UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CASSIANO GONÇALVES SIMÕES DO CARMO

ÍNDICE DE VULNERABILIDADE ÀS PERDAS DE ÁGUA (IVuPA): CONCEITUALIZAÇÃO E MEIOS DE AVALIAÇÃO

Ilha Solteira
2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

CASSIANO GONÇALVES SIMÕES DO CARMO

ÍNDICE DE VULNERABILIDADE ÀS PERDAS DE ÁGUA (IVuPA): CONCEITUALIZAÇÃO E MEIOS DE AVALIAÇÃO

Defesa apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, por meio da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp - *Campus* de Ilha Solteira) como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Prof. Dr. Rodrigo Lilla Manzione
Orientador

Ilha Solteira
2023

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C287i

Carmo, Cassiano Gonçalves Simões do.
Índice de vulnerabilidade às perdas de água (IVuPA): conceitualização e meios de avaliação / Cassiano Gonçalves Simões do Carmo. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
228 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, 2023

Orientador: Rodrigo Lilla Manzione

Inclui bibliografia

1. Perdas de água. 2. Sistemas de abastecimento de água. 3. Índice. 4. Vulnerabilidade. 5. Modelo FPEIR.

Amanda Sertori dos Santos
Bibliotecária - CRB/8-9061
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA): conceitualização e meios de avaliação

AUTOR: CASSIANO GONÇALVES SIMÕES DO CARMO

ORIENTADOR: RODRIGO LILLA MANZIONE

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, área: Instrumentos de Política de Recursos Hídricos pela Comissão Examinadora:

Assinado de forma digital por Rodrigo Lilla Manzione:26712770831
Dados: 2023.07.10 15:42:24 -03'00'

Prof. Dr. RODRIGO LILLA MANZIONE (Participaçao Virtual)
Departamento de Geografia e Planejamento / Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação (Câmpus de Ourinhos) - UNESP

Prof. Dr. ALEX BORTOLON DE MATOS (Participaçao Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / Universidade Federal de Roraima (UFRR)

Alex Bortolon de Matos
Assinado de forma digital por Alex Bortolon de Matos
Dados: 2023.07.10 15:46:05 -04'00'

Prof. Dr. DANIEL MANZI (Participaçao Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / Escola de Engenharia de Piracicaba (EEP)

gov.br
Documento assinado digitalmente
DANIEL MANZI
Data: 10/07/2023 17:03:20-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Ilha Solteira, 10 de julho de 2023

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que sofrem pela falta de acesso aos serviços de saneamento básico, ao fortalecimento das instituições e à constante busca pela sustentabilidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a mim, ao meu Eu do passado, por fazer constantes escolhas com o fim de atender propósitos dos quais não são compreendidos ainda, que ao longo da trajetória da minha vida vão adquirindo maiores significados e passam a fazer mais sentido.

À Deus pela possibilidade de existir e suas diversas formas de se manifestar em suas criações.

À minha família, que sempre me deu suporte em todas as minhas decisões, pelo incentivo aos estudos e para viver uma vida com impacto no mundo.

Ao meu grande amigo Leonardo Röggen, por toda parceira e construção de ideias que tivemos e em especial sobre Perdas de Água, propagando de maneira inicial toda a construção desse trabalho, além de incentivar à continuação da minha vida acadêmica.

Ao Programa de Mestrado ProfÁgua, como instituição e a todos os envolvidos, por me acolher e propiciar a oportunidade de realização do Mestrado de caráter gratuito e de altíssima qualidade. Pela oferta de disciplinas, network e recursos financeiros que propiciaram minha presença em eventos ímpares.

Ao meu orientador Professor Rodrigo Lilla Manzione, por toda energia investida, orientações, conselhos e confiança em mim e no nosso trabalho.

A todos os professores que eu tive a oportunidade de aprender algo novo e ampliar meus conhecimentos, que foram basilares até este patamar.

A todos os colegas do meio acadêmico, por toda interação, troca de informação, suporte e carinho.

Ao meu amigo e grande referência acadêmica e profissional Daniel Manzi, por toda ideia trocada, materiais, sugestões e pela oportunidade de acompanhar meu trabalho.

À minha namorada Thais, que apareceu em minha vida na reta final do mestrado, mas me incentivou substancialmente até a conclusão deste trabalho e por me incentivar a ser melhor, por mim e por ela.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

"*Milhares de pessoas viveram sem amor, nenhuma delas sem água*" (AUDEN, 2003)

RESUMO

As perdas de água (PA) nos sistemas de abastecimento de água (SAA) representam uma fonte significativa de pressão não apenas para esses sistemas, mas também para outros sistemas produtivos que dependem da água. Essa concepção é abstraída a partir do Nexo Água-Energia-Alimentos. A problemática das PA é complexa e abrangente, e este estudo busca contribuir para uma compreensão holística dessa questão e de suas influências. É importante ressaltar que as PA têm o potencial de comprometer a sustentabilidade dos SAA, o que pode impactar negativamente o cumprimento do ODS 6, bem como outros Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que de alguma maneira estejam associados ao uso da água. Os SAA podem ser vulneráveis às PA devido ao crescimento natural dessas perdas, além do fato de que essas podem gerar pressões na capacidade dos sistemas em gerenciar e reduzir essas perdas, essencialmente por envolverem respostas atenuadoras e não solucionadoras. Essas dificuldades estão diretamente relacionadas às cadeias primordiais de manutenção sistêmica, que incluem a disponibilidade e capacidade de captação de água bruta, a capacidade de conversão de água bruta em água tratada e sua distribuição, bem como a capacidade de converter a água tratada em recursos financeiros para a sustentabilidade do sistema. Para analisar de forma abrangente as interações relacionadas ao serviço de abastecimento de água com níveis de perdas acima do inevitável, utilizou-se o Modelo FPEIR. Esse modelo identificou um total de 32 interações, distribuídas em 5 de pressão; 10 de estado; 9 de impactos; e 8 de respostas. A fim de avaliar a vulnerabilidade às PA dos SAA do Estado de São Paulo, foi desenvolvido o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA). Esse índice é construído a partir de seis indicadores pré-selecionados, que foram aplicados para analisar as informações disponíveis em 2019. Os municípios foram classificados em diferentes classes de vulnerabilidade. Os resultados indicaram que 1,1% dos municípios é classificado como extremamente vulneráveis, 19,4% muito vulneráveis, 19,8% consideravelmente vulneráveis, 25,1% pouco vulneráveis, 29,9% irrisoriamente vulneráveis e 4,7% não possuem informações disponíveis. Em resumo, este estudo ressalta a relevância das PA nos SAA e suas influências em diferentes sistemas, além do seu originário. Propõe-se uma análise abrangente e um índice de avaliação como ferramentas para compreender e abordar essa problemática complexa. A aplicação dessas ferramentas revela a necessidade de ações efetivas para aumentar a resiliência às PA e promover a sustentabilidade dos SAA e de outros associados.

Palavras-chave: perdas de água; sistemas de abastecimento de água; índice; vulnerabilidade; modelo FPEIR.

ABSTRACT

Water losses in water supply systems (WSS) represent a significant source of pressure not only for these systems but also for other productive systems that depend on water. This concept is derived from the Water-Energy-Food Nexus. The issue of water losses is complex and comprehensive, and this study aims to contribute to a holistic understanding of this issue and its influences. It is important to emphasize that water losses have the potential to compromise the sustainability of WSS, which can negatively impact the achievement of SDG 6, as well as other Sustainable Development Goals (SDG) that are in some way associated with water use. WSS can be vulnerable to water losses due to the natural growth of these losses, as well as the fact that they can create pressures on the systems' capacity to manage and reduce these losses, mainly because they involve mitigating rather than solving responses. These difficulties are directly related to the primary chains of systemic maintenance, which include the availability and capacity to capture raw water, the capacity to convert raw water into treated water and distribute it, as well as the capacity to convert treated water into financial resources for system sustainability. To comprehensively analyze the interactions related to water supply services with levels of losses above the inevitable, the FPEIR Model was used. This model identified a total of 32 interactions, distributed among 5 of pressure, 10 of state, 9 of impacts, and 8 of responses. In order to assess the vulnerability to water losses in the systems of the state of São Paulo, the Water Loss Vulnerability Index was developed. This index is built based on six pre-selected indicators, which were applied to analyze the available information in 2019. Municipalities were classified into different vulnerability classes. The results indicated that 1,1% of municipalities is classified extremely vulnerable, 19,4% highly vulnerable, 19.8% considerably vulnerable, 25,1% moderately vulnerable, 29,9% negligibly vulnerable, and 4,7% had no available information. In summary, this study underscores the relevance of water losses in WSS and their influences on different systems, beyond their origin. A comprehensive analysis and an evaluation index are proposed as tools to understand and address this complex issue. The application of these tools reveals the need for effective actions to enhance resilience to water losses and promote the sustainability of WSS and other associated systems.

Keywords: water losses; water supply system; index; vulnerability; FPEIR model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema genérico dos Sistemas de Abastecimento de Água 41
Figura 2 – Diferentes tipos de vazamentos em tubulações 51
Figura 3 – Componentes de controle para gestão de perdas reais 58
Figura 4 – Componentes de controle para gestão de perdas aparentes 58
Figura 5 – Gráfico de evolução do Índice de Perdas de Água no Brasil 63
Figura 6 – Esquema das relações sistêmicas e institucionais atreladas à prestação do serviço de abastecimento de água e perdas de água 109
Figura 7 – Fluxograma das principais cadeias de operação de um Sistema de Abastecimento de Água 119
Figura 8 – Esquema das relações existentes entre as componentes da FPEIR 120
Figura 9 – Fluxograma das ações envolvidas para o desenvolvimento do Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água 146
Figura 10 – Mapa de distribuição dos tipos de manancial de captação dos municípios do Estado de São Paulo 167
Figura 11 – Gráfico comparativo dos tipos de mananciais dos municípios avaliados 168
Figura 12 – Mapa da relação da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica dos municípios do Estado de São Paulo 170
Figura 13 – Gráfico comparativo da Relação da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica dos municípios avaliados 171
Figura 14 – Mapa do Índice de atendimento urbano de água dos municípios do Estado de São Paulo 173
Figura 15 – Gráfico comparativo do Índice de atendimento urbano de água dos municípios avaliados 174
Figura 16 – Mapa do Índice de perdas por ligação dos municípios do Estado de São Paulo 176
Figura 17 – Gráfico comparativo do Índice de perdas por ligação dos municípios avaliados 177
Figura 18 – Mapa da Razão do Consumo médio per capita de água ponderado por UGRHI dos municípios do Estado de São Paulo 179
Figura 19 – Gráfico comparativo da Razão do Consumo médio per capita de água ponderado por UGRHI dos municípios avaliados 180
Figura 20 – Mapa da Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada dos municípios do Estado de São Paulo 183

Figura 21 – Gráfico comparativo da Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada dos municípios avaliados 184
Figura 22 – Gráfico comparativo dos resultados obtidos pela classificação do Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água 186
Figura 23 – Mapa da classificação do Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA) 187

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Diferentes conceituações sobre segurança hídrica 33
Quadro 2 – Definição dos diferentes componentes existentes em um Sistema de Abastecimento de Água 39
Quadro 3 – Componentes do Balanço Hídrico para um Sistema de Adução de Água Tratada ou de um Sistema de Distribuição 44
Quadro 4 – Medidas de controle e gestão e seus níveis de aplicação 61
Quadro 5 – Metas nacional e regionais definidas no PLANSAB para o Índice de Perdas na Distribuição 63
Quadro 6 – Relação das características das Perdas Reais e Aparentes 66
Quadro 7 – Princípios norteadores para construção de indicadores 71
Quadro 8 – Condições para um indicador ideal 73
Quadro 9 – Principais Indicadores voltados para avaliação do serviço de Tratamento de Esgoto 80
Quadro 10 – Relação da influência que as perdas de água produzem nas diferentes metas do ODS 6 e progresso registrado até 2022 92
Quadro 11 – Relação da influência que as perdas de água produzem nos diferentes ODS e progresso registrado até 2022 96
Quadro 12 – Matriz de aplicação do nexo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR) 124
Quadro 13 – Relação de aspectos e indicadores que compõe o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água 147
Quadro 14 – Apresentação dos Indicadores que compõe o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água 152
Quadro 15 – Matriz de comparações paritárias 157
Quadro 16 – Relação dos pesos obtidos, pela aplicação da metodologia AHP, para os diferentes indicadores selecionados para composição do IVuPA 158
Quadro 17 – Resumo dos parâmetros do Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água 165
Quadro 18 – Resumo Classes de Vulnerabilidade do Índice 165
Quadro 19 – Comparação dos resultados obtidos para o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água para as diferentes parâmetros utilizados 185
Quadro 20 – Relação entre os 10 melhores e 10 piores desempenhos avaliados pelo IVuPA 188

Quadro 21 – Relação de sugestão de indicadores para avaliação da cadeia Disponibilidade e capacidade para captar água referentes ao aspecto quantitativo da água 189
Quadro 22 – Relação de sugestão de indicadores para avaliação da cadeia Disponibilidade e capacidade para captar água referentes ao aspecto qualitativo da água 191
Quadro 23 – Relação de sugestão de indicadores para avaliação da cadeia Capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição referentes à unidade de estação elevatória 192
Quadro 24 – Relação de sugestão de indicadores para avaliação da cadeia Capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição referentes à unidade de estação de tratamento de água 193
Quadro 25 – Relação de sugestão de indicadores para avaliação da cadeia Capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição referentes à unidade rede de distribuição 194
Quadro 26 – Relação de sugestão de indicadores para avaliação da cadeia Capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição referentes a todas unidades do sistema de abastecimento 196
Quadro 27 – Relação de sugestão de indicadores para avaliação da cadeia Capacidade de conversão de água tratada em recurso financeiro 197

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estrutura analítica sobre a evolução do discurso e das narrativas do desenvolvimento sustentável, conforme refletido nos ODM e nos ODS 28
Tabela 2 – Normas brasileiras relacionadas aos projetos de Sistemas de Abastecimento 41
Tabela 3 – Relação da matriz elétrica nacional 49
Tabela 4 – Características dos principais indicadores de perdas de água 56
Tabela 5 – Área de atuação dos indicadores e suas considerações 70
Tabela 6 – Distribuição entre as parcelas de perdas de água em função da perda total 105
Tabela 7 – Distribuição de Perdas em algumas cidades europeias..... 106
Tabela 8 – Escala numérica de Saaty (AHP)..... 155
Tabela 9 – Índice Randômico Médio do AHP em função da ordem da matriz..... 158

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
ADERASA	*Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable e Saneamiento de las Americas*
AHP	*Analytic Hierarchy Process*
ANA	Agência Nacional de Recursos Hídricos e Saneamento Básico
AWWA	*American Water Works Association*
BD	Banco de Dados
CEP	Cartas de controle
CF	Constituição Federal
CI	Carga inorgânica
CRHI	Coordenadoria de Recursos Hídricos
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EEA	*European Environment Agency*
EIA	Estudos de Impacto Ambiental
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos de Portugal
ETA	Estação de tratamento de água
FPEIR	Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta
GIRH	Gestão Integrada dos Recursos Hídricos
GIS	Sistema de informação geográfica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBNET	*Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities*
IC	Índice de Consistência
ID	Indicadores de Desempenho
IR	Índice de Consistência Randômico
ISH	Índice de Segurança Hídrica
ISO	Organização Internacional para Padronização

IVuPA	Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água
IWA	*International Water Association*
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
MIDR	Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional
NBR	Norma Brasileira
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OFWAT	*Office of Water Services*
ONU	Organização das Noções Unidas
PA	Perdas de água
PEIR	Pressão-Estado-Impacto-Resposta
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
PNSH	Plano Nacional de Segurança Hídrica
PNUEA	Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água
RC	Razão de Consistência
RMC	Região Metropolitana de Campinas
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
RS	Resíduo sedimentável
SAA	Sistemas de abastecimento de água
SDG	*Sustainable Development Goals*
SH	Segurança hídrica
SIN	Sistema Interligado Nacional
SINISA	Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
VPR	Válvula Redutora de Pressão
WCED	*World Commission on Environment and Development*
WSAA	*Water Services Association of Australia*
WSS	*Water supply systems*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 23

2 CAPÍTULO I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 27

2.1 CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E RECURSOS HÍDRICOS 27

2.1.1 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável 27

2.1.2 Água e sua relação com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável 30

2.2 SEGURANÇA HIDRICA E VULNERABILIDADE 31

2.2.1 Conceituação e abordagem da segurança hídrica 31

2.2.2 Conceituação de vulnerabilidade e sua relação com recursos hídricos 34

2.2.3 Vulnerabilidade às perdas de água dos sistemas de abastecimento de água e segurança hídrica 36

2.3 RELAÇÕES ENTRE SISTEMAS DE ABASTACIMENTO DE ÁGUA, PRESTAÇÃO DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO E PERDAS DE ÁGUA 39

2.3.1 Concepção e princípios de um sistema de abastecimento de água 39

2.3.2 Balanço Hídrico nos sistemas de abastecimento e perdas de água 42

2.3.3 Relação entre gestão de recursos hídricos e sistemas de abastecimento de água 45

2.4 QUESITOS ATRELADOS À PRESTAÇÃO DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA 46

2.5 PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO 50

2.5.1 Indicadores e perdas de água 52

2.5.2 Controle e gestão de perdas de água 56

2.5.4 Programas e projetos para gestão, controle e redução de perdas de água 64

2.5.5 Problemática advinda das perdas de água 66

2.6 CONCEPÇÃO SOBRE INDICADORES 69

2.6.1 Indicadores e recursos hídricos 74

2.6.2 Indicadores e saneamento, no Brasil e no mundo 76

2.7 CONCLUSÕES 81

3 CAPÍTULO II - RELAÇÃO ENTRE AS PERDAS DE ÁGUA COM A SUSTENTABILIDADE E COM OS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 85

3.1 INTRODUÇÃO 85

3.2 DELIMITAÇÃO DO CONCEITO APLICADO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 86

3.3 FUNÇÃO DA ÁGUA NO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 88

3.4 PERDAS DE ÁGUA E A (IN)SUSTENTABILIDADE 90

3.5 RELAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA E O ODS 6 91

3.6 RELAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA E DIFERENTES ODS 94

3.7 CONCLUSÕES 101

4 CAPÍTULO III – CONCEPÇÃO DO CARÁTER DE VULNERABILIDADE DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO FRENTE AS SUAS PERDAS DE ÁGUA 103

4.1 INTRODUÇÃO 103

4.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DIFERENTES TIPOS DE PERDAS DE ÁGUA 104

4.3 DELIMITAÇÃO DA APLICAÇÃO DO CONCEITO DE VULNERABILIDADE 107

4.4 RELAÇÕES SISTÊMICAS E INSTITUCIONAIS ATRELADAS À PRESTAÇÃO DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E EXISTÊNCIA DE PERDAS DE ÁGUA 108

4.5 CONCEPÇÃO DAS CADEIAS PRIMORDIAIS DE MANUTENÇÃO SISTÊMICA DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA 115

4.6 CONCEPÇÃO DAS RELAÇÕES FPEIR ASSOCIADAS COM A EXISTÊNCIA DAS PERDAS DE ÁGUA DURANTE A PRESTAÇÃO DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA 119

4.7 CONSTRUÇÃO DA MATRIZ FPEIR E DISCUSSÃO DAS RELAÇÕES IDENTIFICADAS 124

4.7.1 Pressões 125

4.7.1.1 (P1) Aumento natural das perdas de água 125

4.7.1.2 (P2) Aumento da demanda de água 126

4.7.1.3 (P3) Variabilidade da vazão do manancial 126

4.7.1.4 (P4) Indisponibilidade de novos mananciais 126

4.7.1.5 (P5) Desperdício de água por parte dos usuários e aderência à irregularidade 127

4.7.2 Estado 128

4.7.2.1 (E1) Níveis das perdas de água 128

4.7.2.2 (E2) Disponibilidade hídrica do manancial de captação 128

4.7.2.3 (E3) Possibilidade de expansão do manancial 128

4.7.2.4 (E4) Qualidade da água do manancial de captação 129

4.7.2.5 (E5) Condições dos usuários do sistema, referente às características da população 130

4.7.2.6 (E6) Infraestrutura da rede de distribuição (idade, comprimento, material, tipo do sistema, variação do relevo) 130

4.7.2.7 (E7) Consumo de energia elétrica e uso insumos para produção de água tratada ... 131

4.7.2.8 (E8) Vida útil das componentes 131

4.7.2.9 (E9) Custo atual de produção de água 132

4.7.2.10 (E10) Situação econômica da companhia prestadora do serviço 132

4.7.3 Impactos Diretos 133

4.7.3.1 (I1) Alterações do regime hídrico 133

4.7.3.2 (I2) Aumento dos conflitos do uso da água 133

4.7.3.3 (I3) Inundação de áreas para regularizar vazão que poderia ser evitada 134

4.7.3.4 (I4) Rebaixamento do nível freático 134

4.7.3.5 (I5) Redução da vida útil da infraestrutura 135

4.7.3.6 (I6) Possibilidade de contaminação pelas fraturas existentes na rede 135

4.7.3.7 (I7) Modificações das vias urbanas e interrupção do tráfego local 136

4.7.3.8 (I8) Diminuição do poder de compra dos usuários 136

4.7.3.9 (I9) Redução da credibilidade da companhia 136

4.7.4 Respostas 137

4.7.4.1 (R1) Gestão e gerenciamento das perdas de água 137

4.7.4.2 (R2) Busca por novas fontes de água e aumento da captação 137

4.7.4.3 (R3) Ampliação da infraestrutura 138

4.7.4.4 (R4) Interrupção do serviço por reparos ou trocas da infraestrutura 138

4.7.4.5 (R5) Incremento tarifário 139

4.7.4.6 (R6) Investimentos de fontes externas do SAA, para contenção das perdas de água 139

4.7.4.7 (R7) Regularização dos usuários irregulares 140

4.7.4.8 (R8) Maior rigorosidade nos aspectos jurídicos-legais (regulação) 140

4.8 CONCLUSÕES 141

5 CAPÍTULO IV - DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE ÀS PERDAS DE ÁGUA (IVuPA) 143

5.1 INTRODUÇÃO 143

5.2 DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO 145

5.2.1 Definição de um meio para avaliar a vulnerabilidade com objetividade 146

5.2.2 Seleção dos indicadores que compõe o IVuPA 147

5.2.2.1 Tipo de manancial 148

5.2.2.2 Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica 148

5.2.2.3 Índice de atendimento urbano de água 149

5.2.2.4 Índice de perdas por ligação 150

5.2.2.5 Razão do Consumo médio per capita de água ponderado por UGHRI 150

5.2.2.6 Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada 151

5.2.3 Escolha da metodologia para equacionar o IVuPA com base nos indicadores selecionados 153

5.2.3.1 Construção de hierarquias 154

5.2.3.2 Definição de prioridades 154

5.2.3.3 Consistência Lógica 155

5.2.4 Aplicação do questionário 155

5.2.5 Aplicação da metodologia AHP para construção do IVuPA para definição dos pesos externos dos indicadores 156

5.2.6 Definição dos intervalos e pesos internos de cada indicador 159

5.2.6.1 Tipo de manancial 159

5.2.6.2 Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica 160

5.2.6.3 Índice de atendimento urbano de água 161

5.2.6.4 Índice de perdas por ligação 161

5.2.6.5 Razão do Consumo médio per capita de água ponderado por UGRHI 162

5.2.6.6 Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média Aplicada 163

5.2.7 Considerações sobre a aplicação do IVuPA pelo Banco de Dados 164

5.3 RESULTADOS 164

5.3.1 Composição do IVuPA 164

5.3.2 Desempenho dos municípios contemplados pela avaliação para os indicadores ... 166

5.3.2.1 Tipo de Manancial ... 166

5.3.2.2 Relação da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica ... 169

5.3.2.3 Índice de atendimento urbano de água ... 172

5.3.2.4 Índice de perdas por ligação ... 175

5.3.2.5 Razão do Consumo médio per capita de água ponderado por UGRHI ... 177

5.3.2.6 Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada ... 181

5.3.3 Desempenho para o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água na base de dados municipal ... 185

5.4 Sugestão de indicadores adicionais para novas composições do IVuPA ... 188

5.4 CONCLUSÕES ... 198

6 CONCLUSÕES DO ESTUDO E CONSIDERAÇÕES FINAIS ... 201

6.1 CONCLUSÕES ... 201

6.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS ... 203

REFERÊNCIAS ... 205

APÊNDICE A - BANCO DE DADOS DE APLICAÇÃO DO IVuPA ... 216

APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA AHP ... 217

APÊNDICE C - RESPOSTAS ADQUIRIDAS PELA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO ... 225

ANEXO A - CERTIFICADO DE APROVAÇÃO QUESTIONÁRIO PELA PLATAFORMA BRASIL ... 226

1 INTRODUÇÃO

A temática de sustentabilidade, inicialmente abordada em âmbito global, a partir da década de 1990, apresenta-se em constante evolução por meio do avanço de novas tecnologias, de proposições de programas e da difusão da informação. Atualmente, o Desenvolvimento Sustentável é orientado pela Organização das Noções Unidas (ONU), pela atual Agenda dos ODS, que visa incentivar diversas ações direcionadas para a erradicação da pobreza, proteção do meio ambiente e promoção da paz e qualidade de vida das pessoas. O consumo de água para manutenção da vida é inevitável, portanto, visa-se desenvolver diferentes meios, instrumentos e mecanismos para serem utilizados na gestão e no gerenciamento dos recursos hídricos, para ser mais eficiente e, consequentemente, mais sustentável.

O uso da água, para seus diferentes fins, propõe uma demanda que se relaciona com a disponibilidade hídrica e caso essa relação, inversamente proporcional, seja muito próxima, evidencia-se um risco que pode ser interpretado pela exposição e vulnerabilidade à ocorrência de um evento que desequilibre essa relação, que é compreendida como segurança hídrica (SH). Moser (1998) propõe que a vulnerabilidade pode ser definida por uma situação em que haja exposição ao risco, incapacidade de reação e impotência de adaptação. A Agência Nacional de Recursos Hídricos e Saneamento Básico (ANA, 2019) conceitua SH como condição que visa garantir quantidade e qualidade aceitável de água para abastecimento, alimentação, preservação de ecossistemas e demais usos, associados a um nível aceitável de riscos relacionados com a água para as pessoas, economias e meio ambiente. Ainda, Beek e Arriens (2014) reforçam que a SH se apresenta como o principal objetivo da Gestão Integrada dos Recursos Hídricos. Todas essas relações são construídas a partir de diversas e complexas relações, por isso há uma necessidade de tornar tais relações mais simples. Uma opção, consolidada e viável para isso, é por meio do uso de indicadores.

No Brasil, a partir da Lei n° 14.026/2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico, institucionalizou-se o uso de indicadores, no setor do saneamento, ao apresentar que os diagnósticos devem ser desenvolvidos por meio de sistema de indicadores sanitários, epidemiológicos, ambientais e socioeconômicos, de modo a apontar as causas das deficiências detectadas.

Os indicadores se apresentam com o objetivo social de aprimorar a comunicação existente entre os agentes políticos e a sociedade, no que se refere à discussão de temas

complexos e estratégicos, como por exemplo na política ambiental. Para isso, os indicadores precisam tornar perceptíveis os fenômenos ou circunstâncias que não são detectáveis imediatamente, sob uma ótica específica, distinguindo-se das estáticas e dados primários (PHILIPPI JUNIOR *et al.*, 2012).

Neste estudo, destaca-se o indicador de PA nos SAA, dentre os que são mais comumente observados na avaliação da eficiência dos serviços de saneamento. A *Internacional Water Association* (IWA), publicou em 2000 o documento traduzido "Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água: Terminologia Padrão e Medidas de Desempenho Recomendadas", elaborado por Hirner e Lambert (2000), que buscou padronizar os termos relacionados ao fenômeno das PA e também propor metodologias de cálculo referente às perdas dos sistemas de distribuição.

De acordo com Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2023a), no Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgotos, com base de informações do ano de 2021, o índice médio de perdas na distribuição de água no Brasil é de 40,3%, enquanto que o limite gradual mínimo, proposto para condição de alocação de recursos públicos federais, previsto pela Portaria n° 490 de 22 de março de 2021, do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), é inicialmente de 25% em 2021 e 2022 e para o ano final de 2034 o limite será de 16,25%, o que demonstra grande disparidade entre a realidade e o que se almeja para os sistemas de distribuição. Adicionalmente, o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), revisado em 2018, propõem como meta para 2033, para a média brasileira, de que o índice de perdas seja de 31%. Com isso se evidencia uma necessidade latente em maiores investimentos na área de gestão de perdas, seja por meio de pesquisas, metodologias e recursos financeiros.

Como apresenta SNIS (2023a), as PA em SAA de água é um tema de alta relevância frente aos cenários de escassez hídrica e de altos custos, principalmente no de energia elétrica, além da sua relação direta com a saúde financeira dos prestadores de serviços e usuários. Dessa forma, as PA se relacionam com impactos ambientais e socioeconômicos de forma integral. Como Instituto Trata Brasil (2021) dispõe em seu relatório, as PA afetam diretamente os custos de produção e a demanda hídrica. A relação apresentada é de que quanto maiores forem as PA, maior deve ser o volume captado, de modo a compensar a produção da vazão efetivamente demandada. Essa compensação que é passível de redução, configura: maiores custos dos insumos e energia para bombeamento; maior manutenção da rede e de equipamentos; uso excessivo da capacidade de produção e de distribuição existente; e maior custo oriundo da possível

utilização de fontes de abastecimento alternativas de menor qualidade ou de difícil acesso. As PA também afetam a esfera ambiental, gerando pressão excessiva sobre as fontes de abastecimento do recurso hídrico e maior custo de mitigação dos impactos negativos dessa atividade, além de afetarem outros sistemas produtivos dependentes dos recursos hídricos.

Existe, portanto, uma relação direta entre a proporção das perdas e de seus impactos nas esferas econômica, ambiental e social. Porém, em função da estabilidade e riqueza de recursos locais, um sistema de abastecimento de água, com menores índices de PA, pode estar situado em um local com baixa SH, e por isso pode se apresentar como mais vulnerável às PA que possui, do que um sistema com maiores índices de perda, mas com maior SH que o primeiro.

Diante de todas essas relações, este trabalho se propôs a desenvolver um índice de avaliação da vulnerabilidade que os SAA podem apresentar frente as suas PA, tendo, portanto, como objetivo primário o desenvolvimento do IVuPA. Para isso, o trabalho também se propôs a desenvolver outras bases de conhecimento, argumentação, conjecturas e discussão para embasar e suportar o que é proposto pelo IVuPA. Objetiva-se, de maneira secundária: construir uma base de informações sólida e robusta sobre os temas abordados ao longo de toda a pesquisa; discutir sobre a relação que as PA possuem com o desenvolvimento sustentável e suas influências na atual Agenda dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável; e conceitualizar o caráter de vulnerabilidade que os SAA de água podem apresentar frente as suas PA. Para atender aos objetivos propostos, a dissertação se estrutura em 4 Capítulos, com sequência construída de maneira lógica à argumentação.

O primeiro Capítulo apresenta a Revisão Bibliográfica, que é composto pelos subcapítulos: Contexto do desenvolvimento sustentável e recursos hídricos; SH e vulnerabilidade; Relações entre sistemas de abastecimento de água, prestação do serviço de abastecimento e as perdas de água; Perdas de água em sistemas de abastecimento; e Concepção sobre indicadores. Cada um desses subcapítulos visa apresentar informações de base com entrelaçamentos das relações que possuem entre si, de modo que possam embasar todas as conjecturas e discussão desenvolvidas nos capítulos subsequentes.

O segundo Capítulo apresenta a Relação entre as perdas de água com a sustentabilidade e com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, que é composto pelos subcapítulos: Delimitação do conceito aplicado do Desenvolvimento Sustentável;

Função da água no desenvolvimento sustentável; Perdas de água e a (in)sustentabilidade; Relação das perdas de água e o ODS 6; e Relação das perdas de água e diferentes ODS.

O terceiro Capítulo apresenta a Concepção do caráter de vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento frente as suas perdas de água, que é composto pelos subcapítulos: Considerações sobre os diferentes tipos de perdas de água; delimitação da aplicação do conceito de vulnerabilidade; Relações sistêmicas e institucionais atreladas à prestação do serviço de abastecimento de água e existência de perdas de água; Concepção das cadeias primordiais de funcionamento dos sistemas de abastecimento de água; Concepção das relações FPEIR associadas com a existência das perdas de água; e Construção da matriz FPEIR e discussão das relações identificadas.

O quarto Capítulo apresenta o desenvolvimento e aplicação do Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água, que é composto pelos subcapítulos: Desenvolvimento metodológico; e Resultados. O primeiro subcapítulo, deste Capítulo, é dividido em sequência para apresentar como o índice foi concebido e o segundo subcapítulo apresenta a estrutura final do IVuPA, juntamente com a sua aplicação.

Espera-se que esta dissertação contribua para um melhor entendimento sobre as influências que as PA produzem para os SAA de água, sua influência no Nexo Água-Energia-Alimento e no Desenvolvimento Sustentável, fornecendo uma base sólida de conhecimento que poderá beneficiar todos os agentes envolvidos e vinculados com o processo de abastecimento, que vão desde os prestadores do serviço, reguladores, usuários, agentes políticos, pesquisadores e profissionais. Ao explorar diferentes perspectivas sob ampla argumentação e aplicação do IVuPA, busca-se promover uma reflexão crítica e embasar e elevar a profundidade das futuras iniciativas no campo da avaliação das PA, inclusive sob o contexto de PA nacional e marco regulatório da prestação do serviço de abastecimento.

2 CAPÍTULO I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E RECURSOS HÍDRICOS

2.1.1 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

Atualmente na maioria dos locais do mundo, a urbanização e a sua expansão já tendem ao seu limite, em função dos recursos disponíveis e das dinâmicas populacionais. Contudo, esses locais ainda não se aproximam de uma realidade sustentável. Ruggerio (2021) faz uma abordagem sobre a diferença entre sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, pois embora se relacionem, esses não são sinônimos. O autor apresenta que as teorias e propostas do desenvolvimento sustentável não seriam puramente sustentáveis. Também, apresenta uma reflexão sobre a abordagem de não se atribuir pesos na concepção do desenvolvimento sustentável, quando na realidade esses seriam abstraídos por razões sociais e econômicas que conduzem e condicionam a concepção do tema. Tal concepção pode, por consequência, fazer com que o desenvolvimento sustentável não tenha sustentabilidade, ao não envolver a capacidade do ambiente de sustentar à vida.

A principal diferença entre sustentabilidade e desenvolvimento sustentável é de que a primeira tem caráter local, já a segunda tem global. Essa diferença implica nas suas capacidades de fecharem os ciclos ecológicos que as compõem, por completo, fator que restringe o desenvolvimento sustentável de possuir, inteiramente, sustentabilidade, apesar de possuir o adjetivo na locução. Para alguns estudiosos da área, a relação entre o meio acadêmico – produtor de informação científica – e dos gestores, das diversas áreas, deve ser a mais próxima e íntima possível, com o fim de aperfeiçoar as abordagens e ações motivadas para à promoção do desenvolvimento sustentável. Para tornar o desenvolvimento sustentável com maior sustentabilidade, é preciso difundir o reconhecimento de que as ações e atividades humanas que interferem no meio apresentam amplos impactos. Por isso devem ser analisados de maneira holística, variando de acordo com as características locais e de sua capacidade de suporte (GLAVIČ; LUKMAN, 2007; BRAND, 2009; BEN-ELI, 2018; RUGGERIO, 2021).

No início do novo milênio, líderes mundiais se reuniram na sede da ONU para adotar a Declaração do Milênio, que conduziu à adoção das nações participantes a se comprometerem em trabalhar em prol da redução da pobreza extrema, por meio de oito

objetivos almejados a serem alcançados em 2015, conhecidos como Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM). Em 2012, tendo o Brasil como sede, ocorreu a Conferência Rio+20, que conduziu uma nova abordagem sobre o desenvolvimento sustentável, propondo novos objetivos e metas, com o fim de aprimorar o que foi proposto pelos ODM. Dessa nova abordagem surge a Agenda 2030, que apresenta um conjunto de programas, ações e diretrizes para o reconhecimento de todos os países, desenvolvidos e em desenvolvimento, criando os atuais ODS, que apresentaram embasamento científico na definição de suas metas e utilização de indicadores para acompanhamento do progresso para o cumprimento das metas (ONU, 2015a; ONU, 2015b; FRENCH; KOTZÉ, 2018).

