; FULLER; MCMILLAN, 2013) e foram produzidos manuais de atuação simplificados (WHO, 2012; RICKERT *et al.*, 2014).

A incorporação do termo PSA na legislação brasileira ocorreu em 2011, quando foi incluída na Portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde, passando a ser competência do responsável pelo sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento a adoção dos princípios recomendados pela OMS (BRASIL, 2017). Previamente, havia sido estabelecida uma parceria entre o governo e a Universidade Federal de Viçosa/MG (UFV), que produziu relatórios e um roteiro de implantação de PSAs a partir do projeto-piloto desenvolvido junto ao sistema de abastecimento de água urbano de Viçosa, entre 2006 e 2010 (BASTOS *et al.*, 2010).

As diretrizes brasileiras gerais de elaboração de PSAs foram publicadas em 2013 pelo Ministério da Saúde e são baseadas no trabalho de Vieira e Morais (2005), Bartram *et al.* (2009) e Bastos *et al.* (2010), os quais enfocam sistemas de abastecimento urbanos e de médio a grande porte. Embora existam iniciativas de aplicação em pequenas comunidades, a exemplo de Corrêa e Ventura (2020), permanecem lacunas de materiais oficiais direcionados a sistemas de pequeno porte, abastecimento de comunidades isoladas ou mesmo soluções alternativas coletivas com captação em manancial subterrâneo (BRASIL, 2013). Mais

recentemente, Ventura, Vaz Filho e Nascimento (2019) descreveram a adaptação da metodologia a uma Estação de Tratamento de Água em São Paulo e identificaram a existência de projetos similares em diversos municípios do sul e sudeste do país.

Considerando a lacuna de PSA para sistemas de pequeno porte e a importância desses sistemas no contexto estadual do RS e também nacional, o presente trabalho traz como contribuição a adaptação das diretrizes de elaboração de PSA considerando os desafios específicos do abastecimento de pequeno porte, ainda ausentes em orientações nacionais atuais. Este resultado deverá contribuir como base para posterior elaboração de protocolos de monitoramento operacional e planejamento de melhorias no âmbito do desenvolvimento de PSAs simplificados. A pergunta norteadora do trabalho, portanto, é: Como adaptar as ferramentas metodológicas que compõem a elaboração dos PSAs, conforme previstos em lei, à avaliação de riscos no contexto das SACs localizadas em áreas rurais?

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Adaptar diretrizes de elaboração de PSA considerando os desafios específicos do abastecimento de pequeno porte, ainda ausentes em orientações nacionais atuais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar os desafios mais relevantes para sistemas de pequeno porte.

Identificar elementos para avaliação de riscos à qualidade da água de abastecimento para Soluções Alternativas Coletivas (SACs) localizadas em áreas rurais de pequenos municípios.

Identificar perigos potenciais para o contexto de estudo.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 SANEAMENTO NO CONTEXTO BRASILEIRO

O atual marco regulatório do saneamento básico, Lei nº 14.026/2020, define o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. A legislação procura garantir meios adequados para o atendimento da população rural dispersa mediante a utilização de soluções compatíveis com suas características econômicas e sociais, além de reforçar a inclusão das zonas rurais na elaboração ou atualização dos planos regionais de saneamento básico (BRASIL, 2020b).

De acordo com o Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), publicado em 2013, são de responsabilidade da Fundação Nacional de Saúde (Funasa) a formulação, implementação e coordenação do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), assim como a disponibilização de suporte técnico e financeiro ao saneamento de municípios com até 50 mil habitantes. Como produtos de implementação das macrodiretrizes e estratégias do Plansab, ainda foram determinadas as elaborações da Política Municipal de Saneamento Básico e do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) pelo titular dos serviços de saneamento, sendo o último definido como um documento básico de planejamento que visa contemplar os modelos de gestão, as metas, os projetos e as estimativas dos custos dos serviços (BRASIL, 2014).

O acesso ao abastecimento de água melhorado é definido pela OMS como um sistema com potencial para fornecer água segura, quando seu projeto e sua construção protegem adequadamente o recurso de contaminação externa (WHO, 2017b). Segundo o relatório de 2019 do JMP para água e saneamento da OMS e do Unicef, entre 2000 e 2017 houve um aumento de 94% a 98% do total da população brasileira com acesso ao abastecimento de água melhorado básico, todavia sua gestão não é considerada segura uma vez que não há garantias de qualidade; enquanto isso, 8% da população rural do Brasil em 2017, o equivalente a mais de

2,3 milhões de pessoas, ainda não contava com acesso melhorado ao abastecimento de água. No que diz respeito ao esgotamento sanitário brasileiro, calcula-se que 49% da população total tem acesso a uma gestão segura das águas servidas enquanto as soluções que atendem 40% da população rural não atingem os critérios de nível básico (WHO/UNICEF, 2019).

Conforme enfatiza a OMS (WHO, 2012), o impedimento ou dificuldades de acesso à água potável de forma contínua compromete usos menos imediatos e afeta as condições de higiene, levando à utilização de fontes sem garantia de qualidade sanitária e condições inadequadas no transporte e armazenamento do líquido. O fornecimento de água de qualidade e em quantidade suficiente tem importância fundamental para promover condições higiênicas adequadas, proteger a saúde da população e promover o desenvolvimento socioeconômico, principalmente em regiões de vulnerabilidade socioambiental. Em áreas rurais e periurbanas de baixa renda observa-se a falta de abastecimento sustentável e contínuo de água e a carência de outras estruturas de saneamento, levando a situações de alto risco à saúde em regiões onde o acesso a serviços de saúde também é limitado (RAZZOLINI; GÜNTHER, 2008).

As enfermidades relacionadas à água podem ser agrupadas em cinco gêneros, conforme a natureza da sua transmissão: associadas à falta de higiene decorrente de inacessibilidade à água ou insuficiência no abastecimento; causadas por contato com a água; de propagação por vetores aquáticos; de disseminação pela água e de transmissão pela água (FEACHEM *et al.*, 1983 *apud* RAZZOLINI; GÜNTHER, 2008, p. 24). Souza *et al.* (2015) abordam o conceito de "doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado", conjunto do qual fazem parte de maneira relevante no Brasil casos de diarreia, febres entéricas, hepatite A, dengue, febre amarela, leishmanioses, filariose linfática, malária, doença de Chagas, esquistossomose, leptospirose, doença dos olhos, tracoma, conjuntivites, doenças da pele, micoses superficiais, helmintíases e teníases. Os autores associam ainda doenças não transmissíveis ao saneamento inadequado, sendo essas decorrentes de substâncias químicas e biológicas presentes na água, da poluição atmosférica, da habitação insalubre, do clima e de desastres urbanos (SOUZA *et al.*, 2015).

3.2 ABASTECIMENTO DE ÁGUA

3.2.1 Aspectos estruturais

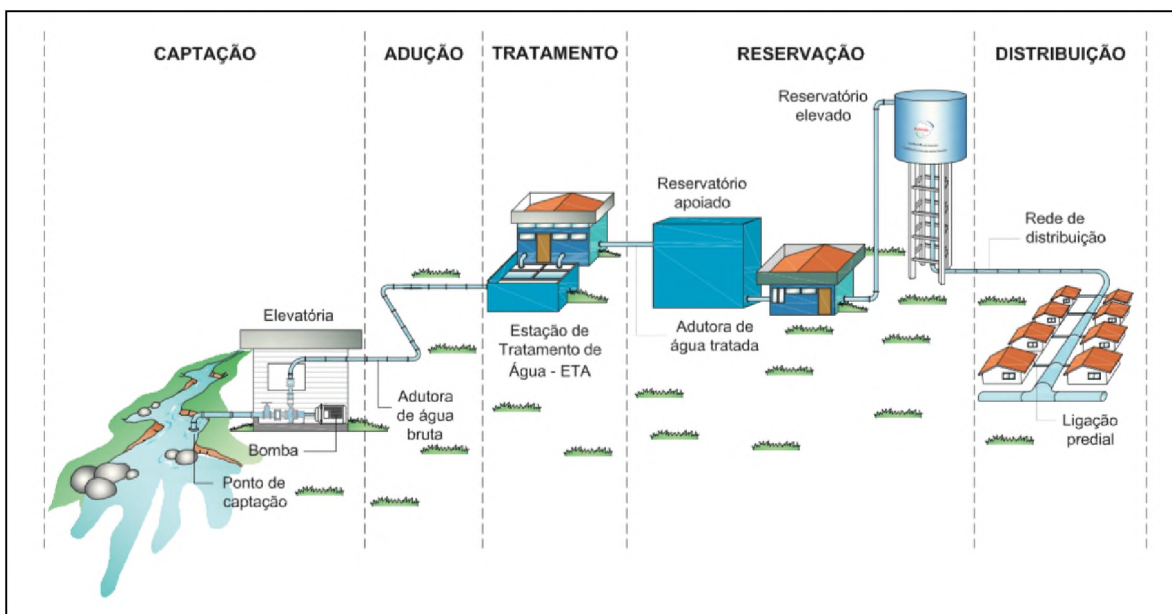
As soluções existentes para o acesso ao saneamento são de caráter coletivo ou individual, sendo que aglomerações mais consolidadas costumam apresentar sistemas coletivos, ou centralizados, e quanto mais dispersa a forma de ocupação do território, refletindo em domicílios isolados, maior a presença de soluções individuais (BRASIL, 2019b). A distinção oficial entre as possíveis instalações de abastecimento de água é encontrada na regulamentação dos padrões de potabilidade brasileiros, como parte do Art. 5º do Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, alterado pela Portaria GM/MS nº 888 de 2021 e originalmente publicado na forma da Portaria MS nº 2.914/2011 (BRASIL, 2021).

A legislação assume a existência de três modalidades de instalações de abastecimento: um sistema de abastecimento de água (SAA) é definido como uma “instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição” (BRASIL, 2021, p. 1); uma solução alternativa coletiva de abastecimento de água (SAC) se trata de uma modalidade de abastecimento coletivo com captação subterrânea ou superficial, com ou sem canalização e sem rede de distribuição; finalmente, o termo solução alternativa individual de abastecimento de água (SAI) designa atendimento a domicílios residenciais com uma única família (BRASIL, 2021).

Os sistemas de abastecimento podem ser divididos em dois conjuntos: unidades de produção e unidades de distribuição. Fazem parte do primeiro conjunto o manancial, a captação, a unidade de transporte (adução e, quando necessárias, estações elevatórias) e o tratamento; o segundo conjunto é constituído dos reservatórios e da rede de distribuição (HELLER; PÁDUA, 2016). As funções de cada unidade e alguns exemplos de estruturas adotadas compõem o quadro 1. Segundo o Manual de Saneamento da Funasa (BRASIL, 2019a), a configuração

mais comum de um sistema de abastecimento apresenta captação em manancial superficial e instalação de Estação de Tratamento de Água (ETA), ilustrada na figura 1.

Figura 1 – Configuração frequente das unidades de abastecimento de água de acordo com o Manual de Saneamento da Funasa.



Fonte: BRASIL (2019a).

Quadro 1 – Unidades componentes de um sistema de abastecimento de água.

(continua)

| Unidade | Definição/finalidade | Variante/exemplos |
|-----------|---|---|
| Manancial | Fonte de água, a partir de onde é abastecido o sistema. | - superficial - subterrâneo - água de chuva |
| Captação | Estrutura responsável pela extração de água do manancial. | - direta; com barragem; em reservatório - poços; drenos |
| Adução | Tubulação e acessórios destinados a interligar unidades. | - água bruta ou tratada - conduto livre, conduto forçado ou recalque |

Quadro 1 – Unidades componentes de um sistema de abastecimento de água.

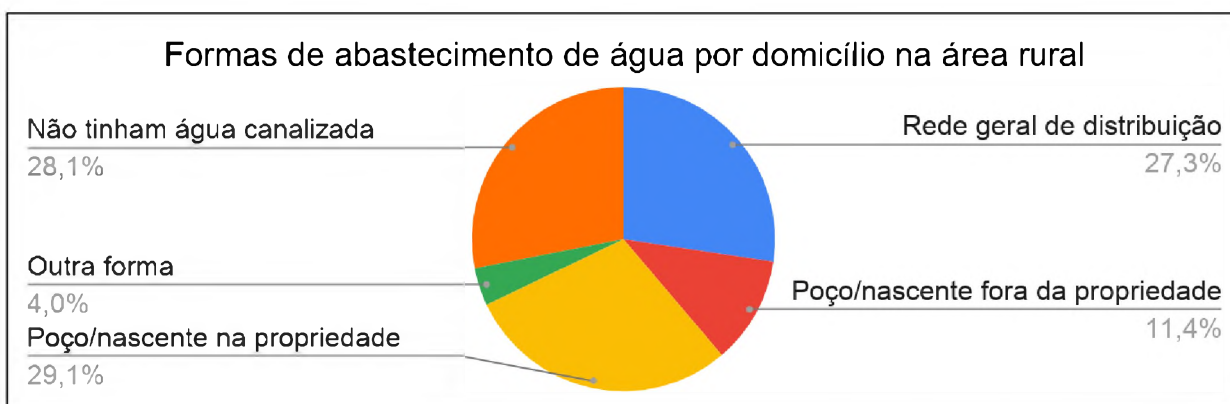
(conclusão)

| Unidade | Definição/finalidade | Variantes/exemplos |
|----------------------|--|--|
| Estação elevatória | Estrutura necessária quando existem variações de nível elevadas na linha adutora. | <ul style="list-style-type: none">- água bruta ou tratada- diferentes tipos de bomba |
| Tratamento | Operações unitárias necessárias para atingir os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente. | <ul style="list-style-type: none">- coagulação- floculação- decantação- filtração- desinfecção- fluoretação |
| Reservação | Unidades que se destinam principalmente a absorver as variabilidades entre a vazão de produção e as vazões de consumo. | <ul style="list-style-type: none">- água bruta ou tratada- elevado ou apoiado |
| Rede de distribuição | Conjunto de tubulações e acessórios que levam a água até os consumidores. | <ul style="list-style-type: none">- condutos, conexões, peças especiais- rede ramificada ou malhada |

Fonte: adaptado de HELLER e PÁDUA (2016).

Segundo o Censo Demográfico de 2010 do IBGE, cerca de 29,9 milhões de pessoas residem em localidades rurais totalizando, aproximadamente, 8,1 milhões de domicílios (IBGE, 2012). Em relação ao abastecimento de água, 27,3% dos domicílios em situação rural estão ligados à rede de abastecimento; o restante da população depende de soluções alternativas para o acesso à água de consumo doméstico (IBGE, 2012). Essas estão contidas nas estatísticas de domicílios com água canalizada a partir de poço ou nascente na propriedade (SAIs) ou fora da propriedade (SACs), domicílios sem água canalizada (que podem igualmente depender de SAI ou SAC) e domicílios providos de outras formas de abastecimento com canalização (não explicitadas), conforme ilustrado na figura 2.

Figura 2 – Parcela de domicílios permanentes em situação rural pela existência de água canalizada e/ou sua forma de abastecimento de água.



Fonte: adaptado do IBGE (2012).

3.2.2 Qualidade da água de abastecimento

Desde 1958 a OMS publica orientações e manuais relacionados à qualidade da água potável, inicialmente denominados *International Standards for Drinking Water*, com revisões subsequentes em 1963 e 1971. Mais recentemente, a série foi substituída pelas *Guidelines for Drinking Water Quality* (GDWQ), publicadas a partir de 1984 até sua quarta e atual edição, lançada em 2011 e atualizada em 2017 (WHO, 2017b).

Nas publicações do século XX, a metodologia estabelecida pela agência era baseada na verificação da conformidade das características da água abastecida de acordo com normas vigentes por meio de programas de amostragem, numa abordagem de controle de qualidade do tipo fim de linha (VIEIRA; MORAIS, 2005). Na segunda edição das GDWQ, publicada entre 1993 e 1997, foi introduzido o conceito de gestão de risco como parte das diretrizes de vigilância de qualidade da água e no documento *Water quality: Guidelines, standards and health*, de 2001, a OMS sumariza as diretrizes de avaliação e gestão de risco para doenças infecciosas de veiculação hídrica, passando a recomendar a APPCC (DEERE, 2001). Finalmente, na terceira edição das GDWQ, os procedimentos de gestão de risco são estruturados na forma de um Plano de Segurança da Água (*Drinking-water Safety Plan*) (WHO, 2017b).

Com a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, válida a partir de 2015, a ONU apresenta dentre suas prioridades dezessete Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), por meio dos quais convoca uma abordagem integrada dos aspectos sociais, econômicos e ambientais da sustentabilidade. A interface com o abastecimento de água se dá no ODS de número seis, que propõe às nações “assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos”. Para este fim, são estabelecidas metas como “alcançar o acesso universal e equitativo à água potável e segura para todos”, que permitam o enfoque na gestão da qualidade da água sob o ponto de vista da saúde pública (WHO, 2017c).

No Brasil, o conceito legal de água potável é encontrado na legislação vigente, atrelado ao conjunto de valores permitidos como parâmetros da qualidade da água para consumo humano e à ausência de riscos à saúde. Conforme a Portaria GM/MS nº888, compete ao Estado a realização da vigilância da qualidade da água, a qual engloba um conjunto de ações adotadas regularmente pela autoridade de saúde pública para verificar o atendimento do padrão de potabilidade, procurando avaliar se a água consumida pela população atende aos padrões de potabilidade (BRASIL, 2021). Atualmente, os procedimentos de rotina da vigilância da qualidade da água envolvem um plano de amostragem básico, cujos parâmetros são cloro residual livre, turbidez, coliformes totais, *Escherichia coli* e fluoreto, o plano de monitoramento de agrotóxicos e, quando necessário, um plano específico de monitoramento, conforme características locais (BRASIL, 2016).

As atribuições da Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS), em nível federal, junto às Secretarias de Saúde estaduais e municipais, são de promover e acompanhar a vigilância da qualidade da água para consumo humano. Cabe às Secretarias o desenvolvimento das ações especificadas no Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água (Vigiagua) nos termos da legislação do Sistema Único de Saúde (SUS), sendo executadas em âmbito municipal as diretrizes definidas nos planos federal e estadual. É igualmente de competência municipal a manutenção dos registros das formas de abastecimento de água e dos dados de

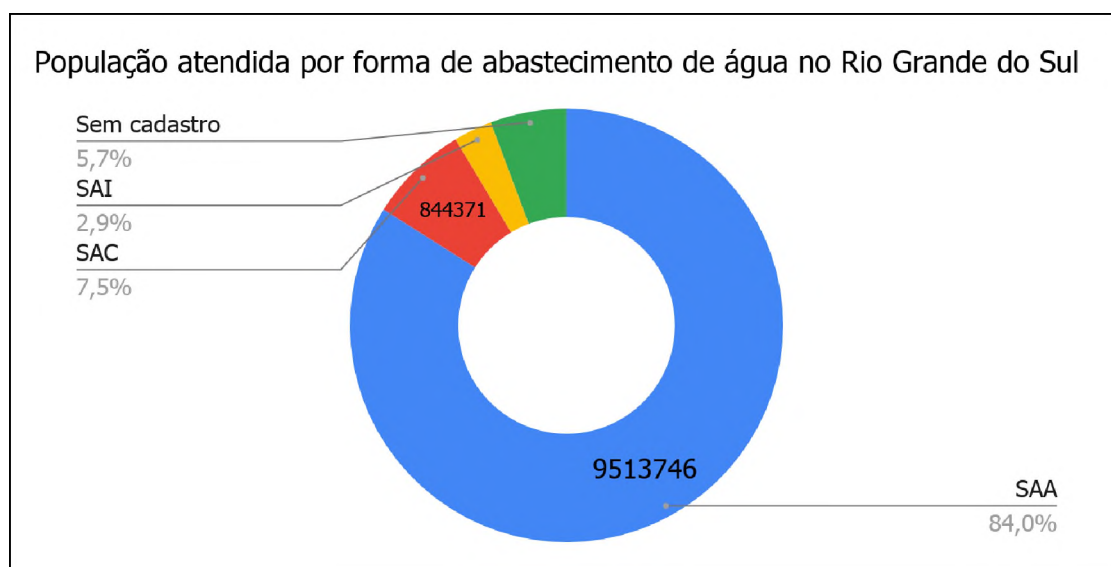
monitoramento da qualidade no Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Sisagua) (BRASIL, 2021).

De acordo com um levantamento das formas de abastecimento de água cadastradas no Sisagua em 2019 produzido pela Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental, 10,4% da população do Rio Grande do Sul utiliza soluções alternativas de abastecimento, conforme distribuição de formas de abastecimento ilustrada na figura 3. Destas, 280.140 pessoas dependem de SACs com captação em manancial subterrâneo que não realizam desinfecção da água, o que equivale a 33,18% da população abastecida por SACs no estado (BRASIL, 2020a).

Levando em consideração os indicadores nível de tratamento, disponibilidade dos recursos hídricos, qualidade da água, manancial de captação, operação e manutenção, sistema de distribuição, capacidade econômica, capacidade técnica, suporte governamental e controle amostral, Debiasi (2016) identificou que o índice de vulnerabilidade dos pequenos sistemas de abastecimento do Rio Grande do Sul pode ser considerado de nível médio, constatando que a proporção dos sistemas considerados vulneráveis é de 60,4% e evidenciando a relevância da problemática.

Além disso, a caracterização do abastecimento rural do estado realizada por Häggqvist e Larsson (2020) evidenciou particularidades como: falta de autossuficiência econômica das Associações de Abastecimento, se mostrando inevitável o apoio do governo municipal na maioria dos casos; desconfiança da população em relação a processos de cloração; verbas insuficientes para projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário e recursos técnicos e administrativos limitados nos municípios.

Figura 3 – Parcela da população do Rio Grande do Sul cadastrada no Sisagua em 2019 pela sua forma de abastecimento de água.



Fonte: adaptado de BRASIL (2020a).

Em caso de abastecimento coletivo, é de responsabilidade dos fornecedores a garantia de que os parâmetros de caracterização da água respeitem os padrões de potabilidade estabelecidos na legislação, incluindo a presença de cloro residual do processo de desinfecção. Tendo em vista que o tratamento em si não assegura a manutenção de tais condições, procura-se empregar uma visão sistêmica das boas práticas no abastecimento, fundamentada no princípio de múltiplas barreiras à contaminação, desde o manancial até o consumidor. Como parte da estratégia estabelecida em lei, as medidas de controle aplicadas e os respectivos procedimentos operacionais e de monitoramento compõem parte do PSA da instalação (BRASIL, 2021).

Em 2006, o Ministério da Saúde publicou dois documentos que já propunham as diretrizes concernentes ao abastecimento de água a partir de um olhar da saúde pública: *Boas práticas no abastecimento de água: Procedimentos para a minimização de riscos à saúde* (BRASIL, 2006a) e o *Manual de procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade de água para consumo humano* (BRASIL, 2006b). Ambos os documentos são direcionados aos responsáveis pela vigilância da qualidade da água e discutem o controle da

qualidade da água do ponto de vista da diminuição dos riscos à saúde da população abastecida. Segundo Ferreira e Pádua (2016), restrições econômicas, técnicas e de pessoal frequentemente definem quais as variáveis que vão ser monitoradas e os métodos a serem utilizados, sendo valorizada, portanto, a eficiência na definição dos procedimentos para assegurar que os objetivos de saúde sejam contemplados.

3.3 PLANOS DE SEGURANÇA DA ÁGUA

3.3.1 Aspectos conceituais

Um sistema de abastecimento precisa ser avaliado quanto à sua capacidade e confiabilidade em entregar o seu produto final (a água tratada). Entretanto, abordagens tradicionais de teste do produto final ainda apresentam deficiências e limitações, o que tem atraído o interesse pelas metodologias de gestão de risco que lidam com o sistema de abastecimento como um todo. Conforme explicita Vieira (2011), é possível destacar algumas das fragilidades das abordagens tradicionais, que são particularmente críticas nos sistemas de pequeno porte: os resultados das análises por amostragem só são disponibilizados depois que a água já chegou ao consumidor e frequentemente após já ter sido consumida; uma grande variedade de agentes patogênicos não são detectáveis ou seguramente detectáveis utilizando indicadores convencionais (*E. coli*, coliformes totais), tais como vírus e protozoários; a qualidade da água entre dois períodos de amostragem pode se deteriorar consideravelmente sem detecção, em especial nos sistemas de pequeno porte onde a frequência de amostragem é baixa devido a restrições de mão de obra no monitoramento; o método de teste de produto final apresenta problemas de representatividade da amostra visto que uma fração muito pequena do volume total produzido é submetida à análise. Limitações como essas indicam que as abordagens tradicionais precisam de revisão e adaptação para maior efetividade quando aplicadas a sistemas de pequeno porte.

Os PSAs são documentos de planejamento dos procedimentos operacionais de rotina e emergenciais em um determinado sistema de abastecimento de água

estabelecidos com base em uma análise de riscos, com o intuito de garantir a segurança da água de consumo humano desde o manancial até a torneira do consumidor. O conceito de PSA foi desenvolvido a partir de uma sistematização das práticas de gestão da água de abastecimento já há muito utilizadas com o objetivo de garantir a aplicabilidade dessas práticas na gestão da qualidade da água (BARTRAM *et al.*, 2009). Conforme afirma Howard (2003), a abordagem utiliza princípios e conceitos desenvolvidos em outras metodologias de gestão de risco, com foco na APPCC, cuja terminologia foi adaptada para refletir as distinções entre o abastecimento de água e a indústria alimentícia. O contraste entre as abordagens se dá em parte devido à maior facilidade da indústria em recolher produtos com suspeita ou certeza de contaminação, enquanto uma ação análoga tomada pelo fornecedor de água pode resultar em aumento dos riscos à saúde em consequência de higiene precária (HOWARD; GODFREY, 2005).

Tanto o conceito de boas práticas quanto o de múltiplas barreiras são apropriados de outras áreas relacionadas com a saúde pública, como a de produção de alimentos e de controle de qualidade de práticas laboratoriais (BRASIL, 2006a; HAVELAAR, 1994). A definição e avaliação das medidas de controle partem do princípio de que, em operação rotineira, deve haver múltiplas barreiras entre o perigo identificado e o risco à saúde da população abastecida que é associado a ele. Havelaar (1994) aponta que as medidas de controle estabelecidas devem ter como objetivo eliminar os perigos ou reduzir seu impacto ou ocorrência a níveis aceitáveis, sendo que mais de uma medida podem ser necessárias para controlar um risco e mais de um risco podem ser controlados pela mesma medida, desde que ela não seja a única barreira até o consumidor.

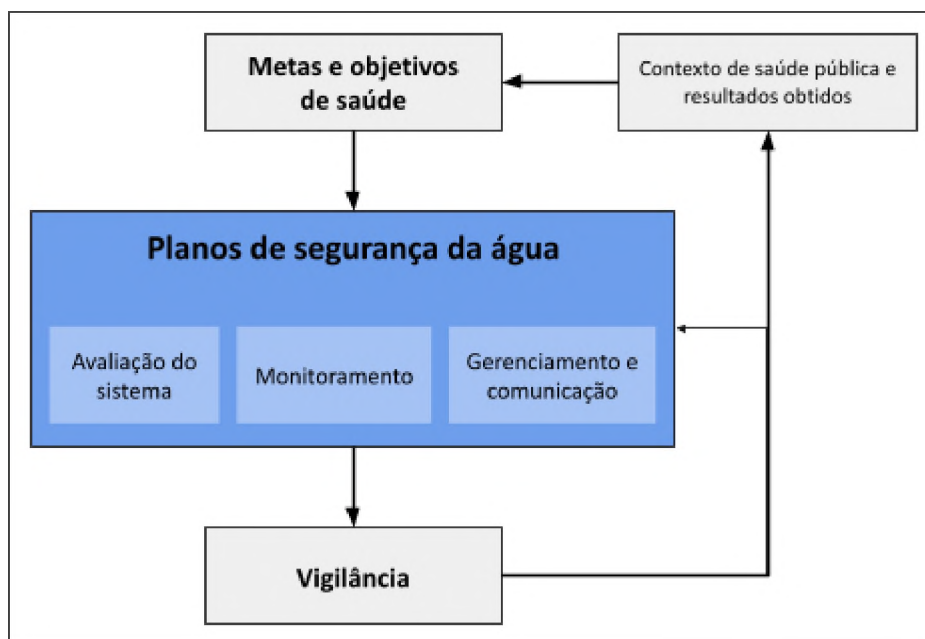
No período de 2006 a 2010, a Comissão Europeia financiou o desenvolvimento do projeto Acesso Universal à Água Segura Possibilitado pela Tecnologia (Techneau) como parte do programa de Pesquisa Comunitária de Foco e Integração (CORDIS, 2013). O projeto contou com a participação de pesquisadores da área do abastecimento de água e tinha como objetivo o desenvolvimento de estratégias adaptativas, novas tecnologias e práticas operacionais; o vínculo com a proposta de gestão da OMS foi explicitado como parte da área de trabalho

denominada “Avaliação e Gestão de Risco”, cujo objetivo principal era de integrar as avaliações de risco dos diferentes elementos dos sistemas de abastecimento em uma estrutura abrangente de apoio a tomada de decisões para a gestão eficiente do risco (KAZNER; VAN DEN HOVEN; WIELINGA, 2009). No desenvolvimento do projeto foram publicados relatórios e manuais descrevendo uma estrutura genérica e métodos específicos, tais como o banco de dados de perigos da Techneau (THDB) e a sua utilização na identificação de perigos potenciais em formato de *checklist* (ROSÉN *et al.*, 2007).

Enquanto ferramenta de gestão, os PSAs implementados localmente se inserem em uma estrutura já existente de garantia da qualidade da água, conforme ilustrado pelo esquema da figura 4. Sua elaboração deve ser guiada pelas metas e objetivos de saúde estabelecidos em legislação e os resultados de sua aplicação são supervisionados pela agência governamental que realiza a vigilância da qualidade da água, sendo esta responsável por produzir dados que informem sobre o contexto da saúde pública no país e alimentem a definição das metas de saúde (WHO, 2017).

