

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

**AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE DOS PEQUENOS SISTEMAS DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

RONALDO DEBIASI

Porto Alegre, março de 2016.

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

**AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE DOS PEQUENOS SISTEMAS DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

**RONALDO DEBIASI**

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

**Orientador:** Prof. Dr. Antônio Domingues Benetti

**Banca examinadora**

Prof. Dr. Gino Roberto Gehling – IPH/UFRGS

Prof. Dr. Luiz Olinto Monteggia – IPH/UFRGS

Prof. Dr. Roger dos Santos Rosa – Faculdade de Medicina/UFRGS

Porto Alegre, março de 2016.

### CIP - Catalogação na Publicação

Debiasi, Ronaldo

Avaliação de vulnerabilidade dos pequenos sistemas de abastecimento de água no estado do Rio Grande do Sul / Ronaldo Debiasi. -- 2016.

116 f.

Orientador: Antônio Domingues Benetti.

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, 2016.

1. abastecimento de água no estado do Rio Grande do Sul. 2. avaliação de vulnerabilidade. 3. pequenos sistemas de abastecimento de água. 4. sistemas descentralizados de abastecimento de água. I. Benetti, Antônio Domingues, orient. II. Título.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Professor Dr. Antônio Domingues Benetti da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Agradeço à minha família e namorada, Tamara, pelo apoio e conselhos durante este trabalho e no decorrer da pós-graduação.

Ao meu orientador, Professor Dr. Antônio Domingues Benetti, pela confiança, auxílio, considerações e conhecimentos repassados durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas pelos conhecimentos compartilhados ao longo desse período.

Ao Centro Estadual de Vigilância em Saúde pela disponibilização dos dados necessários para este trabalho, em especial à Engenheira Julce Clara da Silva e outros membros da coordenação do VIGIAGUA no estado do Rio Grande do Sul pelo apoio no decorrer desse processo.

Aos representantes do VIGIAGUA nos municípios visitados pela disponibilidade de tempo para acompanhamento das visitas e atenção para responder aos questionamentos.

## RESUMO

Diversos estudos têm relacionado melhores condições de saneamento básico ao incremento nos índices de saúde da população. Investimentos em saneamento básico tendem a promover um benefício econômico, já que o custo para as intervenções necessárias é inferior à despesa com tratamento das enfermidades causadas pela falta de saneamento. Esta pesquisa visou caracterizar a problemática do abastecimento de água em pequenas comunidades urbanas e rurais no estado do Rio Grande do Sul, avaliando-se a vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento e da população atingida por meio de critérios próprios voltados à situação de interesse. Definiu-se uma amostra com locais escolhidos por método estatístico e um índice de vulnerabilidade composto por quatro dimensões de análise, dez indicadores e cinco níveis de vulnerabilidade cada. Com isso, caracterizou-se a problemática com base nos dez indicadores propostos, analisaram-se estatisticamente os resultados do índice de vulnerabilidade com o cálculo do índice médio para o Estado e em termos de subpopulações, e estimou-se a proporção da população abastecida e sistemas considerados vulneráveis. Apresentaram-se, portanto, conclusões quanto ao método empregado e resultados encontrados, além de recomendações que podem ser aplicadas para mitigar as vulnerabilidades encontradas e no desenvolvimento de trabalhos futuros. Os resultados demonstraram que o nível de tratamento se mostrou um importante critério de análise de vulnerabilidade, havendo diferenças significativas nos resultados do índice para os sistemas sem tratamento e aqueles com tratamento considerado adequado.

**Palavras-chave:** abastecimento de água no estado do Rio Grande do Sul; avaliação de vulnerabilidade; pequenos sistemas de abastecimento de água; sistemas descentralizados de abastecimento de água.

## ABSTRACT

According to several studies, there is an association between progresses in drinking water and sanitation to improvements in health indices. Investments in safe drinking water and sanitation may yield in an economic benefit, as the health-effect costs outweigh the costs of undertaking the required interventions. The objective of this research was to evaluate small community water supply systems in the state of Rio Grande do Sul, assessing the vulnerability of the systems and population that depends on them. The survey followed statistical sampling techniques to design the sample size and a water vulnerability index tool that included four dimensions, ten indicators and five vulnerability ratings was constructed. The condition was characterized by the ten proposed indicators, while statistical analysis of the vulnerability index was performed with mean estimates for the State and subpopulations. It was also estimated the proportion of the target population and water supply systems considered vulnerable. Conclusions were presented with respect to the method applied and the main results found in the survey. Recommendations were proposed in order to mitigate the vulnerabilities of the systems and protect public health. The results demonstrate that the level of treatment is a major vulnerability criteria, as significant differences in the index were related to systems that distribute water without treatment and those with an appropriate treatment technology.

**Keywords:** decentralized water supply systems, safety of drinking water systems, small water supply systems, water supply in the state of Rio Grande do Sul.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1. Objetivo Geral.....	3
2.2. Objetivos Específicos .....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
3.1. Água para Consumo Humano .....	4
3.2. Controle da Qualidade da Água.....	6
3.2.1. Vigilância em Saúde Ambiental.....	7
3.2.2. Vigilância em Saúde Ambiental no Estado do Rio Grande do Sul.....	10
3.3. DATASUS .....	11
3.3.1. SISAGUA.....	11
3.4. Abastecimento de Água em Pequenas Comunidades .....	14
3.4.1. Tratamento e Distribuição de Água em Pequenas Comunidades .....	16
3.4.2. Gestão do Abastecimento de Água em Pequenas Comunidades .....	18
3.5. Vulnerabilidades nos Sistemas de Abastecimento de Água .....	19
3.6. Experiências.....	21
3.6.1. RES'EAU.....	21
3.6.2. Avaliação de Vulnerabilidade .....	23
3.6.3. Plano de Segurança da Água.....	24
3.7. Técnicas de Amostragem.....	27
3.7.1. Amostragem Aleatória Simples .....	28
3.7.2. Amostragem com Probabilidade Proporcional ao Tamanho.....	28
3.7.3. Amostragem em Conglomerados .....	29
3.7.4. Amostragem Estratificada .....	30
3.7.5. Amostragem Inversa .....	30
3.7.6. Efeito do Plano Amostral .....	31
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	33
4.1. Levantamento de Dados.....	33
4.2. Definição dos Sistemas de Estudo .....	33
4.2.1. Tamanho da Amostra .....	36
4.2.2. Composição da Amostra .....	38
4.2.3. Visita a Sistemas .....	43
4.3. Indicadores de Vulnerabilidade .....	43
4.4. Cálculo do Índice de Vulnerabilidade.....	47
4.4.1. Análise Estatística .....	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	53

5.1.	Caracterização da Problemática.....	53
5.1.1.	Nível de Tratamento.....	53
5.1.2.	Disponibilidade dos Recursos Hídricos .....	56
5.1.3.	Qualidade da Água.....	56
5.1.4.	Manancial de Captação .....	58
5.1.5.	Operação e Manutenção .....	60
5.1.6.	Sistema de Distribuição.....	61
5.1.7.	Capacidade Econômica .....	63
5.1.8.	Capacidade Técnica.....	64
5.1.9.	Suporte Governamental.....	65
5.1.10.	Controle Amostral .....	66
5.1.11.	Análise dos Resultados.....	68
5.2.	Avaliação de Vulnerabilidade.....	70
5.2.1.	Análise do Índice de Vulnerabilidade .....	71
5.2.2.	Vulnerabilidade dos Sistemas .....	73
5.2.3.	Vulnerabilidade da População.....	79
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	82
7.	REFERÊNCIAS.....	87
8.	APÊNDICE.....	94
8.1.	Apêndice I: Listagem de Conglomerados.....	94
8.2.	Apêndice II: Resultados do Índice de Vulnerabilidade por Sistema .....	103



## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Organização institucional do Programa de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano.....	7
Figura 3.2: Clorador simplificado da FUNASA instalado em reservatório e poço.....	17
Figura 3.3: Casos de avisos de potencial risco na água de consumo no Canadá por província	22
Figura 3.4: Metodologia RAM-W .....	24
Figura 3.5: Estrutura para uma água de abastecimento segura.....	25
Figura 3.6: Etapas para elaboração de um Plano de Segurança da Água.....	26
Figura 3.7: Fluxograma de uma amostragem inversa.....	31
Figura 4.1: Fluxograma do método .....	33
Figura 4.2: Representação do universo de estudo .....	34
Figura 4.3: Mapa representativo do método de amostragem.....	40
Figura 4.4: Localização espacial dos municípios com sistemas selecionados .....	43
Figura 5.1: Resultados do indicador Nível de Tratamento para a amostra selecionada.....	54
Figura 5.2: Sistema de tratamento com filtração .....	55
Figura 5.3: Sistema de tratamento com desinfecção por hipoclorito de sódio .....	55
Figura 5.4: Resultados do indicador Disponibilidade dos Recursos Hídricos para a amostra selecionada.....	56
Figura 5.5: Resultados do indicador Qualidade da Água para a amostra selecionada .....	57
Figura 5.6: Resultados do indicador Manancial de Captação para a amostra selecionada .....	58
Figura 5.7: Captação em manancial subterrâneo poluído.....	59
Figura 5.8: Captação em manancial subterrâneo raso .....	59
Figura 5.9: Poço sem proteção externa.....	59
Figura 5.10: Poço sem selo sanitário .....	59
Figura 5.11: Poço com proteção externa .....	60
Figura 5.12: Poço com proteção externa e cobertura .....	60
Figura 5.13: Resultados do indicador Operação e Manutenção para a amostra selecionada ...	60
Figura 5.14: Sistema de tratamento simplificado por desinfecção inoperante .....	61
Figura 5.15: Reservatório elevado em condições inadequadas de conservação.....	61
Figura 5.16: Poço em ótimas condições de conservação.....	61
Figura 5.17: Reservatório em aço inoxidável de um dos sistemas visitados.....	61
Figura 5.18: Resultados do indicador Sistema de Distribuição para a amostra selecionada....	62
Figura 5.19: Tubulação antiga que apresentava vazamentos e nova a ser substituída em diâmetro inferior ao recomendável.....	62

Figura 5.20: Vazamento na rede de distribuição localizada no terço de estrada pouco movimentada .....	62
Figura 5.21: Resultados do indicador Capacidade Econômica para a amostra selecionada ....	63
Figura 5.22: Resultados do indicador Capacidade Técnica para a amostra selecionada.....	65
Figura 5.23: Resultados do indicador Suporte Governamental para a amostra selecionada....	66
Figura 5.24: Resultados do indicador Controle Amostral para a amostra selecionada .....	67
Figura 5.25: Reservatório da CORSAN instalado na região da SAC .....	70
Figura 5.26: Reservatório da SAC em região com abastecimento disponível pela CORSAN	70
Figura 5.27: Resultados dos gráficos quantil da amostral – quantil normal .....	71
Figura 5.28: Resultados dos gráficos de estimativa de densidade de Kernel ( $\lambda = 0,09$ ) .....	72
Figura 5.29: Resultados de vulnerabilidade dos sistemas .....	73
Figura 5.30: Resultado da proporção dos sistemas por nível de vulnerabilidade .....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Doenças relacionadas com deficiências no abastecimento de água ou na disposição de dejetos .....	5
Tabela 3.2: Número e frequência de amostragem para Controle de qualidade de água em SAC (ANEXO XV – Portaria MS nº 2914/2011) .....	9
Tabela 3.3: Número mínimo mensal de amostras analisadas para os parâmetros cloro residual livre, turbidez, coliformes totais/ <i>Escherichia coli</i> , segundo faixa populacional do município .	9
Tabela 3.4: Percentuais de amostras realizadas em 2011, por forma de abastecimento, em conformidade com o padrão de potabilidade, no estado do RS.....	10
Tabela 4.1: Dados levantados no SISAGUA para o estado do Rio Grande do Sul no ano de 2014, conforme critérios do estudo .....	35
Tabela 4.2: Variação do tamanho da amostra pela significância .....	37
Tabela 4.3: Características das mesorregiões do estado do Rio Grande do Sul.....	38
Tabela 4.4: Características dos estratos amostrados.....	40
Tabela 4.5: Amostra selecionada para as mesorregiões Centro Ocidental, Sudeste, Sudoeste, Centro Oriental, Metropolitana e Nordeste .....	41
Tabela 4.6: Amostra selecionada para a mesorregião Noroeste .....	42
Tabela 4.7: Indicadores de vulnerabilidade .....	44
Tabela 4.8: Valor associado a cada indicador .....	45
Tabela 4.9: Peso da dimensão no cálculo do índice de vulnerabilidade.....	47
Tabela 4.10: Composição das subamostras .....	50
Tabela 5.1: Análise da predominância dos resultados por indicador .....	68
Tabela 5.2: Composição do índice de vulnerabilidade por dimensão .....	74
Tabela 5.3: Índice de vulnerabilidade por mesorregião .....	75
Tabela 5.4: Índice de vulnerabilidade por faixas de população abastecida estimada.....	76
Tabela 5.5: Índice de vulnerabilidade por classificação do tipo de sistema de abastecimento	76
Tabela 5.6: Índice de vulnerabilidade condicional ao nível de tratamento .....	77
Tabela 5.7: Resultado da proporção da população por nível de vulnerabilidade .....	80
Tabela 8.1: Listagem no estrato das mesorregiões Centro Ocidental, Sudeste e Sudoeste.....	94
Tabela 8.2: Listagem no estrato da mesorregião Centro Oriental .....	95
Tabela 8.3: Listagem no estrato da mesorregião Metropolitana .....	96
Tabela 8.4: Listagem no estrato da mesorregião Nordeste.....	98
Tabela 8.5: Listagem no estrato da mesorregião Noroeste.....	99
Tabela 8.6: Resultados dos indicadores e índice de vulnerabilidade por sistema .....	103

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AAS - Amostragem Aleatória Simples

AED - Análise Exploratória de Dados

AWRVI – *Arctic Water Resources Vulnerability Index*

CCME WQI – *Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index*

CEVS – Centro Estadual de Vigilância em Saúde

CIB/RS – Comissão Intergestores Bipartite do estado do Rio Grande do Sul

CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento

DATASUS – Departamento de Informática do SUS

FEE – Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

OMS – Organização Mundial da Saúde

PEmQ – Sub-Programa Estadual de Melhoria da Qualidade da Água para Consumo

### Humano

PPT – Probabilidade Proporcional ao Tamanho

PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico

PSA – Plano de Segurança da Água

RAM-W – *Risk Assessment Methodology for Water Utilities*

SA – Subamostra

SAA – Sistema de Abastecimento de Água

SAC – Solução Alternativa Coletiva

SAI – Solução Alternativa Individual

SAMAE – Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul

SEHADUR – Secretaria de Habitação e Saneamento

SISAGUA - Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para

### Consumo Humano

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUS – Sistema Único de Saúde

US EPA – *United States Environmental Protection Agency*

VIGIAGUA – Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo

### Humano

WVI – *Water Vulnerability Index*

## 1. INTRODUÇÃO

Dados de 2012 publicados em um estudo quanto ao progresso do acesso ao saneamento na população mundial indicam que, entre 1991 e 2012, 2,3 bilhões de pessoas obtiveram acesso a melhores condições de abastecimento de água de consumo. Apesar disso, 748 milhões de pessoas, principalmente em condições de baixa renda, ainda não possuíam acesso a uma fonte de água de qualidade, sendo que 173 milhões dependiam de fontes superficiais não tratadas (WHO e UNICEF, 2014). Segundo a publicação, seguindo-se essa tendência de melhoria das condições de abastecimento de água, em 2015 esse montante populacional seria de 547 milhões de pessoas, sendo que a maior parte delas reside em áreas rurais.

Diversos estudos avaliaram o impacto de melhores condições de saneamento básico ao incremento nos índices de saúde da população. Saunders e Warford (1983) citam estudos relacionados à ocorrência de diarreia, cólera, esquistossomose e outras doenças relacionadas à água contaminada. A Secretaria de Vigilância em Saúde afirma que a doença diarreica aguda é uma importante causa de morbimortalidade no Brasil, havendo uma correlação direta com a falta de saneamento básico, desnutrição crônica, entre outros fatores (BRASIL, 2010).

Investimentos em saneamento básico tendem a promover um benefício econômico, já que o custo para as intervenções necessárias é inferior à despesa com tratamento das enfermidades causadas pela falta de saneamento. Experiências passadas sugerem que a ampliação do acesso à água segura favorece a camada populacional mais carente, tanto em áreas urbanas ou rurais, sendo uma importante estratégia de mitigação da pobreza (WHO, 2011a).

Publicações relacionadas ao abastecimento de água em pequenas comunidades datam da década de 50, com diversas contribuições ao longo das décadas seguintes. Citam-se, por exemplo, as publicações de Wagner e Lanoix (1959), Hofkes (1983) e Saunders e Warford (1983).

O estado do Rio Grande do Sul possui o 6º maior índice de desenvolvimento humano do Brasil, segundo dados do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (BRASIL, 2013b). Portanto, é de se esperar que a existência de fontes de abastecimento de água seguras esteja universalizada em sua população residente. Apesar disso, observa-se que grande parte das dificuldades descritas pelos autores no século passado, com relação ao acesso à água potável, permanece em diversas regiões de países desenvolvidos e principalmente nos países em desenvolvimento.

Lui (2015) relata uma crise hídrica no Canadá, em que milhares de pequenos sistemas de abastecimento de água encontram-se em “*boil water advisory*”, ou seja, sob o aviso de

ferver a água antes do consumo, ou outros avisos preventivos. A Secretaria de Vigilância em Saúde relata uma situação de elevada não conformidade dos parâmetros microbiológicos (coliformes totais) e de desinfecção (cloro residual livre) em sistemas de abastecimento de água do tipo soluções alternativas coletivas no estado do Rio Grande do Sul (BRASIL, 2012b).

Uma avaliação de vulnerabilidade dos pequenos sistemas de abastecimento de água visa não somente verificar a conformidade dos parâmetros de qualidade da água aos padrões aceitos pela legislação, mas avaliar de forma integrada os sistemas e sua capacidade de lidar com situações adversas. As Nações Unidas definem vulnerabilidade como a interface entre a exposição de ameaças físicas ao bem estar humano e a capacidade da população em enfrentar essas ameaças (UNEP, 2002).

Recentemente diversos métodos para avaliação da vulnerabilidade foram publicados, sendo aplicáveis a diferentes sistemas e óticas de análise (ALESSA *et al.*, 2008; SULLIVAN 2011; HURLEY *et al.*, 2012). Plummer *et al.* (2012) levantaram 50 diferentes ferramentas de avaliação, com um total de 710 indicadores.

Este projeto visa caracterizar a problemática do abastecimento de água em pequenas comunidades urbanas e rurais no estado do Rio Grande do Sul, avaliando-se a vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento e a população atingida por meio de critérios próprios voltados a situação de interesse.

## **2. OBJETIVOS**

Os objetivos desta pesquisa são:

### **2.1. Objetivo Geral**

Avaliar a vulnerabilidade dos pequenos sistemas de abastecimento de água que atuam de forma descentralizada no estado do Rio Grande do Sul.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Caracterizar a problemática e levantar as causas das principais vulnerabilidades dos sistemas estudados;
- Calcular um índice de vulnerabilidade médio dos pequenos sistemas de abastecimento de água do estado do Rio Grande do Sul;
- Estimar a proporção da população abastecida por sistemas considerados vulneráveis;
- Apresentar conclusões quanto à metodologia empregada e resultados, além de possíveis recomendações que podem ser aplicadas a fim de mitigar as vulnerabilidades encontradas.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste item são apresentados conceitos relevantes para a pesquisa a fim de se obter um melhor entendimento da temática abordada.

A revisão bibliográfica irá seguir a seguinte sequência. Primeiro são descritos conceitos básicos da água para consumo humano. Após são apresentados os conceitos de controle da qualidade da água, com informações relativas às ações de vigilância em saúde, inclusive quanto ao SISAGUA (Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano), banco de dados do DATASUS que apresenta análises de qualidade da água em nível nacional.

Posteriormente é conceituado o abastecimento de água em pequenas comunidades e a vulnerabilidade nos sistemas de abastecimento. Finalmente, apresentam-se experiências e outros estudos realizados nessa temática, além de uma revisão de algumas técnicas de amostragem probabilísticas de interesse. Com essa base teórica, espera-se ter uma visão geral dos assuntos relevantes à pesquisa a fim de apresentar posteriormente a metodologia de trabalho e os resultados.

#### **3.1. Água para Consumo Humano**

A Organização Mundial da Saúde afirma que a água é essencial para a vida, e uma fonte adequada, segura e acessível de água de consumo deve estar disponível a todos. O acesso à água de consumo é essencial para a saúde, um direito humano básico e um componente para uma diretriz eficaz de proteção da saúde. Universalizar o acesso à água de consumo segura resulta em benefícios diretos a saúde de uma população (WHO, 2011a).

A utilização da água para as atividades humanas têm causado alterações significativas no meio ambiente, influenciando a disponibilidade de recursos. Em algumas regiões a água tem se tornado um recurso escasso e com qualidade comprometida por conta do lançamento de efluentes urbanos e industriais nos recursos hídricos. No Brasil, e em outros países em desenvolvimento, essa situação é agravada pela baixa cobertura da população a serviços de abastecimento de água em quantidade e qualidade suficiente (BRASIL, 2006).

Hofkes (1983) ressalta que o acesso à água de consumo de qualidade é essencial para o controle de diversas enfermidades. A prevenção dessas doenças faz parte de ações que envolvem investimentos em uma melhor qualidade da água e no seu controle. A Tabela 3.1 apresenta uma listagem de algumas doenças relacionadas ao abastecimento de água ou disposição de dejetos.



**Tabela 3.1:** Doenças relacionadas com deficiências no abastecimento de água ou na disposição de dejetos

<b>Grupo</b>	<b>Doenças</b>	<b>Via de saída do corpo humano</b>	<b>Via de entrada no corpo humano</b>
<b>Doenças Transmitidas pela Água</b>	Cólera	F	O
	Febre Tifoide	F, U	O
	Leptospirose	U, F	P, O
	Giardíase	F	O
	Amebíase	F	O
	Hepatite infecciosa <sup>b</sup>	F	O
	Criptosporidíase	F	O
<b>Doenças controladas pela limpeza com água</b>	Escabiose	C	C
	Sepsia dérmica	C	C
	Bouba	C	C
	Piolhos e tifo	B	B
	Tracoma	C	C
	Conjuntivite	C	C
	Disenteria bacilar	F	O
	Salmonelose	F	O
	Diarreias por enterovirus	F	O
	Febre paratifoide	F	O
	Ascaridíase	F	O
	Tricurose	F	O
	Enterobiose	F	O
	Ancilostomose	F	O, P
<b>Doenças associadas à água</b>	Esquitossomose urinária	U	P
	Esquitossomose retal	F	P
	Dracunculose	C	O
<b>Doenças cujos vetores se relacionam com a água</b>	Febre amarela	B	B mosquito
	Dengue e febre hemorrágica por dengue	B	B mosquito
	Febre do oeste do Nilo e do Vale do Rift	B	B mosquito
	Encefalite por arbovirus	B	B mosquito
	Filiarose Bancroft	B	B mosquito
	Malária	B	B mosquito
	Arcorcerose <sup>c</sup>	B	B mosca simulium
	Doenças do sono <sup>c</sup>	B	B Tsé-Tsé
<b>Doenças associadas ao destino de dejetos</b>	Necatoriose	F	P
	Clonorquíase	F	Peixe
	Difilobotríase	F	Peixe
	Fasciolose	F	Planta Comestível
	Paragonimíase	F, S	Camarão-de-água-doce

**NOTAS:**

- F = fezes; O = oral; U = urina; P = percutâneo; C = cutâneo; B = picada; N = nariz; S = saliva.
- Embora algumas vezes sejam doenças transmitidas pela água, quase sempre são doenças controladas pela limpeza com a água.
- Não muito afetadas pelo abastecimento doméstico de água.

(Fonte: Adaptado de SAUNDERS; WARFORD, 1983; WHO, 2011a)

### 3.2. Controle da Qualidade da Água

Considerando a importância da água para consumo humano, o controle da qualidade da água de abastecimento se torna essencial para garantir a saúde de uma população. Segundo May (2014), a garantia da qualidade da água fornecida depende do acompanhamento de aspectos relacionados a questões operacionais de um sistema de abastecimento até a realização de controle por ensaios laboratoriais.

A Organização Mundial da Saúde divide o controle da qualidade da água nos seguintes aspectos (WHO, 2011a):

- **Microbiológico:** O aspecto microbiológico, em geral, está associado à ingestão de água contaminada com fezes humanas ou de animais. As fezes podem ser fonte de bactérias patogênicas, vírus, protozoários e helmintos;
- **Químico:** O aspecto químico difere do microbiológico no sentido de que os componentes químicos geralmente causam problemas de saúde após um prolongado período de exposição. Diversos compostos químicos podem estar na água de consumo, porém somente alguns são de interesse imediato à saúde, por conta disso, o monitoramento e controle deve ser priorizado a esses contaminantes;
- **Radiológico:** O aspecto radiológico diz respeito ao risco em saúde da presença de radionuclídeos na água de consumo, apesar da água de abastecimento pouco contribuir na exposição por esses compostos em condições normais;
- **Aceitabilidade:** Refere-se aos aspectos de sabor, odor e aparência da água que não devem ser objetáveis pelos consumidores. Apesar desses aspectos não terem efeito direto na qualidade da água, podem ser indicadores de mudanças na qualidade da água bruta, ou deficiência no tratamento.

No Brasil, o abastecimento de água é controlado conforme a fonte de abastecimento, sendo classificada de três formas distintas, conforme artigo 5º da Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011):

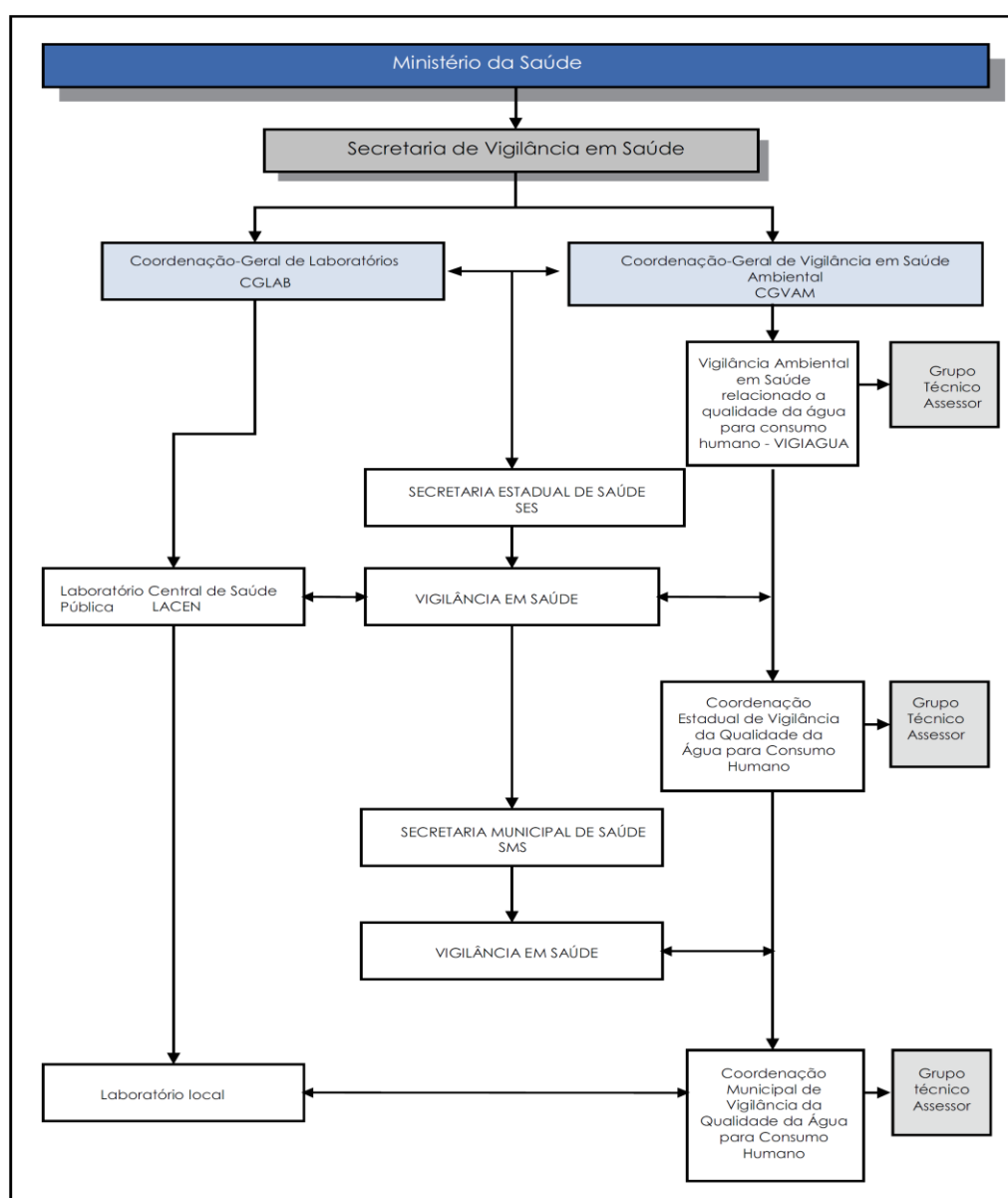
- **SAA:** Fornecimento coletivo de água por Sistema de Abastecimento de Água;
- **SAC:** Abastecimento coletivo de água por Solução Alternativa Coletiva;
- **SAI:** Abastecimento individual por Solução Alternativa Individual.

O controle da qualidade da água é gerenciado e normatizado pelo Ministério da Saúde por meio das ações de vigilância em saúde ambiental.

### 3.2.1. Vigilância em Saúde Ambiental

Segundo a Secretaria de Vigilância em Saúde, a vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano consiste nas ações adotadas pelas autoridades de saúde pública a fim de garantir que a água de abastecimento distribuída à população atenda aos padrões de potabilidade, conforme legislação vigente, e a fim de avaliar os riscos que a água representa ao bem-estar do consumidor (BRASIL, 2005).

A vigilância em saúde ambiental no Brasil tem origem nas atribuições do SUS estabelecidas pela Constituição de 1988 e com a Lei nº 8080 de 19 de setembro de 1990. A Figura 3.1 apresenta a organização institucional do Programa de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano.



**Figura 3.1:** Organização institucional do Programa de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano

(Fonte: BRASIL, 2005)

A Secretaria de Vigilância em Saúde aponta que a vigilância tem três grandes componentes (BRASIL, 2005):

- Análise permanente e sistemática das informações de qualidade da água;
- Avaliação das modalidades de fornecimento de água às populações, de forma a verificar o risco à saúde pública em função do tipo de abastecimento (individual ou coletivo), do manancial, do sistema de tratamento e questões operacionais;
- Análise e correlação da qualidade física, química e microbiológica da água de consumo com as enfermidades relacionadas à qualidade da água.

Com isso, a Secretaria de Vigilância em Saúde observa que a vigilância tem um caráter investigativo, dirigida para identificar os fatores de risco à saúde humana associada à qualidade da água, e preventivo/corretivo, com objetivo de assegurar a confiabilidade e segurança da água de consumo.

A Secretaria de Vigilância em Saúde cita, também, as duas formas de acompanhamento da qualidade da água, sendo instrumentos essenciais para garantir a proteção dos consumidores: o Controle da qualidade, que é exercido pela entidade responsável pela operação do sistema, e a Vigilância, que é exercida pelos órgãos de saúde pública (BRASIL, 2006).

Com esses instrumentos é possível avaliar a probabilidade de ocorrência de eventos que afetam a qualidade da água, a fim de impedir, evitar, bem como corrigir procedimentos impróprios. Para tal, as análises físicas, químicas e microbiológicas de qualidade da água devem ser planejadas para conjuntos de parâmetros conforme legislação pertinente aos padrões de potabilidade.

O número e frequência da amostragem da qualidade da água variam conforme o tipo de sistema (SAA/SAC) e pela população abastecida, determinando-se o risco à saúde da qualidade da água em uma análise probabilística (BRASIL, 2006). Como exemplo, apresenta-se na Tabela 3.2 o anexo XV da Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, que contém o número e frequência de amostragem para Controle da qualidade de água em SAC:

**Tabela 3.2:** Número e frequência de amostragem para Controle de qualidade de água em SAC (ANEXO XV – Portaria MS nº 2914/2011)

Parâmetro	Tipo de manancial	Saída do tratamento (para água canalizada)	Número de amostras retiradas no ponto de consumo (para cada 500 hab.)	Frequência de amostragem
Cor, turbidez, pH, coliformes totais (1) e (2)	Superficial	1	1	Semanal
	Subterrâneo	1	1	Mensal
Cloro Residual Livre	Superficial ou subterrâneo	1	1	Diário

NOTAS:

(1) Para veículos transportadores de água para consumo humano, deve ser realizada uma análise de cloro residual livre em cada carga e uma análise, na fonte de fornecimento, de cor, turbidez, pH e coliformes totais com frequência mensal, ou outra amostragem determinada pela autoridade de saúde pública.

(2) O número e a frequência de amostras coletadas no sistema de distribuição para pesquisa de *Escherichia coli* devem seguir o determinado para coliformes totais.

(Fonte: BRASIL, 2011)

Já as ações de Vigilância seguem a Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano. Nesse documento é apresentado o número mínimo mensal de amostras a ser realizado pela vigilância em saúde, sendo elaborado conforme metodologia estatística para apontar irregularidades no abastecimento de água com base nos dados de Controle (BRASIL, 2014a).

**Tabela 3.3:** Número mínimo mensal de amostras analisadas para os parâmetros cloro residual livre, turbidez, coliformes totais/*Escherichia coli*, segundo faixa populacional do município

População	0 a 5.000	5.001 a 10.000	10.001 a 50.000	50.001 a 200.000	200.001 a 500.000	Superior a 500.001
Número Mínimo de Amostras	6	9	8 + (1 para cada 7,5 mil habitantes)	10 + (1 para cada 10 mil habitantes)	20 + (1 para cada 20 mil habitantes)	35 + (1 para cada 50 mil habitantes)

NOTAS:

(1) Análise do composto residual ativo, caso o agente desinfetante utilizado não seja o cloro.

(Fonte: BRASIL, 2014a)

A Secretaria de Vigilância em Saúde ressalta, ainda, que o número mínimo mensal de amostras, apresentado na Tabela 3.3, deve ser distribuído para o monitoramento da qualidade da água referente às três formas de abastecimento (SAA, SAC e SAI) (BRASIL, 2014a).

Segundo a Divisão de Vigilância em Saúde Ambiental, a garantia da qualidade da água para consumo humano é uma das ações de caráter universal dentro do Sistema Único de Saúde (SUS), sendo de competência do gestor municipal realizar a vigilância da qualidade da água das SAA e SAC em sua área de atuação, conforme Artigo 12º, item III da Portaria MS nº 2914/2011 (RIO GRANDE DO SUL, 2014c).

Além do monitoramento da qualidade da água, outra medida essencial é a execução de ações corretivas quando identificadas não conformidades, com vistas a reestabelecer a qualidade da água de abastecimento (WHO, 2011a).

### 3.2.2. Vigilância em Saúde Ambiental no Estado do Rio Grande do Sul

As ações de vigilância em saúde ambiental no estado do Rio Grande do Sul seguem as diretrizes nacionais e considerando as particularidades do Estado. O programa VIGIAGUA é operacionalizado no Estado pelo CEVS (Centro Estadual de Vigilância em Saúde) da Secretaria Estadual de Saúde, que em conjunto com as Secretarias Municipais de Saúde, atua no controle da qualidade de água nos sistemas e soluções de abastecimento de cada município.