A proposição dos objetivos, com o fim de promover melhorias globais, pode ser considerada como uma "governança por meio de metas", na qual a governança da sustentabilidade global depende da definição de metas como estratégia-chave. Porém, essa governança depende de objetivos que não possuem imposição jurídica, sendo apenas proposituras interessantes e relevantes para a conjuntura global, sem apresentar arranjo institucional fortalecido. Isso faz com que essa forma de governança dependa da aderência das nações ao cumprimento das metas. Os ODS se diferem dos ODM de maneira similar à substancial evolução da concepção do desenvolvimento sustentável, que ocorreu ao longo da primeira década do último milênio, conduzindo para a mesma evolução dos objetivos e de como seu atendimento, globalmente, poderia ser mais factível, porém ainda distante de uma concretização global. (BIERMANN; KANIE; KIM, 2017; FUKUDA-PARR, 2016; JONG; VIJGE, 2021; VIJGE *et al.*, 2020). As principais diferentes entre os objetivos podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Estrutura analítica sobre a evolução do discurso e das narrativas do desenvolvimento sustentável, conforme refletido nos ODM e nos ODS

(continua)

Categoria I: Objetivos do Desenvolvimento Sustentável	
Os ODM visam a redução da pobreza	**Os ODS visam um desenvolvimento integrado**
a) Redução da pobreza como principal objetivo	a) 5 Ps: pessoas, prosperidade, planeta, parcerias e paz como objetivos igualmente importantes
b) Foco no crescimento dos pobres para redução da pobreza	b) Crescimento inclusivo e desenvolvimento integrado
c) Aumentar o crescimento econômico e suporte à governança para redução da pobreza	c) Políticas que buscam sinergias pela integração e coesão

Fonte: Jong e Vijge (2021).

Tabela 1 – Estrutura analítica sobre a evolução do discurso e das narrativas do desenvolvimento sustentável, conforme refletido nos ODM e nos ODS

(conclusão)

Categoria II: Meios para alcançar o Desenvolvimento Sustentável	
Os ODM voltados para políticas (macro)econômicas	**Os ODS voltados para políticas centradas nas pessoas**
a) Atendimento às necessidades básicas das pessoas por meio de políticas econômicas	a) Melhorar a vida das pessoas através da integração de preocupações econômicas, sociais e ambientais nas políticas
b) Participação na economia global e no sistema de comércio econômico aberto	b) A igualdade e equidade devem ser promovidas no sistema comercial
c) Ganhos e médias nacionais, focados nas pessoas mais pobres	c) Foco nos vulneráveis e marginalizados para que nenhum fique para trás
Categoria III: Relações entre países desenvolvidos e países em desenvolvimento	
Os ODM visam dividir as relações	**Os ODS visam integrar as relações**
a) Responsabilidades divididas	a) Responsabilidades universais
b) Ajuda aos países em desenvolvimento	b) Parcerias com países em desenvolvimento
c) Papel passivo dos países desenvolvidos	c) Papel ativo dos países desenvolvidos

Fonte: Jong e Vijge (2021).

Os ODS se apresentam com a estrutura de 17 objetivos, 169 metas e 232 indicadores. As metas e indicadores se apresentam como meio para acompanhar a busca e a realização dos objetivos propostos. A utilização dos indicadores se demonstra como uma boa ferramenta de análise, na escala global, para direcionar melhor o foco às condições que demandam maior atenção, tendo em vista o cumprimento das metas, para as distintas nações nos diversos níveis de atuação, sejam eles locais, regionais, nacional e ainda internacionais. Para compreender as respectivas condições que correspondem à determinada meta, os indicadores devem ser selecionados para trazer a maior representatividade possível, com base nas variáveis envolvidas para seu cumprimento, e que sejam consistentes para o acompanhamento dos agentes envolvidos (FRENCH; KOTZÉ, 2018; ONU, 2015a; PISELLI, 2019; MALAY; AUBINET, 2021).

Tendo os indicadores como meio, simples e objetivo, de acompanhamento do progresso dos ODS, o sucesso para seus cumprimentos está relacionado com os diferentes meios de implementação de ações e da participação ativa dos diferentes agentes envolvidos. Cada meta apresenta diferentes agentes interessados em seu cumprimento, no entanto, o êxito da totalidade dos objetivos deve ser de interesse de todas as nações. Para que se tenha tal êxito, é preciso que haja interação multidimensional, entre agentes políticos, meio empresarial, meio acadêmico e sociedade civil, todos no seu máximo campo de atuação, de forma inclusiva e transfronteiriça (ALLEN; METTERNICHT; WIEDMANN, 2018; BEBBINGTON; UNERMAN, 2018; ONU, 2015b).

2.1.2 Água e sua relação com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

A água pode ser considera um fator determinante e condicionante para o desenvolvimento sustentável. Os recursos hídricos e os serviços relacionados a sua utilização, caso bem utilizados e corretamente direcionados, são capazes de promover a redução da pobreza, o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade ambiental. A água possui uma intima relação com a produção de alimentos e a geração energética, além de configurar as condições de saúde ambiental. Nesse sentido, o êxito do ODS 6 se apresenta como primordial e sinergista para o dos demais ODS. Destaca-se que a ineficiência e a falta de abastecimento de água, de saneamento, e por consequência de higiene, apresentam impactos significativos no bem-estar e na saúde das populações, inclusive nas atividades econômicas, de forma geral. Já é difundido que os serviços de água e saneamento são capazes de resultar em ganhos econômicos substantivos. Por conseguinte, a garantia de disponibilidade e gestão sustentável da água e do saneamento só será alcançada com a combinação da participação ativa da sociedade civil, da proposição de políticas integradas e investimentos por parte do poder público, pela ampla promoção da educação e inclusão da ciência (ONU, 2015a; ONU, 2015b; BEBBINGTON; UNERMAN, 2018; VÖRÖSMARTY *et al.*, 2018; ANA, 2019b; LAITINEN *et al.*, 2020).

De acordo com a ANA (2019b), os ODS apresentam substancial evolução aos ODM, em função de integrarem à água e o saneamento no centro da discussão, inclusive, por criar um objetivo exclusivo para tratar o tema, de forma detalhada. Com isso, passa-se a abordar a água em um sentido mais abrangente, próximo à governança, como um recurso hídrico, que se apresenta em disponibilidade quantitativa e qualitativa. Além do foco anterior, que seria dado ao acesso dos serviços de saneamento, como água e esgoto. Para a Autarquia, essa inserção da Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (GIRH), por parte da ONU, coloca a água como elemento central de temas que possuem relação com os outros ODS, em destaque a saúde pública e o meio ambiente.

Os ODS, na sua totalidade, são fortemente beneficiados com o êxito do cumprimento do ODS 6. Mas não se limita somente ao êxito, a busca pelo êxito do ODS 6 exige mudanças ecossistêmicas e político-sociais, que por sua vez contribuiriam de forma direta no cumprimento de outros ODS. Por exemplo, visando à proteção dos recursos hídricos por meio de mata nativa, contribuir-se-ia para o êxito do ODS 13 pelo armazenamento de carbono, e para o ODS 15 pelo suporte à biodiversidade. Além disso,

ainda há ODS que possuem relação condicionante pelo ODS 6, como seria o caso dos ODS 2 e 11, onde a produção agrícola é totalmente dependente da disponibilidade de água e a existência de cidades sustentáveis dependerem da disponibilidade e gestão eficiente da água (GILES-CORTI; LOWE; ARUNDEL, 2020; MULLIGAN *et al.*, 2020; DI VAIO *et al.*, 2021).

Para Di Vaio *et al.* (2021), a sustentabilidade da água para seu uso como recurso hídrico está ameaçada por cinco fatores, que se relacionam simultaneamente e intrinsicamente, sendo estes: eventos climáticos extremos, como inundações e secas, causados principalmente pelas mudanças e anomalias climáticas; crescimento populacional; rápida e extensa urbanização, várias vezes desorganizada; surgimento de megacidades que exigem, muitas vezes, serviços maiores que a capacidade de suporte para seu atendimento; e o envelhecimento e defasagem da infraestrutura dos SAA que utilizam e transportam água. Para se contrapor a esses fatores e assegurar à sustentabilidade da água para sua utilização, é preciso que as cidades e os sistemas dependentes dos recursos hídricos se tornem mais resilientes, por meio de ações estruturais – investimentos de todas as instâncias que os utilizam – e não estruturais – promovidas especialmente pelos governos locais e sociedade civil. Nesse sentido, para atender ao ODS 6 é preciso que a governança da água seja desempenhada levando em considerações as pressões externas que ameaçam o caráter sustentável da água para sua utilização, e pela promoção dos meios capazes de elevar à resiliência local, com o fim de garantir o desenvolvimento sustentável (LAITINEN *et al.*, 2020; ROESE; GREEN; MORGAN, 2020; Di Vaio *et al.*, 2021).

2.2 SEGURANÇA HIDRICA E VULNERABILIDADE

2.2.1 Conceituação e abordagem da segurança hídrica

A conceituação sobre o que seria SH evoluiu conjuntamente com a sua necessidade de realização. Taylor (2021) apresenta que o ponto crítico é de que a SH é definida e entendida de formas distintas, a depender de seu contexto. O conceito de SH teria surgido em meados da década de 1990 e, até a atualidade, tem passado por constantes transformações, pois o termo complementa, e para os diversos autores até substitui, os termos anteriormente dominantes, como “gestão sustentável da água” ou “gestão integrada dos recursos hídricos”. Porém, o conceito que ainda segue em desenvolvimento

e amadurecimento não apresenta um consenso generalizado sobre o que se deve incluir ou excluir na conceitualização da SH (BAKKER; MORINVILLE, 2013; JENSEN; WU, 2018; STADDON; SCOTT, 2018).

Para Cook e Bakker (2012), as diferentes disciplinas acadêmicas propõe que o foco visado para conceituar a SH pode variar de acordo com as premissas analíticas relacionados de cada estudo. Tomando-se como exemplo, no campo da agricultura a abordagem da água se concentra em observá-la como um insumo para produção, criando-se, inclusive, um vínculo com a segurança alimentar, enquanto, no campo da hidrologia a preocupação da segurança é direcionada para todo o ciclo hidrológico. Em contraste, para Bakker e Morinville (2013), no campo mais abrangente possível, o da governança da água, a abordagem da SH assume sua maior abrangência conceitual possível, e nessa o conceito desenvolve diferentes níveis de conceituação, em função do que se entende, também, como governança da água.

Sob a perspectiva mais ampla de SH, considera-se a existência de uma intrínseca relação global, que é pautada nos fundamentos da sustentabilidade, tendo em vista a importância que a água apresenta no desenvolvimento e da necessidade para subsistência humana. Como apresentam Pasqual *et al.* (2015) e Pasqual, Bollmann e Scott (2016), a relação entre água, energia e alimento, com destaque no Brasil, apresenta relação condicionante, que gera interdependências para o modo de produção, tendo a água como sua matriz. Entende-se, portanto, que a SH apresenta influência na segurança energética e na segurança alimentar. Dessa maneira, coloca-se em destaque, na ótica da governança, o quão fundamental é estabelecer e difundir a SH para se promover o desenvolvimento sustentável (GUPTA; PAHL-WOSTL, 2013).

Hoekstra, Buurman e Van Ginkel (2018) apresentam focos específicos que a SH pode assumir, sem necessariamente serem reducionistas de sua ampla abrangência. Os autores destacam, como uma delas, a perspectiva focada para a SH urbana, na qual suas análises foram desenvolvidas a partir de um método que avalia as relações de Pressão-Estado-Impacto-Resposta (PEIR). A partir dessas análises, os autores apresentam que os estudos sobre a SH urbana devem levar em consideração os aspectos: integração das informações; análises das condições ambientais; condições das estruturas de engenharia; resiliência e susceptibilidade aos eventos extremos; e ainda, sistemas de indicadores como meio para mensurar essa segurança.

Para compreender melhor o arranjo de definições a respeito da SH, o Quadro 1 apresenta um resumo dos conceitos abordados por diferentes instituições, inclusive pela ANA.

Quadro 1 – Diferentes conceituações sobre segurança hídrica

Autor	**Conceito de segurança hídrica**
WaterAid (2012)	O acesso confiável à água em quantidade suficiente e de qualidade para as necessidades básicas humanas, em pequena escala, garantia dos meios de subsistência e dos serviços dos ecossistemas locais, juntamente a uma adequada gestão dos riscos inerentes aos desastres relacionados com a água.
ONU (2013)	A capacidade de uma população de salvaguardar o acesso sustentável a quantidades adequadas de água de qualidade para garantir meios de sobrevivência, o bem-estar humano, o desenvolvimento socioeconômico; para assegurar proteção contra poluição e desastres relacionados à água, e para preservação de ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política.
Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (2013)	Gerir riscos associados à água, incluindo riscos de armazenamento de água, excesso, poluição e riscos de enfraquecer ou debilitar a resiliência dos sistemas de água doce.
World Water Council (2013)	Consiste, inicialmente, na garantia de necessidades essenciais do dia a dia, como saúde e alimento: água para produzir produtos alimentícios e melhorar rendimentos agrícolas; água limpa e segura para ajudar a reduzir doenças de veiculação hídrica – que continuam a ser uma das principais causas de morte. Consiste ainda na garantia de segurança econômica e social para produção de bens e serviços necessários ao desenvolvimento e aumento da qualidade de vida. Também abrange a segurança ecológica para retornar à natureza o papel essencial da água para preservação da biodiversidade e manutenção de ecossistemas.
Global Water Partnership (2014)	A essência da SH é que o interesse pelo recurso base está acompanhado do interesse ao serviço que explora ou utiliza o recurso base, como o uso humano, agricultura, atividades econômicas e proteção ambiental. Ambos os aspectos de qualidade e quantidade de água devem ser considerados uma vez que a qualidade afeta o valor da água e o impacto ao meio ambiente. SH significa aproveitar o potencial hídrico e combater os efeitos destrutivos da água; ou seja, os danos causados por inundações, secas, deslizamentos de terra, erosão, poluição e transmissão de doenças.
ANA (2015)	Condição que visa garantir quantidade e qualidade aceitável de água para abastecimento, alimentação, preservação de ecossistemas e demais usos, associados a um nível aceitável de riscos relacionados com a água para as pessoas, economias e meio ambiente.

Fonte: Melo e Johnsson (2017).

É possível notar que a interpretação do conceito de SH abordado pela ANA se apresenta na sua abrangência mais ampla, de forma a se relacionar com a governança. Como apresentam Moura *et al.* (2020), a Política Nacional de Recursos Hídricos estrutura com êxito seus objetivos que visam assegurar a quantidade e a melhoria da qualidade da água, no entanto, não apresenta o conceito e a abordagem explícita de SH, e ainda, ressalvam que este carece de legitimidade, no ordenamento jurídico. Os autores também destacam o Projeto de Lei nº 65, de 2017, do Senado Federal, que propôs incluir a SH como um dos pilares da lei e incluir os Planos de Segurança Hídrica entre os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Em 2019, a ANA em parceria com o MDR, publicou o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH). Esse plano, apresenta-se como um produto, em escala nacional, inédito para a temática de SH, de modo a se alinhar aos conceitos internacionais. E como o próprio documento apresenta, a partir de diretrizes e critérios advindos do conceito de SH, o PNSH assegura ao Brasil um planejamento integrado e consistente de infraestrutura hídrica com natureza estratégica e relevância regional, até o horizonte de 2035, para redução dos impactos de secas e cheias. Além das obras, também são identificados os estudos adicionais e projetos necessários para viabilizá-las, bem como as lacunas de conhecimento em áreas de baixa SH, para as quais foram propostas ações específicas (ANA, 2019a).

Como produto desse estudo, foi concebido o Índice de Segurança Hídrica (ISH), que se apresenta como meio para apresentar, com simplicidade e clareza, as diferentes dimensões da SH, incorporando o conceito de risco aos usos da água (ANA, 2019a). Na ótica de indicadores, para Dutra (2017) e Machado (2018), esses se demonstram como um eficaz instrumento para avaliar as condições e relações da segurança dos recursos hídricos, especialmente, quando tomadas como base as áreas urbanas e bacias hidrográficas em geral.

Outro produto elaborado pela ANA é o Atlas Águas, que apresenta uma avaliação de todos os mananciais e SAA e indica soluções para as demandas atuais e futuras para as 5.570 sedes urbanas, considerando o horizonte de 2035. Também é apresentado quais seriam os investimentos necessários para o atendimento de 100% da população urbana do país, tanto para o componente de produção de água, que abrange da captação ao tratamento, como para o de distribuição de água (ANA, 2021a).

2.2.2 Conceituação de vulnerabilidade e sua relação com recursos hídricos

Como aborda Rotava (2014), existem diversos obstáculos para que se tenha uma conceituação geral acerca de vulnerabilidade, demonstrando as diversas formas que o termo foi conceituado por diferentes autores de diferentes áreas que tratam de alguma maneira sobre a vulnerabilidade. A partir de uma ampla análise sobre usos do termo vulnerabilidade, Almeida (2012) expõem a complexidade por trás da utilização e do entendimento do termo, em função de sua multidimensionalidade, que atribui falta consensual.

Abordada por Marandola Jr. e Dantona (2014), a vulnerabilidade permanece subutilizada em seu potencial de ampliar as dimensões de análise da relação sociedade-natureza, porém, apresenta-se tradicionalmente utilizada no campo dos estudos ambientais, sobre saúde e sobre pobreza e exclusão social. Os autores, também, apresentam que ser ou estar vulnerável não se trata de exposição ou incapacidade, apenas. A vulnerabilidade é um conceito útil para ampliar a discussão sobre a segurança humana e os riscos, caso observada em sentido neutro, ou seja, incluindo tanto as fragilidades (suscetibilidade ao dano) quanto às capacidades (respostas e enfrentamento) (ADGER, 2006).

Plummer, Loë e Armitage (2012), relacionam o caráter de vulnerabilidade aplicada aos recursos hídricos, de modo a conceituar essa relação, sobre a ótica da suscetibilidade de um sistema (individual, comunitário, local) a danos em função da exposição a forças externas (choques, estresse, perturbações), sensibilidade do sistema, e a capacidade de resposta do sistema (lidar, recuperar, adaptar). Os autores, também, propõem um sistema de ferramentas de avaliação de vulnerabilidade hídrica, a partir de uma síntese de diversos estudos sobre a temática, de modo que esses possam ser aplicadas para realidades particulares. Dessa síntese foram propostos 710 indicadores, divididos nas dimensões: recursos hídricos; ambientes físicos; econômico; instituições; e social. E ainda, concluem que as avaliações sobre vulnerabilidade hídrica devem ser realizadas de maneira holística, com a finalidade de serem úteis para os agentes do gerenciamento de recursos hídricos (ADGER, 2006).

Para Gleick (2015), a buscar por avaliar a vulnerabilidade dos recursos hídricos é limitada pela escolha dos indicadores, pela qualidade e disponibilidade dos dados, e por detalhes específicos da região avaliada. O autor ressalva que a melhor opção para esse tipo de avaliação se dá pelo desenvolvimento das definições de ferramentas e métricas claras, com o fim de identificar os riscos dos fatores mais latentes e de caráter regional, produzindo melhores estratégias para redução desses riscos.

Como é apresentado pela ANA (2019), para o desempenho do Brasil no indicador 6.4.2 do ODS 6, o país apresenta baixíssimo estresse hídrico, de 1,6%, quando comparado com o resto do mundo, que apresenta 12,8%. No entanto essa realidade não é encontrada quando reduzida as diferentes localidades do Brasil. Também, destaca que em 2015, 46% das cidades brasileiras apresentaram vulnerabilidade associada à produção de água e 9% necessitavam de novas fontes hídricas.

2.2.3 Vulnerabilidade às perdas de água dos sistemas de abastecimento de água e segurança hídrica

Como apresentado pelo Instituto Trata Brasil (2021), a existência de PA em SAA configura uma maior demanda de água a ser captada, de modo a compensar a existência dessas PA, para que a demanda real possa ser atendida. Essa compensação gera impactos nas esferas ambiental, econômica e social e atinge todas as componentes dos SAA, que são: os mananciais, como fonte de água; os prestadores do serviço de abastecimento, que abrange as estações elevatórias, as estações de tratamento de água e rede de distribuição; e os próprios usuários desses SAA.

A relação do ser humano com a água está fortemente interligada, que qualquer impacto negativo na esfera ambiental que se relacione com água, por consequência, também afetará as esferas social e econômica. Essa relação se coloca em evidência, com os fundamentos da Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, de que: *a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas*; e *a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico*. Tendo em vista que os usos da água são concorrentes, em termos quantitativos, e de que a água é matriz para produção de energia, alimentos, industrial, a existência de PA em SAA, também, apresenta impacto com alto caráter condicionante e de restrição à gestão dos recursos hídricos, quando também, outro fundamento, da mesma lei é o: *em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais.*

A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES, 2013), em seu relatório sobre PA em SAA, deixa evidentes as múltiplas relações que a existência de PA pode atribuir para as diferentes componentes dos SAA e os benefícios que seriam obtidos pela redução dessas PA. Também, destacam que existência de PA atribuem maior volume a ser captado, que por consequência, configuram ao SAA maiores utilizações de: produtos químicos para o tratamento; energia elétrica; recurso financeiro pela cobrança do uso de água bruta, quando houver; e mão de obra. Adicionalmente apresentam que as PA atribuem uma pressão econômica, tanto para os prestadores do serviço quanto para os usuários, em função da ineficiência das utilizações dos recursos naturais e financeiros que são necessários para operar o SAA que se oneram por esses gastos que seriam passiveis de serem evitados, em decorrência dessa pressão que dificulta os prestadores de investirem na melhoria e expansão dos sistemas de água e esgoto. Desse modo, coloca-

se em evidência as principais relações que condicionam à vulnerabilidade que os SAA possuem, em função de suas PA.

Tendo em vista as pressões exercidas das diferentes componentes dos SAA sob as diferentes esferas econômica, social e ambiental, em função de suas PA e de sua vulnerabilidade frente a essas perdas, o enfrentamento e a mitigação dos impactos advindos dessas pressões, é um meio de se elevar a SH. Pois, como apresentado pela ANA (2019), as estratégias para o aumento da SH são compreendidas pela razão entre a disponibilidade hídrica, infraestrutura hídrica e demanda hídrica.

A *European Commission* (2015), destaca que as PA não são um simples problema técnico e econômico, e não sendo restrito à área de atuação do distribuidor local. As perdas envolvem questões mais amplas, que apresentam repercussão em diferentes esferas, como:

a) **Políticos:** relaciona-se com entidades, órgãos e agências de governo, atreladas à imagem e gestão destes que envolvem alocação de recursos, muitas vezes.

b) **Econômicos:** custos operacionais, em razão das PA que vão além da atuação do prestador e impactam outras cadeias produtivas que também geram impactos, como a geração de energia elétrica, produtos químicos no processo de potabilização da água, manutenções de estruturas, entre outros. E os investimentos para as ações de redução ou manutenção das perdas, fundamentais para a sustentabilidade dos prestadores dos serviços de saneamento.

c) **Sociais:** envolvem o uso racional da água, o pagamento ou não pelos serviços, as questões de saúde pública e a imagem das operadoras perante os usuários.

d) **Tecnológicos:** abrangem as interações entre o conhecimento técnico existente e o fomento de tecnologias, ferramentas e metodologias para as atividades típicas do combate às PA.

e) **Legais:** inclui a legislação do setor, licenças e regulação.

f) **Ambientais:** envolvem a utilização e gestão de recursos hídricos, energéticos, insumos, sendo estes renováveis ou não, e impactos das obras de saneamento.

Outros fatores que condicionam um SAA a se sobrepor às PA é o fracasso dos projetos e programas de controle e redução de PA que podem ocorrer, muitas vezes, por: pouco conhecimento da natureza das PA; não valoração do impacto das PA; elaboração de projetos deficientes; custos extremamente subestimados; inconsistência de argumentos para conseguir recursos; e em perceber que redução de PA não é apenas um problema técnico isolado, inerente ao gerenciamento e operação global do sistema, ou ainda uma atividade eventual, mas algo que requer comprometimento a longo prazo (FRAUENDORFER; LIEMBERGER, 2010; ABES, 2015).

De origem distinta, porém, diretamente relacionada às políticas públicas, grande parcela da população nas diversas cidades brasileiras e latino-americanas vivem em moradias que podem ser consideradas subnormais. Como são áreas ocupadas, as companhias ou operadoras de saneamento têm restrições legais para o fornecimento regular de água a esses núcleos, que por consequência, muitas vezes, aderem aos usos clandestinos. A solução deste problema extrapola a competência das companhias ou operadoras de saneamento sob regime de concessão da prestação do serviço. As prefeituras são as responsáveis pelo uso do solo municipal, e é delas a responsabilidade pela execução dos processos de regularização fundiária, reurbanização ou reassentamento dessas populações, podendo contar com a contribuição e suporte dos entes estaduais e federal. A existência desse tipo de uso informal apresenta as seguintes características: por razões humanitárias, não são efetuados os cortes dessas ligações, pois os problemas decorrentes seriam de maior amplitude e magnitude do que qualquer benefício que a empresa de saneamento poderia auferir; são de difícil mensuração ou estimação, dependendo de avaliações empíricas ou por meio da realização de alguns ensaios específicos; o risco potencial à saúde pública é presente, caso ocorra despressurização do sistema e impurezas entrem na tubulação por eventuais furos ou fraturas existentes; e há desperdícios, na medida em que não há cobrança pela água, bem como ocorrem vazamentos que permanecem longo tempo sem reparo (FRAUENDORFER; LIEMBERGER, 2010; ABES, 2015).

Para Frauendorfer e Liemberger (2010), o controle de vazamentos de água nos sistemas de distribuição é uma valiosa ação para preservar os recursos hídricos, principalmente no atual quadro de escassez hídrica e mudanças e anomalias climáticas, sendo essencial para o desenvolvimento urbano sustentável. Os autores citam ainda que as diversas medidas de controle de vazamentos criam oportunidades de emprego, estimulando o crescimento econômico e promovendo interesses sociais.

2.3 RELAÇÕES ENTRE SISTEMAS DE ABASTACIMENTO DE ÁGUA, PRESTAÇÃO DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO E PERDAS DE ÁGUA

2.3.1 Concepção e princípios de um sistema de abastecimento de água

Os SAA são compostos por conjuntos de equipamentos, infraestruturas e serviços para atender os usos do consumo doméstico, na indústria, no comércio, e no serviço público. O ciclo é formado pelos seguintes constituintes: manancial; captação; estação elevatória; adutora; estação de tratamento de água (ETA); reservatório; e rede de distribuição. Suas respectivas definições podem ser observadas no Quadro 2. O objetivo principal de um SAA é fornecer ao usuário uma água própria para consumo humano, quantidade adequada e pressão suficiente. O esquema genérico da sequência e composição dos SAA pode ser observado na Figura 1.

No Brasil, há diversas normas (Tabela 2), conhecidas como Normas Brasileiras (NBR), que determinam e padronizam características e condições para condução dos estudos e execução dos projetos envolvidos para a prestação do serviço de abastecimento de água. Apesar de haver grandes considerações discricionárias por parte dos prestadores de serviço dos SAA, muitas delas devem seguir as premissas preconizadas pelas normativas, que apresentam condições confiáveis e fundadas para a eficiência da prestação desse serviço. Além disso, é determinado que o atendimento do padrão de potabilidade que seriam os requisitos mínimos para a água que é distribuída pelos SAA, deve seguir o constante do Anexo XX da Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021. Desse modo, o padrão de potabilidade pode ser considerado determinante para as condições estruturais que as unidades de tratamento e dos quesitos de operação precisam seguir, em especial no que diz respeito ao uso e concentração de produtos para modificação da qualidade da água.

Quadro 2 – Definição dos diferentes componentes existentes em um Sistema de Abastecimento de Água

(continua)

Componente	**Definição**	
	Tsutiya (2006)	**Heller e Pádua (2010)**
Manancial	É o corpo de água superficial ou subterrâneo, de onde é retirada a água para o abastecimento. Deve fornecer vazão suficiente para atender a demanda de água no período de projeto, e a qualidade dessa água deve ser adequada sob o ponto de vista sanitário.	Fonte de água, a partir de onde é abastecido o sistema.

Fonte: Tsutiya (2006); Heller e Pádua (2010).

Quadro 2 – Definição dos diferentes componentes existentes em um Sistema de Abastecimento de Água

(continuação)

Componente	Definição	
	Tsutiya (2006)	**Heller e Pádua (2010)**
Captação	Conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para a retirada de água destinada ao sistema de abastecimento.	Consiste na estrutura responsável pela extração de água do manancial, a fim de torná-la disponível para seu transporte para os locais de utilização. Pode ser de muitas e diferentes formas, em função do tipo de manancial. Seu projeto, sobretudo quando se refere à captação em manancial de superfície, deve considerar cuidadosamente as características físicas do curso d'água e de suas margens, bem como as variações sazonais de vazão, uma vez que se trata de uma unidade de muita responsabilidade no sistema e, por se localizar no curso d'água, fica sujeita à ação das intempéries.
Estação elevatória	Conjunto de obras e equipamentos destinados a recalcar a água para a unidade seguinte. Em SAA, geralmente há várias estações elevatórias, tanto para recalque de água bruta, como para o recalque de água tratada. Também é comum a estação elevatória, tipo *booster*, que se destina a aumentar a pressão e/ou vazão em adutoras ou redes de distribuição de água.	Podem se mostrar necessárias quando a água necessita atingir níveis mais elevados, vencendo desníveis geométricos. Existem SAA sem estações elevatórias, da mesma forma que existem outros com dezenas (às vezes centenas) delas. Seu emprego é em função, principalmente, do relevo local. Podem ser classificadas segundo a água que recalcam (bruta ou tratada) e o tipo de bomba.
Adutora	Canalização que se destinada conduzir água entre as unidades que precedem a rede de distribuição. Não distribuem a água aos consumidores, mas podem existir as derivações que são as sub-adutoras.	Destina-se a transportar a água, interligando unidades de captação, tratamento, estações elevatórias, reservação e rede de distribuição. Em função da água que transporta, pode ser adutora de água bruta ou de água tratada e, em função de suas características hidráulicas, pode ser em conduto livre, em conduto forçado por gravidade ou em recalque.
Estação de tratamento de água	Conjunto de unidades destinado a tratar a água de modo a adequar as suas características aos padrões de potabilidade.	De implantação sempre necessária, para compatibilizar a qualidade da água bruta com os padrões de potabilidade e proteger a saúde da população consumidora.
Reservatório	É o elemento do sistema de distribuição de água destinado a regularizar as variações entre as vazões de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição.	Destinam-se, entre outras funções, a realizar a compensação entre a vazão de produção — oriunda da captação-adução-trata- mento, que em geral é fixa ou tem poucas variações — e as vazões de consumo, variáveis ao longo das horas do dia e ao longo dos dias do ano. Podem assumir diferentes formas, em função de sua posição no terreno (apoiado, elevado, semienterrado, enterrado) e de sua posição em relação à rede de distribuição (de montante ou de jusante).

Fonte: Tsutiya (2006); Heller e Pádua (2010).

Quadro 2 – Definição dos diferentes componentes existentes em um Sistema de Abastecimento de Água

(conclusão)

Componente	Definição	
	Tsutiya (2006)	**Heller e Pádua (2010)**
Rede de distribuição	Parte do sistema de abastecimento de água formada de tubulações e órgãos acessórios, destinada a colocar água potável à disposição dos consumidores, de forma contínua, em quantidade e pressão recomendada.	É composta de tubulações, conexões e peças especiais, localizados nos logradouros públicos, e tem por função distribuir água até residências, estabelecimentos comerciais, indústrias e locais públicos. Pode assumir configurações bastante simples até extremamente complexas, em função do porte, da densidade demográfica, da distribuição e da topografia da área abastecida.

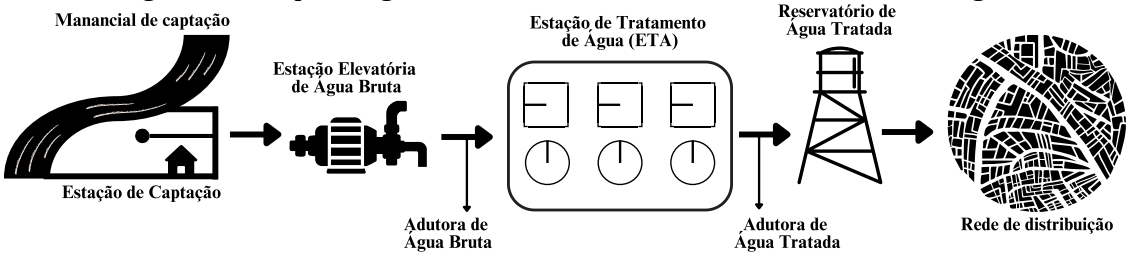
Fonte: Tsutiya (2006); Heller e Pádua (2010).

Tabela 2 – Normas brasileiras relacionadas aos projetos de Sistemas de Abastecimento

Norma	Título
NBR 12211/1992	Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água
NBR 12212/2017	Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea
NBR 12213/1992	Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público
NBR 12214/2020	Projeto de estação de bombeamento ou de estação elevatória de água
NBR 12215/2017	Projeto de adutora de água
NBR 12216/1992	Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público
NBR 12217/1994	Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público
NBR 12218/2017	Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público

Fonte: Organizado pelo autor.

Figura 1 – Esquema genérico dos Sistemas de Abastecimento de Água



Fonte: Elaborado pelo autor.

A água produzida pode ser entendida como a quantia de água medida ou estimada na saída da ETA, fornecida pelo prestador que é transportada pela rede de distribuição até que chegue no ramal domiciliar, estrutura que conecta as redes às unidades consumidoras que podem ser casas, prédios residenciais ou comerciais, escolas, hospitais, dentre outros.

Disponível para o consumo dos usuários, a água consumida pode ser compreendida como a quantidade consumida pelos usuários, geralmente medida através de hidrômetros ou por volumes estimados, quando não há medição do consumo (PEARSON, 2019; SNIS, 2023a).

Um SAA eficiente e bem gerido possui uma medição contínua, para ter controle do quanto se produz o do quanto é perdido. Essa medição se dá em todas as etapas da operação, compreendida desde a captação da água bruta até chegar no consumidor, no qual se espera, naturalmente, que apresente um saldo negativo, medindo dessa forma as PA que ocorreram ao longo da prestação do serviço. Para isso existem as micromedições, conhecidas como hidrometração, e as macromedições, no qual as primeiras são realizadas através de hidrômetros, localizados entre o ramal de distribuição e o ramal domiciliar, e as segundas por meio de diferentes equipamentos em diferentes pontos na rede de distribuição (SNIS, 2023a).

Como previsto na Lei n° 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, compete aos municípios a titularidade de serviços públicos de saneamento básico, dentre elas a prestação do serviço de abastecimento de água. Ainda, cabe aos municípios escolher a forma de prestação desses serviços, se diretamente ou por delegação à iniciativa privada, mediante contrato. A mesma lei, é regulamentada pelo Decreto n° 7.217/2010, que apresenta com um dos objetivos, da regulação o dos serviços, a definição de tarifas e outros preços públicos que assegurem tanto o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos, quanto a modicidade tarifária e de outros preços públicos, mediante mecanismos que induzam a eficiência e eficácia dos serviços e que permitam a apropriação social dos ganhos de produtividade. Nesse sentido, há uma necessidade de definição que ocorre de forma específica, para cada prestador, o valor unitário da tarifa (R$/m³) que é influenciada por diversos fatores, como custos e investimentos realizados por parte do prestador, em infraestrutura, contrato e até pela outorga do uso dos recursos hídricos, pelas condições de eficiência da prestação, e também pelas condições locais econômicas e sociais.