Os objetivos e metas de saúde constituem a base para o restante do trabalho de garantia da qualidade da água e devem ser estabelecidos em colaboração com os fornecedores de água e comunidades afetadas. São discutidos pela OMS quatro tipos principais de objetivos de saúde: metas de efeito na saúde, metas de qualidade da água, metas de performance e metas específicas de tecnologia (WHO, 2017). No Brasil, a definição de prioridades, objetivos, metas e indicadores de vigilância da qualidade da água para consumo humano cabem à SVS e às Secretarias de Saúde estaduais e do Distrito Federal, nos seus respectivos níveis, levando em consideração os dados de vigilância produzidos e inseridos no Sisagua (BRASIL, 2021).

Figura 4 – Estrutura de gestão da segurança no abastecimento de água.



Fonte: adaptado de WHO (2017b).

Complementarmente ao risco expressado em termos de consequências à saúde específicas, Havelaar e Melse (2003) tratam da abordagem de Carga de Doença Global (GBD – *Global Burden of Disease*), que permite quantificar o impacto da contaminação na água de consumo humano e informar as políticas de saúde em formação. Sua metodologia de mensuração procura determinar os efeitos de agravos à saúde sobre o bem-estar físico, emocional e social de indivíduos devido a decorrências de mortes prematuras, morbidade e comorbidades de um ponto de vista coletivo. Os principais indicadores calculados em análises de GBD são prevalência, incidência, anos de vida perdidos, anos de vida ajustados à invalidez, expectativa de vida ajustada à saúde e anos vividos com invalidez (IHME, 2013).

Compete ainda aos órgãos governamentais definir, conforme a realidade local, o que constitui um risco tolerável ao abastecimento de água para consumo humano, respeitando aspectos econômicos, ambientais, sociais e culturais e recursos financeiros, técnicos e institucionais. É essencial que exista um limite a partir do qual considera-se que o risco à qualidade da água é admissível, dispensando modificações imediatas; são possíveis margens de tolerância, segundo Bastos *et al.* (2010):

- Nível de risco abaixo de um limite definido arbitrariamente ou abaixo de nível já tolerado;
- Nível de risco abaixo de uma fração do total da carga de doença na comunidade;
- O custo de redução do risco excederia o valor economizado;
- O custo de oportunidade da prevenção do risco seria mais bem aproveitado em outras ações de promoção da saúde pública;
- Profissionais de saúde consideram que o risco é aceitável;
- O público em geral considera que o risco é aceitável.

3.3.1.1 Avaliação de riscos de contaminação no abastecimento de água

A identificação de potenciais perigos ou eventos perigosos, conceitos definidos no quadro 2, como etapa da avaliação semiquantitativa de risco tem origem nas metodologias de segurança de processo na produção industrial, reunidas sob o título de *Hazard Identification* (Hazid). Os métodos são considerados de baixa complexidade e envolvem a participação de pessoas familiarizadas com o sistema, podendo se basear em sessões de *brainstorming*, dados obtidos de experiências passadas, como frequência de acidentes e confiabilidade, *checklists* de itens específicos de perigos e cenários potenciais de acidentes ou ainda uma combinação de estratégias (HOKSTAD *et al.*, 2009).

Como produto do projeto Techneau, Beuken *et al.* (2008) publicaram uma metodologia de identificação de perigos a partir do THDB, propondo uma abordagem *top-down* (de cima para baixo) baseada na descrição de um processo de abastecimento de água genérico. Em função disso, o método se vale de uma *checklist* extensa que contempla perigos de origem técnica, ambiental e humana. O procedimento pode ser aplicado de forma complementar às abordagens *bottom-up* (de baixo para cima), que têm origem na experiência da equipe envolvida diretamente com a operação e a manutenção do sistema, devido à complexidade dos processos avaliados (BEUKEN *et al.*, 2008).

No contexto brasileiro, Bastos *et al.* (2010) propõem formulários de verificação do sistema que permitem a identificação de perigos e eventos perigosos por meio de *checklist* elaborada com base em um SAA de manancial superficial. A metodologia de Beuken *et al.* já foi adaptada para o contexto de uma ETA em São Paulo como parte da elaboração de um PSA seguindo as diretrizes gerais brasileiras, procedimento descrito por Ventura, Vaz Filho e Nascimento (2019); a seleção metodológica se deu em virtude da ausência de modelos de avaliação e monitoramento de riscos consolidados em literatura científica. Os autores observaram benefícios na adoção da metodologia, como a otimização de esforços e recursos e a melhoria das práticas de gestão no SAA enquanto admitem a universalização do PSA como ferramenta útil e contínua em todo o território nacional, levando em consideração suas interfaces com os Planos de Recursos Hídricos, como um desafio a ser enfrentado (VENTURA; VAZ FILHO; NASCIMENTO, 2019).

São abordadas pelas publicações técnicas e pela literatura científica diversas adaptações de metodologias de gestão de risco ao contexto do abastecimento de água, tais como a Análise de Riscos Preliminar ou “Grosseira” (ARP ou CRA – *Coarse Risk Analysis*), a APPCC, o Hazop, a Análise dos Modos, Efeitos e Criticalidade de Falha (FMECA – *Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis*), a FTA, entre outras (HOKSTAD *et al.*, 2009). As abordagens podem ser divididas em níveis de sofisticação qualitativos e quantitativos; as ferramentas qualitativas são baseadas em checklists de identificação de perigos, priorização de riscos e identificação de pontos críticos para a diminuição dos riscos; em contraposição, as metodologias quantitativas são baseadas em modelos que tratam de cadeias de eventos e estimativas de níveis quantitativos de risco, o que facilita a sua avaliação de acordo com níveis de tolerância de risco preestabelecidos (ROSÉN *et al.*, 2007).

Conforme os estudos de caso executados pela Techneau e reunidos por Lindhe *et al.* (2010), na escolha da metodologia deve-se considerar que tipo de informação pretende-se obter com a análise e quais os recursos disponíveis. Os métodos qualitativos geralmente requerem menos dados de entrada e outros recursos, se comparado aos métodos quantitativos; os últimos, contudo, fornecem

resultados mais detalhados. Uma abordagem já aplicada ao abastecimento de água é a de realizar uma avaliação qualitativa inicial abrangendo todo o sistema, do manancial ao consumidor, e empregar um método quantitativo para uma avaliação mais detalhada nos pontos que se revelarem mais críticos (LINDHE *et al.*, 2010).

Como parte da adaptação dos conceitos de gestão de riscos ao abastecimento de água, a Techneau e a OMS propõem definições similares aos termos *Evento perigoso*, *Perigo*, *Risco*, *Identificação de perigos*, *Análise de riscos*, *Gestão de risco* e *Segurança da água* (HOKSTAD *et al.*, 2009; BARTRAM *et al.*, 2009). A Techneau diferencia ainda as expressões *Agente perigoso*, *Estimativa de risco*, *Avaliação de risco* e *Estudo de risco*, conforme descritos e exemplificados no quadro 2.

Quadro 2 – Conceitos da área de gestão de riscos adaptados para o contexto do abastecimento de água para consumo humano.

(continua)

| Termo | Definição | Exemplo |
|---|---|---|
| Evento perigoso <i>Hazardous event</i> | Evento ou situação que pode provocar um perigo e causar danos. | Existência de abatedouro nas proximidades. |
| Perigo <i>Hazard</i> | Fonte de danos em potencial ou situação com potencial de dano. | Ocorrência de infiltração ou escoamento de efluentes orgânicos. |
| Agente perigoso <i>Hazardous agent</i> | Fator biológico, químico, físico ou radiológico que apresenta potencial de causar danos. | Contaminação orgânica e/ou microbiológica. |
| Risco <i>Risk</i> | Combinação da frequência ou probabilidade de ocorrência com as consequências de um determinado evento perigoso. | Consequência grave + Ocorrência rara = Risco médio. |

Quadro 2 – Conceitos da área de gestão de riscos adaptados para o contexto do abastecimento de água para consumo humano.

(conclusão)

| Termo | Definição |
|--|--|
| Identificação de perigos <i>Hazard identification</i> | Processo de reconhecimento da existência de um perigo e definição das suas características. |
| Análise de risco <i>Risk analysis</i> | Uso sistemático de informações disponíveis para identificar perigos e para estimar riscos a populações. |
| Estimativa de risco <i>Risk estimation</i> | Produção de uma medida do nível de risco. Consiste em três etapas: análise de frequência, análise de consequência e integração. |
| Avaliação de risco <i>Risk evaluation</i> | Processo no qual decisões são tomadas sobre a tolerabilidade do risco baseando-se na análise de risco e em fatores como aspectos socioeconômicos e ambientais. |
| Estudo de risco <i>Risk assessment</i> | Processo completo de análise de risco e avaliação de risco. |
| Gestão de risco <i>Risk management</i> | Aplicação sistemática de políticas de gestão, procedimentos e práticas nas tarefas de análise, avaliação e controle de risco. |
| Segurança da água <i>Water safety</i> | Proteção da disponibilidade da água e da saúde humana com um alto nível prático de confiança. |

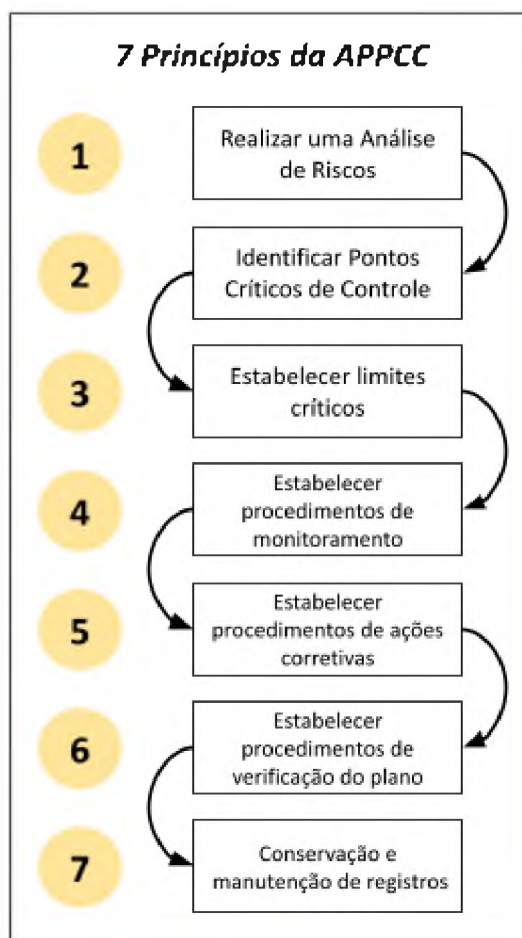
Fonte: adaptado de HOKSTAD *et al.* (2009) e BARTRAM *et al.* (2009).

Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle

As etapas de trabalho descritas pela OMS e a terminologia utilizada são baseadas na metodologia de APPCC. Segundo Deere *et al.* (2001), a abordagem foi adaptada para o abastecimento de água a partir dos cinco passos iniciais e sete princípios empregados no controle de qualidade da produção de alimentos como parte do Codex Alimentarius da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) e da OMS (figura 5). São considerados passos preparatórios: reunir uma equipe de trabalho (I); descrever o produto (II); documentar o uso previsto do produto (III); construir um diagrama de fluxo do processo (IV) e validar o diagrama de fluxo do processo (V) (DEERE *et al.*, 2001).

De acordo com essa definição, as barreiras à contaminação são consideradas Pontos de Controle (PCs) do risco, eliminando-o ou reduzindo-o a limites aceitáveis, e, portanto, Pontos Críticos de Controle (PCCs) são caracterizados por barreiras cuja eficiência é essencial para a segurança da água a partir desse ponto; são ainda definidos Pontos de Atenção (PAs), os quais configuram atividades, locais ou fatores que também exigem controle, porém não de maneira imperativa tal qual os PCCs (DEERE *et al.*, 2001; DEWETTINCK *et al.*, 2001). Segundo Dewettinck *et al.* (2001), PCCs devem ser passíveis de monitoramento em tempo real para que ações corretivas sejam tomadas em um sistema de *feedback*, o que exclui dessa categoria os sistemas de monitoramento microbiológico devido à forma como são realizadas as análises atualmente, sendo estes adequados somente para fins de verificação em PAs.

Figura 5 – Fluxograma dos sete princípios a serem seguidos em uma APPCC.



Fonte: adaptado de DEERE *et al.* (2001).

Podem ser utilizados fluxogramas do tipo árvore de decisões na classificação dos pontos, conforme as necessidades e possibilidades de controle e monitoramento. Bastos *et al.* (2010) propõem um fluxograma de perguntas e decisões para a classificação dos pontos avaliados que inclui a categoria de Pontos Críticos de Atenção (PCAs), caracterizados pela possibilidade do estabelecimento de medidas de controle e se diferenciando dos PCs pela ausência de monitoramento por meio de limites críticos. Neste caso, as definições empregadas serão (BASTOS *et al.*, 2010):

- Ponto de Controle (PC): etapa ou local onde há um ou mais perigos que oferecem risco à saúde os quais **podem ser monitorados** de forma sistemática e contínua e onde é **possível estabelecer medidas de controle** para preveni-los, eliminá-los ou reduzir o risco a um nível tolerável. Se trata de um ponto intermediário, **existindo barreiras subsequentes**.
- Ponto Crítico de Controle (PCC): etapa ou local onde há um ou mais perigos que oferecem risco à saúde os quais **podem ser monitorados** de forma sistemática e contínua e onde é **possível estabelecer medidas de controle** para preveni-los, eliminá-los ou reduzir o risco a um nível tolerável. **Não existem barreiras subsequentes**.
- Ponto Crítico de Atenção (PCA): etapa ou local onde há um ou mais perigos que oferecem risco à saúde os quais **não são passíveis de monitoramento** por meio de limites críticos, sendo, contudo, **possível estabelecer medidas de controle** para preveni-los, eliminá-los ou reduzir o risco a um nível tolerável.
- Ponto de Atenção (PA): etapa ou local onde há um ou mais perigos que ofereçam risco à saúde e **não é possível estabelecer medidas de controle** imediatamente para preveni-los, eliminá-los ou reduzir o risco a um nível tolerável, ou ainda essas seriam de difícil implantação.

Nem todos os perigos e eventos perigosos identificados exigem que sejam estabelecidos procedimentos operacionais específicos, sendo assim pertinente uma análise dos riscos que eles oferecem à população abastecida. Havelaar (1994) sugere ainda que seja executada uma etapa de avaliação quantitativa dos perigos

identificados entre os princípios 1 e 2 da APPCC, de modo que os perigos cujos riscos não sejam aceitáveis mesmo que possuam status de Ponto Crítico de Controle levem a modificações no processo ou à comunicação da situação aos consumidores.

Análise de Riscos “Grosseira” ou Preliminar

A metodologia de *Coarse Risk Analysis* (CRA), também chamada de Análise de Riscos Preliminar, propõe uma avaliação “grosseira” dos riscos exigindo esforços relativamente reduzidos. A abordagem tem aplicação em casos de sistemas de baixa complexidade, de modo que a maioria dos fornecedores de água possui competência para executar uma CRA com pouca assistência (HOKSTAD *et al.*, 2009). Segundo Aven (2008), tipicamente o objeto de estudo é dividido em subelementos e a análise é realizada para cada um deles individualmente, sendo possível a utilização de uma metodologia de *checklist* na identificação dos perigos.

Hokstad *et al.* (2009) categorizam a CRA como um método de baixa a média complexidade no que concerne à proteção contra eventos indesejados durante a operação do sistema de abastecimento. A adaptação da metodologia à gestão do fornecimento de água fez parte do projeto Techneau, cujas experiências de aplicação em contextos diversos na Noruega, na República Tcheca e na África do Sul foram relatadas por Lindhe *et al.* (2010). A abordagem pode ser combinada a métodos quantitativos caso constate-se que é requerido um detalhamento maior na análise de certos perigos (LINDHE *et al.*, 2010).

De acordo com Hokstad *et al.* (2009), uma CRA é dividida em cinco etapas principais:

1. Identificação de eventos perigosos relacionados ao sistema como um todo ou a uma etapa específica;
2. Estimativa dos riscos em termos de probabilidade de ocorrência e severidade das consequências para cada evento perigoso;
3. Disposição dos itens em matrizes de risco e cruzamento dos dados com critérios de aceitação de risco;

4. Classificação dos eventos perigosos em relação aos seus riscos;
5. Avaliação da necessidade de redução de riscos ou de análises mais detalhadas.

Matriz de priorização de riscos

A matriz de priorização como ferramenta na avaliação de riscos permite uma melhor visualização das classificações estabelecidas e suas variáveis. No caso da qualidade de água de abastecimento, são estimadas frequências ou probabilidades de ocorrência de um determinado evento perigoso ao sistema e categorizados os impactos que atingiriam a população consumidora (VIEIRA; MORAIS, 2005). As informações podem ser computadas de maneira qualitativa ou semiquantitativa, sendo a primeira mais indicada para sistemas pequenos em função da inexatidão ou inexistência dos dados levantados (WHO, 2012). Ambas as abordagens produzem classificações de risco a partir de níveis de probabilidade de ocorrência cruzados com níveis de severidade das consequências da contaminação.

A *escala de probabilidade de ocorrência* é construída a partir de estimativas da frequência com a qual um evento perigoso pode ocorrer no sistema. As probabilidades são distribuídas em classificações embasadas em metas de saúde pública relacionadas ao perigo em questão, variando seu peso no risco resultante de 1 a 16, por exemplo (BRASIL, 2013), com o qual representa o nível de frequência ou probabilidade de ocorrência de rara a quase certa. O efeito devido à concretização de um perigo é apresentado com de uma *escala de severidade das consequências*, sendo seu impacto classificado como insignificante (nível 1), baixo (2), moderado (3), alto (4) ou catastrófico (5) para a saúde pública. Os níveis mais altos correspondem a eventos com efeitos de mortalidade significativa para a população abastecida, seguidos de níveis que expressam morbidade atingindo parte da população e enfim eventos de impacto negligenciável, conforme exemplo esquematizado no quadro 3.

Quadro 3 – Exemplos de Escalas de Probabilidade de Ocorrência e de Severidade das Consequências para método semiquantitativo de Matriz de Priorização de Riscos.

| Probabilidade de ocorrência | Descrição | Peso |
|-------------------------------------|---|-------------|
| Quase certa | Pode ocorrer 1 vez por dia. | 16 |
| Muito provável | Pode ocorrer 1 vez por semana. | 8 |
| Provável | Pode ocorrer 1 vez por mês. | 4 |
| Pouco provável | Pode ocorrer 1 vez por ano. | 2 |
| Raro | Pode ocorrer em situações excepcionais (1 vez em 10 anos). | 1 |
| Severidade das consequências | Descrição | Peso |
| Catastrófica | Letal para uma parte significativa da população ($\geq 10\%$). | 5 |
| Grande | Letal para uma pequena parte da população ($< 10\%$). | 4 |
| Moderada | Nocivo para uma parte significativa da população ($\geq 10\%$). | 3 |
| Pequena | Nocivo para uma pequena parte da população ($< 10\%$). | 2 |
| Insignificante | Sem qualquer impacto detectável. | 1 |

Fonte: adaptado de VIEIRA e MORAIS (2005) e BRASIL (2013).

A priorização dos riscos é realizada utilizando as pontuações obtidas pela multiplicação do peso de probabilidade de ocorrência pelo peso de severidade das consequências, que é calculado para cada perigo. Os riscos podem então ser classificados em baixo, médio, alto ou muito alto, de acordo com faixas de valores estabelecidas para cada nível, sendo recomendado o uso de bom senso na diferenciação entre riscos que apresentarem a mesma pontuação, priorizando-se perigos cujas consequências sejam de maior gravidade (VIEIRA; MORAIS, 2005).

A Matriz de Priorização de Risco composta pelas classificações relacionadas à frequência, consequência e risco assume o formato ilustrado na figura 6 e serve de referência para a compreensão de um perigo avaliado dentro da escala de risco. A

classificação do risco está relacionada à implementação de medidas de controle e monitoramento operacional no local ou etapa onde existe o perigo (BRASIL, 2013):

- Baixo: risco tolerável a ser controlado por procedimentos de rotina.
- Médio: risco moderado que exige adoção de medidas de controle e, quando necessário, monitoramento específico.
- Alto: risco elevado que exige adoção de medidas de controle e, quando necessário, monitoramento específico.
- Muito alto: risco extremo e não tolerável que exige adoção de medidas de controle e, quando necessário, monitoramento específico.

Figura 6 – Exemplo de Matriz de Priorização de Risco Semiquantitativa.

| Ocorrência | Consequência | | | | |
|-----------------------------------|---------------------------|------------------|---------------------|------------------|------------------------|
| | Insignificante Peso: 1 | Baixa Peso: 2 | Moderada Peso: 3 | Grave Peso: 4 | Muito grave Peso: 5 |
| Quase certo Peso: 16 | 16 | 32 | 48 | 64 | 80 |
| Muito frequente Peso: 8 | 8 | 16 | 24 | 32 | 40 |
| Frequente Peso: 4 | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 |
| Pouco frequente Peso: 2 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| Raro Peso: 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

| | | | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|------------|
| Pontuação do risco: | 1–6 | 8–12 | 16–24 | 32–80 |
| Classificação do risco: | Baixo | Médio | Alto | Muito alto |

Fonte: adaptado de OMS (WHO, 2011) e BRASIL (2013).

3.3.1.2 Diretrizes brasileiras

Em busca de diretrizes de execução condizentes com a realidade brasileira, de 2006 a 2010 a UFV, em parceria com o Ministério da Saúde e com a colaboração do Serviço Autônomo de Água e Esgotos (SAAE-Viçosa) e da Secretaria Municipal de Saúde, desenvolveu o primeiro projeto-piloto de PSA no país. Como parte do

projeto foram produzidos documentos que contribuíram para a elaboração das diretrizes gerais brasileiras, tais como o *Roteiro de orientação para implantação de Planos de Segurança da Água – PSA* (BASTOS *et al.*, 2010; BRASIL, 2013). A legislação passou a incluir o termo a partir de 2011, dentre as responsabilidades do fornecedor como parte da estrutura de garantia da qualidade da água (BRASIL, 2021). Desde então, de acordo com estudo publicado pela OMS sobre a adesão ao PSA, o Brasil já possui mais de dez planos implementados no seu território, dos quais, contudo, nenhum se referia a um sistema de abastecimento pequeno ou rural até 2017 (WHO, 2017a).

Apesar da implementação relativamente baixa em zonas rurais, a elaboração dos PSAs é apresentada como uma estratégia de gestão do abastecimento de água dentro do PNSR (BRASIL, 2019b). O programa, que tem como objetivo principal a universalização do acesso ao saneamento básico nas áreas rurais em um horizonte de 20 anos, foi elaborado em conjunto com a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e apresenta uma abordagem de gestão constituída a partir de definições conceituais, análise situacional e metas nacionais de desenvolvimento. Sendo assim, o documento publicado se caracteriza como um plano no que diz respeito à implementação de ações estruturais e estruturantes e à articulação com os devidos entes federais, estaduais e municipais e a sociedade civil organizada.

Em relação à qualidade da água de abastecimento, o PNSR dialoga com a Portaria GM/MS nº 888 quando especifica a diretriz número 7: “Efetivar o controle e a vigilância da qualidade da água para consumo humano em soluções alternativas coletivas e individuais de abastecimento de água nas áreas rurais”, cujas estratégias de realização de números 1 e 7 são diretamente correlacionadas e justificam a implementação de um PSA, explicitamente recomendada como parte da estratégia número 8:

7.1 Assegurar o pleno cumprimento das atividades de controle da qualidade da água, por parte dos responsáveis pelos sistemas ou por **soluções alternativas coletivas** de abastecimento de água, nos termos da regulamentação vigente.

[...]

7.7 Assegurar à população rural plano de contingência preventivo e corretivo para operações atípicas e desastres, como prolongamento

de seca, inundações, deslizamentos de terra, rompimento de barragens, dentre outros.

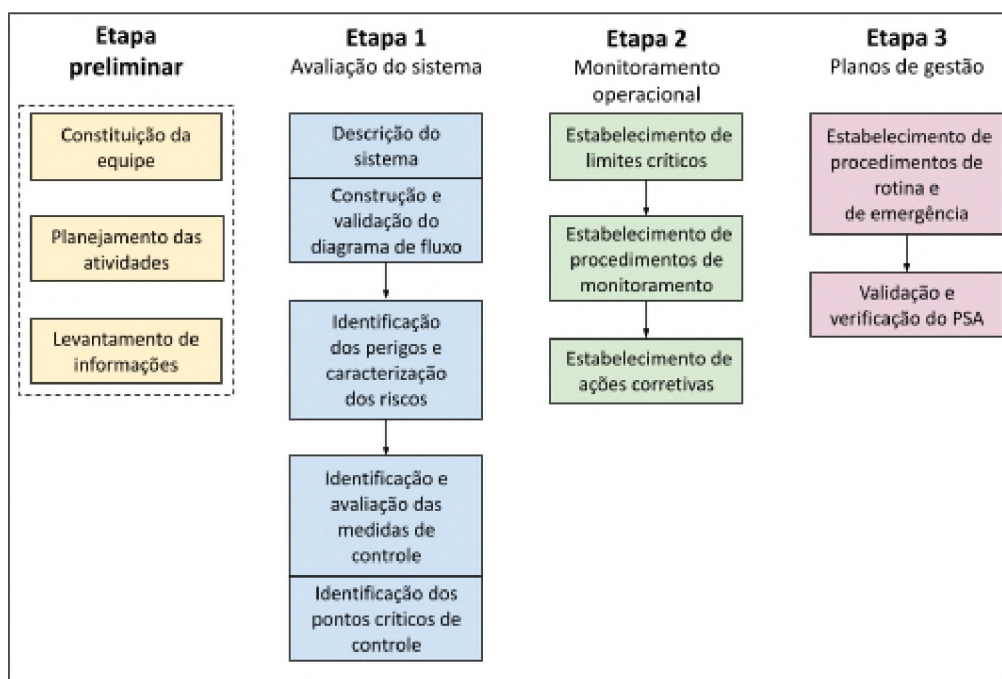
7.8 Fomentar a implementação de **Planos de Segurança da Água** em sistemas e **soluções alternativas coletivas** e individuais de abastecimento de água. (BRASIL, 2019, p. 141, grifo nosso).

As diretrizes gerais brasileiras de elaboração do PSA foram estruturadas com base na quarta edição das GDWQ da OMS, de 2011; nas publicações de Vieira e Morais, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Portugal; e no roteiro de elaboração produzido por Bastos *et al.* junto à UFV em 2010 (BRASIL, 2013). O documento publicado pelo Ministério da Saúde retoma o contexto da vigilância da água no país e do papel do setor de saúde no abastecimento de água e propõe uma estrutura de desenvolvimento dos planos adaptável às diversas configurações de gestão e infraestrutura existentes.

O Ministério da Saúde divide a elaboração de um PSA em quatro etapas (uma preliminar e três principais), conforme sistematizado em diagrama na figura 7:

- *Etapa preliminar*: constituição de equipe técnica multidisciplinar, levantamento de informações sobre o sistema e a região e planejamento das atividades.
- *Etapa 1: Avaliação do sistema*: descrição do sistema e análise do abastecimento realizada com uma abordagem pautada na gestão de riscos, abrangendo desde o manancial até a torneira do consumidor.
- *Etapa 2: Monitoramento operacional*: verificação da necessidade e estabelecimento de procedimentos de avaliação do sistema e da eficácia das medidas de controle a partir das informações obtidas na análise de riscos realizada.
- *Etapa 3: Planos de gestão*: definição dos protocolos de operação de rotina e em situações de incidentes (planos de emergência), além da organização da documentação produzida nas etapas anteriores. Esta etapa também inclui o planejamento da revisão periódica do PSA e das revisões pós-incidentes.

Figura 7 – Fluxograma do desenvolvimento de um PSA segundo as diretrizes gerais brasileiras.



Fonte: adaptado de BRASIL (2013).

Etapa preliminar

Inicialmente procura-se nomear uma equipe multidisciplinar de membros experientes a ser responsável pelo desenvolvimento do PSA e sua implantação, tendo em vista que os integrantes devem possuir a autoridade coletiva necessária para a implantação da estratégia de gestão e devem contemplar todas as competências relevantes para o seu andamento e verificação (WHO, 2017b). A OMS recomenda que a equipe seja capaz de identificar os perigos e assimilar a magnitude dos riscos presentes no sistema, além de compreender as metas estabelecidas e ser qualificada para avaliar se elas estão sendo atingidas.

De acordo com as diretrizes, a equipe deve ser composta por técnicos com competências nas etapas que compõem o sistema de abastecimento, gestores com autoridade para implementar as alterações estipuladas pelo plano e técnicos envolvidos nas ações do controle da qualidade da água (BRASIL, 2013). No caso de áreas rurais com estruturas de abastecimento pequenas, a OMS recomenda ainda

que sejam incluídas pessoas com conhecimento da região de captação e do histórico do abastecimento de água na comunidade, como proprietários de terras e anciãos, respectivamente, e as pessoas com maior interesse na segurança da água, que são frequentemente mulheres residentes nos assentamentos (WHO, 2012).

Ainda como parte do trabalho preliminar, a equipe passa a ser responsável pelo planejamento das atividades relativas ao projeto e pelo levantamento de informações a serem utilizadas na etapa referente à descrição e avaliação do sistema, a partir de bancos de dados oficiais, assim como conhecimento local da população engajada. Compõem essa etapa as tarefas de definição das instituições locais envolvidas, das metas e estratégias; de alocação dos recursos humanos, financeiros e materiais; e de organização de todos os dados e informações relacionados à bacia de captação, à estação de tratamento, ao sistema de distribuição e aos dados epidemiológicos da população (BASTOS *et al.*, 2010).