No sentido de atuar nos municípios de pequeno porte com elevados índices de não atendimento aos padrões de potabilidade, a Comissão Intergestores Bipartite publicou a Resolução nº 594/14 – CIB/RS, que implanta o Sub-Programa Estadual de Melhoria da Qualidade da Água para Consumo Humano (PEmQ). Esse programa é resultado da necessidade de melhorias nos sistemas simplificados de abastecimento, evidenciadas pelos dados de inconformidade de parâmetros microbiológicos de qualidade da água em Soluções Alternativas Coletivas (RIO GRANDE DO SUL, 2014e).

Segundo a Divisão de Vigilância Ambiental do estado do Rio Grande do Sul, o programa tem como objetivo minimizar os riscos decorrentes da água de consumo, além de estabelecer correlação com a ocorrência de doenças diarreicas (RIO GRANDE DO SUL, 2014b). A Tabela 3.4 apresenta o levantamento de dados realizado pela Secretaria de Vigilância em Saúde em que se evidenciaram essas não conformidades (BRASIL, 2012b).

**Tabela 3.4:** Percentuais de amostras realizadas em 2011, por forma de abastecimento, em conformidade com o padrão de potabilidade, no estado do RS

Parâmetros	Percentual de Amostras Realizadas em Conformidade com a Portaria		
	SAA	SAC	SAI
Turbidez	98,58	94,95	79,76
Cloro residual livre	86,05	37,47	3,94
Coliformes totais	84,08	46,56	19,98

(Fonte: BRASIL, 2012b)

Os autores concluíram que há um elevado percentual de amostras nos SAA em conformidade, porém, para soluções alternativas coletivas (SAC), apenas o parâmetro Turbidez atingiu um percentual satisfatório. O relatório também apresenta, mediante dados de 2011, que mais de 90% da população do estado do Rio Grande do Sul é abastecida por SAA,

e o restante utiliza soluções alternativas como forma de abastecimento, ou seja, uma população de 1.073.589 habitantes com base na estimativa populacional da Fundação de Economia e Estatística (FEE) do estado do Rio Grande do Sul (BRASIL, 2012b; FEE, 2015).

A fim de mitigar os efeitos da vulnerabilidade desses sistemas quanto aos parâmetros microbiológicos, o hipoclorito de sódio é distribuído gratuitamente à população pela Secretaria Estadual de Saúde como medida paliativa em regiões com problemas de abastecimento.

### **3.3. DATASUS**

O DATASUS é o departamento de informática do SUS que administra as informações de saúde e financeiras do Sistema Único de Saúde. Segundo o Departamento, um dos focos de atuação do DATASUS é no sentido de prover as instituições (Ministério da Saúde e SUS) com informações em saúde fundamentais para o cumprimento de sua missão (BRASIL, 2002a).

As competências do DATASUS estão definidas no Decreto nº 8.065 de 7 de agosto de 2013 sendo, por exemplo: manter o acervo das bases de dados necessárias ao sistema de informações em saúde e aos sistemas internos de gestão institucional, apoiar estados, municípios e o Distrito Federal na informatização das atividades do SUS, entre outros (BRASIL, 2013c).

Segundo dados do portal online do Ministério da Saúde (BRASIL, 2015), o acesso à informação e informatização das atividades do SUS é essencial para democratização da saúde e aperfeiçoamento da gestão, viabilizando o controle social na utilização dos recursos. Apresenta-se, nessa revisão, o SISAGUA, sistema que faz parte do DATASUS e que tem maior importância no desenvolvimento dessa pesquisa.

#### **3.3.1. SISAGUA**

O Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA) é o banco de dados desenvolvido com base nas normativas de potabilidade, sendo um instrumento do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA) que auxilia no gerenciamento de riscos em saúde associados à água de consumo.

Esse gerenciamento é realizado a partir dos dados gerados rotineiramente pelos profissionais do setor saúde (Vigilância) e responsáveis pelos serviços de abastecimento de água (Controle) (BRASIL, 2015). O SISAGUA é uma ferramenta de gestão do VIGIAGUA e

tem por objetivo sistematizar dados de qualidade da água dos estados, municípios e distrito federal, e gerar relatórios, de forma a produzir informações necessárias à prática da vigilância (BRASIL, 2012b).

No SISAGUA é possível executar consultas das análises realizadas para Controle e Vigilância, além de informações cadastrais dos sistemas, como o tipo de manancial, presença de canalização, etapas de tratamento, população abastecida, etc. Os seguintes parâmetros possuem informações na base de dados do SISAGUA:

- **Cloro residual livre:** A desinfecção tem como função básica a inativação de microrganismos, sendo a aplicação de cloro na desinfecção amplamente empregada no Brasil. Por intermédio da medição do cloro residual na rede de distribuição é possível controlar o equipamento de desinfecção e prevenir o risco a contaminações na rede de distribuição (BRASIL, 2014b);
- **Turbidez:** A turbidez expressa à capacidade óptica de dispersão de luz incidente em uma amostra de água, sendo causada por materiais em suspensão e coloidais presentes na água (APHA, 1999). No abastecimento, a turbidez é um dos principais parâmetros para controle operacional nas estações de tratamento de água;
- **Cor:** Parâmetro que representa a coloração da água. O termo cor pode se referir ao parâmetro cor real ou aparente, sendo a cor aparente a que inclui a proveniente de presença de substâncias em suspensão e a real somente a causada pela presença de substâncias solúveis (APHA, 1999);
- **Fluoreto:** O flúor nas águas de abastecimento é uma das medidas mais eficazes na prevenção da doença cárie, porém se ressalta que em doses elevadas, provoca uma alteração nos tecidos dentários chamada de fluorose dental (RIO GRANDE DO SUL, 2014c);
- **Coliformes Totais:** O grupo de bactérias do tipo coliforme é o principal indicador da adequação da água para uso doméstico. Esse grupo de bactérias tem sido estudado extensivamente, havendo uma significância dos valores detectados com o nível de poluição e qualidade sanitária (APHA, 1999);
- ***Escherichia coli*:** A *Escherichia coli* é um dos gêneros de bactérias de coliformes fecais que podem ser analisados, atuando como indicador de poluição fecal (APHA, 1999). Os coliformes fecais fazem parte do grupo de bactérias coliformes que estão presentes no intestino e fezes dos animais de sangue quente. Eles tendem a ser mais sensíveis ao ambiente aquático, trazendo uma importante informação quanto a possível fonte de poluição.



Tendo em vista as conclusões apresentadas no relatório da Secretaria de Vigilância em Saúde (BRASIL, 2012b), que observou que a maior parte das não conformidades à Portaria MS nº 2914/2011 para as SAC são nos parâmetros Coliformes e Cloro, e considerando que os parâmetros microbiológicos são os de maior importância em um pequeno sistema de abastecimento de água, analisaram-se os resultados do SISAGUA para os parâmetros Coliformes totais e *Escherichia coli*. Em 2014 no estado do Rio Grande do Sul, mediante dados do SISAGUA para Vigilância em SAC, constatou-se:

- **Coliformes Totais:** 4353 amostras fora do padrão, de um total de 14515 amostras realizadas para esse parâmetro, ou seja, 30% das amostras;
- ***Escherichia coli*:** 1544 amostras fora do padrão, de um total de 14444 amostras realizadas, ou seja, 10,7% das amostras.

Comparativamente, em 2013 no estado do Rio Grande do Sul, por meio dos dados do SISAGUA para Vigilância em SAC:

- **Coliformes Totais:** 40,2% das amostras realizadas apresentaram resultados fora do padrão;
- ***Escherichia coli*:** das 7654 amostras de Coliformes totais fora do padrão, 2348 apresentavam também resultado positivo para *Escherichia coli*, portanto, estima-se que a porcentagem total de amostras fora de padrão em 2013 para o parâmetro *Escherichia coli* seja de 12,3%.

Em análise dos dados de 2013 para Controle nas SAC, observou-se um cenário completamente diferente. Das 12162 amostras que possuíam algum parâmetro de potabilidade fora do padrão, somente 10 indicavam, também, a presença de Coliformes.

Tendo em vista que os dados de Controle são de responsabilidade do operador da Solução Alternativa Coletiva, e que muitas vezes esses sistemas não possuem uma operação adequada, não é possível avaliar a qualidade dos resultados de Controle para esse tipo de sistema, diferentemente dos dados de Vigilância que são coletados e analisados por pessoal capacitado a esse fim.

Quanto à quantidade de amostras realizadas em cada Solução Alternativa Coletiva, observaram-se ações de Vigilância em 289 municípios e 3952 SAC, sendo realizadas desde apenas uma amostra pontual na SAC em todo o ano, até 45 amostras para a mesma Solução em 2014.

Outra informação bastante relevante diz respeito à população abastecida por soluções sem nenhum tipo de tratamento da água, sendo a população estimada de 227.028 habitantes, ou seja, 38,5% do total abastecido por SAC.

A Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano não especifica o número de amostras que devem ser coletadas por tipo de sistema (SAA/ SAC), ela só atribui um número mínimo a ser distribuído pelos profissionais da saúde por todo o município em SAA e SAC. Portanto, as ações de vigilância tendem a sofrer inconsistências entre regiões por diversos motivos, ora por prioridade, recursos, risco de contaminação, etc.

A Secretaria de Vigilância em Saúde ressalta que, embora atividade primordial, o monitoramento não repercute por si só em nenhuma proteção à saúde da população abastecida. Por conta disso, além das ações de monitoramento, que são à base do sistema SISAGUA, é essencial que as ações sejam integradas a ações de boas práticas, múltiplas barreiras, metodologia de gerenciamento de riscos, programas de preservação de mananciais, capacitação de recursos humanos, etc. (BRASIL, 2014a).

Queiroz *et al.* (2012) indicam que um dos desafios é a necessidade de ultrapassar o patamar inicial de cadastramento e lançamento de dados no sistema SISAGUA para a utilização e o georreferenciamento desses, propiciando o dimensionamento da situação a fim de embasar o planejamento e decisões.

### **3.4. Abastecimento de Água em Pequenas Comunidades**

Dados do Ministério das Cidades indicam que 33,9% da população brasileira sofre com níveis de abastecimento de água precários e 6,8% não é atendida. No âmbito do esgotamento sanitário, os percentuais são de 50,7% para atendimento precário e 9,6% sem atendimento (BRASIL, 2013a). A maior parte desses casos ocorre em pequenas comunidades urbanas e rurais.

Segundo a Organização Mundial da Saúde, sistemas de abastecimento de água em pequenas comunidades incluem aqueles que abastecem vilas rurais/urbanas, famílias individuais e casas de veraneio. Além disso, sistemas que servem populações transitórias e comunidades nas adjacências de grandes cidades também se organizam de forma similar, frequentemente fora do alcance dos serviços de abastecimento de água convencionais (WHO, 2012).

A definição para o abastecimento de água em pequenas comunidades varia entre os países. Em alguns o critério é a população abastecida, em outros a quantidade de ligações, etc. Em geral, observa-se que no estado do Rio Grande do Sul o abastecimento de água em pequenas comunidades se dá principalmente por SAC, no âmbito de coletivo, e por SAI, no âmbito individual ou familiar, havendo também alguns municípios com SAA que apresentam

características similares às SAC. A Portaria MS nº 2914/2011 apresenta as seguintes definições para SAA, SAC e SAI:

*[SAA] Sistema de abastecimento de água para consumo humano: 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;*

*[SAC] Solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano: modalidade de abastecimento coletivo destinada a fornecer água potável, com captação subterrânea ou superficial, com ou sem canalização e sem rede de distribuição;*

*[SAI] Solução alternativa individual de abastecimento de água para consumo humano: modalidade de abastecimento de água para consumo humano que atenda a domicílios residenciais com uma única família, incluindo seus agregados familiares (BRASIL, 2011).*

Observa-se, pelas definições da Portaria, que o SAA abrange um maior nível técnico e de infraestrutura do que a SAC, porém sem um critério objetivo de definição. Na prática, a principal diferença encontra-se no nível de gestão dos sistemas pelo poder público e no controle da qualidade da água exigido pela legislação.

Segundo a Organização Mundial da Saúde, a operação dos sistemas de abastecimento de água para pequenas comunidades é geralmente realizada por membros da comunidade, enfrentando diversos desafios como (WHO, 2012):

- Falta de acesso à assistência especializada, já que geralmente estão isolados dos fornecedores;
- Variações sazonais da qualidade e quantidade de água em situações de picos de demanda, por exemplo, durante festas ou festivais;
- Recebimento de limitada assessoria técnica e de gestão dos órgãos públicos;
- Limitado e inconsistente suporte financeiro para melhorias e reparos no sistema.

Por conta dessas dificuldades, os sistemas de abastecimento de água para pequenas comunidades sofrem com um maior risco de contaminação, levando a surtos de doenças relacionadas à água de consumo. Segundo a Organização Mundial da Saúde, o maior risco é o potencial de contaminação microbiológica, podendo ocasionar surtos de doenças infecciosas, como a diarreia aguda (WHO, 2012).

Hofkes (1983) ressalta a baixa densidade populacional dos sistemas de abastecimento de água em pequenas comunidades, o que inviabiliza muitas vezes a sustentabilidade financeira dos sistemas, diferentemente do abastecimento de água em grandes centros urbanos.

Em especial quanto ao meio rural, a Divisão de Vigilância em Saúde Ambiental do Rio Grande do Sul afirma que há uma preocupação quanto à vulnerabilidade da água, já que

nestas regiões o saneamento básico não recebe muitas vezes os mesmos cuidados que no meio urbano (RIO GRANDE DO SUL, 2014b).

### **3.4.1. Tratamento e Distribuição de Água em Pequenas Comunidades**

A água utilizada para consumo humano que é fornecida coletivamente deve passar, no mínimo, pelo processo de desinfecção ou cloração, conforme exigência da Portaria MS nº 2914/2011. Apesar disso, em alguns casos, somente essa etapa de tratamento não é suficiente para tornar a água potável para consumo e atender as exigências da legislação.

Wagner e Lanoix (1959) e Hofkes (1983) ressaltam que o tratamento de água em pequenas comunidades nem sempre é uma opção viável, tendo em vista questões de investimento inicial alto, necessidade de operação e manutenção, além do risco de falha no tratamento. Wagner e Lanoix (1959) afirmam que muitas vezes é preferível investir no aproveitamento de melhores mananciais do que em sistemas de tratamento complexos.

Do ponto de vista de qualidade da água, Hofkes (1983) indica que o mais importante é a remoção de organismos patogênicos e outras substâncias tóxicas que podem causar problemas graves de saúde. O tipo de tratamento, portanto, deve ser estudado de maneira cuidadosa em termos de engenharia e economia. Wagner e Lanoix (1959) apresentam os principais itens a serem considerados:

- Disponibilidade financeira;
- Custos de construção relacionados a diferentes modelos de um mesmo projeto;
- Capacidade dos operadores locais;
- Assistência de supervisão disponível para operação;
- Custo da operação;
- Vida útil do sistema.

Segundo Hofkes (1983), um importante fator é a necessidade de se utilizar uma tecnologia que é apropriada as condições locais. Essa tecnologia geralmente difere das usualmente empregadas nas grandes áreas urbanas.

Wagner e Lanoix (1959) e Hofkes (1983) apresentam uma revisão extensiva dos principais métodos de tratamento utilizados para o abastecimento de água em pequenas comunidades, com critérios de dimensionamento, etc. Observa-se que os métodos mantêm-se coerentes às tecnologias utilizadas ainda hoje, enfatizando-se o requisito operacional de cada tecnologia, o que muitas vezes inviabiliza certas configurações de sistema.

Mais recentemente, Sousa *et al.* (2004) apresentam um estudo comparativo de cinco tecnologias de tratamento de água para pequenas comunidades sob as óticas técnica e econômico financeira: filtração lenta, dupla filtração com areia, dupla filtração com antracito,

filtração direta descendente e filtração direta ascendente. O estudo apontou que a filtração lenta proporcionou um resultado 15% mais eficiente que as outras alternativas do ponto de vista econômico em uma análise de vida útil de 20 anos.

O Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB), por meio do Tema 1, apresentou também resultados na temática da filtração direta aplicada a pequenas comunidades, com vistas ao aprimoramento de tecnologias que tenham baixo custo operacional e de manutenção (DI BERNARDO, 2003).

Pizzolatti *et al.* (2014) apresentam uma concepção de filtro lento a ser empregado em pequenas comunidades que opera com retrolavagem, diminuindo o tempo de lavagem e facilitando assim a operação dessa etapa do sistema. Hofkes (1983) ressalta que ao tornar um sistema de tratamento mais simples se está removendo um possível obstáculo para uma operação eficiente.

Tendo em vista as dificuldades operacionais relacionadas aos principais equipamentos de desinfecção, a FUNASA (Fundação Nacional de Saúde) desenvolveu um clorador simplificado a ser aplicado em pequenas comunidades, sendo construído somente com materiais hidráulicos amplamente disponíveis no mercado, sem a necessidade de instalação elétrica, nem preocupação constante com o controle de dosagem (BRASIL, 2014b).



**Figura 3.2:** Clorador simplificado da FUNASA instalado em reservatório e poço  
(Fonte: BRASIL, 2014b)

Por conta da simplicidade, o clorador desenvolvido pela FUNASA tem aplicação restrita para o tratamento de volumes fixos em batelada, com a utilização de reservatório.

Nos casos em que a água distribuída não é tratada, é dever do poder público orientar os usuários dos métodos disponíveis para tornar a água segura para consumo. Em 1959, três dos principais métodos de purificação de água em escala individual levantados pela bibliografia eram fervura, desinfecção química e filtração (WAGNER; LANOIX, 1959). Já em 2011, são relacionados ainda processos como membranas filtrantes, desinfecção solar,

desinfecção por ultravioleta, processos de sedimentação, sachês com coagulantes químicos, entre outros (WHO, 2011b).

Do ponto de vista da distribuição da água, Wagner e Lanoix (1959) e Hofkes (1983) ressaltam a necessidade de manter a rede pressurizada, a fim de evitar contaminações externas, e recomendam a utilização de reservatórios para regularização do abastecimento. Em pequenas comunidades, pressões mínimas na faixa de 6 m.c.a. são adequadas para a maioria dos casos (HOFKES, 1983).

### **3.4.2. Gestão do Abastecimento de Água em Pequenas Comunidades**

A existência de um sistema de tratamento e distribuição de água em uma comunidade não traz garantias quanto à qualidade da água de abastecimento, pois é comum que problemas gerenciais afetem a potabilidade. Wagner e Lanoix (1959) afirmam que o cumprimento do objetivo sanitário de um sistema de abastecimento de água varia diretamente com a eficiência e eficácia de sua gestão.

Wagner e Lanoix (1959) dividem a gestão dos sistemas em duas partes: a primeira parte administrativa, que lida com questões organizacionais e financeiras; e a segunda operacional, que é responsável pelo fornecimento de água adequado, ambas de extrema importância para uma efetividade do sistema.

Do ponto de vista da operação, é essencial que as pessoas responsáveis pela operação tenham algum tipo de conhecimento técnico. Alguns dos fatores que ocasionam falhas no sistema de abastecimento são consequência de ações realizadas pelos operadores que, por ignorância ou falta de conhecimento, não distinguem os sinais que precedem uma situação de falha (WAGNER; LANOIX, 1959).

Hofkes (1983) afirma que, da perspectiva administrativa, todo pequeno sistema de abastecimento de água necessita de recursos para operação. Porém, em muitas comunidades, os usuários não aceitam o princípio de cobrança pela água, além disso, dependendo da realidade local, muitas dessas famílias não possuem recursos financeiros suficientes para arcar com esse custo. O autor também destaca a importância do envolvimento da comunidade nas etapas de planejamento, construção e operação dos sistemas.

Com relação à operação e manutenção, as responsabilidades delegadas podem ser desde simples checagens diárias do sistema até treinamentos extensivos de pessoas da própria comunidade responsáveis, assim, por operar o sistema como um todo. Problemas gerenciais tendem a ocasionar a deterioração dos sistemas, diminuindo sua vida útil e aumentando os custos com manutenção ao longo do tempo até tornar inviável a recuperação de um sistema que poderia funcionar de maneira adequada no caso da realização das ações de manutenção

preventiva regulares. Portanto, é dever do poder público apresentar propostas para viabilizar a implantação de sistemas eficazes, além de garantir a continuidade da operação dos sistemas.

### 3.5. Vulnerabilidades nos Sistemas de Abastecimento de Água

As Nações Unidas, em estudo relacionado à vulnerabilidade do homem às mudanças climáticas, definem vulnerabilidade como a interface entre a exposição de ameaças físicas ao bem estar humano e a capacidade da população em enfrentar essas ameaças (UNEP, 2002).

Com relação à água, Sullivan e Meigh (2007) indicam que a vulnerabilidade à água é baseada na combinação de preocupações entre aspectos sociais e físicos. Com isso, os autores citam a necessidade de análise da vulnerabilidade numa perspectiva que conecte as questões sociais e técnicas.

Segundo as Nações Unidas, uma avaliação da vulnerabilidade visa mensurar a seriedade das potenciais ameaças com base nos conhecimentos prévios e do nível de vulnerabilidade. Ela pode ser utilizada para se agir preventivamente, com base em sistemas de alerta, sendo também um elemento essencial num plano de resposta a emergências (UNEP 2002 *apud* IDNDR, 1999). A avaliação de vulnerabilidade pode ser realizada tanto para as pessoas quanto para o sistema ambiental (UNEP, 2002).

A utilização de instrumentos para avaliar a vulnerabilidade à água é uma área composta por diversos estudos de gestores e autoridades governamentais. Alguns exemplos de indicadores desenvolvidos para avaliação da vulnerabilidade são:

- ***Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI)***: O indicador de qualidade da água proposto pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment* é um indicador objetivo que compara a qualidade da água analisada com a legislação a fim de resultar um valor que varia de “zero”, representando qualidade péssima, a “100”, representando qualidade ótima (HURLEY *et al.*, 2012);
- ***Arctic Water Resources Vulnerability Index (AWRVI)***: O indicador de vulnerabilidade dos mananciais de água do ártico é uma proposta de ferramenta para avaliar a vulnerabilidade de comunidades residentes em regiões no estado americano do Alaska a temas como resiliência a mudanças nos recursos hídricos, tendo como base uma série de processos biofísicos e socioeconômicos (ALESSA *et al.*, 2008);
- ***Water Vulnerability Index (WVI)***: O indicador de vulnerabilidade da água proposto por Sullivan (2011) avalia a vulnerabilidade com base em duas grandes dimensões, a vulnerabilidade do suprimento de água, levando em

conta critérios como a precipitação e capacidade de armazenamento, e a vulnerabilidade da demanda, levando em conta critérios econômicos da população, influência política, etc.

Plummer *et al.* (2012) realizaram uma extensa revisão das principais ferramentas de avaliação da vulnerabilidade com informações de 50 diferentes metodologias, num total 710 indicadores, 5 dimensões e 22 sub-dimensões. As metodologias incluem diversos tópicos como quantidade, qualidade, origem da água, região de estudo, desenvolvimento social, mudanças climáticas, além de questões como a forma de aferir a vulnerabilidade por intermédio de modelagens, análise de sensibilidade, etc.

Entre as cinco dimensões (recursos hídricos, ambiental, econômica, institucional e social), somente a primeira estava contida em todas as diferentes metodologias, havendo também uma presença significativa das dimensões econômica (em 66% das metodologias) e ambiental (em 48% das metodologias). Quanto aos indicadores que aparecem com maior frequência, pode-se citar a ocorrência de coliformes (fecais e totais), o índice de mortalidade infantil, o nível de tratamento (primário, secundário, terciário), o montante populacional com acesso ao saneamento básico, entre outros.

As Nações Unidas publica anualmente o *World Water Development Report*, que é um relatório focado em diferentes preocupações relacionadas à água. Na 4ª edição foram propostos 49 indicadores a serem avaliados na temática gestão da água sob riscos e incertezas. Esses indicadores foram divididos em 11 áreas como governança, ecossistema, saúde, análise de risco, entre outras (UNESCO, 2012).

Quanto ao número de indicadores, Plummer *et al.* (2012) analisaram metodologias contendo de 3 a 116 indicadores. Segundo os autores, um maior número de indicadores não representa uma metodologia mais confiável ou completa, já que quanto maior o número, mais custoso é o levantamento de dados e mais complexa é a aplicação, dificultando a análise dos resultados. O ideal seria que o método de avaliação da vulnerabilidade fornecesse a maior quantidade de informações com o menor número de dados necessários.

Observou-se, ainda, que uma grande parte das metodologias tem como enfoque a aplicação em grandes regiões, baseando-se principalmente em dados secundários para o cálculo da vulnerabilidade de um sistema de abastecimento de água. Sullivan (2011) utilizou, em seu exemplo de aplicação do índice WVI, dados do instituto de estatística da África do Sul, de órgãos nacionais de hidrologia e meteorologia, entre outras fontes secundárias.

Apesar da aplicação desses indicadores para avaliação da vulnerabilidade já ser uma realidade, muitos autores têm criticado a utilização deles. Molle e Mollinga (2003) citam a falta de transparência, a arbitrariedade dos pesos e baixa qualidade dos dados utilizados.



Plummer *et al.* (2012) alertam para a falta de precisão dos indicadores, já que, dependendo das escolhas, da metodologia e da modelagem, os resultados variam consideravelmente.

UNEP (2002) ressalta que há uma lacuna crescente entre a vulnerabilidade dos mais desenvolvidos, com maior capacidade de lidar com as ameaças, e a dos menos desenvolvidos. Esse conceito pode ser levado ao caso dos sistemas de abastecimento de água, no qual as pequenas comunidades apresentam uma maior vulnerabilidade a eventos adversos do que as grandes aglomerações atendidas por sistemas públicos de abastecimento.

Observa-se que pequenos sistemas de abastecimento de água têm maiores dificuldades de atender à legislação quanto a padrões de potabilidade de água sendo, portanto, um grupo de risco. Aumentando-se a capacidade dos grupos de risco é possível reduzir consideravelmente os impactos causados por um evento extremo (UNEP, 2002).

Outro termo usualmente relacionado à vulnerabilidade do abastecimento de água diz respeito a segurança da água. Cook e Bakker (2012) realizaram um extensivo estudo do conceito de segurança da água sendo que, inicialmente, o termo tinha como significado a segurança militar, alimentar, e mais raramente, segurança ambiental. Em 2000, no Segundo Fórum Mundial, foi introduzida uma definição de visão integrada de segurança da água relacionada ao acesso e disponibilidade econômica da água, além das necessidades humanas e saúde ambiental. Após isso, inúmeras outras definições foram criadas, algumas relacionadas a uma área específica de interesse, outras com enfoque multidisciplinar e integrado.

### **3.6. Experiências**

A seguir são apresentadas algumas experiências internacionais e pesquisas realizadas no sentido de buscar ações para tanto avaliar a vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água em pequenas comunidades, como propor soluções para as dificuldades encontradas.

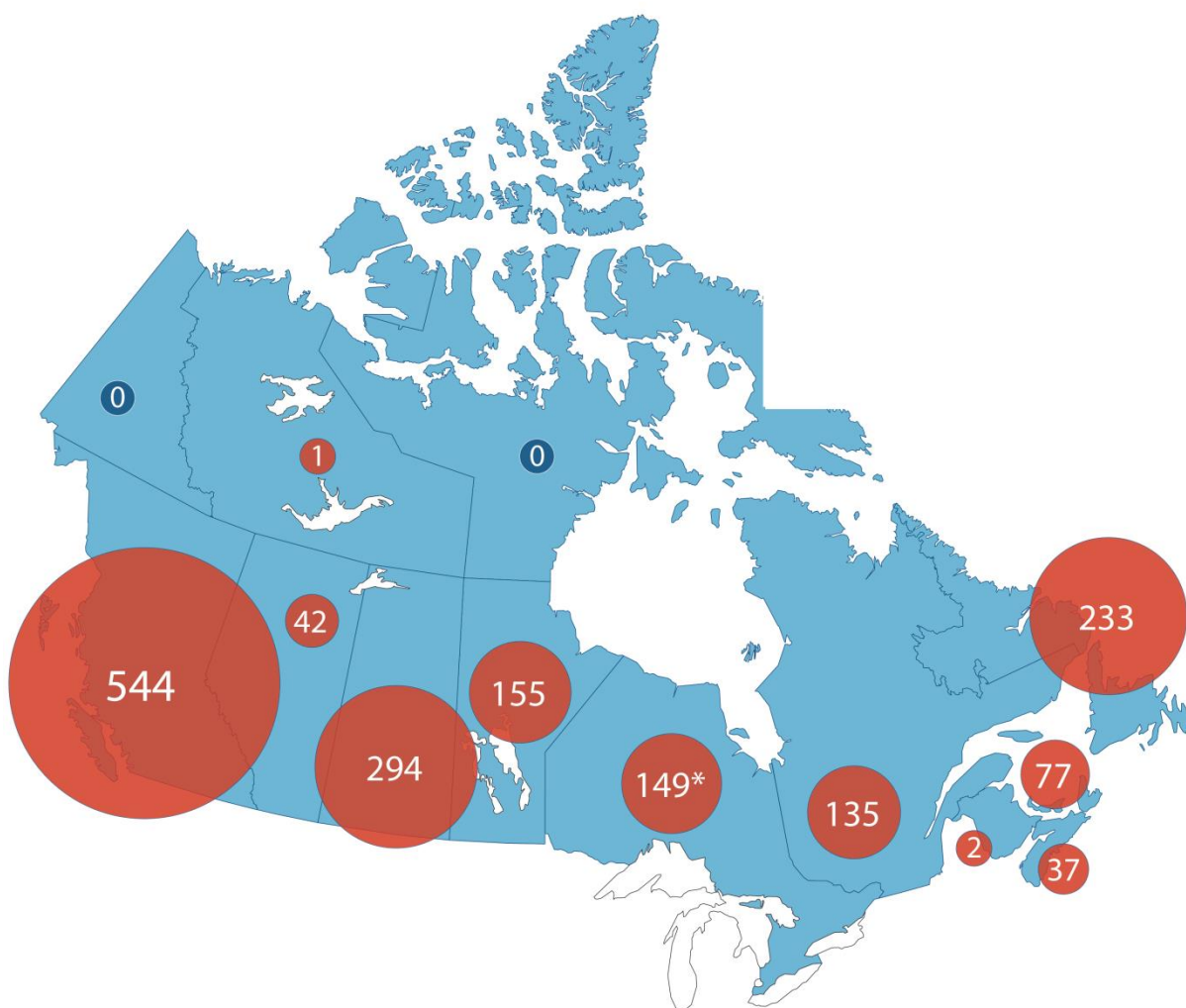
São abordadas as experiências da rede de pesquisa RES'EAU-Waternet do Canadá, o caso das Avaliações de Vulnerabilidade nos Estados Unidos, e a proposta internacional da Organização Mundial da Saúde com os Planos de Segurança da Água.

#### **3.6.1. RES'EAU**

Segundo Reading (2011), RES'EAU é uma rede de pesquisa empenhada em desenvolver soluções de abastecimento e tratamento de água economicamente eficiente às pequenas comunidades no Canadá. Ela tem como enfoque ações para sistemas que abastecem uma população até 2000 habitantes e/ou menos que 500 ligações domiciliares.

Mohseni (2012), diretor científico da rede de pesquisa, apresenta dados que milhões de Canadenses estão expostos à água de abastecimento não potável e sem tratamento em pequenas comunidades. Problemas de contaminação nessas comunidades são sub-relatados, porém estatísticas existentes indicam que quase 2000 pequenas comunidades emitem “avisos para ferver a água” (*boil water advisory*) todos os anos no Canadá, o resultado é que essas comunidades convivem diariamente em condições de terceiro mundo (RES’EAU, 2015).

Lui (2015) apresenta um mapa com o número de advertências de potencial risco na água de consumo por província Canadense, o que inclui avisos para fervura (“*boil water advisory*”), não consumo, preventivos, ou outras advertências relacionadas à água de consumo, num total de 1833 avisos no mês de janeiro de 2015 (exceto para a província de Ontário, indicada por asterisco, que inclui somente os casos de avisos de fervura).



**Figura 3.3:** Casos de avisos de potencial risco na água de consumo no Canadá por província (Fonte: LUI, 2015)

A rede de pesquisa foi dividida em duas fases e diversos temas. A primeira fase teve início em 2008, tendo como temas: caracterização da qualidade da água na fonte, desenvolvimento de soluções de tratamento inovadoras e difusão dessas soluções. A segunda

fase foi lançada em 2014, tendo como temas propostos: processos de tratamento integrados e inovadores, modelagem e avaliação da saúde ambiental e governança, análise de risco e aderência às normativas. Cada tema possui também diversos subtemas de pesquisa.

Res'eau (2015) apresenta alguns dos principais resultados da primeira fase do projeto RES'EAU-Waternet:

- Dados abrangentes das características químicas e microbiológicas dos ecossistemas dos mananciais em conjunto com dados da qualidade da água de distribuição;
- Modelos de previsão para estabelecer como as mudanças climáticas e de uso do solo podem afetar a qualidade da água;
- Uma base de conhecimento quanto aos impactos dos fatores humanos na água de consumo em pequenas comunidades;
- Um abrangente estudo em escala piloto para remoção de farmacêuticos e compostos desreguladores endócrinos (EDC) nos principais processos de tratamento de água;
- Desenvolvimento de uma metodologia composta de quatro vertentes, incluindo a classificação do manancial, classificação da alternativa de tratamento, custos e avaliação final;
- Estrutura para suporte à decisão a fim de sistematizar a operação de pequenas estações de tratamento de água;
- Desenvolvimento de uma estrutura para avaliação dos sistemas de tratamento de água baseado na robustez, confiabilidade e análise de risco.

Esses resultados foram disseminados por meio de publicações em diversos jornais como *Environmental Science and Technology*, *Water Research*, *Chemical Engineering Science*, *Applied Catalysis*, *Electrochimica Acta*, entre outros, além de diversas apresentações em conferências.

Mohseni (2012) afirma que os desafios podem ser superados mediante o encurtamento da distância entre a pesquisa e o dia a dia dos sistemas de abastecimento, envolvendo todos os atores na criação de reais soluções para o abastecimento de água em pequenas comunidades.