2.3.2 Balanço Hídrico nos sistemas de abastecimento e perdas de água

Em função da existência de captação e distribuição de água, pode-se considerar que há um saldo entre o quanto se capta e distribui, nesse sentido, entende-se que existe um balanço hídrico dentro do SAA, passível de ser calculado. A IWA publicou o

documento, elaborado por Hirner e Lambert (2000), que é traduzido para “Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água: Terminologia Padrão e Medidas de Desempenho Recomendadas” e buscou padronizar as seguintes informações a respeito das PA dos SAA:

a) **Perdas de Água:** PA podem ser consideradas como o volume total do sistema inteiro, ou por sistemas parciais, tais como adutoras de água bruta, adutoras de água tratada ou sistema de distribuição. Em cada caso, os elementos de cálculo podem ser ajustados adequadamente. PA consistem em perdas reais e aparentes.

b) **Perdas Reais:** são perdas físicas de água do sistema pressurizado até o ponto de hidrometração. O volume perdido através de todos os tipos de vazamentos, rompimentos e extravasões depende da frequência, vazão e durações médias de vazamentos individuais.

c) **Perdas Aparentes:** consistem em consumo não autorizado (furto ou uso ilegal), e todos os tipos de imprecisões associadas com macro e micromedição. Sub-medição da produção e sobre-medição dos usuários levam à subavaliação das perdas reais. Sobrestimar a produção e subestimar o consumo dos usuários, conduz à sobrestimativa de perdas reais.

O mesmo documento ainda dispõe um quadro que separa as componentes do balanço hídrico para um sistema de distribuição de água, que foi traduzido e adaptado e está disposto no Quadro 3. O cálculo do balanço hídrico é composto por medições ou estimativas da água que se diferem como produzida, importada, exportada, consumida ou perdida. Esse cálculo se apresenta como o principal modelo para uma avaliação e um controle das PA existentes. Entende-se que a premissa para o desenvolvimento do balanço ocorra na medição do quanto de água que se introduz ao sistema, da forma mais precisa possível, em função dessa informação corresponder aos dados primários de qualquer indicador de perda de água.

Quadro 3 – Componentes do Balanço Hídrico para um Sistema de Adução de Água Tratada ou de um Sistema de Distribuição

<table>
<tr><td rowspan="8">Volume de entrada no Sistema</td><td rowspan="4">Consumo Autorizado</td><td rowspan="2">Consumo autorizado faturado</td><td>Consumo medido faturado</td><td rowspan="2">Água faturada</td></tr>
<tr><td>Consumo estimado faturado</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Consumo autorizado não faturado</td><td>Consumo medido não faturado</td><td rowspan="6">Água não faturada</td></tr>
<tr><td>Consumo não medido não faturado</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Perdas de água</td><td rowspan="2">Perdas aparentes</td><td>Consumo não autorizado</td></tr>
<tr><td>Imprecisão de medição</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Perdas reais</td><td>Vazamentos e extravasamentos em reservatórios</td></tr>
<tr><td>Vazamentos em adutoras e redes</td></tr>
<tr><td>Vazamentos em ramais até o ponto de medição do cliente</td></tr>
</table>

Fonte: Hirner e Lambert (2000).

O balanço pode ser construído de duas formas distintas, que seriam pelos métodos de cima para baixo (*top-down*) ou de baixo para cima (*bottom-up*). Na abordagem de cima para baixo se estimam as perdas reais a partir da subtração das perdas totais com as perdas aparentes. Já na abordagem de baixo para cima é visado medir as perdas aparentes ao se utilizar o monitoramento contínuo da vazão mínima noturna, para determinar as perdas reais, e completando o balanço pela subtração das perdas totais com as reais (MIRANDA, 2002; VICENTINI, 2012; MANZI, 2020).

As principais componentes do balanço hídrico podem ser definidas, de acordo com Pearson (2019), da seguinte maneira:

a) **Volume de entrada no sistema:** é o volume de água tratada que pode ser produzido pela própria companhia ou importada para o sistema e é introduzido para o SAA. Nota-se que no balanço hídrico não se consideram as PA existentes entre o ponto de captação e a montante da ETA.

b) **Consumo autorizado:** volume de água medida e/ou não medida que é consumido pelos usuários cadastrados, podendo ser para fins residenciais, comerciais, municipais e industriais. Também se inclui a água utilizada pelos militares, governo e outros usuários públicos, mesmo que fornecida gratuitamente. O consumo autorizado pode incluir itens como água utilizada para o combate de incêndios, exercícios de treinamento de incêndio, descarga de água da rede e esgotos, limpeza de ruas, irrigação de jardins municipais, fontes públicas e

proteção contra geadas, entre outros que podem ser medidos ou não, ou ainda faturados ou não.

c) **Água faturada:** volume de água que resulta em receita para companhia.

d) **Água não faturada:** volume de água que não é faturada e não produz receita. É o montante do consumo autorizado não faturado, com as perdas reais e perdas aparentes.

2.3.3 Relação entre gestão de recursos hídricos e sistemas de abastecimento de água

As maiores dificuldades que giram em torno de um sistema de gestão de recursos hídricos são as incertezas relacionadas aos eventos naturais e algumas condições socioeconômicas futuras que podem ser no máximo especuladas com base no passado e no que se espera que possa ocorrer, o que por consequência, atribui alguns riscos. Um SAA deve ser sempre projetado levando em consideração esses fatores estocásticos, de modo a ser capaz de se sobrepor às possíveis adversidades, tornando-se resiliente, de modo a contribuir com a resiliência de todo o sistema de gerenciamento dos recursos hídricos (Brown *et al.* 2015; Ren *et al.* 2020).

Dentre as dificuldades que se associam pelas incertezas, tanto na gestão dos recursos hídricos quanto na prestação do serviço de abastecimento de água, pode-se destacar que a infraestrutura dos SAA possui capacidades máximas e mínimas bem nítidas, sem que haja uma grande expansão e investimento dessa infraestrutura. Contudo, essas opções são onerosas e podem ser substituídas, muitas vezes, por uma gestão urbana e política, em função das capacidades do meio ambiente e econômicas regionais. O que ocorre muitas vezes é que os gestores, detentores de força política, não respeitam as capacidades limitantes do meio ambiente local, sobrecarregando-o e se distanciando de um sistema sustentável. Isso pode ocorrer, comumente, pela falta de informação holística do sistema ambiental que leva às decisões equivocadas para a gestão dos recursos hídricos e para o gerenciamento dos SAA (Shi *et al.*, 2018; Ren *et al.*, 2019; Ren *et al.*, 2020).

Um meio para se propor aos equívocos no processo decisório, por parte dos gestores que frequentemente desconhecem o funcionamento do sistema ambiental e a relação que as condições socioeconômicas possuem, seria pelo desenvolvimento de

modelos mais holísticos. Esses modelos devem levar os diversos fatores associados – certos e incertos –, de modo a sobrepor a imprevisibilidade das variáveis estocásticas, pela construção de diversos cenários, com respostas objetivas e evidentes. Isso deixaria à disposição do gestor um maior grau de segurança para tratar as condições que levam sua gestão a um risco (Ren *et al.*, 2019; Ren *et al.* 2020).

A falta de previsão dessas condições é inerente a todos os SAA. Assim, uma decisão tomada com um modelo determinístico baseado na satisfação das condições de demanda/fornecimento sem considerar a incerteza, pode resultar em duas consequências: benefícios líquidos inferiores ao esperado (ou seja, é mais caro fornecer a água desejada); alguma probabilidade de falha do SAA, cujo a falha é definida como não atender a uma determinada demanda ou outra restrição do sistema, conduzindo à busca por respostas atenuadoras e não solucionadoras dessa falha (CHUNG; LANSEY; BAYRAKSAN, 2009).

O desempenho de um SAA depende do funcionamento eficiente e confiável de todos os quesitos funcionais, incluindo recursos hídricos, ativos físicos, atividades operacionais, pessoal e atividades ambientais e financeiras. O desempenho de um SAA é avaliado para estimar indiretamente as condições e necessidades de reabilitação para garantir o trabalho contínuo e confiável de todos estes componentes do SAA durante toda a sua vida útil antes da ocorrência de uma falha ou redução de sua vida útil por motivos estruturais limitantes. Uma vez ocorrida uma falha, o custo de uma ação corretiva é muito maior do que uma ação preventiva planejada teria tido. (HAIDER; SADIQ; TESFAMARIAM, 2014).

2.4 QUESITOS ATRELADOS À PRESTAÇÃO DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Existem diversos quesitos que estão atrelados à prestação do serviço de abastecimento de água que influenciam a própria prestação, assim como outros sistemas e instituições vinculadas à prestação desse serviço.

Um quesito fortemente influenciador na prestação do serviço de abastecimento público é que esse serviço é caracterizado por ser uma prestação por meio de monopólio natural. O monopólio natural na prestação de serviços públicos é um conceito econômico que se refere à situação em que uma única empresa ou entidade é capaz de fornecer um determinado serviço de maneira mais eficiente e a um custo menor do que várias empresas

concorrentes. Essa eficiência decorre de características intrínsecas ao serviço em questão, tais como custos fixos altos, economias de escala e a necessidade de uma infraestrutura complexa. Um monopólio natural surge quando a existência de economias de escala impede que duas ou mais empresas atendam a um mercado com custos mais baixos do que uma única empresa (MOSCA, 2008).

Um exemplo de monopólio natural, além da prestação de serviço de abastecimento, é a transmissão e distribuição de energia elétrica. Devido à necessidade de uma rede complexa de linhas de transmissão e distribuição, é mais eficiente ter uma única empresa responsável por esse serviço. O monopólio natural na transmissão e distribuição de energia é uma resposta eficiente à necessidade de grandes investimentos em infraestrutura e à natureza do produto, que é um bem essencial para a sociedade. Além disso, permitir a concorrência nesse setor poderia resultar em duplicação desnecessária de infraestrutura e aumento dos custos para os consumidores (SANTOS *et al.*, 2021).

Em muitos casos, o monopólio natural na prestação de serviços públicos é regulado pelo Estado para garantir o acesso universal e preços justos. A regulação do monopólio natural busca equilibrar os incentivos para a eficiência e o acesso universal, limitando o poder de mercado da empresa monopolista e promovendo a concorrência em segmentos em que essa é possível. A regulação, portanto, desempenha um papel fundamental na definição de tarifas adequadas, estabelecendo padrões de qualidade e monitorando o desempenho das empresas. Dessa forma, o monopólio natural na prestação de serviços públicos visa conciliar a eficiência econômica com o interesse público (MOSCA, 2008).

Outro quesito que influencia a prestação do serviço, essencialmente sob os quesitos econômicos de operação, é a fonte de captação do SAA que condiciona toda a infraestrutura posterior à determinação dessa fonte. A fonte de captação pode ter um impacto significativo nos custos de produção de água tratada. A captação de água de fontes superficiais geralmente requer menos investimento inicial em infraestrutura, como poços profundos e bombas de alta capacidade. O custo de captação de água superficial é geralmente menor devido à disponibilidade de água em mananciais próximos e à facilidade de seu acesso. No entanto, esse método também está sujeito a variações sazonais e a eventos climáticos extremos, o que pode afetar negativamente a qualidade e a quantidade de água disponível, aumentando, por outro lado, os custos atrelados aos processos de tratamento (WINTER *et al.*, 1998; GIORDANO, 2009; BARROS; PEREIRA, 2023).

Opostamente, a captação de água subterrânea pode apresentar custos iniciais mais elevados. A perfuração e a manutenção de poços profundos exigem investimentos substanciais em equipamentos e pessoal especializado. No entanto, a água subterrânea é geralmente mais estável em termos de quantidade e qualidade, pois é menos afetada por variações climáticas sazonais e eventos extremos. Isso pode reduzir os custos de tratamento, tornando a captação de água subterrânea uma opção mais viável a longo prazo, especialmente em regiões onde a disponibilidade de água superficial é limitada (WINTER *et al.*, 1998; GIORDANO, 2009; BARROS; PEREIRA, 2023).

A partir disso, a diferença entre o uso da captação de água superficial e subterrânea pode afetar os custos de produção de água tratada, especialmente sob diferentes vazões de operação. Embora a captação de água superficial possa ter custos iniciais mais baixos, os riscos associados à disponibilidade e à qualidade da água podem aumentar os custos de tratamento ao longo do tempo. Por outro lado, a captação de água subterrânea requer um investimento inicial maior, mas oferece uma fonte mais estável e potencialmente mais econômica a longo prazo. Além disso, os investimentos em águas subterrâneas podem ser escalonados ao longo do tempo e no espaço, à medida que as cidades crescem e a infraestrutura se expande principalmente na forma de poços. A seleção da fonte de captação deve ser baseada em uma análise abrangente dos fatores locais, incluindo disponibilidade de água, qualidade da água, custos de infraestrutura e demanda futura. (WINTER *et al.*, 1998; GIORDANO, 2009; MANZIONE, 2015; BARROS; PEREIRA, 2023).

Um aspecto vinculado à operação dos SAA, seja qual for a fonte de captação, é a utilização de energia elétrica, tanto para transporte quando para tratamento da água, tratada ou não. A energia elétrica utilizada pelos SAA é geralmente advinda das redes de eletricidade fornecidas pelas prestadores do serviço de abastecimento de energia elétrica. A matriz elétrica brasileira é composta por diversas fontes de geração de energia, sendo a hidrelétrica a principal delas, seguido das termoelétricas, segundo disposições do Sistema de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2023). A Tabela 3 apresenta a relação dos tipos de matriz elétrica, juntamente com as potências outorgada e fiscalizada, além da contribuição da potência fiscalizada no montante, em %.

Tabela 3 – Relação da matriz elétrica nacional

Tipo	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Contribuição Potência Fiscalizada (%)
Usina Hidroelétrica	103.487.521,00	103.195.357,00	53,65%
Usina Termoelétrica	55.929.546,01	46.220.368,41	24,03%
Central geradora eólica	50.928.388,86	25.682.523,86	13,35%
Central geradora solar fotovoltaica	117.132.705,13	8.632.175,35	4,49%
Pequena central hidroelétrica	7.239.264,22	5.734.419,57	2,98%
Usina termonuclear	3.340.000,00	1.990.000,00	1,03%
Central geradora hidroelétrica	890.650,16	878.791,16	0,46%
Total	**338.948.075,38**	**192.333.635,35**	**100,00%**

Fonte: ANEEL (2023).

O montante de contribuição da matriz elétrica nacional associada a geração por potencial hidroelétrico que é composto pelos tipos: Usina Hidroelétrica; Pequena central hidroelétrica; e Central geradora hidroelétrica, chegarem a compor 57,09% da geração elétrica nacional. Dentre os tipos de geração a partir do potencial hidroelétrico, destaca-se que as Usinas Hidroelétricas, no geral, são as que operam a partir de um sistema de barragem para acumulação do potencial hídrico.

Outro aspecto vinculado à prestação do serviço de abastecimento, porém não ocorrem em todos os casos, é também a implementação de um sistema de barragem para acumulação de volume hídrico, para garantir a regularização do abastecimento. Quando uma barragem é construída, ocorre o processo de barramento, no qual uma área é alagada para formar um reservatório. Esse alagamento pode afetar significativamente a paisagem e os ecossistemas locais. A relação entre as barragens de água e a área alagada formada pelo processo de barramento está intimamente ligada à topografia e à hidrologia da região em que a barragem é construída. O tamanho da área alagada depende principalmente do relevo do terreno e da quantidade de água disponível para formar o reservatório. Em geral, áreas com vales estreitos e profundidades elevadas são mais adequadas para a formação de grandes reservatórios, resultando em uma área alagada maior (WU *et al.*, 2019).

A área alagada por uma barragem pode ter efeitos significativos sobre os ecossistemas aquáticos e terrestres. A inundação de uma área previamente seca cria um novo habitat aquático, proporcionando condições favoráveis para o desenvolvimento de espécies aquáticas. No entanto, o aumento da área alagada também pode levar à perda de

habitats terrestres, como florestas e áreas agrícolas, impactando a biodiversidade e a atividade econômica local (VASCO; NETTO; SILVA, 2019).

2.5 PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

As PA nos SAA são consideradas inevitáveis. No entanto, há de se reconhecer que as perdas aparentes são passíveis de se reduzirem a um valor próximo de 5% como preconizado pela IWA, ao contrário das perdas reais que seriam inevitáveis, dentro de um ponto de vista sustentável, consideravelmente distante de zero (MANZI, 2020). Em função disso, torna-se possível avaliar quais seriam os fatores que condicionam ambas as PA a existirem e como poderiam ser geridas, visando um caráter mais sustentável para operação dos SAA.

A perda real pode ser conceituada como o volume de água que adentra ao sistema de distribuição de água e não chega ao consumidor final, em detrimento dos vazamentos que ocorrem nas adutoras, ramais e reservatórios. Portanto, considera-se que a incidência das perdas reais de água estão associadas às condições de infraestrutura do sistema (COM+ÁGUA, 2018a). A seguir, são descritas, de acordo com Vicentini (2012) e Ahopelto e Vahala (2020), as principais causas para que ocorram as perdas reais:

a) **Vazamentos em adutoras:** influente contribuidor para as perdas reais, que se agrava fortemente em função da pressão que é exercida ao longo de toda a tubulação. Os vazamentos podem ocorrer em função do transiente hidráulico, falhas na operação, movimentação do solo, envelhecimento dos materiais, baixa qualidade de mão-de-obra e dos materiais, deficiência de projeto, manutenção ineficiente, e intensidade de tráfego de veículos.

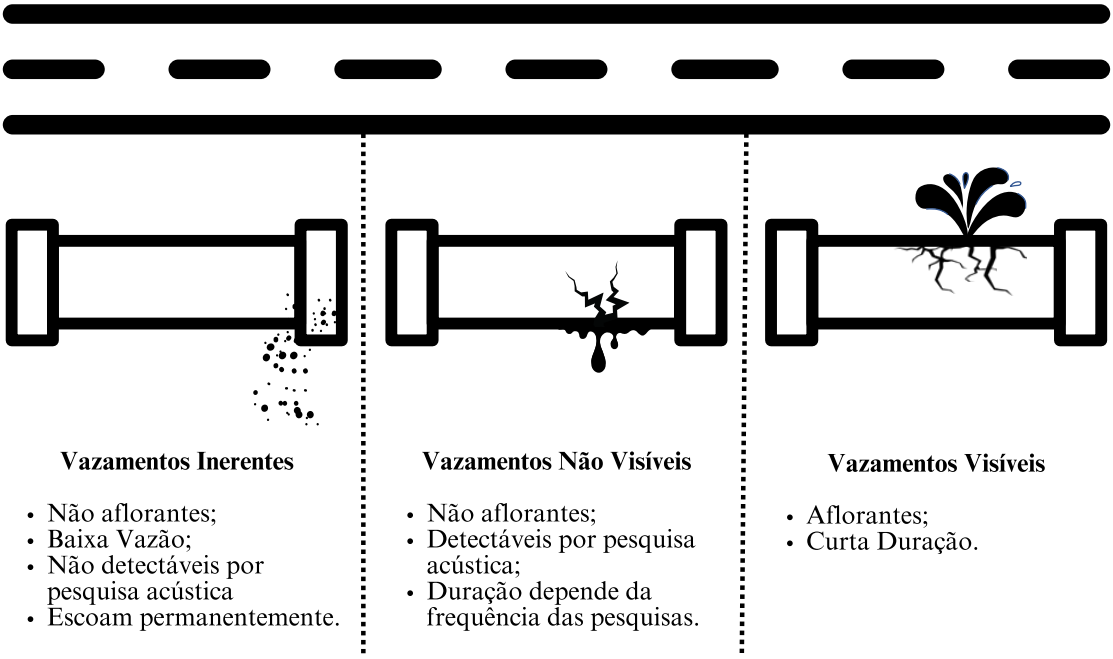
b) **Vazamento em redes e ramais:** principal contribuidor para as perdas reais, ocasionada por intervenção de terceiros, corrosividade da água e do solo, inexistência de política de detecção de vazamentos, além dos mesmos fatores que ocasionam os vazamentos em adutoras.

c) **Vazamento e extravasamentos em reservatórios:** os vazamentos podem ocorrer através de rachaduras ou fissuras das paredes, em função da má qualidade da execução da obra e dos materiais, e pelo envelhecimento dos materiais. Os

extravasamentos podem ocorrem pela deficiência ou inexistência de automação das unidades de bombeamento e controle do nível de reservação.

A representa os diferentes tipos de vazamentos, que ocorrem em tubulações, e quais seriam as suas respectivas características.

Figura 2 – Diferentes tipos de vazamentos em tubulações



Fonte: Elaborado pelo autor.

As perdas aparentes, quando comparadas às perdas reais, apresentam maior efeito negativo na geração de receitas para o prestador, que por sua vez, geram dificuldades para a companhia em se sobrepor, por meio de investimentos próprios, na contenção das perdas reais. Um fator importante, em relação às perdas aparentes, é que quando subestimadas, essas resultam em superestimação das perdas reais no processo de auditoria. Também, destaca-se que as ações deste segmento custam relativamente menos, pois não demandam obras de grande porte e os benefícios são valorados por tarifas médias. Isso equivale a dizer que as ações de controle das perdas aparentes, frequentemente, têm retorno de investimento mais rápido que os das perdas reais (VICENTINI, 2012; COM+ÁGUA, 2018a). A seguir serão descritas as principais causas, de acordo com Vicentini (2012), das perdas aparentes:

a) **Erro dos medidores de vazão:** os erros podem ocorrer nas macromedições e nas micromedições. As macromedições podem apresentam imprecisões, que variam em função de sua instalação inadequada, descalibração, dimensionamento inadequado, amplitude grande entre as vazões máximas e as mínimas, problemas com a instrumentação, e problemas na transmissão de dados, quando se utiliza telemetria. As micromedições podem apresentar imprecisões em função do envelhecimento do hidrômetro, inclinação lateral do hidrômetro e pelas características do perfil de consumo dos imóveis, onde dificilmente ocorrem vazões próximas à nominal do hidrômetro, situando-se na maior parte das vezes na faixa inferior à vazão mínima. Mais conhecido como "efeito caixa d'água", nos imóveis onde existem caixas d'água domiciliares, faz com que as vazões que passam pelo hidrômetro sejam menores do que as ocorrentes no ponto de consumo.

b) **Gestão comercial:** a gestão comercial compreende os processos, sistemas e recursos humanos que permitem a contabilização dos consumos de água tratada. As perdas aparentes da gestão comercial seriam advindas das falhas do cadastro comercial, ligações clandestinas, fraudes nos hidrômetros, inexistência de hidrometração, roubos de água, e falta de acompanhamento e controles sistematizados dos consumos medidos faturados.

2.5.1 Indicadores e perdas de água

Em um contexto de busca de compreensão das condições existentes dos SAA e de como a prestação de um serviço essencial à vida pode ser melhorado, os indicadores se demonstram como um instrumento crucial para o suporte às companhias de saneamento, ao demonstrarem objetivamente as condições existentes da prestação. Assim como quanto de perda de água pode ser estimada em um determinado período, o que permite uma comparação de eficiência do próprio SAA e com outros. Entretanto, ressalva-se que os indicadores não se apresentam como um meio cujo fim seja apenas comparativo entre diferentes SAA, na realidade, esses devem ser observados acompanhados sob uma perspectiva temporal. Especialmente para que sejam capazes de contribuir com o entendimento da progresso do serviço (MIRANDA, 2002; ALEGRE *et al.*, 2016).

De acordo com Mutikanga *et al.* (2010), desde o começo do século 21, houve uma crescente tendência e necessidade de acompanhar e comparar os diferentes aspectos do desempenho dos prestadores de serviços de saneamento, no mundo todo, por motivos de transparência e de incentivo à eficiência. Nesse processo, diversos países desenvolvidos conseguiram implementar sistemas de avaliação de desempenho de forma muito similar e com alta eficácia no acompanhamento, no entanto, esse mesmo êxito não foi observado na maioria dos países em desenvolvimento, tanto na adoção de um sistema quanto na capacidade de geração de dados. Em função disso, a IWA, ao publicar o manual *Performance Indicators for Water Supply Services*, elaborado por Alegre *et al.* (2016), visou padronizar indicadores de desempenho que pudessem ser utilizados em todo o mundo, ao apresentar variados indicadores de PA.

A seguir estão dispostos os indicadores de PA mais utilizados ao redor do mundo:

a) Índice percentual

O índice percentual relaciona o volume total por um período fornecido (volume produzido ou disponibilizado ao SAA) e os volumes autorizados (faturados e não faturados). A medição pode ser realizada desde a captação até o consumidor final, ou ainda apenas para parte do SAA, quando se visa apenas avaliar uma parte distinta das demais. O cálculo do índice percentual é apresentado pela Equação 1.

$$\mathrm{IP} = \frac{\mathrm{Vfor} - \mathrm{Vaut\ fat} - \mathrm{Vaut\ não\ fat}}{\mathrm{V\ for}} \times 100\ (\%) \qquad (1)$$

Sendo:

- IP: índice percentual, em %;
- Vfor: volume fornecido, em m³/unidade de tempo;
- Vaut fat: volume autorizado faturado, em m³/unidade de tempo; e
- Vaut não fat: volume autorizado não faturado, em m³/unidade de tempo.

Este indicador, apesar de apresentar fácil compreensão pelos técnicos e população em geral, dificulta a comparação entre diferentes SAA ou setores de abastecimento, por ser influenciado pelo consumo per capita, pela presença de grandes consumidores e pela variação de consumo. Ainda, algumas análises mostram que para SAA com o mesmo volume de PA, quanto maior o consumo, menor o valor percentual das PA, demonstrando

suas limitações para observar o fenômeno de PA de forma mais ampla (MIRANDA, 2002; VICENTINI, 2012).

b) Índice de perdas por ramal

O índice de perdas por ramais faz uma relação entre o volume perdido total anual com o número médio de ramais existentes na rede de distribuição de água. O cálculo do índice de perdas por ramal é apresentado pela Equação 2.

$$\text{IPR} = \frac{\text{Vol per an}}{\text{n° de ram x } 365} \ \left(\frac{\text{m}^3}{\text{ramal. dia}}\right) \quad (2)$$

Sendo:

- IPR: índice de perdas por ramal, em m³/ramal.dia;
- Vol per an: volume perdido anual, em m³/ano; e
- n° de ram: número de ramais em funcionamento do sistema, sem unidade.

Segundo Vicentini (2012), esse indicador apresenta foco nas PA ocorridas nos ramais de ligações ativas e depende diretamente da densidade desses ramais. Também recomenda que devido à tendência em ocorrerem valores muito elevados em regiões com baixa ocupação urbana, sua utilização é recomendada para áreas cujas densidades de ramais sejam superiores a 20 ramais/km. E ainda ressalva que em geral os gestores das operadoras apresentam esse indicador rateado entre as perdas reais e as perdas aparentes.

c) Índice de perdas por extensão de rede

O indicador de perdas por extensão de rede faz uma relação entre o volume perdido total anual com a extensão da rede de distribuição de água existente no SAA em análise. O cálculo do índice de perdas por extensão de rede é apresentado pela Equação 3.

$$\text{IP ext de rede} = \frac{\text{Vol per an}}{\text{Ext rede x } 365} \ \left(\frac{\text{m}^3}{\text{km. dia}}\right) \quad (3)$$

Sendo:

- IPR: índice de perdas por ramal, em m³/km.dia;
- Vol per an: volume perdido anual, em m³/ano; e

- Ext rede: extensão total da rede de distribuição, em km.

Como recomenda Vicentini (2012), esse indicador apresenta maior potencialidade de uso em áreas com densidade de ramais inferior a 20 ramais/km, e alerta que a fragilidade desse indicador é o mesmo do de perdas por ramis, em função de não levarem em consideração a pressão de operação da rede, entre as variáveis consideradas.

d) Índice infraestrutural de perdas

O índice infraestrutural de perdas faz uma relação entre o volume perdido anual com o volume perdido inevitável anual, que por sua vez leva em consideração o comprimento da rede, o número de ligações e a pressão média da rede. O cálculo do índice infraestrutural de perdas é apresentado pela Equação 4, que é composto pela variável do Volume perdido inevitável anual, cujo cálculo está disposto pela Equação 5.

$$\text{IFP} = \frac{\text{Vol per an}}{\text{Vol per in an}} \text{ (adimensional)} \quad (4)$$

Sendo:

- IFP: índice de perdas por ramal, em m³/km.dia;
- Vol per an: volume perdido anual, em m³/ano; e
- Vol per in an: volume perdido inevitável anual, em km.

$$\text{Vol per in an} = (18 \text{ x Lm} + 0{,}8 \text{ Nc x } 25 \text{ Lp}) \text{ x P } (\frac{\text{m}^3}{\text{ano}}) \quad (5)$$

Sendo:

- Vol per an: volume perdido anual, em m³/ano;
- Lm: extensão total da rede, em km;
- Nc: número de ligações pressurizadas, sem unidade;
- Lp: comprimento médio dos ramais prediais, em km; e
- P: pressão média operacional, em metros de coluna de água (mca).

Como destaca Vicentini (2012), esse indicador apresenta a vantagem de levar em consideração a pressão de operação, que influencia bastante a ocorrência de PA, e ainda recomenda que a utilização desse seja para setores com mais de 5000 ligações, pressões acima de 20 metros de coluna de água e densidade de ligações não inferior a 10 lig/km.

Exposto por Lambert *et al.* (1999), os indicadores de desempenho para PA são geralmente selecionados com base na sua simplicidade de cálculo, tradição do país, disponibilidade de dados para os cálculos e pela impressão de desempenho que agregam. O comparativo entre as características dos diferentes indicadores que são mais utilizados está disposto na Tabela 4.

Tabela 4 – Características dos principais indicadores de perdas de água

Indicador	**Comprimento da rede**	**Número de ramais**	**Pressão média de operação**	**Localização dos consumidores**	**Continuidade do serviço**
Percentual (%)	Não	Não	Não	Não	Não
Perdas por ramal (m^3/ramal.dia)	Não	Sim	Não	Não	Não
Perdas por extensão de rede (m^3/km.dia)	Sim	Não	Não	Não	Não
Infraestrutural de perdas	Sim	Sim	Sim	Não	Não

Fonte: Lambert *et al.* (1999).

No âmbito nacional os indicadores utilizados, de acordo com o SNIS, são os indicadores de PA em SAA: em percentual – Índice de perdas na distribuição (IN049); em litros por ligação ao dia – Índice de perdas por ligação (IN051); e em metros cúbicos por quilômetro de rede ao dia – Índice bruto de perdas lineares (IN050).

2.5.2 Controle e gestão de perdas de água

Para que haja um controle efetivo das PA existentes é preciso que haja, primeiramente, uma boa gestão e bom planejamento, para que se sejam executados os diversos meios de controle e combate às PA. Torna-se evidente que cada SAA, por apresentar condições singulares, possui distintas medidas a serem adotadas no processo de controle das PA, em que, por exemplo, as perdas aparentes podem demandar maiores esforços sob às reais, em função de suas proporções.

A ABES (2015), em seu documento Controle e redução de perdas nos Sistemas Públicos de Abastecimento de Água, traz dois questionamentos triviais sobre a gestão de PA, que seriam: "*Até que ponto as perdas devem ser combatidas? Um sistema atinge a*

sua máxima eficiência operacional quando alcança valores de perdas próximos de zero?". Nesse sentido Hirner e Lambert (2000) definiram dois limites que devem balizar as definições de metas de médio e longo prazo nas companhias de saneamento:

a) **Limite Econômico:** em que os custos para a execução das ações de combate às PA se igualam aos custos de exploração e distribuição da água (ou ao custo marginal para a exploração de um novo sistema produtor de água).

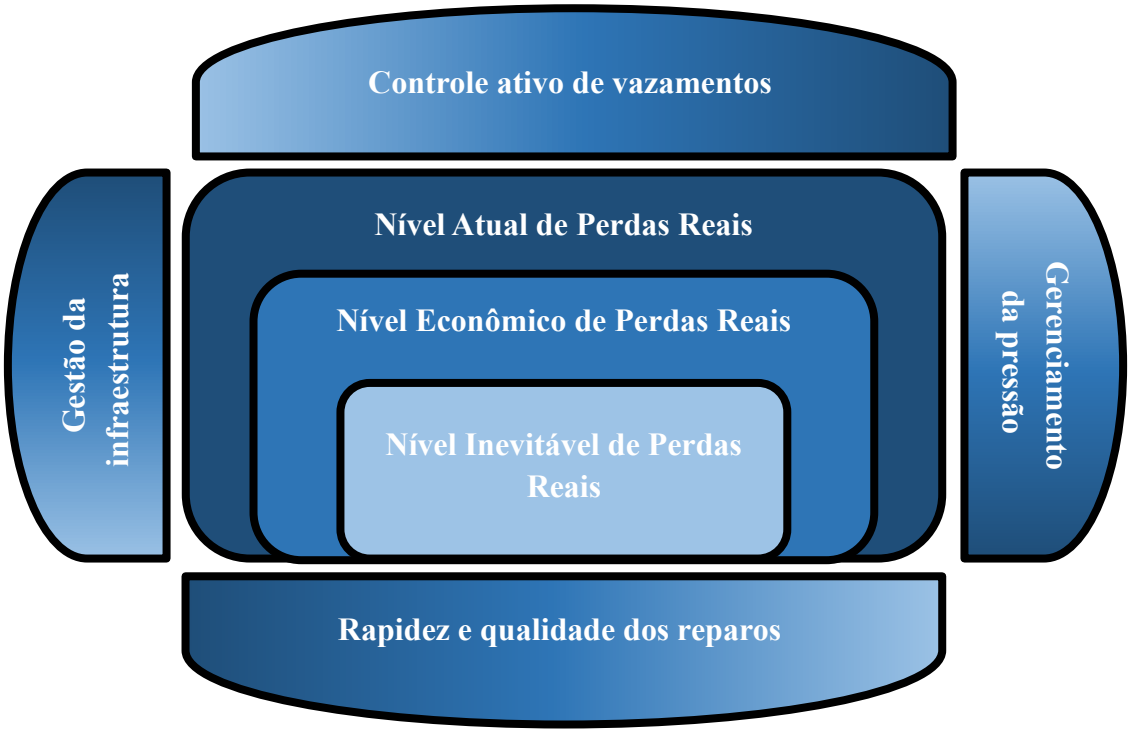
b) **Limite Técnico:** a partir do qual não se consegue reduzir mais as PA, com as metodologias e tecnologias atualmente disponíveis.

Para a ABES (2015), a definição do "Nível Econômico de Perdas" depende das características de cada SAA: a disponibilidade hídrica; os seus custos de exploração; os custos de distribuição; e os custos das ações operacionais para combater as PA. Também dispõe que a interpretação desses dois limites, definidos por Hirner e Lambert (2000), é de que não há nível de PA igual a zero em um SAA. É importante ressalvar que o limite econômico não faz jus de avaliação da disponibilidade hídrica para seus diversos usos, apenas para o uso do abastecimento.

O limite atrelado às Perdas Reais Inevitáveis pode ser observado para cada SAA, ao se levar em consideração os seguintes parâmetros: extensão das redes; número de ramais; dados físicos do ramal; e pressão média. A equação empírica foi desenvolvida com coeficientes obtidos a partir de SAA bem operados e considerados excelentes em termos de gestão de PA. Por outro lado, para as perdas aparentes, não foi determinado um limite técnico, em função de parâmetros singulares. O que ocorreu foi a determinação de um equivalente a 5% do volume micromedido do SAA, em detrimento das origens desse tipo de perda (HIRNER; LAMBERT, 2000; ABES, 2015).