Avaliação do sistema

A primeira etapa de elaboração do plano tem como objetivo produzir um diagnóstico do sistema de abastecimento que verifique sua capacidade de fornecer água dentro dos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação, por meio de uma avaliação do risco de que ocorra algum tipo de contaminação. A avaliação do sistema pode ser dividida em três fases principais:

- A. Descrição do sistema, construção e validação de um diagrama de fluxo da água;
- B. Identificação e análise dos perigos potenciais e eventos perigosos e caracterização dos riscos associados a eles;
- C. Identificação e avaliação das medidas de controle existentes ou propostas e identificação dos pontos críticos de controle no sistema.

Como parte da fase A, devem ser produzidas uma descrição e uma análise simples da bacia hidrográfica da qual faz parte o manancial de captação, das etapas de tratamento da água existentes e do sistema de reservação e distribuição. Sugestões de aspectos descritivos a serem contemplados são listadas em diretrizes

estrangeiras, sujeitas à adaptação ao contexto específico de cada sistema (VIEIRA; MORAIS, 2005; GODFREY; HOWARD, 2005; HOKSTAD, 2008; WHO, 2017b).

Ainda na fase descritiva, é determinada a elaboração de um diagrama de fluxo da água que permita a visualização das etapas dos processos de captação, tratamento e distribuição, a partir do qual serão identificados os perigos e pontos de atenção e controle analisados na etapa subsequente. Em busca de precisão nos fluxogramas, deve ser realizada uma etapa de validação da representação por equipe técnica em visita de campo (WHO, 2017b).

Na fase B são realizadas a identificação dos perigos potenciais à qualidade da água e eventos perigosos que possam suscitar-los e a caracterização dos riscos relacionados a cada perigo. Para tanto, é recomendado pelas diretrizes que sejam abordados perigos de todas as naturezas (biológicos, químicos, físicos e radiológicos), identificados de acordo com o fluxograma do sistema, e que seja em seguida utilizada a técnica de Matriz de Priorização de Risco, adaptada em formato qualitativo ou semiquantitativo, com o intuito de categorizar os perigos identificados no sistema quanto à probabilidade de sua ocorrência e à severidade de suas consequências (BASTOS *et al.*, 2010).

Por definição da OMS, os perigos relacionados às características biológicas da água estão associados à presença de algas tóxicas e/ou micro-organismos patogênicos, como bactérias, vírus e protozoários (WHO, 2017b) e podem ser de origem natural dos ecossistemas ou antropogênica, geralmente por contato de águas residuais com o sistema de abastecimento em alguma de suas etapas. Em muitos casos o manancial de captação pode ser origem de contaminação biológica, mas outras condições perigosas podem ser levantadas nessa fase, como criação de animais domésticos, pássaros, vermes no interior e à volta de reservatórios (VIEIRA; MORAIS, 2005).

A presença de substâncias químicas nocivas em concentrações tóxicas configura perigo químico à qualidade da água. Os compostos podem ser originados por processos naturais, podem resultar de contaminação com águas residuárias ou ainda serem formados durante os processos de tratamento e distribuição da água. Os perigos considerados físicos estão relacionados às características estéticas da

água e costumam configurar indicativos de outras inconformidades no abastecimento. Na prática, identificam-se como variações de cor, turvação, cheiro e sabor e indicam presença de sedimentos, de materiais utilizados nas tubulações e de biofilmes. Por fim, a contaminação por fontes de radiação resulta em perigos radiológicos, sejam eles igualmente de origem natural ou antropogênica. Deve-se ater à possibilidade de contaminação por efluentes industriais, de mineração, atividades médicas ou disposição irregular de resíduos sólidos (VIEIRA; MORAIS, 2005).

Vieira e Morais (2005) incluem a identificação e avaliação das medidas de controle na Etapa 1 devido à continuidade da descrição, sendo que o nível de controle aplicado deve ser congruente com os resultados obtidos na identificação dos Pontos Críticos de Controle. São tarefas dessa atividade a identificação das medidas de controle existentes no sistema, a avaliação da sua eficácia quando consideradas em conjunto e segundo o princípio das múltiplas barreiras e a avaliação de medidas de controle alternativas e adicionais a serem aplicadas.

Os conjuntos de medidas de controle podem ser divididos em procedimentos identificados na fonte (bacia hidrográfica e captação), no tratamento e na distribuição, cada componente possuindo uma série de medidas possíveis de serem adaptadas de acordo com o contexto. A avaliação dessas medidas deve levar em consideração as classificações dos riscos determinadas anteriormente de maneira que ações de controle sejam atribuídas aos perigos caracterizados por riscos médio, alto e muito alto ou PCCs (VIEIRA; MORAIS, 2005).

Monitoramento operacional

Partindo da descrição do sistema e dos riscos priorizados na etapa anterior, deve ser estudada a implementação do monitoramento operacional dos processos, que inclui a definição e validação do monitoramento de medidas de controle e o estabelecimento de procedimentos que demonstrem que as medidas mantêm sua eficiência (BARTRAM *et al.*, 2009). Nessa etapa, o Ministério de Saúde destaca as atividades de seleção dos parâmetros de monitoramento, determinação de limites

críticos e estabelecimento de ações corretivas caso esses sejam excedidos (BRASIL, 2013).

A partir do momento em que todos os perigos considerados relevantes implicam em medidas de controle que eliminem seus riscos ou os reduzam a níveis aceitáveis, são estudados os procedimentos de monitoramento do sistema que permitam observar sua eficiência na garantia da qualidade da água. Para tanto, são selecionados parâmetros de monitoramento que sejam viáveis para o sistema em questão e estabelecidos seus limites críticos que levam a ações corretivas da operação do sistema. Em alguns casos, os limites críticos podem ser baseados nos padrões de qualidade estabelecidos na portaria de regulamentação de potabilidade da água vigente (BRASIL, 2013).

Dentre os diversos parâmetros passíveis de avaliação, são de uso comum o monitoramento da adequada concentração residual de cloro após desinfecção e na rede de distribuição, além da avaliação da pressão positiva (superior à atmosférica) e do parâmetro turbidez (BRASIL, 2013). De acordo com o Ministério da Saúde, indicadores microbiológicos como coliformes totais e presença de *E. coli* são pouco utilizados para esse fim por efeito do alto custo de análise e baixa representatividade temporal, que impede a determinação de ações corretivas no sistema antes do fornecimento.

Segundo Vieira e Moraes (2005), além dos parâmetros de monitoramento, devem ser determinados nessa etapa: os locais e frequência da amostragem; os métodos de amostragem e equipamento utilizado; os procedimentos para o controle de qualidade dos métodos analíticos; os requisitos para verificação e interpretação de resultados; os requisitos para documentação e gestão de registros; e os requisitos para relatórios e comunicação de resultado. O objetivo do monitoramento operacional realizado pelo responsável pelo abastecimento deve ser o de planejar ações que levem ao gerenciamento eficaz do sistema e, desse modo, assegurar que as metas de saúde sejam alcançadas (WHO, 2017b).

Planos de gestão

A elaboração de procedimentos de gestão, o desenvolvimento de programas de suporte, o planejamento da revisão periódica do PSA e das revisões pós-incidente são descritos como parte da etapa de produção dos planos de gestão pelo Ministério da Saúde. São incluídos nos planos de gestão os materiais produzidos nas etapas anteriores, como a documentação de avaliação do sistema e as ações de monitoramento operacional, além de outras atividades em situação de rotina. Os procedimentos executados em situações emergenciais são parte do Plano de Contingência do sistema e apresentam ações a serem tomadas para manter a operação em condições normais (BRASIL, 2013).

Os planos de gestão devem especificar os programas de suporte a serem implementados como medidas de controle e os protocolos de comunicação que serão adotadas pelo responsável pelo sistema. Conforme descreve o Ministério de Saúde, as estratégias de comunicação estão relacionadas tanto ao funcionamento normal do sistema e produção de relatórios periódicos quanto a casos de incidentes e ao risco de contaminação. Paralelamente, os planos de contingência são desenvolvidos em três etapas: a descrição de aspectos gerais do sistema e setores envolvidos, culminando em uma avaliação da vulnerabilidade a que estão sujeitos; o estabelecimento de planos de ação; e a descrição dos procedimentos relacionados ao fluxo das informações para execução, acompanhamento e avaliação do plano de ação.

Finalmente, devem ser previstas revisões do PSA que incluam a verificação dos dados coletados para sua elaboração, levando em conta possíveis alterações nos mananciais e na infraestrutura do sistema, implantação de programas de melhorias no período e perigos emergentes (BRASIL, 2013). A revisão do plano deve ser realizada igualmente em casos de incidentes, emergências ou desastres procurando reduzir seus impactos caso haja recorrência (WHO, 2017b).

3.3.2 PSAs no abastecimento de água de pequena escala

Inicialmente, o foco de aplicação dos PSAs foi nos países do Norte global: os primeiros países a adotarem a metodologia foram a Islândia, em 1997, e a Austrália, em 1999, sendo também observada a implantação de gestão de riscos a partir de APPCC no mesmo período em países como Suíça, Nova Zelândia, Bélgica, Finlândia, Alemanha, África do Sul, Suécia e Inglaterra (TSITSIFLI; TSOUKALAS, 2019). Segundo o relatório de progresso da implementação de PSAs publicado pela OMS, até 2013 a abordagem estava presente em 93 países, com diferentes níveis de efetivação e de desenvolvimento de legislação apropriada. Considerando a execução de dez ou mais planos em zona rural ou urbana como etapa de *scale-up*, o levantamento indicou que 45% dos países que adotaram a abordagem se encontravam nesse nível, enquanto 30% estavam nas etapas-piloto. Ainda segundo a OMS, 55 países informaram que os PSAs estavam sendo implementados inclusive (62%) ou somente (10%) nas áreas rurais, o que pode ser um indicativo da adaptabilidade da metodologia (WHO, 2017a).

Experiências iniciais de adaptação da metodologia na América Latina e no Caribe verificaram obstáculos à implantação do PSA em âmbito nacional tais como a baixa confiabilidade nos indicadores de performance da gestão e a falta de ferramentas e orientações práticas como parte da abordagem das GDWQ (RINEHOLD *et al.*, 2011; HUBBARD *et al.*, 2013). Nesse contexto, a partir da constatação de que a linguagem então proposta pela OMS encontrava aplicação apenas em sistemas municipais de larga escala, países como Honduras e Nova Zelândia publicaram manuais de gestão de risco para abastecimento em áreas rurais onde membros da comunidade são os responsáveis, adaptando a abordagem de APPCC em etapas simplificadas (HUBBARD, 2013; RASHON, 2009; NEW ZEALAND, 2014).

O abastecimento de água comunitário (*small community water supplies*) refere-se aos sistemas utilizados por uma comunidade para coletar, tratar, armazenar e distribuir água para consumo humano, admitindo que a definição do termo pode variar entre regiões. Segundo a OMS, as soluções de abastecimento

para pequenas comunidades estão mais vulneráveis aos riscos de falhas e à contaminação, podendo provocar epidemias de veiculação hídrica e decréscimo na qualidade das operações e serviços. A implementação de um PSA nesses contextos pode enfrentar obstáculos como a ausência de conhecimento sobre o sistema e como operá-lo, falhas operacionais resultantes de desligamento ou interrupção no fornecimento de energia e ainda fragilidades relacionadas à infraestrutura defeituosa; o documento resultante deve explicitar as demandas da comunidade e fundamentar as solicitações de recursos para implementar melhorias (WHO, 2012).

Com foco nas áreas urbanas de países periféricos, Howard e Godfrey (2005) descrevem a exitosa implementação de um PSA em Kampala, Uganda. Valendo-se de diretrizes publicadas pelos pesquisadores (GODFREY; HOWARD, 2005a; 2005b), o estudo demonstrou que a abordagem seria viável neste contexto, evidenciando vantagens econômicas no controle da qualidade da água. A metodologia de avaliação de riscos se mostrou eficaz quando adaptada à realidade brasileira como parte do estudo de caso do SAA do município de Itatinga (SP), anterior à obrigatoriedade da abordagem de PSA (MORENO, 2009).

Alguns estudos descrevem adaptações da abordagem do PSA para pequenos sistemas de abastecimento realizadas com algum sucesso, a partir de modelos de PSA de complexidade condizente com o contexto das comunidades atendidas. Em Bangladesh, inspeções sanitárias das estruturas e levantamentos de conhecimentos, atitudes e práticas da população permitiram a avaliação dos sistemas em termos de risco sanitário, sendo identificadas melhorias nos hábitos de higiene e na qualidade da água de abastecimento para consumo humano na maioria dos casos (MAHMUD *et al.*, 2007). Similarmente, *toolkits* comunitários de inspeção sanitária foram desenvolvidos na República das Ilhas Marshall, levando em consideração as particularidades das regiões dispersas das ilhas do Pacífico (HASAN; HICKING; DAVID, 2011). Os processos de implementação de PSAs em comunidades rurais do Nepal demonstraram a relevância da educação da população quanto aos hábitos de higiene e à mudança de comportamentos (BARRINGTON; FULLER; MCMILLAN, 2013). Os estudos citados foram desenvolvidos em sistemas

de abastecimento sem estrutura prévia de gestão de qualidade da água e sem disponibilidade de fiscalização externa consistente; na maioria dos casos os sistemas não contam com infraestrutura de distribuição da água e as medidas de controle propostas priorizam hábitos individuais de precaução, o que não seria suficiente na elaboração de PSAs para SACs com alguma organização.

Como parte do projeto Techneau, foram desenvolvidos estudos de implementação de PSAs em pequenos sistemas de abastecimento, empregando métodos qualitativos. A abordagem do tipo CRA foi adaptada com êxito, conforme descrevem Törnqvist, Öfverström e Swartz (2009), ao contexto da comunidade rural de Upper Mnyameni, na África do Sul, onde o sistema de abastecimento conta com captação superficial e uma ETA; foram aplicadas metodologias de *brainstorming* a partir da THBD e uma adaptação das matrizes de priorização de risco diferenciando os potenciais danos à saúde e o número de pessoas afetadas na construção da escala de severidade das consequências. Similarmente, Kožíšek *et al.* (2008) descrevem a avaliação da estrutura de abastecimento utilizando manancial subterrâneo de Březnice, na República Tcheca, por meio de uma combinação de CRA e metodologias quantitativas como a FMEA em partes específicas do sistema.

Os autores dos dois estudos concluem que a ferramenta simplificada seria adequada para identificação e estimativa de riscos em sistemas de pequeno porte enquanto admitem que a falta de informações disponíveis sobre o sistema e, no caso de Březnice, a impossibilidade de estender a avaliação até as residências dos consumidores seriam limitações da metodologia (TÖRNQVIST; ÖFVERSTRÖM; SWARTZ, 2009; KOŽÍŠEK *et al.*, 2008).

No Brasil, Corrêa e Ventura (2020) descreveram a validação de um *software* de análise de riscos adaptada ao abastecimento de comunidades rurais desenvolvido pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), aplicado em um acampamento de agricultores em situação precária de saneamento. A ferramenta foi desenvolvida no âmbito de um projeto de mestrado e tem potencial para facilitar o desenvolvimento de PSAs em sistemas de abastecimento de pequeno porte como as SACs rurais, contemplando cenários diversos de contaminação nesse contexto

após validação por especialistas e calibração do *software* em áreas de estudo dentro do estado de São Paulo (CORRÊA, 2020).

A abordagem proposta pela OMS (WHO, 2012) para a segurança da água em soluções de abastecimento comunitárias inclui a utilização de metodologias de inspeção sanitária como suporte à identificação de perigos e medidas de controle no sistema. Além disso, incentiva-se que o trabalho de elaboração do PSA seja realizado por equipes conduzidas em nível comunitário seguindo uma abordagem em forma de perguntas de estrutura similar à original (quadro 4).

Quadro 4 – Relação de tarefas proposta para a elaboração de PSAs para o abastecimento de pequenas comunidades.

| Tarefa | Descrição | Pergunta-chave |
|---------------|--|--|
| 1 | Envolver a comunidade e reunir uma equipe. | Quem precisa estar, deve estar e quer estar envolvido? |
| 2 | Descrever o abastecimento de água da comunidade. | Capturamos com precisão os detalhes do nosso sistema de abastecimento de água? |
| 3 | Identificar e avaliar perigos, eventos perigosos, riscos e medidas de controle existentes. | Qual a gravidade do risco de um perigo causar danos? |
| 4 | Desenvolver e implementar um plano de melhorias graduais. | Como chegamos aonde queremos estar? |
| 5 | Monitorar medidas de controle e verificar a efetividade do PSA. | As medidas de controle e o plano estão funcionando? |
| 6 | Documentar, revisar e melhorar todos os aspectos da implementação do PSA. | O que precisamos fazer para garantir que nosso PSA funcione bem e para melhorá-lo continuamente? |

Fonte: adaptado de WHO (2012).

4 METODOLOGIA

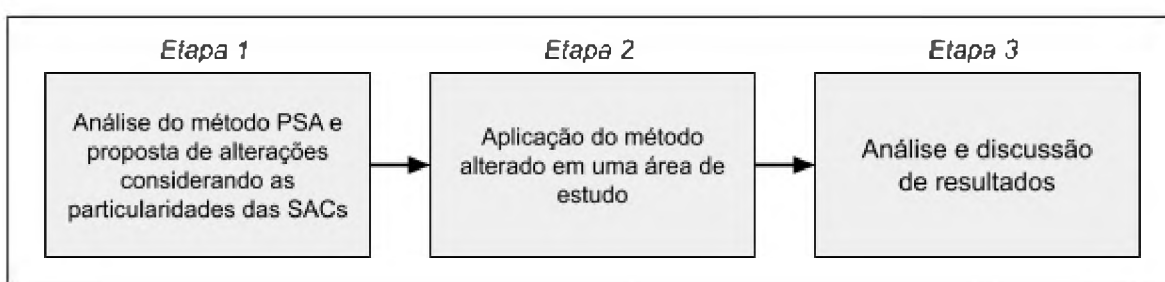
Foi realizada no âmbito deste trabalho uma pesquisa aplicada e exploratória, cuja finalidade, segundo Gil (2002), é de proporcionar entendimento de um problema específico da sociedade ao torná-lo explícito ou construir hipóteses em torno dele; é intrínseco a esta categoria de pesquisa o objetivo de aprimorar ideias ou descobrir intuições. Para tanto, foi executado um estudo de caso, empregando levantamento bibliográfico e entrevistas com pessoas diretamente relacionadas ao problema de pesquisa. A análise dos dados foi de caráter qualitativo, processo cuja definição se baseia em uma sequência de atividades envolvendo a redução dos dados, sua categorização, sua interpretação e a redação de relatório (GIL, 2002).

A área alvo do estudo foi o sistema de abastecimento rural da Associação Três Saltos e São João, no município de Travesseiro (RS). A metodologia de PSA aplicada foi baseada nas diretrizes gerais publicadas pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2013), sendo que a identificação dos perigos potenciais foi realizada a partir de uma adaptação do método de *checklist* de identificação de perigos de autoria de Beuken *et al.* (2008). Sempre que necessário se recorreu ao *Water Safety Planning for Small Community Water Supplies* (WHO, 2012) para adaptação dos termos ao contexto da pesquisa. A partir desta análise, foram propostas adaptações nas diretrizes gerais para elaboração de PSA. As etapas de trabalho que nortearam a metodologia, conforme ilustradas na figura 8, foram:

1. Análise do método PSA diante das particularidades das SACs e identificação de alterações pertinentes ao método:
 - 1.1. Seleção das metodologias a serem empregadas com base nas diretrizes gerais brasileiras de elaboração de PSAs;
 - 1.2. Alteração da metodologia de acordo com o contexto de estudo fundamentada nas descrições de estudos de caracterização.
2. Aplicação do método alterado em uma área de estudo:
 - 2.1. Definição de uma área de estudo que englobe as peculiaridades das SACs descritas na etapa anterior;

- 2.2. Aplicação da metodologia alterada de identificação de perigos potenciais: planejamento, trabalho de campo e tratamento dos dados obtidos, conforme as metodologias alteradas.
3. Análise e discussão de resultados: análise do processo de aplicação das metodologias alteradas e discussão dos benefícios e das limitações da abordagem empregada.

Figura 8 – Fluxograma das etapas principais da proposta metodológica.



Fonte: Autora

4.1 ANÁLISE DO MÉTODO PSA DIANTE DAS PARTICULARIDADES DAS SACS E IDENTIFICAÇÃO DE ALTERAÇÕES PERTINENTES

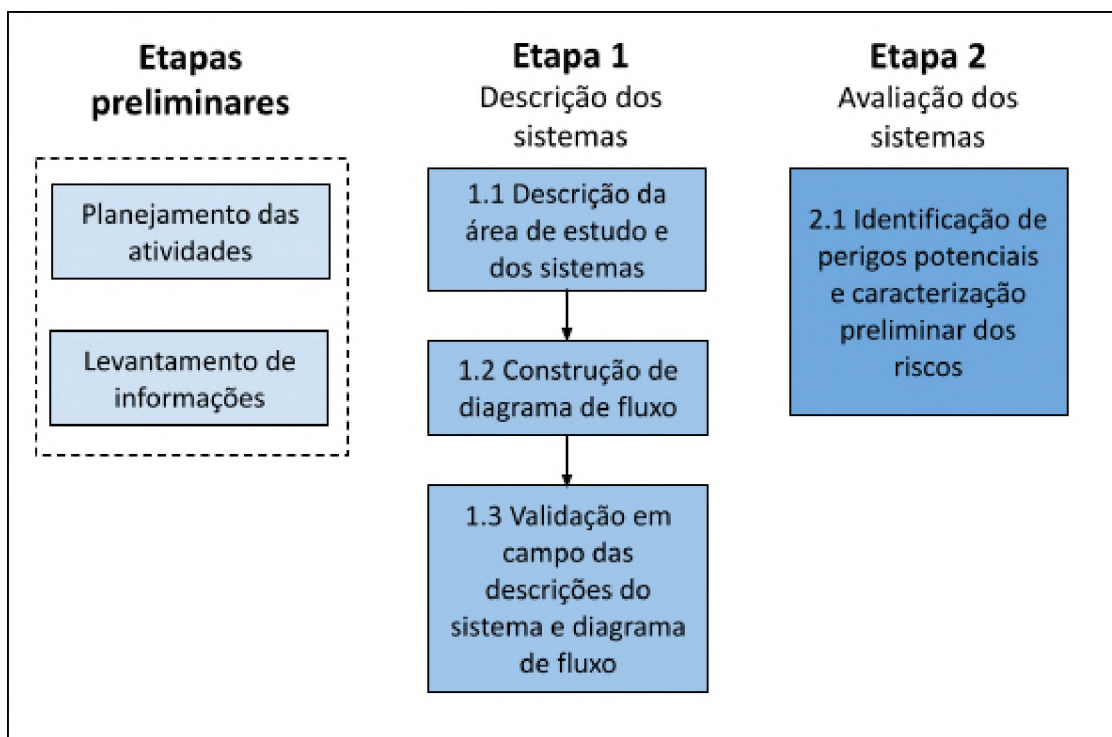
As diretrizes gerais brasileiras sobre PSAs foram elaboradas com base em trabalhos focados principalmente em sistemas de abastecimento urbanos, como é o caso do projeto-piloto do país, desenvolvido em um município atendido por um SAA. Ventura, Vaz Filho e Nascimento (2019) já constataram a escassez de estudos metodológicos deste gênero aplicados a realidades rurais, que apresentam dificuldades próprias no que tange a garantia da qualidade da água. No Rio Grande do Sul, a maioria dos pequenos sistemas de abastecimento podem ser considerados vulneráveis (60,4%), expondo assim mais da metade da população (59,7%) (DEBIASI, 2016).

Fragilidades da abordagem tradicional de monitoramento explicitadas por Vieira (2011), como a baixa frequência de amostragens devido a restrições de mão de obra, se tornam desafios para a adaptação da metodologia PSA ante as particularidades dos sistemas de pequeno porte. Com isso em mente e dado que o

procedimento de APPCC descrito pelo Ministério da Saúde se baseia principalmente nas publicações técnicas de Vieira e Morais (2005), Bartram *et al.* (2009), Bastos *et al.* (2010), estas metodologias serão adaptadas ao contexto de estudo e combinadas à identificação de perigos em potencial por *checklist* descrita por Beuken *et al.* (2008).

O fluxograma de desenvolvimento de um PSA sugerido pelo Ministério da Saúde foi adaptado para a execução deste trabalho, de modo que a etapa de avaliação do sistema proposta se divide em uma etapa preliminar, duas etapas principais e quatro subetapas (figura 9).

Figura 9 – Fluxograma de trabalho proposto para o projeto.



Fonte: Autora.

As etapas e subetapas se configuraram em:

0. Planejamento das atividades e levantamento de informações: revisão das diretrizes publicadas pelo Ministério da Saúde e pela OMS e das publicações científicas relevantes ao desenvolvimento do trabalho e levantamento dos dados referentes ao estudo de caso a partir da revisão do PMSB do

município, Plano de Bacia Hidrográfica e acesso aos bancos de dados nacionais pertinentes.

1. Descrição do sistema:
 - 1.1. Descrição da área de estudo e do sistema: descrição da bacia hidrográfica e do manancial de captação, do tratamento aplicado e das estruturas de distribuição;
 - 1.2. Construção de diagrama de fluxo: representação do trajeto percorrido pela água no sistema de abastecimento em forma de diagrama de fluxo;
 - 1.3. Validação em campo das descrições do sistema e do diagrama de fluxo: confirmação da sua validade por observação das instalações no próprio local.
2. Avaliação do sistema:
 - 2.1. Identificação dos perigos potenciais e caracterização preliminar dos riscos: identificação de perigos e eventos perigosos em cada etapa do diagrama de fluxo, a partir de conferência em *checklist* levando em conta inspeção visual, experiência da população local, dados históricos e informações de previsão.

4.1.1 Etapa 1 – Descrição do sistema e construção do diagrama de fluxo

A partir dos conjuntos de dados levantados inicialmente, a descrição do sistema foi dividida em três conjuntos de informações: A, B e C. A descrição do sistema busca contemplar os itens listados por Vieira e Moraes (2005) adaptados para o contexto das SACs, conforme relacionados no quadro 5.

Quadro 5 – Relação de informações a serem consideradas na descrição de acordo com o componente do sistema.

| Componente do sistema | Informações a considerar | Fontes prováveis de informação |
|--|--|---|
| A. Bacia hidrográfica e aquífero | <p>Meteorologia e condições do tempo</p> <p>Vida selvagem</p> <p>Usos da água</p> <p>Usos do solo</p> <p>Outras atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica com potencial de contaminação da fonte de água</p> <p>Atividades futuras programadas</p> <p>Aquífero confinado ou não confinado</p> <p>Hidrogeologia do aquífero</p> <p>Vazão e direção de escoamento</p> <p>Características de diluição</p> <p>Área de recarga</p> | <p>Plano Estadual de Saneamento Básico</p> <p>Plano Municipal de Saneamento Básico</p> <p>Plano de Bacia Hidrográfica</p> |
| B. Sistemas de captação e tratamento | <p>Proteção do poço</p> <p>Profundidade do poço</p> <p>Transporte de água</p> <p>Processos de tratamento</p> <p>Características de projeto do equipamento</p> <p>Automação e equipamento de monitoramento</p> <p>Produtos químicos utilizados</p> <p>Eficiência do tratamento</p> <p>Taxa de remoção de patógenos por meio da desinfecção</p> <p>Residual de desinfetante vs tempo de contato</p> | <p>Plano Estadual de Saneamento Básico</p> <p>Plano Municipal de Saneamento Básico</p> <p>Manuais de saneamento</p> <p>Banco de dados Sisagua</p> |
| C. Sistemas de reservação e distribuição | <p>Características de projeto dos reservatórios</p> <p>Tempos de retenção</p> <p>Variações sazonais</p> <p>Proteções</p> <p>Características de projeto do sistema de distribuição</p> <p>Parâmetros de funcionamento hidráulico</p> <p>Proteção contra retorno de água domiciliar</p> <p>Residual de desinfetante</p> <p>Subprodutos da desinfecção</p> | <p>Plano Estadual de Saneamento Básico</p> <p>Plano Municipal de Saneamento Básico</p> <p>Manuais de saneamento</p> <p>Banco de dados Sisagua</p> |

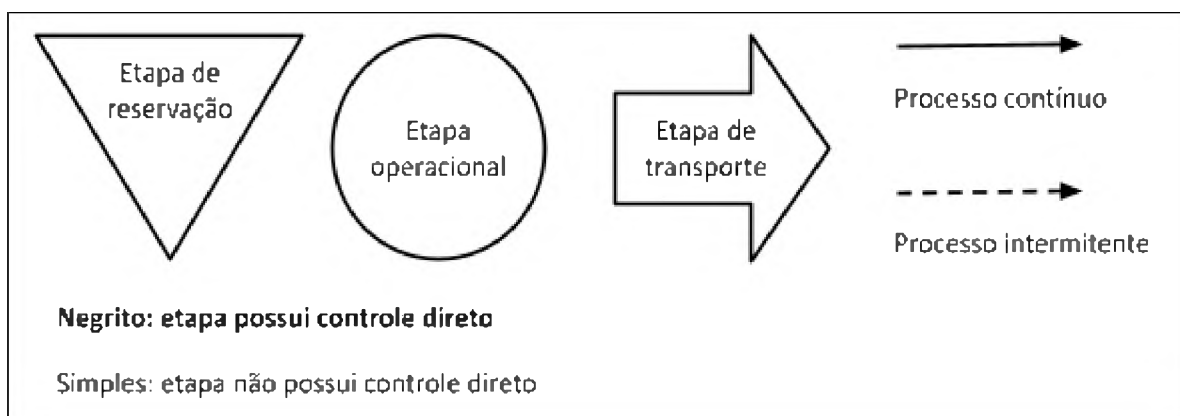
Fonte: VIEIRA e MORAIS (2005).