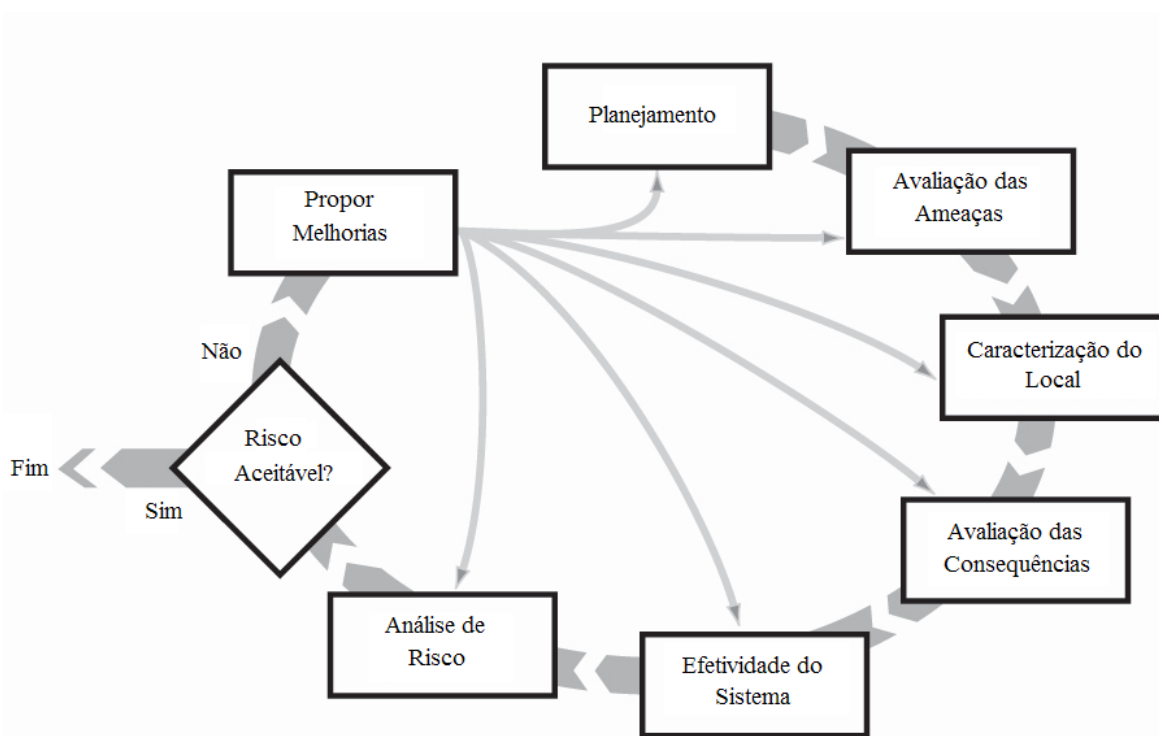
### **3.6.2. Avaliação de Vulnerabilidade**

As avaliações de vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água dos Estados Unidos tem origem nos eventos de 11 de setembro de 2001. Com isso, em 2002, criou-se a exigência da elaboração de avaliações de vulnerabilidades em todos os sistemas de

abastecimento de água que serviam populações maiores que 3.300 habitantes (DANNEELS; FINLEY, 2004).

Cook e Bakker (2012) mencionam que a agência de proteção ambiental dos Estados Unidos (US EPA) define segurança da água como a proteção contra contaminação e terrorismo. Tendo em vista a importância desses sistemas para o bem estar, a infraestrutura de abastecimento de água para consumo humano tornou-se um caso de segurança nacional (SHERMER, 2005).

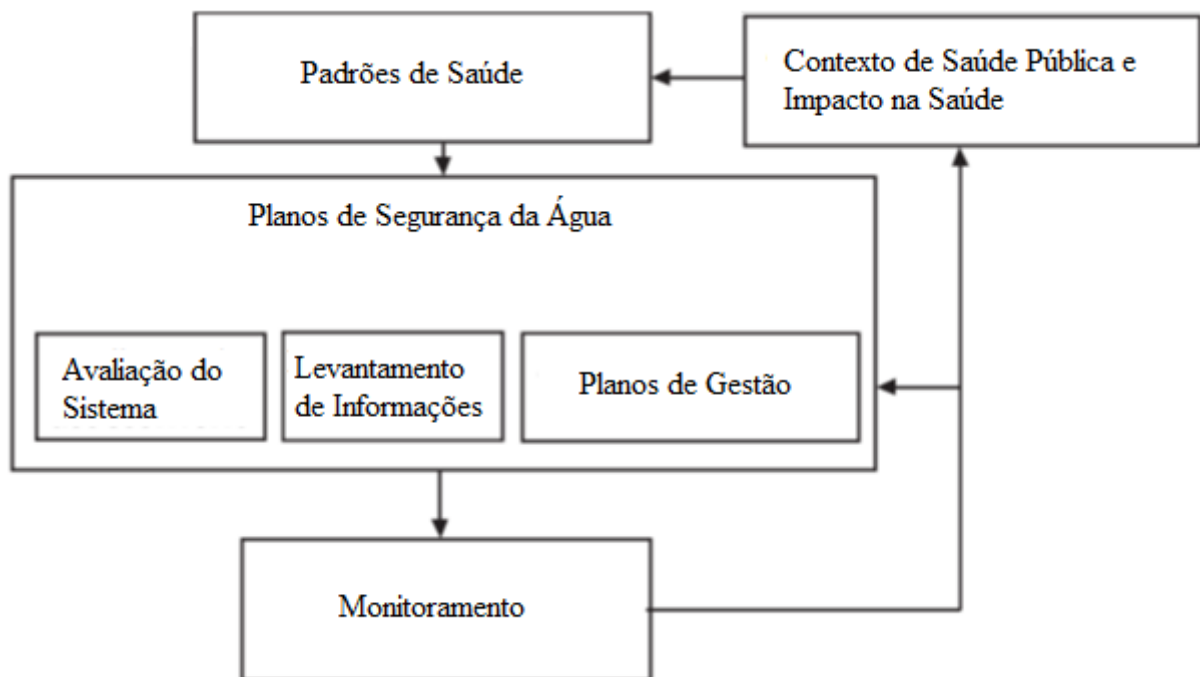
A mesma metodologia é também empregada, de maneira simplificada, para pequenos sistemas de abastecimento de água, que servem populações menores que 3.300 habitantes. Segundo Danneels e Finley (2004), o processo de análise de vulnerabilidade tem como origem a análise de risco, empregando a metodologia RAM-W, que é um processo iterativo no qual se levantam as ameaças a que se deseja evitar (Figura 3.4).



**Figura 3.4:** Metodologia RAM-W  
(Fonte: Adaptado de DANNEELS; FINLEY, 2004)

### 3.6.3. Plano de Segurança da Água

O Plano de Segurança da Água (PSA) tem origem nas *Guidelines for Drinking-water Quality*, da Organização Mundial da Saúde, sendo sua última versão publicada em 2011. O principal propósito do documento é a proteção da saúde pública, incluindo recomendações para gestão do risco associado às ameaças que podem comprometer o acesso à água de consumo segura (WHO, 2011a). A Figura 3.5 apresenta a estrutura proposta para a disponibilidade de uma água de consumo segura.



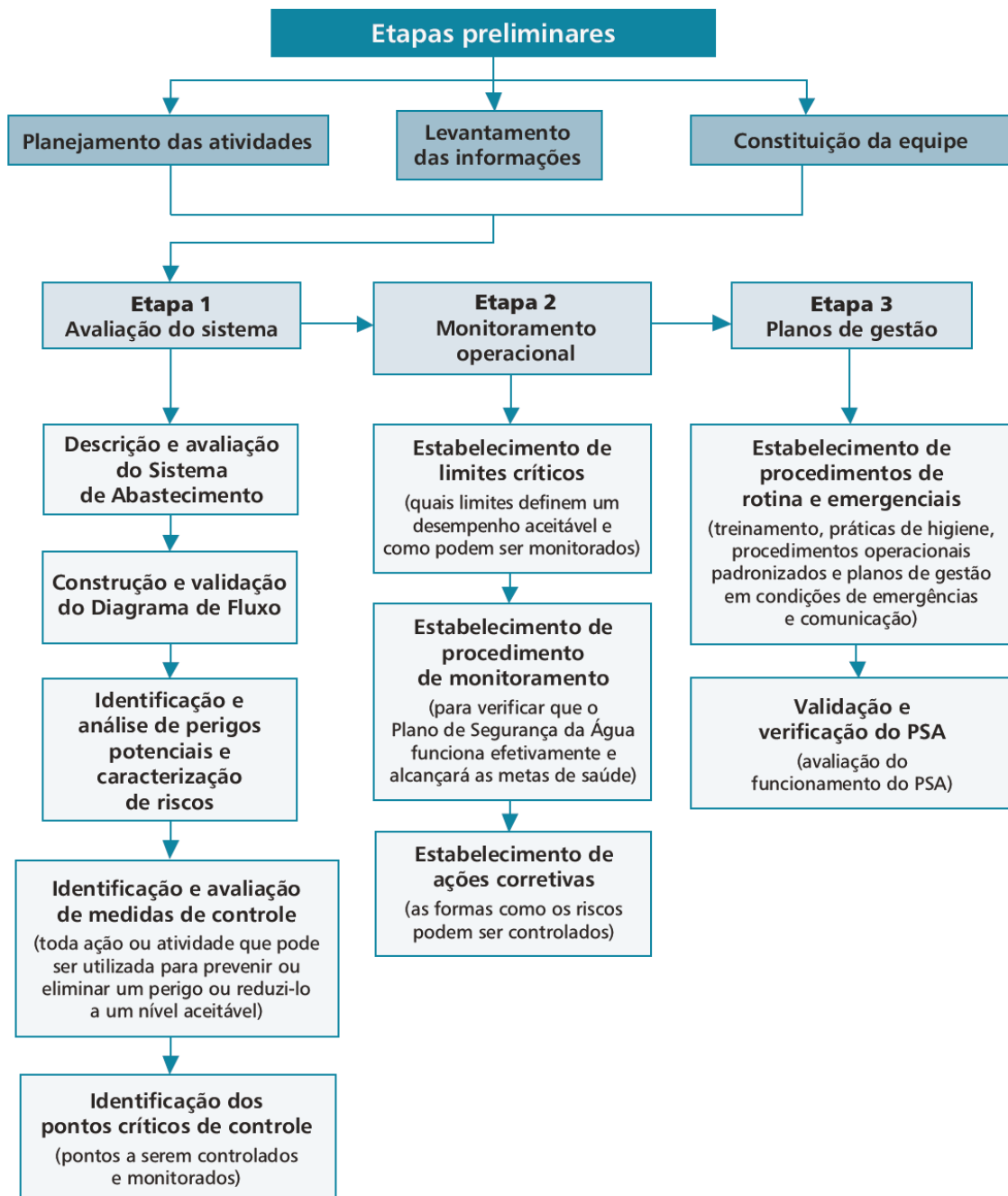
**Figura 3.5:** Estrutura para uma água de abastecimento segura  
(Fonte: Adaptado de WHO, 2011a)

Essa estrutura, incluindo os Planos de Segurança da Água como etapa intermediária entre os padrões de potabilidade em saúde e o monitoramento por meio do Controle e Vigilância, justifica-se pela limitação da abordagem tradicional de controle da qualidade da água focada somente em análises laboratoriais (BRASIL, 2012a).

Segundo o Conselho Nacional de Saúde, os PSA são uma ferramenta inovadora, já que abordam a gestão de riscos com enfoque no consumidor. Em um PSA, identificam-se as possíveis deficiências do sistema de abastecimento de água, buscando-se, assim, minimizar a ocorrência de incidentes. Além disso, é proposta a elaboração de planos de contingência para adequar os procedimentos a serem adotados em eventos extremos, como secas e inundações (BRASIL, 2012a).

As etapas de elaboração de um Plano de Segurança da Água são apresentadas pelo Conselho Nacional de Saúde, conforme Figura 3.6.

## PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA



**Figura 3.6:** Etapas para elaboração de um Plano de Segurança da Água  
(Fonte: BRASIL, 2012a)

Ressaltam-se ainda outras duas etapas: a revisão do PSA, etapa a ser realizada periodicamente e após eventos de emergência para garantir que não se repitam; e a verificação da eficácia do PSA, etapa em que o Plano é objeto de auditoria, tanto externas quanto internas, a fim de verificar o cumprimento eficaz de seus objetivos (BRASIL, 2012a).

A Organização Mundial da Saúde apresenta, também, ações relacionadas à implementação dos Planos em pequenos sistemas de abastecimento de água. Devido a suas peculiaridades dois caminhos podem ser seguidos (WHO, 2005):

- **Planos de Segurança da Água genéricos:** compreende a criação de planos genéricos para cada tecnologia a serem aplicados posteriormente por uma região ou país;
- **Guias de Planos de Segurança da Água:** compreende a criação de guias que auxiliam o desenvolvimento de Planos localmente e que podem ser modificados de acordo com as realidades de cada sistema.

Em pequenos sistemas, a alternativa da criação de Planos genéricos para cada tecnologia tende a ser mais eficaz, tendo em vista a complexidade das questões abordadas e a dependência externa dos operadores dos pequenos sistemas de abastecimento de água. Em muitos casos, após a elaboração é também necessário suporte externo do poder público para manutenção e revisão do plano periodicamente (WHO, 2005).

Outra publicação da Organização Mundial da Saúde indica que o Plano de Segurança da Água tem a proposta de auxiliar a comunidade em gerenciar os riscos em saúde que podem ameaçar o sistema de abastecimento de água. Mesmo que as melhorias identificadas não possam ser imediatamente sanadas, o Plano reforça a adoção de priorização das ações a serem realizadas (WHO, 2012).

A aplicação dos PSA vem sendo realizada em diversos países, inclusive no Brasil. Ressalta-se que apesar dos resultados eficazes, é necessário adequar a metodologia dos Planos à realidade local e aos diferentes sistemas de abastecimento (BRASIL, 2012a).

### **3.7. Técnicas de Amostragem**

Segundo Cochran (1977), uma amostragem pode ser classificada como probabilística ou não probabilística, sendo que ambas podem trazer resultados aproveitáveis, porém somente a amostragem probabilística apresenta resultados estatisticamente significantes. Outra nomenclatura usualmente empregada é de uma amostra quantitativa ou qualitativa.

Sukhatme (1954) afirma que em um estudo probabilístico as variáveis são claramente definidas e o método de amostragem segue a lei das probabilidades, em que cada membro da população tem uma probabilidade de ser escolhido. Já em um estudo não probabilístico, procura-se entender um fenômeno pela observação, sendo que o método de amostragem leva a resultados tendenciosos, já que depende de julgamentos do pesquisador.

A seguir são apresentadas algumas das técnicas de amostragem que foram base para essa pesquisa, desde a amostragem aleatória simples até considerações de uma amostra

complexa, como a divisão dos sistemas em conglomerados, o uso da estratificação, a amostragem com probabilidade proporcional ao tamanho, a amostragem inversa, além de considerações quanto ao efeito do plano amostral.

### **3.7.1. Amostragem Aleatória Simples**

A amostragem aleatória simples (AAS) é o método de amostragem mais simplificado, sendo operacionalmente conveniente e simples no desenvolvimento da teoria estatística (SUKHATME, 1954). Nesse método a probabilidade de inclusão de determinado elemento da população é a mesma para todos.

Segundo Levy e Lemeshow (2008), a amostragem aleatória simples é a fundação em que a teoria da amostragem estatística é construída, sendo base de comparação para todos os outros métodos de amostragem.

Apesar da facilidade, a amostragem aleatória simples nem sempre é a estratégia amostral mais eficiente e econômica para uma determinada pesquisa, em que outros métodos de amostragem são mais apropriados para o alcance dos objetivos (BRASIL, 2002b; LEVY; LEMESHOW, 2008).

### **3.7.2. Amostragem com Probabilidade Proporcional ao Tamanho**

A amostragem com probabilidade proporcional ao tamanho (PPT) é uma técnica de amostragem que atribui pesos aos elementos da população, diferenciando-se assim do método simples de amostragem aleatória.

Lehtonen e Pahkinen (2004) apresentam alguns dos métodos de seleção da amostra por meio da PPT. Entre eles, ressalta-se a amostragem sistemática proporcional ao tamanho, que é um dos métodos mais simples de ser operacionalizado em grandes amostras.

Nesse método, a probabilidade de inclusão ( $\pi_k$ ) de um elemento é função do seu peso ( $P_k$ ), do número de elementos selecionados ( $n$ ) e o número total de elementos ( $T$ ), conforme apresentado na Equação 3.1.

$$\pi_k = n \cdot \frac{P_k}{T} \quad (3.1)$$

Para se utilizar esse método, a probabilidade de inclusão do elemento deve ser menor ou igual a um ( $\pi_k \leq 1$ ), porém existem casos no qual o tamanho do elemento é demasiadamente grande, tornando essa afirmação falsa. Nesse caso, deve-se atribuir a



probabilidade do elemento igual a um, ou seja, inclusão certa, e fazer a amostragem com os elementos restantes, conforme apresentado na Equação 3.2.

$$\pi_k = (n - 1) \frac{P_k}{\sum_{k=1}^N P_k - P_{k'}}, k \neq k' \quad (3.2)$$

Sendo  $\pi_k$  a probabilidade de inclusão;  $n$  o tamanho da amostra;  $P_k$  o peso do elemento  $k$ ; e  $P_{k'}$  o peso do elemento  $k$  retirado do cálculo.

### 3.7.3. Amostragem em Conglomerados

A amostragem por conglomerados pode ser utilizada quando os elementos de uma população podem ser agrupados em conjuntos semelhantes, mas internamente heterogêneos (BRASIL, 2002b).

A utilização de conglomerados traz uma série de vantagens práticas, Levy e Lemeshow (2008) citam a economicidade e praticidade como as principais razões para a utilização da amostragem por conglomerados. Mediante a conglomeração é possível elaborar pesquisas sem a necessidade da listagem de todos os elementos de uma população, tornando essa etapa muito prática. Além disso, os custos com deslocamento são reduzidos, já que, no caso do conglomerado ser uma unidade geográfica, os custos para amostrar a população dentro do conglomerado são relativamente baixos em comparação a uma amostra simples que envolveria diversas amostras espaçadas geograficamente.

Porém, ressalta-se que a adoção da amostragem por conglomerados é um método menos eficiente que a amostragem simples por conta da similaridade dentro dos conglomerados, refletida pelo coeficiente de correlação intra-classe, devendo-se, portanto, ser levado em conta seu impacto no tamanho da amostra e na análise dos dados (CAMPBELL *et al.*, 2004; KILLIP *et al.* 2004; LEVY; LEMESHOW (2008); VAN BREUKELEN *et al.*, 2012)

Além disso, o número de amostras realizadas dentro do conglomerado é também uma variável que torna o estudo menos significativo. Killip *et al.* (2004) apresentam um exemplo com dados fictícios em que uma amostra aleatória simples de 128 pacientes, com 80% de significância, perde a significância ao ser utilizada uma amostragem por conglomerados. No exemplo, ao se utilizar 64 conglomerados com 2 amostras em cada, totalizando os 128 pacientes estudados, a significância cairia para 79%, no caso de 16 conglomerados com 8 pacientes cada, a significância seria de 75%, já em um caso de 4 conglomerados, com 32 pacientes estudados em cada, a significância seria de 61%.

O exemplo levou em conta parâmetros fictícios que variam em cada estudo, mas que demonstra o efeito do tamanho do *cluster* e apresenta a utilização de uma amostragem aleatória simples dentro de um conglomerado, chamada de amostragem aleatória por conglomerados em dois estágios, podendo ainda ser em múltiplos estágios, quando o número de etapas de amostragem é maior.

#### **3.7.4. Amostragem Estratificada**

De maneira oposta à divisão em conglomerados, a estratificação é utilizada quando os elementos de uma população podem ser agrupados em conjuntos homogêneos. As subpopulações (estratos) não devem ser sobrepostas, e em conjunto devem representar toda a população de estudo.

Cochran (1977) e Lehtonen e Pahkinen (2004) apresentam as principais razões para se utilizar uma amostra estratificada:

- Quando se pretende obter resultados com precisão adequada para diferentes subpopulações;
- Conveniência administrativa, já que muitas populações já estão divididas em subpopulações naturalmente;
- Possível ganho de precisão estatística nas estimações de características de toda a população quando os estratos são homogêneos;
- Garantia da representação de pequenas subpopulações quando desejável.

Quanto ao número de amostras a serem retiradas de cada estrato, Lehtonen e Pahkinen (2004) citam diversos métodos de alocação, porém se ressalta para essa pesquisa a alocação proporcional, na qual o número de amostras de cada estrato é proporcional ao seu peso estipulado.

Uma amostra estratificada demanda o conhecimento prévio dos estratos para sua aplicação ainda na etapa de planejamento da amostragem. Porém outra forma de estratificação pode ser realizada após a pesquisa ter sido executada, sendo chamada de pós-estratificação. Por exemplo, se em uma amostra coletada a proporção de resposta contém 60% pessoas do sexo feminino, e 40% do sexo masculino, pode-se aplicar uma pós-estratificação nesse critério a fim de adequar a proporção aos níveis reais da população, ou seja, próximo a 50%.

#### **3.7.5. Amostragem Inversa**

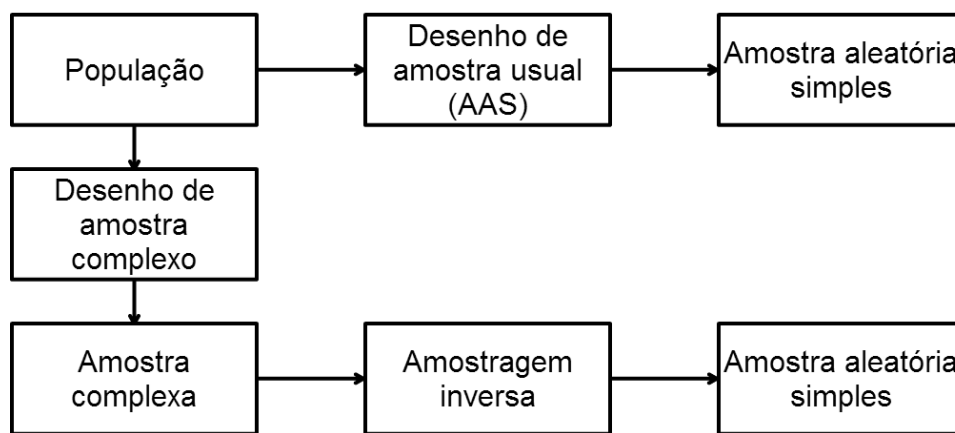
A análise estatística dos dados de uma amostra complexa deve levar em consideração as características da amostra, já que, por exemplo, a similaridade dos dados dentro de um

conglomerado em uma amostragem por conglomerados pode causar interferências nos resultados. Apesar disso, grande parte das técnicas de análise estatística foram desenvolvidas considerando somente uma amostra aleatória simples.

Uma forma de lidar com essa condição é recorrendo a amostragem inversa que consiste em quatro etapas: inverter a amostra complexa para que se possa gerar uma subamostra aleatória simples (com certo grau de aproximação); aplicar o método estatístico convencional diretamente na subamostra (SA) gerada; repetir as etapas anteriores sucessivamente; realizar inferências com base nos resultados das subamostras combinadas (HINKINS *et al.*, 1994; HOFFMAN *et al.*, 2001; RAO *et al.*, 2003; HINKINS *et al.*, 2009).

Por meio da amostragem inversa é possível aplicar modelos estatísticos complexos, que consideram independência e igualdade de distribuição (características de uma AAS), em uma amostra complexa. Segundo Rao *et al.* (2003), enquanto uma parte dos estatísticos se concentrou em desenvolver métodos de amostragem eficientes, porém complexos, para estimar características simples; o restante se concentrou em desenvolver modelos complexos, mas que consideram uma estrutura de amostragem simples.

Hinkins *et al.* (1994) apresentam um fluxograma que sistematiza a conceito da amostragem inversa:



**Figura 3.7:** Fluxograma de uma amostragem inversa

(Fonte: Adaptado de HINKINS *et al.*, 1994)

### 3.7.6. Efeito do Plano Amostral

Kish (1965) descreve o efeito do plano amostral (*design effect*) como a variância de uma estimativa obtida por uma amostra complexa daquela obtida por uma amostra aleatória simples. Segundo Cochran (1977), o efeito do plano amostral tem dois principais usos, na seleção do tamanho de uma amostra e na avaliação da eficiência de uma amostra complexa.

Em termos práticos, um *design effect* menor que “um” significa ganhos de precisão da amostra em referência a uma amostragem simples, e valores maiores que “um” indicam uma perda de precisão.

O efeito do plano amostral pode ser calculado analiticamente para os principais métodos de amostragem. Na amostragem por conglomerados, por exemplo, considerando conglomerados de tamanhos iguais ( $B$ ), uma equação aproximada para o efeito do plano amostral é apresentado na Equação 3.3.

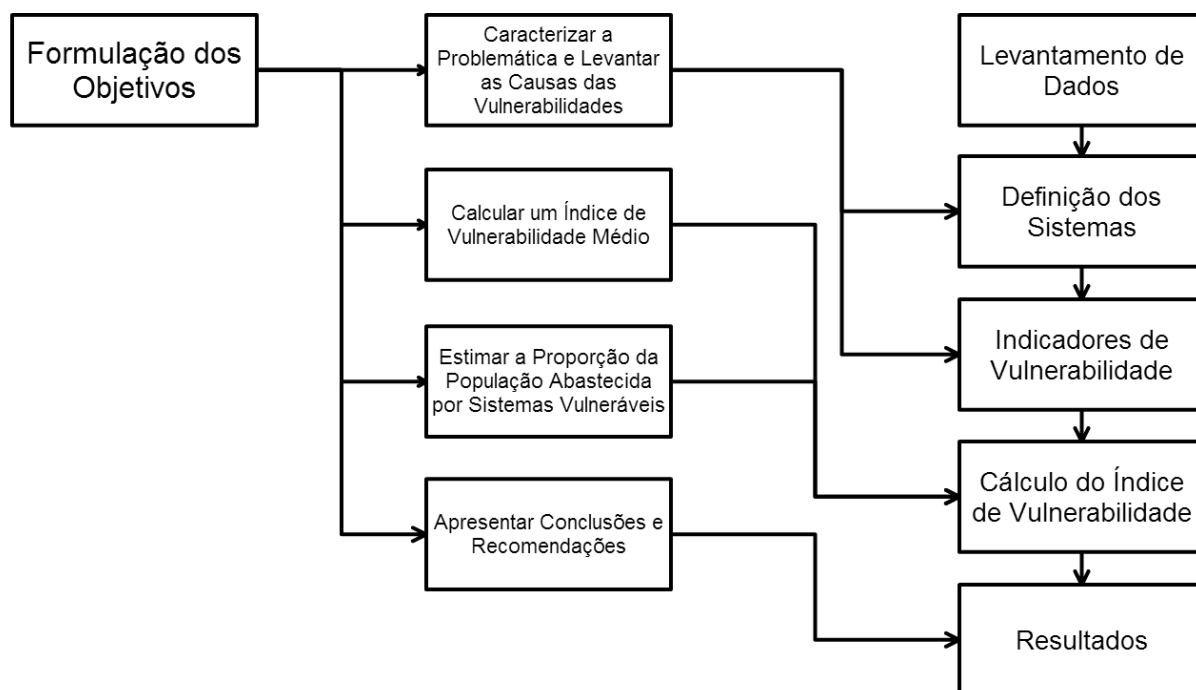
$$deff = 1 + (B - 1) \cdot \rho \quad (3.3)$$

Sendo *deff* o efeito do plano amostral;  $B$  o tamanho do conglomerado, e  $\rho$  o coeficiente de correlação intra-classe.

O parâmetro  $\rho$  representa a similaridade das amostras entre os conglomerados. Com base em outros estudos e valores publicados do coeficiente de correlação intra-classe de estudos similares seria possível estimar o efeito do plano amostral e calcular o tamanho da amostra necessário para determinada pesquisa probabilística utilizando as principais técnicas de amostragem.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

O fluxograma mostrado na Figura 4.1 apresenta a estrutura do método abordado neste projeto:



**Figura 4.1:** Fluxograma do método

### 4.1. Levantamento de Dados

Com base nos objetivos da pesquisa, os dados necessários e disponíveis para o desenvolvimento do trabalho foram buscados nas seguintes fontes:

- **SISAGUA:** banco de dados do Ministério da Saúde que apresenta os dados de cadastro e das análises de Controle e Vigilância da qualidade da água nos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA), Soluções Alternativas Coletivas (SAC), e Soluções Alternativas Individuais (SAD);
- **FEEDados:** banco de dados da Fundação de Economia e Estatística (FEE), órgão ligado à Secretaria do Planejamento, Mobilidade e Desenvolvimento Regional do Governo do Estado do Rio Grande do Sul, que apresenta dados estatísticos do estado e seus municípios como, por exemplo, estimativas populacionais, indicadores socioeconômicos, entre outros.

### 4.2. Definição dos Sistemas de Estudo

Por meio dos dados do SISAGUA, definiram-se os sistemas objeto de estudo com base na análise dos dados de cadastro, a fim de delimitar os sistemas de abastecimento de água

para pequenas comunidades. Os levantamentos foram realizados para o período de 01/01/2014 à 31/12/2014.

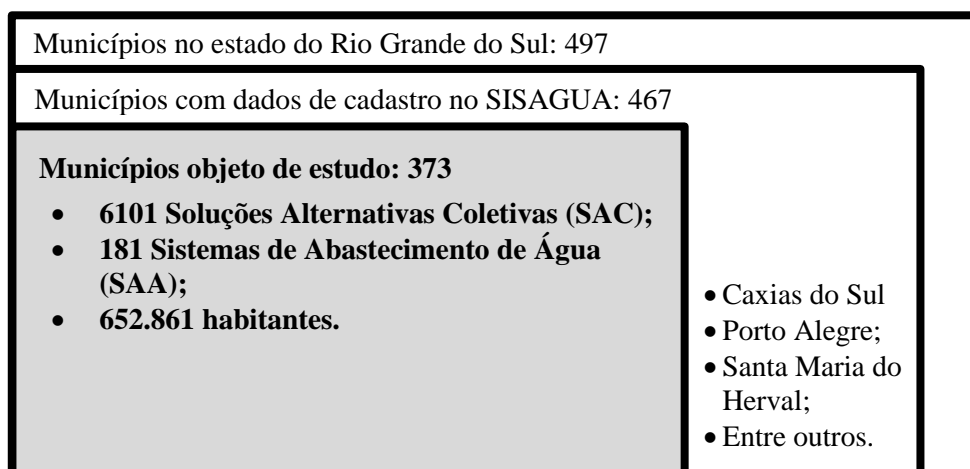
Dos 497 municípios gaúchos, o SISAGUA possui para 2014, no período do levantamento, dados de cadastro de 467 municípios. Sendo assim, o sistema de informações abrange dados de cadastro de 94% dos municípios do estado do Rio Grande do Sul.

A fim de distinguir somente aqueles municípios que contém sistemas de abastecimento de água para pequenas comunidades, acrescentaram-se ainda os seguintes critérios de exclusão:

- Municípios com população abastecida por SAC, exceto os casos de SAC indicados como caminhão pipa e/ou;
- Municípios com população abastecida por SAA em que o sistema atenda a uma população máxima de 2000 habitantes, exceto aqueles em que o somatório dos SAA gerenciados pelo mesmo órgão atenda uma população total maior que 4000 habitantes.

Por exemplo: municípios como Porto Alegre, que possui SAC somente cadastrados como caminhão pipa; Caxias do Sul, que possui pequenos sistemas de abastecimento, mas que são gerenciados pelo mesmo órgão que atua no abastecimento de toda a população do município (SAMAE); Santa Maria do Herval (população menor que 2000 habitantes), que é atendido plenamente pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN); entre outros, foram excluídos do escopo desse projeto.

A Figura 4.2 apresenta um esquema do universo de estudo, em que o retângulo externo representa o universo de todos os municípios do estado do Rio Grande Sul, o intermediário somente aqueles com dados de cadastro no SISAGUA, e o interno somente os municípios que foram objeto de estudo, ou seja, considerando os critérios de exclusão apresentados.



**Figura 4.2:** Representação do universo de estudo

Encontraram-se, portanto, 373 municípios, com uma população total estimada abastecida por SAC de 588.513 habitantes, e por SAA, nos critérios excludentes acima, de 64.384 habitantes. Em termos proporcionais, essa população representa somente 6,0% da população do Estado, porém é comparável a 45,8% da população da capital Porto Alegre, conforme estimativas populacionais de 2013 apresentadas por FEE (2015). Quanto ao número de sistemas e soluções, há um total de 181 Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) independentes, e 6101 Soluções Alternativas Coletivas (SAC) objetos de estudo.

A Tabela 4.1 resume o levantamento de dados realizado pelo SISAGUA, além de outras informações julgadas de interesse, considerando o estado do Rio Grande do Sul e os critérios que definem o escopo dessa pesquisa.

**Tabela 4.1:** Dados levantados no SISAGUA para o estado do Rio Grande do Sul no ano de 2014, conforme critérios do estudo

<b>Informação</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidade</b>
Municípios no estado do Rio Grande do Sul	497	municípios
Municípios com dados no SISAGUA em 2014	467	municípios
<b>Municípios objeto de estudo</b>	<b>373</b>	<b>municípios</b>
Municípios somente com SAA	12	municípios
Municípios somente com SAC	321	municípios
Número de SAA	181	sistemas
Número de SAC	6101	soluções
Número médio de SAA por município	3,5	sistemas
Número médio de SAC por município	17	soluções
Proporção de SAA com dados de Vigilância	87,2	%
Proporção de SAC com dados de Vigilância	64,8	%
População abastecida por SAA	64.348	habitantes
População abastecida por SAC	588.513	habitantes
Proporção de população abastecida por SAA sem tratamento	2,9	%
Proporção de população abastecida por SAC sem tratamento	38,5	%
População média abastecida por SAA	356	habitantes
População média abastecida por SAC	96	habitantes
Proporção de amostras de CT fora do padrão em SAA	9,7	%
Proporção de amostras de CT fora do padrão em SAC	30	%
Proporção de amostras de <i>Escherichia coli</i> fora do padrão em SAA	3,1	%
Proporção de amostras de <i>Escherichia coli</i> fora do padrão em SAC	10,8	%

(Fonte: SISAGUA, 2015)

Ressalta-se que os dados específicos de cada sistema que foi visitado, ou de uma região em específico, foram avaliados em maior profundidade posteriormente a fim de caracterizar a vulnerabilidade.

Determinado o universo de sistemas da pesquisa, buscou-se a definição de quais sistemas seriam visitados em campo a fim de prover resultados significantes quanto à vulnerabilidade do abastecimento de água em pequenas comunidades no estado do Rio Grande do Sul. Portanto, tendo em vista a possibilidade dos resultados serem generalizados para toda a população, a composição da amostra foi mediante uma amostragem probabilística.

A seguir são apresentados os métodos para a definição do tamanho da amostra, além das considerações feitas durante composição da amostra para determinação dos sistemas vistoriados *in loco*.

#### 4.2.1. Tamanho da Amostra

Segundo Sukhatme (1954), um método de amostragem que deseje fornecer uma amostra representativa da população deve refletir a variabilidade de todas as características da população da maneira mais precisa que o tamanho da amostra permite, sendo assim, estimativas confiáveis podem ser construídas da amostra.

Lemeshow *et al.* (1990) apresentam os métodos de cálculo do tamanho de uma amostra em estudos clínicos por meio da amostragem aleatória simples para os principais casos de interesse: uma amostra, duas amostras, comparativo entre dois grupos, de equivalência, não inferioridade, ente outros. Entre os métodos apresentados, destaca-se, para a definição do tamanho da amostra nessa pesquisa, o caso de uma amostra por meio da média/desvio-padrão e proporção.

A equação para estimação do tamanho da amostra com base na média/desvio-padrão em uma população finita é apresentada na Equação 4.1.

$$n = \frac{N \cdot \sigma^2 \cdot (Z_{\alpha/2})^2}{(N - 1) \cdot E^2 + \sigma^2 \cdot (Z_{\alpha/2})^2} \quad (4.1)$$

Sendo  $n$  o número de amostras;  $N$  o tamanho da população;  $\sigma$  o desvio padrão da população;  $Z_{\alpha/2}$  o nível de confiança; e  $E$  o erro absoluto adotado.

Observa-se na equação a necessidade do conhecimento prévio do desvio-padrão da população. Lemeshow *et al.* (1990) sugere a estimação do desvio-padrão recorrendo a um estudo piloto, ou com base em outros estudos semelhantes já realizados. Mesmo sem o dado do desvio-padrão conhecido, utilizando-se de uma estimativa esperada, esse método poderia ser aplicado caso o objetivo desse estudo fosse somente a avaliação da vulnerabilidade média dos sistemas.