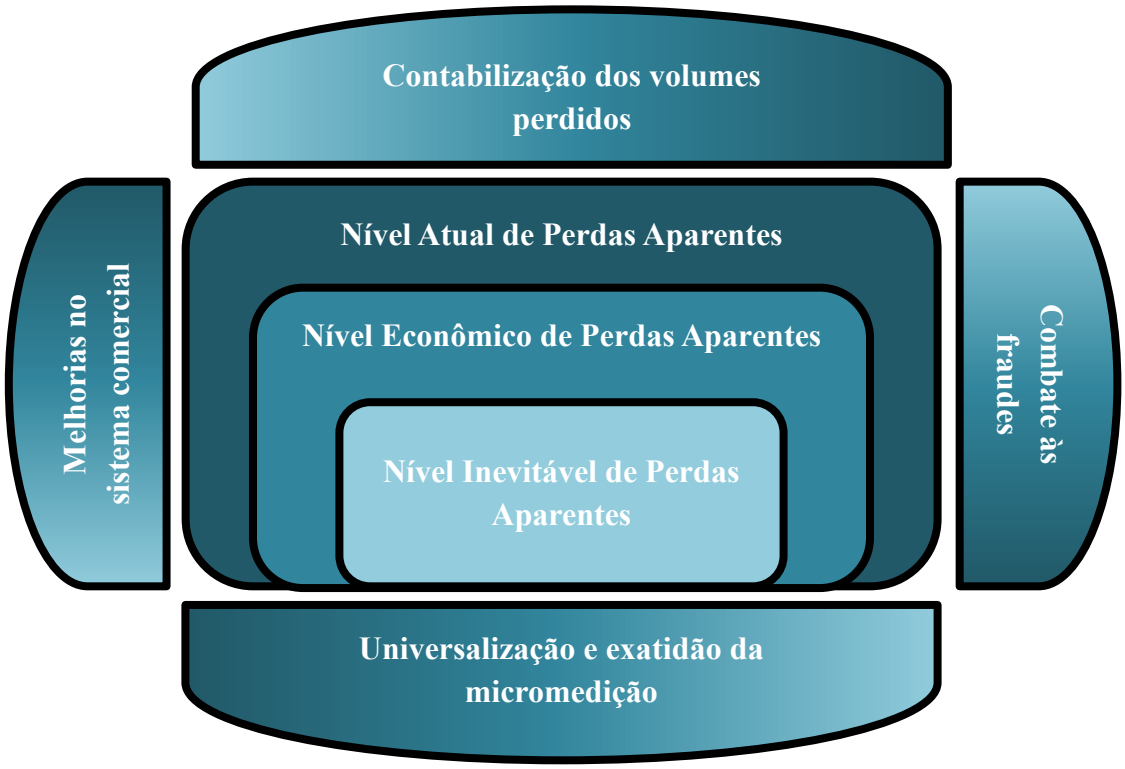
As componentes de controle para as perdas reais e aparentes podem ser observadas nas Figura 3 e Figura 4, respectivamente.

Figura 3 – Componentes de controle para gestão de perdas reais



Fonte: Adaptado de Manzi (2020).

Figura 4 – Componentes de controle para gestão de perdas aparentes



Fonte: Adaptado de Manzi (2020).

Para a ABES (2015), caso nada seja feito para combater as PA, seus volumes irão aumentar naturalmente, em função dos seguintes fatores:

a) As tubulações se deterioram, e o número de vazamentos nas redes e nos ramais gradativamente aumenta.

b) Os hidrômetros se desgastam com o tempo e o funcionamento dos mecanismos internos do medidor é prejudicado, aumentando a submedição.

c) Ao fraudar uma ligação, e perceber que isso não suscitou nenhuma reação da operadora de saneamento, o cliente se sente incentivado a sugerir a outros clientes um procedimento semelhante, aumentado as perdas por fraudes.

Caso não contidas, as rupturas e fraturas existentes nas tubulações tendem a expandir a sua área ao longo do tempo, acarretando maiores áreas para passagem de água, e consequentemente maiores volumes de água a serem perdidos. Outro fator é que os SAA tendem a se expandir em área de abrangência por conta do aumento populacional. Isso implica na expansão do comprimento da rede de distribuição. Esse processo aumenta o número de pontos potenciais de vazamentos, pela maior extensão da rede. Além disso, as áreas urbanas em expansão muitas vezes são construídas em terrenos instáveis, o que pode levar ao deslocamento e à ruptura das tubulações, intensificando as PA e a sua potencial progressão temporal (FRAUENDORFER; LIEMBERGER, 2010; AL-WASHALI; SHARMA; KENNEDY, 2016; GUO *et al.*, 2021).

Para que haja um efetivo controle de PA, a renovação da infraestrutura das redes de distribuição de água se demonstra indispensável, por envolver: o sistema linear, composto pelas adutoras, redes de distribuição e ramais; as válvulas de bloqueio e demais órgãos acessórios vinculados à rede de distribuição; os equipamentos eletromecânicos; e os macromedidores e os hidrômetros. Essas ações são muito dispendiosas, e por isso demandam um bom diagnóstico, que seja capaz de evidenciar as prioridades e o orçamento necessário. Outros fatores que dificultam a renovação, em grandes centros urbanos, são os métodos e o tempo envolvidos na troca de infraestrutura das redes localizadas abaixo do sistema viário. No entanto, essa renovação que soluciona a causa de PA mais acentuadas, apresenta caráter semipermanente, configurando maiores ganhos a médio e longo prazo pelo ativo. Desse modo, a renovação deve ser sempre inserida em

um programa de gestão de PA (FRAUENDORFER; LIEMBERGER, 2010; ABES, 2015; STATE OF GREEN, 2021).

Haider, Sadiq e Tesfamariam (2014) e *State of Green* (2021), destacam algumas das principais barreiras no processo de redução de PA, e ainda, que esse deva ser visto como um processo contínuo, de fato, e não como um projeto. Essas barreiras são: falta de consciência política, pela desvalorização da água por parte dos agentes políticos; dados imprecisos que levam a decisões equivocadas; corrupção, nos desvios de verbas por superfaturamentos; foco no preço da tarifa ao invés do custo total envolvido para produção da água tratada, e condiciona à busca por soluções mais baratas e com resultados pouco eficientes; o medo da imagem negativa associada à prestadora desencoraja tratar de forma transparente a gravidade dos problemas, o que leva a um retardo na redução das PA; e pela falta de percepção de que as PA estão intrinsicamente relacionadas com um caráter de sustentabilidade.

De acordo com o Instituto Trata Brasil (2015), o Censo de 2010, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), estimou que 6% da população brasileira mora em aglomerados subnormais, local onde se concentram as chamadas "perdas sociais", correspondentes aos consumos não autorizados e não faturados que são decorrentes de ligações clandestinas e fraudes. As perdas aparentes em áreas de vulnerabilidade social podem oscilar de 15 a 25%, o que resulta em uma perda financeira elevada, trazendo efeitos negativos diretos para o meio ambiente, prestadores de serviço e aos usuários cadastrados.

A ABES (2015) sintetizou as principais medidas e os níveis de aplicação para o controle e gestão das PA por parte dos prestadores do serviço de abastecimento. São sugeridos três níveis de aplicação, variando entre o mínimo para se ter um controle e gestão de perdas, razoável e desejável sob o contexto das melhores práticas setorialmente para produzir as melhores respostas no processo de gestão de perdas. As medidas destacadas para cada nível de aplicação podem ser observadas no Quadro 4.

Quadro 4 – Medidas de controle e gestão e seus níveis de aplicação

(continua)

Medida de controle e gestão	**Nível de aplicação**		
	Mínimo	**Razoável**	**Desejável**
Cadastro Técnico	Plantas cadastrais com a localização das redes de distribuição e outras informações básicas, tais como diâmetro, extensão, idade e topografia. Informações de campo como limite de setor, interligações, localização de *boosters* e Válvulas Redutoras de Pressão (VPR).	Informações básicas confiáveis, com definição dos setores de abastecimento e zonas de pressão. Incluir no processo a sistemática de atualização cadastral para eliminação de inconsistências.	Informações georreferenciadas (GIS) para toda a malha de distribuição, contendo todos os setores de abastecimento, zonas de pressão, Distritos de Medição e Controle e Distritos de Manobra cadastrados. Correlação do cadastro técnico com sistemas operacionais e de manutenção, propiciando a geração de mapas temáticos e exportação de dados para elaboração de modelos hidráulicos.
Macromedição	Macromedição nos setores de abastecimento (reservatórios, derivação em marcha), com macromedidor dimensionado de acordo com a faixa de vazão e aferido.	Macromedidores instalados nas alças das redes de distribuição, possibilitando o controle da vazão mínima noturna. Implantar programa de aferição sistemática dos macromedidores.	Monitoramento contínuo do sistema de macromedição totalmente telemetrizado. Setores subdivididos em Distritos de Medição e Controle macromedidos e telemetrizados, propiciando o monitoramento contínuo da vazão. Utilização de cartas de controle (CEP), no monitoramento das vazões.
Gerenciamento de Pressão	Garantia da pressão mínima nos pontos críticos de abastecimento. Instalação de VRP possibilitando a equalização de pressão principalmente nos horários de maior consumo.	Instalação de VRPs com controladores eletrônicos que possibilitam a equalização de pressão de acordo com a variação de consumo. Implantar o gerenciamento de pressão em sistemas de bombeamento, por intermédio da utilização de inversores de frequência. Monitoramento dos sistemas de bombeamento, VRPs e pontos críticos.	Implantação de estudos setorização, para equalização de pressão. Monitoramento e controle de todos os equipamentos (*boosters* e VRPs) e pontos críticos de abastecimento. Utilização de CEP, no monitoramento das pressões.
Controle Ativo de Vazamentos	Campanha de pesquisa de vazamentos, com equipe capacitada e engajada. Pesquisas vazamentos não visíveis no período noturno.	Estudo criterioso para a priorização de áreas com utilização de mapas temáticos e vazão mínima noturna. Tecnologias de pesquisa de vazamentos adequadas a cada situação. Controle de produtividade das equipes de pesquisa.	Utilização de indicadores de performance por áreas de pesquisa-carta de controle. Exigência de certificação profissional das equipes de pesquisa. Ação de pesquisa de vazamento conjunta com a renovação de estrutura e controle de pressão.

Fonte: ABES (2015).

Quadro 4 – Medidas de controle e gestão e seus níveis de aplicação

(conclusão)

Medida de controle e gestão	Nível de aplicação		
	Mínimo	**Razoável**	**Desejável**
Agilidade e Qualidade dos Reparos	Canal de atendimento telefônico para reclamações e comunicação de vazamentos. Prazo para o reparo compatível com a realidade da empresa. Forma de atuação diferenciada por modalidade (ramal - rede).	Central de atendimento telefônico adequadamente dimensionada. Equipes dimensionadas e capacitadas para execução dos vazamentos com qualidade e agilidade. Implantação do registro de falhas, para diminuição de reincidências.	Sistemas informatizados e integrados para acatamento, programação e controle da execução dos vazamentos. Controle tecnológico dos serviços executados. Exigência de certificação profissional para a execução dos serviços.
Gerenciamento da Infraestrutura	Garantia da qualidade dos materiais, ferramentas e equipamentos. Garantia da qualidade da mão de obra e da implantação da infraestrutura. Análise do histórico de problemas e renovação da infraestrutura em pontos críticos.	Execução de testes de estanqueidade no recebimento de novas tubulações ou serviços de manutenção. Implantação de centros de treinamento e capacitação da mão de obra própria ou terceirizada. Implantação de um programa sistemático de substituição ou restauração da infraestrutura existente, com base em diagnóstico de incidências de rupturas e vazamentos.	Renovação de estrutura que integre as questões de PA, garantia do abastecimento e da qualidade da água. Utilização de modelos hidráulicos e mapas temáticos na definição dos trechos críticos. Exigência de certificação profissional para a implantação ou substituição de estruturas. Implantação de um programa de gestão de ativos.
Redução de Perdas Aparentes	Cadastro comercial confiável. Hidrometração integral das ligações. Conscientização da população para a questão das fraudes.	Cadastro comercial informatizado. Gestão da hidrometria, com troca periódica dos hidrômetros. Combate às fraudes. Ações junto às Prefeituras para a regularização de favelas.	Cadastro comercial informatizado e integrado ao GIS. Telemetria de grandes consumidores. Programa otimizado de substituição de hidrômetros. Intensificação do combate às fraudes. Regularização de ligações em favelas.

Fonte: ABES (2015).

Sob o aspecto político brasileiro, no que diz respeito à política de gestão de perdas por meio de metas, o PLANSAB, aprovado em 2013, propôs a redução dos índices de PA com base nos índices que era apresentados na época e metas para o futuro, no ano de 2014 e 2033. O plano passou por revisão em 2018, pela Secretaria Nacional de Saneamento do MDR. Ressalta-se que a meta se trata de uma média dos índices de cada região e do país, e que ainda sim podem ser considerados elevados, distantes de um patamar ideal. O Quadro 5 apresenta a relação das metas nacional e regionais definidas no PLANSAB para o Índice de Perdas na Distribuição.

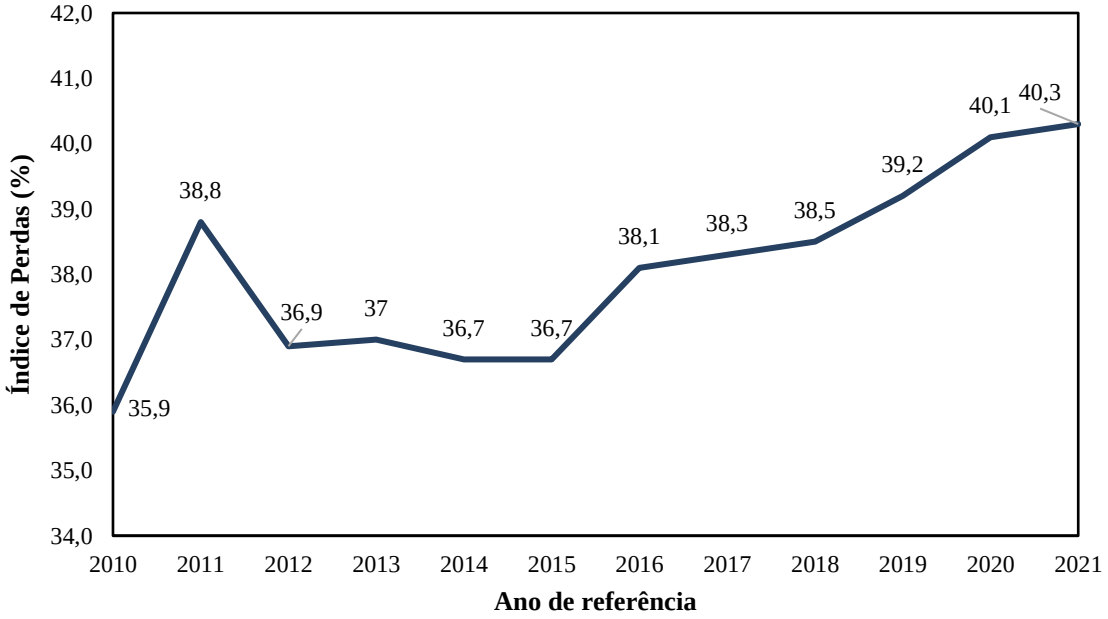
Quadro 5 – Metas nacional e regionais definidas no PLANSAB para o Índice de Perdas na Distribuição

Região	Metas - Índice de Perdas na Distribuição (%)	
	2023	2033
Norte	41,0	33,0
Nordeste	41,0	33,0
Sudeste	32,0	29,0
Sul	32,0	29,0
Centro-Oeste	31,0	29,0
Brasil	34,0	31,0

Fonte: Organizado pelo Autor.

O SNIS também apresenta, ao longo dos seus relatórios de diagnósticos, quais eram os Índices de PA desde o ano de 2010, anteriormente a esse ano apenas o indicador de perdas no faturamento. A Figura 5 apresenta o Gráfico de evolução do Índice de Perdas de Água no Brasil, desde o ano de 2010 até o ano de 2021. A análise dos dados indica que as PA nos últimos anos apresentam crescimento, destoando-se do que é previsto pelos planos políticos.

Figura 5 – Gráfico de evolução do Índice de Perdas de Água no Brasil



Fonte: SNIS (2023b).

2.5.4 Programas e projetos para gestão, controle e redução de perdas de água

Existem diversos programas e projetos voltados para a gestão, controle e redução das PA em SAA ao longo de todo o mundo. Todos esses seguem premissas já difundidas nos processos de gestão que são aplicadas em cada caso diferentemente, dependendo da área de abrangência do programa ou projeto. A seguir são dispostos alguns programas e projetos de abrangência nacional, estadual e internacionais.

- **Nacional:**

Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA): programa da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, teve por objetivo geral promover o uso racional da água de abastecimento público nas cidades brasileiras e da eficiência dos serviços, propiciando a melhor produtividade dos ativos existentes e a postergação de parte dos investimentos para a ampliação dos sistemas. Tem por objetivos específicos definir e implementar um conjunto de ações e instrumentos tecnológicos, normativos, econômicos e institucionais, concorrentes para uma efetiva economia dos volumes de água demandados para consumo nas áreas urbanas, consolidados em publicações técnicas e cursos de capacitação. Dentre as publicações, o Programa possui a série Documentos Técnicos de Apoio (DTA), com produção original realizada em 1999 e revisões de alguns dos documentos em 2003. Os Guias Práticos publicados se dividem em 6 volumes, sendo: 01 – Macromedição; 02 – Ensaios Pitométricos; 03 – Pesquisa e Combate de Vazamentos não Visíveis; 04 – Controle de Pressões e Operação de Válvulas Reguladoras de Pressão; 05 – A conta de Energia Elétrica no Saneamento; e 06 – Controle e Redução de Perdas Aparentes – Processo Comercial (MIDR, 2022).

- **Estadual/Distrital:**

Programa Água Legal (São Paulo): o Programa Água Legal é uma iniciativa da Sabesp para a regularização do abastecimento de água em regiões de alta vulnerabilidade social, onde normalmente o abastecimento é precário, efetuado de forma irregular e por tubulações improvisadas e sujeitas à contaminação. O propósito é levar saúde e qualidade

de vida para a população, preservar os recursos hídricos e promover a sustentabilidade urbana. Em quatro anos, cerca de 500 mil pessoas tiveram suas ligações regularizadas pela Sabesp por meio do Água Legal. A meta é até 2025 beneficiar mais de 870 mil pessoas somente na Grande São Paulo (SABESP, 2023).

Programa de Perdas de Água da Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA): o Programa visa se estrutura para o atendimento do artigo 6° inciso VII, da Lei Distrital n° 4285/2008, *"estimular a operação eficiente e a alocação eficaz de investimentos"*. Para isso, propôs-se realização de ações presenciais, tais como fiscalização das obras previstas, reuniões com os colaboradores da concessionária diretamente envolvidos, e também por meio do monitoramento dos indicadores estabelecidos tanto no Manual de Indicadores da ADASA quanto no Plano Distrital de Saneamento Básico, indicadores estes utilizados para avaliação de desempenho e estabelecidos com base em metas a serem alcançadas a cada ano (ADASA, 2023).

- **Internacionais:**

Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA): instrumento de política ambiental nacional que tem como principal objetivo a promoção do Uso Eficiente da Água em Portugal, especialmente nos setores urbano, agrícola e industrial. O PNUEA estipulou, para o período 2012-2020, limites para a perda de água para cada setor, estabelecendo metas de 20% para o sector urbano (25% em 2009), 35% para o sector agrícola (37,5% em 2009) e 15% para o sector industrial (22,5% em 2009) (APA, 2021).

Programa Nacional de Perdas de Água: programa nacional da Irlanda visa reduzir a água perdida durante o processo de distribuição. Foram investidos mais de 500 milhões de euros até o final de 2021 e é previsto mais 250 milhões de euros por ano até o final de 2030 para promover o controle e redução das perdas no país. Na Irlanda, cerda de 38% da água tratada é perdida. Em 2018, o nível de perdas nacional era de 46% e, até o final de 2020, era de 40%. Até o final de 2021, foi reduzido para 38%. O programa visa atingir em 2030 o nível de perdas de 25% (UISCE ÉIREANN, 2023).

2.5.5 Problemática advinda das perdas de água

A existência de PA em uma SAA vai além de ser um critério de avaliação da eficiência da prestação do serviço de abastecimento. Na realidade é um problema que afeta a todos e distancia as comunidades de serem sustentáveis, pela compensação de uma falha, passível de ser evitada – em um nível econômico e viável – pelo excesso de extração dos recursos hídricos, aumento de insumos, redução da vida útil da infraestrutura, repasse tarifário, e outras problemáticas que derivam dessas. O Instituto Trata Brasil (2021) dispõe relações das principais características das perdas reais e aparentes, que podem ser observadas no Quadro 6.

Quadro 6 – Relação das características das Perdas Reais e Aparentes

Relação	**Características Principais**	
	Perdas Reais	**Perdas Aparentes**
Tipo de ocorrência mais comum	Vazamento	Erro de medição ou fraudes
Custos associados ao volume de água perdido	Custo de produção	Tarifa e receita operacional
Efeitos no Meio Ambiente	Desperdício do Recurso Hídrico	-
	Necessidades de ampliações de mananciais	
Efeitos na Saúde Pública	Risco de contaminação	-
Empresarial	Perda de produto	Perda de receita
Consumidor	Imagem negativa (ineficiência e desperdício)	-
Efeitos no Consumidor	Repasse para tarifa	Repasse para tarifa
	Desincentivo ao uso racional	Incitamento a roubos e fraudes

Fonte: Instituto Trata Brasil (2021).

Ressalta-se que não existe sistema de distribuição sem PA, e que também não existe operação sem uso de energia elétrica. A energia é utilizada para transportar a água, tanto bruta quanto tratada, e para tratá-la nas unidades de tratamento. A disponibilidade de energia elétrica, assim como a da água, condicionam diretamente a regularidade da operação dos SAA e a qualidade da prestação do serviço, no qual a regularidade se sujeita às paralisações que provocam interrupção do fornecimento em situações como queda de energia elétrica, necessidade de reparos e às interrupções sistemáticas que resultam em racionamento ou rodízio do abastecimento por fatores como dificuldade de produção de

água, manobras no sistema e subdimensionamento das infraestruturas de distribuição. O subdimensionamento está relacionado com a vida útil do projeto, em função do consumo considerado, e ao se considerar as PA como um contribuinte do montante de consumo, essas podem exercer pressão suficiente no sistema para que a vida útil do projeto seja reduzida drasticamente (FRAUENDORFER; LIEMBERGER, 2010; ABES, 2015; SNIS, 2023a; INSTITUTO TRATA BRASIL, 2021; STATE OF GREEN, 2021).

Os custos de se produzir água potável e de energia elétrica estão intrinsicamente ligados e são extremamente significativos aos sistemas de saneamento. Cerca de 3% a 7% do consumo de energia do mundo é destinado no bombeamento e tratamento de água por parte dos SAA, já no Brasil esse valor é de aproximadamente 2% da produção total de energia elétrica. Em alguns casos específicos, o custo de energia para o atendimento pode ser compatível à metade do orçamento do prestador. As principais medidas para redução do curso de energia elétrica em SAA podem ser destacadas: conhecimento do sistema tarifário; redução da potência do equipamento; alteração do sistema operacional; automação do SAA; e geração própria de energia elétrica. Dentre essas, destaca-se que a redução do índice de PA integra a redução da potência do equipamento, uma vez que se diminuí o volume a ser recalcado, e consequentemente na diminuição da potência requerida dos conjuntos motor-bombas do sistema (ABES, 2015).

No contexto nacional, em 2021, as despesas com energia elétrica dos prestadores de serviço de saneamento atingem R$ 8,99 bilhões, com consumo de 14,2 TWh, sendo 12,6 TWh para o abastecimento de água. Os dados históricos apontam para uma tendência crescente de consumo energético no setor que geralmente acompanha os aumentos nos índices de consumo *per capita* de água, e das despesas com energia elétrica pelos reajustes tarifários do próprio setor. O envelhecimento gradual dos SAA se reflete na evolução do consumo de energia elétrica e suas despesas, tanto nas suas componentes de construção civil, como de equipamentos eletromecânicos. Além desse desgaste, a escassez hídrica, no que se refere aos aspectos quantitativos e qualitativos, tem considerável influência nesse aumento. Outro fator que pode aumentar o consumo energético é a diminuição da quantidade de água disponível para atender as demandas, por meio de fontes mais distantes ou profundas, além de que a degradação da qualidade da água, acaba por requerer um tratamento mais intensivo, que também utiliza mais energia (SNIS, 2023a).

Guanais, Cohim e Medeiros (2017) desenvolvem uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de um SAA, tomando como unidade funcional, para esse processo, o m³ de água tratada e de quais seriam os gastos energéticos utilizados ao longo da captação, tratamento

e distribuição. Os autores também fazem comparativos entre trabalhos distintos que utilizaram ACV em SAA, chegando à conclusão de que os gastos e consumos com insumos são extremamente variados, em função das características dos SAA que são influenciadas pelo contingente populacional e padrão de consumo, condições de infraestrutura, relevo e localidade do ponto de captação e da rede, e ainda pela disponibilidade dos insumos para o tratamento, também associados à qualidade da água bruta. Guanais, Cohim e Medeiros (2017) ressaltam que os insumos também consomem energia para que sejam produzidos e transportados, demonstrando o quanto a existência de PA pode distanciar a eficiência energética de outros sistemas, e distanciá-los, dessa maneira, ainda mais da sustentabilidade.

Outro fator, que em detrimento da existência de PA é ainda mais agravado, é o conflito dos diferentes usos de água pelas disponibilidades e demandas. Apesar de haver previsões legais para realizar o controle e interferir juridicamente nesses conflitos, a previsão de que o uso da água para o abastecimento público é prioritário, inclusive em um sistema com elevadas PA e localizado em uma região com baixa disponibilidade hídrica, pode prejudicar o acesso de outros usuários, em função do instrumento de outorga incidir no quanto é captado para que o sistema possa atender às demandas compensadas após as PA. Desse modo, o controle de PA também é um meio para que se atenuem os diversos conflitos existentes na gestão de recurso hídricos, especialmente em locais com baixa disponibilidade hídrica (CRUZ; SILVEIRA, 2007; AMORIM JÚNIOR, 2014).

Em função dessa sequência de gastos e despesas, necessários e evitáveis, o prestador de serviço de saneamento aplica uma tarifa que incide no quanto o usuário consome de água. Receitas operacionais maiores que despesas indicam sustentabilidade econômico-financeira da prestação de serviços de saneamento básico. Um dos componentes deste equilíbrio são as tarifas. A Lei n.º 11.445/2007 estabelece que elas devem ser definidas por entidades reguladoras na área de atuação de cada prestador e visem o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos e pela modicidade tarifária. A tarifa praticada representa os valores médios pagos pelos usuários e a despesa total, o custo do prestador. Porém, ressalva-se que não há mecanismos compensatórios aos usuários que arcam, de modo geral, com a despesas decorrentes das PA, sendo assim, a compensação, por parte do prestador, das PA está embutida na tarifa cobrada ao usuário (SNIS, 2023a; WYATT *et al.* 2021).

2.6 CONCEPÇÃO SOBRE INDICADORES

Os indicadores ambientais começaram a ganhar destaque no final da década de 70, embora haja registros do uso de indicadores em meados de 1800 para o acompanhamento da qualidade do ar e temperatura. Esse destaque surge a partir das consequências dos anos pós segunda guerra mundial, do grande crescimento populacional, e dos eventos de poluição ambiental (MARINHO *et al.*, 2006). Porém, apesar de serem utilizados há certo tempo, somente a partir da década de 1990 que os indicadores apresentavam proposta de aplicação voltada ao desenvolvimento sustentável. Essa tendência se deu com a própria promoção do termo desenvolvimento sustentável, especialmente pela assinatura da Agenda 21 Global e os diversos projetos da Agenda 21 Local (MAGALHÃES JÚNIOR; NETTO; NASCIMENTO, 2003; PHILIPPI JUNIOR *et al.*, 2012).

Ao longo das três últimas décadas, diversos estudos e experiências foram desenvolvidos com o objetivo de traçar definições, funções, regras e princípios a serem observados para o melhor uso de indicadores. Visando promover uma organização e padronizar esse uso, em especial para medir e avaliar o progresso em direção ao desenvolvimento sustentável, em novembro de 1996, um grupo internacional de pesquisadores e especialistas em sistemas de avaliação se reuniu na Fundação de Estudos Rockefeller e no Centro de Conferências em Bellagio, na Itália, para rever o progresso até aquela data, sintetizando o conhecimento a partir dos esforços já práticos e em andamento (HARDI ; ZDAN, 1997; PHILIPPI JUNIOR *et al.*, 2012).

Desse modo surgem os indicadores de sustentabilidade que são utilizados como uma ferramenta comum em diversos estudos nacionais e internacionais, de modo a facilitar a compreensão das informações extraídas de fenômenos complexos, e atuam como base para análise do desenvolvimento que abrange diversas dimensões. Dessa abrangência, podem ser incluídos os fatores econômicos, sociais, culturais, geográficos e ambientais, ao tornar mais clara as diversas relações entre as ações humanas no ecossistema (CARVALHO; CURI; LIRA, 2013).

Existe uma grande divergência entre as definições sobre indicadores e a terminologia, associada a essa área, que é particularmente confusa, em especial à definição de indicadores e aos outros conceitos associados a esses, como índice, meta e padrão. Porém, há certa convergência se tratando do objetivo geral dos indicadores, que seria o de agregar e quantificar informações de um modo que seu significado se torne

mais nítido, simplificando dados e informações sobre fenômenos complexos e de difícil percepção, tornando, assim, melhor o processo de comunicação (VAN BELLEN, 2006; CARVALHO; CURI; LIRA, 2013). Ainda, Marinho *et al.* (2006), acrescenta que os indicadores devem tornar perceptível um fenômeno que não seja detectável de forma imediata, apresentando um significado ainda maior que o fornecido pela observação direta, expresso por gráficos ou formas estatísticas, por serem distintos das estatísticas e dos dados primários.

Para Van Bellen (2006), embora existam diversas definições sobre a terminologia utilizada, ainda existe uma falta de consenso entre diferentes autores, tornando eminente a necessidade de se desenvolver e padronizar uma definição mais consolidada e unificada de indicador, especialmente associado à temática ambiental. A grande maioria dos sistemas de indicadores existentes e utilizados foram desenvolvidos com razões específicas: podendo ser ambientais; econômicas; de saúde; e sociais. Porém não poderiam ser considerados indicadores de sustentabilidade em si, embora possuam um potencial de representatividade dentro de um contexto do desenvolvimento sustentável.

Os indicadores ambientais se demonstram como fundamentais e indispensáveis para subsidiar as decisões referentes aos mais distintos níveis da esfera ambiental. Boa parte desses, referem-se aos indicadores de desempenho ambiental, que são utilizados para sintetizar informações qualitativas e quantitativas, por promoverem um meio de mensurar a efetividade e a eficiência de um sistema produtivo. Podem ser utilizados, por exemplo, em empresas, com o objetivo de fornecer orientações para as partes interessadas e envolvidas, sobre o seu desempenho ambiental, o que permite um acompanhamento e uma comparação das informações dentro da organização e entre as organizações (MARINHO *et al.*, 2006). A Tabela 5 apresenta as principais áreas de atuação dos indicadores ambientais e suas considerações.

Tabela 5 – Área de atuação dos indicadores e suas considerações

(continua)

Área de atuação dos indicadores	**Considerações**
Avaliação do desempenho	Os indicadores ajudam a avaliar o desempenho ou concretização, se uma base de comparação estiver claramente identificada.

Fonte: Marinho *et al.* (2006).

Tabela 5 – Área de atuação dos indicadores e suas considerações

(conclusão)

Área de atuação dos indicadores	Considerações
Limiares	Os limiares constituem uma base importante para a avaliação. Em geral, a ultrapassagem de um limiar de sustentabilidade bem definido deverá enviar uma mensagem óbvia aos políticos e à sociedade em geral.
Interligações casuais	Os indicadores são importantes para apoiar a investigação das causas, como as interligações entre as pressões e as condições ambientais.
Construção de Modelos e Cenários	Os indicadores fornecem dados reais e ajudam os testes de campo de modelos e possíveis cenários futuros.

Fonte: Marinho *et al.* (2006).

Hardi e Zdan (1997) apresentam dez princípios que precisariam ser levados em consideração, no processo de construção de indicadores, com o fim de direcionarem a uma avaliação para o desenvolvimento sustentável. Para Philippi Junior *et al.* (2012), esses princípios abordam quatro aspectos de avaliação, dos quais o princípio 1 aborda o ponto inicial de qualquer avaliação, cuja avaliação deve estabelecer uma visão de desenvolvimento sustentável baseada em objetivos claros que forneçam uma definição prática dessa visão em termos do que é significativo para o tomador de decisões. Os principias 2 a 5 abordam o conteúdo a ser avaliado e a necessidade de se criar perspectiva de sistema total com os focos práticos das questões prioritárias atuais. Os princípios 6 a 8 abordam questões-chave do processo de avaliação. Os princípios 9 e 10 reforçam a necessidade de se estabelecer uma capacidade contínua do processo de avaliação. Os dez princípios e suas considerações estão dispostos no Quadro 7.

Quadro 7 – Princípios norteadores para construção de indicadores

(continua)

Princípio	Considerações
Visão direcionada e objetivos	A avaliação deve ser guiada por uma visão de desenvolvimento sustentável e deve buscar objetivos claros que definam essa visão.
Perspectiva holística	Inclui a revisão do sistema como um todo e de suas partes.
	Considerar o bem-estar dos subsistemas social, econômico e ambiental, seu estado, a direção e a taxa de mudança desse estado, de suas partes componentes e a interação entre as partes.
	Considerar as consequências negativas e positivas das atividades manas que se refletem em custos e benefícios para os sistemas ecológicos e humanos, ambos em termos monetários e não monetários.

Fonte: Hardi e Zdan (1997).

Quadro 7 – Princípios norteadores para construção de indicadores

(continuação)

Princípio	Considerações
Elementos essenciais	Considerar equidade e disparidade dentro da atual população e entre as presentes e futuras gerações, lidando tanto com a preocupação quanto com o uso de recursos, consumo exagerado e pobreza, direitos humanos e acesso a serviços, se cabível.
	Considerar o desenvolvimento econômico e outras atividades fora do mercado que contribuem para o bem-estar humano e social.
Escopo adequado	Adotar horizonte de tempo grande o suficiente para englobar tanto as escalas de tempo humanas quanto ecológicas, respondendo, assim, às necessidades dos tomadores de decisão de curto prazo quanto às necessidades das futuras gerações.
	Definir um espaço de estudo grande o suficiente para englobar tanto o impacto local quanto os distantes, sobre as pessoas e ecossistemas.
	Construir histórico de atuais condições para antecipar as futuras: onde queremos ir e onde poderemos ir.
Foco prático	Adotar um conjunto explícito de categorias ou uma estrutura organizada que ligue as visões e os objetivos aos indicadores e critérios de avaliação.
	Adotar um número limitado de questões para análise.
	Adotar um número limitado de indicadores ou combinação de indicadores para fornecer um sinal claro do progresso.
	Padronizar medidas, se possível, para permitir a comparação.
	Comparar os valores dos indicadores com as metas, os valores de referência, a posição, os pontos iniciais ou a tendência de direção, se cabível.
Abertura	Fazer com que os métodos e dados que sejam usados estejam acessíveis a todos.
	Explicitar julgamentos, assunções e incertezas dos dados e interpretações.
Comunicação efetiva	Ser concebida para direcionar as necessidades da audiência e do conjunto de usuários.
	Ser desenhada através dos indicadores e outras ferramentas que estimulem e engajem os tomadores de decisões.
	Objetivar simplicidade na estrutura e uso de linguagem clara e abrangente.
Ampla participação	Obter ampla participação (representação) da população-chave, profissionais, técnicos e grupos sociais, incluindo jovens, mulheres e população indígena, a fim de assegurar o reconhecimento de valores diversos e em mudança.
	Assegurar a participação dos tomadores de decisões para estabelecer urna ligação forte entre as políticas adotadas e as ações resultantes.
Avaliação constante	Desenvolver capacidade de avaliação constante para determinadas tendências.
	Ser interativa, adaptativa e sensível à mudança e incerteza, porque os sistemas são complexos e mudam frequentemente.
	Ajustar objetivos, estruturas e indicadores, partir de novos conhecimentos adquiridos.
	Promover desenvolvimento de aprendizado coletivo e feedback para os tomadores de decisões.

Fonte: Hardi e Zdan (1997).

Quadro 7 – Princípios norteadores para construção de indicadores

(conclusão)

Princípio	Considerações
Capacidade institucional	Estabelecer claramente as responsabilidades e fornecer ajuda constante no processo de tomada de decisões.
	Fornecer capacidade institucional para a coleta de dados) manutenção e documentação.
	Ajudar no desenvolvimento e capacidade para avaliação local.

Fonte: Hardi e Zdan (1997).

Philippi Junior *et al.* (2012) destacam que esses princípios são capazes de orientar a construção de sistemas adequados de medições que são indispensáveis para operacionalizar o conceito de desenvolvimento sustentável, em função de possibilitarem aos tomadores de decisão, gestores e à sociedade o estabelecimento de objetivos e metas, e de acompanhar o desempenhos destes. Para os autores, a alta complexidade dos processos de desenvolvimento sustentável, nas suas diversas dimensões – ambiental, social, cultural, econômica, institucional, entre outras – amplia o desafio da construção de bons indicadores. Sob essas condições, a busca por meios que tornem o desenvolvimento sustentável mais palpável, faz dos indicadores de sustentabilidade e gestão ambiental um excelente meio para descrever a realidade de forma simples e confiável. Os mesmo autores, ainda, dispõe quais seriam os requisitos para a construção de um indicador ideal, que podem ser observados no Quadro 8.