A partir das descrições da SAC, foi construído um diagrama de fluxo ilustrando as etapas do sistema estudado utilizando o seguinte modelo, baseado em Bartram *et al.* (2009):

- Linhas cheias em caso de processo contínuo;
- Linhas tracejadas em caso de processo intermitente;
- Figura de triângulo em etapas de reservação;
- Figura de círculo em etapas operacionais;
- Figura de seta em etapas de transporte;
- Fonte em negrito em etapas que possuem controle direto;
- Fonte simples em etapas que não possuem controle direto.

Os símbolos utilizados encontram-se esquematizados na figura 10. Os fluxogramas construídos foram validados por inspeção visual em visita em campo e confirmados junto aos responsáveis pelo sistema.

Figura 10 – Legenda de símbolos utilizados na construção de um diagrama de fluxo do sistema de abastecimento.



Fonte: adaptado de BARTRAM *et al.* (2009).

4.1.2 Etapa 2 – Avaliação do sistema e identificação de perigos potenciais

Devido à ausência de modelos consolidados na literatura e de diretrizes específicas a esta etapa, a identificação de perigos e eventos perigosos foi realizada empregando a metodologia de Beuken *et al.* (2008), utilizando a base de dados de perigos da Techneau (THDB), cujos itens contemplam os subsistemas do manancial

à torneira do consumidor, a organização do sistema como um todo e a previsão de problemas futuros. A metodologia foi alterada levando em consideração o contexto de estudo e as recomendações da OMS para o desenvolvimento de PSAs em pequenas comunidades, resultando na supressão das etapas *bottom-up* de produção de uma lista de perigos inicial a partir das opiniões de especialistas no sistema.

Após a seleção das seções do THDB a serem aplicadas na sessão de identificação, os itens foram categorizados conforme os conjuntos de informações propostos por Vieira e Moraes (2005) e empregados na etapa de descrição do sistema.

Beuken *et al.* (2008) sugerem que sejam utilizadas diferentes marcações na identificação dos perigos, tais como: (X) – perigo não relevante ou não reconhecido como um problema; (0) – perigo reconhecido e já existem medidas de controle aplicadas; (1) – perigo de provável baixo risco que requer atenção; (2) – perigo de provável alto risco. Foram selecionadas marcações coerentes com as diretrizes brasileiras de elaboração de PSAs que permitam uma priorização de riscos qualitativa preliminar (BRASIL, 2013).

4.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO ALTERADO EM UMA ÁREA DE ESTUDO

O objeto de estudo do trabalho são as SACs estabelecidas nas áreas rurais do município de Travesseiro, situado na região central do estado do Rio Grande do Sul. A cidade possui coordenadas geográficas de 29°17' sul e 52°03' oeste e 80,7 km² de área, distando 141 km da capital Porto Alegre (figura 11). Localizado na região do Vale do Taquari, possui como municípios limítrofes Marques de Souza, Capitão, Nova Bréscia, Coqueiro Baixo, Pouso Novo e Arroio do Meio, conforme ilustrado pelo mapa da figura 12. Travesseiro conta com dois estabelecimentos de saúde do SUS, que atendem uma população atual estimada de 2.334 habitantes, dos quais 61,7% residem em área rural (IBGE, 2020).

Figura 11 – Localização do município de Travesseiro no mapa do estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: ABREU (2006).

Figura 12 – Mapa da região em torno do município de Travesseiro.



Fonte: adaptado de CIC VALE DO TAQUARI (2021).

Toda a extensão do município se localiza na microbacia hidrográfica do Arroio Forqueta, sendo, portanto, contemplada pelo Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas. A população é inteiramente abastecida por estruturas de SACs administradas por associações comunitárias, das quais duas se encontram em área urbana e seis em área rural (BRASIL, 2020c; TRAVESSEIRO, 2019). As

associações são responsáveis por oito poços em área rural; destes, cinco não possuem outorga e um não conta com tratamento de desinfecção da água antes da distribuição, segundo cadastro atualizado no Sisagua (BRASIL, 2020d; 2020e). A elaboração de PSAs no âmbito municipal não é prevista no PMSB vigente, apesar das recomendações publicadas pela Funasa (TRAVESSEIRO, 2019; BRASIL, 2018; 2019b).

Este sistema foi escolhido como área alvo do estudo por ação do interesse manifestado pela equipe de vigilância da saúde da 16ª Coordenadoria Regional de Saúde (CRS) no desenvolvimento de um projeto que atendesse às demandas de elaboração de PSAs de pequenos municípios. A seleção da área de estudo se deu a partir da compilação de dados levantados pelo Censo de 2010 (IBGE, 2012) e de dados inseridos no Sisagua pelos municípios, acessados por meio do Portal Brasileiro de Dados Abertos sob a etiqueta "SISAGUA" (BRASIL, 2020c; 2020d; 2020e; 2020f). Os dados foram reunidos e processados em uma planilha no *software* Google Sheets e foram selecionados municípios que cumprissem no mínimo dois critérios:

- Alta proporção da população residente em área rural (mais de 50%);
- Uma ou mais SACs com manancial subterrâneo que não efetuam tratamento;
- Amostras irregulares segundo os padrões da legislação vigente analisadas em 2020.

Dentre os municípios contatados, Travesseiro manifestou interesse e disponibilidade para o desenvolvimento do estudo.

Segundo os dados do Sisagua, em 2020 foram identificadas pela vigilância municipal 8 amostras apresentando coliformes fecais, uma delas também com *E. coli*, 16 amostras com nível de cloro residual mais baixo que o padrão estabelecido por legislação (maior que 0,2 mg/L) e 6 amostras com o nível de turbidez mais alto que o da legislação (menor que 1 uT). Em apenas dois casos as alterações foram identificadas na mesma amostra (presença de coliformes totais combinado ao nível de cloro abaixo do padrão ou de turbidez acima do padrão), nenhum dos quais ocorreu em amostras coletadas na SAC que não realiza desinfecção da água; sendo assim, o tratamento aplicado atualmente não tem garantido a qualidade final da

água por si só. Desta forma, concluiu-se que a área é representativa quanto aos desafios enfrentados pelas SACs de abastecimento rural no estado, considerando as caracterizações realizadas por Häggqvist e Larsson (2020) e por Debiasi (2016), e existem benefícios a serem obtidos na implementação de uma gestão de riscos no abastecimento.

Levando em consideração o tempo de desenvolvimento do projeto e as limitações impostas pela pandemia de Covid-19, optou-se, a princípio, por restringir a área de estudo a uma única SAC rural que apresentasse irregularidades nos resultados de análise da vigilância. Sendo assim, foi selecionado o sistema administrado pela Associação Três Saltos e São João, que atende aos critérios estabelecidos e expressou disponibilidade para a realização do estudo. O sistema atual, abastecido pelo poço São João localizado a 17,4 km da prefeitura de Travesseiro, foi inaugurado em 2019, após a interdição por altos níveis de flúor do poço Três Saltos Baixo, que operava a captação até então; a unidade antiga será reativada com a instalação de um filtro de carvão ativado em função de insatisfação dos consumidores com a cobertura atual (SANTOS, 2022).

Em razão da sua instalação recente, as unidades de captação, tratamento e reservação em operação atualmente não foram descritas quando da elaboração do PMSB vigente; o cadastro do poço São João está igualmente ausente no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (Siagas). A estrutura está cadastrada no Sisagua e no Sistema de Outorgas do Rio Grande do Sul (Siout-RS), no qual se encontram as autorizações prévias de perfuração emitidas pelo Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (DRHS/Sema) e o cadastro do poço, porém ainda não foi emitida a outorga de água. As localizações dos pontos podem ser observadas na figura 13, produzida utilizando o Google Earth, incluindo as coordenadas do poço São João obtidas no Siout-RS (29.2539° S, 52.1494° O) (RIO GRANDE DO SUL, 2021) e as coordenadas do poço Três Saltos Baixo, obtidas por meio do Siagas (29.2750° S e 52.1219° O) (BRASIL, 2004).

Figura 13 – Localização dos poços São João e Três Saltos Baixo em relação ao centro de Travesseiro.



Fonte: Google Earth, acesso em 17 mai. 2022. Dados obtidos em RIO GRANDE DO SUL (2021) e BRASIL (2004).

Esta investigação não foi submetida ao Conselho de Ética. A metodologia de pesquisa é direcionada para a coleta de dados sobre a área de estudo com participantes voluntários não identificados. Os dados primários foram obtidos de fontes públicas; todos os dados coletados foram impessoais e as informações foram alocadas em banco de dados sem possibilidade de identificação dos participantes conforme delineado na Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde.

4.3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Após o emprego da metodologia alterada na área de estudo foi elaborada uma discussão sobre a aplicabilidade do método, suas vantagens e limitações e os resultados serão discutidos levando em consideração a estrutura atual de gestão e as demandas evidenciadas pela avaliação.

5 RESULTADOS

5.1 ANÁLISE DO MÉTODO PSA DIANTE DAS PARTICULARIDADES DAS SACS E IDENTIFICAÇÃO DE ALTERAÇÕES PERTINENTES

Considerando que o objeto de estudo são SACs de manancial subterrâneo que podem dispor de processo de desinfecção instalado, que têm reservatórios e que podem contar com canalização de distribuição até as residências dos consumidores, a partir do THDB completo foram inicialmente selecionadas as seções que abordam tais sistemas, conforme listadas no quadro 6. Para fins de tratamento de dados, as listas foram igualmente classificadas conforme os conjuntos de informações propostos por Vieira e Morais (2005).

Foram suprimidas, assim, as seções referentes a: captação em mananciais superficiais; poços de infiltração; tratamentos de maior complexidade, usualmente empregados em sistemas de captação superficial (gradeamento, coagulação, floculação, filtros de areia, filtração por membranas, filtração com carbono ativado, desinfecção por ultravioleta e desinfecção com ozônio) (HELLER; PÁDUA, 2016); estações de elevação; canalização interna, encontrada em condomínios particulares, conforme definição por Beuken *et al.* (2008); e torneiras comunitárias utilizadas na ausência de canalização até os domicílios, modelo distinto do objeto de estudo por definição.

As listas selecionadas, contendo 145 itens no total, foram traduzidas do inglês original e passaram por uma padronização de termos, priorizando a simplificação da linguagem utilizada (ex.: substituição de "interrupção de fornecimento elétrico" por "falta de energia") (Apêndice A).

Quadro 6 – Seções do THDB selecionadas para condução da identificação de perigos potenciais.

| Subsistema | Componentes | Conjunto de dados |
|--|---|--------------------------|
| 2. Manancial subterrâneo | 2.1. Área de captação | A |
| | 2.2. Sistema de monitoramento | A |
| 4. Infiltração de água superficial | 4.2. Área de captação | A |
| | 4.3. Sistema de monitoramento | A |
| 5. Águas subterrâneas e infiltração, captação e transporte | 5.1. Unidade de captação | B |
| | 5.2. Transporte da água subterrânea | B |
| | 5.3. Sistema de monitoramento | B |
| 6. Tratamento | 6.1. Tratamento, perigos genéricos | B |
| | 6.2. Substâncias químicas utilizadas | B |
| | 6.6. Desinfecção A. Cloração | B |
| 7. Reservatórios e bombas | 7.1. Reservatório de água tratada | C |
| | 7.3. Válvulas | C |
| 8. Transporte e distribuição | 8.1. Rede de distribuição | C |
| | 8.2. Hidrômetros e válvulas de retenção | C |
| 11. Organização | 11.1. Organização | B e C |
| 12. Perigos futuros | 12.1. Manancial | A |
| | 12.2. Tratamento | B |
| | 12.3. Distribuição | C |
| | 12.4. Consumidores | C |

Fonte: Autora

A caracterização dos itens admite as definições:

- Elemento: componente específico do sistema ao qual os perigos se referem.
- Ref.: número de referência do perigo.
- Perigo: fonte de danos em potencial ou situação com potencial de danos (agente biológico, químico, físico ou radiológico ou circunstâncias que têm o potencial de causar um efeito negativo no abastecimento).
- Evento perigoso: evento que pode causar danos (incidente ou situação que pode levar à presença de um perigo).

- Tipo de evento perigoso: indicação da origem do evento perigoso.
 - P: relacionado ao projeto.
 - O: relacionado à operação.
 - E: causa externa.
 - OS: consequência de um perigo em outro subsistema.
- Tipo de perigo: indicação da natureza do perigo.
 - Bio.: biológico.
 - Quí.: químico.
 - Rad./fís.: radiológico ou físico (incluindo turbidez).
 - Indisp.: insuficiência ou indisponibilidade de água para consumo.
 - Seg.: segurança do trabalhador.
 - Dano ext.: Danos externos a terceiros.
- Descrição de consequências: descrição de consequências potenciais do perigo a outro subsistema e ao consumidor.

Quadro 7 – Marcações adotadas na identificação de perigos potenciais.

| Símbolo | Definição por Beuken et al. (2008) | Definição do Ministério da Saúde (BRASIL, 2013) |
|----------------|---|--|
| | Perigo considerado inexistente ou de risco negligenciável. | - |
| 1 | Perigo reconhecido pelo fornecedor; já existem medidas de controle. | Risco tolerável a ser controlado por procedimentos de rotina. |
| 2 | Perigo de provável baixo risco que demanda atenção. | Risco moderado que exige adoção de medidas de controle e, quando necessário, monitoramento específico. |
| 3 | Perigo de provável alto risco. | Risco elevado que exige adoção de medidas de controle e, quando necessário, monitoramento específico. |
| X | Dados insuficientes. | - |

Fonte: Autora

Conforme descrito no quadro 7, os sinais adotados como marcações de identificação dos perigos foram adaptados de Beuken *et al.* (2008), com adição do indicativo de insuficiência de dados para avaliação; foram atribuídas cores às células obedecendo a uma versão simplificada da matriz de priorização de riscos qualitativa proposta pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2013).

5.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO ALTERADO EM UMA ÁREA DE ESTUDO

5.2.1 Etapa 1 – Descrição do sistema e construção do diagrama de fluxo

5.2.1.1 *Descrição do sistema*

O sistema foi descrito com base no Plano de Bacia Taquari-Antas vigente e nos Relatórios Técnicos produzidos como parte da sua elaboração, no PMSB de Travesseiro, em informações cadastrais do sistema disponíveis por meio do Siout-RS e em dados específicos fornecidos pela prefeitura e pela empresa responsável técnica pelo sistema, na ausência da descrição das unidades em funcionamento atualmente no PMSB. Estão disponíveis para consulta os relatórios técnicos correspondentes às fases A, de Diagnóstico da Área, e B, Prognóstico, da elaboração do Plano de Bacia Taquari-Antas; a fase C, que dá origem ao Plano Operacional de Ações, ainda não foi executada, limitando a abrangência da avaliação.

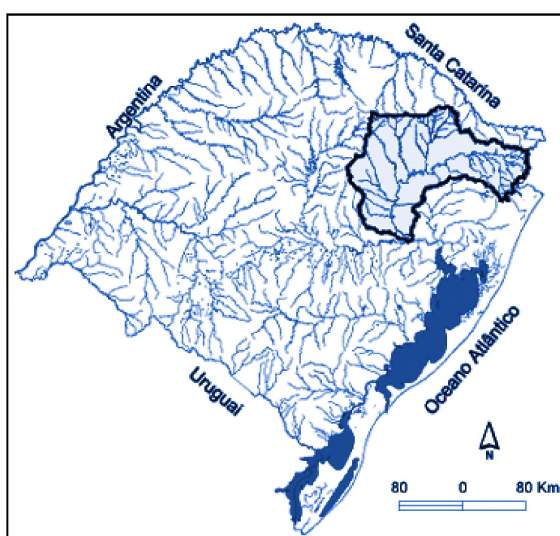
Foram contemplados os três conjuntos de informações propostos por Vieira e Moraes (2005); dezesseis itens não puderam ser descritos devido à indisponibilidade de dados.

A. Bacia hidrográfica e aquífero

A Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, de área total 26.415 km², se localiza na região nordeste do estado (figura 14) e abrange total ou parcialmente 118 municípios, os quais somavam uma população de 1.281.866 milhão de habitantes

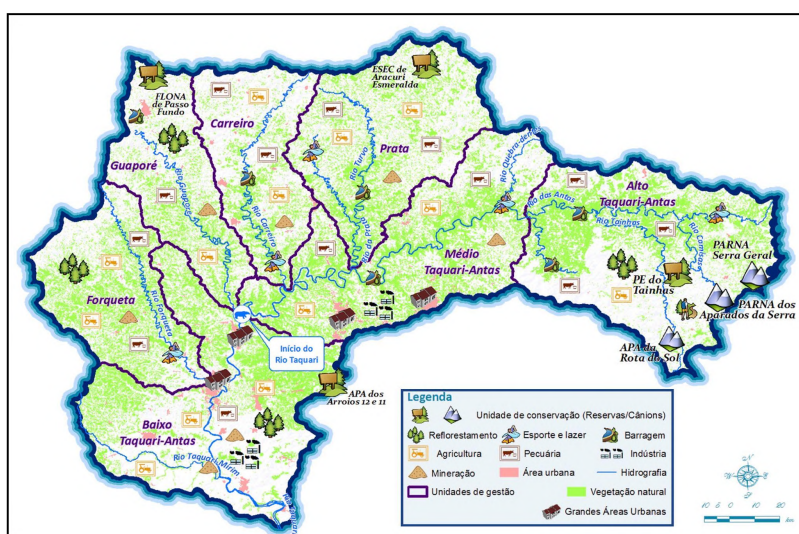
no último censo nacional (IBGE, 2012). Na elaboração do seu Plano de Bacia vigente, publicado em 2012, seu território foi dividido em 7 Unidades de Gestão (UGs) a partir de critérios hidrográficos e socioeconômicos (figura 15); Travesseiro se localiza à beira do Rio Forqueta e faz parte da UG Forqueta, na região leste da Bacia do Taquari-Antas.

Figura 14 – Área correspondente à Bacia Hidrográfica do Taquari-Antas dentro do estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: RIO GRANDE DO SUL (2001).

Figura 15 – Divisões do território da Bacia Hidrográfica do Taquari-Antas em Unidades de Gestão e principais atividades destacadas no Plano de Bacia.

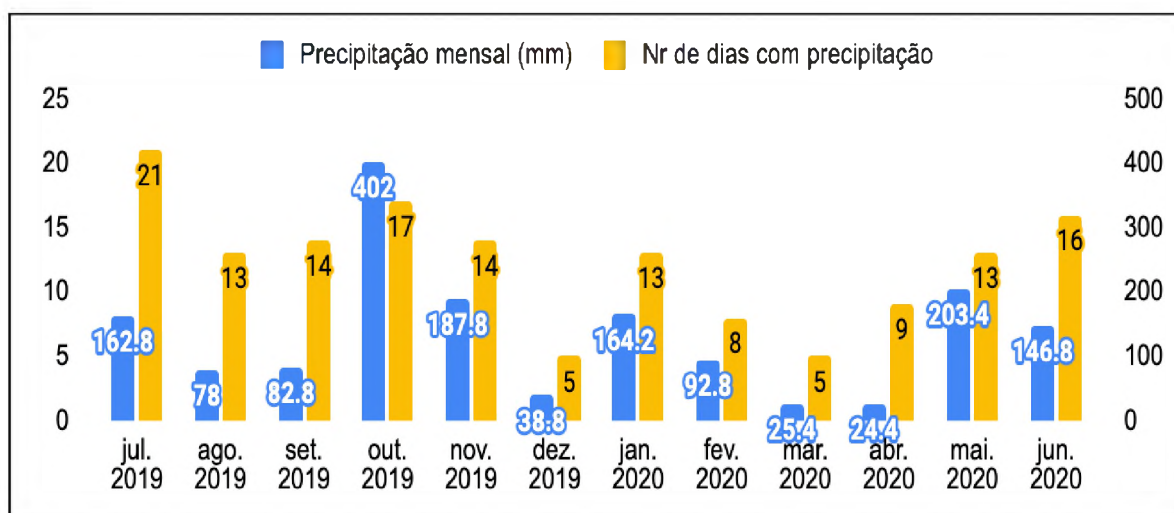


Fonte: RIO GRANDE DO SUL (2014).

De acordo com o PMSB, o município se localiza na área de transição entre clima temperado úmido com verões quentes e clima temperado úmido com verões temperados; ambas as classificações se referem a áreas com chuvas durante todos os meses do ano e temperatura do mês mais frio superior a 3 °C (TRAVESSEIRO, 2018).

De acordo com os dados da estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) mais próxima do município (estação A882 de Teutônia (RS)), cujas médias e totais mensais estão disponíveis para os últimos 9 anos, as médias de precipitação mensal se encontram na faixa de 120-200 mm nos anos em que a medição foi realizada em pelo menos metade dos meses (tabela 1). As médias anuais de temperatura resultam em aproximadamente 20 °C e a região apresentou velocidades do vento máximas em torno de 14 m/s desde 2013; entre julho de 2019 e junho de 2020 a região foi atingida por chuvas distribuídas durante o ano, com um pico de 402 mm no mês de outubro, conforme ilustrado na figura 16.

Figura 16 – Médias de precipitação mensal registradas pela estação Teutônia-A882 entre julho de 2019 e junho de 2020 obtidos no banco de dados do Inmet.



Fonte: INMET (2022).

Tabela 1 – Dados anuais de precipitação, temperatura e velocidade dos ventos da estação Teutônia-A882 obtidos no banco de dados do Inmet.

| Ano | Precipitação | | | Temperatura | Velocidade dos ventos | |
|------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------------|--------------------|
| | Total anual (mm) | Meses com medição | Média mensal (mm) | Média anual (°C) | Máxima anual (m/s) | Média mensal (m/s) |
| 2013 | 1860.8 | 12 | 155.1 | 19.3 | 9.6 | 1.8 |
| 2014 | 1799.2 | 11 | 163.6 | 20.5 | 12 | 1.9 |
| 2015 | 2072.2 | 10 | 207.2 | 20.3 | 14.1 | 1.8 |
| 2016 | 1463.8 | 9 | 162.6 | 18.9 | 10.2 | 1.8 |
| 2017 | 1927.0 | 12 | 160.6 | 20.5 | 13.2 | 1.9 |
| 2018 | 1557.8 | 12 | 129.8 | 19.8 | 14.7 | 1.8 |
| 2019 | 1527.2 | 10 | 152.7 | 19.8 | 10.9 | 1.8 |
| 2020 | 657.0 | 6 | 109.5 | 20.0 | 10.9 | 2.0 |
| 2021 | 18.8 | 1 | 18.8 | 19.3 | 12.2 | 1.9 |

Fonte: INMET (2022).

Os principais consumidores de água na bacia do Taquari-Antas são o abastecimento, a agropecuária e as indústrias. Calcula-se que o abastecimento de água para consumo humano demandava 104 milhões de m³ de água por ano em 2012, sendo que 72% da população era abastecida por água proveniente de mananciais superficiais e 28% de mananciais subterrâneos. As demandas de água direcionada à pecuária (bovinocultura, suinocultura e avicultura) e às principais culturas irrigadas na região são de aproximadamente 72 e 188 milhões de m³ por ano (2,28 e 5,96 m/s), respectivamente. Finalmente, a demanda para uso industrial registrada em processos de outorga totaliza mais de 30 milhões de m³ por ano.

Os usos de água caracterizados como não consuntivos são transporte, pesca, mineração e geração de energia elétrica. Os cursos d'água presentes na UG Forqueta, da qual faz parte o município de Travesseiro, não possuem trechos navegáveis nem configuram pontos de pesca importantes na bacia; a região é, contudo, considerada um polo de piscicultura, destacando-se os sistemas de produção extensivo e semi-intensivo.

De acordo com dados do DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), as principais atividades presentes na região referem-se à extração de

pedras e nos leitos dos principais cursos d'água; a UG Forqueta tem como atividades registradas a extração de argila (43%), cascalho (25%), basalto (16%), basalto para brita (12%) e, em menores quantidades, arenito (3%) e saibro (1%).

Conforme nota técnica publicada pelo DRHS/Sema (RIO GRANDE DO SUL, 2021), a Bacia Hidrográfica Taquari-Antas conta com 41 aproveitamentos hidrelétricos em operação, dos quais 10 são classificadas como Centrais de Geração Hidrelétrica (CGHs), 28 são Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e 3 são Usinas Hidrelétricas (UHEs), totalizando aproximadamente 750 MW; 4 das PCHs da bacia estão localizadas dentro da UG Forqueta.

Tabela 2 – Usos do solo na Bacia Taquari-Antas e na UG Forqueta em 2012 conforme dados do Relatório Técnico Síntese do DRHS/Sema-RS.

| Classes de Uso | Bacia Taquari-Antas | | UG Forqueta | |
|----------------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| | Área (km ²) | Participação (%) | Área (km ²) | Participação (%) |
| Área urbana ou edificada | 455,98 | 1,73% | 22,98 | 0,81% |
| Área de agropecuária | 8.606,08 | 32,58% | 1.199,69 | 42,11% |
| Área de mineração | 8,89 | 0,03% | 0,54 | 0,02% |
| Área degradada | 8,14 | 0,03% | 1,68 | 0,06% |
| Área úmida | 770,74 | 2,92% | 116,00 | 4,07% |
| Cultura irrigada | 359,06 | 1,36% | 9,73 | 0,34% |
| Hidrografia | 312,3 | 1,18% | 26,26 | 0,92% |
| Silvicultura | 1.905,04 | 7,21% | 80,96 | 2,84% |
| Solo exposto | 772,7 | 2,93% | 114,05 | 4,00% |
| Vegetação arbórea | 8.859,57 | 33,54% | 1.135,80 | 39,87% |
| Vegetação de campos ou pastagens | 4.356,95 | 16,49% | 141,17 | 4,96% |
| Total | 26.415,45 | 100,00% | 2.848,86 | 100,00% |

Fonte: adaptado de RIO GRANDE DO SUL (2012).

Segundo a Sema-RS, os principais usos do solo referentes à bacia Taquari-Antas, os quais se repetem na UG Forqueta, são as áreas de agropecuária

e de vegetação arbórea; conforme o detalhamento incluído na tabela 2, as áreas urbanas e edificadas na região de interesse correspondem a somente 0,81% do território, enquanto 4,00% da área apresenta solos expostos (RIO GRANDE DO SUL, 2012).

De acordo com o relatório técnico da Sema-RS, compõem a UG Forqueta os rios Fão, Forqueta e Alto Forqueta (tabela 3). O município de Travesseiro é atravessado pelo Rio Forqueta, que apresenta regime irregular, variação nas descargas, cheias e estiagens alternadas. Devido à baixa permeabilidade dos solos e drenagem do terreno, fortes declividades em algumas porções e formas planares tipo várzeas, o coeficiente de escoamento superficial é alto e a infiltração é baixa, segundo o diagnóstico técnico do PMSB. Em 2012 o Rio Alto Forqueta era compatível com a Classe 4 conforme resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) N° 357/2005 e o Rio Forqueta se encontrava na classificação 1, enquanto o Rio Fão não pôde ser classificado devido a ausência de dados de monitoramento no período.

Tabela 3 – Sub-bacias da UG Forqueta conforme o Plano de Bacia Taquari-Antas.

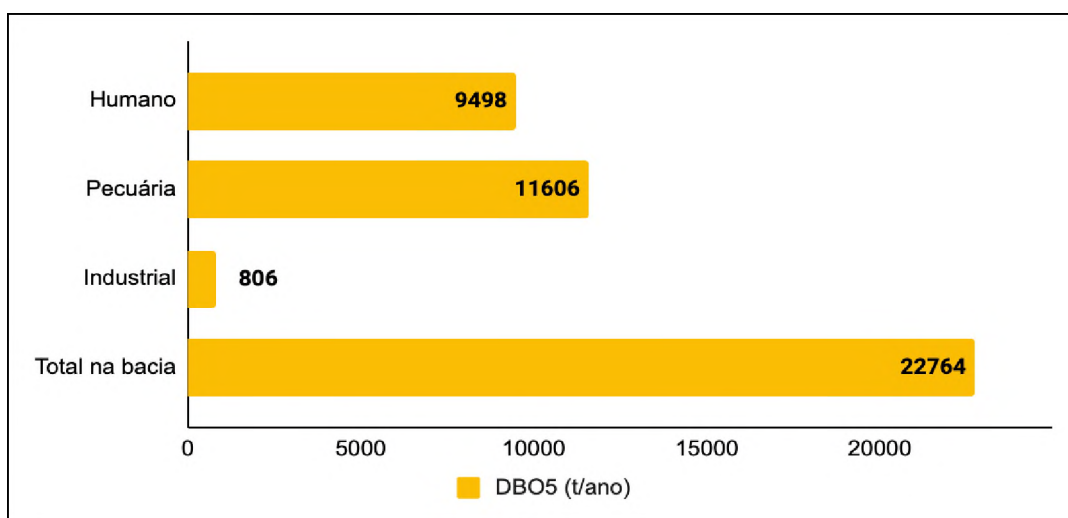
| Sub-bacia | Área (km²) | Perímetro (km) | Comprimento (km) | Declividade (m/m) | Nº de afluentes | Comprimento total de drenagem (km) |
|-------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|---|
| Alto Rio Forqueta | 793 | 171,92 | 112,95 | 0,0058 | 99 | 1.136,52 |
| Rio Fão | 1.256,82 | 188,72 | 83,93 | 0,0041 | 63 | 1.687,28 |
| Rio Forqueta | 799,14 | 157,27 | 46,15 | 0,0012 | 25 | 1.107,43 |

Fonte: RIO GRANDE DO SUL (2012).