Apesar disso, espera-se obter dados também de proporção, conforme apresentado nos objetivos específicos dessa pesquisa. Sendo assim, a Equação 4.2 apresenta a forma de determinação do tamanho da amostra para uma proporção em uma população finita.

$$n = \frac{N \cdot p \cdot (1 - p) \cdot (Z_{\alpha/2})^2}{(N - 1) \cdot E^2 + p \cdot (1 - p) \cdot (Z_{\alpha/2})^2} \quad (4.2)$$

Sendo  $n$  o número de amostras;  $N$  o tamanho da população;  $p$  a proporção da população com a característica desejada;  $Z_{\alpha/2}$  o nível de confiança; e  $E$  o erro absoluto adotado.

De forma análoga ao caso anterior, o método também requer o conhecimento prévio de uma das variáveis para o cálculo do tamanho da amostra, a proporção da população com a característica de estudo. Lemeshow *et al.* (1990) propõem utilizar uma proporção de 0,5 quando o pesquisador não tem informações da proporção da população de estudo, o que iria proporcionar uma amostra grande o suficiente, independente da proporção real da população.

Sendo assim, aplicou-se o método para o cálculo do tamanho da amostra por meio de uma amostragem aleatória simples considerando a proporção desconhecida ( $p=0,5$ ), um erro absoluto aceitável de 10% ( $d=0,1$ ), número total de sistemas em estudo ( $N=6282$ ) e quatro níveis de confiança (80%, 85%, 90% e 95%) (Tabela 4.2).

**Tabela 4.2:** Variação do tamanho da amostra pela significância

Significância	Tamanho da Amostra
80%	41
85%	52
90%	67
95%	95

Em todos os casos, o tamanho da amostra seria demasiadamente grande tendo em vista questões de custo, deslocamento, tempo, entre outros. Portanto, foram utilizados outros métodos probabilísticos, como o uso de conglomerados e estratificação, a fim de prover uma amostra representativa, mas com um menor custo funcional. A utilização desses métodos em conjunto para amostrar uma população é chamada de amostra complexa (SZWARCOWALD; DAMACENA, 2008).

#### 4.2.2. Composição da Amostra

Com base no item anterior, dividiram-se os sistemas objeto de estudo em conglomerados por município, ou seja, cada município que possui sistemas e/ou soluções é um conglomerado.

Tendo em vista o tempo necessário para cada visita, optou-se pelo número de 3 sistemas a serem visitados em cada conglomerado selecionado, sendo assim o município que não possuía o número mínimo de 3 sistemas foi aglomerado a outro município vizinho, criando assim conglomerados que podem ser efetivamente selecionados. Essa consideração foi aplicada buscando-se manter homogêneo o peso da amostra para análise posterior dos dados.

A amostragem, portanto, foi, em primeiro nível, nos conglomerados criados (municípios ou aglomerados de municípios) e em segundo nível dentre os sistemas e/ou soluções presentes no conglomerado. Optou-se buscar uma significância entre 80 a 90% com erro absoluto de mais ou menos 10%, havendo assim a escolha de 20 municípios ou agregado de municípios (conglomerados) com visita a 3 sistemas (amostras) cada, totalizando uma amostra de 60 sistemas.

Tendo em vista que não foram encontrados estudos semelhantes com um coeficiente de correlação intra-classe publicado, considerou-se que haverá certa perda de significância, porém sem inviabilizar o nível de confiança da pesquisa. No caso de um efeito do plano amostral de 1,50, a amostra de 60 sistemas seria equivalente a uma amostra simples de 40, ou seja, com significância dos resultados próxima de 80% (Tabela 4.2).

No primeiro nível incluiu-se, também, uma subdivisão em estratos pelas mesorregiões do Estado com base na população abastecida, tendo em vista a tendência de similaridade entre as regiões. A Tabela 4.3 apresenta algumas características das mesorregiões.

**Tabela 4.3:** Características das mesorregiões do estado do Rio Grande do Sul

Mesorregião	População Abastecida	Número de Sistemas	Porcentagem de Amostras de <i>Escherichia coli</i> Fora do Padrão <sup>1</sup>	IDESE <sup>2</sup>
Centro Ocidental	37.614	334	21,34	0,723
Centro Oriental	96.789	524	6,51	0,752
Metropolitana	99.832	565	6,21	0,748
Nordeste	88.385	882	5,31	0,793
Noroeste	316.656	3600	13,36	0,754
Sudeste	6.029	217	34,87	0,690
Sudoeste	7.597	154	28,21	0,688

<sup>1</sup>Com base nos dados do SISAGUA para o ano de 2014 em SAC (SISAGUA, 2015)

<sup>2</sup>Índice de desenvolvimento socioeconômico levantado pela Fundação de Economia e Estatística do Estado do Rio Grande do Sul no ano de 2012 (FEE, 2015).

Em análise da Tabela 4.3, observa-se que as mesorregiões Sudeste, Sudoeste e Centro Ocidental apresentam tamanhos de população abastecida pequena frente às outras mesorregiões. Considerando que essas regiões são relativamente similares, optou-se por aglutinar essas três mesorregiões em um único estrato, além disso, isso garantiu a amostragem de pelo menos dois conglomerados no estrato, critério importante para análise posterior dos dados.

Ressalta-se que isso inviabiliza a avaliação de cada uma dessas mesorregiões aglutinadas separadamente, porém esse projeto visou primordialmente avaliar a vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água em termos estaduais, sendo assim, a criação desses estratos garante certa representatividade para o Estado.

Para a amostragem dos conglomerados dentro de cada estrato, optou-se por uma amostragem sistemática proporcional ao tamanho de cada conglomerado, com base no número de sistemas presentes em cada um, sendo aleatorizados a fim de evitar problemas de tendência inerentes a uma amostra sistemática. Já dentro do conglomerado a amostragem dos sistemas selecionados foi pela amostragem simples.

Esse método garante uma probabilidade de inclusão para cada sistema em um determinado estrato igual, ou seja, cada sistema possui a mesma probabilidade de ser selecionado, independente do conglomerado, esteja ele em um conglomerado com um elevado número de sistemas ou em um conglomerado com somente três sistemas (probabilidade igual a “um” no segundo estágio). Com base nisso, calculou-se o peso da amostra para cada elemento, que indica o tamanho que o elemento amostrado representa na população.

$$PA_k = \frac{1}{\pi_1 \cdot \pi_2} \quad (4.3)$$

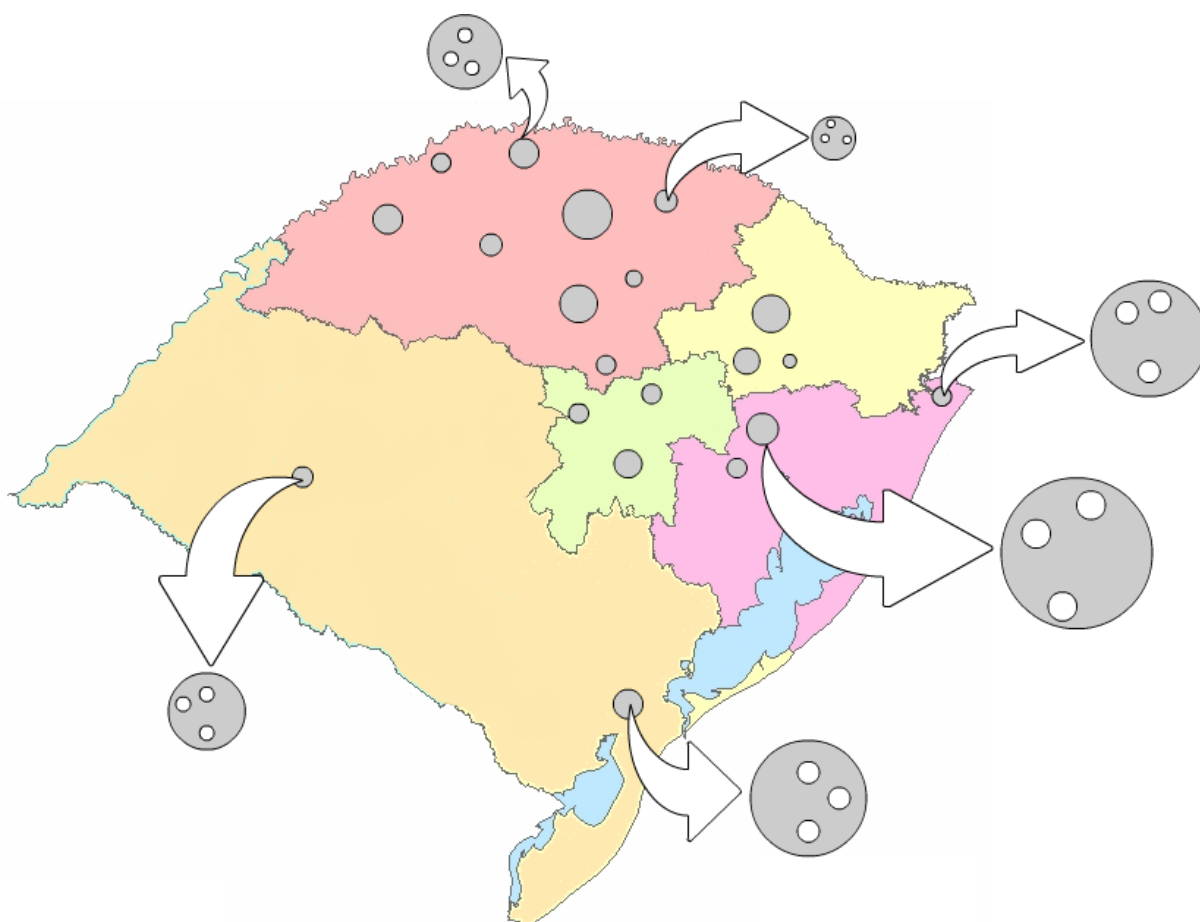
Sendo  $PA_k$  o peso do elemento  $k$  na amostra;  $\pi_1$  a probabilidade de inclusão do conglomerado no primeiro estágio; e  $\pi_2$  a probabilidade de inclusão do sistema no segundo estágio.

A Tabela 4.4 demonstra as características dos estratos amostrados, o número de sistemas no estrato e a quantidade de conglomerados selecionados em cada estrato, tendo como base a proporção da população abastecida no total.

**Tabela 4.4:** Características dos estratos amostrados

Mesorregião (Estrato)	População Abastecida no Estrato	Número de Sistemas no Estrato	Número de Conglomerados Selecionados
Centro Ocidental Sudeste - Sudoeste	51.240	705	2
Centro Oriental	96.789	524	3
Metropolitana	99.832	565	3
Nordeste	88.385	882	3
Noroeste	316.656	3600	9

A Figura 4.3 representa o método de amostragem deste estudo. Os círculos cinza no mapa indicam os conglomerados selecionados com probabilidade proporcional ao seu tamanho no 1º estágio, já os círculos brancos dentro de cada conglomerado representam os sistemas selecionados no 2º estágio, em número de três cada, por uma AAS.



**Figura 4.3:** Mapa representativo do método de amostragem

Com base na metodologia apresentada, as Tabelas 4.5 e 4.6 apresentam os conglomerados e sistemas visitados com seus respectivos pesos da amostra unitários, que indicam o tamanho que o sistema amostrado representa na população.

Os pesos dentro de um mesmo estrato possuem valores iguais, por exemplo, o município de Pelotas possui uma probabilidade de inclusão no primeiro estágio de 47,9% e no segundo estágio de 1,8%, já o município de Vila Nova do Sul, 2,6 e 33,3%; ou seja, aplicando-se a Equação 4.3, ambos resultam no mesmo valor.

**Tabela 4.5:** Amostra selecionada para as mesorregiões Centro Ocidental, Sudeste, Sudoeste, Centro Oriental, Metropolitana e Nordeste

<b>Estrato (Mesorregião)</b>	<b>Conglomerado (Municípios)</b>	<b>Sistema (ID)</b>	<b>Tipo</b>	<b>População Estimada<sup>1</sup></b>	<b>Peso do Sistema na Amostra</b>
Centro Ocidental Sudeste Sudoeste	Pelotas	1	SAC	6	117,50
		2	SAC	9	
		3	SAC	14	
	Vila Nova do Sul	4	SAC	70	
		5	SAC	79	
		6	SAC	25	
Centro Oriental	Fazenda Vilanova <sup>2</sup>	7	SAC	367	58,22
		8	SAC	99	
	Tabaí <sup>2</sup>	9	SAC	85	
		10	SAC	60	
	Relvado	11	SAA	250	
		12	SAA	30	
Rio Pardo	13	SAC	630		
	14	SAC	448		
	15	SAC	94		
Metropolitana	Mampituba <sup>3</sup>	16	SAC	50	62,78
		17	SAC	373	
		18	SAA	870	
	Pareci Novo	19	SAC	381	
		20	SAC	256	
	Sentinela do Sul	21	SAC	212	
22		SAC	34		
23		SAC	14		
Nordeste	Antônio Prado	24	SAC	52	98,00
		25	SAC	24	
		26	SAC	163	
	Farroupilha	27	SAC	45	
		28	SAC	240	
	Veranópolis	29	SAC	117	
30		SAC	40		
31		SAC	68		
		32	SAC	89	
		33	SAC	83	

<sup>1</sup>Com base nos dados do SISAGUA para o ano de 2014 (SISAGUA, 2015)

<sup>2</sup>Conglomerado de Fazenda Vilanova, Paverama e Tabaí

<sup>3</sup>Conglomerado de Cambará do Sul e Mampituba

**Tabela 4.6:** Amostra selecionada para a mesorregião Noroeste

<b>Estrato (Mesorregião)</b>	<b>Conglomerado (Municípios)</b>	<b>Sistema (ID)</b>	<b>Tipo</b>	<b>População Estimada<sup>1</sup></b>	<b>Peso do Sistema na Amostra</b>
Noroeste	Ernestina	34	SAC	85	133,33
		35	SAC	341	
		36	SAC	341	
	Ijuí	37	SAC	3 <sup>2</sup>	
		38	SAC	58 <sup>3</sup>	
		39	SAC	102 <sup>3</sup>	
	Três Arroios	40	SAC	48	
		41	SAC	30	
		42	SAC	256	
	Tunas	43	SAC	54	
		44	SAC	121	
		45	SAC	356	
	Novo Machado	46	SAC	83	
		47	SAC	25	
		48	SAC	1108	
	Mormaço	49	SAC	308	
		50	SAC	90	
		51	SAC	78	
	Seberi	52	SAC	115	
		53	SAC	150	
54		SAC	53		
Esperança do Sul	55	SAC	74		
	56	SAC	46		
	57	SAC	146		
Quatro Irmãos	58	SAC	78		
	59	SAC	1089		
	60	SAC	31		

<sup>1</sup>Com base nos dados do SISAGUA para o ano de 2014, exceto quando indicado (SISAGUA, 2015)

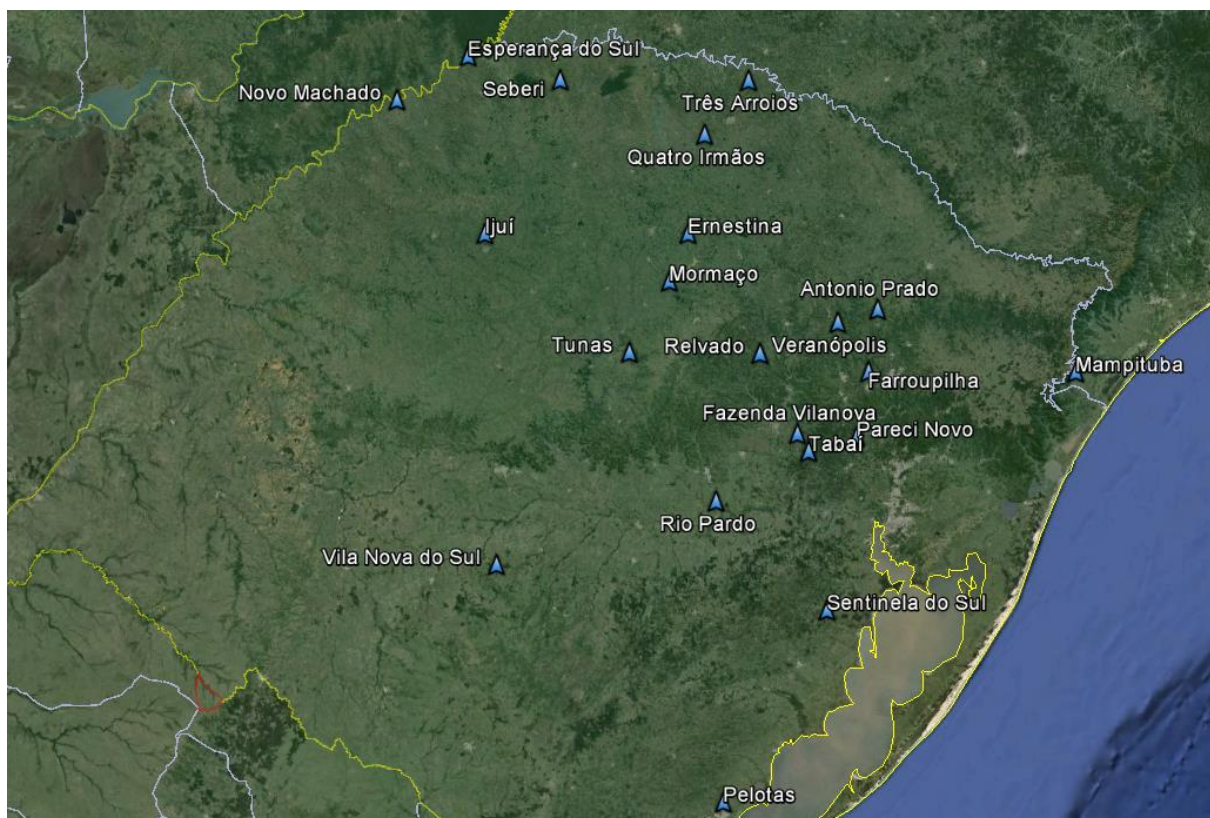
<sup>2</sup>Existência de população flutuante

<sup>3</sup>População estimada em campo

Observa-se que o peso de cada sistema em uma região é igual, característica da amostragem proporcional ao tamanho no primeiro estágio com amostragem simples no segundo estágio. Além disso, o peso de cada estrato é proporcional ao número de sistemas no estrato.

Essas características são essenciais para análise dos dados do ponto de vista dos sistemas, porém são divergentes de uma análise em termos populacionais, conforme um dos objetivos da pesquisa. Sendo assim, para análises em termos populacionais, foram aplicados critérios de pós-estratificação, a fim de melhor representar a população abastecida em cada região nos resultados.

A Figura 4.4 apresenta os municípios com sistemas selecionados e sua localização espacial no estado do Rio Grande do Sul.



**Figura 4.4:** Localização espacial dos municípios com sistemas selecionados  
(Fonte: GOOGLE, 2015)

#### **4.2.3. Visita a Sistemas**

Com base na amostra selecionada, os sistemas foram visitados a fim de avaliar em campo as vulnerabilidades. Além disso, buscaram-se levantar com os operadores dos sistemas quais são suas dificuldades diárias e as condições da população abastecida, a fim de melhor caracterizar a problemática e indicar quais os fatores que tem maior impacto na vulnerabilidade dos sistemas.

As visitas seguiram procedimentos éticos de não divulgação dos locais de visita (somente o município) e informações que possam ser consideradas sensíveis à população local.

#### **4.3. Indicadores de Vulnerabilidade**

A fim de avaliar a vulnerabilidade dos sistemas e levantar possíveis causas e fontes das principais vulnerabilidades dos sistemas estudados, definiram-se indicadores de avaliação a serem levantados. Cada conjunto de informações funciona como um indicador da vulnerabilidade do sistema a determinada dimensão, e sua média ponderada é o índice de vulnerabilidade do sistema em estudo.

Buscaram-se na bibliografia exemplos de indicadores utilizados para avaliar a vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água, a fim de manter esse estudo coerente com outros já publicados, conforme levantado no item 3.5 (MOLLE; MOLLINGA, 2003; ALESSA *et al.*, 2008; SULLIVAN, 2011; HURLEY *et al.*, 2012; PLUMMER *et al.*, 2012; UNESCO, 2012).

Nesta pesquisa, analisou-se a possibilidade de levantamento de dados por questionários ou somente com dados secundários, ideia descartada tendo em vista a importância da etapa de campo, em que os resultados encontrados podem ser analisados com a realidade local de cada sistema.

Plummer *et al.* (2012) ressaltam que não é relevante utilizar as mesmas ferramentas de avaliação da vulnerabilidade para todos os locais e escalas de aplicação. Segundo os autores, a revisão das ferramentas existentes deve ser um ponto de partida para o pesquisador que deseja construir uma ferramenta de avaliação de vulnerabilidade com critérios próprios e voltados à situação de interesse.

Portanto, tendo o enfoque na avaliação de vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água em pequenas comunidades, escolheram-se os critérios de análise mostrados na Tabela 4.7, bem como a fonte de levantamento dos dados.

**Tabela 4.7:** Indicadores de vulnerabilidade

<b>Dimensão</b>	<b>Indicador</b>	<b>Definição</b>	<b>Fonte</b>
<b>Recursos Hídricos</b>	Nível de Tratamento	Adequação do nível de tratamento à qualidade do manancial de captação	Campo; SISAGUA
	Disponibilidade dos Recursos Hídricos	Ocorrência de eventos, como secas, inundações, entre outros, que afetaram a disponibilidade do abastecimento de água	Campo
	Qualidade da Água	Qualidade da água tratada nos parâmetros microbiológicos e/ou físico-químicos	Campo; SISAGUA
	Manancial de Captação	Tipo de manancial utilizado para captação da água	Campo; SISAGUA
	Operação e Manutenção	Condições de operação e manutenção do sistema de tratamento e abastecimento de água	Campo
	Sistema de Distribuição	Qualidade da rede e ocorrência de eventos no sistema de distribuição de água para abastecimento	Campo
<b>Econômica</b>	Capacidade Econômica	Capacidade econômica do sistema para manutenções, aquisição de produtos químicos, investimentos, etc.	Campo
<b>Social</b>	Capacidade Técnica	Capacidade técnica dos operadores do sistema	Campo
<b>Institucional</b>	Suporte Governamental	Existência de suporte de órgãos de saúde, prefeitura, e outros agentes públicos	Campo
	Controle Amostral	Atendimento das condições da Portaria MS nº 2914/2011 em termos de controle amostral e monitoramento do sistema	Campo; SISAGUA



Cada indicador foi avaliado em uma escala de “zero” a “um”, sendo “um” um sistema não vulnerável naquele aspecto, e “zero” extremamente vulnerável no aspecto. Cada indicador tem, portanto, níveis de vulnerabilidade conforme a definição e justificativa apresentada na Tabela 4.8.

Buscou-se manter a definição atribuída a cada valor a mais objetiva possível, reduzindo-se a subjetividade e a ocorrência de resultados tendenciosos por conta de aspectos particulares do responsável pelo levantamento de dados.

**Tabela 4.8:** Valor associado a cada indicador

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Vulnerabilidade</b>	<b>Justificativa</b>
Nível de Tratamento	0,00	Sem tratamento	O nível de tratamento deve ser adequado às condições de qualidade da água do manancial de captação, devendo ainda cumprir o nível mínimo previsto na legislação.
	0,25	Tratamento inadequado	
	0,50	Tratamento parcialmente adequado	
	0,75	Tratamento adequado	
	1,00	Tratamento superior ao recomendável	
Disponibilidade dos Recursos Hídricos	0,00	Ocorrência anual de eventos	O sistema de abastecimento deve fornecer água em quantidade suficiente para os usos da população. Sendo assim, é essencial que os recursos hídricos estejam disponíveis para captação, inclusive em situações de emergência.
	0,25	Três ocorrências nos últimos cinco anos	
	0,50	Duas ocorrências nos últimos cinco anos	
	0,75	Uma ocorrência nos últimos cinco anos	
	1,00	Nunca ocorreu	
Qualidade da Água	0,00	Presença de <i>Escherichia coli</i>	O maior risco em saúde quanto à qualidade da água de abastecimento vem da contaminação por microrganismos patogênicos, e, com uma menor frequência, por contaminação de compostos químicos. Craun <i>et al.</i> (2006) constataram que somente 16% dos casos de surtos de doenças relacionadas à água foram relacionados a agentes químicos após análise de dados de 1991 à 2002 nos Estados Unidos.
	0,25	Presença de CT e/ou baixa concentração de cloro residual livre	
	0,50	Presença de turbidez e/ou cor em níveis não conformes	
	0,75	Presença de potenciais parâmetros físicos e químicos não conformes na região	
	1,00	Ausência de parâmetros não conformes	
Manancial de Captação	0,00	Superficial poluído	A água subterrânea tende a ser mais segura que a água de superfície, sendo o risco de contaminação microbiológica mais significativa em aquíferos rasos (SAUNDERS; WARFORD, 1983; HOWARD <i>et al.</i> , 2003).
	0,25	Superficial desprotegido ou subterrâneo poluído	
	0,50	Superficial protegido ou subterrâneo raso	
	0,75	Subterrâneo desprotegido	
	1,00	Subterrâneo protegido	
Operação e Manutenção do Sistema	0,00	Condições extremamente inadequadas	Saunders e Warford (1983) citam que um dos principais problemas associados ao fornecimento de água em áreas rurais é relativo à operação e manutenção dos sistemas.
	0,25	Condições inadequadas	
	0,50	Condições parcialmente adequadas ou em deterioração	
	0,75	Condições adequadas	
	1,00	Condições ótimas	

**Tabela 4.8:** Continuação

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Vulnerabilidade</b>	<b>Justificativa</b>
Sistema de Distribuição	0,00	Rede de má/boa qualidade com ocorrência de problemas frequentes	A existência de problemas na rede de distribuição, como vazamentos e quebras, podem causar a necessidade de interrupções na distribuição, agravando a ocorrência de contaminação do sistema pela infiltração de águas servidas (SAUNDERS; WARFORD, 1983). Além disso, a qualidade das redes, o material de fabricação e idade das tubulações podem ser fatores que influem na ocorrência de problemas.
	0,25	Rede de má qualidade com ocorrência de problemas eventuais	
	0,50	Rede de boa qualidade com ocorrência de problemas eventuais	
	0,75	Rede de má qualidade com baixa ocorrência de problemas	
	1,00	Rede de boa qualidade com baixa ocorrência de problemas	
Capacidade Econômica	0,00	Recursos insuficientes	Segundo a US EPA, a cobrança de tarifas garante uma fonte segura de recursos para cobrir custos operacionais, mas também fundos para investimentos na infraestrutura (EPA, 2005). Nesse contexto, a capacidade econômica do sistema de abastecimento de água é um critério de vulnerabilidade, porém esse indicador não pretende avaliar a fonte dos recursos, somente a existência ou não desses.
	0,25	Recursos suficientes para operação de sistema precário	
	0,50	Recursos suficientes para operação de sistema adequado ou operação e manutenção de sistema precário	
	0,75	Recursos suficientes para operação e manutenção de sistema adequado	
	1,00	Recursos suficientes para operação, manutenção, e investimentos em melhorias no sistema de abastecimento	
Capacidade Técnica	0,00	Nenhuma capacitação e experiência	A operação de um sistema de abastecimento de água é uma atividade complexa, havendo em muitos casos a presença de bombas, produtos químicos, entre outros. A capacitação e experiência dos operadores são, portanto, critérios de avaliação na garantia de um sistema de abastecimento robusto.
	0,25	Capacitação e/ou experiência mínima	
	0,50	Operador de parte do sistema capacitado e experiente	
	0,75	Operador capacitado e experiente	
	1,00	Operador altamente capacitado e experiente	
Suporte Governamental	0,00	Suporte externo desconhecido	A existência de um suporte externo para lidar com possíveis dificuldades encontradas pela população abastecida e pelos operadores é um fator que contribui com a mitigação da vulnerabilidade do sistema de abastecimento.
	0,25	Ausência de suporte externo	
	0,50	Suporte externo disponível	
	0,75	Suporte externo eventual	
	1,00	Suporte externo atuante	
Controle Amostral	0,00	Não há controle amostral	O controle amostral é essencial para garantir que o nível de tratamento empregado é compatível à variação da condição de qualidade da água bruta e garantir a efetividade do tratamento, podendo-se agir no sistema na presença de situações adversas e não conformidades.
	0,25	Somente em situações de risco	
	0,50	Controle eventual	
	0,75	Cumprimento parcial da Portaria	
	1,00	Cumprimento da Portaria efetivo	

#### 4.4. Cálculo do Índice de Vulnerabilidade

O método de cálculo do índice de vulnerabilidade de determinado sistema é apresentado na Equação 4.4 resultando em valores entre 0,00 e 1,00, sendo que o somatório das vulnerabilidades associadas a cada dimensão é ponderado conforme os pesos atribuídos.

$$IV = \sum_k \frac{I_k P_k}{n_k} \quad (4.4)$$

Sendo  $IV$  o índice de vulnerabilidade (adimensional);  $I_k$  a soma dos valores associados aos indicadores de vulnerabilidade na dimensão  $k$ ;  $P_k$  o peso atribuído à dimensão  $k$  com  $\sum_k P_k = 1$ ; e  $n_k$  o número de indicadores de vulnerabilidade analisados na dimensão  $k$ .

Com base no resultado do índice de vulnerabilidade calculado, o sistema foi julgado como possuindo uma vulnerabilidade alta, média ou baixa, mediante faixas de valores. Para definição das faixas de valores, é importante observar a possibilidade da elevada variabilidade entre os indicadores. Por exemplo, um determinado sistema pode ser altamente vulnerável em alguns aspectos e pouco em outros. Sendo assim, durante o julgamento do nível de vulnerabilidade do sistema é preciso considerar essa variabilidade, sendo uma das formas pela atribuição de pesos.

A utilização de pesos é comum na elaboração de indicadores, sendo o objetivo principal o de aplicar maior importância a certos itens. Apesar disso, Alessa *et al.* (2008) ressaltam problemas associados à elaboração de pesos, já que é difícil a definição de quais indicadores ou dimensões são de maior importância e tem um maior efeito na vulnerabilidade de um sistema. Portanto, optou-se pela atribuição da mesma importância a cada indicador no cálculo do índice, sendo os pesos das dimensões definidos conforme a Tabela 4.9.

**Tabela 4.9:** Peso da dimensão no cálculo do índice de vulnerabilidade

Dimensão	Número de Indicadores	Porcentagem do total	Peso da Dimensão
Recursos Hídricos	6	60%	0,60
Econômica	1	10%	0,10
Social	1	10%	0,10
Institucional	2	20%	0,20

Tendo em vista a possível variabilidade dos indicadores, conforme destacado, considerar um sistema vulnerável somente aqueles que possuem resultados do índice com valores extremos não seria adequado. Portanto, optou-se por atribuir as seguintes faixas de valores para o nível de vulnerabilidade considerado:

- Vulnerabilidade baixa:  $0,65 < IV \leq 1,00$
- Vulnerabilidade média:  $0,40 \leq IV \leq 0,65$
- Vulnerabilidade alta:  $0,00 \leq IV < 0,40$

O valor 0,65 representa a ocorrência, por exemplo, de dois indicadores com valor de vulnerabilidade máximo (0,00) e dois indicadores com valor alto (0,25) ou de sete indicadores com níveis de vulnerabilidade médios (0,50), não sendo vulnerável nos outros critérios de avaliação. Já o valor de 0,40 representa, por exemplo, a ocorrência de seis indicadores com vulnerabilidade máxima (0,00) ou três indicadores a níveis máximos e quatro em níveis altos (0,25), não sendo vulnerável nos outros critérios de avaliação.

Um exemplo de cálculo do índice pela Equação 4.4, considerando o segundo exemplo, é apresentado a seguir:

$$IV = \frac{(I_{RH} \cdot P_{RH})}{n_{RH}} + \frac{(I_{ECO} \cdot P_{ECO})}{n_{ECO}} + \frac{(I_{SOC} \cdot P_{SOC})}{n_{SOC}} + \frac{(I_{INST} \cdot P_{INST})}{n_{INST}} =$$

$$IV = \frac{(4,5 * 0,6)}{6} + \frac{(0,5 * 0,1)}{1} + \frac{(0,5 * 0,1)}{1} + \frac{(1,0 * 0,2)}{2} =$$

$$IV = 0,65$$

Sendo  $I_{RH} = 0,5 + 0,5 + 0,5 + 1,0 + 1,0 + 1,0 = 4,5$  (ou seja, três indicadores a níveis de vulnerabilidade médios e três não vulneráveis);  $I_{ECO} = 0,5$  (um indicador a nível médio);  $I_{SOC} = 0,5$  (um indicador a nível médio);  $I_{INST} = 0,5 + 0,5 = 1,0$  (dois indicadores a níveis médios).

Existe ainda o caso da falta de dados para um ou mais indicadores. Alessa *et al.* (2008) apresentam na formulação do indicador AWRVI a sugestão de excluir o indicador faltante do índice final para aquele sistema, ressaltando, porém, que a eliminação de um ou mais indicadores reduz o nível de confiança do índice final. Sendo assim, os autores apresentam um método de cálculo do nível de confiança, que é o resultado da proporção do número de indicadores sem dados pelo número total de indicadores.

Plummer *et al.* (2013) utilizam um método para lidar com a falta de dados por meio da criação de faixas de valores, de maneira oposta a um único valor pontual. As faixas são calculadas por cenários: típico, no qual os dados são somente eliminados do cálculo; pessimista, no qual é atribuído um valor máximo de vulnerabilidade, “zero”, aos indicadores sem dados; e otimista, no qual os dados faltantes são preenchidos com o valor mínimo, “um”.

Com base nas considerações da bibliografia, optou-se pela exclusão do indicador no cálculo final caso haja a impossibilidade de levantar algum dos dados requeridos pelo estudo,

incluindo-se, caso necessário, o cálculo do nível de confiança, conforme método proposto por Alessa *et al.* (2008). Ressalta-se que nesta pesquisa não foi necessário aplicar o cálculo do nível de confiança, já que todos os dados requeridos foram levantados.

$$NC = \frac{Nf}{Nt} \quad (4.5)$$

Sendo  $NC$  o nível de confiança;  $Nf$  o número de indicadores levantados; e  $Nt$  o número total de indicadores.

#### 4.4.1. Análise Estatística

A análise estatística diz respeito à análise dos dados levantados para cálculo do índice de vulnerabilidade e outras informações, devendo levar em conta as características da amostragem complexa realizada, ou seja, os pesos de cada sistema na amostra, a estratificação e a conglomeração.

Tendo em vista a dificuldade de aplicação de todas essas características na análise dos dados de forma rápida e efetiva, os dados foram analisados com o auxílio de softwares específicos para análise de amostras complexas. Heeringa *et al.* (2010) apresentam um diagnóstico dos quatro principais pacotes de cálculo (Stata, SAS, SPSS e SUDAAN) com suas características específicas.

Com base nesse estudo, selecionou-se o software Stata (STATACORP, 2013b), já que possui todas as características desejadas para análise dos dados. Os métodos de análise dos dados, do cálculo das médias, proporções e estimativas feitas pelo pacote computacional são apresentados a seguir.