Quadro 8 – Condições para um indicador ideal

(continua)

Requisitos	Explicação
Representatividade	Refere-se à capacidade de retratar os problemas da área de estudo.
Validade científica	Tem relação com a forma de coleta e com a elaboração do dado.
Fonte de informação	Deve-se observar a confiabilidade da sua origem.
Relevância	O indicador deve possuir concordância com o quadro legislativo do governo local para possibilitar a avaliação e o monitoramento do progresso, a fim de alcançar resultados para a sociedade.
Valores de referência	Para que o usuário possa estabelecer comparações e julgar a relevância do seu valor.
Conformidade temporal	Deve-se averiguar o tempo decorrido entre a coleta do dado e a realidade que se deseja representar. Nesse aspecto, é evidente que, para cada temática, há um intervalo de tempo aceitável, que deve ser julgado pelo seu especialista.
Redundância	Deve-se tomar cuidado para que o indicador não a apresente, ou seja, que diferentes dados coletados não expressem a mesma informação
Sensibilidade às mudanças	À medida que ocorrem as alterações no ambiente, mesmo que pequenas, a resposta do dado é imediata, mudando o seu valor; e se for de natureza preventiva, que seja capaz de sinalizar a degradação antes da ocorrência de sérios danos.

Fonte: Philippi Junior *et al.* (2012).

Quadro 8 – Condições para um indicador ideal

(conclusão)

Requisitos	Explicação
Séries temporais	Se a sensibilidade às mudanças ocorrer ao longo do tempo, pode-se gerar séries temporais de dados (lineares, cíclicos ou sazonais), entendidas como ótimas tradutoras dos fenômenos de diferentes dinâmicas em um determinado tempo. Quando for importante a análise da evolução, os indicadores devem ter a capacidade de expressar as mudanças em uma escala de tempo compatível com os problemas.
Abrangência	No que se refere a dados espaciais, o indicador deve apresentar limites bem definidos no espaço, de forma a facilitar, geográfica e operacionalmente, o gerenciamento das propostas do planejamento.
Conectividade	Conectividade do indicador com outros do meio, ou seja, os elos entre as diversas informações e as respostas integradas às suas mudanças
Integração	É importante observar se o indicador é integrador, se tem a capacidade de sintetizar informações de vários outros indicadores
Tipo de informação	Informação prescritiva: deve-se considerar se a informação é prescritiva - aquela que é analítica e apresenta recomendações ao desenvolvimento de alternativas, constituindo um bom indicador. Informação descritiva: deve-se considerar se a informação é descritiva – restringe-se à descrição das propriedades do meio, sem a pretensão de fornecer subsídios diretos à tomada de decisão
Disponibilidade e acesso	Informação sobre o indicador, sem perda de tempo que impeça ou dificulte o planejamento.
Comunicação e divulgação dos indicadores	Comunicados de forma que envolva o público, por gráficos e informações contextuais, auxiliando na compreensão e interpretação da medição.
Custo razoável	Corresponde ao valor ideal para obtenção da informação de acordo com a quantidade de dados, na unidade de área e da escala de trabalho. Em suma pretende-se que haja um relação custo-benefício.
Participação popular	Em algum momento, ou na elaboração ou revisão dos indicadores.
Atualização e divulgação	Os dados precisam ser coletados e reportados regularmente, devendo haver um tempo mínimo entre a coleta e a reportagem, a fim de garantir a atualidade e utilidade para o usuário.
Fácil compreensão	Indicadores devem ser simples e fáceis de compreender para informar o grupo de pessoas que tomará as decisões quanto aos rumos do planejamento.
Modelo conceitual estrutural	Usado como guia para o desenvolvimento e a estruturação de um conjunto de indicadores, de uma forma coerente. Sem ele, o conjunto se torna uma mistura eclética de indicadores, sem qualquer justificação clara para a sua seleção.

Fonte: Philippi Junior *et al.* (2012).

2.6.1 Indicadores e recursos hídricos

Como descreve Machado (2018), o uso de indicadores ambientais é amplamente empregado para diagnosticar o estado dos recursos hídricos, com o fim de propor ações e diretrizes para a gestão ambiental, em especial nas bacias hidrográficas em que se encontram. Porém, ainda ressalva, que em função da alta complexidade da água, torna-se necessário o emprego de uma grande variedade de indicadores para representarem tal

complexidade, e também para que seja adotada uma estrutura conceitual bem elaborada para que seja capaz de transformar as medidas observadas em informações relevantes.

No contexto de gestão de recursos hídricos, a França fez uso de indicadores ambientais, tornando alguns de uso prioritários, que se dividem em quatro principais categorias: indicadores de pressão (quatro eixos temáticos: poluição doméstica e industrial; produção de resíduos sólidos; poluição agrícola; degradação dos meios aquáticos; disponibilidade hídrica), indicadores de estado das águas (cinco eixos relacionados à qualidade físico-química; qualidade química de águas marítimas; qualidade biológica da água de consumo humano; qualidade ecológica da água; disponibilidade hídrica), indicadores de resposta dos serviços de água e esgotos (quatro eixos relacionados ao nível de operacionalidade e avanço de documentos programáticos; modos de gestão; desempenho dos serviços de água; desempenho dos serviços de esgotos), e indicadores de resposta dos recursos hídricos (a partir dos eixos de conformidade da qualidade de água físico-química da água de contato primário; conformidade da qualidade de água química das águas marinhas; conformidade da qualidade biológica da água de consumo humano; gestão dos meios aquáticos e meios associados) (MAGALHÃES JÚNIOR, 2010; CARVALHO; CURI; LIRA, 2013).

De acordo com Magalhães Júnior (2010), diferentemente, no Brasil, dois eixos foram predominantes no uso de indicadores na gestão de recursos hídricos no século 20. Seriam esses os índices de qualidade da água e os indicadores de disponibilidade hídrica, em função do modelo de desenvolvimento, que se baseava em setores tradicionais; como energia, irrigação e controle de secas, além do atendimento urbano que muitas vezes necessitava de ações estruturais – como uso de barragens – para atender as demandas desse setor.

Em 1996, o Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo dá início a debates para que a implementação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Estado. No relatório Econômico-Financeiro foram salientados os indicadores prioritários ao controle dos processos de cobrança e outorga: volume de água captado, volume de água consumido e volume de efluentes lançados nos corpos d'água, esse último levando em conta os seguintes parâmetros: DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio); DQO (Demanda Química de Oxigênio); RS (Resíduo sedimentável); e CI (carga inorgânica) (MAGALHÃES JÚNIOR, 2010).

2.6.2 Indicadores e saneamento, no Brasil e no mundo

Com relação aos indicadores, voltados para um uso no setor de saneamento, no Brasil, seu emprego se tornou mais difundido após a promulgação da Lei 11.445/2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, entre as quais se destacam a universalidade do acesso e a articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza, de proteção ambientai e de promoção da saúde, amplamente atualizada pela Lei 14.026/2020, de modo a incentivar ainda mais a utilização de indicadores. A partir da atualização pela Lei 14.026/2020, o uso de indicadores se apresenta como um relevante instrumento de consecução e de acompanhamento das políticas setoriais, tendo em vista que está prevista a elaboração de diagnóstico com utilização de sistema de indicadores sanitários, epidemiológicos e ambientais. Também se prevê o estabelecimento de normas de indicadores de qualidade da prestação dos serviços: a utilização de indicadores epidemiológicos e de desenvolvimento social no planejamento para implementação e avaliação das ações de saneamento básico; e a instituição do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (Sinisa), cujo objetivo é disponibilizar estatísticas, indicadores e outras informações relevantes para a caracterização da demanda e da oferta de serviços.

Para Magalhães Júnior, Netto e Nascimento, (2003) e Philippi Junior *et al.* (2012), os indicadores devem mensurar os desafios e os resultados alcançados com os serviços de água e esgoto, seja no que diz respeito à sua eficácia quanto aos seus impactos nas áreas de meio ambiente, saúde pública e socioeconômica, seja na própria gestão com vistas à obtenção de maior eficiência operacional e gerencial. Na mesma linha, Von Sperling e Von Sperling (2013), ainda destacam que há diversas deficiências nos sistemas de monitoramento, registro, organização ou tratamento das informações produzidas pelas empresas de saneamento e a falta de disciplinamento e integração dos diversos papéis a serem exercidos pelos demais atores do setor de saneamento.

Atualmente vinculado ao Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional, o SNIS é consolidado como um instrumento robusto, por reunir um conjunto de dados estruturados que permite avaliar a evolução dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário (desde 1995) manejo de resíduos sólidos urbanos (desde 2002) e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (desde 2015). O sistema se apresenta com acesso público e gratuito, fomentando o planejamento e a gestão do setor, formulação de políticas públicas e programas, definição e monitoramento de metas e

atividade de regulação e fiscalização dos serviços, além de contribuir para a estruturação do marco legal do saneamento (SNIS, 2023a).

Outro meio de avaliação que é utilizado mundialmente, pela sua própria concepção, são as normas da Organização Internacional para Padronização – *International Organization for Standardization* (ISO), tendo a promoção do uso de indicadores para avaliações de suas diversas normas. A série ISO 24.500, publicada em 2007, é constituída por três normas: a ISO 24.510, que apresenta as diretrizes para a melhoria e para avaliação dos serviços aos usuários, e as ISO 24.511 e ISO 24.512, que apresentam as diretrizes para a gestão dos serviços de esgotamento sanitário e abastecimento de água potável, respectivamente. Ao contrário das demais normas ISO, a referida série não é certificável e tem aplicação voluntária. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou, em dezembro de 2012, a NBR ISO 24.511:2012 - Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto - Diretrizes para a gestão dos prestadores de serviços de esgoto e para a avaliação dos serviços de esgoto (BARROS, 2013).

Um modo de avaliar o desempenho da prestação dos serviços é por meio dos indicadores que deram origem aos Indicadores de Desempenho (ID), que são capazes de prover uma avaliação que expressa o nível atingido em relação a determinado objetivo. Esses são uma ferramenta apropriada para avaliações pautadas em parâmetros de simples interpretação, diretos e objetivos, capazes de democratizar sua aplicação e compreensão. Porém, ressalva-se que devem ser interpretados pelo prisma dos objetivos para os quais foram desenvolvidos. Nos serviços de água e esgoto esses objetivos podem variar de acordo com os atores atuantes, sejam, por exemplo, os operadores, os usuários dos serviços, os reguladores e pelo governo (ALEGRE *et al.*, 2016; PHILIPPI JUNIOR *et al.*, 2012).

Os ID podem apresentar diferentes aplicações, variando de acordo com a perspectiva, que podem ser: avaliação da evolução temporal de um aspecto da prestação dos serviços; comparação entre diversos setores de uma mesma empresa; e entre diferentes empresas no mesmo ramo de atividade. As dimensões de análise sobre indicadores podem ser classificadas como estática, dinâmica e comparativa. A avaliação pode ser estática mediante acompanhamento da duração média dos reparos e sua adequação a um valor constante de referência, seja uma meta de desempenho ou um padrão definido em norma ou regulamento da concessionária ou da agência reguladora. O objetivo da avaliação também pode ser investigar tendências de melhora ou

deterioração do desempenho, quando se faz uma análise da dinâmica da prestação dos serviços por meio da evolução dos indicadores ao longo do tempo para a definição de estratégias de gestão. As mais recentes aplicações fazem uso da perspectiva comparativa de indicadores, seja entre diferentes operadores ou entre setores da mesma empresa, buscando incentivar o desenvolvimento de melhores práticas observadas nos modelos de referência (PHILIPPI JUNIOR *et al.*, 2012).

Ressalva-se, também, sobre o fato de que os ID apresentam uma fração da realidade da gestão do prestador dos serviços de saneamento, e por isso um indicador não incorpora, normalmente, toda a sua complexidade. Em função disso, o seu uso descontextualizado pode levar a interpretações equivocadas. Torna-se, assim, fundamental que os ID sejam analisados em conjunto, de modo que se leve em consideração a sua causa e associação ao contexto operacional e institucional em que estão inseridos (ALEGRE *et al.*, 2016).

Von Sperling e Von Sperling (2013) apresentam que no âmbito internacional os ID são amplamente utilizados e que diversas organizações desenvolveram, nas últimas décadas, conjuntos de indicadores específicos, com diferentes objetivos e prioridades. Os autores destacam as seguintes instituições: *International Water Association* (IWA), a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos de Portugal (ERSAR/IRAR), a *Associación de Entes Reguladores de Agua Potable e Saneamiento de las Americas* (ADERASA), o *International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities* (IBNET), o *Six-Cities Group* da Escandinávia, a *Water Services Association of Australia* (WSAA), a *American Water Works Association* (AWWA) e o *Office of Water Services* (OFWAT).

Uma das instituições mais difundidas internacionalmente, na proposição métrica de indicadores, a IWA identifica cinco principais objetivos da gestão das empresas em relação aos serviços de água: proporcionar aos consumidores um nível de serviço apropriado, cumprindo tanto quanto possível políticas nacionais e regionais, estatutos ou outras obrigações; obter a máxima produtividade possível dos recursos humanos e proporcionar-lhes as melhores oportunidades profissionais e de carreira, de acordo com as qualidades e as aptidões de cada indivíduo; maximizar a eficiência do uso dos recursos hídricos e ambientais; garantir a aplicação mais eficiente possível dos recursos financeiros; e planejar, construir e operar as estruturas físicas e fazer a sua manutenção de forma tão eficiente e eficaz quanto possível (HIRNER; LAMBERT, 2000).

As agências reguladoras podem usar a informação, no formato de indicadores, para incentivar e instrumentalizar o controle social sobre os serviços de água e esgoto. A informação e a transparência dos processos decisórios são as formas mais básicas de se iniciar a participação social. Para os reguladores, essa participação se constitui em uma estratégia para legitimação de sua própria atividade, bem como para incorporação dos usuários no processo regulatório. Diante da forte assimetria de informações que caracteriza a relação regulador-prestador de serviços, os usuários são uma fonte essencial de informações dos serviços de água e esgoto, principalmente no que se refere à intermitência do abastecimento de água, qualidade da água distribuída e valores cobrados na conta. Por outro lado, ao disponibilizar os indicadores sobre a prestação dos serviços, já com informações primárias tratadas e aferidas, em linguagem simples e de fácil entendimento, os reguladores podem instrumentalizar os usuários para exigir seus direitos e melhorias nos serviços, fazer reclamações, propor sugestões, ou seja, realizar o controle social da concessão (PHILIPPI JUNIOR *et al.*, 2012).

Para compartilhar os indicadores, os reguladores precisam compreender o que é mais relevante e perceptível na prestação dos serviços para os usuários, e quantos desses indicadores devem ser comunicados. Por exemplo, o indicador financeiro de contas a receber tem pouco significado prático para os usuários e não deve ser trabalhado junto à população. Entretanto, deve-se observar que para o regulador essa informação é importante e serve de medida para a avaliação do desempenho do prestador nos processos de revisão tarifária. Já o indicador de qualidade bacteriológica da água possui forte atrativo para os usuários, visto que tem relação direta com a saúde das pessoas, e cujo resultado final, conforme ou não, é de fácil compreensão (PHILIPPI JUNIOR *et al.*, 2012).

Para exemplificar a relação de relevância dos atores e dos indicadores (informações), Von Sperling e Von Sperling (2013) sintetizam em um quadro a relação de relevância de indicadores da prestação de serviços de tratamento de esgoto com os atores participantes, que pode ser observada no Quadro 9. Os atores envolvidos são Prestadora de serviço; Agência reguladora; Adm. Pública; e Usuário. Os indicadores se dividem em Indicadores de Recursos Humanos; Infraestrutura; Operacionais; e Qualidade.

Quadro 9 – Principais Indicadores voltados para avaliação do serviço de Tratamento de Esgoto

(continua)

Indicador (unidade)	Relevância			
	Prestadora de serviço	**Agência reguladora**	**Adm. Pública**	**Usuário**
Indicadores de Recursos Humanos				
Índice de produtividade de pessoal total (ligações/empregado)	x			
Acidentes fatais ou permanentes no trabalho (nº/100 funcionários)	x	x	x	
Indicadores de Infraestrutura				
Utilização de estações de tratamento (%)	x	x	x	
Extensão de rede por ligação (m/ligação)	x	x	x	
Indicadores Operacionais				
Consumo de energia nas ETEs (kWh/p.e/ano)	x		x	
Aproveitamento energético nas ETEs (%)	x		x	
Consumo de energia padrão (kWh/m3)	x			
Teste de DBO (-/ano)	x	x		
Teste de DQO (-/ano)	x	x		
Teste de SST (-/ano)	x	x		
Teste de P total (-/ano)	x	x		
Teste de Nitrogênio (-/ano)	x	x		
Teste de E. coli (-/ano)	x	x		
Indicadores de Qualidade				
População residente conectada à rede coletora (%)	x	x	x	x
População residente servida por ETE (%)	x	x	x	x
População residente não atendida (%)	x	x	x	x
Esgoto tratado na ETE (%)	x	x	x	x
Esgoto tratado por tratamento secundário (%)	x	x	x	
Total de reclamações (nº/1000hab./ano)	x	x	x	x
Resposta às reclamações (%)	x	x	x	x
Atendimento da ETE ao padrão de lançamento (%/ano)	x	x	x	

Legenda: ETEs: Estação de Tratamento de Esgoto; DBO: Demanda Biológica de Oxigênio; DQO: Demanda Química de Oxigênio; SST: Sólidos em Suspensão Totais; P: Fósforo.

Fonte: Von Sperling & Von Sperling (2013).

Quadro 9 – Principais Indicadores voltados para avaliação do serviço de Tratamento de Esgoto

(conclusão)

Indicador (unidade)	Relevância			
	Prestadora de serviço	**Agência reguladora**	**Adm. Pública**	**Usuário**
Indicadores Econômico-Financeiros				
Tarifa média de esgoto ($/m3)	x	x	x	x
Receita unitária ($/p.e./ano)	x	x	x	
Receita de serviços (%)	x	x	x	
Receitas industriais (%)	x	x	x	
Despesa total unitária por p.e. ($/p.e./ano)	x	x	x	
Despesas com energia (%)	x	x	x	
Despesas com materiais, produtos químicos e outros insumos (%)	x	x	x	
Despesa média anual por empregado ($/empregado)	x	x	x	
Despesas com tratamento de esgotos (%)	x	x	x	
Despesas com rede coletora (%)	x	x	x	
Investimento unitário ($/p.e./ano)	x	x	x	
Razão do custo total de cobertura (-)	x	x	x	
Razão do custo operacional de cobertura (-)	x	x	x	
Margem operacional com depreciação (%)	x	x	x	
Margem líquida com depreciação (%)	x	x	x	
Margem do serviço da dívida (%)	x	x	x	
Dívida capital (-/ano)	x	x	x	
Liquidez corrente (-)	x	x	x	
Liquidez geral (-)	x	x	x	
Retorno sobre capital próprio (%)	x	x	x	
Retorno de capital empregado (%)	x	x	x	
Despesa de exploração por m3 faturado ($/m3)	x	x	x	
Despesa de exploração por economia ($/ano/econ.)	x	x	x	
Índice de evasão de receitas (%)	x	x	x	
Margem da despesa de exploração (%)	x	x	x	
Total	**46**	**42**	**38**	**7**

Fonte: Von Sperling e Von Sperling (2013).

2.7 CONCLUSÕES

Este Capítulo apresenta uma consolidação de informações que visam construir a base das conjecturas, discussões, avaliações e desenvolvimento das ideias que são apresentadas nos capítulos seguintes. Nesse sentido, é possível estabelecer uma síntese

conclusiva das principais ideias discutidas ao longo dos subcapítulos anteriormente desenvolvidos, sendo estas:

- A evolução dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável reflete uma mudança na concepção e compreensão sobre sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, reconhecendo a necessidade de abordagens mais abrangentes e integradas para enfrentar os desafios globais e promover um futuro sustentável.

- A água desempenha um papel crucial no desenvolvimento sustentável e é essencial para o êxito dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. A gestão adequada dos recursos hídricos, o acesso universal à água potável e saneamento básico são fundamentais para garantir um futuro sustentável e alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável relacionados à erradicação da pobreza, saúde, educação, igualdade de gênero, energia limpa e outros aspectos essenciais para o bem-estar humano e ambiental.

- A conceituação da segurança hídrica evoluiu à medida em que se fez mais necessária nos sistemas dependentes de recursos hídricos. Em 2019 foi apresentado o Índice de Segurança Hídrica que avalia o estado da segurança hídrica de todos os municípios do Brasil.

- As perdas de águas em sistemas de abastecimento configuram diferentes relações entre disponibilidade hídrica, infraestrutura hídrica e demanda hídrica, fortemente ligadas à segurança hídrica. As perdas de água também envolvem questões amplas nas esferas: políticos; econômicos; sociais; tecnológicos; legais; e ambientais.

- Os sistemas de abastecimento de água são dotados de alta complexidade, não só estrutural, mas também por várias relações institucionais e regulatórias, tanto em suas concepções quanto nas operações. O propósito do sistemas de abastecimento é o de prover água própria para consumo, podendo fazê-lo com êxito, porém com baixa eficiência no processo de distribuição, por meio das perdas de água que podem ser reais ou aparentes.

- Um dos principais usuários dos recursos hídricos são os sistemas de abastecimento de água que apresentam grande influência no mercado de água e consequentemente geram conflitos no uso do recurso, especialmente pelas suas peculiaridades quantitativas e qualitativas. A existência de perdas de água, naturalmente, configura maior pressão no conflito do uso dos recursos hídricos.

- Existem diversos quesitos que estão atrelados à prestação do serviço de abastecimento de água que influenciam a própria prestação, assim como outros sistemas e instituições vinculadas à prestação desse serviço. Destacam-se: a natureza de ser um serviço considerado como monopólio natural; a fonte de captação configura consideravelmente as unidades subsequentes do sistema, e consequentemente os valores de implementação e operação; operam com grande consumo de energia elétrica; e em alguns casos operam com a necessidade de barramento de manancial superficial.

- As perdas de água nos sistemas de abastecimento são inevitáveis, tanto as reais quanto as aparentes. Cada tipo de perda possui um conjunto diferente de ações voltadas para sua gestão e controle. Existem diversos indicadores voltados para medição de perdas de água, cada um com uma estrutura distinta para um fim de análise. Há limites econômicos e técnicos no processo de controle de perdas de água. Os níveis de perdas de água variam entre inevitável, econômico e atual. As perdas de água apresentam a natureza de se elevarem naturalmente ao longo tempo.

- Há diversas problemáticas associadas com a existência de perdas de água, podendo essas elevarem o custo da água tratada, aumentar o consumo de insumos e energia elétrica, incrementar a tarifa, diminuir da oferta de água local, reduzir a vida útil da infraestrutura atual, e outros associados indiretamente a esses.

- O uso de indicadores em análises ambientais e de sustentabilidade é fundamental para compreender, medir e monitorar o progresso em direção a metas e objetivos. Os indicadores desempenham um papel crucial na identificação de tendências,

avaliação de impactos e tomada de decisões. Eles permitem uma avaliação objetiva e comparativa do desempenho dos sistemas, facilitando a identificação de áreas de melhoria e a formulação de políticas eficazes. Os indicadores são amplamente usados na avaliação no gerenciamento de recursos hídricos, envolvendo variáveis qualitativas e quantitativas. O uso de indicadores voltados para avaliação da qualidade da prestação dos serviços de saneamento básico ganham maior força a partir da promulgação da Lei 14.026/2020.

3 CAPÍTULO II - RELAÇÃO ENTRE AS PERDAS DE ÁGUA COM A SUSTENTABILIDADE E COM OS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

3.1 INTRODUÇÃO

O Capítulo I, ao longo do seu desenvolvimento, apresenta diversas informações que fundamentam o que foi discutido neste Capítulo II. Este Capítulo visa apresentar uma ampla discussão sobre como as PA em SAA se relacionam com o caráter de sustentabilidade e de como podem afetar o desenvolvimento sustentável, sob uma perspectiva da atual Agenda da ONU. Portanto, este capítulo tem os objetivos de:

- Delimitar o conceito aplicado do desenvolvimento sustentável.
- Discutir sobre a função da água no desenvolvimento sustentável.
- Discutir sobre as perdas de água e a sua relação com a sustentabilidade.
- Apresentar e discutir as relações que as perdas de água em sistemas de abastecimento de água possuem como o ODS 6.
- Apresentar e discutir as relações que as perdas de água em sistemas de abastecimento de água possuem como os ODS que se relacionem diretamente com a água.

Inicialmente, é apresentado uma delimitação do conceito aplicado do Desenvolvimento Sustentável, tendo em vista as múltiplas aplicações que o conceito possui, seja na esfera acadêmica, empresarial e jurídica. Também, apresenta-se qual seria a função que a água possui para o desenvolvimento sustentável, a partir da delimitação apresentada pelo autor. Adicionalmente, é discutido sobre a relação que as PA em SAA possuem com a sustentabilidade e insustentabilidade, dos próprios SAA e de outros sistemas que se relacionem com esses, sob a perspectiva do Nexo Água-Energia-Alimento. O capítulo, além de apresentar a discussão introdutória, apresenta as relações

que as PA possuem na influência do cumprimento do ODS 6 e demais ODS que se relacionem diretamente com os recursos hídricos.

3.2 DELIMITAÇÃO DO CONCEITO APLICADO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Para que seja possível desenvolver e apresentar, neste item, uma discussão que seja sistêmica, semântica, lógica-racional e capaz de atender ao que foi proposto, segue-se uma cronologia que apresenta conceitos básicos para o desenvolvimento das relações mais complexas, para que sejam mais bem argumentados os nexos entre PA em SAA e desenvolvimento sustentável.

O ponto de partida seria selecionar o conceito de desenvolvimento sustentável que mais cabe para essa discussão, tendo em vista que o termo desenvolvimento sustentável – que se origina da ideia de sustentabilidade – passou, ao longo das últimas décadas, por diversas transformações, como já argumentado por diversos autores, como: Glavič e Lukman (2007); Brand, (2009); Ben-Eli (2018); Ruggerio (2021); Bradley (2022).

A sustentabilidade pode ser considerada como um estado de um sistema, um dos mais amplos possíveis, a biosfera; sendo que o estado desses sistemas podem ser medidos por estruturas e relações internas específicas. Considerar por essa ótica é muito diferente de como é atualmente, de maneira institucionalizada, ter a sustentabilidade apenas como um objetivo normativo e orientativo. Uma definição abrangente de sustentabilidade, que serve para os variados sistemas que podem apresentar tal estado, é: um equilíbrio dinâmico nos processos de interações entre uma população (no sentido amplo) e a capacidade de suporte do ambiente em que se insere, de modo que a população se desenvolva para manifestar seu pleno potencial sem produzir efeitos adversos irreversíveis sobre a capacidade de suporte do ambiente do qual dependa inicialmente. (BEM-ELI, 2018).

O Desenvolvimento Sustentável tem sua definição, usual e materialmente, delimitada pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED, 1987), como sendo: o desenvolvimento que atende às necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das futuras gerações atenderem às suas próprias necessidades. No contexto nacional, o desenvolvimento sustentável se apresenta, predominantemente, sob a ótica jurídica como sendo um princípio. Apesar não apresentar uma definição explícita nas principais legislações federais, o conceito de desenvolvimento sustentável

pode ser extraído da Lei 6.938 n° de 1981 – Política Nacional de Meio Ambiente, cujo art. 2º dispõe: *"A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana"*. E no art. 4º: *"A Política Nacional do Meio Ambiente visará: I – à compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico"*.

Conceitualmente, já é difundido que o desenvolvimento sustentável se apresenta por meio de três pilares, que precisariam ser igual ou proximamente aplicados. Esses pilares, sob uma ótica acadêmica-científica e pela jurídica nacional, podem ser sucintamente delimitados, visando:

a) **Econômico:** a equidade nas distribuições de recursos entre e dentro das sociedades.

b) **Social:** melhorar a qualidade de vida e o bem-estar humano.

c) **Ambiental:** um desenvolvimento que se mantenha dentro das restrições ambientais e mantenha integridade ecológica em escalas de tempo intergeracionais.

Levando em consideração o que é apresentado por Brand (2009) e Ruggerio (2021), que abordam a diferença entre sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, argumenta-se que a abordagem de não se atribuir pesos aos pilares na concepção do desenvolvimento sustentável faz com que o desenvolvimento sustentável possa não apresentar a condição de sustentabilidade. Com isso se aplica, para o desenvolvimento desta discussão, à definição usual e já difundida, acadêmica-científica e juridicamente, de desenvolvimento sustentável em conjunção com a definição de sustentabilidade, que teria dado origem ao termo: Desenvolvimento Sustentável. O resultado dessa conjunção compõe uma definição que de fato leva em consideração a capacidade de fechar os ciclos durante o processo de desenvolvimento sustentável, diferentemente do que se é interpretado, pelo autor na governança por meio de objetivos e metas, no qual o estado de sustentabilidade, por muitas vezes, é colocado como um objetivo sucessório ao desenvolvimento sustentável.

Essa inaplicabilidade de um desenvolvimento sustentável sem, necessariamente, ter sustentabilidade é justificada no próprio ato jurídico que organiza o Estado brasileiro, por meio de sua Constituição Federal (CF), de 1988. Dentro do campo jurídico, os princípios não apresentam hierarquia entre si, pois podem ser relativizados em detrimento de um contexto específico de suas aplicações. A CF/88 apresenta como um de seus fundamentos "*os valores sociais do trabalho e da livre iniciativa*" e como um de seus objetivos "*garantir o desenvolvimento nacional*" (BRASIL, 1988). A Constituição atual, também, estrutura-se para promover um Estado de bem-estar social aos seus cidadãos, que ao promovê-lo, apresenta uma finalidade que para poder ser alcançada faz uso de meios que podem se abster, ao relativizarem tanto ações públicas quanto privadas, de serem sustentáveis, mas promovidas como fundamentais para o desenvolvimento do Estado brasileiro.

3.3 FUNÇÃO DA ÁGUA NO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Já é amplamente difundido a importância dos diferentes usos que a água possui para: a vida humana; a vida aquática; as cadeias produtivas; a geração de eletricidade; etc. Existem diferentes vieses que visam estudar essas múltiplas relações que a água pode apresentar. Sob a ótica do desenvolvimento sustentável, seria leviano mensurar um valor para água, que é um recurso determinante para o estado de sustentabilidade do maior sistema possível, a biosfera. No entanto, das diversas linhas de pesquisa, a que mais interessa para este estudo, que se linha ao princípio do desenvolvimento sustentável – com sustentabilidade – e da SH, é a que estuda o Nexo Água-Energia-Alimento.

Água, alimentos/materiais e energia estão intrinsecamente interligados pois: a água é necessária para produção e transporte de todas as formas de energia até determinado ponto; a energia é necessária para coleta/explotação, tratamento e distribuição de água; para produção, transporte e distribuição de alimentos se faz, em algum, senão em todos os momentos, uso de energia e água. Esse arranjo implica que as escolhas e ações em um desses domínios têm consequências diretas e indiretas sobre os outros. Arranjo difundido como Nexo Água-Energia-Alimento. O nexo se intensifica à medida que a demanda por recursos aumenta com o crescimento populacional e a mudança dos padrões de consumo. Enquanto isso, as principais tendências globais – anomalias climáticas e conflitos por uso do solo – restringem a capacidade dos sistemas existentes de atender à crescente demanda com segurança e sustentabilidade. Dessa

maneira, a segurança de um, contribuí para a do outro, do mesmo modo que a insegurança (NÚÑEZ-LÓPEZ; RUBIO-CASTRO; PONCE-ORTEGA, 2022; SAMBERGER, 2022).

O aspecto mais importante deste Nexo é o próprio conceito do nexo de pensamento. Esse nexo de pensamento pode ser interpretado como uma evolução e transição do pensamento científico para uma atualização e renovação do paradigma atual para uma gestão integrada dos diferentes setores. Esse pensamento também pode ser caracterizado pela identificação das relações entre os setores dos recursos naturais essenciais e por um planejamento meticuloso, que se gere por meio da máxima eficiência. O Nexo Água-Energia-Alimento recebe, mais recentemente, de maneira conjunta, uma abordagem mais ampla de governança com a finalidade de garantir a sustentabilidade dos recursos naturais, que estão atrelados ao nexo. Essa mesma abordagem de governança já foi e é aplicada em diversos outros setores, que se relacionam com este nexo, que vão desde o controle da poluição do ar, redução da perda de biodiversidade, mitigação da mudança climática, contenção de transmissão de doenças e espécies invasoras, até a gestão de recursos hídricos. Um exemplo prático da aplicação dessa governança, mesmo que não tenha se estruturado intrinsecamente para elucidar e promover uma governança voltada para O Nexo Água-Energia-Alimento, são os atuais ODS, que por meio de metas que são estipuladas para os países signatários, acabam por favorecer a eficiência do Nexo (YUAN; LO, 2022).

Desse modo, é possível relacionar, considerando a água como recurso matriz e limitante para o estado de sustentabilidade, que somente poderá se alcançar um status de desenvolvimento sustável, em escala global, se houver uma promoção da SH, sob o preceito de promover a segurança energética e segurança alimentar, posto que esses não sejam possíveis, no campo material, de serem dissociados. Para que seja possível ter êxito nos processos de governança, é preciso que a fundamentação científica esteja mais presente nos critérios de tomada de decisão, tanto para compreender os fatores limitantes (dinâmica dos recursos), e assim respeitá-los, quanto para expandir os limites naturalmente impostos (avanços tecnológicos). A maximização setorial, seja para água, energia e alimentos, resultará, condicionalmente, em uma maior robustez para o desenvolvimento sustentável, que depende, necessariamente, da redução de PA e de eficiência em todas suas cadeias produtivas.

3.4 PERDAS DE ÁGUA E A (IN)SUSTENTABILIDADE

Na concepção da hidrologia, a água se dinamiza em um ciclo fechado cuja quantidade é invariável, pelo menos em grande escala temporal. Porém, indissociável à SH, a qualidade da água, no montante, do presente momento, está se deteriorando – pois a água, nos primeiros usos pela humanidade, mesmo que recebendo tratamento, entra no processo de uso melhor do que sai, em termos de qualidade. Com demandas especificas, para atender integralmente os usos, é preciso que água se apresente em condições de qualidade e quantidade satisfatórias.

Nenhum recurso natural foge da lógica de mercado. Tampouco a água, que mundialmente é gerida por distintos modelos que variam de acordo com cada Estado, em função de seus ordenamentos jurídicos e estruturas legais. No Brasil, adota-se o Modelo Sistêmico de Integração Participativa, que se caracteriza pela criação de uma estrutura sistêmica, na forma de matriz institucional de gerenciamento, responsável pela execução de funções gerenciais específicas, e pela adoção de três instrumentos: planejamento estratégico por bacia hidrográfica; tomada de decisão através de liberações multilaterais e descentralizadas; estabelecimento de instrumentos legais e financeiros (SETTI *et al.*, 2000). Logicamente, também no país, nos processos de negociações os serviços de abastecimento de água possuem preferência para o uso dos recursos hídricos, sob condições de baixa oferta e alta demanda, assim como sob eventos críticos. No entanto, essa preferência, quando transposta para uma ótica das macros relações, nem sempre pode ser benéfica à própria população, a médio e longo prazo.

Nos SAA, as PA podem, nos preceitos da sustentabilidade e do Nexo Água-Energia-Alimento, ter impactos que vão bem além do que poderiam ser observados nas “entranhas” desses SAA, pois afetam, em diferentes graus, a reação em cadeia que transfere esses impactos a uma escala regional e, até global. Portanto, o estado de insustentabilidade local, de um dado sistema, acarreta à insustentabilidade global. Isso se dá pelos insumos que são utilizados, inevitavelmente, em todos as cadeias existentes para prestação do serviço de abastecimento de água. Para reverter ou reduzir esse estado é prudente e pertinente dar grande atenção à indústria da água, principalmente para os SAA, para torná-los capazes de operar com o ciclo mais fechado possível, tendo dessa maneira, maior capacidade de operar por vias sustentáveis e com autonomia.