Quando da elaboração do relatório técnico estimou-se que os níveis de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos suspensos totais nos efluentes industriais totais da bacia estavam abaixo do valor licenciado, enquanto as cargas de fósforo e nitrogênio totais passavam do limite autorizado. Em 2012, calculou-se que os efluentes da pecuária representavam

cerca da metade do total de carga orgânica residual, seguida dos resíduos de origem humana (figura 17).

Figura 17 – Carga orgânica liberada na Bacia do Rio Taquari-Antas por setor de atividade em toneladas de DBO₅ por ano.



Fonte: RIO GRANDE DO SUL (2012).

A região da Bacia do Rio Taquari-Antas apresenta um semestre de vazões críticas no período de seca, observado de novembro a abril, enquanto de junho a outubro costumam ocorrer cheias; as maiores vazões da bacia ocorrem, em média, durante o mês de setembro. Em função disso e do aumento da demanda hídrica para irrigação, o comprometimento hídrico é severo entre fevereiro e março na região. A recarga anual média calculada para a bacia foi de aproximadamente 3.300 hm³, dos quais pouco mais de 10% seriam correspondentes a UG Forqueta; a disponibilidade hídrica subterrânea de bombeamento sustentável determinada no Plano de Bacia é de 834,32 hm³/ano (RIO GRANDE DO SUL, 2012).

Conforme cadastro no Siout-RS emitido sob o n° 2021/011.969, o poço da Linha São João foi perfurado em aquífero poroso e confinado, parte do Sistema Aquífero Serra Geral II (RIO GRANDE DO SUL, 2021).

B. Sistemas de captação e tratamento

O cadastro da SAC no Sisagua indica que a associação atualmente fornece água para vinte e oito economias residenciais (população estimada de oitenta e quatro habitantes) (BRASIL, 2022); considerando-se um consumo médio de 200 litros de água por dia por habitante, conforme sugerido por Heller e Pádua (2016), estima-se que a extração de água atual seja de 16,8 m³ diários. Segundo o cadastro do poço no Siout-RS, a prefeitura do município ainda não possui outorga para o sistema em questão. A vazão diária prevista é de aproximadamente 45 m³, calculada considerando vazão média de 12,2 m³/h e bombeamento diário com duração de 3h41min; o horizonte de projeto do poço é de 5 anos, com uma população máxima atendida de 250 habitantes (RIO GRANDE DO SUL, 2021). Segundo a empresa responsável técnica pelo sistema Eco Diehl, é empregada uma bomba submersa de 12,5 HP com vazão máxima de 10 m³/h instalada a 60 metros de profundidade, com tubo galvanizado de 2 polegadas.

Conforme a autorização prévia para construção do poço, publicada no Siout-RS pela primeira vez em 2019, a unidade deve apresentar: equipamentos de medição de volume (hidrômetro) e dos nível estático e dinâmico; 1 m² de perímetro de proteção sanitária em concreto concêntrica ao tubo de revestimento e com declividade em direção às bordas; e um mínimo de 4 m² de cercamento da área de instalação (RIO GRANDE DO SUL, 2019).

O tratamento da água aplicado na unidade é simplificado e consiste somente de desinfecção com hipoclorito, segundo o cadastro da SAC no Sisagua (BRASIL, 2022). Não existem registros oficiais acessíveis ao público que descrevam a profundidade do poço, a etapa de bombeamento ou as características de projeto da etapa de desinfecção. Segundo a Eco Diehl, é utilizada uma bomba dosadora automática da marca Prominent na aplicação do tratamento.

A eficiência da desinfecção pelo emprego de hipoclorito de sódio é função de seu tempo de contato com a água, da dosagem e dos tipos de organismos presentes no manancial; esses valores devem ser definidos após ensaios laboratoriais quando também se avalia os potenciais subprodutos formados durante o tratamento (HELLER; PÁDUA, 2016). A portaria de regulamentação da

potabilidade da água vigente estabelece a obrigatoriedade de se manter uma concentração mínima de cloro residual de 0,2 mg/L e determina os valores mínimos de tempo de contato do agente desinfetante em função de sua dosagem, temperatura e pH da água (BRASIL, 2021). A empresa responsável técnica realiza monitoramento com análises de água mensais.

C. Sistemas de reservação e distribuição

Não existem registros oficiais acessíveis ao público que descrevam as características de projeto do reservatório. Segundo a Eco Diehl, está em operação um reservatório com capacidade de 20 m³, que é submetido a limpeza regular anual. Conforme Heller e Pádua (2016), reservatórios pequenos de até 3.500 m³ possuem altura de lâmina d'água variando entre 2,5 e 3,5 metros. Os reservatórios de água para consumo humano devem dispor de tubulação de entrada acima do nível máximo do reservatório, tubulação de saída e descarga de fundo; a descarga de fundo deve estar em cota inferior a tubulação de saída para garantir o total esvaziamento do reservatório. No volume entre a descarga de fundo e a tubulação de saída são depositados sedimentos decantados durante a reservação (HELLER; PÁDUA, 2016).

A rede de distribuição empregada é ramificada e incorpora aproximadamente 11.000 m de canalizações de PVC e PEAD com diâmetros variados com redutores de pressão em que identificou-se necessidade a partir do uso (TRAVESSEIRO, 2018). Não existem registros oficiais acessíveis ao público que descrevam as características de projeto da rede de distribuição. Em áreas de baixa densidade populacional, os condutos principais costumam se configurar em formato grelha, paralelos entre si e conectando-se apenas em uma de suas extremidades a outro conduto principal; nessa configuração, os diâmetros das tubulações diminuem conforme a distância do reservatório aumenta (HELLER; PÁDUA, 2016).

De acordo com os dados de vigilância divulgados pelo Sisagua, em 2021 foram realizadas seis coletas em pontos diferentes do sistema e verificou-se que havia contaminação por coliformes fecais em duas amostras, apesar de apresentarem concentração de cloro residual livre maior que a exigência mínima da

Portaria de Potabilidade (maior que 0,2 mg/L). As amostras fora de conformidade para coliformes foram coletadas na saída do poço São João e em residência abastecida pela rede, localizada a aproximadamente quatro quilômetros de distância da fonte; o ponto de coleta que recebe água com nível de cloro inadequado não faz parte do sistema em operação atualmente (tabela 4).

Tabela 4 – Resultados de análises de qualidade realizadas pelo Vigiagua em 2021.

| Data do laudo | Descrição do local | Coliformes totais | <i>E. coli</i> | Cloro Res. | Turbidez (uT) | Fluoreto (mg/L) |
|---------------|--------------------|-------------------|----------------|--------------|---------------|-----------------|
| | | | | Livre (mg/L) | | |
| 01/03/2021 | Residência | Presente | Ausente | 1,0 | 0,4 | 0,3 |
| 29/04/2021 | Poço São João | Presente | Ausente | 1,0 | 0,3 | 0,3 |
| 27/08/2021 | Poço São João | Ausente | Ausente | 1,92 | 0,7 | 0,3 |
| 29/10/2021 | Residência | Ausente | Ausente | 0,94 | 0,3 | 0,5 |
| 23/12/2021 | Poço São João | Ausente | Ausente | 0,83 | 0,7 | 0,4 |

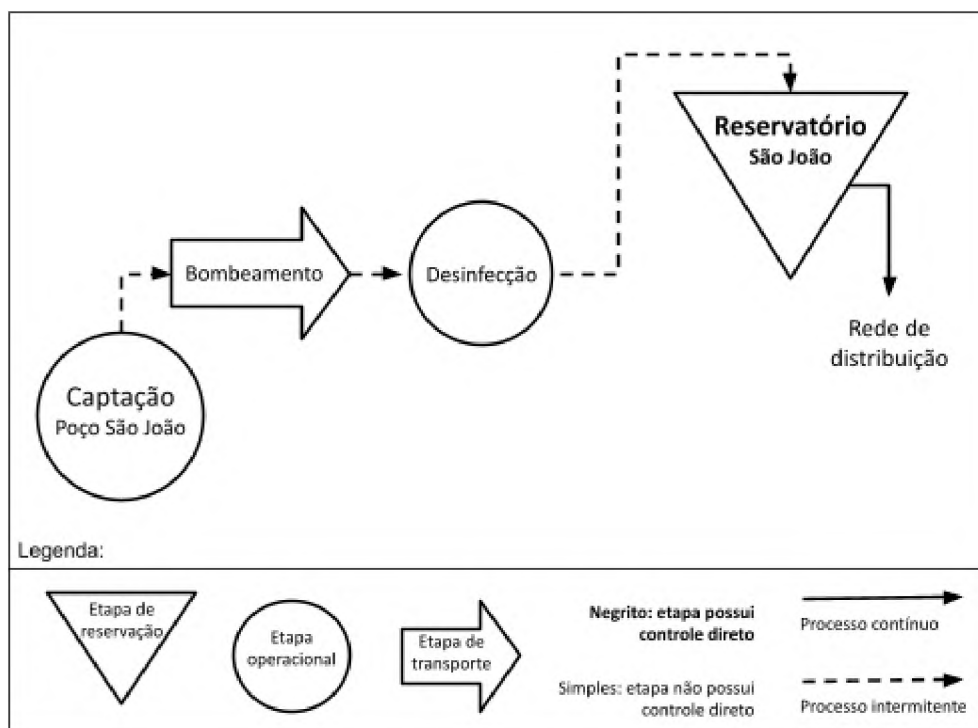
Fonte: BRASIL (2022).

5.2.1.2 Diagrama de fluxo

A partir da descrição do sistema foi construído um diagrama de fluxo que emprega a simbologia proposta por Bartram *et al.* (2009) (figura 18).

Foram consideradas etapas operacionais a captação pelo poço Linha São João e o processo de desinfecção da água; a etapa de transporte representa a elevação por bombeamento até o reservatório da Linha São João; os processos são intermitentes, controlados pelo nível de água no reservatório. A rede de abastecimento a partir do reservatório é de operação contínua e se divide entre os bairros Comunidade São João e Três Saltos Baixo.

Figura 18 – Diagrama de fluxo elaborado a partir da descrição do sistema.



Fonte: Autora.

5.2.1.3 Visita à área de estudo

A visita à área de estudo foi realizada no dia 16 de fevereiro de 2022, acompanhada pelas fiscais regional e municipal da vigilância da água e por um representante da associação. Foram observados o poço artesiano, o perímetro do poço, o sistema de cloração e o reservatório, com o objetivo principal de validar as informações obtidas no PMSB e o diagrama de fluxo construído com base nelas. Na mesma ocasião, a *checklist* de perigos potenciais modificada foi discutida entre os presentes e os itens considerados relevantes foram assinalados.

O poço Linha São João foi acessado pela lateral do Salão da Comunidade São João, com instalação coerente com as coordenadas cadastradas no Siout-RS, à distância de aproximadamente 500 m do Rio Forqueta (figura 19) e altitude 80,36 m, obtida utilizando o *software* Google Earth versão 9.159.0.0; o perímetro do poço se encontra protegido por cercamento (aproximadamente 2,5 metros de lateral) de acesso livre à população e se localiza em área de circulação de bovinos, com faixa de mata atlântica adjacente (aproximadamente 5 metros de distância), conforme

registrado na figura 20. As unidades de captação e desinfecção contam com poço tubular com topo visível (1), hidrômetro (2), tubulação de saída alternativa (3), entrada de solução de hipoclorito de sódio (4), painel de controle (5), equipamento dosador (6) e bombona de solução de hipoclorito de sódio (7) (figura 21).

Figura 19 – Localização do poço e do reservatório observadas em campo.



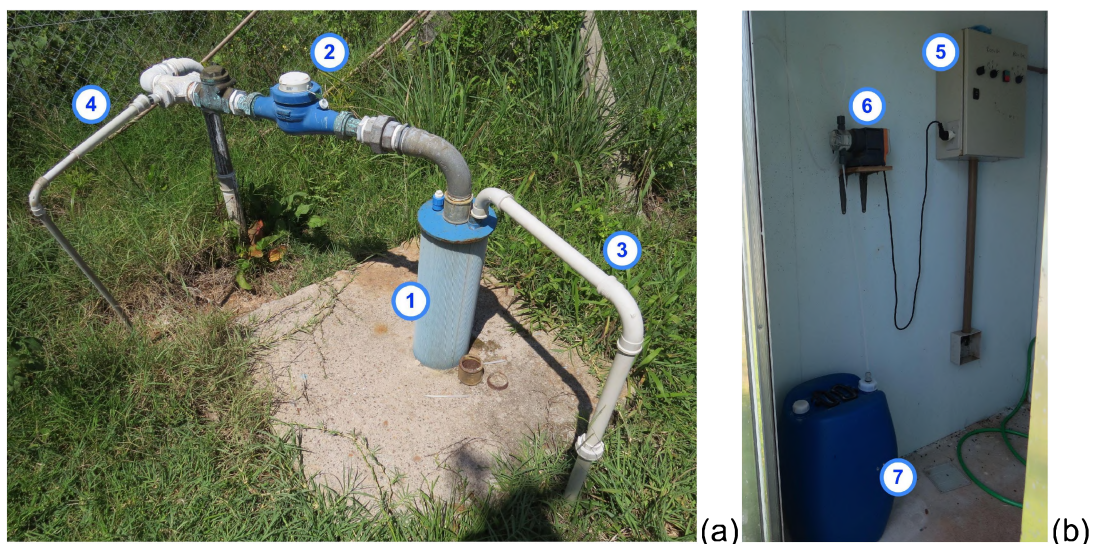
Fonte: Google Earth, acesso em 17 mai. 2022.

Figura 20 – Perímetro do poço a distância.



Fonte: Autora.

Figura 21 – Unidades de captação e desinfecção Linha São João.



Fonte: Autora.

O reservatório do sistema (figura 22) se localiza em uma área mais elevada (altitude 156,28 m, obtida manualmente por meio do *software* Google Earth versão 9.159.0.0) e sua via de acesso mais próxima é fechada ao público. O trajeto mais frequentemente executado em caso de manutenção da unidade é de aproximadamente 400 m e está representado na figura 24; o percurso não possui

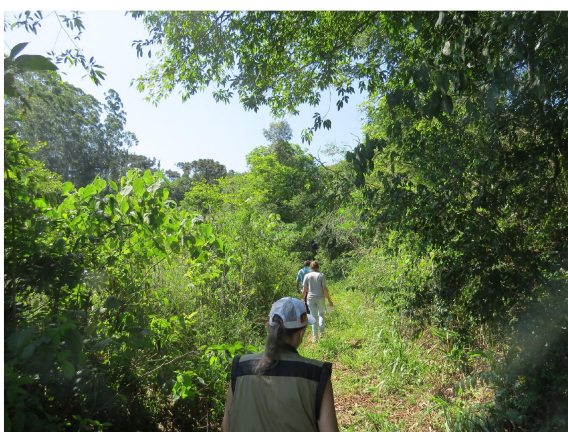
calçamento, inclui áreas de vegetação densa e cruza cursos d'água intermitentes que dificultam o acesso em épocas de chuvas (figura 23). Foram identificados como obstáculos adicionais à movimentação a presença de cercas de arame farpado, desníveis de terreno descoberto e troncos de árvores caídas.

Figura 22 – Reservatório Linha São João.



Fonte: Autora.

Figura 23 – Percurso realizado entre o poço e o reservatório.



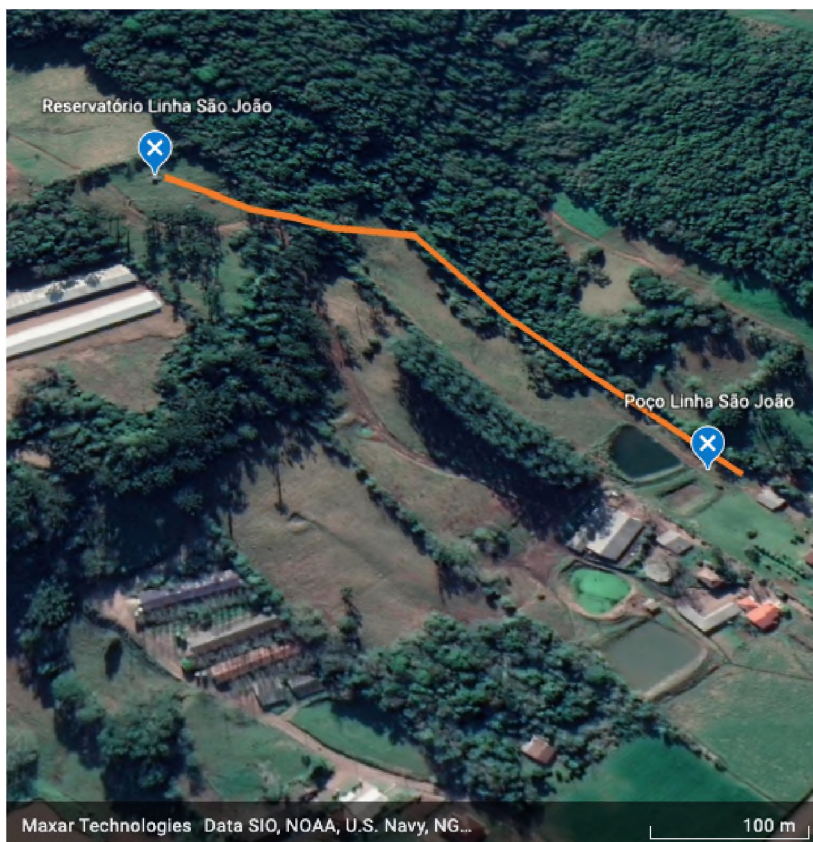
(a)



(b)

Fonte: Autora.

Figura 24 – Deslocamento entre o poço e o reservatório realizado em campo.



Fonte: Google Earth, acesso em 17 mai. 2022.

O perímetro de proteção do reservatório se encontra igualmente protegido por cercamento (aproximadamente 2,5 m x 2,5 m) de acesso livre à população e se localiza em área de circulação de bovinos, conforme visível na figura 25. O reservatório é do tipo apoiado, com sua base no nível do solo. Foram reconhecidos na unidade identificação externa de volume total de 20 mil litros, parte do sistema controlador de nível, incluindo antena transmissora do sinal (8) e placa solar que fornece energia ao controlador (9), extravasor (10), tubulação de entrada (11), tubulação de saída (12) e descarga de fundo (13) (figura 25). O controle do nível do reservatório é realizado com o emprego de boia elétrica cujo sinal é transmitido via rádio até a casa de controle e governa a ativação da bomba.

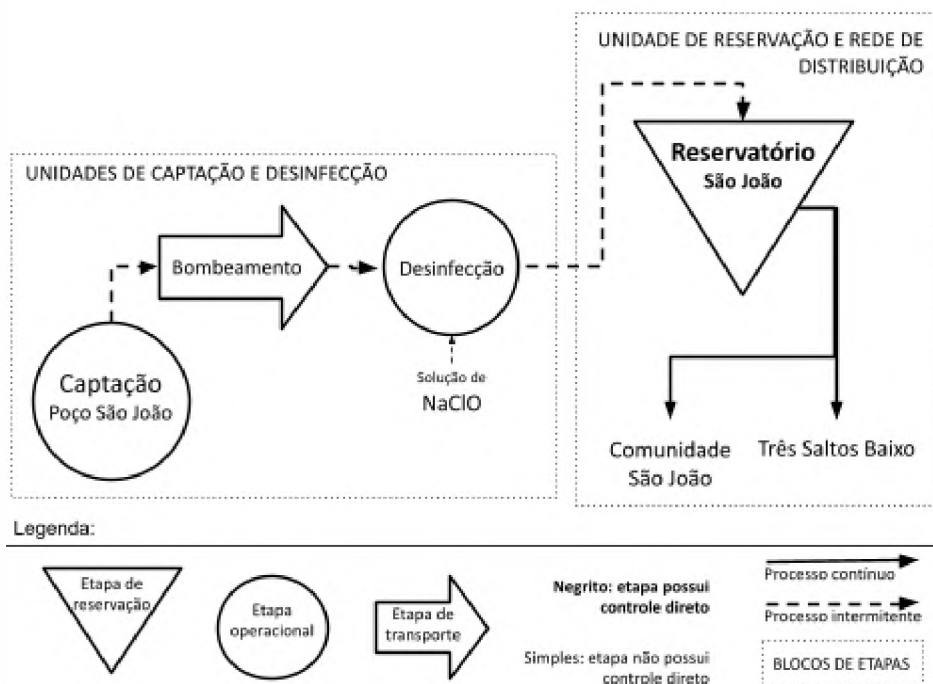
Figura 25 – Perímetro de proteção e detalhes do reservatório da Linha São João.



Fonte: Autora.

As etapas incluídas no diagrama de fluxo (captação, transporte por bombeamento, desinfecção, reservação e distribuição) foram identificadas em campo e, desta forma, validadas. Levando em consideração a divisão entre os conjuntos de dados relativos ao sistema e o afastamento físico entre as unidades estudadas, foi incluída no diagrama uma simbologia referente à delimitação de blocos de trabalho, segregando o bloco B (unidades de captação, transporte e desinfecção) do bloco C (unidade de reservação e rede de distribuição). Além disso, foi incluída a entrada de solução de hipoclorito de sódio na unidade de desinfecção e etapa de distribuição foi dividida em dois percursos refletindo a realidade da rede no abastecimento de duas comunidades distintas (figura 26).

Figura 26 – Diagrama de fluxo otimizado após verificação em campo.



Fonte: Autora.

5.2.2 Etapa 2 – Identificação de perigos potenciais

Devido às condições de pandemia de Covid-19 ainda exibidas no ano de 2021 e buscando respeitar as recomendações do Ministério de Saúde, as etapas presenciais de identificação de risco foram modificadas. Além do contato virtual com as partes interessadas, na ocasião da visita à área de estudo e discussão do tema com os especialistas no sistema presentes foram coletados dados utilizando a *checklist* de perigos da THDB.

Os perigos potenciais existentes foram qualitativamente classificados em relação ao provável nível de risco à qualidade da água que representam. A *checklist* resultante foi editada e enviada aos participantes no formato encontrado no Apêndice B; não houve alterações provenientes do *feedback* recebido. Conforme expresso na tabela 5, do total de 145 itens da THDB avaliados, aproximadamente um terço foi considerado irrelevante para este sistema; dentre os perigos identificados, a maioria (aproximadamente 72%) foi considerada de provável alto risco, enquanto apenas três contavam com barreira estabelecida; além disso, os 15

itens que não puderam ser classificados devido à falta de dados faziam parte dos conjuntos de dados referentes à estrutura da SAC. Na identificação de perigos já reconhecidos pelo fornecedor, foram consideradas medidas de controle em operação: o monitoramento da qualidade da água superficial e estratégias de melhoria na classificação dos cursos d'água estabelecidas no Plano de Bacia do Rio Taquari-Antas e o monitoramento da qualidade da água realizado pela empresa responsável técnica pelo sistema.

Tabela 5 – Resumo do resultado da identificação de perigos potenciais no sistema.

| Símbolo | Classificação | Nº de itens |
|----------------|--|--------------------|
| | Perigo considerado inexistente ou de risco negligenciável | 40 |
| 1 | Perigo reconhecido pelo fornecedor; já existem medidas de controle | 3 |
| 2 | Perigo de provável baixo risco que demanda atenção | 33 |
| 3 | Perigo de provável alto risco | 54 |
| X | Dados insuficientes | 15 |
| | Total | 145 |

Fonte: Autora

5.3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos foi possível estender a discussão em duas direções principais: a aplicabilidade da metodologia empregada como etapa de elaboração de PSAs e a relevância dos dados produzidos pela análise nos contextos de gestão de recursos hídricos e de saneamento básico. Por fim, a discussão deu origem à proposta de adaptações às diretrizes atuais relativas à gestão de riscos em SACs.

Na categorização dos itens da THDB entre os conjuntos de dados A, B e C, sete itens pertencentes à seção denominada “Organização” foram considerados presentes tanto no sistema de tratamento (B) quanto nos de reservação e distribuição (C), e portanto somados duas vezes na descrição de resultados. Deste modo, totalizam-se 152 itens avaliados, distribuindo-se entre os três conjuntos de

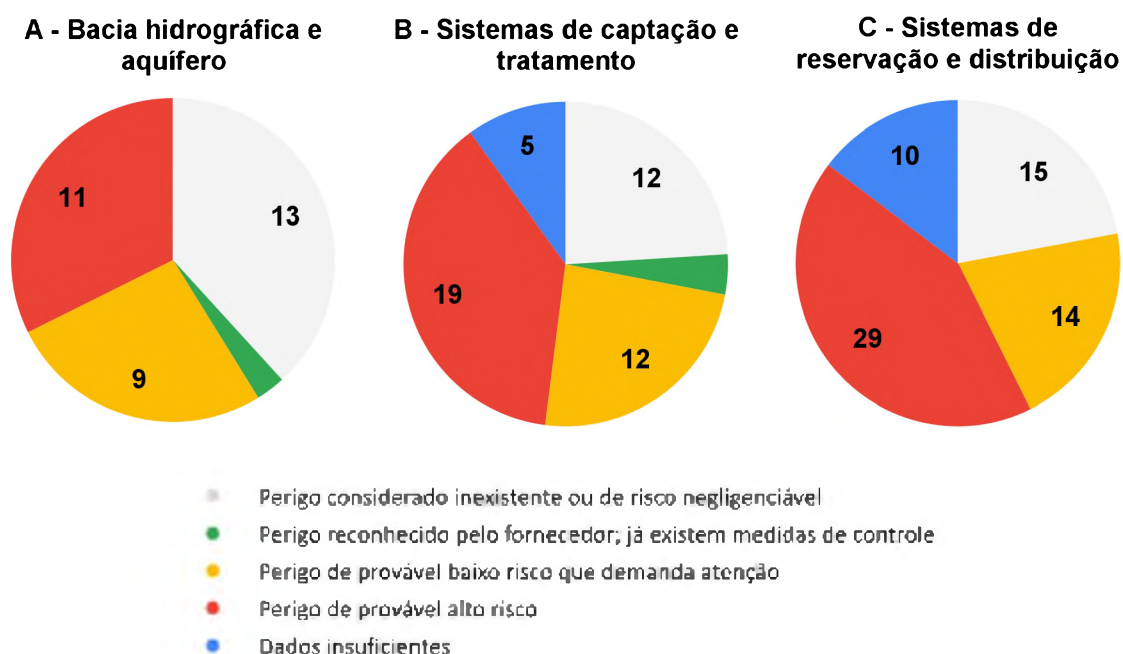
dados de trabalho e cinco classificações empregadas, conforme detalhado na tabela 6. Os dados foram igualmente empregados na construção da figura 27 para melhor visualização do contraste entre as classificações de cada conjunto.

Tabela 6 – Resumo do resultado da identificação de perigos potenciais no sistema de acordo com o conjunto de dados analisado.

| Classificação | Conjunto | | | Total |
|--|----------|----|----|-------|
| | A | B | C | |
| Perigo considerado inexistente ou de risco negligenciável | 13 | 12 | 15 | 40 |
| Perigo reconhecido pelo fornecedor; já existem medidas de controle | 1 | 2 | 0 | 3 |
| Perigo de provável baixo risco que demanda atenção | 9 | 12 | 14 | 35 |
| Perigo de provável alto risco | 11 | 19 | 29 | 59 |
| Dados insuficientes | 0 | 5 | 10 | 15 |
| Total | 34 | 50 | 68 | 152 |

Fonte: Autora.

Figura 27 – Distribuição de perigos identificados entre os conjuntos de trabalho.



Fonte: Autora.

Na etapa de descrição do sistema observou-se uma distinta falta de informações acessíveis ao público sobre a infraestrutura do abastecimento: dentre

os dez itens propostos por Vieira e Moraes (2005) para a descrição das unidades de captação e tratamento e nove itens referentes às estruturas de reservação e distribuição, somente dois foram caracterizados em cada conjunto previamente à visita a campo. A situação se repete no município de tal forma que o PMSB admite que a inexistência de cadastro técnico e ausência de centro de controle operacional são fraquezas das SACs em operação (TRAVESSEIRO, 2019). Como resultado da falta de informações disponíveis para descrição do sistema na Etapa 1, a avaliação de 15 perigos potenciais foi julgada inviável por dados insuficientes.

Observou-se uma baixa proporção de perigos reconhecidos pelo fornecedor em todo o sistema que tem origem na escassez de medidas de controle em operação; atualmente a principal barreira à contaminação do sistema é o processo de desinfecção, sobre o qual não há informações disponíveis para o público. Em consonância com o argumento a favor da gestão de riscos de Vieira (2011), que aponta que os resultados das análises por amostragem só são disponibilizados depois que a água já chegou ao consumidor e frequentemente após já ter sido consumida, identificou-se uma amostra residencial com contaminação por coliformes fecais a despeito da concentração de cloro residual livre maior que a exigência mínima da Portaria de potabilidade. Ainda que a amostra não seja estatisticamente relevante, a ocorrência ilustra o mérito do princípio de múltiplas barreiras constituinte da abordagem de PSA no caso da Associação Três Saltos e São João.

Uma vez que não houve a identificação de perigos potenciais ao sistema que não estivessem de alguma forma contidos no THDB, acredita-se que a listagem é suficientemente compreensiva para a aplicação em sistemas semelhantes; é possível, no entanto, que ocorra o levantamento de itens adicionais quando houver dados suficientes para descrição das estruturas em detalhes. Contudo, atualmente é preferível que a metodologia seja adaptável à insuficiência de dados técnicos no caso dos sistemas de abastecimento de pequeno porte, que é recorrente (WHO, 2012).

É possível argumentar que o THDB não está adaptado ao contexto das SACs a julgar pela expressividade de perigos considerados inexistentes ou de risco negligenciável incluídos na *checklist*, posto que quarenta (aproximadamente 26%)

itens foram classificados nesta categoria. Este é o caso de itens como 6.6.1 e 6.6.2, referentes à cloração gasosa, que não costuma ser realizada em sistemas de tratamento de pequeno porte devido à sua complexidade de operação (HELLER; PÁDUA, 2016). Não obstante, ainda que a contaminação intencional da água por sabotagem ou vandalismo, representada em quatro itens distintos na THDB, não constitua uma ameaça ao sistema da Linha São João, não é possível descartar tais interferências externas em todas as SACs similares (HÄGGQVIST; LARSSON, 2020).