##### 4.4.1.1. Análise dos Dados

A análise preliminar dos dados visa avaliar a distribuição dos resultados do índice de vulnerabilidade na população, seguindo-se diretrizes básicas da metodologia AED (Análise Exploratória de Dados) proposta por Tukey (1977). Foram, portanto, feitas duas análises gráficas dos resultados do índice de vulnerabilidade:

- **Gráfico quantil-quantil normal:** compara a distribuição dos dados à distribuição da normal pelo quantil da amostra e o quantil teórico da curva de Gauss. Miller (1997) recomenda a utilização desse método para avaliação preliminar da normalidade em comparação a métodos matemáticos que nem sempre indicam fielmente como a amostra difere da normalidade;

- **Estimativa de densidade Kernel:** pode ser considerado um tipo de histograma em que os intervalos das densidades de dados na abcissa podem ser sobrepostos, sendo aplicado um peso entre 0 e 1 em relação ao centro. As principais vantagens são que os gráficos gerados são suavizados e independentes da banda de origem (STATA CORP, 2013a). A função Kernel utilizada foi a proposta por Epanechnikov (1965) e a largura de banda ( $\lambda$ ), ou seja, a janela de densidade entre os pontos, foi avaliada visualmente a fim de que o gráfico não apresentasse ruídos significantes.

Ambos os métodos propostos são amplamente utilizados na AED, porém não consideram o efeito de uma amostra complexa (conglomerado, estratificação, etc.), por conta disso, a aplicação direta dos métodos na amostra selecionada não seria adequada.

Considerando as características da amostra complexa utilizada nesta pesquisa e levando em consideração a descrição dos algoritmos de amostragem inversa por Hoffman *et al.* (2001) e Rao *et al.* (2003), a elaboração dos gráficos para análise dos dados foi mediante uma amostragem inversa simplificada com a seleção aleatória de uma observação de cada conglomerado.

Formaram-se, assim, nove subamostras (SA) de 20 observações independentes que se aproximam de uma AAS. O ID dos sistemas que compõem cada SA é apresentado na Tabela 4.10.

**Tabela 4.10:** Composição das subamostras

Subamostra	Componentes (ID)
SA 1	3, 6, 9, 12, 15, 16, 21, 24, 27, 28, 31, 35, 38, 40, 45, 46, 51, 53, 56, 59
SA 2	2, 5, 9, 11, 13, 18, 20, 22, 26, 29, 31, 34, 39, 42, 43, 47, 50, 54, 55, 58
SA 3	1, 5, 7, 11, 13, 16, 19, 22, 26, 29, 31, 36, 37, 40, 44, 46, 50, 53, 57, 59
SA 4	1, 4, 7, 12, 13, 17, 20, 22, 27, 29, 32, 35, 39, 42, 45, 48, 49, 54, 57, 60
SA 5	3, 6, 7, 10, 15, 16, 19, 22, 26, 28, 33, 34, 38, 41, 44, 46, 51, 52, 56, 58
SA 6	2, 6, 8, 12, 15, 18, 20, 23, 27, 28, 32, 36, 37, 42, 44, 47, 51, 54, 56, 60
SA 7	2, 6, 7, 11, 13, 16, 19, 22, 25, 29, 31, 34, 39, 41, 45, 46, 51, 54, 56, 59
SA 8	2, 5, 7, 11, 13, 16, 20, 22, 25, 29, 33, 35, 37, 41, 45, 48, 50, 52, 57, 60
SA 9	2, 6, 9, 11, 14, 18, 21, 22, 27, 29, 33, 35, 37, 41, 45, 46, 50, 54, 56, 59

#### 4.4.1.2. Média e Proporção

Para o cálculo de uma média e proporção conforme o desenho da amostra complexa, como, por exemplo, a média da vulnerabilidade dos sistemas estudados e da proporção de sistemas considerados vulneráveis, foram utilizadas as equações apresentadas a seguir, conforme descritas pelo manual do software Stata e outras publicações (COCHRAN, 1977; LEHTONEN; PAHKINEN, 2004; LEMESHOW; LEVY, 2008; LOHR, 2009; HEERINGA *et al.*, 2010; STATA CORP, 2013a).

$$\bar{y} = \frac{\hat{Y}}{\hat{M}} = \frac{\sum_{j=1}^m w_j y_j}{\sum_{j=1}^m w_j} \quad (4.6)$$

Sendo  $\bar{y}$  a média ou proporção da amostra;  $w_j$  o peso do elemento na amostra; e  $y_j$  o valor do elemento amostrado.

Para o cálculo da média e proporção ao se utilizar de critérios de pós-estratificação, o cálculo seguiu o equacionamento apresentado na Equação 4.7 (STATACORP, 2013a).

$$\overline{y^P} = \frac{\widehat{Y^P}}{\widehat{M^P}} = \frac{\sum_{k=1}^{Lp} \frac{M_k}{\widehat{M_k}} \sum_{j=1}^m I_{Pk}(j) w_j y_j}{\sum_{k=1}^{Lp} M_k} \quad (4.7)$$

Sendo  $\overline{y^P}$  a média ou proporção da amostra pós-estratificada;  $I_{Pk}(j)$  o indicador de que o elemento  $j$  pertence ao pós-estrato  $k$ ;  $Lp$  o número de pós-estratos;  $M_k$  o tamanho da população do pós-estrato  $k$ ; e  $Pk$  o conjunto de amostras que pertencem ao pós-estrato  $k$ .

Já para o cálculo das médias e proporções de uma subpopulação de estudo, por exemplo, por mesorregião, o resultado é dado pela Equação 4.8 sendo o equacionamento para uma subpopulação pós-estratificada dado pela Equação 4.9 (STATACORP, 2013a).

$$\overline{y^S} = \frac{\widehat{Y^S}}{\widehat{M^S}} = \frac{\sum_{j=1}^m I_S(j) w_j y_j}{\sum_{j=1}^m I_S(j) w_j} \quad (4.8)$$

Sendo  $\overline{y^S}$  a média ou proporção da subpopulação;  $S$  indica o conjunto de amostras pertencentes à subpopulação; e  $I_S(j)$  o indicador de que o elemento  $j$  pertence à subpopulação  $S$ .

$$\overline{y^{PS}} = \frac{\widehat{Y^{PS}}}{\widehat{M^{PS}}} = \frac{\sum_{k=1}^{Lp} \frac{M_k}{\widehat{M_k}} \sum_{j=1}^m I_{Pk}(j) I_S(j) w_j y_j}{\sum_{k=1}^{Lp} \frac{M_k}{\widehat{M_k}} \sum_{j=1}^m I_{Pk}(j) I_S(j) w_j} \quad (4.9)$$

Sendo  $\overline{y^{PS}}$  a média ou proporção da subpopulação pós-estratificada.

#### 4.4.1.3. Estimação do Intervalo de Confiança das Médias

Considerando-se que a amostra é suficientemente grande, em que a distribuição das médias da amostra é normalmente distribuída, conforme Teorema Central do Limite, o intervalo de confiança da amostra foi estimado pela distribuição *t-student* com “ $d$ ” graus de liberdade (Equação 4.10) pela Equação 4.11 (STATACORP, 2013a).

$$d = n - L \quad (4.10)$$

Sendo  $d$  o número de graus de liberdade;  $n$  o número de amostras no 1º estágio; e  $L$  o número de estratos.

$$\hat{\theta} \pm t_{1-\alpha/2,d} \{\hat{V}(\hat{\theta})\}^{1/2} \quad (4.11)$$

Sendo  $\hat{\theta}$  a média do parâmetro  $\theta$ ;  $t_{1-\alpha/2,d}$  o valor da significância na distribuição *t-student* com  $d$  graus de liberdade ; e  $\hat{V}(\hat{\theta})$  a variância do parâmetro na amostra complexa.

Para uma proporção, o resultado deve ser transformado para que os pontos finais estejam entre 0 e 1, sendo assim, o intervalo de confiança de uma proporção foi calculado pelas Equações 4.12 e 4.13 (STATACORP, 2013a).

$$f^{-1}(y) = \frac{e^y}{1 + e^y} \quad (4.12)$$

$$f^{-1} \left\{ \ln \left( \frac{\hat{p}}{1 - \hat{p}} \right) \pm \frac{t_{1-\alpha/2,d} \hat{s}}{\hat{p}(1 - \hat{p})} \right\} \quad (4.13)$$

Sendo  $f^{-1}$  a transformação do resultado para uma métrica de proporção;  $\hat{p}$  a proporção do parâmetro amostrado;  $t_{1-\alpha/2,d}$  o valor da significância na distribuição *t-student* com  $d$  graus de liberdade; e  $\hat{s}$  o desvio padrão da proporção na amostra complexa  $\hat{s} = \hat{V}(\hat{\theta})^{1/2}$ .

A variância de uma amostra complexa, ao contrário de uma amostragem simples, não pode ser calculada de forma analítica, sendo necessária a utilização de métodos desenvolvidos para esse fim. Sendo assim, o método escolhido para cálculo da variância e posterior estimação dos intervalos de confiança foi o método da linearização.

O método da linearização é considerado o método mais utilizado para estimação da variância em amostras complexas, sendo baseado na aproximação de uma função linear por séries de Taylor. Essa variância da amostra complexa foi utilizada, também, para o cálculo do efeito do plano amostral pela Equação 4.14 (KISH, 1965; STATACORP, 2013a).

$$deff = \frac{\hat{V}(\hat{\theta})_{AC}}{\hat{V}(\hat{\theta})_{AAS}} \quad (4.14)$$

Sendo *deff* o efeito do plano amostral, ou *design effect*;  $\hat{V}(\hat{\theta})_{AC}$  a variância na amostra complexa; e  $\hat{V}(\hat{\theta})_{AAS}$  a variância considerando uma amostra aleatória simples.



## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados serão apresentados de duas formas: por meio de uma caracterização da problemática de estudo, e da avaliação do nível de vulnerabilidade dos pequenos sistemas de abastecimento de água em termos de sistema e população abastecida no estado do Rio Grande do Sul.

Os resultados estatísticos e intervalos de confiança levaram em conta as características da amostragem complexa realizada, sendo calculados pelos métodos apresentados na análise estatística (item 4.4.1). Para os valores médios foi considerado uma significância de 90%, a fim de se ter um resultado mais preciso e condizente com a realidade no Estado, já os resultados de proporção foram apresentados com significância de 80%, indicando uma ideia da dimensão de ocorrência de cada nível de vulnerabilidade na ótica do estado do Rio Grande do Sul.

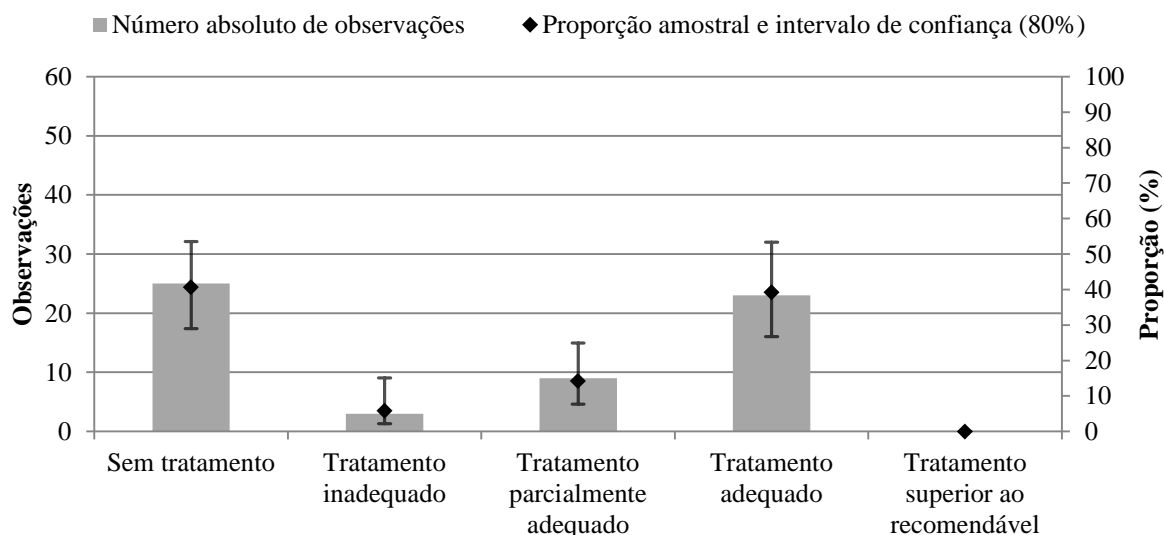
### **5.1. Caracterização da Problemática**

Com base nas informações levantadas em campo e dos resultados dos indicadores, apresentados no Apêndice II (item 8.2), faz-se, inicialmente, uma análise da problemática referente a cada critério avaliado em nível local, considerando os sistemas de abastecimento visitados em campo e, posteriormente, de forma abrangente, considerando todos os indicadores de forma integrada.

Os resultados por indicador são apresentados em forma de gráfico com a informação do número absoluto de observações em cada nível de vulnerabilidade, referente ao total de 60 sistemas visitados, e da proporção amostral com seu intervalo de confiança.

#### **5.1.1. Nível de Tratamento**

Este indicador atribui a adequação do nível de tratamento utilizado no sistema à qualidade da água do manancial de captação, devendo ainda cumprir o nível de tratamento mínimo previsto na legislação. Cada pequeno sistema de abastecimento de água vistoriado foi enquadrado em um dos níveis de vulnerabilidade considerados e apresentados quantitativamente, com referência à amostra considerada, na Figura 5.1.



**Figura 5.1:** Resultados do indicador Nível de Tratamento para a amostra selecionada

Observa-se que um elevado número de sistemas não possui tratamento, 40,7% da amostra selecionada eram de sistemas que não atendiam aos requisitos mínimos da Portaria MS nº 2914/2011 que exige, pelo menos, a desinfecção da água distribuída. Esse valor se mostra compatível em grandeza ao levantado pelo SISAGUA para 2014 (Tabela 4.1, item 4.2), em que 38,5% da população abastecida por SAC não possuía o tratamento da água distribuída.

Ressalta-se que essa condição não é exclusiva dos sistemas que abastecem pequenas populações. Encontraram-se casos de comunidades com população abastecida acima de 500 habitantes em que a água distribuída não era tratada.

Já os sistemas que apresentavam o tratamento da água distribuída, constataram-se situações com a presença de desinfecção, fluoretação e filtração (Figuras 5.2 e 5.3), porém somente a informação das etapas de tratamento não foi suficiente para definir o tratamento como adequado ou inadequado. Nesse contexto, avaliaram-se, também, os resultados das análises realizadas para cada um dos sistemas, a fim de determinar a adequabilidade do tratamento considerando a qualidade da água bruta do manancial.



**Figura 5.2:** Sistema de tratamento com filtração



**Figura 5.3:** Sistema de tratamento com desinfecção por hipoclorito de sódio

Encontraram-se 3 situações em que o nível de tratamento utilizado não era suficiente para tornar a água captada potável, sendo então considerados inadequados, havendo, por exemplo, a presença de *Escherichia coli* ou coliformes totais frequentemente, além de elevados valores de turbidez na água tratada, dentre outros problemas.

Já em 9 sistemas vistoriados *in loco*, considerou-se o nível de tratamento parcialmente adequado, ou seja, o sistema de tratamento tornava a água captada potável para consumo em grande parte das amostras realizadas, porém com dificuldades em atingir níveis ideais de qualidade de água para consumo após tratamento, ou não sendo suficientemente robusto para lidar com as variações do manancial de captação.

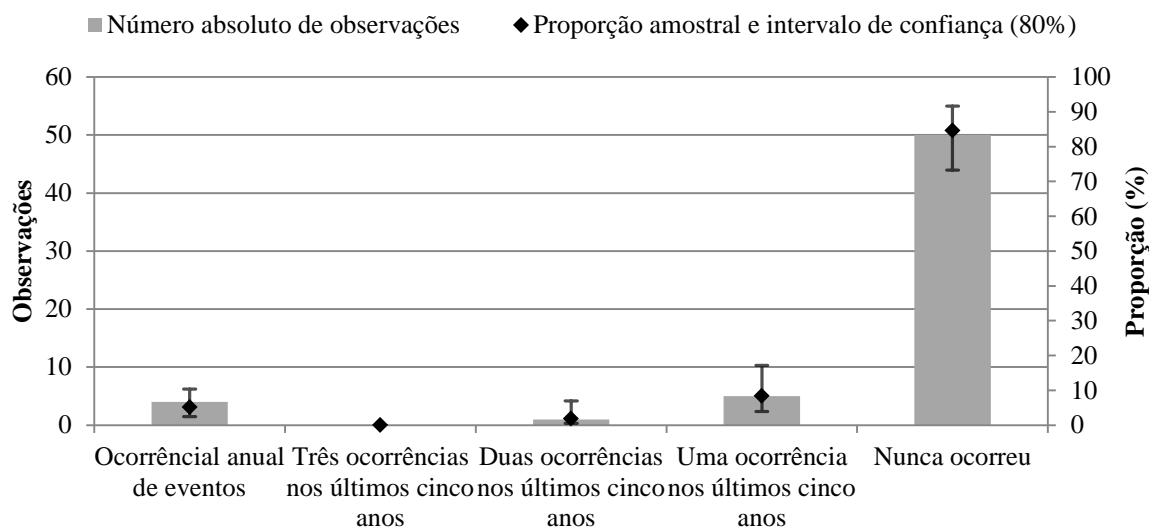
O restante dos sistemas avaliados atendia aos requisitos recomendáveis de tratamento, tornando a água segura para o consumo, porém sem a presença de etapas complementares. Em um desses, que abastece a área operacional de uma praça de pedágio à beira de uma rodovia, estava previsto a instalação de um sistema de tratamento por osmose reversa, enquadrando futuramente o sistema ao critério de tratamento superior ao recomendável.

Sendo assim, em análise das situações encontradas em campo, pode-se afirmar que os sistemas sem tratamento, tratamento inadequado e parcialmente adequado; ou seja, 60,8% da proporção amostral, com intervalo de confiança de 47 e 73% para 80% de significância, foram de sistemas considerados vulneráveis nesse aspecto.

É importante ressaltar que nem sempre o tratamento é visto como algo benéfico pela população. O tratamento está associado à presença de cloro residual na água distribuída, o que traz um gosto divergente ao usualmente encontrado na água bruta. Por conta disso, existe uma rejeição da população abastecida à implementação do sistema de tratamento. Considera-se, portanto, que há a necessidade de esclarecimentos quanto à importância do tratamento às comunidades, sendo não só uma exigência da legislação, mas uma questão de saúde pública.

### 5.1.2. Disponibilidade dos Recursos Hídricos

A disponibilidade dos recursos hídricos indica a ocorrência de eventos que afetaram o fornecimento de água à população abastecida pelo pequeno sistema. Essa informação foi levantada, principalmente, por meio do relato dos moradores ou operadores do sistema, sendo os resultados apresentados na Figura 5.4.



**Figura 5.4:** Resultados do indicador Disponibilidade dos Recursos Hídricos para a amostra selecionada

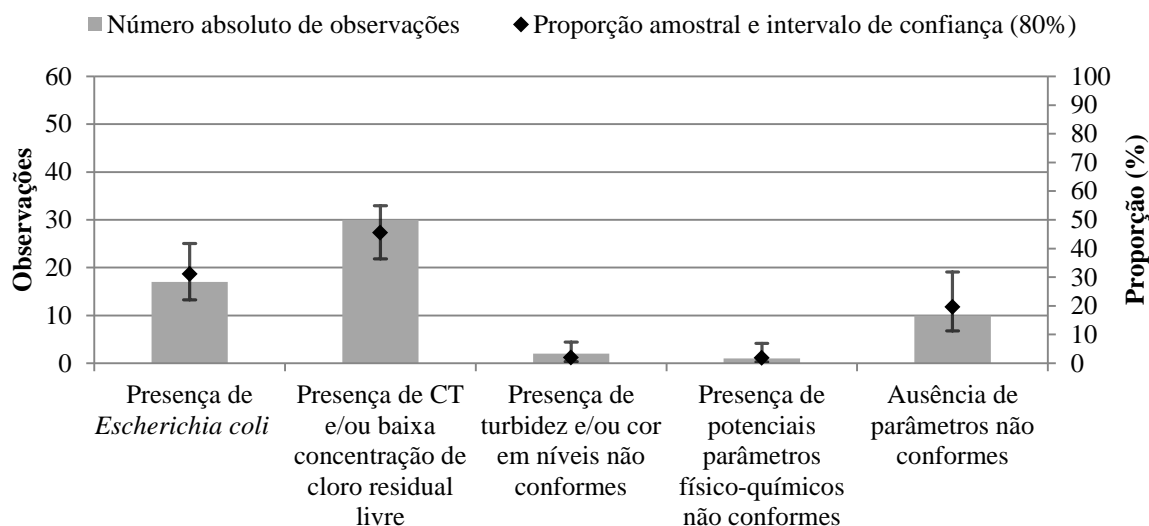
Na maior parte dos sistemas vistoriados (84,6% da proporção amostral) não foram relatadas a ocorrência de problemas de disponibilidade dos recursos hídricos. Em alguns outros foram descritas situações, como durante períodos de seca prolongada, que cessaram o abastecimento de água por vários dias. Já em 4 locais havia a ocorrência anual de eventos, geralmente durante o verão, por conta da maior demanda de água pela população, ultrapassando, assim, a capacidade de vazão do poço.

Observa-se, portanto, que do ponto de vista da disponibilidade, não se constatou a ocorrência frequente de sistemas em altos níveis de vulnerabilidade. Nos poucos casos de ocorrência anual de problemas, associados à demanda de água, as ações necessárias são prioritariamente do ponto de vista estrutural, como a perfuração de poços reservas, ou a busca de mananciais alternativos de captação.

### 5.1.3. Qualidade da Água

Quanto ao indicador qualidade da água, avaliaram-se as amostras realizadas ao longo dos anos de 2014 e parte de 2015 pela Vigilância Sanitária municipal em cada um dos sistemas visitados e disponíveis na base de dados do SISAGUA, além dos resultados das amostras de Controle realizadas pelos operadores, quando disponível.

Tendo em vista o pequeno número de amostras obtidas por sistema e da limitação quanto ao número de parâmetros analisados, os resultados do indicador devem ser avaliados somente como uma indicação da vulnerabilidade dos sistemas quanto ao aspecto da qualidade da água de abastecimento e não como um diagnóstico conclusivo. Além disso, o resultado em si não indica o motivo da ocorrência da não conformidade, que pode ter como fonte uma contaminação do manancial ou nas redes de distribuição, o sistema de tratamento falho ou ausente, entre outros.



**Figura 5.5:** Resultados do indicador Qualidade da Água para a amostra selecionada

Conforme a Figura 5.5, 17 sistemas amostrados apresentaram a presença de *Escherichia coli* em pelo menos uma das análises realizadas, e 30 enquadraram-se na situação na qual havia a presença de coliformes totais e/ou baixa concentração de cloro residual livre. Além disso, dos 13 sistemas restantes, em 2 havia a presença de turbidez e/ou cor em níveis não conformes segundo a Portaria MS nº 2914/2011.

Avaliando-se essas três situações em conjunto, 78,6% da proporção amostral, com intervalo de confiança de 66 e 87% para 80% de significância, foram de sistemas enquadrados nesses três critérios e, portanto, considerados vulneráveis nesse aspecto.

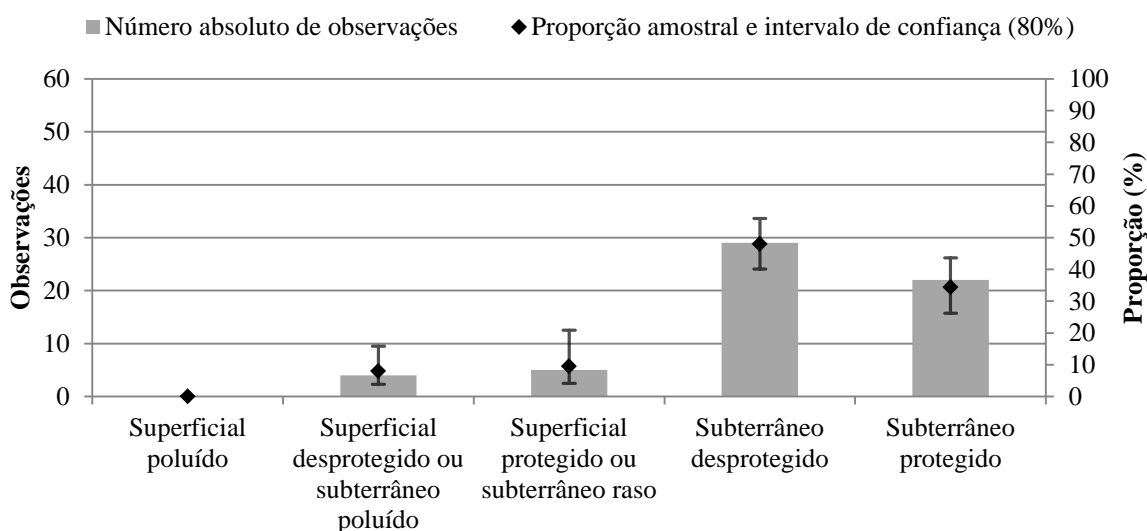
No restante dos sistemas não foram encontrados casos de não conformidade nas amostras levantadas, porém em um deles havia a informação de elevados níveis de ferro e manganês em um poço próximo, sendo enquadrado na definição da presença de potenciais parâmetros físico-químicos não conformes na região.

Outra situação encontrada foi de um poço que apresentava valores de flúor na água de abastecimento superiores ao máximo permitido na legislação, sendo relatado inclusive um estudo em que se constatou a elevada prevalência de fluorose nas crianças da região.

É importante ressaltar, também, que a análise dos resultados se refere ao ano de 2014 e parte de 2015, existindo a possibilidade de mudanças na situação dos sistemas ao longo do tempo. Por exemplo, em uma das localidades visitadas o sistema de tratamento havia sido recentemente implantado com impacto futuro na qualidade da água distribuída.

#### 5.1.4. Manancial de Captação

Todos os pontos de captação de água dos sistemas de abastecimento foram visitados a fim de avaliar o tipo e qualidade do manancial, enquadrando-o em um dos níveis de vulnerabilidade, considerando o risco de contaminação. Os resultados são apresentados na Figura 5.6.



**Figura 5.6:** Resultados do indicador Manancial de Captação para a amostra selecionada

Conforme citado anteriormente, a maior parte dos pequenos sistemas de abastecimento visitados era abastecida por mananciais subterrâneos. Em nove captações a situação era de elevada e mediana vulnerabilidade, com casos de abastecimento por mananciais poluídos com elevados níveis de turbidez (Figura 5.7), e por mananciais subterrâneos rasos, suscetíveis a contaminações externas (Figura 5.8).





**Figura 5.7:** Captação em manancial subterrâneo poluído



**Figura 5.8:** Captação em manancial subterrâneo raso

Já a maior parte dos sistemas, 82,5% da proporção amostral, com intervalo de confiança de 71 e 90% para 80% de significância, captava a água de mananciais subterrâneos com profundidades relatadas variando entre 60 e 160 metros, aproximadamente. Estes sistemas tendem a ser mais seguros do ponto de vista da vulnerabilidade, já que se espera existir uma extensa camada filtrante entre a recarga do manancial e o ponto de captação, sendo menos expostos a agentes externos.

Desse grupo, os locais visitados foram avaliados quanto à proteção em seu entorno e do poço perfurado, sendo constatadas situações de poços sem proteção externa, estando sujeito a agentes externos como animais, e poços sem selo sanitário (Figuras 5.9 e 5.10), enquadrados no nível subterrâneo desprotegido.



**Figura 5.9:** Poço sem proteção externa



**Figura 5.10:** Poço sem selo sanitário

Já o restante dos sistemas vistoriados atendia os requisitos mínimos de construção e proteção de um poço de captação de água subterrânea, sendo enquadrados ao nível do indicador como subterrâneo protegido, conforme exemplos das Figuras 5.11 e 5.12.



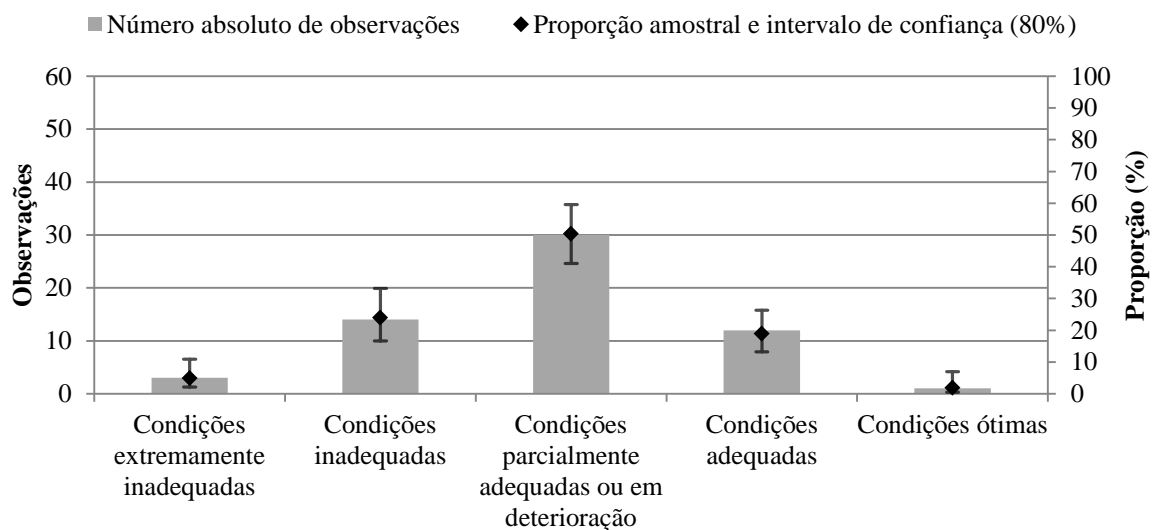
**Figura 5.11:** Poço com proteção externa



**Figura 5.12:** Poço com proteção externa e cobertura

### 5.1.5. Operação e Manutenção

Boas condições de operação e manutenção são essenciais para garantir a qualidade da água de abastecimento e mitigação da vulnerabilidade. Avaliou-se em campo as estruturas de abastecimento de água e a efetividade do modelo de operação implantado, enquadrando cada sistema nas faixas consideradas na Tabela 4.8 do método, sendo os resultados apresentados na Figura 5.13.



**Figura 5.13:** Resultados do indicador Operação e Manutenção para a amostra selecionada

Cerca de metade dos sistemas vistoriados, 50,3% da proporção amostral, com intervalo de confiança de 41 e 60% para 80% de significância, enquadrou-se em condições medianas de operação e manutenção. Nesses casos, observaram-se muitas vezes as estruturas físicas em deterioração, ou seja, sem o devido cuidado para garantir a vida útil futura dos equipamentos.



O restante foi enquadrado nos dois extremos, de condições inadequadas ou extremamente inadequadas, e adequadas ou ótimas. As Figuras 5.14 e 5.15 apresentam dois casos referentes à primeira situação, de alta vulnerabilidade, uma na qual o sistema de tratamento simplificado de desinfecção, apesar de disponível, não era operado adequadamente e outra da estrutura do reservatório elevado em péssimas condições de manutenção; já nas Figuras 5.16 e 5.17 dois casos da situação oposta, de baixa vulnerabilidade.



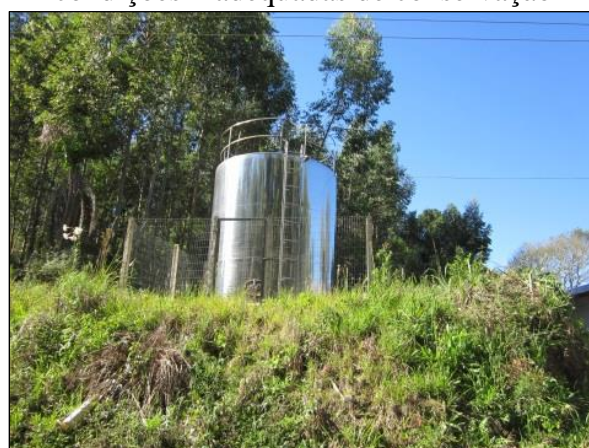
**Figura 5.14:** Sistema de tratamento simplificado por desinfecção inoperante



**Figura 5.15:** Reservatório elevado em condições inadequadas de conservação



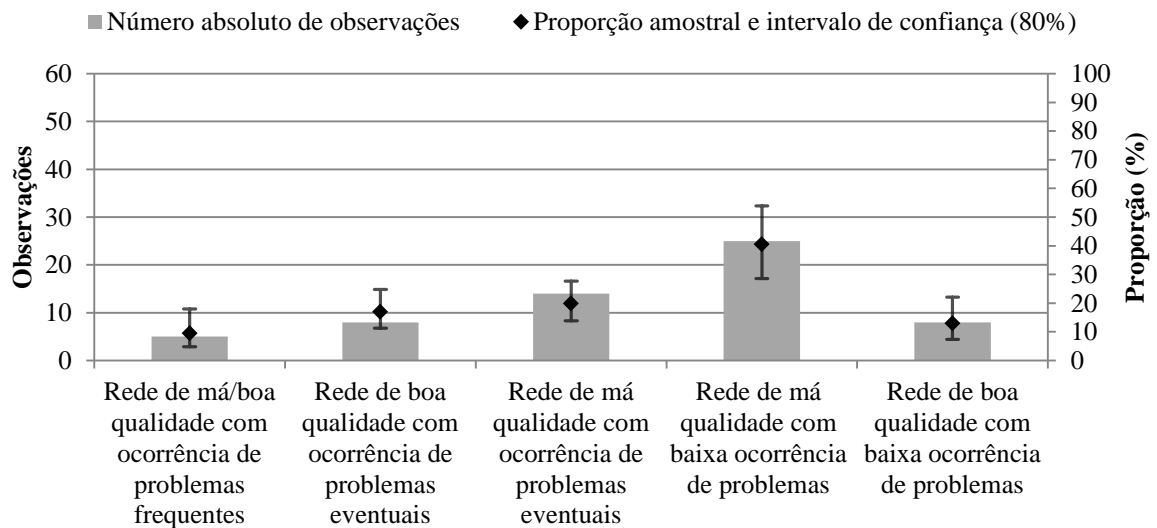
**Figura 5.16:** Poço em ótimas condições de conservação



**Figura 5.17:** Reservatório em aço inoxidável de um dos sistemas visitados

#### 5.1.6. Sistema de Distribuição

O indicador sistema de distribuição é de complexo levantamento por conta da dificuldade, e muitas vezes impossibilidade, de vistoria *in loco* das redes. Sendo assim, a definição do estado do sistema de distribuição foi feita pelo relato dos operadores do sistema quanto à frequência de problemas nas tubulações e da qualidade dos materiais empregados, sendo os resultados apresentados na Figura 5.18.



**Figura 5.18:** Resultados do indicador Sistema de Distribuição para a amostra selecionada

Grande parte dos relatos, 60,5% da proporção amostral, com intervalo de confiança de 50 e 70% para 80% de significância, foi da baixa ou eventual ocorrência de problemas no sistema de distribuição, mas com redes de baixa qualidade (Figura 5.19), ou seja, utilizando-se de materiais que não são voltados especificamente para a distribuição de água em infraestruturas de saneamento, ou em desacordo com as normas brasileiras em critérios como diâmetro mínimo, entre outros.

Acredita-se que essa situação se dá pela existência de poucas interferências externas que a rede está sujeita, já que as redes estão localizadas muitas vezes dentro de terrenos e regiões com baixo fluxo de veículos e pessoas (Figura 5.20).