3.5 RELAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA E O ODS 6

A ONU (2015b) apresenta a proposta da Agenda dos ODS. Dentre os 17 objetivos, destaca-se o ODS 6, que trata sobre Água potável e saneamento e visa garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos, é subdivido em 8 metas, que são:

a) **6.1:** Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo a água potável e segura para todos.

b) **6.2:** Até 2030, alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a defecação a céu aberto, com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade.

c) **6.3:** Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente.

d) **6.4:** Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água.

e) **6.5:** Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça, conforme apropriado;

f) **6.6:** Até 2020, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos.

g) **6.a:** Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso.

h) **6.b:** Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento.

A execução da Agenda, via governança global por estímulo de metas, apresenta características singulares e comuns para seu êxito. Também, é reconhecido a sinergia entre os ODS, e se destaca o ODS 6 como um dos Objetivos centrais no eixo sinérgico. A existência de PA em SAA, ao redor do mundo, atua como uma variável capaz de inviabilizar ou retardar o êxito das metas para o ODS 6 e ainda de outros, que são dependentes de sua sinergia.

A razão pela qual as PA teriam essa capacidade de influenciar negativamente praticamente todo o desempenho da Agenda, que se pauta massivamente na promoção da resiliência (para que os diversos SAA sejam capazes de se sobrepor às diversas pressões que são exercidas às sociedades e ao meio ambiente) se dá pelo grande distanciamento que a ineficiência, perdas e desperdício de recursos envolvem no cumprimento das metas e da promoção do desenvolvimento sustentável. Desse modo, as PA distanciam os sistemas (cidades e bacias hidrográficas) de um caráter resiliente, e por conseguinte de uma manutenção sustentável, afastando-se, assim, do proposto êxito da Agenda.

Pontualmente, o Quadro 10 dispõe as relações existentes entre o atendimento das metas do ODS 6 sob a influência que os SAA apresentam dentro de seu contexto de PA, que no Brasil, praticamente nenhum sistema encontra-se no nível inevitável de PA, que seria a meta para todo e qualquer SAA, e o progresso atual disponibilizado pela ONU, para o ano de 2022.

Quadro 10 – Relação da influência que as perdas de água produzem nas diferentes metas do ODS 6 e progresso registrado até 2022

(continua)

Meta	Influência das perdas de água	Progresso registrado ONU (2022)
6.1	Já há, em diversos locais, enormes conflitos para o uso da água em função de sua disponibilidade local, tendo esses conflitos ainda mais agravados pela existência de PA, que precisam ser compensadas pelo sistema e de imediato alteram o regime hídrico. Alcançar essa meta com as quantias exorbitantes de PA, principalmente nos países em desenvolvimento, torna-se muito desafiador.	Entre 2015 e 2020, a população que utiliza serviços de água potável geridos com segurança aumentou de 70% para 74%, a população com saneamento gerenciado com segurança aumentou de 47% para 54%, e a população com acesso a instalações de lavagem das mãos com água e sabão em casa aumentou de 67% para 71%. As taxas de progresso para estes serviços básicos precisariam quadruplicar para alcançar uma cobertura universal até 2030.

Fonte: Elaborado pelo autor; ONU (2022).

Quadro 10 – Relação da influência que as perdas de água produzem nas diferentes metas do ODS 6 e progresso registrado até 2022

(continuação)

Meta	Influência das perdas de água	Progresso registrado ONU (2022)
6.2	As PA atribuem certo déficit às companhias para que possam investir com maior intensidade, agora e nos próximos anos, para assegurar o acesso ao saneamento. Os quesitos de higiene, no entanto, variam de acordo com a cultura de cada país e das estruturas domiciliares das diferentes classes sociais desses países, tornando esse quesito mais distante do alcance da companhia, que deve pelo menos fornecer o acesso ao recurso promotor da higiene – a água. Assim como coletar a água após seu uso doméstico e tratá-la, para promover melhores condições de manutenção do próprio sistema de saneamento.	
6.3	Para locais onde há captação superficial, principalmente, a existência de PA faz com que maiores vazões sejam captadas, reduzindo, assim, as vazões imediatas disponíveis, que caso fossem mais elevadas poderiam receber maiores cargas de poluentes, sem necessariamente degradar os recursos hídricos, sob as definições legais. Com menores vazões os níveis de tratamento das águas residuárias deve ser mais eficiente, e portanto mais dispendiosos – destaca-se que os países em desenvolvimento possuem dificuldade de construir/operar estações de tratamento que coloquem a qualidade do efluente nos níveis ambientais adequados (VON SPERLING, 2014). Os países em desenvolvimento são os que possuem maiores índices de PA, agravando mais essa relação. Apesar de se incentivar o investimento em sistemas que promovam o reuso da água para fins potáveis, essa opção deve ser evitada quando os SAA instalados apresentem grandes quantias de PA, pois a implementação de sistemas de tratamento avançando são, no geral, mais dispendiosas (material e energeticamente) do que os investimentos na redução de PA, além dos múltiplos benefícios promovidos pela redução das PA.	A avaliação dos rios, lagos e aquíferos em 97 países em 2020 mostra que 60% dos corpos de água avaliados têm boa qualidade da água. Dos 76.000 corpos d'água que foram relatados em 2020, apenas 1% era proveniente dos países mais pobres. Para pelo menos 3 bilhões de pessoas, a qualidade da água que a confiança é desconhecida devido à falta de monitoramento.
6.4	A redução de PA, por exemplo, aos níveis inevitáveis tornaria os SAA próximos da maior eficiência possível, reduzindo substancialmente os gastos com insumos que também são produtos com cadeias complexas, dispendiosas e até impactantes, e com energia, além de aumentar a disponibilidade hídrica, promovendo maior capacidade de abastecimento e reduzir o número de pessoas que sofrem com escassez de água. A redução com os gastos para produção de água tratada torna o processo mais acessível e robusto, tornando-o mais resiliente e capaz de fornecer água de maneira continua e segura para aqueles que sofrem com escassez.	A eficiência do uso da água aumentou de US$17,4/m3 em 2015 para US$19,4/m3 em 2019 em todo o mundo, o que representa um aumento de 12% na eficiência. Cerca de 57% dos países apresentaram uma eficiência no uso da água equivalente a $20/m3 ou menos em 2019. Em todo o mundo, os níveis de estresse hídrico permaneceram seguros em 18,6% em 2019, embora isto esconda grandes variações regionais. O Sul da Ásia e a Ásia Central registraram altos níveis de estresse hídrico em mais de 75%, enquanto o Norte da África registrou um nível crítico de estresse hídrico de mais de 100%. Desde 2015, os níveis de estresse hídrico aumentaram significativamente na Ásia Ocidental e no Norte da África.

Fonte: Elaborado pelo autor; ONU (2022).

Quadro 10 – Relação da influência que as perdas de água produzem nas diferentes metas do ODS 6 e progresso registrado até 2022

(conclusão)

Meta	Influência das perdas de água	Progresso registrado ONU (2022)
6.5	A redução de PA, por exemplo, aos níveis inevitáveis, atenuariam os conflitos para os diferentes usos da água, influenciando positivamente a gestão integrada dos recursos hídricos, tornando-a, naturalmente, mais fácil de ser desempenhada, ao trazer maior disponibilidade hídrica para os locais de maiores conflitos e que antes possuíam maiores níveis de PA. Existem mananciais de captação superficial, ao redor do mundo, que abastecem dezenas de SAA. A existência de PA nos SAA mais a montante do curso, tendem a produzir maior pressão na captação dos SAA a jusante.	Para garantir uma distribuição sustentável e equitativa da água para atender às necessidades domésticas, industriais, agrícolas e ambientais, a taxa média global de implementação de uma melhor gestão dos recursos hídricos - de 49% em 2017 para 54% em 2020 - precisa duplicar urgentemente. Com vontade política e financiamento adequado, 22 países obtiveram ganhos significativos entre 2017 e 2020, mostrando que é possível um progresso real e rápido e fornecendo exemplos tangíveis para os 107 países que precisam acelerar significativamente a implementação.
6.6	A restauração de ecossistemas, necessariamente, envolve a utilização de água – ecossistemas que por muitas vezes podem ter sidos degradados sob influência das pressões pelas condições de insuficiência econômica momentânea – poderiam ter seus processos de restauração acelerados com a maior disponibilidade hídrica que seria oriunda da redução das PA. Adicionalmente, maiores captações de volume de água, passível de ser reduzido, contribuem com a redução das vazões de cursos superficiais que são os próprios habitats ou recurso essencial para manutenção de um outro ecossistema. A necessidade de reservação de água, por meio de barramentos produz áreas alagadas que também alteram o equilíbrio ecológico. Caso os SAA fossem operados com menores PA, é possível que a reservação de água não fosse necessária, ou ao menos o volume a ser reservado fosse reduzido, acarretado menores impactos sobre o meio ambiente.	Nos últimos 300 anos, os ecossistemas de zonas úmidas sofreram uma perda de 85% em extensão, apesar dos bens e serviços de altíssimo valor que eles fornecem. Além disso, a extensão dos corpos hídricos superficiais, incluindo lagos, rios e reservatórios, está mudando rapidamente em todo o planeta, com uma em cada cinco bacias hidrográficas experimentando flutuações elevadas - acima do natural - nas águas superficiais durante os últimos 5 anos. O
6.a	Tendenciosamente, os países em desenvolvimento apresentam maiores índices de PA que poderiam ser mais rapidamente reduzidos com a cooperação e capacitação para o combate às PA. Como muitos SAA se encontram em uma situação de alta vulnerabilidade às suas PA – tornando-os insuficientes financeira e tecnicamente para a gestão PA – um auxílio externo se faz, muitas vezes, extremamente necessário para que esses SAA possam emergir dessa situação.	Os rios, lagos e aquíferos transfronteiriços são compartilhados por 153 países em todo o mundo. Para garantir que essas águas sejam gerenciadas de forma equitativa, sustentável e pacífica, particularmente no contexto da mudança climática, é necessário que os países implementem acordos operacionais para a cooperação no setor da água. Dados de 2017 e 2020 sugerem um progresso lento, com apenas 32 países tendo 90% ou mais de suas águas transfronteiriças cobertas por tais acordos.
6.b		Sem consideração, disposta pelo relatório, específica de progresso para essa meta

Fonte: Elaborado pelo autor; ONU (2022).

3.6 RELAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA E DIFERENTES ODS

Notadamente, a existência de PA e suas respectivas reduções são capazes de incrementar as chances de êxitos das diferentes metas do ODS 6, assim como é

reconhecido pelas ONU (2015a) e ANA (2019b) que a própria busca para o atendimento das metas do ODS 6 seria capaz de contribuir substancialmente no desenvolvimento e êxito do atendimento dos outros ODS.

Apesar da água ser um recurso matriz de praticamente todos os outros recursos nem todos os ODS, pela forma que foram estruturados e dispostos, poderiam ser vinculados a essa sinergia do ODS 6. Dentro do contexto de PA e de seus impactos – diretos e indiretos – é possível desenvolver discussão e análises sobre como as PA influenciam negativamente no desenvolvimento e êxito do atendimento dos demais ODS, podendo destacar a influência para os ODS 1, 2, 3, 7, 9, 11, 12, 13, 15 e 17, que tratam, respectivamente, sobre: Erradicação da Pobreza; Fome Zero e Agricultura Sustentável; Saúde e Bem-estar; Energia Limpa e Acessível; Indústria, Inovação e Infraestrutura; Cidades e Comunidades Sustentáveis; Consumo e Produção Responsáveis; Ação Contra a Mudança Global do Clima; Vida terrestre; e Parcerias e Meios de Implementação.

Pontualmente, o Quadro 11 dispõe as relações existentes entre os ODS, supracitados, sob a influência que os SAA apresentam dentro de seu contexto de PA. Sabe-se que poucos SAA se encontram efetivamente no nível inevitável de PA, que seria a meta para todo e qualquer SAA, e os principais progressos disponibilizados pela ONU, para o ano de 2022.

Quadro 11 – Relação da influência que as perdas de água produzem nos diferentes ODS e progresso registrado até 2022

(continua)

Objetivo	Influência das perdas de água	Progresso registrado ONU (2022)
	A relação de resiliência e vulnerabilidade analisadas para a SH pode ser equiparada à Segurança Social-Econômica. As crises citadas pela ONU deixam evidente que inúmeras pessoas se encontram em situação de vulnerabilidade e que os Estados não possuem resiliência para suportar crises com impactos globais e, simultaneamente, essas pessoas em vulnerabilidade – pobreza. Condições de grande pobreza geram impactos diretos e indiretos às diversas esferas. A elevação da pobreza foi mais acentuada em países em desenvolvimento, que apresentam, tendenciosamente, maiores índices de perdas aparentes, podendo criar um Nexo Pobreza-Vulnerabilidade-Perdas Aparentes [via furtos]. A contenção da pobreza é capaz de gerar reduções de PA, que por sua vez podem capacitar melhor os governos locais a contenção da pobreza.	O impacto da pandemia da COVID-19 reverteu o progresso constante da redução da pobreza dos últimos 25 anos. Esta inversão, sem precedentes, é ainda mais exacerbada pelo aumento da inflação e dos impactos da guerra na Ucrânia. Estima-se que estas crises combinadas levarão a mais 75 a 95 milhões de pessoas vivendo em extrema pobreza em 2022, em comparação com as projeções pré-pandêmicas. Quase todos os países introduziram novas medidas de proteção social de curto prazo em resposta à crise da COVID-19 para proteger a saúde, o emprego e a renda das pessoas. Se essas medidas continuarem, elas fornecerão a assistência necessária para os pobres e os ajudarão sair da pobreza.
	O Nexo Água-Energia-Alimento, apresentado reiteradamente, deixa evidente que a redução das PA é capaz de influenciar positivamente a SH, que por sua vez contribui e se relaciona simultânea e intimamente com as Segurança Energética e Alimentar. As cadeias produtivas de alimentos, há certo tempo, se consolidaram globalmente, sendo essas extremamente dependentes da disponibilidade hídrica, energética e de solo – tornando assim a redução dos níveis de PA nos SAA uma opção adicional para contribuir com a robustez da produção de alimentos no mundo, em especial por parte dos SAA que fazem captação de mananciais superficiais.	Entre 2014 e o início da pandemia, o número de pessoas que passam fome e sofrem com a insegurança alimentar estava aumentando gradualmente. A crise da COVID-19 fez subir ainda mais essas taxas ascendentes. A guerra na Ucrânia está afetando ainda mais as cadeias globais de abastecimento alimentar e criando a maior crise alimentar mundial desde a Segunda Guerra Mundial. A crise da COVID-19 também exacerbou todas as formas de desnutrição, particularmente em crianças.

Fonte: Elaborado pelo autor; ONU (2022).

Quadro 11 – Relação da influência que as perdas de água produzem nos diferentes ODS e progresso registrado até 2022

(continuação)

Objetivo	Influência das perdas de água	Progresso registrado ONU (2022)
	A crise sanitária apresentada pela ONU, COVID – 19, teria como profilaxia a lavagem das mãos, método indisponível para milhões de pessoas que não possuem acesso ao saneamento básico. Já foi amplamente difundido os ganhos à saúde que o saneamento básico é capaz de promover quando bem desempenhado. Não há como ter êxito neste objetivo sem que haja a Universalização do Saneamento que pode se tornar mais acessível com as reduções das PA. Portanto há uma relação direta em redução das PA, pelo favorecimento do saneamento, com a promoção da saúde e bem-estar.	Em abril de 2022, a COVID-19 havia infectado mais de 500 milhões de pessoas e matado mais de 6,2 milhões em todo o mundo. Entretanto, as últimas estimativas sugerem que o "excesso de mortes" global direta e indiretamente atribuível à COVID-19 poderia ser três vezes maior do que este número. A pandemia perturbou gravemente os serviços essenciais de saúde, encurtou a expectativa de vida e exacerbou as desigualdades entre países e pessoas no acesso aos serviços básicos de saúde, ameaçando desfazer anos de progresso em algumas áreas da saúde. Além disso, a cobertura de vacinação caiu pela primeira vez em dez anos, e as mortes por tuberculose e malária aumentaram.
	Apesar de ter sido apresentado o Nexo Água-Energia-Alimento, poucos países teriam o nexo tão forte quanto o Brasil, em função de sua matriz elétrica ser majoritariamente advinda da geração de hidroelétricas espalhadas em todo o território nacional. Em países cuja matriz elétrica apresente considerável parcela oriunda de hidrelétricas ou ainda que cogitem implementação dessa fonte, a redução das PA, em especial dos SAA que fazem captação de manancial superficial, pode apresentar ganhos para disponibilidade hídrica e atribuir maior Segurança Elétrica. Ressalva-se, também, que diversas hidrelétricas, no geral as mais antigas, operam com elevados níveis de barramento e podem gerar conflitos com o abastecimento de água a depender da densidade populacional e SH local, ou até regional.	Apesar do progresso, ainda há mais de 700 milhões de pessoas vivendo na escuridão e 2,4 bilhões de pessoas que cozinham com combustíveis nocivos e poluentes. Embora o uso de energia renovável e a eficiência energética tenha melhorado, o progresso não é suficientemente rápido para alcançar o SDG 7. A guerra na Ucrânia está elevando os preços globais da energia e aumentando a insegurança energética na Europa. Para responder à crise energética, alguns países europeus planejam acelerar a transição para energias renováveis e aumentar os investimentos em na eficiência energética, enquanto alguns outros países planejam um ressurgimento do carvão, pondo em risco a transição verde.

Fonte: Elaborado pelo autor; ONU (2022).

Quadro 11 – Relação da influência que as perdas de água produzem nos diferentes ODS e progresso registrado até 2022

(continuação)

Objetivo	Influência das perdas de água	Progresso registrado ONU (2022)
	A redução de PA está diretamente ligada com a construção de infraestruturas resilientes – para promover maior sustentabilidade. A infraestrutura de uma SAA tem vida útil – sob um contexto de sustentabilidade baixo – por isso é necessário que haja sempre fomento de inovações para encontrar meios físicos de se alcançar maior longevidade de sua infraestrutura. Essas ações fomentam e fortalecem setores industriais vinculados aos SAA. A redução de PA também é capaz de elevar a disponibilidade hídrica local, que pode ser utilizada em novas industriais.	A indústria manufatureira mostrou recuperação da pandemia em 2021, embora a recuperação seja desigual entre os países, com estagnações nos países menos desenvolvidos. Quase um em cada três postos de trabalho na indústria manufatureira havia sido afetado negativamente durante a pandemia. As indústrias de tecnologia superior tiveram um melhor desempenho e se recuperaram mais rapidamente, fornecendo um forte exemplo de como a inovação tecnológica é importante para alcançar a ODS 9.
	Pela definição previamente delimitada desta pesquisa não há como um SAA se apresentar como sustentável sem que tenha atingido o nível inevitável de PA. Toda dinâmica de uma cidade (com exceção de algumas indústrias) é dependente diretamente de seu SAA que pode se tornar mais resiliente ao passo que reduz suas PA. Ainda existe o nexo das perdas aparentes com a população residente em moradias subnormais. A sustentabilidade do SAA está (in)diretamente ligada com as políticas públicas dos assentamentos humanos, e isso foge do alcance das companhias de saneamento para o, dos governos locais. É possível reconhecer que a problemática dos assentamentos subnormais gera diversos impactos em cadeia nos sistemas urbanos, porém diversas ações estão voltadas para atenuação ou mitigação desses impactos, mas não na solução da problemática inicial.	Como epicentros da crise da COVID-19, muitas cidades têm sofrido com sistemas de saúde pública insuficientes, serviços básicos inadequados, falta de sistemas de transporte público bem desenvolvidos e integrados e espaços públicos abertos inadequados, bem como com as consequências econômicas dos lockdowns. Como resultado, é provável que a pandemia aumente ainda mais o número de moradores de favelas. Para melhorar a vida de mais de um bilhão de moradores de favelas, há uma necessidade urgente de se concentrar em políticas para melhorar a saúde, habitação acessível, serviços básicos, mobilidade sustentável e conectividade.

Fonte: Elaborado pelo autor; ONU (2022).

Quadro 11 – Relação da influência que as perdas de água produzem nos diferentes ODS e progresso registrado até 2022

(continuação)

Objetivo	Influência das perdas de água	Progresso registrado ONU (2022)
	Um SAA apresenta cadeias de insumos que configuram outras cadeias. Todas as cadeias produtivas fazem uso direto ou indireto da água. A redução das PA eleva (in)diretamente todas as cadeias locais, regionais e, por sua vez, globais – em função da consolidação da produção global. – a níveis mais próximos da sustentabilidade. Analogamente às PA dos SAA, todas as cadeias produtivas (sistemas) apresentam níveis de PA que podem ser reduzidos aos níveis inevitáveis de PA. Como a água se apresenta como recurso matriz desses sistemas, é imprescindível que esses sistemas se apresentem, dentro dos sistemas globalizados de produção e consumo, nos níveis inevitáveis de PA, para que se contribua com o consumo e produção responsáveis.	Os países em desenvolvimento suportam uma grande parte dos impactos do clima, da biodiversidade e da poluição dos processos de produção intensiva em recursos, sem aproveitar seus benefícios. Esta situação tem sido agravada pelos impactos da pandemia. Como parte das estratégias de recuperação global sustentável da pandemia, a implementação do Consumo e Produção Sustentáveis irá maximizar os benefícios socioeconômicos do uso de recursos, enquanto minimiza seus impactos.
	Em função do que é apresentado e defendido até o momento, as mudanças climáticas[1] seriam advindas das diversas ações humanas sobre o meio ambiente, em especial na esfera energética. Os SAA são fortemente dependentes de eletricidade – que em diversos países tem majoritariamente suas fontes elétricas vindas de não renováveis e poluentes – e por isso qualquer perda de água física ou desperdício envolve necessariamente maiores consumos elétricos. Portanto, PA contribuem (in)diretamente na ineficiência de sistemas dependentes de energia que para serem produzidas contribuem para o agravamento das mudanças climáticas. As PA influenciam no mercado de energia, contribuindo para o aumento da demanda – que, por exemplo, no Brasil ainda faz uso de fontes não renováveis e que também possui o SIN, que é abastecido por fontes renováveis e não renováveis.	O aumento das ondas de calor, secas e inundações causadas pela mudança climática estão destruindo o planeta e afetando bilhões de vidas em todo o mundo. Apesar da redução temporária das emissões de CO2 em 2020, projeta-se que as emissões globais de CO2 relacionadas à energia se recuperarão e crescerão 4% à medida que a demanda de carvão, petróleo e gás se recuperar com a economia em 2021. Com base nos compromissos nacionais atuais, as emissões globais deverão aumentar quase 14% durante a década atual, o que poderá levar a uma catástrofe climática, a menos que os governos, o setor privado e a sociedade civil trabalhem em conjunto para tomar medidas imediatas. Entretanto, a guerra na Ucrânia ameaça tornar-se um enorme revés para os esforços concertados para acelerar a ação climática.

Fonte: Elaborado pelo autor; ONU (2022).

Quadro 11 – Relação da influência que as perdas de água produzem nos diferentes ODS e progresso registrado até 2022

(conclusão)

Objetivo	Influência das perdas de água	Progresso registrado ONU (2022)
	A capacidade de manutenção de diversos ecossistemas terrestres está diretamente relacionado com a disponibilidade hídrica que pode ser elevada com a redução das PA, em especial dos SAA que fazem captação em mananciais superficiais. Assim como a disponibilidade de água pode aumentar com a consolidação de novas florestas, pois a massa vegetal contribui intimamente com o ciclo hidrológico, favorecendo, desse modo, a SH e a resiliência dos diferentes sistemas envolvidos.	O contínuo desmatamento global, a degradação da terra e dos ecossistemas e a perda de biodiversidade representam grandes riscos para a sobrevivência humana e o desenvolvimento sustentável. Mesmo quando são feitos esforços na gestão sustentável das florestas e dos recursos naturais, os compromissos e instrumentos destinados a proteger, restaurar e utilizar de forma sustentável as florestas e a biodiversidade precisam ser realizados urgentemente para garantir sociedades saudáveis e resilientes.
	Quando se coloca em perspectiva a sustentabilidade do planeta, é impossível desvincular o papel de liderança dos países desenvolvidos, que apresentam menores índices de PA, em função de muitos terem baixas disponibilidades hídricas e elevados recursos para investimento em infraestrutura. Para consolidar o mundo em um patamar de sustentabilidade é imprescindível que haja uma drástica redução dos índices de PA em todo o mundo, e para que a maioria dos Objetivos sejam cumpridos no prazo estipulado (2030), seria sensato que os países desenvolvidos contribuíssem com os em desenvolvimento, para universalização do saneamento (e redução de PA), por meio de créditos e estratégias técnicas. Isso porque já foi demonstrado a sinergia que a promoção do ODS 6 tem com todos os outros.	Apesar de uma forte recuperação do investimento estrangeiro direto global e dos fluxos de transferências de dinheiro, muitos países em desenvolvimento ainda têm prioridades concorrentes para um espaço fiscal limitado e encontram mais dificuldades do que nunca para se recuperar economicamente. Com a pandemia longe do fim e a distribuição de vacinas extremamente desigual em todo o mundo, há a ameaça de uma recuperação dualista da COVID-19. Com o sistema global enfrentando uma multiplicidade de crises em todo o espectro social, de saúde, ambiental e de paz e segurança, há uma necessidade urgente de ampliar a cooperação internacional para encontrar soluções duradouras.

Fonte: Elaborado pelo autor; ONU (2022).

3.7 CONCLUSÕES

A partir do que é exposto ao longo deste Capítulo, evidencia-se a importância de abordar adequadamente o desenvolvimento sustentável, especialmente sob qualquer matéria que esteja associada ao conceito. Apresentou-se, também, a interligação entre água, alimentos/materiais e energia, e a eminente necessidade de reduzir as perdas de água nos sistemas de abastecimento a partir dessa interligação. Nesse sentido, é possível estabelecer uma síntese conclusiva das principais ideias discutidas, sendo estas:

- A abordagem de não atribuir pesos aos pilares do desenvolvimento sustentável pode comprometer sua condição de sustentabilidade, sendo necessário considerar a capacidade de fechar os ciclos locais durante o processo de desenvolvimento.

- A interligação intrínseca entre água, alimentos/materiais e energia, conhecida como Nexo Água-Energia-Alimento, exige ações integradas, uma vez que as escolhas e ações em um desses domínios têm impactos diretos e indiretos nos demais, apesar das matérias serem tratadas separadamente nas produções de materiais e pela governança.

- A segurança hídrica emerge como uma condição fundamental para alcançar o desenvolvimento sustentável em escala global, devendo ser promovida em conjunto com a segurança energética e alimentar.

- As perdas de água nos sistemas de abastecimento de água têm impactos que vão além de sua escala local, por ocorrerem em todo mundo, afetam a sustentabilidade global. Por isso, é crucial dar maior atenção à indústria da água e operar os sistemas de abastecimento de água de forma sustentável.

- As perdas de água nos sistemas de abastecimento de água podem inviabilizar ou retardar o cumprimento das metas do ODS 6 e comprometer o sucesso de outros objetivos que dependem dessa sinergia.

- A redução das perdas de água em sistemas de abastecimento de água não apenas aumenta as chances de alcançar as metas do ODS 6, mas também contribui

substancialmente para o desenvolvimento e sucesso dos demais objetivos da Agenda 2030.

- Embora nem todos os ODS tenham sido estruturados para enfatizar a sinergia com a água, é importante analisar como as perdas de água em sistemas de abastecimento de água influenciam negativamente, mesmo que minimamente, o cumprimento e o sucesso de outros objetivos, como Erradicação da Pobreza; Fome Zero e Agricultura Sustentável; Saúde e Bem-estar; Energia Limpa e Acessível; Indústria, Inovação e Infraestrutura; Cidades e Comunidades Sustentáveis; Consumo e Produção Responsáveis; Ação Contra a Mudança Global do Clima; Vida terrestre; e Parcerias e Meios de Implementação.

4 CAPÍTULO III – CONCEPÇÃO DO CARÁTER DE VULNERABILIDADE DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO FRENTE AS SUAS PERDAS DE ÁGUA

4.1 INTRODUÇÃO

O Capítulo III visa apresentar as múltiplas relações que tornam os SAA suscetíveis a algum grau de vulnerabilidade às suas PA, quando essas estão em níveis acima dos inevitáveis. Portanto, este capítulo tem os objetivos de:

- Discutir sobre as diferenças entre os tipos de perda de água e como ela interagem na condução à vulnerabilidade por parte dos sistemas de abastecimento.

- Delimitar a aplicação do conceito de vulnerabilidade.

- Discutir sobre as relações sistêmicas e institucionais atreladas à prestação do serviço de abastecimento de água e existência de perdas de água.

- Apresentar e discutir sobre a concepção das cadeias primordiais de manutenção sistêmica dos sistemas de abastecimento de água.

- Apresentar e discutir sobre a concepção das relações Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta associadas com a existência das perdas de água durante a prestação do serviço de abastecimento de água.

- Construir uma matriz das relações Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta identificadas e discutir sobre cada uma dessas relações sob o contexto de prestação do serviço de abastecimento com perdas de água acima dos níveis inevitáveis.

Inicialmente, são apresentadas considerações sobre os diferentes tipos de PA, para que se delimite as suas diferenças sob o contexto de vulnerabilidade dos SAA. Também, são apresentadas as relações sistêmicas e institucionais atreladas a prestação do serviço

de abastecimento de água e existência de PA. Adicionalmente, apresenta-se a argumentação sobre a caracterização do contexto de vulnerabilidade dos SAA frente as suas PA. Adicionalmente, são apresentadas as relações sistêmicas e institucionais atreladas a prestação do serviço de abastecimento de água e existência de PA.

Posteriormente, é apresentado a concepção das cadeias primordiais de funcionamento dos SAA sob o contexto de vulnerabilidade frente as suas PA. Essas argumentações têm por finalidade estruturar toda a argumentação posterior e produzir embasamento para o desenvolvimento do Capítulo IV. Por fim, são apresentadas a concepção das relações FPEIR associadas com as PA e o contexto de vulnerabilidade dos SAA às suas PA, juntamente com construção da matriz FPEIR e as considerações para cada interação apresentada.

4.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DIFERENTES TIPOS DE PERDAS DE ÁGUA

O reconhecimento, de que as PA são um problema severo para os SAA, já foi difundido, mundialmente, há muito tempo – pelo menos 4 décadas. Com uma tendência internacional crescente em direção à sustentabilidade, à eficiência econômica e à proteção ao meio-ambiente, o problema de PA em SAA é de grande interesse no mundo. No entanto, apesar de receber esse reconhecimento, o problema das PA não recebe as devidas ações estruturais e não-estruturais para sua gestão de redução. Em função de diversas fatores, sejam eles econômicos; sociais; e ambientais, a forma como a existência de PA são tratadas vária muito, em cada continente e países. Tanto aspectos técnicos quanto financeiros estão recebendo uma atenção crescente, especialmente em períodos de restrição na disponibilidade hídrica ou em que ocorre rápido desenvolvimento econômico (FRAUENDORFER; LIEMBERGER, 2010).

Em função da atenção que é dada às PA, um dos resultados dessa atenção é a produção de materiais, produzidos por diversas instituições renomadas e pesquisadores ao redor do mundo, que tratem sobre: o que são PA; como as PA ocorrem; metodologias em geral para avaliação e atenuação das perdas água; análises sobre a eficiência dos SAA, em função de suas PA; indicadores de PA; aspectos de regulação; etc. Para essa discussão, interessa, predominantemente, os impactos negativos oriundos da existência de PA para os SAA. Alguns documentos apresentam impactos de forma branda, e outros com análises mais extensas. Para tornar possível uma discussão mais completa sobre os impactos, os seguintes materiais serviram de base para a conjectura das múltiplas relações associadas

as PA: FRAUENDORFER; LIEMBERGER, 2010; ABES, 2013; ABES, 2015; EUROPEAN COMMISSION, 2015; COM+ÁGUA, 2018a; COM+ÁGUA, 2018b; AHOPELTO; VAHALA, 2020; MANZI, 2020; INSTITUTO TRATA BRASIL, 2021; GUO *et al.*, 2021; SNIS, 2023a.

Para prosseguir com a discussão, faz-se necessário apresentar que há diferenciação entre dois tipos de PA, e de que cada um possui impactos distintos para o SAA, mas que também podem apresentar o mesmo impacto, simultaneamente. Essa ressalva torna evidente que a proporção entre os tipos de perdas – Aparentes (comerciais) e Reais (físicas) – impactam diferentemente os SAA, mediante a proporção em que se apresentam para cada sistema. Manzi (2020) apresenta que a distribuição entre essas duas parcelas varia em função das condições de infraestrutura física e operacional e da gestão comercial, mas que a tendência é que a participação das perdas reais seja mais expressiva quanto maiores os índices de perdas totais forem. Essa proporção pode ser observada na Tabela 6.

Tabela 6 – Distribuição entre as parcelas de perdas de água em função da perda total

Perdas Totais (L/lig.dia)	**Perdas Reais (%)**	**Perdas Aparentes (%)**
> 500	60 - 70	40 - 30
200 a 499	50	50
< 199	40 - 50	60 - 70

Fonte: Manzi (2020).

Concomitantemente, com base em análises apresentadas pela ABES (2015); European Commission (2015); e Leakssuite Library (2019), a proporção, das perdas reais e aparentes tenderem a apresentar um padrão que é tendencioso porém não determinante, está associada ao quão desenvolvido o país em análise é.

A Tabela 7, elaborado pela ABES, com base nas informações dispostas pela *European Commission*, apresenta alguns exemplos de cidades europeias e a distribuição entre as perdas reais e aparentes dessas.

Tabela 7 – Distribuição de Perdas em algumas cidades europeias

Local	Distribuição de Perdas (%)	
	Reais	**Aparentes**
Salzburgo - Áustria	92,3	7,7
Região Flamenga - Bélgica	87,5	12,5
Pula - Croácia	89,7	10,3
Lemesos - Chipre	83,6	16,4
Odense - Dinamarca	97,1	2,9
Bordeaux - França	90,4	9,6
Munique - Alemanha	85,3	14,7
Reggio Emilia - Itália	77,1	22,9

Fonte: European Commission (2015).

O Brasil como um país em desenvolvimento apresenta diferenças econômicas; culturais; sociais; e ambientais distribuídas em todo seu território. Por diversos motivos, o País, assim como diversos outros em condição de desenvolvimento, possuí considerável população que reside em moradias subnormais, que, no Brasil, não recebem prestação dos serviços de saneamento por parte do poder público, seja de forma direta ou indireta, por concessão. Como a água é um recurso essencial à vida, a população residente nessas moradias precisa encontrar alguma maneira de ter acesso à água que por muitas vezes ocorre por meio de fraudes e ligações clandestinas que contribuem, no balanço hídrico, para os volumes de PA. Em função disso, considera-se que há uma correlação entre população residente em moradias subnormais que existe predominantemente em grandes e médios centros urbanos com as PA, especialmente para as perdas aparentes.

Também, faz-se necessário destacar a natureza dos impactos que seriam oriundos da parcela de PA advinda das fraudes e furtos: esses impactos são passiveis de gerar uma pressão no sistema semelhante às perdas físicas, mesmo sendo categorizados como perdas aparentes, isso porque podem incentivar o desperdício de água, mesmo já atendendo ao consumo de usuários irregulares. Caso esses usuários fossem regularizados e tarifados, a tendencia seria de que consumissem uma quantidade suficiente para atender as suas necessidades além de, caso contemplados por este serviço, reduzirem os impactos decorrentes da ausência de esgotamento sanitário. Vale, ainda, salientar que esses casos não correspondem com a totalidade de usuários irregulares, pois existem diversas ações no País, que recebem pouca ou nenhuma publicidade, em que as companhias, o Poder público e os usuários irregulares interagem com o fim de atenuar os impactos oriundos

dessa modalidade de acesso à água. Em função disso, não cabe a este estudo discriminar a parcela em que esse tipo de interação ocorre, apenas advertir de que ela existe.

4.3 DELIMITAÇÃO DA APLICAÇÃO DO CONCEITO DE VULNERABILIDADE

Para desenvolver uma discussão sobre como os SAA podem apresentar algum grau de vulnerabilidade frente as PA, faz-se necessário, inicialmente, desenvolver uma discussão etimológica e semântica que seja capaz de delimitar o entendimento sobre o que seria vulnerabilidade para o caso aplicado deste estudo. Isso se faz necessário em função da grande amplitude que outros trabalhos e pesquisas em geral já fizeram uso e conceituaram do que pode ser entendido do termo: vulnerabilidade.