Devido à ausência de sistemas de monitoramento de água bruta no manancial e na captação, os perigos referentes a acidentes, defeito, falta de energia, falha operacional, sabotagem e poços de observação danificados nesses pontos foram considerados inexistentes. O monitoramento executado pelos responsáveis técnicos, que deve ser alimentado no Sisagua pela empresa terceirizada no caso das SACs, também está ausente na maioria dos casos (BRASIL, 2020a). A inexistência de monitoramento efetivo da qualidade da água é frequentemente observada no caso dos sistemas de pequeno porte, dada a baixa frequência de amostragem em função de restrições de mão de obra (VIEIRA, 2011).

Constatou-se numerosos perigos de provável alto risco nos conjuntos de dados B e C, os quais representam prioridades para a análise de risco e identificação de pontos críticos de controle na elaboração de um PSA. No caso de Travesseiro, o PMSB admite a ausência de manutenção preventiva como uma ameaça à segurança da água. Reitera-se aqui particularidades do abastecimento rural caracterizadas por Häggqvist e Larsson (2020) como as dificuldades de autonomia econômica das associações de abastecimento, a insuficiência de verbas municipais para projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário e a limitação de recursos técnicos e administrativos nos municípios. Nesses casos, a indicação de perigo resultante do PSA que exige investimentos no sistema maiores do que o realizável pela associação poderá contribuir à priorização de investimentos em saneamento planejados em níveis municipal e estadual.

Existe precedente de colaboração na área de saneamento entre o governo e as instituições de ensino na forma de projetos como o Sistema de Apoio ao

Saneamento Básico (Sasb), originado no convênio firmado pela Funasa com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) sob o Termo de Execução Descentralizada N°02/2015. O programa visava a elaboração de PMSBs para municípios de pequeno porte (até 50 mil habitantes); ao longo de cinco anos, o Sasb forneceu apoio técnico para cinquenta e três municípios, dos quais cinquenta finalizaram o PMSB (UFRGS, 2019).

Atualmente, o Plano de Bacia da região prevê que a manutenção dos recursos hídricos nas classes atuais exige a elaboração de medidas de investimentos nos setores de saneamento, de licenciamento ambiental e outorga de uso da água (RIO GRANDE DO SUL, 2012). São ações previstas pelo plano de bacia a construção do conhecimento, a capacitação e valorização do quadro técnico, com o objetivo de agregar conhecimentos específicos por sub-bacia. Em especial na UG Forqueta, pretende-se adotar ações de recomposição da vegetação ciliar e da cobertura vegetal em áreas declivosas. De posse da identificação de perigos à qualidade da água na região, esses esforços podem ser direcionados às áreas de maior vulnerabilidade.

Considerando que 10,4% da população do Rio Grande do Sul utiliza soluções alternativas de abastecimento (BRASIL, 2020a) e que atualmente nenhuma SAC em operação possui PSA elaborado, destaca-se a potencialidade de produção de subsídios para os instrumentos de gestão de recursos hídricos (outorga, enquadramento, cobrança pelo uso da água, cobrança pelo lançamento) e investimentos em saneamento na forma de mapeamento de perigos em toda a cobertura de abastecimento coletivo.

O PSA consiste em um documento que serve à reivindicação do direito de acesso à água potável, em especial no caso dos pequenos sistemas: a partir da análise de riscos e proposta de medidas de controle é possível que se comunique aos outros níveis de governança as demandas de um sistema de abastecimento que atende, como no caso da Associação Três Saltos e São João, a somente 0,02% da população do seu Comitê de Bacia. A elaboração de PSAs e seu estudo de riscos nas SACs permite a identificação das áreas de maior vulnerabilidade devido à falta

de barreiras, o que constitui um dado a ser considerado na concepção dos PMSBs e Planos de Bacia.

Sendo assim, propõe-se que seja construído um banco de dados nacional para identificação de perigos potenciais com base no THDB, no qual seja igualmente possível a seleção de seções relevantes para cada sistema avaliado. Sugere-se que se propicie a revisão da listagem incluindo trocas entre os diferentes níveis de governança (municipal, estadual, comitê de bacia), para que se componha a especialização do banco de dados considerando os perigos comuns em cada região.

Em relação ao processo de elaboração dos PSAs, recomenda-se que a inclusão dos envolvidos na vigilância da qualidade da água seja valorizada, uma vez que os registros de monitoramento da qualidade da água no caso das SACs não são alimentados no Sisagua com assiduidade, sendo portanto acessíveis apenas os dados de amostragem do Vigiagua. Levando em conta o nível de profissionalização atual nas associações, sugere-se que sejam estabelecidas parcerias entre o governo e as instituições de ensino que deem origem a projetos de apoio ao desenvolvimento de PSAs em municípios de pequeno porte tal qual o convênio estabelecido pela Funasa para a elaboração de PMSBs nacionalmente em 2015.

Finalmente, com os dados resultantes da avaliação de perigos propõe-se que o mapeamento de perigos e priorização dos riscos, quando executado para toda a cobertura do abastecimento, passe a alimentar as etapas de diagnóstico técnico da elaboração de planos que contenham os sistemas em questão, tais como o PMSB, o Plano Estadual de Saneamento Básico e o Plano de Bacia Hidrográfica. Desta forma, será possível assegurar o emprego dos instrumentos de gestão exercidos por instituições de maior poder que as associações de abastecimento para que se atendam aos pequenos sistemas e suas particularidades.

6 CONCLUSÃO

A pesquisa obteve êxito em seus objetivos com a adaptação das diretrizes de elaboração de PSAs ao contexto do abastecimento de pequeno porte em área rural, levando em consideração as peculiaridades das SACs. A metodologia de pesquisa aplicada proporcionou resultados satisfatórios para a discussão desenvolvida.

A metodologia de identificação de perigos potenciais adaptada ao contexto das SACs foi considerada efetiva apesar da falta de informações acessíveis ao público sobre a infraestrutura de abastecimento e o banco de dados da Techneau foi julgado suficientemente compreensivo para aplicação em sistemas semelhantes ao caso de estudo. Os produtos da avaliação evidenciam os desafios enfrentados pelo abastecimento de pequeno porte, em especial no que tange a escassez de medidas de controle e ausência de monitoramento operacional da qualidade da água.

Além disso, foi possível justificar a elaboração de PSAs como fonte de dados técnicos e documento de registro das demandas dos pequenos sistemas no âmbito da priorização de investimentos em saneamento planejados em níveis municipal, estadual e de bacia hidrográfica. Os resultados permitiram também substanciar a proposta de adaptação das diretrizes de elaboração de PSAs para incluir a construção de um banco de dados nacional para identificação de perigos potenciais com base no THDB e a sugestão de que sejam estabelecidas parcerias entre o governo e as instituições de ensino para suporte técnico a municípios de pequeno porte.

REFERÊNCIAS

- ABREU, R. L. Localização de Travesseiro no Rio Grande do Sul. 2006. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Travesseiro_\(Rio_Grande_do_Sul\)#/media/Ficheiro:RioGrandedoSul_Municip_Travesseiro.svg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Travesseiro_(Rio_Grande_do_Sul)#/media/Ficheiro:RioGrandedoSul_Municip_Travesseiro.svg). Acesso em: 20 jan. 2021.
- AVEN, T. **Risk Analysis: Assessing Uncertainties Beyond Expected Values and Probabilities**. John Wiley & Sons. Chichester, 2008.
- BARTRAM *et al.* **Water Safety Plan Manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers**. WHO/IWA. 2009.
- BARRINGTON, D.; FULLER, K.; MCMILLAN, A. Water safety planning: adapting the existing approach to community-managed systems in rural Nepal. **Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development**, v. 3, n. 3, pp. 392–401, 2013.
- BASTOS, R. K. X. *et al.* **Roteiro de orientação para implantação de Planos de Segurança da Água – PSA**, 2010.
- 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.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Boas práticas no abastecimento de água: Procedimentos para a minimização de riscos à saúde: Manual para os responsáveis pela vigilância e controle**. Brasília, DF, 2006a.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Manual de procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano**. Brasília, DF, 2006b.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. 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: Ministério da Saúde, 2013.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Política e plano municipal de saneamento básico: Convênio Funasa/Assemae**. 2. ed. Brasília, DF, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Planos de Segurança da Água. 2015. 79 slides. Disponível em: https://www.abes-rs.org.br/novo/_materiais/materiais_7ninkd4da33x.pdf. Acesso em: 24 fev. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016. Trata sobre as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisa em ciências humanas e sociais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 mai. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços do Sistema Único de Saúde. Brasília, DF, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. **Termo de referência para elaboração de Plano Municipal de Saneamento Básico**: Revisão: fevereiro de 2018: Instrumento de apoio da cooperação técnica da Fundação Nacional de Saúde - Funasa/MS. Brasília, DF, 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. **Manual de saneamento**. 5. ed. Brasília: Funasa, 2019a.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural**. Brasília, DF, 2019b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Diagnóstico do abastecimento de água para consumo humano no Brasil em 2019. **Boletim Epidemiológico**, v. 51, n. 13, pp. 37–52, 2020a.

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, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 jul. 2020b. Seção 1. Página 1.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **SISAGUA – Cobertura de**

abastecimento. 2020c. Disponível em:
http://sage.saude.gov.br/dados/sisagua/8Cobertura_de_abastecimento/8CoberturaAbastecimento.zip. Acesso em: 20 nov. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **SISAGUA – Pontos de captação de água**. 2020d. Disponível em:
http://sage.saude.gov.br/dados/sisagua/10Pontos_de_captacao_de_agua/10PontoCaptacao.zip. Acesso em: 20 nov. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **SISAGUA – Tratamento de água**. 2020e. Disponível em:
http://sage.saude.gov.br/dados/sisagua/9Tratamento_de_agua/9TratamentoAgua.zip. Acesso em: 20 nov. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **SISAGUA – Amostras de vigilância (Parâmetros básicos)**. 2020f. Disponível em:
https://sage.saude.gov.br/dados/sisagua/vigilancia_parametros_basicos_2020.zip. Acesso em: 20 nov. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **SISAGUA – Amostras de vigilância (Parâmetros básicos)**. 2022. Disponível em:
https://sage.saude.gov.br/dados/sisagua/vigilancia_parametros_basicos_2021.zip. Acesso em: 20 nov. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde/Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS nº 888 de 4 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. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07 mai. 2021. Seção 1. Página 127.

BRASIL. Serviço Geológico Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM). Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). Ficha Técnica Completa de Poço. 2004. Disponível em
<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe.php?ponto=4300006913>. Acesso em: 05 fev. 2022.

CIC VALE DO TAQUARI. **Municípios que compõem o Vale do Taquari**. c2021. Disponível em: <https://www.cicvaledotaquari.com.br/cic-vt/o-vale-do-taquari>. Acesso em: 20 jan. 2021.

CORDIS. **TECHNEAU: technology enabled universal access to safe water**. 2013. Disponível em: <https://cordis.europa.eu/project/id/18320>. Acesso em: 20 abr. 2020.

CORRÊA, R. F. M.; VENTURA, K. S. Instrumento para implementação do Plano de Segurança da Água em comunidades rurais: validação em um acampamento de agricultores no município de São Carlos, SP. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 8, n. 54, pp. 65–79, 2020.

CORRÊA, R. F. M. **Elaboração de modelo conceitual para monitoramento de riscos à contaminação da água em comunidades rurais**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.

DAVISON, A. *et al.* **Water Safety Plans**: Managing drinking-water quality from catchment to consumer. Geneva, 2005.

DEBIASI, R. **Avaliação de vulnerabilidade dos pequenos sistemas de abastecimento de água no estado do Rio Grande do Sul**. 2016. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

DEERE, D. *et al.* Management strategies. In: FEWTRELL, L.; BARTRAM, J. **Water quality**: Guidelines, Standards and Health: Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease. London: IWA Publishing, WHO, Smittskyddsinstitutet, 2001, cap. 12, pp. 257-288.

DEWETTINCK, T. *et al.* HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) to guarantee safe water reuse and drinking water production – A case study. **Water Science and Technology**, v. 43, n. 12, pp. 31–38, 2001.

FERREIRA, A. C. S.; PÁDUA, V. L. Qualidade da água para consumo humano. In: HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016, cap. 4, pp. 151-218.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GODFREY, S.; HOWARD, G. **Water Safety Plans: Book 1**: Planning Water Safety Management for Urban Piped Water Supplies in Developing Countries. Loughborough: Water, Engineering and Development Centre, Loughborough University, 2005a.

GODFREY, S.; HOWARD, G. **Water Safety Plans: Book 2**: Supporting Water Safety Management for Urban Piped Water Supplies in Developing Countries. Loughborough: Water, Engineering and Development Centre, Loughborough University, 2005b.

GOOGLE. Google Earth website. <http://earth.google.com/>, 2009.

HÄGGQVIST, J.; LARSSON, A. **Investigating the state of rural water supply in Rio Grande do Sul, Brazil**: a regional study on the implementation of United Nations Sustainable Development Goal 6.1: safe and affordable drinking water for all. 2020.

Master Thesis. Division of Water Resources Engineering Department of Building & Environmental Technology Lund University. Lund, 2020.

HASAN, T. J.; HICKING, A.; DAVID, J. Empowering rural communities: Simple Water Safety Plans. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 11, n. 3, pp. 309–317, 2011.

HAVELAAR, A. H. Application of HACCP to drinking water supply. **Food Control**, v. 5, n. 3, pp. 145-152, 1994.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.

HOKSTAD, P. *et al.* **Methods for risk analysis of drinking water systems from source to tap**: guidance report on risk analysis. TECHNEAU, 2009.

HOWARD, G. Water safety plans for small systems: a model for applying HACCP concepts for cost-effective monitoring in developing countries. **Water Science and Technology**, v. 47, n. 3, pp. 215–220, 2003.

HOWARD, G. *et al.* Water safety plans for piped urban supplies in developing countries: a case study from Kampala, Uganda. **Urban Water Journal**, [s. l.], v. 2, n. 3, pp. 161–170, 2005.

HUBBARD, B. *et al.* Awareness, adoption and implementation of the water safety plan methodology: insights from five Latin American and Caribbean experiences. **Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development**, v. 3, n. 4, pp. 541–548, 2013.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**: Famílias e domicílios: resultados da amostra. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**: síntese de indicadores 2014. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

IBGE. Portal Cidades. Travesseiro (RS). IBGE, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/travesseiro/panorama>. Acesso em: 20 nov. 2020.

INSTITUTO DE MÉTRICA E AVALIAÇÃO EM SAÚDE (IHME). **Estudo de Carga de Doença Global**: gerando evidências, informando políticas de saúde. Seattle, WA: IHME, 2013.

KAZNER, C.; VAN DEN HOVEN, T.; WIELINGA, R. TECHNEAU: a collective effort towards safe water supply. In: VAN DEN HOVEN, T.; KAZNER, C. **TECHNEAU: Safe Drinking Water from Source to Tap**: State of the Art & Perspectives. 1st ed. London: IWA Publishing, 2009, pp. 3-14.

KOŽÍŠEK, F. *et al.* **Risk assessment case study**: Březnice, Czech Republic. TECHNEAU, 2008.

LINDHE, A. *et al.* **Risk assessment case studies**: Summary report. TECHNEAU, 2010.

MAHMUD, S. G. *et al.* Development and implementation of water safety plans for small water supplies in Bangladesh: benefits and lessons learned. **Journal of Water and Health**, London: IWA Publishing, v. 5, n. 4, pp. 585–597, 2007.

MORENO, J. **Avaliação e gestão de riscos no controle da qualidade da água em redes de distribuição**: estudo de caso. 2009. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

NEW ZEALAND. Ministry of Health. **Small Drinking-water Supplies**: water safety kit. Wellington: Ministry of Health, 2014.

SAMWEL, M.; JORRITSMA, F.; RADU, O. **Lessons from Water Safety Plans for small-scale water supply systems as developed by schools in Romania**. Women in Europe for a Common Future, 2010.

SANTOS, G. **Filtro de tratamento recupera poço artesiano em Travesseiro**. Grupo A Hora. 2022. Disponível em: <https://grupoahora.net.br/conteudos/2022/02/17/filtro-de-tratamento-recupera-poco-artesiano-em-travesseiro/>. Acesso em 15 mar. 2022.

RASHON. Guía para la Implementación de Planes de Seguridad de Agua en el Sector Rural de Honduras: Metodología basada en la gestión de riesgos. Red de Agua y Saneamiento de Honduras, RASHON. 2009.

RAZZOLINI, M. T. P.; GÜNTHER, W. M. R. Impactos na saúde das deficiências de acesso à água. **Saúde e Sociedade**, v. 17, n. 1, pp. 21-32, 2008.

RICKERT, B. *et al.* **Water safety plan: a field guide to improving drinking- water safety in small communities**. 2014.

RINEHOLD, A. *et al.* Water safety plan demonstration projects in Latin America and the Caribbean: lessons from the field. **Water Sci. Technol.** 11 (3), pp. 297–308.

ROSÉN L. *et al.* **Generic Framework and Methods for Integrated Risk Management in Water Safety Plans**. TECHNEAU, 2007.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Departamento de Recursos Hídricos (SEMA/DRH). **Plano de Bacia Taquari-Antas**: Relatório técnico síntese: Etapas A e B. SEMA/DRH, 2012.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura. Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento (SEMA/DHRS). **Nota Técnica nº 001/2021/DIOUT-DIPLA/DRHS**. Assunto: Empreendimentos hidrelétricos no estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 17 dez. 2021. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202112/29163856-nt-diout-dipla-01-2021.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2022.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (Fepam). Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas/RS. Diretrizes Regionais para o Licenciamento Ambiental das Hidrelétricas. 2001. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/Taquari-Antas/>. Acesso em: 20 abr. 2022.

SOUZA, C. M. N. *et al.* **Saneamento**: promoção da saúde, qualidade de vida e sustentabilidade ambiental. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2015.

TÖRNQVIST M.; ÖFVERSTRÖM B.; SWARTZ C. (2009). **Risk assessment case study**: Upper Mnyameni, South Africa. **TECHNEAU**, 2009.

TRAVESSEIRO. **Plano Municipal de Saneamento Básico**: Produto G: Consolidação dos Produtos, Minuta do Projeto de Lei e Resumo Executivo PMSB. Travesseiro, 2019.

TSITSIFLI, S.; TSOUKALAS, D. S. Water Safety Plans and HACCP implementation in water utilities around the world: benefits, drawbacks and critical success factors. **Environ Sci Pollut Res**, Heidelberg: Springer Nature, 2019.

UFRGS. **Sistema de Apoio ao Saneamento Básico**, 2019. Plano Municipal de Saneamento Básico. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/planomsb/>. Acesso em: 15 mai. 2022.

VENTURA, K. S.; VAZ FILHO, P.; NASCIMENTO, S. G. Plano de segurança da água implementado na estação de tratamento de água de Guaraú, em São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 1, pp. 109–119, 2019.

VIEIRA, J. M. P., MORAIS, C. **Planos de segurança em sistemas públicos de abastecimento de água para consumo humano**. Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Universidade do Minho. 2005.

VIEIRA, J. M. P. A strategic approach for Water Safety Plans implementation in Portugal. **Journal of Water and Health**, London: IWA Publishing, v. 9, n. 1, pp. 107-116, 2011.

WHO. **Water Safety Planning for Small Community Water Supplies**: step-by-step risk management guidance for drinking-water supplies in small communities. Malta, 2012.

WHO. **Global status report on Water Safety Plans**: a review of proactive risk assessment and risk management practices to ensure the safety of drinking-water. Geneva, 2017a.

WHO. **Guidelines for Drinking-water Quality**: fourth edition incorporation the first addendum. Geneva, 2017b.

WHO. **Safely managed drinking water**. Geneva, Switzerland: WHO, 2017c.

APÊNDICE A – SEÇÕES SELECIONADAS DA THDB TRADUZIDAS DO ORIGINAL EM INGLÊS.

Quadro 8 – Seção 2. Captação de manancial subterrâneo; Subseção 2.1. Área de captação.

(continua)

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | | Consequências potenciais | |
|------------------|-------|--------------------------|--|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|-----------|---------|------|-----------|--------------------------|--|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad./fis. | Indisp. | Seg. | Dano ext. | | |
| Área de captação | 2.1.1 | Contaminação de aquífero | Contaminação por operações industriais (incluindo descarga contínua assim como atividades de instalação, construção e outros). | | | X | | X | X | X | | | | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas, radionucleídeos). |
| Área de captação | 2.1.2 | Contaminação de aquífero | Contaminação por águas residuais (por ETE, esgotos, latrinas, tubulações de esgotamento sanitário na área de captação, etc). | | | X | | X | X | | | | | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas). Carga de nutrientes na água. |
| Área de captação | 2.1.3 | Contaminação de aquífero | Lixiviação de contaminantes (aterros sanitários utilizando resíduo ou solo contaminado, lixões, instalações de trânsito, instalações para processamento de material ou resíduo de escavação, etc). | | | X | | X | X | | | | | | Água contaminada (substâncias químicas). |
| Área de captação | 2.1.4 | Contaminação de aquífero | Trânsito e acidentes (ferrovias, aeródromos, rodovias, estacionamentos, postos de gasolina, acidentes aéreos), vazamento de óleo por carros ou barcos. | | | X | | X | X | | | | | | Água contaminada (substâncias químicas). |
| Área de captação | 2.1.5 | Contaminação de aquífero | Atividades de construção com interferência no subsolo (construção de canais, instalações de processamento ou armazenamento de substâncias perigosas). | | | X | | | X | | X | | | | Água contaminada (substâncias químicas). Falta de água bruta. |

Quadro 8 – Seção 2. Captação de manancial subterrâneo; Subseção 2.1. Área de captação.

(continua)

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | Consequências potenciais | |
|------------------|--------|--------------------------|--|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|-----------|---------|------|--------------------------|--|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad./fís. | Indisp. | Seg. | | Dano ext. |
| Área de captação | 2.1.6 | Contaminação de aquífero | Aumento de vulnerabilidade devido a atividades de mineração, cascalheiras, escavações que expõem a água subterrânea, construção de instalações de energia geotérmica e/ou sistemas de abastecimento de pequeno porte . | | | X | | X | X | X | | | | Água contaminada (substâncias químicas, radionucleídeos). |
| Área de captação | 2.1.7 | Contaminação de aquífero | Escoamento e lixiviação de substâncias de uso agrícola como fertilizantes, lodo, herbicidas, etc. | | | X | | X | X | | | | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas). Carga de nutrientes na água. |
| Área de captação | 2.1.8 | Contaminação de aquífero | Aplicação de estrume ou presença de gado na área. | | | X | | X | X | | | | | Água contaminada (patógenos). Carga de nutrientes na água. |
| Área de captação | 2.1.9 | Contaminação de aquífero | Ocorrências geofísicas (eventos hídricos extremos como chuvas torrenciais, inundações, erosão, deslizamentos, dolinas). | X | | X | | X | X | | | | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas). |
| Área de captação | 2.1.10 | Contaminação de aquífero | Acidentes ou disseminação de materiais perigosos durante atividades recreacionais (comícios, pontos de pesca, instalações esportivas) ou áreas de treinamento militar. | | | X | | X | X | | | | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas). |
| Área de captação | 2.1.11 | Contaminação de aquífero | Contaminação por atividades florestais, presença de animais silvestres, carcaças de animais, vetores de doenças. | | | X | | X | X | | | | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas). |

Quadro 8 – Seção 2. Captação de manancial subterrâneo; Subseção 2.1. Área de captação.

(conclusão)

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | Consequências potenciais | |
|------------------|--------|--|--|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|-----------|---------|------|--------------------------|---|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad./fís. | Indisp. | Seg. | | Dano ext. |
| Área de captação | 2.1.12 | Infiltração por água de outra fonte (entrada de água salgada, lixiviação de água contaminada da superfície, etc) | Áreas úmidas e planícies de inundação não separadas hidraulicamente do aquífero. | X | | X | | X | X | | | | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas). Carga de nutrientes na água. |
| Área de captação | 2.1.13 | Falta de água subterrânea | Aquífero não alimentado o suficiente ou água retirada por outros. | | | X | | | | | X | | | Falta de água bruta |
| Área de captação | 2.1.14 | Atividade biológica de tratamento reduzida | Temperatura da água abaixo de 4 °C | | | X | | | X | X | X | | | |
| Área de captação | 2.1.15 | Contaminação de aquífero | Precipitação radioativa. | | | | | | | X | | | | Água contaminada. |
| Área de captação | 2.1.16 | Contaminação de aquífero | Atividades terroristas ou de vandalismo. | | | X | | X | X | X | X | | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas, radionucleídeos). Falta de água bruta. |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008).

Quadro 9 – Seção 2. Captação de manancial subterrâneo; Subseção 2.2. Sistema de monitoramento.

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | Consequências potenciais | |
|--------------------------|-------|-----------------------------------|---|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|------------|---------|------|--------------------------|--|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad. /fís. | Indisp. | Seg. | | Dano ext. |
| Sistema de monitoramento | 2.2.1 | Falha do sistema de monitoramento | Acidente, defeito, falta de energia, falha operacional, sabotagem, poços de observação danificados. | X | X | X | | X | X | | X | | | Água contaminada. Falta de água bruta. |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 10 – Seção 4. Infiltração de água da superfície; Subseção 4.2. Área de captação.

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | Consequências potenciais | |
|------------------|-------|--|--|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|-----------|---------|------|--------------------------|--|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad./fís. | Indisp. | Seg. | | Dano ext. |
| Área de captação | 4.2.1 | Falta de água infiltrada no solo/área do aquífero | Atividade humana - construção de estruturas ao longo das margens do rio, má gestão do uso do solo, irrigação, má conservação do solo, impedimento de transferência da água de superfície, obstrução dos pontos de infiltração. | | | X | | | | | X | | | Falta de água no solo levando à baixa saída/pressão. |
| Área de captação | 4.2.2 | Contaminação do sistema de água subterrânea (infiltração) devido a fonte superficial poluída | Descarga de efluentes, lixões, escoamento superficial, acidentes ou desastres naturais. | | | X | | X | X | | | | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas). |
| Área de captação | 4.2.3 | Conflitos | Conflito de interesses entre aspectos ecológicos e de abastecimento. | | | X | | | | | X | | | Ações políticas levando à falta de água. |
| Área de captação | 4.2.4 | Contaminação do sistema de água subterrânea | Poluentes atmosféricos. | | | X | | X | X | X | | | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas). |
| Área de captação | 4.2.5 | Entrada de água de inundações no sistema subterrâneo | Inundação. | | | X | | X | X | | | | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas). |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 11 – Seção 4. Infiltração de água da superfície; Subseção 4.3. Sistema de monitoramento.

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | Consequências potenciais | |
|--------------------------|-------|-----------------------------------|---|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|-----------|---------|------|--------------------------|---|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad./fís. | Indisp. | Seg. | | Dano ext. |
| Sistema de monitoramento | 4.3.1 | Falha do sistema de monitoramento | Acidente, defeito, falta de energia, falha operacional, sabotagem, poços de observação danificados. | X | X | X | | X | X | | X | | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas). Poluição ambiental. |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 12 – Seção 5. Manancial subterrâneo e infiltração, captação e transporte; Subseção 5.1. Unidade de captação

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | | Consequências potenciais | |
|-----------------------|-------|--|--|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|-----------|---------|------|-----------|--------------------------|---|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad./fís. | Indisp. | Seg. | Dano ext. | | |
| Situação genérica | 5.1.1 | Entrada de água superficial no sistema | Árvores, raízes, rachaduras no concreto. | X | X | X | | X | X | | | | | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas). Danos à infraestrutura. |
| Situação genérica | 5.1.2 | Contaminação da água subterrânea | Infiltração de água de escoamento. | X | | X | | X | X | | X | | | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas). |
| Aberturas no sistema | 5.1.3 | Contaminação por aberturas (cabeça de poço, tubulação de ventilação, câmaras de filtração..) | Contaminação por inundação, sabotagem, animais, etc. | X | X | X | | X | X | X | | | X | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas). |
| Proteção (cercamento) | 5.1.4 | Falha de segurança causando contaminação | Fechamento inadequado do sistema, sabotagem, etc. | X | X | X | | X | X | X | X | | X | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas). |
| Camadas de bentonita | 5.1.5 | Depósito de solo e bypass hidráulico | Camadas de bentonita impróprias ou ausentes. | X | | | | X | X | X | | | | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas). |
| Câmara do poço | 5.1.6 | Depósito de solo, inundação, materiais corrosivos | Manutenção inapropriada, ausência de alarme de inundação e bomba backup. | X | X | | | X | X | X | | | | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas). |
| Câmara do poço | 5.1.7 | Obstrução de poço e bombas | Composição química do aquífero. | | | X | | | | | X | | | | Composição inadequada da água bruta. |
| Bacias de infiltração | 5.1.8 | Contaminação da água subterrânea | Falhas na operação das bacias de infiltração. | | X | | | | X | X | | | | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas). |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 13 – Seção 5. Manancial subterrâneo e infiltração, captação e transporte; Subseção 5.2. Transporte de água subterrânea.

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | | Consequências potenciais | |
|-------------------------|-------|----------------------|---|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|------------|---------|------|-----------|--------------------------|----------------------|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad. /fís. | Indisp. | Seg. | Dano ext. | | |
| Bombas | 5.2.1 | Falta de energia | Interrupção do fornecimento de energia e ausência de backup. | X | X | X | | | | | | X | | | Falta de água bruta. |
| Tubulação de água bruta | 5.2.2 | Ruptura da tubulação | Más condições da tubulação ou causas externas (ex.: deslizamentos). | X | X | X | | | | | | X | X | X | Falta de água bruta. |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 14 – Seção 5. Manancial subterrâneo e infiltração, captação e transporte; Subseção 5.3. Sistema de monitoramento.