**Figura 5.19:** Tubulação antiga que apresentava vazamentos e nova a ser substituída em diâmetro inferior ao recomendável



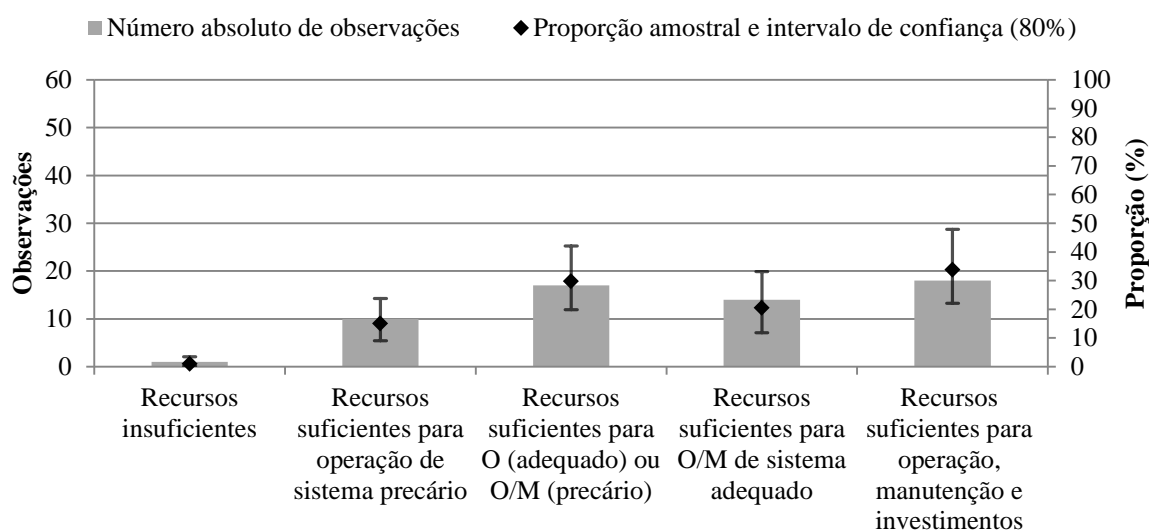
**Figura 5.20:** Vazamento na rede de distribuição localizada no terço de estrada pouco movimentada

Nos poucos casos restantes foi relatada a ocorrência de problemas frequentes, em redes que foram consideradas em campo de má qualidade, sendo extremamente vulneráveis, e

da presença de redes de boa qualidade, havendo nesses casos, conseqüentemente, uma baixa ou eventual ocorrência de problemas.

### 5.1.7. Capacidade Econômica

Neste estudo, entende-se por capacidade econômica a disponibilidade de recursos para operação e manutenção (O/M) de um sistema adequado a produzir e distribuir água potável, além da existência de capacidade de investimentos. Sendo assim, cada sistema foi avaliado nos cinco níveis de vulnerabilidade atribuídos, sendo a fonte de recursos somente objeto de discussão. Os resultados para esse indicador são apresentados na Figura 5.21.



**Figura 5.21:** Resultados do indicador Capacidade Econômica para a amostra selecionada

Todos os sistemas tinham alguma fonte de recursos, por meio da cobrança de taxa da população abastecida, da existência de um grande consumidor que arcava com os custos, de subsídios da Prefeitura Municipal, ou da divisão dos custos dentre as famílias quando necessário. Nos casos da cobrança de taxa, a maior parte dos sistemas operava com taxa fixa, ou seja, independente do consumo o valor cobrado se mantinha o mesmo, já em alguns poucos existia a cobrança por consumo com leituras nos hidrômetros individuais mensalmente ou trimestralmente.

Considerando os casos de vulnerabilidade média e alta, ou seja, nos três primeiros níveis de vulnerabilidade, encontrou-se 45,7% da proporção amostral. Nesses locais a capacidade econômica era insuficiente, ou suficiente somente para operação de um sistema adequado, ou operação e manutenção de um sistema precário, sendo relatado o aumento dos custos fixos, como energia elétrica, que inviabilizam melhorias no sistema.

Desse montante, somente em um dos sistemas vistoriados foi relatado dificuldades de recursos até mesmo para operação, pois havia uma alta inadimplência dos consumidores no

pagamento da taxa de consumo que era um valor fixo mensal. Nesse local o tratamento da água por desinfecção com cloro teve que ser suspenso devido à falta de recursos.

Essa condição demonstra que a necessidade de recursos é variável ao nível de qualificação do sistema, por exemplo, o montante de recursos necessário para operação de um sistema abastecimento de água precário, como aqueles em que não existe tratamento da água distribuída, é inferior ao custo de outro com tratamento adequado. Por conta disso, é importante que a definição do indicador considere a existência de recursos às necessidades mínimas de um sistema de abastecimento adequado.

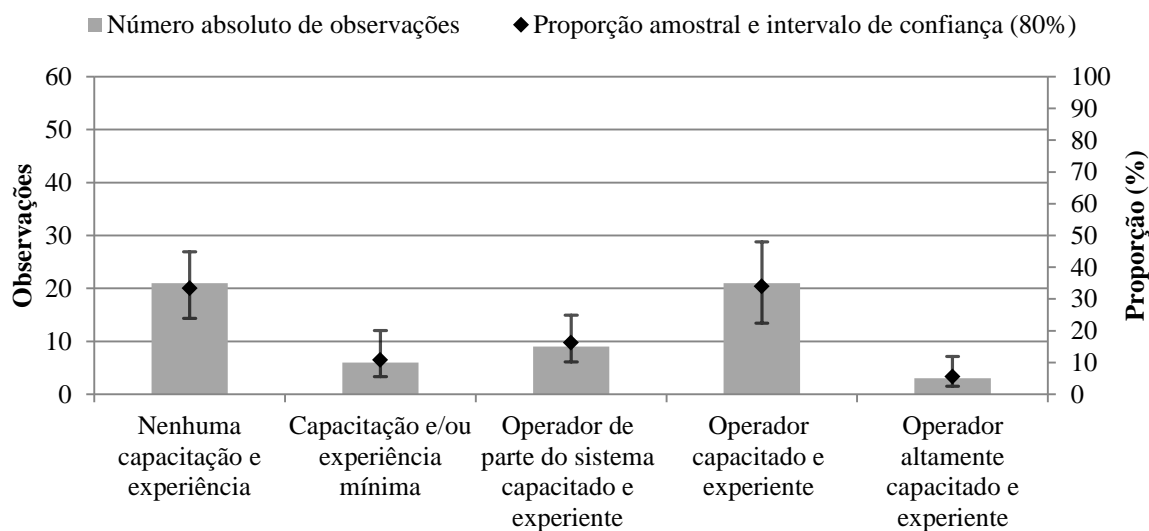
Já em 20,5% da proporção amostral, com intervalo de confiança de 12 e 33% para 80% de significância, os recursos eram suficientes tanto para operação quanto manutenção de um sistema adequado, ou seja, existia um volume de recursos em caixa para possíveis manutenções periódicas ou extraordinárias, como consertos de bombas, quadros de comando, mão de obra, etc.

Nos casos em que os recursos eram suficientes para operação, manutenção e investimentos (33,8% da proporção amostral), existia, geralmente, uma indústria ou ente governamental (como a Prefeitura) que possuía a capacidade financeira para arcar com os custos necessários para possíveis investimentos nos sistemas de abastecimento de água, sendo enquadrados como não vulneráveis nesse aspecto.

Apesar disso, encontraram-se situações em que o sistema possuía capacidade econômica, mas em que os recursos não eram aplicados na busca de um sistema adequado a produzir e distribuir água potável. Quatro sistemas apesar de considerados não vulneráveis nesse critério, com disponibilidade financeira para investimentos em melhorias estruturais, não haviam implantado um sistema de tratamento da água distribuída.

#### **5.1.8. Capacidade Técnica**

Considera-se que a variável humana em um pequeno sistema de abastecimento de água requer conhecimento técnico e experiência para tomada de decisões a fim de garantir uma boa operação e manutenção do sistema. Nesse contexto, é necessário que o operador do sistema esteja capacitado para se adaptar a condições adversas e identificar as ações corretas a serem realizadas para garantir a operação do sistema de forma satisfatória. Os resultados para esse indicador, conforme entrevistas com os responsáveis em campo, são apresentados na Figura 5.22.



**Figura 5.22:** Resultados do indicador Capacidade Técnica para a amostra selecionada

Observa-se que a situação de nenhuma capacitação e experiência ou em condições mínimas representou boa parte dos operadores responsáveis pelos sistemas, abrangendo 44,2% da proporção amostral, com intervalo de confiança de 31 e 58% para 80% de significância. Nesses locais a responsabilidade pela operação diária do sistema era da própria comunidade, e quando necessário, buscava-se auxílio externo.

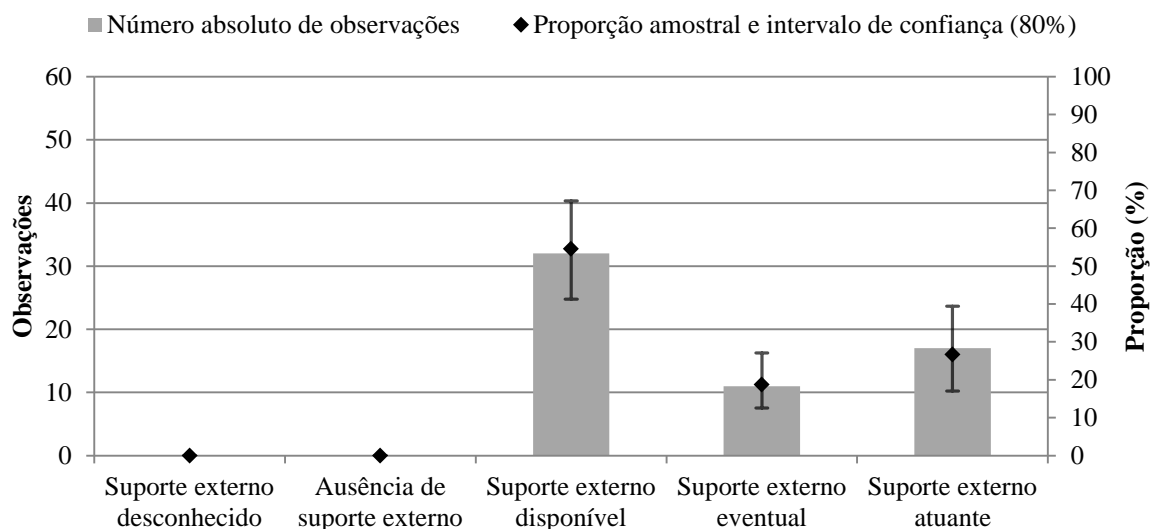
O critério de vulnerabilidade intermediário, no qual o operador de parte do sistema era capacitado e experiente, refere-se aos casos em que uma parte do sistema, geralmente o sistema de tratamento, era operado por uma empresa terceirizada, que possui pessoal suficientemente capacitado para o correto funcionamento do sistema de tratamento. Já o restante das ações, como reparos na rede de distribuição, por exemplo, ficavam a cargo da comunidade.

O restante dos sistemas visitados, 39,6% da proporção amostral, com intervalo de confiança de 27 e 53% para 80% de significância, foram considerados pouco vulneráveis, indicados pela existência de operadores capacitados e experientes, ou não vulneráveis nesse aspecto (operadores altamente capacitados e experientes). Encontraram-se situações em que os sistemas eram operados por funcionários que possuíam especificamente essa função, contratados pela comunidade abastecida ou pelo próprio órgão municipal quando de sua responsabilidade.

### 5.1.9. Suporte Governamental

No indicador suporte governamental se avaliou a existência e atuação do suporte externo municipal ou de outros órgãos nos pequenos sistemas de abastecimento de água, sendo os resultados apresentados na Figura 5.23.





**Figura 5.23:** Resultados do indicador Suporte Governamental para a amostra selecionada

Constata-se que, por conta dessa pesquisa estar baseada em dados do SISAGUA, o que indica pelo menos algum tipo de contato externo no levantamento de dados necessários para cadastro no sistema de informações, nenhum dos sistemas foi enquadrado nos critérios de suporte externo desconhecido ou ausente.

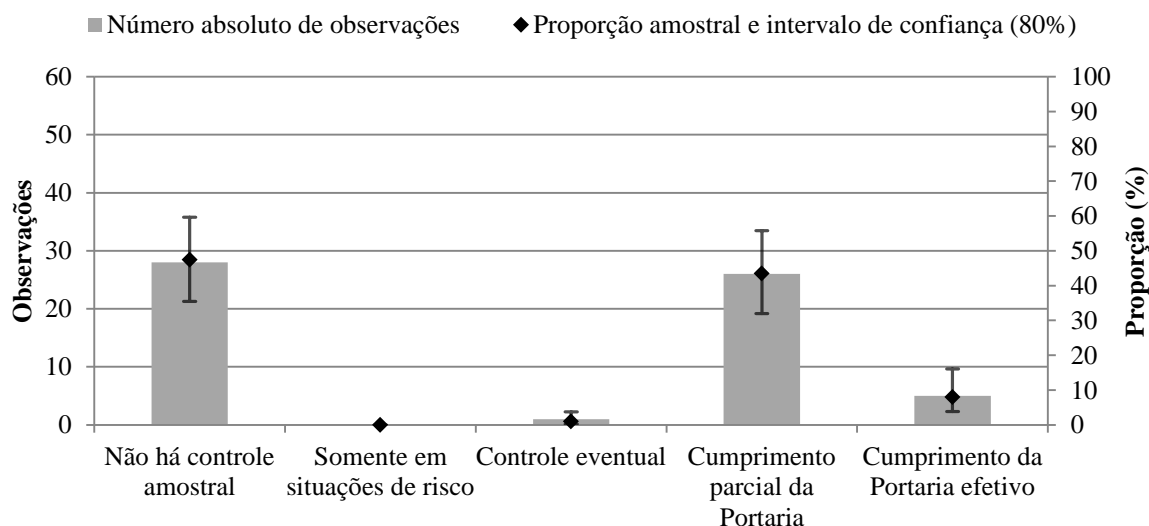
Predominaram, 54,6% da proporção amostral, com intervalo de confiança de 41 e 67% para 80% de significância, sistemas no nível de suporte externo disponível, ou seja, quando o responsável por suporte aos pequenos sistemas de abastecimento no município se encontra disponível para possíveis esclarecimentos, porém sem uma maior atenção dos órgãos ao sistema, que os enquadraria no caso de suporte externo eventual.

Isso se dá, principalmente, pela indisponibilidade de tempo tendo em vista outras demandas do município e seus funcionários, o que impossibilita uma atenção individualizada a cada um dos sistemas sob sua responsabilidade de atuação.

Nos casos de suporte externo atuante, observou-se um controle externo, geralmente do órgão municipal, em questões diárias, com a disponibilidade de funcionários para operação, empréstimo de equipamentos e máquinas, entre outros subsídios para lidar com os desafios encontrados nos pequenos sistemas de abastecimento de água.

#### 5.1.10. Controle Amostral

Quanto ao indicador controle amostral, avaliou-se o cumprimento da Portaria MS nº 2914/2011 referente ao controle amostral nos pequenos sistemas de abastecimento visitados, sendo os resultados apresentados na Figura 5.24.



**Figura 5.24:** Resultados do indicador Controle Amostral para a amostra selecionada

Observa-se a predominância de duas situações: a qual não há controle amostral, de alta vulnerabilidade, e de cumprimento parcial da Portaria, de baixa vulnerabilidade. O primeiro caso, que representa 47,4% da proporção amostral, com intervalo de confiança de 35 e 60% para 80% de significância, é alarmante, já que possíveis variações na qualidade da água do manancial podem afetar diretamente a população abastecida sem aviso prévio ou possibilidade de implementar ações corretivas. Nesses locais a qualidade da água era somente avaliada pelas ações de Vigilância por meio do programa VIGIAGUA, que geralmente eram escassas e compreendiam em torno de duas a doze amostras anuais em cada sistema, dependendo do local.

O segundo caso, que representou 43,5% da proporção amostral, com intervalo de confiança de 32 e 56% para 80% de significância, a frequência de análises de qualidade da água era inferior ao requisitado na Portaria, principalmente no parâmetro cloro residual, em que a frequência requerida é diária. Apesar disso, havia um cronograma parcialmente adequado de análises, geralmente quinzenal ou mensal, para todos os parâmetros de operação físicos, químicos e microbiológicos.

Somente um sistema foi enquadrado no nível de controle eventual, no qual algumas análises eram realizadas esporadicamente ao longo do ano, além das já realizadas pela Vigilância, e 5 sistemas enquadrados no cumprimento efetivo de todas as condições de Controle da Portaria.

### 5.1.11. Análise dos Resultados

Em análise dos resultados de maneira integrada, encontra-se a ocorrência de seis situações predominantes quanto à vulnerabilidade nos aspectos estudados e se faz um resumo das principais justificativas levantadas na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1:** Análise da predominância dos resultados por indicador

Condição de Vulnerabilidade	Indicadores	Justificativa
Alta	Qualidade da Água	Elevada vulnerabilidade devido à ocorrência de parâmetros analisados em níveis não conformes, principalmente <i>Escherichia coli</i> , coliformes totais e baixa concentração de cloro residual livre.
Média	Operação e Manutenção	Os níveis de operação e manutenção variaram entre todos os níveis, havendo uma maior incidência de casos nos níveis intermediários (vulnerabilidade média).
Baixa	Disponibilidade dos Recursos Hídricos	Baixa ocorrência de casos de indisponibilidade da água de abastecimento, ou seja, baixa vulnerabilidade.
	Manancial de Captação	Predominância da utilização de mananciais subterrâneos que são menos vulneráveis.
Alta e baixa	Controle Amostral	Predominância de duas situações: a qual não há controle amostral, de alta vulnerabilidade, e de cumprimento parcial da Portaria, de baixa vulnerabilidade.
	Capacidade Técnica	Dois situações prevaleceram: a qual o operador do sistema é capacitado e experiente, de baixa vulnerabilidade, e de nenhuma capacitação e experiência, de alta vulnerabilidade.
	Nível de Tratamento	Dois situações predominantes: sem nenhum tipo de tratamento, de alta vulnerabilidade, e de tratamento adequado ao manancial, de baixa vulnerabilidade.
Média e baixa	Suporte Governamental	Ocorrência de casos de média e baixa vulnerabilidade, na qual o suporte externo era disponível, eventual, ou atuante.
	Sistema de Distribuição	Predominância de situações de média e baixa vulnerabilidade, com redes de má qualidade, mas com eventuais ou poucas ocorrências de problemas.
Alta, média e baixa	Capacidade Econômica	Os resultados apresentaram situações em todos os níveis, havendo cerca de 50% dos resultados nas três faixas vulneráveis, e 50% nos níveis de baixa e não vulnerabilidade.

Os resultados demonstram uma elevada variabilidade, havendo predominância de situações de baixa, média e alta vulnerabilidade para alguns indicadores, e de situações distintas de vulnerabilidade dentro de um mesmo indicador, alta e baixa, média e baixa ou todas. Em oito dos dez indicadores havia a predominância, em pelo menos parte dos sistemas vistoriados, de condições de baixa vulnerabilidade, em quatro de vulnerabilidade média, e em cinco de alta.

Observa-se que a problemática do abastecimento de água em pequenas comunidades no estado do Rio Grande do Sul não possui uma característica específica, porém com os resultados é possível identificar os principais problemas encontrados, sendo muitas vezes inerente a baixa qualificação da gestão desses sistemas. Na maior parte dos sistemas de



abastecimento, o tratamento simplificado se mostrou adequado para o manancial de captação predominantemente subterrâneo, sendo necessária somente uma operação adequada.

Uma gestão eficiente, que inclui a contratação de pessoal qualificado, a conservação da estrutura física, a implementação de um sistema de tratamento adequado, o controle amostral mínimo, a cobrança de uma taxa adequada às necessidades de operação e manutenção, pelo menos, garante uma situação de mitigação da vulnerabilidade.

Em geral, os sistemas visitados que se adequavam a essas condições eram aqueles em que havia a presença ativa de um agente externo à comunidade, como a Prefeitura Municipal. Porém, muitos dos sistemas visitados dependiam unicamente da própria população abastecida para gestão dos sistemas, por meio de associações comunitárias. Nesses casos de gestão própria, por conta principalmente da falta de conhecimento técnico e do escasso volume de recursos arrecadados, em comparação aos custos de um sistema adequado, as condições de vulnerabilidade se agravavam.

Constatou-se com as visitas que a maior variabilidade de situações ocorria entre os municípios visitados. Em geral, os pequenos sistemas visitados dentro de um mesmo município possuíam situações de vulnerabilidade parecidas nos critérios de análise, já que havia um maior contato entre a população no município e o suporte externo era comum. Essa situação leva a um incremento do efeito do plano amostral, tornando a amostra menos significativa em referência a uma amostra simples.

Os pequenos sistemas de abastecimento de água sofrem, também, com o desinteresse das companhias de saneamento estaduais e municipais devido à distância dos centros urbanos, dos altos custos de investimento necessários para adequar os sistemas atuais as normativas, além do próprio desinteresse da população devido às maiores taxas cobradas pelas companhias.

Em somente dois locais visitados havia a presença de uma companhia de saneamento, sendo que em um deles o Serviço Autônomo de Saneamento do município fazia a operação do pequeno sistema, com cobrança de uma taxa diferenciada para a população abastecida. Em outro havia o abastecimento pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), que investiu na região com 18 quilômetros de rede, um booster e um reservatório de 10 m<sup>3</sup> (Figura 5.25), tendo em vista exigência de cláusula contratual, porém sem a adesão da população local que continuava abastecida pela SAC sem tratamento (Figura 5.26).



**Figura 5.25:** Reservatório da CORSAN instalado na região da SAC



**Figura 5.26:** Reservatório da SAC em região com abastecimento disponível pela CORSAN

Portanto, a reduzida população abastecida nos locais, em média 96 habitantes por SAC e 356 habitantes nos SAA (conforme apresentado na Tabela 4.1), e o desinteresse da população por melhores condições do abastecimento de água, atrelado a maiores custos, são uns dos principais empecilhos para viabilizar investimentos nas regiões.

Essa caracterização indica a necessidade da presença do poder público, por meio de investimentos nos sistemas e recursos humanos para melhor orientar à população quanto à necessidade de um sistema de abastecimento de água seguro. Mesmo em alguns sistemas com tratamento por desinfecção, foram constatadas ocorrências frequentes de coliformes totais na água de abastecimento, demonstrando falhas na operação e no Controle da qualidade da água.

A engenharia atual fornece diversas tecnologias a serem empregadas para o tratamento da água de abastecimento, tanto do ponto de vista coletivo ou individual, porém cada tecnologia envolve um custo de implantação e operação. O tratamento da água nos pequenos sistemas visitados era geralmente implantado e acompanhado por empresas privadas, que traziam esse conhecimento e experiência externos à comunidade.

## **5.2. Avaliação de Vulnerabilidade**

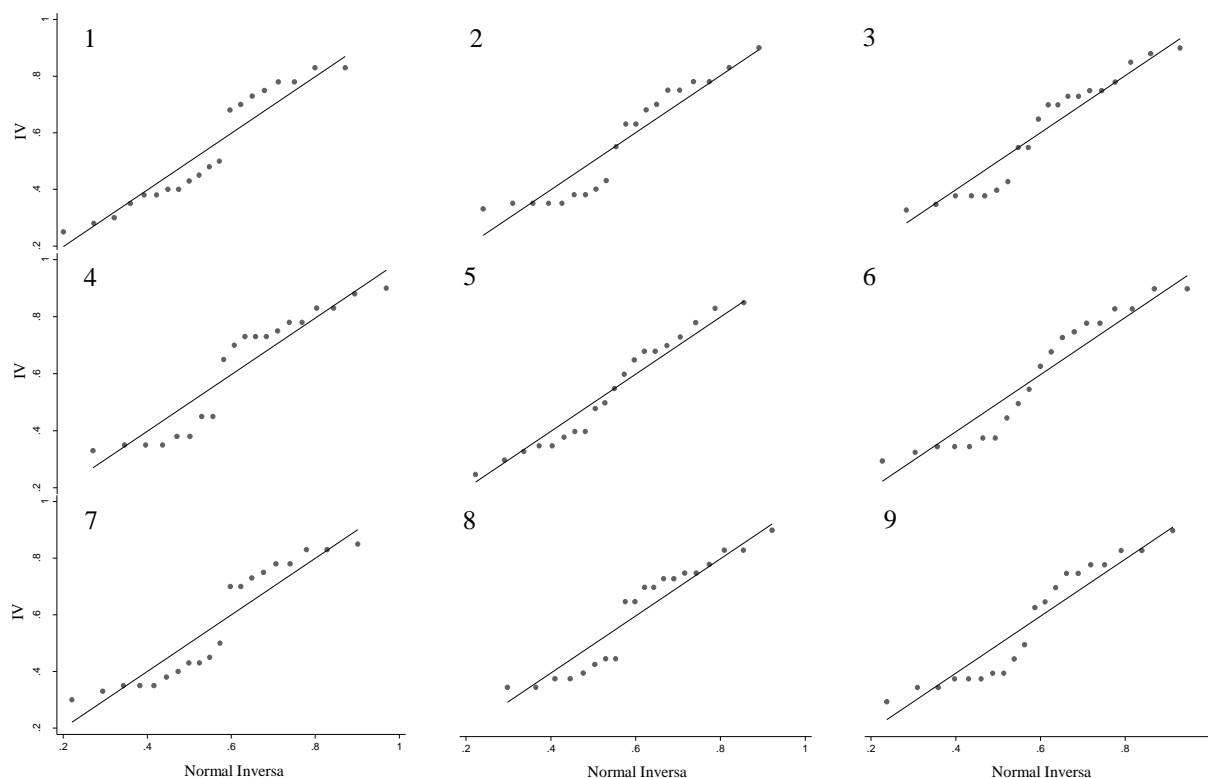
Os resultados do item anterior apresentaram uma visão geral da problemática com base em cada um dos critérios de avaliação (indicadores). Já a avaliação de vulnerabilidade é a aglutinação das diversas informações coletadas em campo para o cálculo do índice de vulnerabilidade, sendo os resultados para cada sistema apresentados no Apêndice II (item 8.2).

Esse índice será avaliado de três formas: por meio da análise do índice de vulnerabilidade e sua distribuição (item 5.2.1); em termos de médias ou proporções para os sistemas, considerando o estado do Rio Grande do Sul ou diferentes subpopulações (item

5.2.2); e mediante a análise dos resultados quanto à vulnerabilidade da população abastecida por estes pequenos sistemas de abastecimento de água (item 5.2.3).

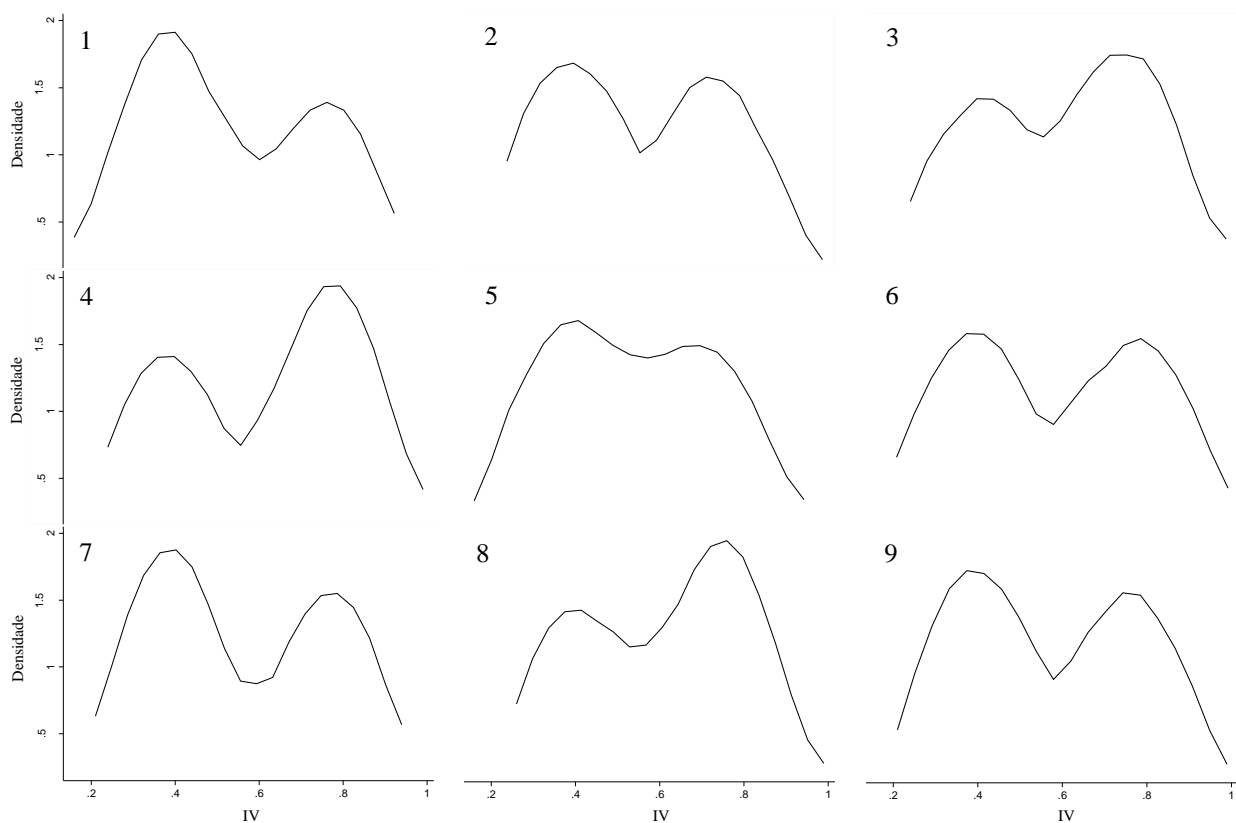
### 5.2.1. Análise do Índice de Vulnerabilidade

A análise do índice de vulnerabilidade consiste em avaliar graficamente os resultados do índice, a fim de se tirar conclusões com relação a sua distribuição e forma. A Figura 5.27 apresenta o resultado das nove subamostras (item 4.4.1.1) plotadas em gráficos quantil da amostra – quantil normal para avaliação da normalidade dos resultados do índice de vulnerabilidade.



**Figura 5.27:** Resultados dos gráficos quantil da amostral – quantil normal

Observa-se que os resultados do índice não seguem uma distribuição normal, já que não há uma aderência dos resultados à reta que representa a curva de Gauss. Com isso, a fim de visualizar melhor o comportamento dos dados, a Figura 5.28 apresenta o resultado das mesmas nove subamostras em gráficos de estimativa de densidade de Kernel.



**Figura 5.28:** Resultados dos gráficos de estimativa de densidade de Kernel ( $\lambda = 0,09$ )

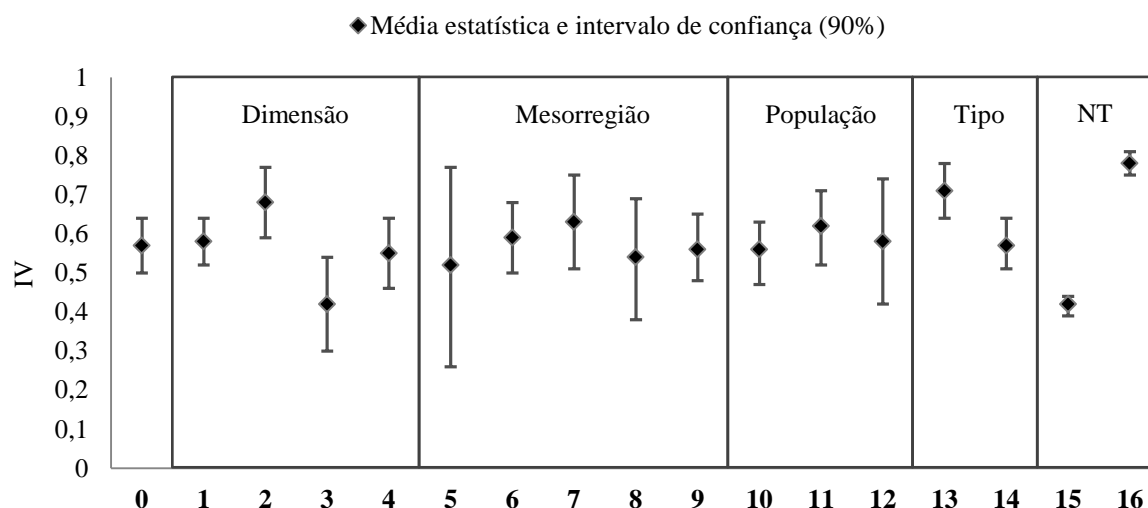
Os resultados demonstram uma dinâmica de densidade com dois picos, um com o índice de vulnerabilidade em torno de 0,40 e outro em 0,80. Essa distribuição pode ser classificada como bimodal, ou seja, com duas frequências máximas, podendo ser a mistura de duas distribuições normais com variâncias aproximadas.

Uma análise dessa condição de bimodalidade pode estar associada às conclusões da caracterização da problemática (item 5.1.11) em que se observou uma elevada variabilidade de resultados em cada um dos aspectos de análise. Além disso, existe uma tendência em que sistemas com baixa vulnerabilidade em determinados aspectos também tenham melhores resultados nos outros aspectos de análise, e de forma análoga nos piores casos, de alta vulnerabilidade.

Portanto, a análise do índice indica a existência de duas condições predominantes de vulnerabilidade nos pequenos sistemas de abastecimento de água no estado do Rio Grande do Sul, parte em condições de média-alta vulnerabilidade e outra de baixa. Um dos possíveis fatores para essa distribuição é analisado no item seguinte com o cálculo do índice condicionado a dois níveis de tratamento: sem tratamento e tratamento considerado adequado ao manancial.

### 5.2.2. Vulnerabilidade dos Sistemas

Do ponto de vista da vulnerabilidade dos sistemas, os resultados são apresentados mediante cinco óticas de análise (dimensão, mesorregião, população, tipo e nível de tratamento) com 16 resultados calculados, além do valor da vulnerabilidade média dos sistemas no estado do Rio Grande do Sul (indicado pelo número 0 na abscissa), que é base de comparação e análise, conforme Figura 5.29. Além disso, são avaliados os resultados de vulnerabilidade em termos da proporção de sistemas por nível de vulnerabilidade.



**Figura 5.29:** Resultados de vulnerabilidade dos sistemas

Os casos indicados com números de 1 a 4 representam uma análise da composição do indicador por dimensão (1. Recursos Hídricos, 2. Econômica, 3. Social, 4. Institucional); entre 5 e 9 representam a análise por mesorregião do Estado (5. Centro Ocidental, Sudeste e Sudoeste, 6. Noroeste, 7. Metropolitana, 8. Centro Oriental, 9. Nordeste); 10 a 12 pela faixa de população abastecida (10. Até 100, 11. Entre 101 e 500, 12. Acima de 501); 13 e 14 pelo tipo de sistema (13. SAA, 14. SAC); e 15 e 16 condicionadas a dois níveis de tratamento da caracterização da problemática (15. Sem tratamento, 16. Tratamento adequado).

Ressalta-se que os resultados em termos de algumas subpopulações devem ser avaliados com cautela, já que tendem a não apresentar uma elevada significância estatística, tendo em vista os critérios de amostragem considerados no método. Os intervalos de confiança foram calculados considerando o desenho da amostra, por exemplo, para o caso base (número 0 na abscissa), o efeito do plano amostral (Equação 4.14) foi de 2,30, ou seja, a amostra complexa se comportou como uma amostra simples com aproximadamente 26 sistemas.

A seguir é discutida cada situação, sendo os resultados da Figura 5.29 apresentados em forma de tabela.

### 5.2.2.1. Análise dos Casos 1 a 4

A Tabela 5.2 apresenta os resultados dos casos 1 a 4 que indicam a composição de cada dimensão no índice de vulnerabilidade médio dos sistemas objeto de estudo no estado do Rio Grande do Sul. A dimensão recursos hídricos é responsável por 60% do índice, a econômica e social por 10% cada e a institucional por 20%.