Apresentado por Carmo e Guizardi (2018), etimologicamente, vulnerabilidade é formada pela conexão dos vocábulos, em latim, *vulnerare*, que significa “ferir, lesar, prejudicar”, e '*bĭlis*, que significa “suscetível a”. Marandola Jr. e Dantona (2014), no campo semântico, apresentam que o termo pode se apresentar sob um conceito mais neutro, que a vulnerabilidade deve incluir atributos e condicionantes referentes às fragilidades (suscetibilidade ao dano) e capacidades (respostas e enfrentamento).

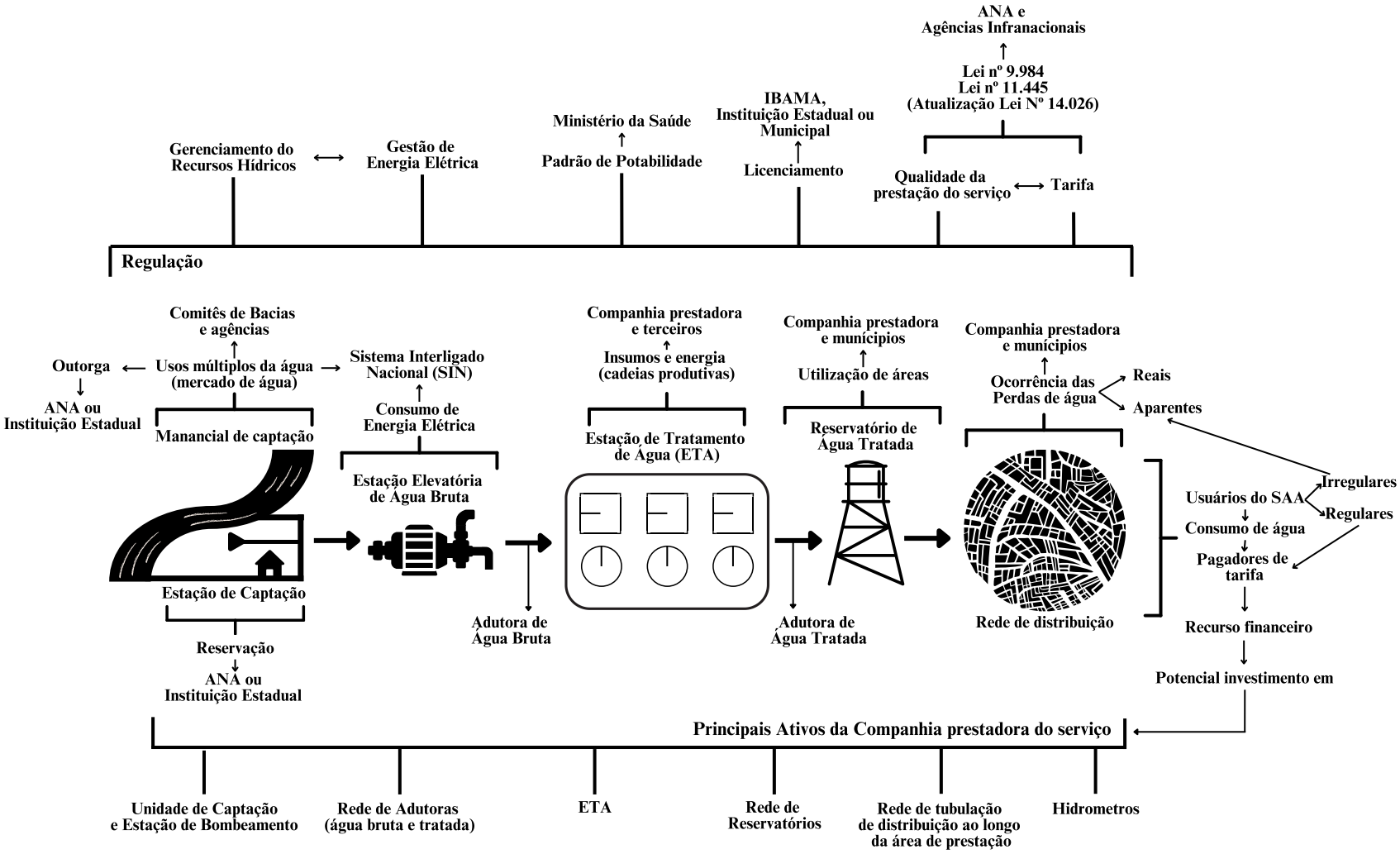
Para esta pesquisa, opta-se pela concepção de vulnerabilidade voltada para a seguinte ideia: incapacidade ou dificuldade latente de se sobrepujar às adversidades que condicionam a um estado de insuficiência de se contrapor a uma pressão que é constante, em função de sua manutenção, e por consequência geram impactos (in)diretos para o próprio sistema e para outros, que intensificam as pressões iniciais a serem superadas e, também, que poderiam ser evitadas ou reduzidas com a promoção da resiliência.

Conjecturando essas conceituações para colocá-las sob a ótica das pressões que as PA, em função de sua natureza global, causam para os SAA que, também, possuem natureza particular e global, é possível identificar uma rede de condicionantes que podem levar os SAA a algum grau de vulnerabilidade e até a sua incapacidade individual de conter as PA. Caso as respostas para contenção de PA não sejam efetivas, as pressões tendem a se incrementar e diminuindo, progressivamente, a capacidade de contenção e possível redução das PA, por conta própria do SAA, sob condições atuais (regulação; financeira; e infraestrutura disponível) deixem de ser possíveis.

4.4 RELAÇÕES SISTÊMICAS E INSTITUCIONAIS ATRELADAS À PRESTAÇÃO DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E EXISTÊNCIA DE PERDAS DE ÁGUA

A complexidade de um SAA não se limita somente a sua estruturação, mas também a rede de relações sistêmicas e institucionais que estão atreladas à prestação do serviço de abastecimento de água, especialmente no Brasil. A exemplo disso, a Figura 6 apresenta um esquema das relações sistêmicas e institucionais atreladas à prestação do serviço de abastecimento de água e PA, com aplicação voltada para o País.

Figura 6 – Esquema das relações sistêmicas e institucionais atreladas à prestação do serviço de abastecimento de água e perdas de água



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Esquema apresentado exemplifica genericamente um SAA, desde o manancial de captação até a rede de distribuição, juntamente com o destaque das respectivas relações sistêmicas de cada componente do SAA, assim como alguns vínculos institucionais. Sob esse contexto, de ponta a ponta, as componentes dos SAA estão sob influência de diversas instituições; normas e condições para serem concebidos e operados.

A água bruta que é inserida no SAA existe a partir da água, tida como um Recurso Hídrico, dotada de valor econômico e de uso limitado a partir da disponibilidade e qualidade. Essas relações interagem sob um contexto de mercado da água (oferta e demanda), em que no Brasil os usos múltiplos são mediados por meio de Comitês de Bacia e suas respectivas agências que podem cobrar ou não pelo uso do Recurso Hídrico. Adicionalmente, o uso da água, para fins de abastecimento público, depende do instrumento de outorga, que é emitido pela ANA ou por uma instituição do poder público estadual, a depender da dominialidade do corpo hídrico em que ocorre a captação. De maneira similar, quando há necessidade de reservação da água para o abastecimento, os vínculos institucionais para a captação são similares. No entanto, quando há implementação de barragens se faz necessário avaliar a segurança da barragem e com isso se incluem outros vínculos, institucionais e de regulação.

Para chegar às ETAs, a água bruta precisa ser transportada até a unidade de tratamento, recebendo energia para tal, por meio da Estação Elevatória de Água Bruta. Esse processo faz uso de quantidades consideráveis de energia elétrica que é gerada e distribuída sob um contexto de oferta e demanda, assim como a água porém de maneira diferente, no quesito estrutural e regulatório. Geralmente os SAA fazem uso de energia elétrica a partir da oferta das redes elétricas que servem quase todo o País, por meio do Sistema Interligado Nacional (SIN), que é majoritariamente abastecido por hidroelétricas. Por sua vez, as usinas hidroelétricas são também usuárias de Recurso Hídrico, porém seu uso é não-consuntivo (contudo ainda imobilizam temporariamente grandes volumes de água) e acabam interagindo também com as instituições atreladas ao gerenciamento dos Recursos Hídricos. Dessa maneira, no Brasil, o Nexo Água-Energia se demonstra intensamente vinculado institucional e sistemicamente.

Ao chegar à ETA, a água bruta precisa passar por diversos processos de tratamento para que seja adequada ao consumo humano, antes de ser distribuída. Essa tarefa compete à companhia prestadora do serviço, que faz a seleção dos meios e insumos com base nas ofertas de insumos e necessidades de usos destes. Dependendo da natureza jurídica da companhia prestadora, essa deve seguir critérios definidos para aquisição dos insumos

que são utilizados no processo de tratamento. No geral são utilizados: oxidantes; coagulantes e auxiliadores de coagulação; modificadores de pH; controladores de corrosão; controladores de odor e sabor; desinfetantes; e Flúor. Esse insumos são produtos químicos que podem ser orgânicos ou não, com matriz de exploração de recursos naturais. Dessa maneira, nos processo envolvidos no tratamento, a Companhia acaba por envolver comercial e diretamente diversos terceiros que estejam envolvidos na produção desses insumos.

Em diversos casos, há a utilização de reservatórios de água tratada, seja para armazenamento da água para ser possível atender demandas de pico ou para controlar as pressões da coluna de água na rede de distribuição. As modalidades de estruturação dos reservatórios são diversas, no entanto a demanda por área é inevitável. Também, ainda há ou haverá casos em que há a necessidade de implementação de novos reservatórios de água tratada, para armazenar mais água e garantir o abastecimento, bem como para controlar as pressões e promover a gestão de PA. Nos casos em que ainda há a necessidade de implementação, há a limitante da área a ser utilizada para implementação do reservatório. Em casos que a companhia opere em grandes aglomerados urbanos, é possível que se encontre certas dificuldades no processo, possivelmente demandando articulações com o poder público e civis.

É na rede de distribuição que ocorrem as PA, sejam elas reais ou aparentes. A rede está instalada em logradouros públicos, tornando qualquer modificação ou novas implementações inevitáveis de produzirem interação entre o titular do serviço, o ente municipal, com o prestador do serviço, seja qual for a sua natureza jurídica. Também, há outra interface entre o titular e o prestador, pois o prestador se limita a prestar o serviço positivamente apenas aos usuários regulares, enquanto a regularização está no campo das atribuições do titular. Essas limitações e atribuições tendem a prejudicar principalmente a capacidade de prestação do serviço pela companhia e lesa os usuários regulares do serviço.

Independente da natureza jurídica do prestador, ou se ainda há transferência da atribuição de prestação, a companhia prestador é detentora dos ativos que compõe o SAA. Os ativos vão desde a unidade de captação, com as suas componentes físicas e estruturais, até a rede de tubulações instaladas nas áreas de abrangência da prestação do serviço de abastecimento com ramais de distribuição e hidrômetros de medição. Sem os ativos, na sua totalidade, a companhia não é capaz de prestar o serviço, convertendo água bruta em recurso financeiro. Destaca-se que os ativos da companhia podem estar instalados em

áreas que sejam de sua propriedade, como a ETA, ou também em áreas públicas pertencentes ao ente municipal, como é o caso das tubulações instaladas no subsolo das vias públicas, ou ainda em áreas de conservação ou preservação, para as adutoras de água bruta. Isso torna o manejo e gerenciamento dos ativos, por parte da companhia, um processo que dependa da aprovação e participação de outras pessoas jurídicas, além da conformidade do atendimento de normas e regras estabelecidas pelas condições de regulação.

No Brasil, o serviço de abastecimento de água é regulado e fiscalizado por diferentes instituições em níveis federal, estadual e municipal. Essas instituições desempenham papéis específicos na definição de políticas, normas técnicas, monitoramento e controle da qualidade da água, além de supervisionar os prestadores do serviço. Porém, a regulação voltada à prestação do serviço de abastecimento de água não se limita somente a própria prestação do serviço, mas também a outros sistemas que são diretamente relacionados com o abastecimento de água, no que se refere a tornar o SAA apto a existência do serviço.

Inicialmente, o serviço está sujeito ao conjunto de regulações voltadas para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos, que é um sistema composto por diversas instituições e regras. Diretamente vinculada com o Gerenciamento dos Recursos Hídricos, pelo Nexo Água-Energia, a Gestão de Energia Elétrica também cria uma relação sistêmica e institucional com a prestação do serviço, com menor intensidade e menos direta do que os Recursos Hídricos possuem, porém com expressiva geração de vínculo, em especial nas componentes de Estação de captação e Estação Elevatória de Água Bruta, pois essas estão situadas em locais que geralmente não há ou haveria transmissão de energia elétrica, que passa a existir para atender a demanda considerável de eletricidade do SAA.

Os processos envolvidos no tratamento da água são configurados para atender aos padrões de potabilidade, que são estabelecidos e regulamentados pelo Ministério da Saúde, por meio da Portaria GM/MS nº 888/2021. A portaria também define os procedimentos e as responsabilidades dos órgãos de vigilância sanitária municipais, estaduais e federais para o controle e monitoramento da qualidade da água. Esses órgãos são responsáveis pela realização de análises laboratoriais, inspeções e fiscalizações nos SAA, garantindo o cumprimento dos padrões estabelecidos. Dessa maneira, diversas instituições, de todos os âmbitos estão envolvidas nos processos sistêmicos de tratamento da água, além de terceiros.

Também, com a finalidade de atribuir maior controle e efetividade nas relações sistêmicas, é previsto a necessidade de licenciamento, em âmbito federal, para Estações de Tratamento de Água pela Resolução CONAMA n° 237/1997, e, por exemplo, em âmbito estadual para São Paulo, a Resolução SMA n° 54/2007 prevê a necessidade de licenciamento para adutoras de água com diâmetro superior a 1 metro. Tanto na implementação, quanto na expansão dos SAA, os processos de licenciamento configuram maiores vínculos institucionais, porém com caráter momentâneo. No geral, os SAA já foram implementados no Brasil, restando apenas a ampliação e melhoria dos SAA já existentes, que no processo talvez seja necessário ampliar ou implementar novas ETAs e adutoras.

No contexto atual nacional, promovido pelo novo Marco do Saneamento – Lei n° 14.026/2020 que atualiza as Leis n° 9.984/00 e 11.445/07, os SAA passam por novas configurações regulatórias, ampliando e rearticulando os vínculos institucionais. Em âmbito federal a ANA passa a ter a competência de editar normas de referência sobre o serviço de saneamento. Determina-se, pela Lei 11.445/07, em seu Art. 23, que a entidade reguladora, observadas as diretrizes determinadas pela ANA, editará normas relativas às dimensões técnica, econômica e social de prestação dos serviços públicos de saneamento básico, que abrangerão, pelo menos, os seguintes aspectos:

> I - padrões e indicadores de qualidade da prestação dos serviços.
>
> II - requisitos operacionais e de manutenção dos sistemas.
>
> III - as metas progressivas de expansão e de qualidade dos serviços e os respectivos prazos.
>
> IV - regime, estrutura e níveis tarifários, bem como os procedimentos e prazos de sua fixação, reajuste e revisão.
>
> V - medição, faturamento e cobrança de serviços.
>
> VI - monitoramento dos custos.
>
> VII - avaliação da eficiência e eficácia dos serviços prestados.
>
> VIII - plano de contas e mecanismos de informação, auditoria e certificação.
>
> IX - subsídios tarifários e não tarifários.
>
> X - padrões de atendimento ao público e mecanismos de participação e informação.
>
> XI - medidas de segurança, de contingência e de emergência, inclusive quanto a racionamento.

> XIII - procedimentos de fiscalização e de aplicação de sanções previstas nos instrumentos contratuais e na legislação do titular.
>
> XIV - diretrizes para a redução progressiva e controle das perdas de água (BRASIL, 2020).

Atrelada aos quesitos de regulação, os prestadores do serviço passam ser regulados por contratos relativos à prestação dos serviços públicos de saneamento básico que deverão conter, expressamente, sob pena de nulidade e devem atender as seguintes disposições:

> I - metas de expansão dos serviços, de redução de perdas na distribuição de água tratada, de qualidade na prestação dos serviços, de eficiência e de uso racional da água, da energia e de outros recursos naturais, do reúso de efluentes sanitários e do aproveitamento de águas de chuva, em conformidade com os serviços a serem prestados.
>
> II - possíveis fontes de receitas alternativas, complementares ou acessórias, bem como as provenientes de projetos associados, incluindo, entre outras, a alienação e o uso de efluentes sanitários para a produção de água de reúso, com possibilidade de as receitas serem compartilhadas entre o contratante e o contratado, caso aplicável.
>
> III - metodologia de cálculo de eventual indenização relativa aos bens reversíveis não amortizados por ocasião da extinção do contrato . e
> IV - repartição de riscos entre as partes, incluindo os referentes a caso fortuito, força maior, fato do príncipe e álea econômica extraordinária (BRASIL, 2020).

Dessa maneira, sob os atuais estruturas legais, os SAA passam a receber forças de regulação na prestação do serviço, induzindo-os a se reorganizarem, tanto estrutural quanto não-estruturalmente, tanto sistêmica quanto institucionalmente, para atendimento das exigências legais que passam a vigorar. Em especial, destacam-se as pressões, por parte dos legisladores, a obrigar os prestadores a concentrarem esforços na gestão das PA.

As PA, apesar de terem impacto diretos e indiretos; locais, regionais e até globais, ocorrem dentro dos diversos SAA, que se situam, majoritariamente, dentro das cidades que são geridas por governos de âmbito local. Argumentado por Di Vaio *et al.* (2021), os governos locais são considerados como os melhores para lidar com as necessidades e problemas das comunidades locais (ex. PA), e esses desempenham um papel crítico no estabelecimento de sua resiliência, para escolher o meio mais adequado para garantir o acesso à água potável e ao saneamento para sua população e para modificar sua abordagem quando as condições externas ou internas mudam.

Extrapolando as limitações dos governos locais, os nacionais são os competentes na elaboração de políticas para gerenciar recursos nacionais e transfronteiriços. Em vários países, esses também têm a tarefa de aprovar tarifas, determinar a qualidade do serviço, bem como estabelecer e aplicar padrões ambientais e de saúde (ex. potabilidade, balneabilidade) (GUPTA; PAHL-WOSTL, 2013). As tarifas de água contribuem para recuperar os custos em quase toda a Europa, enquanto em alguns países, os custos ainda são cobertos por uma mistura de tarifas, transferências e impostos. A estrutura tarifária difere de um país para outro, mas na maioria dos casos, a tarifa compreende um custo fixo e um componente volumétrico. Um operador de água geralmente propõe uma tarifa a uma autoridade (municipal, governo regional ou regulador regional, ministério nacional ou regulador nacional independente) para aprovação e, em alguns casos, os órgãos supervisores verificam as tarifas a posteriori (EUREAU, 2020; DI VAIO *et al.*, 2021).

Desse modo, a tarifa age, no mundo, como uma determinante na capacidade do SAA de ser sustentável financeiramente e ainda ser capaz, de modo autossuficiente, de investir e reduzir progressivamente suas perdas até os níveis inevitáveis. Caso o SAA seja autossuficiente, esse é capaz de elevar sua resiliência, realizar investimentos, alcançar o desenvolvimento sustentável e ter um estado de sustentabilidade. Cria-se, assim, um outro nexo, entre tarifa; resiliência; e sustentabilidade. Porém, ainda existe o caso de a tarifa ser exorbitante, influenciando o sistema (cidade-sociedade-SAA) a se distanciar da sustentabilidade, ao se desequilibrar economicamente, pois a tarifa incide em seus usuários que se apresentam em cada caso sob um diferente estrato econômico-social.

4.5 CONCEPÇÃO DAS CADEIAS PRIMORDIAIS DE MANUTENÇÃO SISTÊMICA DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Em função de um SAA ser altamente complexo, desde sua concepção até a sua estruturação, existem diversos fatores que estão inseridos em suas cadeias, e por isso, quando esses fatores que sustentam o sistema estão em desequilíbrio, desfavorecendo a resiliência e a capacidade do SAA de conter e reduzir suas PA, tais cadeias, recebem respostas que as influenciam negativamente.

O estado das cadeias que condicionam os SAA à vulnerabilidade. No entanto, por serem complexas, existem cadeias mais triviais para o funcionamento e manutenção de um SAA, condicionando-o a ser mais vulnerável as suas PA quando essas triviais cadeias

se encontram em um estado desfavorável para produzir respostas sólidas e eficazes para a contenção das PA (pressão).

Sucintamente, o propósito de existência de um SAA é o de prover água tratada para o consumo humano, de uma grande comunidade (sociedade) que se aglomerou suficientemente para que a implementação de um SAA seja compensatória para atender à demanda de todos, ou quase todos, os consumidores dessa comunidade. Para que isso seja realizado é necessário que se implante diversas estruturas robustas capazes de: captar água, que se apresenta com limitadas disponibilidades; tratá-la para que seja adequada ao consumo humano; e finalmente ser distribuída. Todos esses processos estão relacionados a diversas transformações e consumos de insumos que precisam ocorrer diariamente, a partir da demanda deste recurso. A sequência desses processos pode ser considerada como uma rotina, que para ocorrer, necessariamente, demanda diversos esforços constantes, que são custeados, majoritariamente, por aqueles que fazem uso do produto final: água tratada.

Já instalado e operacionalizando, o SAA fica suscetível majoritariamente à capacidade de manutenção de seus usuários, já para renovação; expansão; modernização os SAA são capazes de contar com fontes externas. A operacionalização (manutenção sistêmica) dos SAA pode ocorrer com total êxito de sua função, que é prover água tratada a toda população, porém, pode fazê-lo com altos níveis de PA e pressionar demasiadamente uma ou mais das suas cadeias que promovem sua manutenção sistêmica. É possível considerar que caso o SAA não se encontre ao menos nos níveis econômicos de PA, essas pressionarão ao menos uma de suas cadeias, em que tais pressões demandarão respostas e alterações no estado do sistema que corresponderão com impactos, dentro e fora do SAA, tornando-o vulnerável às PA e distante do estado de sustentabilidade.

As cadeias primordiais, que são: disponibilidade e capacidade para captar água; capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição; capacidade de conversão de água tratada em recurso financeiro. Essas três cadeias integram a manutenção, no sentido de operação dos SAA, e por isso são intimamente ligadas o grau de vulnerabilidade dos SAA frente as suas PA, com base nas capacidades individuais de cada cadeia, podem ser observadas na .

a) **Disponibilidade e capacidade para captar água:** a operação do SAA só é possível em função da existência de um manancial que provê água bruta para ser

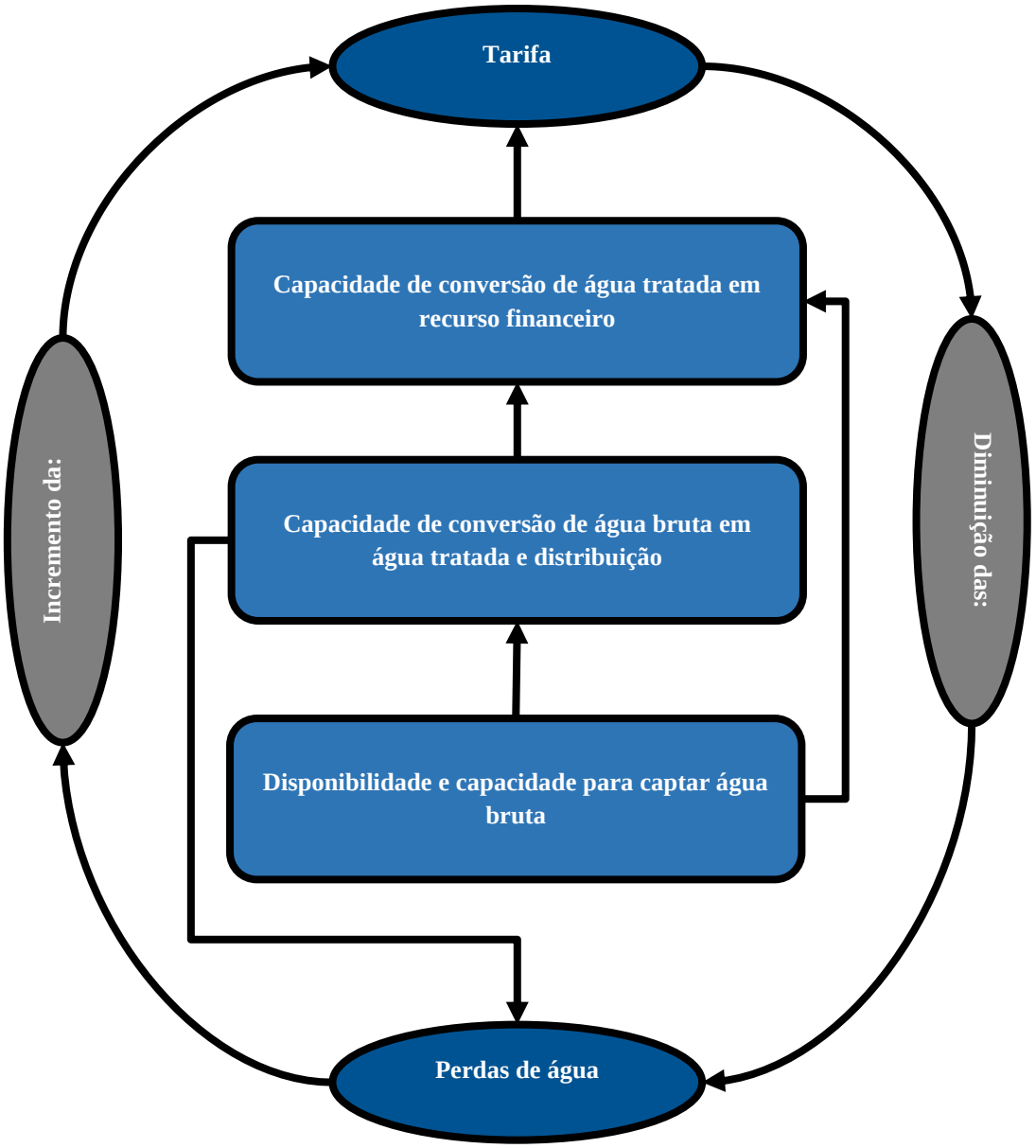
captada e inserida nas cadeias de produção da água tratada. Esta cadeia pode ser considerada como matriz para as outras. No geral, a maioria dos SAA captam água, seja ela superficial ou subterrânea, na mesma bacia hidrográfica em que estão instalados. As bacias possuem suas próprias características, como clima; relevo; uso e ocupação do solo; e vários outros atributos que derivam da região e da cultura que se estabeleceu na área da bacia. Esses fatores geram um nexo entre disponibilidade (quali e quantitativa de água) e demanda de água que pode ser para uso agropecuário, industrial, ambiental e urbano. Em função da enorme dependência de água para as cadeias produtivas, externas às cadeias dos SAA, que geram recursos para os mais diversos fins, como investimentos na infraestrutura dos SAA, certa vulnerabilidade para essa cadeia pode ser associada quando há baixa disponibilidade de água e alto demanda para os diferentes usos que aquela bacia apresenta. Com isso, os SAA se demonstram vulneráveis às PA quando essas são elevadas e a disponibilidade de água é baixa para atender sua demanda, e por conseguinte, acabam gerando conflitos com os possíveis outros usos, pois a disponibilidade imediata de água é diminuída pelas PA. Adicionalmente, em especial nos casos em que a captação ocorrem em mananciais superficiais, os outros usos da água, além do estado do uso e ocupação do solo, podem degradar severamente a qualidade da água do manancial superficial que abastece o SAA, culminando maiores pressões na disponibilidade hídrica local, sob o eixo da qualidade da água.

b) **Capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição:** tendo em vista que a demanda do SAA é a produção de água tratada para consumo humano, faz-se necessário uma série de processos que exigem o emprego de ações e insumos para o atendimento dessa demanda. A eficiência e eficácia desta cadeia, capazes de promover a resiliência e proximidade da sustentabilidade, estão diretamente vinculadas à vulnerabilidade que os SAA podem apresentar. Essa capacidade dos SAA está diretamente relacionada a fatores como: recursos financeiros disponíveis pelo prestador do serviço; limitantes geográficas; aspectos legais, de atribuições, delegações e até de regulação; e da própria disponibilidade de recursos, como energia elétrica, insumos químicos e até recurso humano para operacionalizar a manutenção sistêmica do SAA. Existem limitações vinculadas a cadeia anterior, pois mesmo com recursos financeiros disponíveis para expandir

a infraestrutura atual para atender a demanda inicial ou até a futura, em função das características locais de onde o SAA se encontra, tais limitações não podem ser superadas. Tendo em vista que as PA ocorrem, principalmente, no processo de distribuição, esta cadeia se constrói com o principal fator, que justamente condiciona o sistema à vulnerabilidade, por ser a fonte das pressões e por fazer com que a manutenção do SAA não seja eficiente, por demandar respostas (a principal seria produzir mais água, para atender a demanda efetiva) que são dispendiosas para todos os setores do SAA e danosas, ao gerar impactos indiretos e diretos para que essa cadeia consiga ao menos atender ao seu objetivo, que é produzir e entregar água tratada aos usuários do sistema.

c) **Capacidade de conversão de água tratada em recurso financeiro:** esta cadeia serve para que o sistema seja capaz de se perpetuar ao longo do tempo e seja eficiente em sua manutenção sistêmica. Quase em todo o mundo, a manutenção dos SAA são custeadas pelos seus usuários – apesar de haver diversos SAA com déficit econômico – por meio das tarifas, ou mecanismos muito similares à tarifa. As tarifas se apresentam como o fator chave para que os SAA sejam capazes de produzir respostas às pressões que as PA produzem. Sem a capacidade de converter o produto – água tratada – em recurso financeiro, que é utilizado, ao menos, para custear as ações e aquisições de insumos para produzir água própria para consumo, os SAA se tornam vulneráveis pela insuficiência de sua manutenção, podendo gerar dívidas e deteriorar exponencialmente a qualidade da prestação do serviço. Essa problemática está diretamente ligada aos níveis de PA e do valor da tarifa. Os SAA podem se encontrar nas possibilidades em que a tarifa é elevada para cobrir os custos advindos das PA, porém sem produzir *superavit* para produzir investimentos na gestão de PA; o SAA pode arcar e apresentar déficit financeiro em função das PA se sobreporem à tarifa aplicada; ou no melhor caso, possuir aplicação de tarifa que cobre os custos de produção e ainda proporciona recursos sobressalentes para investimento na gestão de PA.

Figura 7 – Fluxograma das principais cadeias de operação de um Sistema de Abastecimento de Água



Fonte: Elaborado pelo autor.

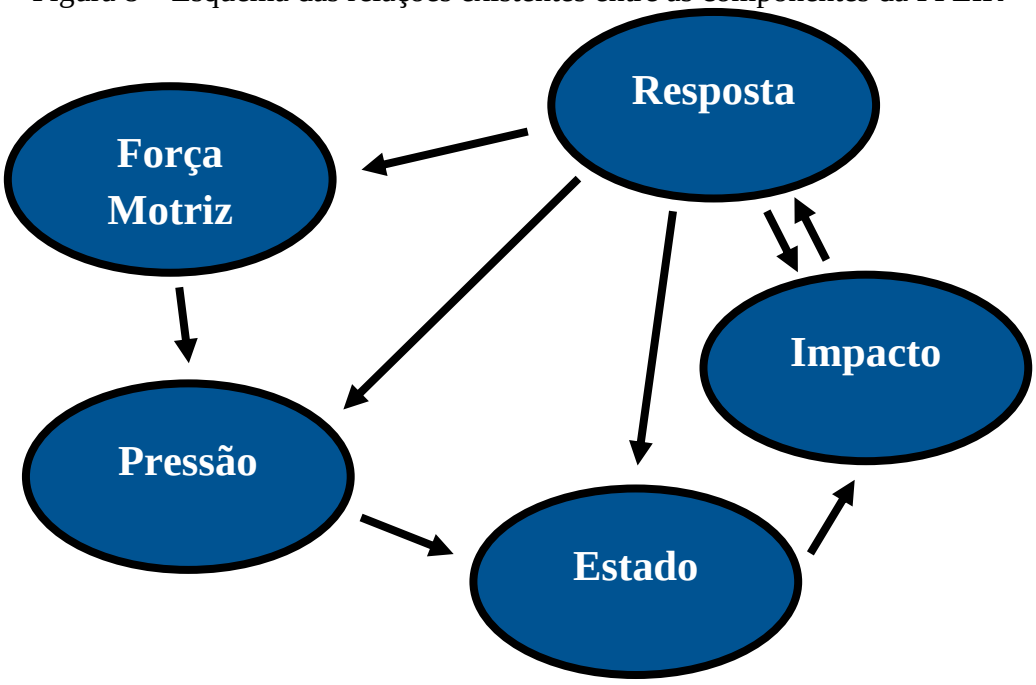
4.6 CONCEPÇÃO DAS RELAÇÕES FPEIR ASSOCIADAS COM A EXISTÊNCIA DAS PERDAS DE ÁGUA DURANTE A PRESTAÇÃO DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Um meio difundido mundialmente para promover uma interpretação holística das casualidade existentes em um sistema, no sentido amplo, é o modelo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR), que é proposto pela *European Environment*

Agency (EEA, 1999). A proposta do modelo foi desenvolvida para contribuir para a formulação de políticas e a tomada de decisões sustentáveis.

O modelo FPEIR descreve uma cadeia geral que desencadeia múltiplas relações entre a origem e os resultados materiais. Geralmente a cadeia indica que o desenvolvimento social, econômico e populacional atua como Força Motriz (F) sobre o sistema, produzindo assim uma Pressão (P) que incide sobre ele, o que dá origem a uma mudança em seu Estado (E) e consequentemente afetando-o de alguma forma. Todos estes efeitos incitam os seres humanos a produzir Respostas (R), mesmo por omissão, ao Estado do sistema, alterando suas cadeias internas estruturadas pela sociedade e economia dentro de um meio, ou podendo agir diretamente sobre a Pressão, Estado e Impacto (I) que, por sua vez, reformula os aspectos envolvidos nas cadeias internas, e por conseguinte, no sistema. A aplicação deste modelo consiste em quatro etapas, que podem ser definidas na seguinte sequência: interpretação e levantamento de quais seriam as Forças Motrizes e as Pressões; diagnóstico do atual Estado; levantamento e caracterização de quais Impactos são exercidos em decorrência do Estado; e por último a avaliação das Respostas que são aplicadas dentre do sistema (SUN *et al.*, 2016; SOUSA-FELIX *et al.*, 2017). A Figura 8 apresenta um esquema dos fluxos das relações existentes entre as componentes da FPEIR.

Figura 8 – Esquema das relações existentes entre as componentes da FPEIR



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esse modelo se apresenta como uma ferramenta eficaz no processo de gestão, pois é capaz de integrar informação e potencial de aplicação em função das mais diversas disciplinas envolvidas na interpretação sistêmica, auxiliando nas tomadas de decisão com base nas alternativas e demandas evidenciadas, considerando variadas perspectivas. Esta ferramenta serve como um ótimo elo entre a comunidade cientifica, tomadores de decisão e agentes envolvidos diretamente na gestão ambiental. O modelo é capaz de ser aplicado em sistemas voltados para a utilização de recursos hídricos, auxiliando hidrólogos, gestores de água, companhias, reguladores, poder público e até a própria população, no gerenciamento e proteção dos recursos hídricos (SUN *et al.*, 2016; SOUSA-FELIX *et al.*, 2017).

A aplicação da matriz FPEIR, para o caso em questão, inicia-se por meio dos seguintes levantamentos:

a) O que está acontecendo com o sistema? (corresponde ao Estado do sistema decorrente das Pressões sofridas pelas PA)

b) Por que isso ocorre? (corresponde às Pressões exercidas pela existência de PA nos SAA)

c) O que é possível ser feito e o que está sendo feito? (corresponde às Respostas que aliviam ou previnem os Impactos decorrentes da Pressão)

d) O que acontecerá se nada for feito? (corresponde aos Impactos ou efeitos passíveis de incidirem sobre os SAA)

De forma aplicada, a Força Motriz seria a distribuição de água sob níveis de PA acima dos inevitáveis, tendo como principal Pressão o aumento natural das PA. Os níveis atuais de PA são o Estado em que o SAA se encontra e tais PA acabam por gerar Impactos (in)diretos no SAA que por sua vez dificultam a capacidade de manutenção e produção de Respostas para o gerenciamento dessas PA. Essas relações criam uma interface, em função do propósito que os SAA possuem. Tais relações são causais e constantes pois o SAA visa prover água tratada para o consumo humano, de uma grande comunidade (sociedade) que se aglomerou suficientemente para que a construção de um SAA seja

compensatória para atender à demanda de toda, ou quase toda, a população dessa comunidade (sistema).