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | | Consequências potenciais | |
|--------------------------|-------|-----------------------------------|---|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|------------|---------|------|-----------|--------------------------|--|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad. /fís. | Indisp. | Seg. | Dano ext. | | |
| Sistema de monitoramento | 5.3.1 | Falha do sistema de monitoramento | Acidente, defeito, falta de energia, falha operacional, sabotagem, poços de observação danificados. | X | X | X | | X | X | | | X | | | Água contaminada. Falta de água bruta. |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 15 – Seção 6. Tratamento; Subseção 6.1. Tratamento, perigos genéricos.

(continua)

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | | Consequências potenciais |
|------------|-------|--|---|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|-----------|---------|------|-----------|---|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad./fís. | Indisp. | Seg. | Dano ext. | |
| Geral | 6.1.1 | Danos/destruição de módulos de tratamento | Desastres naturais (terremotos, temporais), incêndios, más condições de construção, etc. | | | X | | X | X | X | X | X | X | Água contaminada. Falta de água. Danos à estrutura. |
| Geral | 6.1.2 | Contaminação nuclear (direta ou indiretamente) | Acidente nuclear. | | | X | | | | X | X | | | Água contaminada. Danos à estrutura. |
| Água bruta | 6.1.3 | Quantidade de água bruta insuficiente | Perigos na abstração ou transporte da água bruta. | | | | X | X | X | X | X | | | Água contaminada. Falta de água. |
| Água bruta | 6.1.4 | Qualidade de água bruta insuficiente | Perigos na abstração ou transporte da água bruta. | | | | X | X | X | X | X | | | Água contaminada. Falta de água. |
| Água bruta | 6.1.5 | Erro de amostragem | Contaminação nos pontos de amostragem (especialmente com pressão negativa); pontos de amostragem sem acesso fácil. | X | X | | | X | X | X | | | | Conhecimento reduzido sobre a qualidade real da água. |
| Projeto | 6.1.6 | Projeto inadequado do processo de tratamento em relação à qualidade da água bruta e condições locais | Remoção ineficiente de contaminantes e controle de subprodutos da desinfecção, falta de conhecimento específico devido à terceirização de serviço, etc. | X | | X | X | X | X | X | X | X | | Água contaminada. Falta de água. |
| Operação | 6.1.7 | Operação ou manutenção do processo de tratamento não ideal | Coagulantes ou oxidantes inadequados, manutenção de nível de pH incorreto, dosagem de coagulantes ou oxidantes inadequada, falta de conhecimento específico devido a terceirização de serviço, etc. | X | X | | | X | X | | X | | | Água contaminada. Falta de água. |

Quadro 15 – Seção 6. Tratamento; Subseção 6.1. Tratamento, perigos genéricos.

(conclusão)

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | | Consequências potenciais |
|--------------------------|--------|--|---|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|-----------|---------|------|-----------|--|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad./fís. | Indisp. | Seg. | Dano ext. | |
| Controle de fluxo | 6.1.8 | Fluxo não ideal | Medidor de vazão não calibrado. | X | X | | | X | X | | X | | | Água contaminada. Falta de água. |
| Uso de materiais | 6.1.9 | Contaminação ou desgaste devido ao uso de materiais não adequados para contato com água de abastecimento | Revestimentos, resinas de troca iônica, ferro sem proteção contra corrosão, etc. | X | | | | X | X | | | | | Água contaminada (substâncias químicas, patógenos). |
| Instalações no subsolo | 6.1.10 | Submersão de bombas, e/ou interrupção de processo | Vazamento de tubulação principal, ruptura de paredes . | X | X | | | X | X | X | X | X | X | Água contaminada. Danos à estrutura. Impacto ambiental e de segurança. |
| Energia elétrica | 6.1.11 | Falta de energia elétrica | Ausência de fornecimento ou energia elétrica instável, ausência de plano substituto ou plano falho, controle operacional automático desligado durante tempestades e relâmpagos. | X | X | X | | X | X | X | X | X | | Água contaminada. Falta de água. |
| Manutenção de patrimônio | 6.1.12 | Falha de manutenção | Plano de manutenção inadequado. | | X | | | X | X | X | X | X | X | Água contaminada. Falta de água. |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008).

Quadro 16 – Seção 6. Tratamento; Subseção 6.2. Substâncias químicas usadas para tratamento ou desinfecção.

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | Consequências potenciais | |
|---------------------------------|-------|---|--|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|------------|---------|------|--------------------------|--|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad. /fís. | Indisp. | Seg. | | Dano ext. |
| Qualidade dos produtos químicos | 6.2.1 | Má qualidade dos produtos químicos | Problemas de fábrica ou transporte dos produtos químicos; uso de produtos vencidos. | | X | X | | X | X | X | | X | | Tratamento insuficiente. Água contaminada (substâncias químicas). Entupimento de filtros. |
| Dosagem dos produtos químicos | 6.2.2 | Dosagem imprópria dos produtos químicos | Falha no equipamento dosador (incluindo falta de energia elétrica); fornecimento insuficiente; falha operacional (erro humano); medição incorreta. | X | X | | | X | X | X | | X | | Tratamento insuficiente. Água contaminada (substâncias químicas). Entupimento de filtros. Rápida corrosão de metais. |
| Uso dos produtos químicos | 6.2.3 | Funcionários entrando em contato inadequado com as substâncias químicas | Armazenagem inadequada de produtos químicos. | | X | | | | | | | X | | Impacto à saúde dos funcionários. |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 17 – Seção 6. Tratamento; Subseção 6.6. Desinfecção; A. Cloração.

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | Consequências potenciais | |
|--------------------|-------|---------------------------------|--|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|-----------|---------|------|--------------------------|---|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad./fís. | Indisp. | Seg. | | Dano ext. |
| Cloração gasosa | 6.6.1 | Vazamento de gás cloro | Unidades de cloração não cumprem com as normas de segurança. | X | | | | X | | | | X | X | Detecção de contaminantes na água filtrada tardia ou inexistente. |
| Cloração gasosa | 6.6.2 | Indisponibilidade de gás cloro | Erro na verificação dos níveis dos cilindros de gás; problemas na reposição do cilindro. | | X | | | X | | | | | | Água contaminada (patógenos) |
| Sistema de dosagem | 6.6.3 | Defeito nos sistemas de dosagem | Erro na concentração da solução de cloro, entupimentos. | | X | | | X | | | | X | | Água contaminada (patógenos). |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 18 – Seção 7. Reservatórios e bombas; Subseção 7.1. Reservatório de água tratada.

(continua)

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | | Consequências potenciais |
|----------|-------|---|---|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|-----------|---------|------|-----------|---|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad./fís. | Indisp. | Seg. | Dano ext. | |
| Geral | 7.1.1 | Ausência de fornecimento/ Contaminação da água | Danos ou destruição do reservatório devido a desastres naturais (terremotos, furacões, inundações, deslizamentos, erupções vulcânicas). | X | | X | | X | X | X | X | X | X | Falta de água para consumidores e combate a incêndios. Contaminação da água. |
| Geral | 7.1.2 | Ausência de fornecimento/ Contaminação da água | Danos ou destruição do reservatório devido a acidentes de causa humana (colisão de carro, caminhão ou avião, deslizamentos causados por vazamento do reservatório ou escavação nas proximidades). | X | | X | | X | X | X | X | X | | Falta de água para consumidores e combate a incêndios. Contaminação da água. |
| Geral | 7.1.3 | Ausência de fornecimento/ Contaminação da água | Danos ou destruição intencional do reservatório (terrorismo, sabotagem, vandalismo, incêndio criminoso). | X | X | X | | X | X | X | X | | | Falta de água para consumidores e combate a incêndios. Contaminação da água. |
| Geral | 7.1.4 | Ausência de fornecimento/ Contaminação da água | Danos estruturais ao reservatório devido a aumento de pressão interna. | X | X | | | X | X | X | X | | | Falta de água para consumidores e combate a incêndios. Contaminação da água. |
| Geral | 7.1.5 | Falta de água | Medição errada de nível de água ou erro de processamento de dados. | | X | | | | | | X | | | Controle de bomba inadequado, pressão na rede inadequada. |
| Geral | 7.1.6 | Contaminação da água | Contaminação da rede de abastecimento intencional (terrorismo, sabotagem, vandalismo, incêndio criminoso). | | | X | | X | X | X | X | X | | Contaminação da água com patógenos, toxinas, substâncias químicas ou materiais radioativos. Restrição do uso da água. Pânico dos consumidores e perda de confiança. |
| Geral | 7.1.7 | Contaminação da água | Introdução de contaminantes por uso indevido de materiais ou erros operacionais. | X | X | | | X | X | X | | | | Água contaminada com substâncias químicas e/ou com gosto e odor. |

Quadro 18 – Seção 7. Reservatórios e bombas; Subseção 7.1. Reservatório de água tratada.

(conclusão)

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | | Consequências potenciais | |
|--------------|--------|-----------------------------------|--|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|-----------|---------|------|-----------|--------------------------|---|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad./fís. | Indisp. | Seg. | Dano ext. | | |
| Reservatório | 7.1.8 | Contaminação da água | Má higiene durante construção, reparo ou limpeza do reservatório. | | X | | | X | X | X | | | | | Água contaminada com substâncias químicas e/ou com gosto e odor. |
| Reservatório | 7.1.9 | Contaminação da água | Intrusão de contaminantes (fezes de animais), poeira ou pragas através de acessos mal selados ou telas mal dimensionadas ou danificadas em tubulações de descarte ou respiradouros | X | X | | | X | X | | | | | | Água contaminada (substâncias químicas, patógenos, poeira e/ou pragas). |
| Reservatório | 7.1.10 | Contaminação da água | Intrusão de contaminantes por rachaduras na tampa do reservatório. | X | X | X | | X | X | | | | | | Água contaminada (substâncias químicas, patógenos, poeira e/ou pragas). |
| Reservatório | 7.1.11 | Contaminação da água | Intrusão de contaminantes por rachaduras das paredes ou no fundo do reservatório. | X | X | X | | X | X | | | | | | Água contaminada (substâncias químicas, patógenos). |
| Reservatório | 7.1.12 | Deterioração da qualidade da água | Envelhecimento da água devido a baixas taxas de circulação ou mistura hidráulica irregular . | X | X | | | X | | X | | | | | Água de má qualidade microbiológica e com gosto/odor. |
| Reservatório | 7.1.13 | Deterioração da qualidade da água | Acúmulo excessivo de sedimentos no fundo do reservatório. | X | X | | X | X | | X | | | | | Água de má qualidade microbiológica e com gosto/odor/cor. |
| Reservatório | 7.1.14 | Deterioração da qualidade da água | Acúmulo excessivo de biofilme nas paredes do tanque. | X | X | | X | X | | X | | | | | Água de má qualidade microbiológica e com gosto/odor. |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 19 – Seção 7. Reservatórios e bombas; Subseção 7.3. Válvulas.

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | Consequências potenciais | |
|-----------------------------------|-------|---|---|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|-----------|---------|------|--------------------------|---|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad./fís. | Indisp. | Seg. | | Dano ext. |
| Válvulas de isolamento e controle | 7.3.1 | Nenhuma/baixa pressão/fluxo na rede. Contaminação da água da rede. | Erro de projeto ou operação da válvula, válvula defeituosa. | X | X | | | X | X | | X | | | Falta de água para consumidores e combate a incêndios. Contaminação da água. |
| Válvulas de controle | 7.3.2 | Nenhuma/baixa pressão/fluxo na rede. Contaminação da água da rede. | Danos ou destruição de tubulação devido a golpes de ariete. | X | X | | | X | X | | X | | | Falta de água para consumidores e combate a incêndios. Contaminação da água. |
| Válvulas de controle | 7.3.3 | Contaminação da água | Introdução de contaminantes por uso indevido de materiais ou erros operacionais. | | X | | | | X | X | | | | Água contaminada (substâncias químicas) e/ou com gosto e odor. |
| Válvulas de controle | 7.3.4 | Contaminação da água | Má higiene durante instalação, manutenção ou reparo de válvulas. | | X | | | X | X | X | | | | Água contaminada (substâncias químicas, patógenos) e/ou com gosto e odor. |
| Válvulas de redução de pressão | 7.3.5 | Pressão excessiva na rede | Parâmetros ou controle inadequados ou com defeito/falha na válvula de redução de pressão. | X | X | | | | | | X | | | Pressão excessiva na rede. Aumento de vazamentos/ruptura de tubulação. |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 20 – Seção 8. Transporte e distribuição. Subseção 8.1. Rede de distribuição.

(continua)

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | | Consequências potenciais | |
|-----------|-------|--------------------------------------|---|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|------------|---------|------|-----------|--------------------------|--|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad. /fís. | Indisp. | Seg. | Dano ext. | | |
| Tubulação | 8.1.1 | Falta de água | Ruptura de tubulação devido a tensões externas extremas (tempestades, terremotos, deslizamentos, congelamento e degelo, incidentes de trânsito, etc). | X | | X | | | | | | X | X | X | Falta de água para consumidores e combate a incêndios. Água contaminada. |
| Tubulação | 8.1.2 | Falta de água | Ruptura de tubulação devido a altas tensões externas na tubulação (trânsito, movimentação de solo) combinadas a más condições da tubulação. | X | | X | | | | | | X | X | X | Falta de água para consumidores e combate a incêndios. Água contaminada. |
| Tubulação | 8.1.3 | Falta de água | Ruptura de tubulação devido a más condições da tubulação (corrosão interna/externa). | X | | X | | | | | | X | X | X | Falta de água para consumidores e combate a incêndios. Água contaminada. |
| Tubulação | 8.1.4 | Falta de água | Ruptura de tubulação devido a altas internas externas na tubulação (pressão, transientes hidráulicos). | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | Falta de água para consumidores e combate a incêndios. Água contaminada. |
| Tubulação | 8.1.5 | Falta de água | Perda de capacidade hidráulica devido a incrustações. | X | | | X | | | | | X | | | Falta de água para consumidores e combate a incêndios. |
| Tubulação | 8.1.6 | Falta de água | Capacidade da rede insuficiente devido a erro de projeto. | X | | | | | | | | X | | | Falta de água para consumidores e combate a incêndios. |
| Tubulação | 8.1.7 | Contaminação da rede de distribuição | Má higiene durante instalação, manutenção ou reparo de tubulação. | | X | | | X | X | X | | | | | Água contaminada (turbidez, substâncias químicas, patógenos). |
| Tubulação | 8.1.8 | Contaminação da rede de distribuição | Intrusão de água contaminada devido a baixas pressões ou pressão negativa na rede, junto a rachaduras ou vazamentos. | X | X | X | | X | X | | | | | | Água contaminada (substâncias químicas, patógenos). |
| Tubulação | 8.1.9 | Contaminação da rede de distribuição | Migração de substâncias de material polimérico (cloreto de vinila da tubulação de PVC). | X | | | | | | | | | | | Água contaminada (substâncias químicas). |

Quadro 20 – Seção 8. Transporte e distribuição. Subseção 8.1. Rede de distribuição.

(continua)

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | | Consequências potenciais | |
|-----------|--------|--------------------------------------|---|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|------------|---------|------|-----------|--------------------------|---|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad. /fís. | Indisp. | Seg. | Dano ext. | | |
| Tubulação | 8.1.10 | Contaminação da rede de distribuição | Transferência de contaminantes de tubulação em cimento. | X | X | | X | | X | | | | | | Água contaminada com metais (alumínio, arsênico, bário, cromo, cádmio). |
| Tubulação | 8.1.11 | Contaminação da rede de distribuição | Transferência de contaminantes de impermeabilizantes ou revestimento betuminoso. | X | X | | | | X | X | | | | | Água contaminada com hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e com gosto/cheiro. |
| Tubulação | 8.1.12 | Contaminação da rede de distribuição | Permeação de poluentes orgânicos do solo através de tubulação polimérica. | X | | X | | | X | | | | | | Água contaminada com substâncias químicas (combustíveis, solventes). |
| Tubulação | 8.1.13 | Contaminação da rede de distribuição | Refluxo de água não potável (efluentes) ou fluidos. | X | | X | | X | X | X | | | | | Água contaminada (patógenos, substâncias químicas). |
| Tubulação | 8.1.14 | Deterioração da qualidade da água | Tempos de residência na rede muito longos. | X | X | | | X | X | X | | | | | Água de má qualidade microbiológica e com gosto/odor. |
| Tubulação | 8.1.15 | Deterioração da qualidade da água | Deficit de desinfetante residual. | X | X | | X | X | | | | | | | Água de má qualidade microbiológica. |
| Tubulação | 8.1.16 | Deterioração da qualidade da água | Dosagem de desinfetante residual alta demais (distúrbio no sistema de dosagem). | X | X | | X | | X | X | | | | | Água com gosto/odor, formação de subprodutos da desinfecção. |
| Tubulação | 8.1.17 | Deterioração da qualidade da água | Ressuspensão de sedimentos ou lodo de biofilme devido a mudanças rápidas na taxa ou direção do fluxo. | X | X | | | X | X | X | | | | | Água com cor e aumento de conteúdo microbiano. |

Quadro 20 – Seção 8. Transporte e distribuição. Subseção 8.1. Rede de distribuição.

(conclusão)

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | | Consequências potenciais |
|---|------------|---|---|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|------------|---------|------|-----------|---|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad. /fís. | Indisp. | Seg. | Dano ext. | |
| Bueiros, hidrantes, hidrômetros, conexões, escotilhas (todos os pontos de acesso) | 8.1.1 8 | Contaminação da água da rede | Contaminação intencional da rede de abastecimento (terrorismo, sabotagem, vandalismo, incêndio criminoso). | X | | X | | X | X | X | X | X | | Contaminação da água com patógenos, toxinas, substâncias químicas ou materiais radioativos. Restrição do uso da água. Pânico dos consumidores e perda de confiança. |
| Válvulas e bombas | 8.1.1 9 | Falta de água | Distúrbio ou falha de válvulas e/ou bombas. | X | X | | X | | | | X | | | Falta de água para consumidores e combate a incêndio. Perturbação do controle operacional do sistema. |
| Válvulas | 8.1.2 0 | Contaminação da água da rede | Inundação do poço da válvula permitindo intrusão de contaminantes em válvula defeituosa, combinada a baixa pressão na rede. | X | X | X | | X | X | | | | | Água contaminada (substâncias químicas, patógenos). |
| Válvulas de redução de pressão | 8.1.2 1 | Pressão excessiva na rede | Parâmetros ou controle inadequados ou com defeito/falha na válvula de redução de pressão. | X | X | | | | | | X | | | Pressão excessiva na rede. Aumento de vazamentos/ruptura de tubulação. |
| Hidrante | 8.1.2 2 | Ausência/insuficiência de água para combate a incêndios | Hidrante defeituoso ou obstruído. | | X | | | | | | X | | X | Obstrução ao combate a incêndios. |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 21 – Seção 8. Transporte e distribuição. Subseção 8.2. Hidrômetros e válvulas de retenção.

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | Consequências potenciais | |
|-------------------------|-------|------------------------------|---|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|-----------|---------|------|--------------------------|--|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad./fís. | Indisp. | Seg. | | Dano ext. |
| Hidrômetros | 8.2.1 | Sub/sobremedicação | Desgaste do equipamento. | X | X | | | | | | | | | Cobrança incorreta. |
| Hidrômetros | 8.2.2 | Falta de água | Congelamento da água dentro dos hidrômetros e/ou tubulações externas expostas a temperaturas extremamente baixas. | X | | | | | | | X | | | Obstrução ao fluxo de água. |
| Hidrômetros | 8.2.3 | Falta de água | Equipamento sujo devido a incrustações ou biofilme. | | X | | X | | | | X | | | Obstrução ao fluxo de água. |
| Equipamento de retenção | 8.2.4 | Falta de água | Equipamento sujo devido a incrustações ou biofilme. | | X | | X | | | | X | | | Obstrução ao fluxo de água. |
| Equipamento de retenção | 8.2.5 | Contaminação da água da rede | Equipamentos de retenção ausentes, inadequados ou defeituosos permitindo refluxo ou sifonagem de água contaminada das dependências dos consumidores ou hidrantes. | X | X | X | | X | X | X | | | | Contaminantes (substâncias químicas, patógenos) na rede. |
| Hidrômetros | 8.2.6 | Contaminação da água da rede | Inundação do poço do hidrômetro permitindo intrusão de contaminantes por falha de vedação, combinada a baixa pressão na rede. | X | X | X | | X | X | | | | | Água contaminada (substâncias químicas, patógenos). |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 22 – Seção 11. Organização.

(continua)

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | | Consequências potenciais |
|-------------|--------|-------------------------|--|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|-----------|---------|------|-----------|---|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad./fis. | Indisp. | Seg. | Dano ext. | |
| Organização | 11.1.1 | Perturbação do processo | Uso de diretrizes desatualizadas. | | X | | | X | X | X | X | X | X | Água contaminada. Falta de água. Perigo para funcionários ou meio-ambiente. |
| Organização | 11.1.2 | Perturbação do processo | Condições financeiras ou técnicas inadequadas. | X | X | | | X | X | X | X | X | X | Água contaminada. Falta de água. Perigo para funcionários ou meio-ambiente. |
| Organização | 11.1.3 | Perturbação do processo | Organização inadequada do pessoal (ex.: não há atribuição de responsabilidades, não há um responsável, qualificações inadequadas). | X | X | | | X | X | X | X | X | X | Água contaminada. Falta de água. Perigo para funcionários ou meio-ambiente. |
| Organização | 11.1.4 | Perturbação do processo | Serviço de plantão insuficiente. | X | X | | | X | X | X | X | X | X | Água contaminada. Falta de água. Perigo para funcionários ou meio-ambiente. |
| Organização | 11.1.5 | Perturbação do processo | Pessoal insuficiente ou subqualificado. | X | X | | | X | X | X | X | X | X | Água contaminada. Falta de água. Perigo para funcionários ou meio-ambiente. |
| Organização | 11.1.6 | Perturbação do processo | Coordenação interna e planificação insuficientes. | X | X | | | X | X | X | X | X | X | Água contaminada. Falta de água. Perigo para funcionários ou meio-ambiente. |
| Organização | 11.1.7 | Perturbação do processo | Falha operacional no processo automatizado devido a erros de programação por profissionais não qualificados. | | X | | | X | X | X | X | X | X | Água contaminada. Falta de água. Perigo para funcionários ou meio-ambiente. |
| Organização | 11.1.8 | Perturbação do processo | Falha operacional no processo automatizado devido a normas de TI inadequadas. | | X | | | X | X | X | X | X | X | Água contaminada. Falta de água. Perigo para funcionários ou meio-ambiente. |

Quadro 22 – Seção 11. Organização.

(conclusão)

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | | Consequências potenciais |
|-------------|---------|-------------------------|--|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|------------|---------|------|-----------|---|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad. /fis. | Indisp. | Seg. | Dano ext. | |
| Organização | 11.1.9 | Perturbação do processo | Desconhecimento do status técnico de instalações devido à automação. | X | | | | X | X | X | X | X | X | Água contaminada. Falta de água. Perigo para funcionários ou meio-ambiente. |
| Organização | 11.1.10 | Perturbação do processo | Entrada de dados de baixa qualidade nos sistemas informacionais, erros de processamento. | | X | | | X | X | X | X | X | X | Água contaminada. Falta de água. Perigo para funcionários ou meio-ambiente. |
| Organização | 11.1.11 | Perturbação do processo | Uso de software ultrapassado ou inadequado, que não pode ser usado por outros. | | X | | | X | X | X | X | X | X | Água contaminada. Falta de água. Perigo para funcionários ou meio-ambiente. |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 23 – Seção 12. Perigos futuros (incluindo todo o sistema de abastecimento); Subseção 12.1. Manancial.

(continua)

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | | Consequências potenciais |
|-----------|--------|------------------------|--|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|------------|---------|------|-----------|--|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad. /fis. | Indisp. | Seg. | Dano ext. | |
| Manancial | 12.1.1 | Sabotagem e terrorismo | Contaminação química intencional. | | | X | | | X | | | | | Água contaminada. Falta de água. Diminuição da confiança do público. |
| Manancial | 12.1.2 | Sabotagem e terrorismo | Contaminação microbiológica intencional. | | | X | | X | | | | | | Água contaminada. Falta de água. Diminuição da confiança do público. |
| Manancial | 12.1.3 | Sabotagem e terrorismo | Informações inacessíveis à população devido a protocolos de proteção dos dados sobre o manancial, o tratamento e a distribuição. | | X | X | | X | X | X | X | X | | Introdução de novos riscos ao sistema devido à falta de informações (pelos responsáveis pelo sistema ou pelo público). |

Quadro 23 – Seção 12. Perigos futuros (incluindo todo o sistema de abastecimento); Subseção 12.1. Manancial.

(conclusão)

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | | Consequências potenciais |
|-----------|---------|----------------------------|--|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|------------|---------|------|-----------|---|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad. /fis. | Indisp. | Seg. | Dano ext. | |
| Manancial | 12.1.4 | Conflitos | Conflitos militares. | | | X | | X | X | X | X | X | X | Água contaminada. Falta de água. Danos técnicos. |
| Manancial | 12.1.5 | Conflitos | Conflitos políticos. | | | X | | | | | X | | | Ações políticas levando à falta de água. |
| Manancial | 12.1.6 | Conflitos | Competição pelo uso do solo. | | | X | | X | X | X | X | | | Água contaminada. Falta de água. |
| Manancial | 12.1.7 | Novas substâncias químicas | Descarga de novas substâncias químicas no manancial devido a acidentes ou vazamento contínuo. | | | X | | | X | | | | | Água contaminada. Falta de água. |
| Manancial | 12.1.8 | Novas substâncias químicas | Descarga de substâncias químicas devido a novas aplicações. | | | X | | | X | | | | | Substâncias químicas conhecidas são utilizadas em novas reações podem causar contaminação ou falta de água. |
| Manancial | 12.1.9 | Patógenos emergentes | Presença de patógenos emergentes capazes de superar barreiras existentes. | | X | X | | X | | | | | | Qualidade da água insuficiente. Aumento do número de infecções de veiculação hídrica. |
| Manancial | 12.1.10 | Mudanças climáticas | Novos padrões de precipitação e evaporação. | | | X | | | | | X | | | Falta de água. |
| Manancial | 12.1.11 | Mudanças climáticas | Efeitos das mudanças climáticas na qualidade da água (mudanças no escoamento superficial e transporte material). | | | X | | X | X | X | | | | Falta de água. Água contaminada (incluindo alta temperatura da água fornecida). |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 24 – Seção 12. Perigos futuros (incluindo todo o sistema de abastecimento); Subseção 12.2. Tratamento.

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | | Consequências potenciais |
|------------|---------|----------------------------|--|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|-----------|---------|------|-----------|--|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad./fís. | Indisp. | Seg. | Dano ext. | |
| Tratamento | 12.2.1 | Sabotagem e terrorismo | Danos físicos (ex.: bombardeamento). | | | X | | | | | X | X | X | Falta de água e danos técnicos. |
| Tratamento | 12.2.2 | Sabotagem e terrorismo | Contaminação química intencional. | | | X | | | X | | | | | Água contaminada. Falta de água. Diminuição da confiança do público. |
| Tratamento | 12.2.3 | Sabotagem e terrorismo | Contaminação microbiológica intencional. | | | X | | X | | | | | | Água contaminada. Falta de água. Diminuição da confiança do público. |
| Tratamento | 12.2.4 | Sabotagem e terrorismo | Indivíduos entrando na planta e sabotando o processo. | | | X | | X | X | X | X | | | Água contaminada. Falta de água. |
| Tratamento | 12.2.5 | Sabotagem e terrorismo | Ataque virtual. | | | X | | X | X | X | X | | | Água contaminada. Falta de água. |
| Tratamento | 12.2.6 | Sabotagem e terrorismo | Informações inacessíveis à população devido a protocolos de proteção dos dados sobre o manancial, o tratamento e a distribuição. | | X | X | | X | X | X | X | X | | Introdução de novos riscos ao sistema devido à falta de informações (pelos responsáveis pelo sistema ou pelo público). |
| Tratamento | 12.2.7 | Conflitos | Conflitos militares. | | | X | | X | X | X | X | X | X | Água contaminada. Falta de água. Danos técnicos. |
| Tratamento | 12.2.8 | Conflitos | Conflitos políticos. | | | X | | | | | X | | | Ações políticas levando à falta de água |
| Tratamento | 12.2.9 | Novas substâncias químicas | Descarga de substâncias químicas devido a novas aplicações. | | | X | | | X | | | | | Substâncias químicas conhecidas são utilizadas em novas reações podem causar contaminação ou falta de água. |
| Tratamento | 12.2.10 | Patógenos emergentes | Presença de patógenos emergentes capazes de superar barreiras existentes. | | X | X | | X | | | | | | Qualidade da água insuficiente. Aumento do número de infecções de veiculação hídrica. |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 25 – Seção 12. Perigos futuros (incluindo todo o sistema de abastecimento); Subseção 12.3. Distribuição.