**Tabela 5.2:** Composição do índice de vulnerabilidade por dimensão

<b>Legenda</b>	<b>Especificação</b>	<b>Média</b>	<b>Intervalo de Confiança (90%)</b>
<b>0</b>	Índice de vulnerabilidade médio dos sistemas no estado do Rio Grande do Sul	0,57	0,50 – 0,64
<b>1</b>	Componente da dimensão Recursos Hídricos no índice de vulnerabilidade médio (60% do IV)	0,58	0,52 – 0,64
<b>2</b>	Componente da dimensão Econômica no índice de vulnerabilidade médio (10% do IV)	0,68	0,59 – 0,77
<b>3</b>	Componente da dimensão Social no índice de vulnerabilidade médio (10% do IV)	0,42	0,30 – 0,54
<b>4</b>	Componente da dimensão Institucional no índice de vulnerabilidade médio (20% do IV)	0,55	0,46 – 0,64

Em análise dos resultados constata-se que as componentes econômica e social do índice apresentam resultados com uma tendência divergente das outras, respectivamente de menor e maior vulnerabilidade. A componente econômica é composta somente pelo indicador Capacidade Econômica que apresentou resultados em todas as faixas de vulnerabilidade, mas com baixa ocorrência de casos de maior vulnerabilidade, em que os recursos eram insuficientes para manter o sistema, elevando a média. Demonstra-se, assim, a importância da existência de recursos em um pequeno sistema de abastecimento de água, já que dificilmente um sistema deficitário teria condições de continuar operando.

Já a componente social é composta somente pelo indicador Capacidade Técnica que apresentou resultados de alta e baixa vulnerabilidade, porém com uma maior ocorrência das situações de alta vulnerabilidade devido à predominância de situações em que a comunidade era a principal responsável pela operação e gestão do sistema. Essa dimensão retrata uma das principais dificuldades dos pequenos sistemas de abastecimento de água que é a falta de conhecimento e assessoria técnica para uma operação adequada.

As outras componentes apresentaram resultados similares, porém se ressalta que as dimensões recursos hídricos e institucional são compostas por mais de um indicador, seis e dois respectivamente, existindo divergências nas condições de vulnerabilidade internamente à dimensão.

### 5.2.2.2. Análise dos Casos 5 a 9

Os casos 5 a 9 representam uma avaliação comparativa entre as mesorregiões do Estado, com base nos estratos selecionados na amostra. Tendo em vista a aglutinação das mesorregiões Centro Ocidental, Sudeste e Sudoeste na composição da amostra, os resultados dessas mesorregiões são apresentados em conjunto.

Ressalta-se que, por conta do pequeno número de observações em cada mesorregião, com exceção da mesorregião Noroeste, as médias foram formadas considerando uma amostra bastante limitada. Essa condição traz incertezas no cálculo do intervalo de confiança já que o Teorema do Limite Central pode não ser válido nesses casos.

**Tabela 5.3:** Índice de vulnerabilidade por mesorregião

<b>Legenda</b>	<b>Especificação</b>	<b>Média</b>	<b>Intervalo de Confiança (90%)</b>
<b>0</b>	Índice de vulnerabilidade médio dos sistemas no estado do Rio Grande do Sul	0,57	0,50 – 0,64
<b>5</b>	Índice de vulnerabilidade médio dos sistemas para as mesorregiões Centro Ocidental, Sudeste e Sudoeste	0,52	0,26 – 0,77
<b>6</b>	Índice de vulnerabilidade médio dos sistemas para a mesorregião Noroeste	0,59	0,50 – 0,68
<b>7</b>	Índice de vulnerabilidade médio dos sistemas para a mesorregião Metropolitana	0,63	0,41 – 0,65
<b>8</b>	Índice de vulnerabilidade médio dos sistemas para a mesorregião Centro Oriental	0,54	0,38 – 0,69
<b>9</b>	Índice de vulnerabilidade médio dos sistemas para a mesorregião Nordeste	0,56	0,48 – 0,65

Os resultados não demonstram a tendência de diferenças entre as mesorregiões do Estado. A pior média encontrada foi referente à aglutinação das mesorregiões Centro Ocidental, Sudeste e Sudoeste, com índice no valor de 0,52, e a melhor média referente à mesorregião Metropolitana, índice médio igual a 0,63.

Conforme citado, esses resultados são provenientes de tamanhos de amostra limitados, por exemplo, a pior média calculada se refere a uma amostra com dois conglomerados e seis observações, já a do melhor caso contém somente três conglomerados e nove observações. Essa incerteza é levada em conta nos intervalos de confiança, que no primeiro caso foi de até 0,26 da média. Portanto, uma análise comparativa da vulnerabilidade entre as mesorregiões do Estado necessitaria de um tamanho de amostra mínimo em cada mesorregião comparável ao tamanho desse estudo.

### 5.2.2.3. Análise dos Casos 10 a 12

Nos casos 10 a 12, dividiram-se os resultados médios pela população abastecida estimada em cada um dos sistemas vistoriados, conforme dados de cadastro do SISAGUA. As

três faixas de população atribuídas foram: até 100 habitantes, com um número absoluto de sistemas visitados de 36 sistemas, entre 101 e 500, com 20 locais vistoriados, e acima de 501 habitantes, com quatro observações.

**Tabela 5.4:** Índice de vulnerabilidade por faixas de população abastecida estimada

<b>Legenda</b>	<b>Especificação</b>	<b>Média</b>	<b>Intervalo de Confiança (90%)</b>
<b>0</b>	Índice de vulnerabilidade médio dos sistemas no estado do Rio Grande do Sul	0,57	0,50 – 0,64
<b>10</b>	Índice de vulnerabilidade médio dos sistemas com população abastecida estimada até 100 habitantes	0,56	0,47 – 0,63
<b>11</b>	Índice de vulnerabilidade médio dos sistemas com população abastecida estimada entre 101 e 500 habitantes	0,62	0,52 – 0,71
<b>12</b>	Índice de vulnerabilidade médio dos sistemas com população abastecida estimada acima de 501 habitantes	0,58	0,42 – 0,74

Os resultados indicam que a população abastecida pelo sistema não mostrou ser um fator determinante para o nível de vulnerabilidade, havendo resultados que tenderam a similaridade em termos médios. Nos casos 10 e 11, até 100 habitantes, e entre 101 e 500, o número de visitas a locais que se enquadravam nesses critérios resultaram em um intervalo de confiança aceitável, até 0,10 da média.

Já o resultado do caso 12, que representa os sistemas com população abastecida acima de 501 habitantes, foi composto somente por quatro visitas. Portanto, apesar da tendência de similaridade dos resultados, não é possível excluir a existência de uma relação entre o índice de vulnerabilidade e o tamanho do sistema de abastecimento.

#### 5.2.2.4. Análise dos Casos 13 e 14

A Tabela 5.5 apresenta os resultados dos casos 13 e 14 que indicam a vulnerabilidade média dos sistemas visitados considerando o tipo cadastrado no SISAGUA, SAA ou SAC. Foram visitados três locais cadastrados como sistemas de abastecimento de água (SAA) e 57 cadastrados como soluções alternativas coletivas (SAC).

**Tabela 5.5:** Índice de vulnerabilidade por classificação do tipo de sistema de abastecimento

<b>Legenda</b>	<b>Especificação</b>	<b>Média</b>	<b>Intervalo de Confiança (90%)</b>
<b>0</b>	Índice de vulnerabilidade médio dos sistemas no estado do Rio Grande do Sul	0,57	0,50 – 0,64
<b>13</b>	Índice de vulnerabilidade médio dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA)	0,71	0,64 – 0,78
<b>14</b>	Índice de vulnerabilidade médio das Soluções Alternativas Coletivas (SAC)	0,57	0,51 – 0,64

O índice de vulnerabilidade médio dos sistemas de abastecimento de água obteve resultados bastante superiores aqueles das soluções alternativas coletivas. Os locais



vistoriados em campo cadastrados como SAA, devido às normativas mais restritivas da Portaria MS nº 2914/2011, eram necessariamente operados pelo ente municipal que garantia condições econômicas suficientes para a existência do tratamento, presença de um funcionário capacitado, controle amostral mínimo, entre outros aspectos mitigadores da vulnerabilidade.

Por conta disso, o melhor resultado do índice para SAA já era esperado, porém se ressalta que foram feitas somente três vistorias em SAA, o que reduz a confiabilidade do intervalo de confiança. Portanto, o resultado encontrado demonstra somente uma tendência de menor vulnerabilidade para esses casos.

#### 5.2.2.5. Análise dos Casos 15 e 16

Nos casos 15 e 16, condicionou-se a análise do índice de vulnerabilidade médio ao resultado do indicador nível de tratamento. Avaliaram-se duas situações, a dos sistemas sem tratamento, sendo observados 25 sistemas nessa situação, e aqueles considerados com nível de tratamento adequado, com 23 observações na amostra.

**Tabela 5.6:** Índice de vulnerabilidade condicional ao nível de tratamento

<b>Legenda</b>	<b>Especificação</b>	<b>Média</b>	<b>Intervalo de Confiança (90%)</b>
<b>0</b>	Índice de vulnerabilidade médio dos sistemas no estado do Rio Grande do Sul	0,57	0,50 – 0,64
<b>15</b>	Índice de vulnerabilidade médio dos sistemas sem tratamento (NT = 0,00)	0,42	0,39 – 0,44
<b>16</b>	Índice de vulnerabilidade médio dos sistemas com nível de tratamento considerado adequado (NT = 0,75)	0,78	0,75 – 0,81

Os resultados demonstram uma significativa diferença do índice condicionado ao nível de tratamento nos casos 15 e 16. O intervalo de confiança do índice de vulnerabilidade médio dos sistemas sem tratamento foi de 0,39 a 0,44, o que indica uma vulnerabilidade média/alta desses sistemas. Já naqueles em que o nível de tratamento foi considerado adequado, o intervalo ficou entre 0,75 e 0,81, o que indica baixa vulnerabilidade.

Essas faixas de valores, até 0,03 da média, são consideravelmente menores da faixa do índice de vulnerabilidade médio do estado do Rio Grande do Sul, que teve uma diferença da média de até 0,07. Isso indica que houve uma redução da variância dos resultados considerando o nível de tratamento empregado pelo sistema de abastecimento.

Ressalta-se que existe uma diferença inerente ao índice de 0,075, referente ao próprio indicador nível de tratamento com valor atribuído de 0,00 ou 0,75, porém o resultado médio na comparação se mostrou superior a essa diferença, o que indica que os outros aspectos de análise também obtiveram resultados, em média, divergentes.

Considerando os resultados em conjunto com aqueles obtidos no item 5.2.1, especificamente da Figura 5.28, em que se constatou uma bimodalidade na distribuição dos dados do índice de vulnerabilidade, observa-se que um dos possíveis fatores condicionantes pode ser o nível de tratamento empregado.

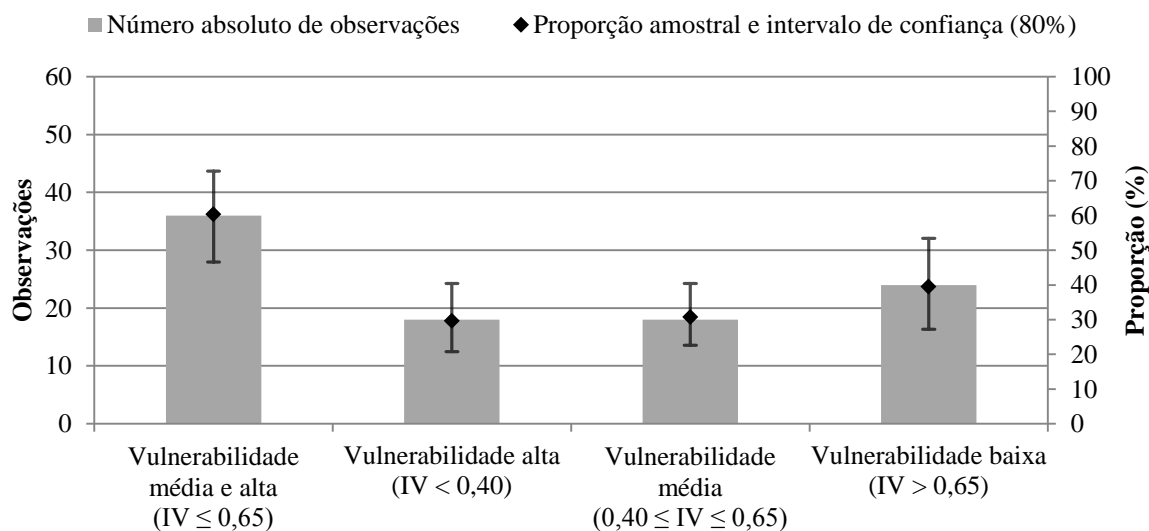
Um sistema que opera sem tratamento geralmente não possui um controle amostral mínimo, não necessita de uma operação com capacidade técnica mínima, tende a ter piores condições de operação e manutenção e obtém uma maior quantidade de amostras de qualidade da água fora do padrão. De forma análoga, um sistema que possui um tratamento adequado ao manancial de captação tende a apresentar melhores resultados de qualidade da água e necessita de ações operacionais mais complexas, que demandam uma capacitação técnica mínima.

O nível de tratamento, portanto, se mostrou um importante critério de análise da vulnerabilidade, podendo ser considerado um dos principais pontos que leva um sistema de abastecimento a melhores níveis de vulnerabilidade em geral, já que traz em conjunto a mitigação de outros aspectos.

É importante ressaltar que o nível de tratamento empregado deve ser adequado à qualidade da água do manancial, já que um nível de tratamento inadequado ou parcialmente adequado é também uma condição de vulnerabilidade.

#### **5.2.2.6. Análise do Nível de Vulnerabilidade**

Outra análise que pode ser realizada diz respeito à proporção de sistemas em cada um dos níveis de vulnerabilidade considerados na metodologia. Conforme apresentado no item 4.4, um sistema pode ser classificado como tendo uma vulnerabilidade baixa, média ou alta segundo a faixa de valor do resultado do índice de vulnerabilidade. A Figura 5.30 apresenta os resultados dessa análise.



**Figura 5.30:** Resultado da proporção dos sistemas por nível de vulnerabilidade

Os resultados demonstram uma proporção similar de sistemas com vulnerabilidade baixa, média e alta (entre 30 e 40% cada). Aglutinando-se os resultados de vulnerabilidade alta e média, quando o índice de vulnerabilidade possui valores menores ou iguais a 0,65, obtém-se que 60,4% da proporção amostral, com intervalo de confiança de 47 e 73% para 80% de significância, foram de sistemas considerados vulneráveis aos aspectos de estudo.

Essa proporção é bastante significativa, já que representa um elevado número de sistemas de abastecimento de água em situação de risco. Considerando que o universo de estudo foi de 6282 pequenos sistemas de abastecimento de água, uma estimativa é de que entre 2953 e 4586 são locais considerados com vulnerabilidade média e alta e que demandam ações do poder público para minimizar essas condições.

Fazendo uma avaliação desse resultado considerando o nível de tratamento empregado (casos 15 e 16, item 5.2.2.5), observa-se que os casos de vulnerabilidade baixa foram exclusivos daqueles em que o tratamento foi considerado adequado ou parcialmente adequado. No primeiro caso, tratamento adequado, nenhum foi enquadrado nas condições de vulnerabilidade média e alta, ou seja, a existência de um tratamento adequado ao manancial foi determinante para atribuir o sistema a uma baixa vulnerabilidade.

### 5.2.3. Vulnerabilidade da População

Os resultados apresentados no item 5.2.2 têm como enfoque uma análise em termos de vulnerabilidade dos pequenos sistemas de abastecimento, porém cada sistema abastece uma determinada comunidade que consiste de uma população.

Com isso, conforme os objetivos específicos dessa pesquisa, são apresentados estimativas em forma de proporção amostral indicando a magnitude da população objeto de

estudo abastecida por sistemas nos diversos níveis de vulnerabilidade (baixa, média e alta). Os critérios para transformação dos resultados em proporção foram os mesmos utilizados no item anterior (5.2.2.6), apresentado no método (item 4.4).

A fim de estimar os resultados de sistemas em termos populacionais foi atribuído um critério de pós-estratificação na análise estatística. Esse critério foi feito com base na população dos estratos (mesorregiões), em que os valores estatísticos resultantes para sistemas da amostra em determinado estrato foi corrigido pelo tamanho de sua população. Os resultados considerando essa ótica de pós-estratificação são apresentados na Tabela 5.7 em comparação aos resultados do item anterior.

**Tabela 5.7:** Resultado da proporção da população por nível de vulnerabilidade

Vulnerabilidade	Observações	Proporção (Sistemas)	Intervalo de Confiança (80%)	Proporção (População)	Intervalo de Confiança (80%)
Média e alta ( $IV \leq 0,65$ )	36	60,4%	47 – 73%	59,7%	46 – 72%
Alta ( $IV < 0,40$ )	18	29,6%	21 – 40%	29,3%	20 – 41%
Média ( $0,40 \leq IV \leq 0,65$ )	18	30,8%	23 – 40%	30,4%	23 – 39%
Baixa ( $IV > 0,65$ )	24	39,6%	27 – 53%	40,3%	28 – 53%

Fazendo-se uma análise similar aquela do item anterior, estima-se que 59,7% da população objeto de estudo, com intervalo de confiança de 46 e 72% para 80% de significância, era abastecida por pequenos sistemas vulneráveis aos aspectos de estudo. Em números totais, esse montante é estimado entre 300 mil e 470 mil habitantes no estado do Rio Grande do Sul, superior a população da maior parte dos municípios gaúchos.

Dessa quantia, estima-se que entre 131 mil e 268 mil representam casos de uma população abastecida por sistemas altamente vulneráveis, muitas vezes sem tratamento e controle da qualidade da água. Esse resultado demonstra novamente que a situação do abastecimento de água nos pequenos sistemas isolados é uma questão prioritária de saúde pública.

Observa-se, também, que o resultado pós-estratificado para população pouco diferenciou daquele para sistemas, havendo pequenos ganhos nos intervalos de confiança e mudanças de poucos pontos percentuais nas proporções encontradas. Nas médias, a mudança é basicamente uma realocação dos pesos dos estratos no cálculo final, já nos intervalos de confiança se esperava uma maior aderência devido ao dimensionamento dos estratos que levaram em conta as populações das mesorregiões, mas que provavelmente foram contidos pela elevada homogeneidade dos resultados internamente aos conglomerados.

Essa homogeneidade levou a intervalos de confiança superiores aqueles previstos no método, em que se esperava um erro amostral de até 10% da média. Aplicando-se o cálculo do efeito do plano amostral (Equação 4.14), que indica a eficiência de uma amostra complexa, encontra-se o valor de 2,46 para a proporção de sistemas considerados vulneráveis, ou seja, a amostra complexa se comportou como uma amostra simples de aproximadamente 24 sistemas.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As conclusões serão expostas em duas partes: primeiro em termos do método empregado na pesquisa, considerando o índice de vulnerabilidade proposto e as técnicas de amostragem utilizadas para definir os sistemas visitados in loco; e na segunda parte quanto aos resultados encontrados na caracterização da problemática e da avaliação de vulnerabilidade. Com base nisso, são feitas algumas recomendações que podem ser aplicadas para mitigar as vulnerabilidades encontradas e no desenvolvimento de trabalhos futuros.

Portanto, mediante os resultados expostos, apresentam-se as seguintes conclusões quanto à metodologia empregada:

- O SISAGUA é uma ferramenta essencial para a gestão da informação em saúde, porém se ressalta que ele é um sistema online e que possui atualização constante, portanto, algumas informações tendem a sofrer complementação ao longo do tempo de forma retroativa, afetando em parte o levantamento de dados;
- O índice de vulnerabilidade proposto; constituído por quatro dimensões de análise (recursos hídricos, econômica, social e institucional), dez indicadores e cinco níveis de vulnerabilidade cada; abrangeu satisfatoriamente os aspectos de vulnerabilidade encontrados e teve fácil aplicação em campo, sendo todos os sistemas integralmente caracterizados nos indicadores propostos, ou seja,  $NC=1,00$  (Equação 4.5, item 4.4);
- As faixas de valores para os níveis de vulnerabilidade considerados (baixa:  $0,65 < IV \leq 1,00$ ; média:  $0,40 \leq IV \leq 0,65$  e; alta:  $0,00 \leq IV < 0,40$ ) se mostraram adequadas, além disso, a não atribuição de pesos garantiu uma facilidade de interpretação dos resultados do índice de vulnerabilidade calculado;
- O desenho da amostra utilizado não trouxe ganhos expressivos em comparação a uma AAS para o cálculo do índice de vulnerabilidade médio no estado do Rio Grande do Sul ( $deff=2,30$ ) e para a proporção de sistemas considerados vulneráveis em termos de sistema, ou seja, aqueles com valores do índice menores ou iguais a  $0,65$  ( $deff=2,46$ ). Para esses resultados, uma AAS com cerca de 25 sistemas traria resultados equivalentes de intervalo de confiança ao dessa amostra complexa com 60 sistemas visitados. Essa condição tem como causa provável a elevada homogeneidade dos resultados internamente aos conglomerados selecionados;
- Do ponto de vista da caracterização da problemática e do custo funcional, o desenho da amostra se mostrou adequado, já que garantiu um maior número de

situações observadas, inclusive para análise do índice de vulnerabilidade por subpopulações;

- O tamanho da amostra foi suficiente para se obter um resultado do índice de vulnerabilidade médio para o estado do Rio Grande do Sul suficientemente confiável, com um intervalo de confiança de até 0,07 da média para 90% de significância;
- Já para análises em termos de algumas subpopulações (mesorregião, população e tipo), o tamanho da amostra se mostrou inferior ao recomendável, inclusive do ponto de vista da criação de médias e intervalos de confiança, já que não obteve número suficiente de observações para garantir a validade do Teorema do Limite Central;
- A pós-estratificação da proporção de sistemas nos níveis de vulnerabilidade considerados para termos populacionais não trouxe elevadas diferenças e ganhos estatísticos nas proporções e intervalos de confiança.

E quanto aos resultados encontrados:

- Os resultados indicaram uma elevada variabilidade dentro dos indicadores de vulnerabilidade analisados, sendo que o nível de tratamento, a qualidade da água, o controle amostral, a operação e manutenção e a capacidade técnica, foram os que apresentaram a maior ocorrência de situações de elevada vulnerabilidade. Ações que se foquem nesses critérios tendem a trazer o maior benefício em saúde;
- Já os indicadores disponibilidade dos recursos hídricos, manancial de captação, sistema de distribuição, capacidade econômica e suporte governamental, foram os que apresentaram os melhores resultados, havendo algumas exceções;
- O tratamento simplificado somente por desinfecção, utilizado em quase todos os locais que possuíam o tratamento, se mostrou adequado para o atendimento da potabilidade da água distribuída em grande parte dos sistemas. Apesar disso, devido a questões operacionais, nem sempre os padrões de qualidade da água eram atingidos em todas as amostras. Condição também associada ao cumprimento parcial da Portaria 2914/2011 MS, ou seja, sem a verificação dos níveis de cloro diariamente;
- A presença do poder público no dia a dia dos sistemas de abastecimento é um fator de mitigação da vulnerabilidade, já que traz exigências normativas e experiência técnica. Porém se ressalta, também, o papel da iniciativa privada na

implementação e operação dos sistemas de tratamento, que traz benefícios à comunidade abastecida;

- O abastecimento de água em pequenas comunidades, em geral, não se mostra atrativo para as companhias de saneamento devido às pequenas populações abastecidas e a distância dos centros urbanos. Além disso, há também o desinteresse da própria população devido às maiores taxas cobradas pelas companhias;
- Os resultados demonstraram uma dinâmica de densidade do índice de vulnerabilidade bimodal, ou seja, com duas frequências máximas, uma com o índice em torno de 0,40 e outra em 0,80. Uma das possíveis condicionantes avaliadas é o nível de tratamento empregado;
- O índice de vulnerabilidade médio dos pequenos sistemas de abastecimento de água que atuam de forma descentralizada no estado do Rio Grande do Sul, conforme a definição da metodologia, foi de 0,57, com intervalo de confiança de 0,50 e 0,64 para 90% de significância, o que indica uma vulnerabilidade a níveis médios;
- Os resultados do índice de vulnerabilidade não demonstraram tendências de diferenças significativas entre mesorregiões, tamanho da população abastecida e tipo (SAA/SAC);
- Já o nível de tratamento se mostrou um importante critério de análise de vulnerabilidade, havendo diferenças significativas nos resultados do índice para os sistemas sem tratamento e aqueles com tratamento considerado adequado. Do ponto de vista das dimensões que compõem o índice, a econômica obteve os melhores resultados;
- A proporção de sistemas considerados vulneráveis no estado do Rio Grande do Sul foi de 60,4%, com intervalo de confiança de 47 e 73%, e para a população de 59,7%, com intervalo de confiança de 46 e 72%, ambas para 80% de significância. Esse resultado demonstra que a problemática do abastecimento de água em pequenas comunidades tem ainda uma grande importância na garantia da saúde da população no Estado;
- Já a proporção de 29,6%, com intervalo de confiança de 21 e 40% para 80% de significância, foram de sistemas considerados com vulnerabilidade alta, o que indica casos que merecem uma maior atenção do poder público.



Com base nas conclusões quanto à metodologia empregada e resultados encontrados das principais causas de vulnerabilidades dos sistemas e do índice de vulnerabilidade calculado, são feitas as seguintes recomendações:

- Incluir análises epidemiológicas nas populações abastecidas por sistemas vulneráveis e correlações entre bancos de dados específicos do DATASUS;
- Buscar formas e executar ações que visem mitigar os problemas encontrados nos sistemas mais vulneráveis, focando-se os investimentos públicos e agindo, inicialmente, na adequação do nível de tratamento ao manancial de captação, cumprimento efetivo da Portaria MS nº 2914/2011 e segurança da água nas redes de distribuição;
- Nos locais em situação menos crítica, vulnerabilidade média e baixa, incentivar avanços na gestão e operação dos sistemas, por meio da capacitação dos responsáveis pela operação diária, ou da contratação de mão de obra especializada para cada sistema ou aglomerado de sistemas (por exemplo, um funcionário para supervisão operacional e controle amostral diário dos pequenos sistemas do município);
- Estabelecer o nível de tratamento recomendável com base na qualidade da água bruta do manancial, já que, mesmo em mananciais subterrâneos, observou-se uma elevada variabilidade de resultados e em alguns casos o tratamento simplificado não se mostrou adequado;
- Naqueles casos em que o nível de tratamento recomendável é superior a capacidade técnica e financeira da comunidade, recomenda-se a busca por mananciais alternativos e de melhor qualidade;
- Correlacionar o nível de tratamento empregado, ou o índice de vulnerabilidade, e os resultados das análises para os parâmetros de potabilidade da água, a fim de se avaliar a necessidade de investimentos no sistema de tratamento;
- Elaborar diretrizes com enfoque em pequenos sistemas de abastecimento de água por meio de Planos de Segurança da Água genéricos ou outra metodologia similar, tendo em vista as semelhanças dos desafios encontrados;
- Realizar estudos com enfoque em populações abastecidas por soluções individuais em nível familiar (SAI), já que o montante populacional de estudo (estimada em aproximadamente 650 mil habitantes) se refere somente aos pequenos sistemas de abastecimento de água em nível coletivo, incluindo todas as SAC, exceto caminhão-pipa, e alguns SAA. Conforme os dados do SISAGUA, a população abastecida somente por SAI em 2014 é superior a 200 mil habitantes;

- Avaliar formas de mitigar as limitações desse estudo devido à:
  - Utilização dos dados de cadastro do SISAGUA, que não engloba integralmente os municípios e pequenos sistemas de abastecimento de água;
  - Utilização de resultados de qualidade da água de terceiros (Controle e Vigilância) para definição do indicador Qualidade da Água, que pode não ser confiável quanto à metodologia de análise empregada e frequência;
  - Característica da amostra realizada que considerou os municípios como conglomerados, mas que se mostrou ineficiente devido à homogeneidade. Uma alternativa seria a criação de conglomerados que englobem mais de um município ou pequenas regiões.

## 7. REFERÊNCIAS

ALESSA, L. *et al.* The Arctic Water Resource Vulnerability Index: an integrated assessment tool for community resilience and vulnerability with respect to freshwater. **Environmental Management**, v. 42, n. 3, p. 523–541, 2008.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20. ed. Washington, 1999.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria Executiva. Departamento de Informática do SUS. **DATASUS trajetória 1991-2002**. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2002a. 62 p. (Série G. Estatística e Informação em Saúde).

BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Técnicas de amostragem para auditorias**. Brasília: TCU, Secretaria-Adjunta de Fiscalização, 2002b. 149 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005. 106 p. (Série C. Projetos, Programas e Relatórios).

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2006. 212 p. (Série B. Textos Básicos de Saúde).

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Capacitação em monitorização das doenças diarreicas agudas – MDDA: manual do treinando**. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2010. 84 p. (Série F. Comunicação e Educação em Saúde)

BRASIL. Ministério da Saúde. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 12 dez. 2011, Seção 1, p. 39-46

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional de Saúde. **Plano de Segurança da Água: Garantindo a qualidade e promovendo a saúde - Um olhar do SUS**. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2012a. 60 p. (Série B. Textos Básicos de Saúde).

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Avaliação da vigilância da qualidade da água no estado do Rio Grande do Sul – ano base 2011**. Brasília, 2012b. 13 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Plano Nacional de Saneamento Básico: PLANSAB**. Brasília, 2013a. 173 p.

BRASIL. **O índice de desenvolvimento humano municipal brasileiro**. Brasília: PNUD, IPEA, FJP, 2013b. (Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013).

BRASIL. **Aprova a estrutura regimental e o quadro demonstrativo dos cargos em comissão e das funções gratificadas do Ministério da Saúde e remaneja cargos em comissão**. Decreto nº 8.065, de 7 de agosto de 2013. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 2013c.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2014a. 29 p.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de cloração de água em pequenas comunidades utilizando o clorador simplificado desenvolvido pela FUNASA**. Brasília: FUNASA, 2014b. 36 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portal da saúde**. 2015. Disponível em: <http://portalsaude.saude.gov.br/>. Acesso em: 30 abr. 2015.

CAMPBELL, M. K. *et al.* Sample size calculator for cluster randomized trials. **Computers in Biology and Medicine**, v. 34, n. 2, p. 113–125, 2004.

COCHRAN, W. G. **Sampling techniques**, 3. ed. John Wiley & Sons, 1977. 428 p

COOK, C.; BAKKER, K. Water security: debating an emerging paradigm. **Global Environmental Change**, v. 22, n. 1, p. 94–102, 2012.

CRAUN, M. F. *et al.* Waterborne outbreaks reported in the United States. **Journal of Water and Health**, v. 4 Suppl 2, p. 19–30, jan. 2006.

DANNEELS, J. J.; FINLEY, R. E. Assessing the vulnerabilities of US drinking water systems. **Journal of Contemporary Water Research {&} Education**, v. 129, n. 1, p. 8–12, 2004.

DI BERNARDO, L. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 498 p. Projeto PROSAB.

EPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). **Case studies of sustainable water and wastewater pricing**. Office of Water (4606m), 2005. 25 p.

EPANECHNIKOV, V. A. Non-parametric estimation of a multivariate probability density. **Theory of Probability & Its Applications**. Vol. 14, No. 1. p. 153-158. 1969.

FEE. Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento Regional do Governo do Estado do Rio Grande do Sul. **FEEDados**. Porto Alegre: Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser. 2015. Disponível em: <<http://feedados.fee.tche.br/feedados/>> Acesso em 15 de abril de 2015.

GOOGLE. **Google Earth V.6**. Imagem de 04 de setembro de 2013. Disponível em: <<http://www.earth.google.com>> Acesso em 15 de abril de 2015.

HEERINGA, S. G.; WEST, B. T.; BERGLUND, P. A. **Applied survey data analysis** Chapman and Hall/CRC, 2010. 487 p.

HINKINS, S.; OH, H. L.; SCHEUREN, F. Inverse sampling design algorithms. **JSM Proceedings, Survey Research Methods Section**. Alexandria, VA: American Statistical Association. p. 626-631. 1994.

HINKINS, S.; MULROW, E.; SCHEUREN, F. Visualization of complex survey data: regression diagnostics. **JSM Proceedings, Survey Research Methods Section**. Alexandria, VA: American Statistical Association. p. 2206-2218. 2009.

HOFFMAN, E. B.; SEN, P. K.; WEINBERG, C. R. Within-cluster resampling. **Biometrika**, v. 88, p. 1121-1134. 2001.

HOFKES, E. H. **Small community water supplies: technology of small water supply systems in developing countries**. John Wiley & Sons Ltd, 1984. 442 p.

HOWARD, G. *et al.* Risk factors contributing to microbiological contamination of shallow groundwater in Kampala, Uganda. **Water Research**, v. 37, n. 14, p. 3421–3429, 2003.

HURLEY, T.; SADIQ, R.; MAZUMDER, A. Adaptation and evaluation of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for use as an effective tool to characterize drinking source water quality. **Water Research**, v. 46, n. 11, p. 3544–52, jul. 2012.

KILLIP, S.; MAHFOUD, Z.; PEARCE, K. What is an intraclass correlation coefficient? Crucial concepts for primary care researchers. **Annals of Family Medicine**, v. 2, n. 3, p. 204–8, jan. 2004.

KISH, L. **Survey sampling**. New York: John Wiley & Sons, 1965.

LEHTONEN, R.; PAHKINEN, E. **Practical methods for design and analysis of complex surveys**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2004. 360 p.

LEMESHOW, S. *et al.* **Adequacy of sample size in health studies**. John Wiley & Sons, 1990. 252 p.

LEVY, P. S.; LEMESHOW, S. **Sampling of populations: methods and applications**. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008. 616 p.

LOHR, S. L. **Sampling: design and analysis**. 2 ed. Brooks/Cole, Cengage Learning, 2009. 608 p.

LUI, E. **On notice for a drinking water crisis in Canada**. Ottawa: The Council Of Canadians, 2015. 24 p.

MAY, A. **O esgotamento sanitário e os Planos de Segurança da Água**. 2014. 119 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

MILLER, R. G. **Beyond ANOVA, basics of applied statistics**. Chapman and Hall/CRC, 1997. 336 p.

MOHSENI, M. It takes a village to raise expectations. **Civil: Canadian Civil Engineer**. Toronto, p. 27-29. Winter/2012.

MOLLE, F.; MOLLINGA, P. Water policy indicators: conceptual problems and policy issues. **Water Policy**, v. 5, p. 529–544, 2003.

PIZZOLATTI, B. S. *et al.* Comparison of backwashing with conventional cleaning methods in slow sand filters for small-scale communities. **Desalination and Water Treatment**, v. 54, n. 1, p. 1–7, 6 jan. 2014.

PLUMMER, R.; LOË, R.; ARMITAGE, D. A systematic review of water vulnerability assessment tools. **Water Resources Management**, v. 26, n. 15, p. 4327–4346, 2012.

PLUMMER, R. *et al.* An integrative assessment of water vulnerability in First Nation communities in Southern Ontario, Canada. **Global Environmental Change**, v. 23, n. 4, p. 749–763, ago. 2013.

QUEIROZ, A. C. L. *et al.* Programa nacional de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano (VIGIAGUA): lacunas entre a formulação do programa e sua implantação na instância municipal. **Saúde e Sociedade**, v. 21, n. 2, p. 465–478, 2012.

RAO, J. N. K.; SCOTT, A. J.; BEHNIN, E. Undoing complex survey data structures: some theory and applications of inverse sampling. **Survey Methodology**. v. 29, n. 2, p. 107-128, 2003

READING, J. **Crisis on tap seeking solutions for safe water for indigenous peoples** Victoria, B.C: Centre for Aboriginal Health Research, University of Victoria, 2011.

RES'EAU. **RES'EAU-WaterNET: an NSERC small water system strategic network**. 2015. Disponível em: <<http://www.reseauwaternet.ca/>>. Acesso em: 30 abr. 2015.

RIO GRANDE DO SUL. Centro Estadual de Vigilância em Saúde. Divisão de Vigilância Ambiental em Saúde. **Boletim informativo do VIGIAGUA/RS nº 02 de julho de 2014**. Porto Alegre, 2014a. 9 p.

RIO GRANDE DO SUL. Centro Estadual de Vigilância em Saúde. Divisão de Vigilância Ambiental em Saúde. **Boletim informativo do VIGIAGUA/RS nº 03 de dezembro de 2014**. Porto Alegre, 2014b. 5 p.

RIO GRANDE DO SUL. Centro Estadual de Vigilância em Saúde. Divisão de Vigilância Ambiental em Saúde. **Sistema de vigilância do teor de fluoreto na água para consumo humano no estado do Rio Grande do Sul (VIGIFLÚOR): Relatório Anual 2013**. Porto Alegre, 2014c. 35 p.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Saúde. **Implantação do sub-programa estadual de melhoria da qualidade da água para consumo humano – PEmQA, em municípios com situação de risco hídrico**. Resolução nº 594/14-CIB/RS. Porto Alegre, RS, 13 out. 2014, 2014d.

SAUNDERS, R. J.; WARFORD, J. J. **Abastecimento de água em pequenas comunidades: aspectos econômicos e políticos nos países em desenvolvimento**. Tradução Vera Lucia Mixtro Chama. Rio de Janeiro: ABES, 1983. 252 p.

SZWARCWALD, C. L.; DAMACENA, G. N. Amostras complexas em inquéritos populacionais: planejamento e implicações na análise estatística dos dados. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 11, n. supl 1, p. 38–45, 2008.

SHERMER, S. D. The drinking water security and safety amendments of 2002: is America's drinking water infrastructure safer four years later? **UCLA Journal of Environmental Law & Policy**, v. 24, n. 2, p. 355–457, 2005.

SISAGUA. Ministério da Saúde. **Sistema de informação de vigilância da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: DATASUS. 2015. Disponível em: <<http://sisagua.saude.gov.br/sisagua/>>. Acesso entre 01 de março e 30 de abril de 2015.

SOUSA, M. S. S. *et al.* Comparação de tecnologias de tratamento de água para pequenas comunidades sob as óticas técnica e econômico financeira. CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 29. 2004, San Juan. **Forjando el Ambiente que Compartimos**. San Juan: AIDIS, 2004. p. 1 - 14.

STATA CORP. **Stata 13 base reference manual**. College Station, TX: Stata Press. 2013a.

STATA CORP. **Stata statistical software: release 13**. College Station, TX: StataCorp LP. 2013b.

SUKHATME, P. **Sampling theory of surveys, with applications**. New Delhi; Ames: Indian Society of Agricultural Statistics; Iowa State College Press, 1954.

SULLIVAN, C. A. Quantifying water vulnerability: a multi-dimensional approach. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 25, n. 4, p. 627–640, 2011.

SULLIVAN, C. A.; MEIGH, J. Integration of the biophysical and social sciences using an indicator approach: addressing water problems at different scales. **Integrated Assessment of Water Resources and Global Change: A North-South Analysis**, n. February 2006, p. 111–128, 2007.

TUKEY, J. W. **Exploratory data analysis**. 1 ed. Pearson. 1977. 688 p.

UNESCO. **Managing water under uncertainty and risk: United Nations world water development report #4**. United Nations Educational, 2012. 904 p.

UNEP. Human vulnerability to environmental change. **GEO 3: Global Environment Outlook**, United Nations Environment Program. p. 301–318, 2002.



VAN BREUKELEN, G. J. P.; CANDEL, M. J. J. M. Calculating sample sizes for cluster randomized trials: we can keep it simple and efficient! **Journal of Clinical Epidemiology**, v. 65, n. 11, p. 1212–1218, 2012.

WAGNER, E. G.; LANOIX, J. N. **Water supply for rural and small communities**. World Health Organization, 1959. 337 p.

WHO. **Water safety plans: managing drinking-water quality from catchment to consumer**. World Health Organization. 2005. 235 p.

WHO. **Guidelines for drinking-water quality - 4th ed.** World Health Organization, Geneva: WHO Press, 2011a. 541 p.

WHO. **Evaluating household water treatment options: health-based targets and microbiological performance specifications**. World Health Organization, Geneva: WHO Press, 2011b. 59 p.

WHO. **Water safety planning for small community water supplies: step-by-step risk management guidance for drinking-water supplies in small communities**. World Health Organization. 2012. 61 p.

WHO; UNICEF. **Progress on sanitation and drinking-water: 2014 update**. World Health Organization, United Nations Children's Fund. 2014. 78 p.

## 8. APÊNDICE

### 8.1. Apêndice I: Listagem de Conglomerados

**Tabela 8.1:** Listagem no estrato das mesorregiões Centro Ocidental, Sudeste e Sudoeste

Conglomerado (Municípios)	População Estimada em 2013 (FEE, 2015)	População de Estudo Estimada	Número de Sistemas	Probabilidade de Inclusão no 1º Estágio
Agudo	16.982	1.928	15	0,04
Alegrete	77.157	3.761	78	0,22
Bagé	122.737	660	5	0,01
Dom Pedrito	39.169			
Barra do Quaraí	3.563	200	6	0,02
Caçapava do Sul	34.733			
Lavras do Sul	7.432	930	14	0,04
Cacequi	13.312	1.185	5	0,01
Capão do Cipó	3.092	2.319	10	0,03
Dilermando de Aguiar	2.915	273	6	0,02
Dona Francisca	3.275	304	4	0,01
Encruzilhada do Sul	25.125	86	10	0,03
Faxinal do Soturno	6.683	357	6	0,02
Formigueiro	6.734	377	4	0,01
Garruchos	3.082	121	19	0,05
Herval	6.629			
Jaguarão	28.197	180	9	0,03
Hulha Negra	6.103	479	4	0,01
Itacurubi	3.418	2.399	22	0,06
Ivorá	2.065	895	17	0,05
Jaguari	11.144	1.321	23	0,07
Jari	3.523	3.091	11	0,03
Júlio de Castilhos	19.630	1.784	11	0,03
Mata	4.862	229	3	0,01
Nova Esperança do Sul	4.793	626	10	0,03
Nova Palma	6.233	1.399	22	0,06
Pelotas	342.876	4.380	169	0,48
Pinhal Grande	4.290	3.033	11	0,03
Quaraí	22.459	15	4	0,01
Quevedos	2.759	2.331	14	0,04
Restinga Seca	15.786	2.375	14	0,04
Rio Grande	211.410	26	6	0,02
Rosário do Sul	40.759	90	6	0,02
Santa Margarida do Sul	2.505	0	8	0,02
Santa Maria	275.777	698	10	0,03
Santiago	50.443	2.485	39	0,11
São Francisco de Assis	18.838	1.010	20	0,06
São Gabriel	61.656	1.261	4	0,01
São João do Polêsine	2.659	1.673	9	0,03
São Lourenço do Sul	43.442	427	9	0,03
São Martinho da Serra	3.137	1.585	6	0,02
São Pedro do Sul	16.741	689	11	0,03
São Sepé	23.700	504	6	0,02
São Vicente do Sul	8.567	575	16	0,05
Toropi	2.649	2.311	20	0,06
Vila Nova do Sul	4.113	868	9	0,03

**Tabela 8.2:** Listagem no estrato da mesorregião Centro Oriental

<b>Conglomerado (Municípios)</b>	<b>População Estimada em 2014 (FEE, 2015)</b>	<b>População de Estudo Estimada</b>	<b>Número de Sistemas</b>	<b>Probabilidade de Inclusão no 1º Estágio</b>
Arroio do Meio	19.897	6.075	24	0.14
Bom Retiro do Sul	12.484	1.432	9	0.05
Cachoeira do Sul	86.688	9.664	13	0.07
Candelária	31.424	3.134	13	0.07
Capitão	2.962	2.698	7	0.04
Coqueiro Baixo	1.537	1.290	12	0.07
Cruzeiro do Sul	12.503	1.840	11	0.06
Estrela	32.483	3.957	41	0.23
Estrela Velha	3.432	2.641	17	0.10
Fazenda Vilanova	4.282			
Paverama	8.738	4.370	17	0.10
Tabaí	4.285			
Forquetinha	2.560	1.851	11	0.06
Gramado Xavier	3.741	1.418	7	0.04
Herveiras	2.815	1.784	9	0.05
Ibarama	4.337	2.568	13	0.07
Imigrante	3.343	2.614	13	0.07
Lagoa Bonita do Sul	2.571	1.061	9	0.05
Lajeado	78.809	142	38	0.22
Marques de Souza	4.380	2.614	15	0.09
Mato Leitão	4.379	4.123	6	0.03
Nova Bréscea	3.373	1.115	19	0.11
Novo Cabrais	3.728	4.619	13	0.07
Pantano Grande	10.088	1.504	7	0.04
Pouso Novo	1.716	1.564	11	0.06
Progresso	5.723	1.573	13	0.07
Relvado	2.083	1.718	15	0.09
Rio Pardo	37.537	5.057	14	0.08
Roca Sales	10.839	2.786	19	0.11
Santa Clara do Sul	6.504	529	16	0.09
Santa Cruz do Sul	127.516	803	8	0.05
Sinimbu	9.905	3.681	8	0.05
Sobradinho	14.539	3.604	20	0.11
Taquari	26.813	904	3	0.02
Teutônia	30.605	3.396	24	0.14
Venâncio Aires	68.708	6.717	35	0.20
Vespasiano Correa	1.919	1.943	14	0.08

**Tabela 8.3:** Listagem no estrato da mesorregião Metropolitana

<b>Conglomerado (Municípios)</b>	<b>População Estimada em 2014 (FEE, 2015)</b>	<b>População de Estudo Estimada</b>	<b>Número de Sistemas</b>	<b>Probabilidade de Inclusão no 1º Estágio</b>
Alto Feliz	2.776	2.573	5	0,03
Arroio do Sal	8.822	0	14	0,07
Balneário Pinhal	12.068			
Cidreira	14.039	295	6	0,03
Barão	6.019	2.040	6	0,03
Barão do Triunfo	6.767	39	9	0,05
Brochier	4.651	4.039	14	0,07
Camaquã	65.745	1.122	8	0,04
Campo Bom	63.786	95	5	0,03
Caraá	7.497	6.458	20	0,11
Chувиска	5.080	672	4	0,02
Dom Pedro de Alcântara	2.506	1.653	5	0,03
Eldorado do Sul	37.166			
Arroio dos Ratos	14.073	3.174	20	0,11
Charqueadas	36.869			
Feliz	13.349			
Bom Princípio	12.758	3.780	15	0,08
Gravataí	272.948	0	40	0,21
Harmonia	4.790	3.699	15	0,08
Igrejinha	34.091	21	3	0,02
Lindolfo Collor	5.615	5.095	10	0,05
Linha Nova	1.673	1.530	5	0,03
Mampituba	2.901			
Cambará do Sul	6.374	2.010	7	0,04
Maquiné	6.567	4.090	5	0,03
Maratá	2.483	1.565	10	0,05
Mariana Pimentel	3.943	310	3	0,02
Montenegro	63.366	1.970	12	0,06
Morrinhos do Sul	3.246			
Torres	37.467	3.177	11	0,06
Morro Reuter	6.089			
Dois Irmãos	30.249	1.861	4	0,02
Nova Hartz	19.366	1.438	8	0,04
Nova Petrópolis	20.989	2.596	10	0,05
Nova Santa Rita	24.883	1.388	5	0,03
Osório	44.648			
Glorinha	7.396	3.526	58	0,31
Tramandaí	47.001			
Palmares do Sul	11.461			
Capivari do Sul	4.284	3	4	0,02
Parei Novo	3.961	2.479	11	0,06
Poço das Antas	2.001	2.088	8	0,04
Presidente Lucena	2.704	2.596	10	0,05
Salvador do Sul	6.913	1.937	9	0,05
São José do Hortêncio	4.196	4.363	8	0,04
São José do Sul	2.113	609	3	0,02
São Pedro da Serra	3.483	1.140	5	0,03
São Sebastião do Caí	23.732	643	9	0,05
São Vendelino	2.160	1.990	11	0,06
Sentinela do Sul	5.063	385	9	0,05
Tapes	17.082	766	3	0,02
Taquara	57.578			
Riozinho	4.057	68	23	0,12
Rolante	20.800			

**Tabela 8.3:** Continuação

<b>Conglomerado (Municípios)</b>	<b>População Estimada em 2014 (FEE, 2015)</b>	<b>População de Estudo Estimada</b>	<b>Número de Sistemas</b>	<b>Probabilidade de Inclusão no 1º Estágio</b>
Tavares	5.667	25	9	0,05
Terra de Areia	10.903			
Capão da Canoa	47.189	1.135	15	0,08
Itati	2.547			
Três Cachoeiras	10.644	2.275	8	0,04
Três Coroas	25.553			
Canela	43.021	1.710	15	0,08
Três Forquilhas	2.894	2.020	7	0,04
Triunfo	26.373	2.724	11	0,06
Tupandi	4.242	4.160	19	0,10
Vale Verde	3.241	1.699	7	0,04
Viamão	252.189	4.801	24	0,13

**Tabela 8.4:** Listagem no estrato da mesorregião Nordeste

<b>Conglomerado (Municípios)</b>	<b>População Estimada em 2014 (FEE, 2015)</b>	<b>População de Estudo Estimada</b>	<b>Número de Sistemas</b>	<b>Probabilidade de Inclusão no 1º Estágio</b>
André da Rocha	1.194	543	5	0.02
Anta Gorda	6.381	2.160	31	0.11
Antônio Prado	12.782	2.014	46	0.16
Arvorezinha	10.203	834	10	0.03
Bento Gonçalves	112.897	2.523	31	0.11
Boa Vista do Sul	3.034	2.308	10	0.03
Campestre da Serra	3.354	756	8	0.03
Capão Bonito do Sul	2.115	1.393	11	0.04
Carlos Barbosa	26.847	3.674	21	0.07
Caxias do Sul	473.955	829	4	0.01
Coronel Pilar	1.576	1.582	16	0.05
Cotiporã	3.801	1.184	14	0.05
Dois Lajeados	3.217	3.212	13	0.04
Esmeralda	3.222	481	11	0.04
Fagundes Varela	2.658	1.048	18	0.06
Farroupilha	68.368	5.482	44	0.15
Flores da Cunha	28.941	2.929	18	0.06
Garibaldi	32.138	3.470	39	0.13
Guabiju	1.514	1.131	9	0.03
Guaporé	24.686	1.598	30	0.10
Ilópolis	4.041	957	10	0.03
Ipê	6.113	2.092	21	0.07
Itapuca	2.346	860	7	0.02
Jaquirana	4.076	389	8	0.03
Lagoa Vermelha	28.417	832	17	0.06
Montauri	1.510	1.533	21	0.07
Monte Alegre dos Campos	3.132	1.174	8	0.03
Monte Belo do Sul	2.748	2.709	6	0.02
Muitos Capões	2.869	930	30	0.10
Nova Alvorada	3.333	2.904	24	0.08
Nova Araçá	4.516	1.156	14	0.05
Nova Bassano	8.651	2.581	24	0.08
Nova Pádua	2.455	2.396	12	0.04
Nova Prata	24.763	2.467	31	0.11
Nova Roma do Sul	3.496	1.798	19	0.06
Paráí	7.081	1.858	24	0.08
Pinhal da Serra	2.243	1.824	13	0.04
Pinto Bandeira	2.842	483	4	0.01
Protásio Alves	2.135	1.969	17	0.06
Santa Tereza	1.648	1.718	13	0.04
São Jorge	2.608	1.046	11	0.04
São José dos Ausentes	3.311			
Bom Jesus	11.467	756	14	0.05
São Marcos	21.412	2.559	13	0.04
São Valentim do Sul	2.117	1.976	12	0.04
Serafina Correa	#N/D	1.981	38	0.13
União da Serra	1.449	1.072	15	0.05
Vacaria	65.913	1.830	30	0.10
Veranópolis	23.632	1.723	15	0.05
Vila Flores	3.289	2.472	11	0.04
Vista Alegre do Prata	1.480	1.189	11	0.04

**Tabela 8.5:** Listagem no estrato da mesorregião Noroeste

<b>Conglomerado (Municípios)</b>	<b>População Estimada em 2014 (FEE, 2015)</b>	<b>População de Estudo Estimada</b>	<b>Número de Sistemas</b>	<b>Probabilidade de Inclusão no 1º Estágio</b>
Água Santa	3.890	1.844	39	0,10
Alecrim	6.824	3.993	32	0,08
Alegria	4.086	3.995	22	0,06
Almirante Tamandaré do Sul	1.916	1.928	17	0,04
Alpestre	7.412	1.699	8	0,02
Alto Alegre	1.816	995	18	0,05
Ametista do Sul	7.326	1.922	11	0,03
Augusto Pestana	7.110			
Jóia	8.387	8.052	56	0,14
Áurea	3.787	604	6	0,02
Barão de Cotegipe	6.632			
São Valentim	3.546	1.708	24	0,06
Barra do Guarita	3.140	511	11	0,03
Barra Funda	2.524	2.076	13	0,03
Barracão	5.196	0	17	0,04
Barros Cassal	10.899	462	8	0,02
Bossoroca	6.458	1.627	48	0,12
Bozano	2.219	1.869	14	0,04
Braga	3.663	742	10	0,03
Cacique Doble	5.206	1.732	15	0,04
Caibaté	5.346	1.417	24	0,06
Caçara	4.903	911	8	0,02
Camargo	2.635	2.694	20	0,05
Campina das Missões	6.314	3.340	34	0,09
Campinas do Sul	5.739	759	21	0,05
Campo Novo	5.143	634	11	0,03
Campos Borges	3.664	981	24	0,06
Cândido Godói	6.414	4.041	30	0,08
Carazinho	62.551	6	3	0,01
Carlos Gomes	1.567	1.001	13	0,03
Casca	8.453	2.081	40	0,1
Caseiros	3.044	1.212	4	0,01
Catuípe	9.519	2.710	32	0,08
Centenário	3.070	2.594	22	0,06
Cerro Grande	2.547	2.096	10	0,03
Chiapeta	4.234	876	20	0,05
Ciríaco	4.813	1.738	28	0,07
Constantina	10.280	1.415	28	0,07
Coqueiros do Sul	2.452	2.111	19	0,05
Coronel Barros	2.846	1.777	6	0,02
Coronel Bicaco	7.584	106	3	0,01
Coxilha	2.957	2.573	14	0,04
Crissiumal	14.167	4.424	45	0,11
Cristal do Sul	2.910	0	10	0,03
David Canabarro	4.556	1.941	26	0,07
Derrubadas	3.155	1.969	15	0,04
Dois Irmãos das Missões	2.131			
Erval Seco	7.740	2.326	25	0,06
Engenho Velho	1.647	581	7	0,02
Erebango	3.047	76	3	0,01
Erechim	102.315	2.430	103	0,26
Ernestina	2.968	2.942	23	0,06
Esperança do Sul	3.468	3.289	21	0,05

**Tabela 8.5:** Continuação

<b>Conglomerado (Municípios)</b>	<b>População Estimada em 2014 (FEE, 2015)</b>	<b>População de Estudo Estimada</b>	<b>Número de Sistemas</b>	<b>Probabilidade de Inclusão no 1º Estágio</b>
Espumoso	15.713	2.910	48	0,12
Estação	5.999	636	13	0,03
Eugênio de Castro	2.902	2.641	26	0,07
Floriano Peixoto	1.833	2.011	22	0,06
Frederico Westphalen	30.220	1.635	23	0,06
Gaurama	5.854	1.450	17	0,04
Gentil	1.960	1.669	11	0,03
Getúlio Vargas	16.861	1.153	22	0,06
Giruá	16.882	1.644	36	0,09
Gramado dos Loureiros	2.324	2.279	13	0,03
Guarani das Missões	8.201	2.398	38	0,10
Horizontina	18.768	2.685	25	0,06
Ibiaçá	4.794	1.364	42	0,11
Ibiraiaras	8.047	1.508	24	0,06
Ibirapuitã	4.078	3.498	18	0,05
Ijuí	84.528	1.022	110	0,28
Independência	6.897	1.732	26	0,07
Inhacorá	2.389	2.058	10	0,03
Ipiranga do Sul	1.924	1.848	15	0,04
Iraí	7.961	223	9	0,02
Itatiba do Sul	3.839	170	3	0,01
Jaboticaba	3.804	523	8	0,02
Jacutinga	3.577	1.143	25	0,06
Lagoa dos Três Cantos	1.897	1.647	20	0,05
Lagoão	5.954	223	4	0,01
Liberato Salzano	5.660	1.836	41	0,10
Machadinho	5.763	945	20	0,05
Marau	40.429	3.078	49	0,12
Marcelino Ramos	4.975	1.014	15	0,04
Mariano Moro	2.158	751	18	0,05
Mato Castelhano	2.495	2.091	25	0,06
Mato Queimado	1.834	1.711	17	0,04
Maximiliano de Almeida	4.816	628	7	0,02
Mormaço	2.758	2.899	19	0,05
Muliterno	1.879	1.881	15	0,04
Não-Me-Toque	17.279	1.711	40	0,10
Nicolau Vergueiro	1.718	1.668	10	0,03
Nonoai	11.780	92	3	0,01
Nova Boa Vista	2.175	1.776	16	0,04
Nova Ramada	2.460	1.711	23	0,06
Novo Barreiro	3.947	3.841	18	0,05
Novo Machado	3.555	3.903	30	0,08
Novo Tiradentes	2.141	2.003	12	0,03
Novo Xingu	1.792	1.793	10	0,03
Paim Filho	4.143	1.645	17	0,04
Palmeira das Missões	35.305	0	16	0,04
Palmitinho	7.029	384	3	0,01
Panambi	41.717	175	7	0,02
Passo Fundo	196.587	3.546	21	0,05
Paulo Bento	2.094	2.126	16	0,04
Pejuçara	4.040	303	12	0,03
Pinhal	2.564	0	9	0,02
Pirapó	2.659	2.737	17	0,04



**Tabela 8.5:** Continuação

<b>Conglomerado (Municípios)</b>	<b>População Estimada em 2014 (FEE, 2015)</b>	<b>População de Estudo Estimada</b>	<b>Número de Sistemas</b>	<b>Probabilidade de Inclusão no 1º Estágio</b>
Planalto	10.534	833	9	0,02
Pontão	3.874	3.518	9	0,02
Porto Lucena	5.257	1.705	24	0,06
Porto Mauá	2.432	2.499	21	0,05
Porto Xavier	10.445	5.130	49	0,12
Quatro Irmãos	1.724	1.583	11	0,03
Redentora	10.611	4.906	36	0,09
Rodeio Bonito	5.827	142	19	0,05
Rolador	2.468	0	22	0,06
Ronda Alta	10.210	2.248	21	0,05
Rondinha	5.349	2.604	30	0,08
Sagrada Família	2.553	2.672	16	0,04
Saldanha Marinho	2.825	2.901	11	0,03
Salvador das Missões	2.700	2.752	21	0,05
Sananduva	15.925	3.321	77	0,19
Santa Cecília do Sul	1.732	1.549	16	0,04
Santa Rosa	72.711	0	35	0,09
Santo Ângelo	79.608	2.569	102	0,26
Santo Antônio do Palma	2.314	1.884	15	0,04
Santo Antônio do Planalto	2.196	1.516	18	0,05
Santo Cristo	14.585	5.679	36	0,09
Santo Expedito do Sul	2.458	1.281	18	0,05
São Domingos do Sul	2.874	2.874	8	0,02
São João da Urtiga	4.683	1.381	19	0,05
São José das Missões	2.671	2.504	16	0,04
São José do Ouro	7.222	793	16	0,04
São Miguel das Missões	7.513	2.531	37	0,09
São Paulo das Missões	6.255	6.425	42	0,11
São Pedro das Missões	1.920	1.464	7	0,02
São Pedro do Butiá	2.863	2.970	13	0,03
Sarandi	22.297	2.329	23	0,06
Seberi	11.102	3.540	33	0,08
Sede Nova	3.027	1.201	13	0,03
Senador Salgado Filho	2.800	2.887	25	0,06
Sertão	6.182	1.543	23	0,06
Sete de Setembro	2.025	2.147	16	0,04
Severiano de Almeida	3.848	945	10	0,03
Soledade	30.743			
Fontoura Xavier	10.614	2.675	31	0,08
Tapejara	21.491	634	30	0,08
Tapera	10.938	1.759	38	0,1
Taquaruçu do Sul	3.066	1.156	10	0,03
Tenente Portela	14.278	1.255	21	0,05
Tio Hugo	2.953	2.772	10	0,03
Tiradentes do Sul	6.013	2.289	13	0,03
Três Arroios	2.930	2.685	24	0,06
Três de Maio	24.623			
São José do Inhacorá	2.215	5.106	46	0,12
Três Palmeiras	4.664	4.072	15	0,04
Três Passos	25.146	2.863	38	0,10
Trindade do Sul	5.883	1.947	13	0,03
Tucunduva	6.043	724	28	0,07
Tunas	4.067	1.253	23	0,06

**Tabela 8.5:** Continuação

<b>Conglomerado (Municípios)</b>	<b>População Estimada em 2014 (FEE, 2015)</b>	<b>População de Estudo Estimada</b>	<b>Número de Sistemas</b>	<b>Probabilidade de Inclusão no 1º Estágio</b>
Tupanci do Sul	1.473	1.123	15	0,04
Tuparendi	8.525	3.442	29	0,07
Ubiretama	2.224	2.048	12	0,03
Vanini	2.075	1.962	7	0,02
Viadutos	5.327	1.008	13	0,03
Victor Graeff	3.051	1.343	31	0,08
Vila Lângaro	2.062	1.880	19	0,05
Vila Maria	4.506	4.371	27	0,07
Vista Alegre	2.731	502	5	0,01
Vista Gaúcha	2.836	1.833	10	0,03

## 8.2. Apêndice II: Resultados do Índice de Vulnerabilidade por Sistema

**Tabela 8.6:** Resultados dos indicadores e índice de vulnerabilidade por sistema

Mesorregião	Município	ID	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	IV		
Centro Ocidental, Sudeste e Sudoeste	Pelotas	1	0,75	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	0,50	1,00	<b>0,88</b>		
		2	0,75	1,00	0,25	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,75	<b>0,83</b>	
		3	0,00	1,00	0,00	0,25	0,00	0,50	0,25	0,00	0,00	0,50	0,00	<b>0,25</b>	
	Vila Nova do Sul	4	0,25	0,50	0,00	0,50	0,50	0,75	0,25	0,25	0,25	0,50	0,00	<b>0,35</b>	
		5	0,50	0,75	0,25	0,50	0,25	0,75	0,25	0,75	0,25	0,00	0,50	0,00	<b>0,38</b>
		6	0,25	0,75	0,25	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25	0,00	0,50	0,00	<b>0,30</b>	
Centro Oriental	Fazenda Vilanova	7	0,50	1,00	0,25	1,00	0,75	0,50	0,75	0,75	0,75	1,00	<b>0,73</b>		
		8	0,00	1,00	0,25	1,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	<b>0,38</b>	
	Tabaí	9	0,00	1,00	0,25	0,75	0,25	0,75	0,50	0,00	0,50	0,00	<b>0,40</b>		
		10	0,50	1,00	0,00	0,75	0,50	0,75	0,50	0,50	0,50	0,75	0,75	<b>0,60</b>	
		11	0,75	1,00	0,25	1,00	0,75	0,50	0,75	0,75	0,75	1,00	0,75	<b>0,75</b>	
	Relvado	12	0,75	1,00	0,25	0,75	0,50	1,00	0,75	0,75	0,75	1,00	0,75	<b>0,75</b>	
		13	0,00	1,00	0,25	0,75	0,25	0,50	0,25	0,00	0,50	0,00	<b>0,35</b>		
		14	0,00	1,00	0,25	1,00	0,25	0,50	0,25	0,00	0,50	0,00	<b>0,38</b>		
	Rio Pardo	15	0,00	1,00	0,25	0,75	0,00	0,75	0,25	0,00	0,50	0,00	<b>0,35</b>		
16		0,75	1,00	0,00	0,75	0,50	0,75	0,75	0,75	1,00	0,75	<b>0,70</b>			
17		0,75	0,75	0,25	1,00	0,50	0,75	0,75	0,75	1,00	0,75	<b>0,73</b>			
Metropolitana	Mampituba	18	0,75	0,00	0,25	0,75	0,50	0,75	0,75	0,75	1,00	0,75	<b>0,63</b>		
		19	0,75	1,00	1,00	1,00	0,75	0,50	1,00	0,75	1,00	0,75	<b>0,85</b>		
		20	0,50	1,00	0,50	0,75	0,50	1,00	1,00	0,75	1,00	0,75	<b>0,78</b>		
	Pareci Novo	21	0,50	1,00	0,50	0,75	0,50	1,00	1,00	0,75	1,00	0,75	<b>0,78</b>		
		22	0,00	0,00	0,25	1,00	0,75	0,00	0,50	0,25	0,50	0,50	<b>0,38</b>		
	Sentinela do Sul	23	0,00	1,00	0,25	1,00	0,50	0,75	0,50	0,00	0,50	0,00	<b>0,45</b>		
		24	0,00	0,00	0,25	0,75	0,25	0,75	0,25	0,00	0,50	0,00	<b>0,28</b>		
Nordeste	Antônio Prado	25	0,00	1,00	0,00	0,75	0,50	0,75	0,50	0,00	0,75	0,00	<b>0,43</b>		
		26	0,00	1,00	0,25	1,00	0,75	0,50	1,00	0,25	0,75	0,00	<b>0,55</b>		
		27	0,00	1,00	0,25	0,50	0,25	0,75	0,25	0,00	0,75	0,00	<b>0,38</b>		
	Farroupilha	28	0,75	1,00	0,25	1,00	0,75	0,50	0,75	0,50	0,50	0,75	<b>0,68</b>		
		29	0,75	1,00	0,00	0,75	0,75	0,50	0,75	1,00	0,75	0,75	<b>0,70</b>		
	Veranópolis	30	0,00	1,00	0,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,00	0,50	0,00	<b>0,40</b>		
		31	0,00	1,00	0,00	1,00	0,50	0,75	0,50	0,00	0,50	0,00	<b>0,43</b>		
32		0,75	1,00	1,00	1,00	0,50	0,75	0,75	0,50	0,50	1,00	<b>0,78</b>			
Noroeste	Ernestina	33	0,75	0,75	0,25	0,75	0,50	0,75	0,75	0,50	0,50	1,00	<b>0,65</b>		
		34	0,75	1,00	0,25	1,00	0,50	0,75	1,00	0,75	1,00	0,75	<b>0,78</b>		
		35	0,75	1,00	0,25	1,00	0,75	1,00	1,00	0,75	1,00	0,75	<b>0,83</b>		
	Ijuí	36	0,00	1,00	0,00	0,75	0,50	0,75	1,00	0,75	0,75	0,00	<b>0,55</b>		
		37	0,75	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	<b>0,90</b>		
		38	0,50	1,00	0,00	0,75	0,50	0,00	0,25	0,50	0,50	0,75	<b>0,48</b>		
	Três Arroios	39	0,50	0,00	0,25	1,00	0,25	0,25	0,50	0,00	0,50	0,00	<b>0,33</b>		
		40	0,75	1,00	1,00	0,75	0,50	0,75	0,75	0,50	0,50	0,75	<b>0,73</b>		
		41	0,00	1,00	0,25	0,75	0,25	0,25	0,50	0,00	0,50	0,00	<b>0,35</b>		
Tunas	42	0,75	1,00	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	0,75	1,00	0,75	<b>0,90</b>			
	43	0,00	1,00	0,00	0,75	0,50	0,00	0,50	0,25	0,50	0,00	<b>0,35</b>			
	44	0,00	1,00	0,00	0,25	0,25	0,50	0,50	0,25	0,50	0,00	<b>0,33</b>			
	45	0,25	1,00	0,00	0,25	0,50	0,00	0,50	0,50	0,75	0,75	<b>0,45</b>			
	46	0,00	1,00	0,25	1,00	0,50	0,25	0,50	0,00	0,50	0,00	<b>0,40</b>			
Novo Machado	47	0,00	1,00	0,25	0,75	0,25	0,25	0,50	0,00	0,50	0,00	<b>0,35</b>			
	48	0,00	1,00	0,25	0,75	0,50	0,00	1,00	0,25	0,75	0,00	<b>0,45</b>			

NOTAS:

- (1) Nível de Tratamento; (2) Disponibilidade dos Recursos Hídricos; (3) Qualidade da Água; (4) Manancial de Captação; (5) Operação e Manutenção; (6) Sistema de Distribuição; (7) Capacidade Econômica; (8) Capacidade Técnica; (9) Suporte Governamental; (10) Controle Amostral.

**Tabela 8.6: Continuação**

Mesorregião	Município	ID	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	IV
Noroeste	Mormaço	<b>49</b>	0,75	1,00	1,00	0,75	0,50	0,75	1,00	0,75	1,00	0,75	<b>0,83</b>
		<b>50</b>	0,75	1,00	1,00	0,75	0,25	0,25	1,00	0,75	1,00	0,75	<b>0,75</b>
		<b>51</b>	0,75	1,00	1,00	0,75	0,50	0,75	1,00	0,75	1,00	0,75	<b>0,83</b>
	Seberi	<b>52</b>	0,00	1,00	0,25	0,75	0,25	0,75	0,50	0,00	0,50	0,00	<b>0,40</b>
		<b>53</b>	0,00	1,00	0,00	0,75	0,25	0,75	0,50	0,00	0,50	0,00	<b>0,38</b>
		<b>54</b>	0,00	1,00	0,00	0,75	0,00	0,75	0,50	0,00	0,50	0,00	<b>0,35</b>
	Esperança do Sul	<b>55</b>	0,50	1,00	0,00	0,50	0,50	0,25	1,00	0,75	1,00	0,75	<b>0,63</b>
		<b>56</b>	0,00	1,00	0,00	0,50	0,50	0,50	1,00	0,75	0,75	0,00	<b>0,50</b>
		<b>57</b>	0,50	0,75	0,25	0,75	0,50	0,25	1,00	0,75	1,00	0,75	<b>0,65</b>
	Quatro Irmãos	<b>58</b>	0,75	1,00	0,25	1,00	0,50	0,75	0,75	0,50	0,50	0,75	<b>0,68</b>
		<b>59</b>	0,75	1,00	1,00	0,75	0,50	0,75	0,75	0,50	0,50	0,75	<b>0,73</b>
		<b>60</b>	0,75	1,00	1,00	1,00	0,75	0,25	0,75	0,75	0,75	0,75	<b>0,78</b>

NOTAS:

- (1) Nível de Tratamento; (2) Disponibilidade dos Recursos Hídricos; (3) Qualidade da Água;  
(4) Manancial de Captação; (5) Operação e Manutenção; (6) Sistema de Distribuição;  
(7) Capacidade Econômica; (8) Capacidade Técnica; (9) Suporte Governamental;  
(10) Controle Amostral.