(continua)

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | | Consequências potenciais | |
|--------------|--------|----------------------------|--|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|-----------|---------|------|-----------|--------------------------|--|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad./fis. | Indisp. | Seg. | Dano ext. | | |
| Distribuição | 12.3.1 | Sabotagem e terrorismo | Danos físicos (ex.: bombardeamento). | | | X | | | | | | X | X | X | Falta de água e danos técnicos. |
| Distribuição | 12.3.2 | Sabotagem e terrorismo | Contaminação química intencional. | | | X | | | X | | | | | | Água contaminada. Falta de água. Diminuição da confiança do público. |
| Distribuição | 12.3.3 | Sabotagem e terrorismo | Contaminação microbiológica intencional. | | | X | | X | | | | | | | Água contaminada. Falta de água. Diminuição da confiança do público. |
| Distribuição | 12.3.4 | Sabotagem e terrorismo | Ataque virtual. | | | X | | X | X | X | X | | | | Água contaminada. Falta de água. |
| Distribuição | 12.3.5 | Sabotagem e terrorismo | Informações inacessíveis à população devido a protocolos de proteção dos dados sobre o manancial, o tratamento e a distribuição. | | X | X | | X | X | X | X | X | X | | Introdução de novos riscos ao sistema devido à falta de informações (pelos responsáveis pelo sistema ou pelo público). |
| Distribuição | 12.3.6 | Conflitos | Conflitos militares. | | | X | | X | X | X | X | X | X | X | Água contaminada. Falta de água. Danos técnicos. |
| Distribuição | 12.3.7 | Conflitos | Conflitos políticos. | | | X | | | | | X | | | | Ações políticas levando à falta de água |
| Distribuição | 12.3.8 | Novas substâncias químicas | Descarga de substâncias químicas devido a novas aplicações. | | | X | | | X | | | | | | Substâncias químicas conhecidas são utilizadas em novas reações podem causar contaminação ou falta de água. |
| Distribuição | 12.3.9 | Patógenos emergentes | Presença de patógenos emergentes capazes de superar barreiras existentes. | | X | X | | X | | | | | | | Qualidade da água insuficiente. Aumento do número de infecções de veiculação hídrica. |

Quadro 25 – Seção 12. Perigos futuros (incluindo todo o sistema de abastecimento); Subseção 12.3. Distribuição.

(conclusão)

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | | Consequências potenciais | |
|--------------|---------|----------------------------------|--|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|------------|---------|------|-----------|--------------------------|--|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad. /fis. | Indisp. | Seg. | Dano ext. | | |
| Distribuição | 12.3.10 | Sistemas de distribuição antigos | Sistema de distribuição danificado e possível intrusão de contaminantes. | | | X | | X | X | X | X | | | X | Falta de água. Água contaminada. Danos técnicos. |
| Distribuição | 12.3.11 | Sistemas de distribuição antigos | Aumento do tempo de retenção devido a sistemas superdimensionados. | | | X | | X | | | | | | | Água contaminada (patógenos). |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 26 – Seção 12. Perigos futuros (incluindo todo o sistema de abastecimento); Subseção 12.4. Consumidor.

| Elemento | Ref. | Perigo | Evento perigoso | Tipo de evento perigoso | | | | Tipo de perigo | | | | | Consequências potenciais | |
|--------------|--------|------------------------|--|-------------------------|---|---|----|----------------|-----|-----------|---------|------|--------------------------|---|
| | | | | P | O | E | OS | Bio | Qui | Rad./fís. | Indisp. | Seg. | | Dano ext. |
| Consumidores | 12.4.1 | Sabotagem e terrorismo | Mudança no comportamento humano após ataques terroristas que passam a evitar água da torneira. | | | X | | X | X | | X | | | Dano indireto. População passa a consumir água de outras fontes que podem ser de má qualidade e causar danos. |
| Consumidores | 12.4.2 | Patógenos emergentes | Mudança nos padrões de infecção (aumento da exposição a patógenos). | | | X | | X | | | | | | Aumento no número de infecções de veiculação hídrica. |
| Consumidores | 12.4.3 | Interesse público | Relatórios sobre a detecção de substâncias químicas ou patógenos de tolerância baixa. | | | X | | | | | | | X | Ansiedade e diminuição da confiança no fornecimento de água. |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

**APÊNDICE B – CHECKLIST RESULTANTE DA IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS
POTENCIAIS NA ÁREA DE ESTUDO**

Quadro 27 – Seção 2. Captação de manancial subterrâneo; Subseção 2.1. Área de captação.

(continua)

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|-------------|------------------|--------------------------|---|-------------------|
| 2.1.1 | Área de captação | Contaminação de aquífero | Contaminação por operações industriais (incluindo descarga contínua assim como atividades de instalação, construção e outros). | 2 |
| 2.1.2 | Área de captação | Contaminação de aquífero | Contaminação por águas residuais (por ETE, esgotos, latrinas, tubulações de esgotamento sanitário na área de captação etc.). | 2 |
| 2.1.3 | Área de captação | Contaminação de aquífero | Lixiviação de contaminantes (aterros sanitários utilizando resíduo ou solo contaminado, lixões, instalações de trânsito, instalações para processamento de material ou resíduo de escavação etc.). | |
| 2.1.4 | Área de captação | Contaminação de aquífero | Trânsito e acidentes (ferrovias, aeródromos, rodovias, estacionamentos, postos de gasolina, acidentes aéreos), vazamento de óleo por carros ou barcos. | 2 |
| 2.1.5 | Área de captação | Contaminação de aquífero | Atividades de construção com interferência no subsolo (construção de canais, instalações de processamento ou armazenamento de substâncias perigosas). | |
| 2.1.6 | Área de captação | Contaminação de aquífero | Aumento de vulnerabilidade devido a atividades de mineração, cascalheiras, escavações que expõem a água subterrânea, construção de instalações de energia geotérmica e/ou sistemas de abastecimento de pequeno porte. | |

Quadro 27 – Seção 2. Captação de manancial subterrâneo; Subseção 2.1. Área de captação

(conclusão)

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|--------|------------------|--|--|------------|
| 2.1.7 | Área de captação | Contaminação de aquífero | Escoamento e lixiviação de substâncias de uso agrícola como fertilizantes, lodo, herbicidas etc. | 3 |
| 2.1.8 | Área de captação | Contaminação de aquífero | Aplicação de estrume ou presença de gado na área. | 3 |
| 2.1.9 | Área de captação | Contaminação de aquífero | Ocorrências geofísicas (eventos hídricos extremos como chuvas torrenciais, inundações, erosão, deslizamentos, dolinas). | 3 |
| 2.1.10 | Área de captação | Contaminação de aquífero | Acidentes ou disseminação de materiais perigosos durante atividades recreacionais (comícios, pontos de pesca, instalações esportivas) ou áreas de treinamento militar. | 1 |
| 2.1.11 | Área de captação | Contaminação de aquífero | Contaminação por atividades florestais, presença de animais silvestres, carcaças de animais, vetores de doenças. | 2 |
| 2.1.12 | Área de captação | Infiltração por água de outra fonte (entrada de água salgada, lixiviação de água contaminada da superfície etc.) | Áreas úmidas e planícies de inundação não separadas hidraulicamente do aquífero. | 3 |
| 2.1.13 | Área de captação | Falta de água subterrânea | Aquífero não alimentado o suficiente ou água retirada por outros. | 3 |
| 2.1.14 | Área de captação | Atividade biológica de tratamento reduzida | Temperatura da água abaixo de 4 °C. | |
| 2.1.15 | Área de captação | Contaminação de aquífero | Precipitação radioativa. | |
| 2.1.16 | Área de captação | Contaminação de aquífero | Atividades terroristas ou de vandalismo. | |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 28 – Seção 2. Captação de manancial subterrâneo; Subseção 2.2. Sistema de monitoramento.

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|-------|--------------------------|-----------------------------------|---|------------|
| 2.2.1 | Sistema de monitoramento | Falha do sistema de monitoramento | Acidente, defeito, falta de energia, falha operacional, sabotagem, poços de observação danificados. | |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 29 – Seção 4. Infiltração de água da superfície; Subseção 4.2. Área de captação.

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|-------|------------------|--|--|------------|
| 4.2.1 | Área de captação | Falta de água infiltrada no solo/área do aquífero | Atividade humana – construção de estruturas ao longo das margens do rio, má gestão do uso do solo, irrigação, má conservação do solo, impedimento de transferência da água de superfície, obstrução dos pontos de infiltração. | 3 |
| 4.2.2 | Área de captação | Contaminação do sistema de água subterrânea (infiltração) devido à fonte superficial poluída | Descarga de efluentes, lixões, escoamento superficial, acidentes ou desastres naturais. | 3 |
| 4.2.3 | Área de captação | Conflitos | Conflito de interesses entre aspectos ecológicos e de abastecimento. | |
| 4.2.4 | Área de captação | Contaminação do sistema de água subterrânea | Poluentes atmosféricos. | |
| 4.2.5 | Área de captação | Entrada de água de inundações no sistema subterrâneo | Inundação. | 3 |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 30 – Seção 4. Infiltração de água da superfície; Subseção 4.3. Sistema de monitoramento.

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|-------|--------------------------|-----------------------------------|---|------------|
| 4.3.1 | Sistema de monitoramento | Falha do sistema de monitoramento | Acidente, defeito, falta de energia, falha operacional, sabotagem, poços de observação danificados. | |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 31 – Seção 5. Manancial subterrâneo e infiltração, captação e transporte; Subseção 5.1. Unidade de captação

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|-------|-----------------------|--|--|------------|
| 5.1.1 | Situação genérica | Entrada de água superficial no sistema | Árvores, raízes, rachaduras no concreto. | 3 |
| 5.1.2 | Situação genérica | Contaminação da água subterrânea | Infiltração de água de escoamento. | 2 |
| 5.1.3 | Aberturas no sistema | Contaminação por aberturas (cabeça de poço, tubulação de ventilação, câmaras de filtração) | Contaminação por inundação, sabotagem, animais etc. | 2 |
| 5.1.4 | Proteção (cercamento) | Falha de segurança causando contaminação | Fechamento inadequado do sistema, sabotagem etc. | 3 |
| 5.1.5 | Camadas de bentonita | Depósito de solo e bypass hidráulico | Camadas de bentonita impróprias ou ausentes. | X |
| 5.1.6 | Câmara do poço | Depósito de solo, inundação, materiais corrosivos | Manutenção inapropriada, ausência de alarme de inundação e bomba backup. | 3 |
| 5.1.7 | Câmara do poço | Obstrução de poço e bombas | Composição química do aquífero. | 1 |
| 5.1.8 | Bacias de infiltração | Contaminação da água subterrânea | Falhas na operação das bacias de infiltração. | X |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 32 – Seção 5. Manancial subterrâneo e infiltração, captação e transporte; Subseção 5.2. Transporte de água subterrânea.

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|-------|-------------------------|----------------------|---|------------|
| 5.2.1 | Bombas | Falta de energia | Interrupção do fornecimento de energia e ausência de backup. | 3 |
| 5.2.2 | Tubulação de água bruta | Ruptura da tubulação | Más condições da tubulação ou causas externas (ex.: deslizamentos). | 2 |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 33 – Seção 5. Manancial subterrâneo e infiltração, captação e transporte; Subseção 5.3. Sistema de monitoramento.

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|-------|--------------------------|-----------------------------------|---|------------|
| 5.3.1 | Sistema de monitoramento | Falha do sistema de monitoramento | Acidente, defeito, falta de energia, falha operacional, sabotagem, poços de observação danificados. | X |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 34 – Seção 6. Tratamento; Subseção 6.1. Tratamento, perigos genéricos.

(continua)

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|-------|------------|--|--|------------|
| 6.1.1 | Geral | Danos/destruição de módulos de tratamento | Desastres naturais (terremotos, temporais), incêndios, más condições de construção etc. | 3 |
| 6.1.2 | Geral | Contaminação nuclear (direta ou indiretamente) | Acidente nuclear. | |
| 6.1.3 | Água bruta | Quantidade de água bruta insuficiente | Perigos na abstração ou transporte da água bruta. | 3 |
| 6.1.4 | Água bruta | Qualidade de água bruta insuficiente | Perigos na abstração ou transporte da água bruta. | 3 |
| 6.1.5 | Água bruta | Erro de amostragem | Contaminação nos pontos de amostragem (especialmente com pressão negativa); pontos de amostragem sem acesso fácil. | 2 |

Quadro 34 – Seção 6. Tratamento; Subseção 6.1. Tratamento, perigos genéricos.

(conclusão)

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|--------|--------------------------|--|--|------------|
| 6.1.6 | Projeto | Projeto inadequado do processo de tratamento em relação à qualidade da água bruta e condições locais | Remoção ineficiente de contaminantes e controle de subprodutos da desinfecção, falta de conhecimento específico devido à terceirização de serviço etc. | 2 |
| 6.1.7 | Operação | Operação ou manutenção do processo de tratamento não ideal | Coagulantes ou oxidantes inadequados, manutenção de nível de pH incorreto, dosagem de coagulantes ou oxidantes inadequada, falta de conhecimento específico devido à terceirização de serviço etc. | X |
| 6.1.8 | Controle de fluxo | Fluxo não ideal | Medidor de vazão não calibrado. | 2 |
| 6.1.9 | Uso de materiais | Contaminação ou desgaste devido ao uso de materiais não adequados para contato com água de abastecimento | Revestimentos, resinas de troca iônica, ferro sem proteção contra corrosão etc. | 2 |
| 6.1.10 | Instalações no subsolo | Submersão de bombas, e/ou interrupção de processo | Vazamento de tubulação principal, ruptura de paredes. | |
| 6.1.11 | Energia elétrica | Falta de energia elétrica | Ausência de fornecimento ou energia elétrica instável, ausência de plano substituto ou plano falho, controle operacional automático desligado durante tempestades e relâmpagos. | 3 |
| 6.1.12 | Manutenção de patrimônio | Falha de manutenção | Plano de manutenção inadequado. | X |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 35 – Seção 6. Tratamento; Subseção 6.2. Substâncias químicas usadas para tratamento ou desinfecção.

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|-------|---------------------------------|---|--|------------|
| 6.2.1 | Qualidade dos produtos químicos | Má qualidade dos produtos químicos | Problemas de fábrica ou transporte dos produtos químicos; uso de produtos vencidos. | 1 |
| 6.2.2 | Dosagem dos produtos químicos | Dosagem imprópria dos produtos químicos | Falha no equipamento dosador (incluindo falta de energia elétrica); fornecimento insuficiente; falha operacional (erro humano); medição incorreta. | 3 |
| 6.2.3 | Uso dos produtos químicos | Funcionários entrando em contato inadequado com as substâncias químicas | Armazenagem inadequada de produtos químicos. | 2 |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 36 – Seção 6. Tratamento; Subseção 6.6. Desinfecção; A. Cloração.

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|-------|--------------------|---------------------------------|--|------------|
| 6.6.1 | Cloração gasosa | Vazamento de gás cloro | Unidades de cloração não cumprem com as normas de segurança. | |
| 6.6.2 | Cloração gasosa | Indisponibilidade de gás cloro | Erro na verificação dos níveis dos cilindros de gás; problemas na reposição do cilindro. | |
| 6.6.3 | Sistema de dosagem | Defeito nos sistemas de dosagem | Erro na concentração da solução de cloro; entupimentos. | 3 |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 37 – Seção 7. Reservatórios e bombas; Subseção 7.1. Reservatório de água tratada.

(continua)

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|-------|--------------|--|---|------------|
| 7.1.1 | Geral | Falta de água/ Contaminação da água | Danos ou destruição do reservatório devido a desastres naturais (terremotos, furacões, inundações, deslizamentos, erupções vulcânicas). | 3 |
| 7.1.2 | Geral | Falta de água/ Contaminação da água | Danos ou destruição do reservatório devido a acidentes de causa humana (colisão de carro, caminhão ou avião, deslizamentos causados por vazamento do reservatório ou escavação nas proximidades). | |
| 7.1.3 | Geral | Falta de água/ Contaminação da água | Danos ou destruição intencional do reservatório (terrorismo, sabotagem, vandalismo, incêndio criminoso). | |
| 7.1.4 | Geral | Falta de água/ Contaminação da água | Danos estruturais ao reservatório devido ao aumento de pressão interna. | |
| 7.1.5 | Geral | Falta de água | Medição errada de nível de água ou erro de processamento de dados. | 3 |
| 7.1.6 | Geral | Contaminação da água | Contaminação intencional da rede de abastecimento (terrorismo, sabotagem, vandalismo, incêndio criminoso). | |
| 7.1.7 | Geral | Contaminação da água | Introdução de contaminantes por uso indevido de materiais ou erros operacionais. | 2 |
| 7.1.8 | Reservatório | Contaminação da água | Má higiene durante construção, reparo ou limpeza do reservatório. | 2 |

Quadro 37 – Seção 7. Reservatórios e bombas; Subseção 7.1. Reservatório de água tratada.

(conclusão)

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|--------|--------------|-----------------------------------|---|------------|
| 7.1.9 | Reservatório | Contaminação da água | Intrusão de contaminantes (fezes de animais), poeira ou pragas através de acessos mal selados ou telas mal dimensionadas ou danificadas em tubulações de descarte ou respiradouros. | 3 |
| 7.1.10 | Reservatório | Contaminação da água | Intrusão de contaminantes por rachaduras na tampa do reservatório. | 2 |
| 7.1.11 | Reservatório | Contaminação da água | Intrusão de contaminantes por rachaduras das paredes ou no fundo do reservatório. | 2 |
| 7.1.12 | Reservatório | Deterioração da qualidade da água | Envelhecimento da água devido a baixas taxas de circulação ou mistura hidráulica irregular. | X |
| 7.1.13 | Reservatório | Deterioração da qualidade da água | Acúmulo excessivo de sedimentos no fundo do reservatório. | |
| 7.1.14 | Reservatório | Deterioração da qualidade da água | Acúmulo excessivo de biofilme nas paredes do tanque. | X |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 38 – Seção 7. Reservatórios e bombas; Subseção 7.3. Válvulas.

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|-------------|-----------------------------------|---|---|-------------------|
| 7.3.1 | Válvulas de isolamento e controle | Baixa pressão ou fluxo na rede/ Contaminação da água | Erro de projeto ou operação da válvula; válvula defeituosa. | 2 |
| 7.3.2 | Válvulas de controle | Baixa pressão ou fluxo na rede/ Contaminação da água | Danos ou destruição de tubulação devido a golpes de ariete. | X |
| 7.3.3 | Válvulas de controle | Contaminação da água | Introdução de contaminantes por uso indevido de materiais ou erros operacionais. | 2 |
| 7.3.4 | Válvulas de controle | Contaminação da água | Má higiene durante instalação, manutenção ou reparo de válvulas. | 2 |
| 7.3.5 | Válvulas de redução de pressão | Pressão excessiva na rede | Parâmetros ou controle inadequados ou com defeito/falha na válvula de redução de pressão. | 3 |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 39 – Seção 8. Transporte e distribuição; Subseção 8.1. Rede de distribuição.
(continua)

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|--------|-----------|--------------------------------------|---|------------|
| 8.1.1 | Tubulação | Falta de água | Ruptura de tubulação devido a tensões externas extremas (tempestades, terremotos, deslizamentos, congelamento e degelo, incidentes de trânsito etc.). | 3 |
| 8.1.2 | Tubulação | Falta de água | Ruptura de tubulação devido a altas tensões externas na tubulação (trânsito, movimentação de solo) combinadas a más condições da tubulação. | 3 |
| 8.1.3 | Tubulação | Falta de água | Ruptura de tubulação devido a más condições da tubulação (corrosão interna/externa). | 3 |
| 8.1.4 | Tubulação | Falta de água | Ruptura de tubulação devido a altas pressões internas e externas na tubulação (pressão, transientes hidráulicos). | |
| 8.1.5 | Tubulação | Falta de água | Perda de capacidade hidráulica devido a incrustações. | 2 |
| 8.1.6 | Tubulação | Falta de água | Capacidade da rede insuficiente devido a erro de projeto. | X |
| 8.1.7 | Tubulação | Contaminação da rede de distribuição | Má higiene durante instalação, manutenção ou reparo de tubulação. | 3 |
| 8.1.8 | Tubulação | Contaminação da rede de distribuição | Intrusão de água contaminada devido a baixas pressões ou pressão negativa na rede, junto a rachaduras ou vazamentos. | 3 |
| 8.1.9 | Tubulação | Contaminação da rede de distribuição | Migração de substâncias de material polimérico (cloreto de vinila da tubulação de PVC). | 3 |
| 8.1.10 | Tubulação | Contaminação da rede de distribuição | Transferência de contaminantes de tubulação em cimento. | X |
| 8.1.11 | Tubulação | Contaminação da rede de distribuição | Transferência de contaminantes de impermeabilizantes ou revestimento betuminoso. | X |

Quadro 39 – Seção 8. Transporte e distribuição; Subseção 8.1. Rede de distribuição.
(conclusão)

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|--------|---|--|---|------------|
| 8.1.12 | Tubulação | Contaminação da rede de distribuição | Permeação de poluentes orgânicos do solo através de tubulação polimérica. | X |
| 8.1.13 | Tubulação | Contaminação da rede de distribuição | Refluxo de água não potável (efluentes) ou fluidos. | X |
| 8.1.14 | Tubulação | Deterioração da qualidade da água | Tempos de residência na rede muito longos. | 3 |
| 8.1.15 | Tubulação | Deterioração da qualidade da água | Déficit de desinfetante residual. | 3 |
| 8.1.16 | Tubulação | Deterioração da qualidade da água | Dosagem de desinfetante residual alta demais (distúrbio no sistema de dosagem). | 2 |
| 8.1.17 | Tubulação | Deterioração da qualidade da água | Ressuspensão de sedimentos ou lodo de biofilme devido a mudanças rápidas na taxa ou direção do fluxo. | 3 |
| 8.1.18 | Bueiros, hidrantes, hidrômetros, conexões, escotilhas | Contaminação da água da rede | Contaminação intencional da rede de abastecimento (terrorismo, sabotagem, vandalismo, incêndio criminoso). | |
| 8.1.19 | Válvulas e bombas | Falta de água | Distúrbio ou falha de válvulas e/ou bombas. | 3 |
| 8.1.20 | Válvulas | Contaminação da água da rede | Inundação do poço da válvula permitindo intrusão de contaminantes em válvula defeituosa devido à baixa pressão na rede. | 3 |
| 8.1.21 | Válvulas de redução de pressão | Pressão excessiva na rede | Parâmetros ou controle inadequados ou com defeito/falha na válvula de redução de pressão. | 3 |
| 8.1.22 | Hidrante | Falta de água para combate a incêndios | Hidrante defeituoso ou obstruído. | |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 40 – Seção 8. Transporte e distribuição; Subseção 8.2. Hidrômetros e válvulas de retenção.

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|-------|-------------------------|------------------------------|---|------------|
| 8.2.1 | Hidrômetros | Sub/sobremedição | Desgaste do equipamento. | 3 |
| 8.2.2 | Hidrômetros | Falta de água | Congelamento da água dentro dos hidrômetros e/ou tubulações externas expostas a temperaturas extremamente baixas. | |
| 8.2.3 | Hidrômetros | Falta de água | Equipamento sujo devido a incrustações ou biofilme. | 3 |
| 8.2.4 | Equipamento de retenção | Falta de água | Equipamento sujo devido a incrustações ou biofilme. | X |
| 8.2.5 | Equipamento de retenção | Contaminação da água da rede | Equipamentos de retenção ausentes, inadequados ou defeituosos permitindo refluxo ou sifonagem de água contaminada das dependências dos consumidores ou hidrantes. | X |
| 8.2.6 | Hidrômetros | Contaminação da água da rede | Inundação do poço do hidrômetro permitindo intrusão de contaminantes por falha de vedação, combinada à baixa pressão na rede. | 3 |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 41 – Seção 11. Organização.

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|---------|-------------|-------------------------|--|------------|
| 11.1.1 | Organização | Perturbação do processo | Uso de diretrizes desatualizadas. | 3 |
| 11.1.2 | Organização | Perturbação do processo | Condições financeiras ou técnicas inadequadas. | 2 |
| 11.1.3 | Organização | Perturbação do processo | Organização inadequada do pessoal (ex.: não há atribuição de responsabilidades, não há um responsável, qualificações inadequadas). | 2 |
| 11.1.4 | Organização | Perturbação do processo | Serviço de plantão insuficiente. | 3 |
| 11.1.5 | Organização | Perturbação do processo | Pessoal insuficiente ou subqualificado. | 3 |
| 11.1.6 | Organização | Perturbação do processo | Coordenação interna e planificação insuficientes. | 3 |
| 11.1.7 | Organização | Perturbação do processo | Falha operacional no processo automatizado devido a erros de programação por profissionais não qualificados. | 2 |
| 11.1.8 | Organização | Perturbação do processo | Falha operacional no processo automatizado devido a normas de TI inadequadas. | |
| 11.1.9 | Organização | Perturbação do processo | Desconhecimento do status técnico de instalações devido à automatização. | 3 |
| 11.1.10 | Organização | Perturbação do processo | Entrada de dados de baixa qualidade nos sistemas informacionais, erros de processamento. | 3 |
| 11.1.11 | Organização | Perturbação do processo | Uso de software ultrapassado ou inadequado, que não pode ser usado por outros. | |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 42 – Seção 12. Perigos futuros (incluindo todo o sistema de abastecimento); Subseção 12.1. Manancial.

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|---------|-----------|----------------------------|--|------------|
| 12.1.1 | Manancial | Sabotagem e terrorismo | Contaminação química intencional. | |
| 12.1.2 | Manancial | Sabotagem e terrorismo | Contaminação microbiológica intencional. | |
| 12.1.3 | Manancial | Sabotagem e terrorismo | Informações inacessíveis à população devido a protocolos de proteção dos dados sobre o manancial, o tratamento e a distribuição. | 3 |
| 12.1.4 | Manancial | Conflitos | Conflitos militares. | |
| 12.1.5 | Manancial | Conflitos | Conflitos políticos. | 2 |
| 12.1.6 | Manancial | Conflitos | Competição pelo uso do solo. | 2 |
| 12.1.7 | Manancial | Novas substâncias químicas | Descarga de novas substâncias químicas no manancial devido a acidentes ou vazamento contínuo. | 2 |
| 12.1.8 | Manancial | Novas substâncias químicas | Descarga de substâncias químicas devido a novas aplicações. | 2 |
| 12.1.9 | Manancial | Patógenos emergentes | Presença de patógenos emergentes capazes de superar barreiras existentes. | 2 |
| 12.1.10 | Manancial | Mudanças climáticas | Novos padrões de precipitação e evaporação. | 3 |
| 12.1.11 | Manancial | Mudanças climáticas | Efeitos das mudanças climáticas na qualidade da água (mudanças no escoamento superficial e transporte material). | 3 |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 43 – Seção 12. Perigos futuros (incluindo todo o sistema de abastecimento); Subseção 12.2. Tratamento.

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|---------|------------|----------------------------|--|------------|
| 12.2.1 | Tratamento | Sabotagem e terrorismo | Danos físicos (ex.: bombardeamento). | |
| 12.2.2 | Tratamento | Sabotagem e terrorismo | Contaminação química intencional. | |
| 12.2.3 | Tratamento | Sabotagem e terrorismo | Contaminação microbiológica intencional. | |
| 12.2.4 | Tratamento | Sabotagem e terrorismo | Indivíduos entrando na planta e sabotando o processo. | |
| 12.2.5 | Tratamento | Sabotagem e terrorismo | Ataque virtual. | |
| 12.2.6 | Tratamento | Sabotagem e terrorismo | Informações inacessíveis à população devido a protocolos de proteção dos dados sobre o manancial, o tratamento e a distribuição. | 3 |
| 12.2.7 | Tratamento | Conflitos | Conflitos militares. | |
| 12.2.8 | Tratamento | Conflitos | Conflitos políticos. | 2 |
| 12.2.9 | Tratamento | Novas substâncias químicas | Descarga de substâncias químicas devido a novas aplicações. | 3 |
| 12.2.10 | Tratamento | Patógenos emergentes | Presença de patógenos emergentes capazes de superar barreiras existentes. | 3 |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 44 – Seção 12. Perigos futuros (incluindo todo o sistema de abastecimento); Subseção 12.3. Distribuição.

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|---------|--------------|----------------------------------|--|------------|
| 12.3.1 | Distribuição | Sabotagem e terrorismo | Danos físicos (ex.: bombardeamento). | |
| 12.3.2 | Distribuição | Sabotagem e terrorismo | Contaminação química intencional. | |
| 12.3.3 | Distribuição | Sabotagem e terrorismo | Contaminação microbiológica intencional. | |
| 12.3.4 | Distribuição | Sabotagem e terrorismo | Ataque virtual. | |
| 12.3.5 | Distribuição | Sabotagem e terrorismo | Informações inacessíveis à população devido a protocolos de proteção dos dados sobre o manancial, o tratamento e a distribuição. | 3 |
| 12.3.6 | Distribuição | Conflitos | Conflitos militares. | |
| 12.3.7 | Distribuição | Conflitos | Conflitos políticos. | 2 |
| 12.3.8 | Distribuição | Novas substâncias químicas | Descarga de substâncias químicas devido a novas aplicações. | 3 |
| 12.3.9 | Distribuição | Patógenos emergentes | Presença de patógenos emergentes capazes de superar barreiras existentes. | 3 |
| 12.3.10 | Distribuição | Sistemas de distribuição antigos | Sistema de distribuição danificado e intrusão de contaminantes. | 3 |
| 12.3.11 | Distribuição | Sistemas de distribuição antigos | Aumento do tempo de retenção devido a sistemas superdimensionados. | 2 |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).

Quadro 45 – Seção 12. Perigos futuros (incluindo todo o sistema de abastecimento);
Subseção 12.4. Consumidor.

| Ref. | Elemento | Perigo | Evento perigoso | Ocorrência |
|-------------|-----------------|------------------------|--|-------------------|
| 12.4.1 | Consumidor | Sabotagem e terrorismo | Mudança no comportamento humano após ataques terroristas, que passa a evitar água da torneira. | |
| 12.4.2 | Consumidor | Patógenos emergentes | Mudança nos padrões de infecção (aumento da exposição a patógenos). | 3 |
| 12.4.3 | Consumidor | Interesse público | Relatórios sobre a detecção de substâncias químicas ou patógenos de tolerância baixa. | 2 |

Fonte: adaptado de BEUKEN *et al.* (2008) e BRASIL (2013).