A existência de PA é tida como uma fonte de pressão para o SAA, que por sua vez coloca-o em um estado, além de condicioná-lo a produzir respostas para conter as pressões oriundas das PA. Tanto as respostas quanto o estado do sistema geram impactos. O nível de PA pode ser considerado como o estado do sistema e ações para compensar a existência das PA podem ser consideradas como as respostas do SAA. Ambos geram impactos diretos para o SAA e indiretos que podem afetar todas as cadeias que se associam com o uso do recurso hídrico, mesmo que minimamente. Este estudo se focaliza nos impactos diretos oriundos das PA, que incidem principalmente nos SAA.

O principal impacto é o da elevação no custo de produção da água que pode ser observado em todas as componentes para ambos os tipos de PA. Isso se dá em função de que todas as respostas para sobrepujar as pressões são ações, essencialmente estruturais ou coercitivas nas metodologias de hidrometração, dependentes de recursos, que podem se tornar prejuízo para a companhia ou incrementadas na tarifa – para compensar os custos das respostas – que é repassada para os usuários. Essas possibilidade estão intimamente associadas à regulação e por isso podem variar de acordo com cada SAA.

Tendo como ponto de partida a essência: do papel que a água possui no Nexo Água-Energia-Alimento; da consolidação dos mercados que derivam desse Nexo; dos custos adicionais para produzir água com PA em seus processos; e da própria definição de impactos indiretos, que seriam resultantes de uma reação secundária em relação à ação, ou quando é parte de uma cadeia de reações, os impactos oriundos das PA podem ser considerados inumeráveis. Também, podem ser reconhecidos como passíveis de influenciarem toda a escala global – a nível ambiental; social; e econômico, especialmente os locais mais próximos ao SAA a ser estudado.

Alguns impactos indiretos, de segunda à terceira ordem, oriundos das PA, podem ser melhor observados em Estudos de Impacto Ambiental (EIA) que tratem sobre as componentes dos SAA, sob a influência de que as PA, principalmente as físicas, influenciam diretamente no volume a ser captado, tornando logico a relação proporcional de quanto maior for o volume captado, maior a intensidade e área de abrangência dos impactos indiretos.

Para fins exemplificativos, é possível destacar dois dos principais impactos indiretos decorrentes das PA, que por conseguinte geram diversos outros impactos indiretos aos sistemas que se vinculam:

a) Toda captação de água, independente para qual uso consuntivo seja, é capaz de alterar o regime hidrológico (local e regional) – e por consequência configuram diversos impactos para os micros e macrossistemas que sejam dependentes da água – porém, quando as alterações desse regime servem para atender a um uso efetivo esses impactos são passiveis de serem relativizados, mas não quando desperdiçados. Isso afeta a disponibilidade de água local, a capacidade de diluição de poluentes, a capacidade de manutenção da biota, etc. Ressalva-se que para diversos usos consuntivos praticados (captação para abastecimento), a água quando lançada para o ambiente, retorna, de maneira geral, com menor qualidade do que quando retirada, influenciando, dessa maneira, a disponibilidade do recurso hídrico, pelas vias da sua qualidade que se reduz gradativamente ao longo do tempo em que é usada;

b) No Brasil praticamente todo seu território é servido pelo SIN, que é majoritariamente alimentado por usinas hidrelétricas, tornando, assim, o consumo de energia elétrica decorrente das vazões adicionais (evitáveis) para compensação da existência das PA dos SAA, grande influenciador no mercado de energia elétrica em todo País, deixando evidente que o impacto em série de todos os SAA é capaz de afetar às relações socioeconômicas e o meio ambiente.

A vulnerabilidade dos SAA frente as suas PA se desenvolve no momento em que as respostas às pressões exercidas pelas PA condicionam o SAA a um estado que demanda novas respostas em função dos novos impactos, de insustentabilidade e falta de autossuficiência para emergir das pressões iniciais que as PA exerciam. Uma característica que favorece fortemente os SAA a essa insuficiência, quando as PA são demasiadamente elevadas, é que as PA crescem naturalmente. Com isso, é possível concluir a discussão de que os diversos SAA, sob suas condições particulares e elevados níveis de PA (ou até com níveis médios no contexto nacional), só conseguirão emergir do estado de insustentabilidade com alguma intervenção exterior, pois a companhia e os usuários por si não serão capazes de sobrepujar as PA, sem que haja um grande investimento em ativos por parte da companhia, sob os moldes atuais das dinâmicas econômicas e aquisições de ativos, de imediato isso gera dívidas e pode acarretar sobrecarga na tarifa ou em falência.

4.7 CONSTRUÇÃO DA MATRIZ FPEIR E DISCUSSÃO DAS RELAÇÕES IDENTIFICADAS

A partir do que é fundamentado neste Capítulo e pelos anteriores, foi possível apresentar 32 interações existentes para a Matriz FPEIR. O Quadro 12 apresenta as interações para as diferentes componentes da Matriz. Em seguida são apresentadas as considerações sobre cada uma das interações levantadas e de como elas interagem para configuração da potencial vulnerabilidade que os SAA podem apresentar frente as suas PA.

Quadro 12 – Matriz de aplicação do nexo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR)

(continua)

Força Motriz	
(F) Atendimento da demanda de água potável sendo distribuída sob um contexto de níveis de perdas de água acima dos inevitáveis	
Pressões	**Respostas**
(P1) Aumento natural das perdas de água	(R1) Gestão e gerenciamento das perdas de água
(P2) Aumento da demanda de água	(R2) Busca por novas fontes de água e aumento da captação
(P3) Variabilidade da vazão do manancial	(R3) Ampliação da infraestrutura
(P4) Indisponibilidade de novos mananciais	(R4) Interrupção do serviço por reparos ou trocas da infraestrutura
(P5) Desperdício de água por parte dos usuários e aderência à irregularidade	(R5) Incremento tarifário
	(R6) Investimentos de fontes externas do SAA, para contenção das perdas de água
	(R7) Regularização dos usuários irregulares
	(R8) Maior rigorosidade nos aspectos jurídicos-legais (regulação)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 12 – Matriz de aplicação do nexo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR)

(conclusão)

Estado	Impactos diretos
(E1) Níveis das perdas de água	(I1) Alterações do regime hídrico
(E2) Disponibilidade hídrica do manancial de captação	(I2) Aumento dos conflitos do uso da água
(E3) Possibilidade de expansão do manancial	(I3) Inundação de áreas para regularizar vazão que poderia ser evitada
(E4) Qualidade da água do manancial de captação	(I4) Rebaixamento do nível freático
(E5) Condições dos usuários do sistema, referente às características da população	(I5) Redução da vida útil da infraestrutura
(E6) Infraestrutura da rede de distribuição (idade, comprimento, material, tipo do sistema, variação do relevo)	(I6) Possibilidade de contaminação pelas fraturas existentes na rede
(E7) Consumo de energia elétrica e insumos para produção de água tratada	(I7) Modificações nas vias urbanas e interrupção do tráfego local
(E8) Vida útil das componentes	(I8) Diminuição do poder de compra dos usuários
(E9) Custo atual de produção de água	(I9) Redução da credibilidade da companhia
(E10) Situação econômica da companhia prestadora do serviço	

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.7.1 Pressões

4.7.1.1 (P1) Aumento natural das perdas de água

O aumento natural das PA é o fenômeno constante que no contexto de análise possui maior capacidade de produzir pressões sob o sistema. A inanição, para ao menos conter as PA, produzirá como resultado um aumento dos níveis de PA, isso ocorre por conta do desgaste das tubulações e até pelo incentivo aos furtos e às fraudes.

Esse fenômeno obriga, necessariamente, aos agentes envolvidos na manutenção do SAA a agirem com investimentos voltados para renovação da infraestrutura de distribuição e ações coercitivas, para, pelo menos, manter os níveis no estado em que se encontram para, posteriormente, reduzir os níveis de PA no tempo em que se considera para avaliação.

4.7.1.2 (P2) Aumento da demanda de água

O aumento da demanda de água pode estar atrelado a dois fatores: aumento populacional e/ou aumento dos padrões de consumo da população atual. De modo geral, sob as condições atuais, a população brasileira tenderá a crescer pelas próximas décadas, colocando os SAA nacionais sob influência dessa pressão.

Essa pressão age pelas seguintes relações: quanto maior o crescimento populacional, maior a expansão do uso do solo para ocupação urbana (apesar de haver consideráveis verticalizações nas áreas urbanas) e para atendimento dessa expansão se faz necessário expandir, também, a rede de abastecimento, implicando em maior extensão da rede e novas configurações de cotas (relaciona-se com as pressões de coluna da água); quanto maior o padrão de consumo, maior será a vazão necessária a ser captada para tal atendimento, sobrecarregando o manancial e aumentando o potencial de crescimento das PA, sob o estado atual em que já se encontram, e consequentemente os esforços para sua contenção.

4.7.1.3 (P3) Variabilidade da vazão do manancial

Um fator predominantemente natural e capaz de pressionar consideravelmente um SAA, especialmente os que fazem uso de captação superficial, é a variabilidade da vazão do manancial ao longo das estações. No Estado de São Paulo, com exceção do litoral, as precipitações se reduzem drasticamente nas estações mais frias, acarretando redução das vazões superficiais, e consequentemente a disponibilidade de uso do manancial. Essa variabilidade, associada às elevadas demandas e múltiplos usos, condiciona muitas vezes à implementação de reservatórios.

4.7.1.4 (P4) Indisponibilidade de novos mananciais

Uma pressão que é exercida fortemente nos SAA em que há maiores aglomerados urbanos é a indisponibilidade de novos mananciais para complementar as novas demandas. Ressalva-se que esse fator se relaciona com os aspectos quantitativos e qualitativos da água, sendo ambos aspectos condicionantes que limitam a aderência de um novo manancial ao sistema, em especial os superficiais.

De certo modo, quase sempre haverá disponibilidade de um novo manancial para suprir o abastecimento. As águas subterrâneas são capazes de suplementar as novas demandas. O uso de águas subterrâneas para suprir grandes vazões precisaria ser evitado. Tal uso precisaria ser feito com segurança e com estudos para indicar a sua viabilidade. Para os aglomerados urbanos, sempre será preferível o uso de mananciais superficiais para o seu abastecimento.

4.7.1.5 (P5) Desperdício de água por parte dos usuários e aderência à irregularidade

Decorrente de vários motivos que teriam origens culturais, econômicas e sociais, a irregularidade e o desperdício são observados em diversos SAA. Essa pressão está atrelada a diversos fatores. Ambos os usuários: regularizados e não regularizados praticam o desperdício. No entanto, espera-se uma quantia maior de desperdício dos usuários que não são regularizados por não serem cobrados por tal uso/desperdício. A tarifa, inevitavelmente, contribui com a percepção de valor que o usuário tem do uso da água tratada do SAA em que se insere. Em SAA cuja tarifa é menor, há uma certa tendência aos usuários praticarem de algum modo o desperdício.

Os incentivos ao desperdício estariam associados a não tarifação dos usuários ou tarifas extremamente baixas. Ressalva-se que o desperdício é capaz de configurar impactos semelhantes às perdas físicas, pois não atendem mais as necessidades essenciais do uso da água potável.

Com relação aos usuários não regularizados que praticam furtos ou fraudes, quando tais práticas não são combatidas, não somente se consome mais água do que o necessário para atendimento da necessidade dessas pessoas, mas também há um incentivo à aderência de usuários regularizados a tais práticas.

Essencialmente, a aderência à irregularidade, muitas vezes, está vinculada a impossibilidade do usuário ter acesso ao serviço de forma regular, associadas às ocupações ilegais. Outra razão é a aderência à irregularidade por parte de usuários já regulares que foram incentivados a essa modalidade em razão de não haver fiscalização e controle para os usuários irregulares.

4.7.2 Estado

4.7.2.1 (E1) Níveis das perdas de água

Os níveis de PA se apresentam como a relação mais fundamental a ser observada dentro do contexto de vulnerabilidade, para entendimento do estado em que o sistema se encontra no que diz respeito às PA. Destaca-se que há uma variedade já existente de indicadores para avaliar os níveis de PA que leva em consideração diferentes variáveis. Essas variações são mais pertinentes a depender do foco da análise e do objeto SAA, pois as variáveis podem incluir a população existente (via ramais), a extensão da rede e ainda a pressão média da operação. Contudo, todas dependem da variação do volume de entrada e saída registrados no processo de distribuição. No entanto, essas variações não discriminam o tipo de perda, entre comercial ou física.

4.7.2.2 (E2) Disponibilidade hídrica do manancial de captação

A disponibilidade hídrica do manancial de captação se apresenta como um fator determinante no quanto as PA seriam capazes de pressionar o SAA, por ser a matriz das cadeias de operação dos SAA. Existem SAA que possuem elevados níveis de PA, porém, também, apresentam elevada disponibilidade hídrica, tornando assim a pressão das PA menos latente. Também há SAA que apresentam PA não elevadas e também baixa disponibilidade hídrica, tornando cada nível de perda de água maior como passível de produzir grandes impactos para o sistema e inclusive para a bacia em que se encontra, e até para as adjacentes.

4.7.2.3 (E3) Possibilidade de expansão do manancial

Uma das respostas ao aumento da demanda de água é a expansão da captação do manancial atual ou também, quando esgotada a disponibilidade desse, a busca por novos mananciais. A dinâmica da macro ocupação do solo (formação das cidades) sempre se deu e se limitou com a disponibilidade hídrica para promover sua manutenção, no entanto com as elevadas taxas de natalidade e imigrações nos polos urbanos os mananciais superficiais se saturaram rapidamente, inclusive pelas limitações atreladas aos aspectos qualitativos. Essas limitações nem sempre foram capazes de, de fato, limitar a expansão

dos polos urbanos, pois os investimentos nas infraestruturas foram capazes de sobrepujar tais limitações iniciais. As alternativas quase sempre estão direcionadas na transposição de água superficial entre bacias e na captação de água subterrânea. Porém, ressalva-se que apesar conseguir atender às demandas de água, tais alternativas não se apresentam como sustentáveis, seja financeiramente e ambientalmente.

Sob os moldes atuais, ter as águas subterrâneas como fonte de abastecimento para pequenas populações pode não produzir impactos significativos no aquífero que serve tal comunidade, no entanto, quando utilizada para servir grandes populações os impactos podem ser maiores. As águas subterrâneas precisam ser tidas como, no máximo, uma fonte emergencial de captação e não como uma fonte permanente.

Com tudo, destaca-se que em locais com baixa disponibilidade hídrica, uma alternativa promissora e que já é amplamente utilizada é o reuso potável indireto da água. Nessa modalidade, o efluente tratado das estações de tratamento de esgoto é destinado para que receber algum *buffer* (melhoramento natural da qualidade dessa água) podendo ser por infiltração ou injeção de água nos aquíferos ou pela própria autodepuração dos rios. O reuso indireto conta, geralmente, com altas taxas de tempo de detenção da água, porém, ainda é capaz de acelerar a dinâmica do ciclo hidrológico e elevar a disponibilidade hídrica local (MANCUSO *et al.*, 2021)

4.7.2.4 (E4) Qualidade da água do manancial de captação

A qualidade do manancial se atrela a disponibilidade hídrica pois o uso para fins potáveis torna o manancial mais restritivo a esse uso. Em aglomerados urbanos os recursos hídricos superficiais estão sob maior pressão. Essa relação, tendenciosamente, tem como foco as águas superficiais. Os fatores limitantes das águas subterrâneas estão, na sua maioria, atreladas à salinidade.

Perder água tratada em sua distribuição tendo como fonte de água bruta um rio ligeiramente mais poluído, por exemplo um que possua menor IQA, torna o tratamento mais dispendioso e com as PA, o SAA se obriga a compensar captando mais água de um manancial que configura maiores gastos nos processos de tratamento.

Outro fator que pode ser considerado com o aspecto da qualidade, especialmente em países em desenvolvimento, é que esses fazem lançamento de esgoto, tratado ou não, nos corpos superficiais que eventualmente servem de manancial para captação para o abastecimento. Ao se captar água desses rios se reduz a vazão e

consequentemente sua capacidade de autodepurar o efluente lançado. Levando em consideração à existência das PA no sistema, que configuram maior captação, as PA também pode reduzir a capacidade de autodepurar os lançamentos, caso tal prática ocorra gerando uma cadeia de maiores gastos e ineficiência entre os SAA subsequentes que fazem uso de lançamento e captação do manancial.

4.7.2.5 (E5) Condições dos usuários do sistema, referente às características da população

A manutenção sistêmica dos SAA, no que diz respeito aos aspectos financeiros, é diretamente dependente dos seus usuários. Há uma tendência de que quanto maior o PIB municipal melhor será a infraestrutura do SAA local. Tendo a tarifa como principal fonte de capital para manutenção da prestação do serviço de abastecimento, uma população com baixa distribuição de renda pode se tornar mais vulnerável às elevações tarifarias para, por exemplo, investir na contenção e redução das PA.

Há uma correlação considerável entre a população residente em moradias subnormais com a proporção de perdas aparentes. Ter ciência da população residente nesse tipo de moradia pode explicar melhor a razão entre os tipos de PA. Apesar de haver diversos motivos que condicionam uma população a residir nessa modalidade e ainda, muitas vezes, não receberem legalmente a prestação do serviço de abastecimento, agrava-se a problemática oriunda das perdas físicas, pois tais vazões poderiam servir para atendimento dessa população. Por tanto, compreender o estado que os usuários se encontram, pode facilitar a compreensão do estado o que o SAA, no todo, se encontra.

4.7.2.6 (E6) Infraestrutura da rede de distribuição (idade, comprimento, material, tipo do sistema, variação do relevo)

Compreender o estado da infraestrutura se faz primordial para relacionar à suscetibilidade do SAA a aumentar naturalmente suas PA. Quanto mais elevada a idade da rede, maior é potencial de haver PA nas tubulações. Também, quanto maior o comprimento da rede, maior é o potencial de haver PA na tubulação. A depender do material utilizado na rede, maior ou menor será o potencial de haver PA.

Os SAA podem ser integrados ou isolados, e sob esse contexto a vulnerabilidade se ascende nos SAA integrados em que a captação pode ocorrer em apenas um único

município, porém as PA (na totalidade do sistema) podem ocorrer majoritariamente em municípios que não contribuem com a captação, lesando substancialmente o município que provê água ao sistema por meio de seu manancial. Os SAA integrados também contam, geralmente, com redes adutoras muito extensas, relacionando-se com o potencial do comprimento vinculado às PA.

As variações do relevo condicionam o SAA a uma exposição inevitável às pressões de coluna da água em suas tubulações. Quanto mais elevadas forem essas pressões, maior é o potencial de PA.

4.7.2.7 (E7) Consumo de energia elétrica e uso insumos para produção de água tratada

O consumo de energia e insumos é inerente às atividades necessárias para captar, aduzir, tratar e distribuir. A depender das características próprias do SAA, como por exemplo, distâncias elevadas verticais e horizontais do ponto de captação até a ETA necessariamente implicam e mais gastos na adução da água, tornando a parcela perdida na distribuída mais problemática em casos sob tais condições. De mesmo modo, em SAA que a água bruta seja de menor qualidade, haverá, necessariamente, maiores gastos com insumos químicos nos processos de tratamento, para adequá-la ao consumo humano.

As PA sempre serão um problema, de natureza ambiental, social e econômico, porém, quanto maior forem os investimentos e custos empregados no processo de transformação da água bruta em água tratada, mais distante o sistema se encontra da sustentabilidade, pois não somente água é perdido nesse processo, mas todos os insumos e energia empregados até a transformação da água tratada.

4.7.2.8 (E8) Vida útil das componentes

A vida útil é um estado transitório das componentes do SAA que variam de acordo a demanda e a capacidade pela qual foram projetadas. Quanto maiores forem as PA, maiores as compensações que acarretam maiores vazões, podendo estas se igualarem ou até superarem as capacidades projetadas para as componentes do sistema. Algumas unidades, como as estações, possuem limitações de sua expansão, especialmente as que estão instaladas nos perímetros urbanos. Também, há possibilidade de em certos trechos nos perímetros urbanos de existir saturação das tubulações instaladas, inviabilizando a

implementação de outra tubulação em paralelo ou até expansão do diâmetro das tubulações já instaladas.

Muitas unidades dos SAA foram desenvolvidas há décadas e não foram projetadas considerando as populações atuais ou até mesmo os níveis de PA atuais. Em muitos casos, o SAA passa por uma expansão de sua infraestrutura, mais precisamente no sistema de bombeamento e unidades de tratamento da ETA, sendo que caso houvesse uma redução dos níveis de PA, não haveria a necessidade, daquele momento, de expandir tais estruturas.

Compreender a vida útil restante das unidades atuais do SAA pode contribuir substancialmente com a gestão de recursos financeiros por parte do prestador, tendo em vista que a redução das PA repercute em uma prolongação da vida útil das unidades do SAA e ainda melhora a eficiência do sistema, num tudo.

4.7.2.9 (E9) Custo atual de produção de água

Mensurar o custo atual de produção de água é fundamental para associar o quanto o SAA está próximo ou não da sustentabilidade. O abastecimento é imprescindível para a manutenção da sociedade, e de que com base nas peculiaridades de cada SAA, que os custos de produção variam de acordo com tais características.

Apesar de serem eficientes e cumprirem com as metas estabelecidas, no que se refere ao tratamento e distribuição, os SAA podem atender ao seu objetivo, porém com elevados níveis de PA e/ou gastos exorbitantes para atender e compensar as PA.

4.7.2.10 (E10) Situação econômica da companhia prestadora do serviço

Compreender a situação econômica da companhia prestadora do serviço de abastecimento é fundamental para relacionar o aspecto econômico e institucional que o SAA pode apresentar frente a possível vulnerabilidade.

A insuficiência financeira da companhia seria decorrente da incapacidade de conversão do produto água tratada, com todos seus custos envolvidos, por meio da tarifa para que seja capaz de superar todos os custos existentes para a manutenção da companhia. Tal insuficiência é capaz de ampliar as pressões existentes e, consequentemente, inviabilizar a capacidade autônoma da companhia de estar com as contas em dia e manter a prestação do serviço sob padrões de qualidade mínimo.

A regulação é capaz de exercer enorme influência sob a suficiência financeira da companhia, via definição da tarifa que pode ser realizada com a finalidade de manter o caráter de suficiência da companhia.

No Brasil, as companhias se dividem entre essas possibilidades: com elevado déficit financeiro e baixa capacidade sistêmica de manutenção; contas em dia e vigente capacidade sistêmica de manutenção; e com superavit financeiro e boa capacidade de manutenção sistêmica. Essas três possibilidades estão diretamente vinculadas à capacidade que a prestadora possui para o enfrentamento das PA existentes. Para combater as PA é preciso desprender uma quantia considerável de recursos, em especial o financeiro.

As PA são passíveis de serem um fator limitante para certas companhias para emergirem da situação deficitária, tornando-as extremamente vulneráveis às PA, por não conseguirem aplicar recursos na contenção das PA e tais PA os impedem de converter os recursos que possuem em ações para contenção e redução das PA.

4.7.3 Impactos Diretos

4.7.3.1 (I1) Alterações do regime hídrico

Decorrente da resposta do aumento de captação, as alterações do regime hídrico ocorrem de forma imediata, e de modo semipermanente, isso porque a captação para realizar o abastecimento é constante. Há alteração essencialmente nos corpos hídricos superficiais. Tais alterações podem apresentar efeitos diretos no manancial e indiretos, em função do Nexo Água-Energia-Alimento.

4.7.3.2 (I2) Aumento dos conflitos do uso da água

Também decorrente da resposta do aumento de captação, o aumento dos conflitos do usa da água estariam associados à disponibilidade hídrica local e aos outros usuários dos recursos hídricos da bacia hidrográfica em que o sistema se encontra. A influência das PA para agravamento desses conflitos tem por fundamento o uso prioritário para o abastecimento público em detrimento de outros usos. Em especial os que fariam uso de um manancial superficial.

Em uma Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), por exemplo, que possua pouca disponibilidade hídrica superficial e SAA que façam captação superficial e possuam elevadas perdas águas, sob essas condições, a instalação de novos empreendimentos que dependam de recurso hídricos para seu funcionamento se torna mais dificultosa.

4.7.3.3 (I3) Inundação de áreas para regularizar vazão que poderia ser evitada

Também decorrente da resposta do aumento de captação, muitas vezes, para que seja possível abastecer uma determinada população que está instalada em local de baixa disponibilidade hídrica *per capita* e ainda com consideráveis variações sazonais da vazão do manancial que abastece essa população, implementam-se barragens para regularizar a vazão do manancial e ter água disponível para realizar o abastecimento todos os meses do ano. Esse impacto só seria decorrente de SAA que possuam captação superficial e que contam ou pretender implantar uma barragem para regularizar vazão.

Ao se implementar um barragem, cria-se um reservatório com um volume que corresponde a uma área inundada que depende do relevo local. Caso se reduzam as PA, haverá menor necessidade de captação de água e consequentemente menor volume necessário a ser acumulado. Os impactos oriundos da implementação de um reservatório são diversos e extensivos, no entanto para vários SAA a implementação acaba sendo inevitável. Porém, existe a possibilidade de que nem seria necessário implementar um reservatório por barragem, caso houvesse a redução das PA no SAA. Contudo, nos casos inevitáveis, a área alagada poderia ser menor, também, com menores PA e, consequentemente, impactos com menores intensidades.

4.7.3.4 (I4) Rebaixamento do nível freático

Decorrente da resposta do aumento de captação, primordialmente de manancial subterrâneo, o impacto de rebaixamento do nível freático ocorreria pela super explotação das águas subterrâneas, compondo um saldo negativo de sua recarga. Os impactos decorrentes do rebaixamento do nível freático estariam associados aos novos gradientes de pressão e, dependendo do caso, impossibilitando a extração de água por meio do sistema de captação já instalado.

Essa dinâmica está associada a hidrogeologia local, que por sua vez é composta por diversas variáveis. Com isso, os impactos subsequentes do rebaixamento do nível freático estão diretamente vinculados à natureza de cada local, sendo difíceis de serem vinculados de maneira geral. Destacam-se como impactos decorrentes do rebaixamento do nível freático a alteração do regime de vazão dos mananciais superficiais efluentes; subsidência do solo; e intrusão de água salina em áreas costeiras.

4.7.3.5 (I5) Redução da vida útil da infraestrutura

Em função do aumento da captação, há maiores vazões passando pelas estruturas antes do processo de distribuição da água – momento em que as PA ocorrem. Tais estruturas, muitas vezes, foram projetadas antes de terem seu sistema de distribuição operando ou então sem considerar as elevadas PA que o sistema possuiria, configurando, dessa maneira, uma obsolescência precoce da estrutura que foi projetada para atender a demanda de abastecimento por mais tempo.

Desse impacto, se produzem, muitas vezes, respostas atenuadoras, como a ampliação dos sistemas de bombeamento e tratamento da água captada, que ocorrem por meio de investimentos que poderiam ser direcionados a contenção de PA. Outra resposta, seria a inanição, que ocasionaria na operação em menores eficiências para o sistema de bombeamento e tratamento.

4.7.3.6 (I6) Possibilidade de contaminação pelas fraturas existentes na rede

As fraturas nas redes produzem um potencial de contaminação da água tratada ao longo do processo de distribuição. Uma das medidas para contenção das PA é o controle de pressão da rede, que por infortúnio, sob menores pressões, tende a favorecer a infiltração da água no solo na rede de distribuição. Portanto, quanto mais extensas as redes e sob menores pressões de água, maiores as potencialidades desse tipo de contaminação.

A água que sai da ETA deve sempre atender aos padrões de potabilidade da água, e o prestador tem a obrigação de prestar conta da conformidade do atendimento de tais padrões, no entanto, não há maneira de atestar a qualidade da água tratada que chega nas residências dos usuários sem que haja notificações ou reclamações que induzam análises

pontuais. Dessa maneira, é possível que haja contaminação ao longo do processo de distribuição, sem que se tenha a percepção disso por meio das análises rotineiras.

4.7.3.7 (I7) Modificações das vias urbanas e interrupção do tráfego local

As modificações nas vias urbanas e interrupção do tráfego local são impactos que podem decorrer tanto da ocorrência de PA, em casos mais extremos, ou pela contenção, via reparos nas vias em que há rede com vazamentos.

Em situações de grandes PA locais, por rompimento de adutoras que ocorrem geralmente sob grandes pressões de água, o extravasamento de água pode ser tanto que ele desloca uma massa de solo capaz de desestruturar os logradouros.

Durante o processo de troca de tubulação ou reparos, há a necessidade de interrupção do tráfego local, implicando em congestionamentos nas vias adjacentes e próximas, além de, quando for em áreas comerciais, causar transtornos e dificuldades para o funcionamento dos comércios próximos.

4.7.3.8 (I8) Diminuição do poder de compra dos usuários

Um impacto recorrente da elevação da tarifa seria a diminuição do poder de compra dos usuários do sistema. A manutenção do SAA se dá majoritariamente por meio da tarifa que pode ser elevada para produzir condições de gerar respostas às PA e a ainda para outras pressões que o SAA sofre.

Evidentemente, ao se elevar a tarifa, sem critérios bem definidos, via regulação, por exemplo, é possível que tal elevação seja capaz de afetar significativamente o poder de compra das famílias que possuem menor renda. Pois geralmente essas famílias se configuram com número acima da média de residentes por moradia, implicando, naturalmente, em um consumo considerável a ser tarifado.

Caso tais famílias, que se enquadram na descrição, sejam adimplentes, com a elevação da tarifa é possível que seu poder de compra seja comprometido e isso pode condicionar diferentes possibilidades, como inadimplência e até irregularidades.

4.7.3.9 (I9) Redução da credibilidade da companhia

Decorrente de todos as aspectos vinculados a existência das PA, a companhia prestadora do serviço pode perder consideravelmente sua credibilidade frente aos usuários e aos reguladores. Mais recentemente, um dos itens atribuídos aos contratos de concessão da prestação dos serviços de abastecimento é o controle e redução de PA, colocando, dessa maneira, não só a credibilidade do prestador "em jogo", mas também a sua concessão.

Quanto menor a credibilidade da companhia, mais suscetível essa estará às reclamações, inadimplências e, inclusive, processos jurídicos, culminando em uma menor capacidade de manutenção sistêmica.

4.7.4 Respostas

4.7.4.1 (R1) Gestão e gerenciamento das perdas de água

Os SAA produzem respostas às PA, podendo ser eficientes ou não. A gestão e o gerenciamento das PA são de elevada complexidade. As ações, medidas, soluções e alternativas que incidem sob as causas das PA já foi bem desenvolvida ao longo dos outros e deste Capítulo. Cabe salientar que essa seria a principal resposta, capaz de conter e reduzir, às PA, pois as outras respostas teriam apenas a capacidade de contribuir com o desenvolvimento dessa resposta, ou no máximo, atenuar os impactos crônicos das PA, sem necessariamente atingir a matriz de tais impactos.

4.7.4.2 (R2) Busca por novas fontes de água e aumento da captação

A busca por novas fontes de água é uma resposta voltada para atenuação dos impactos causados pelas PA, sem necessariamente agir na causa dos impactos (as próprias PA). Para que haja o efetivo atendimento da demanda de água atual, e sob um contexto de PA durante esse processo, faz-se necessário captar, aduzir, tratar e distribuir uma vazão que compense a existência das PA e atenda a demanda real. Essa resposta demanda investimentos, custos de oportunidade, porém, de maneira imediata, é capaz de atender às demandas associadas à Força Motriz, que é o pleno atendimento do abastecimento de água para as cidades/comunidades.

Essa captação incremental é passível de ser evitada e configura uma pressão em série e paralelo em todos os SAA, pois alteram, de modo imediato, a disponibilidade

hídrica, produzindo impactos diretos e indiretos para o SAA, especialmente para mananciais superficiais que abastecem vários SAA.

Nos casos em que os SAA fazem captação subterrânea, é possível que o incremento em série de uma região que concentra exclusivamente captação subterrânea possa implicar em uma superexplotação do aquífero que serve esses SAA.

Com a implementação e expansão de novos mananciais para o SAA, é possível que, caso esses não sejam mais necessários a médio prazo (em detrimento da redução das PA, por exemplo), o sistema contará com a possibilidade de aproveitá-las futuramente, caso a demanda de água cresça associada exclusivamente ao aumento populacional e/ou aos padrões de consumo dessa população.

Contudo, ressalva-se que essa resposta não é a mais eficiente para solucionar as causas das pressões inicialmente exercidas no SAA, porém sob as circunstâncias momentâneas e singulares de cada caso, essa pode ser uma opção inevitável, podendo ser adiantada para sobrepujar o conjunto de pressões (PA e aumento da demanda), que futuramente teria que ser implementada de qualquer maneira.

4.7.4.3 (R3) Ampliação da infraestrutura

A ampliação da infraestrutura está, de certo modo, associada à resposta de busca por novas fontes, pois não há como promover a captação em outro manancial sem que haja uma ampliação da infraestrutura existente. Uma resposta muito comum é a ampliação ou até o *retrofit* para compensar as pressões exercidas pelas PA. Essa resposta pode ter diferentes níveis de magnitude, colocando o sistema sob pequenas ampliações, aquisição de um novo conjunto motobomba, ou até a construção de uma nova ETA, por exemplo, sendo que a estação atual seria capaz de atender plenamente a demanda atual, caso as PA fossem reduzidas.

O aproveitamento das ampliações, caso tenham sido bem projetadas, será quase sempre positivo. O que difere, sob o contexto de gestão de PA, é que os investimentos alocados para ampliação da infraestrutura existente não produziriam ganhos mais benéficos, de maneira imediata e, consequente e simultaneamente, a longo prazo para a manutenção sistêmica do SAA.

4.7.4.4 (R4) Interrupção do serviço por reparos ou trocas da infraestrutura

Por muitas vezes, para realizar os reparos ou trocas da infraestrutura, seja por qual for o motivo, faz-se necessário a implementação de manobras ou até a interrupção dos serviços, seja setorizada ou totalmente, a depender de cada caso.

Essa interrupção poderia ser oriunda da necessidade de troca das tubulações ou até mesmo das unidades não-lineares que poderiam se encontrar desgastadas, deterioradas, por operar acima da vazão que foram projetadas, em função da compensação das perdas da água existentes.

Essa resposta é capaz de afetar o sistema positiva e negativamente, simultaneamente, pois a interrupção é sempre indesejada, no entanto, pode ser necessária para renovação dos ativos e configuração de ganhos futuros. A interrupção do serviço também é capaz de produzir impactos para os SAA.

4.7.4.5 (R5) Incremento tarifário

Essa resposta está, em quase todos os casos, vinculada a uma entidade reguladora. Existem diversos critérios e condições para determinar o valor da tarifa, e inclusive proteções e amparos jurídicos para os usuários. No entanto, não há como desvincular o caráter e a natureza da tarifa na prestação dos serviços de abastecimento de água. A tarifa visa subsidiar os gastos envolvidos das companhias para prestação do serviço, e esses gastos são compostos por energia elétrica e insumos químicos, por exemplo, que poderiam ser substancialmente reduzidos caso as PA também fossem reduzidas.

A tarifa está associada aos níveis de PA, pois esta é a principal fonte de recurso próprio para o prestador do serviço subsidiar suas atividades e ser capaz, de maneira autossuficiente, de conter e reduzir suas PA. Os casos mais positivos, com factibilidade, são quando o prestador não possuí dívidas externas; possuí tarifa que cubra seus gastos e ainda incremente seu caixa, para que possa direcionar recursos para gerenciar suas PA devidamente ao longo do tempo, com a meta de prestar o serviço sob um contexto em que suas PA estejam fixas ao menos nos níveis econômicos.

4.7.4.6 (R6) Investimentos de fontes externas do SAA, para contenção das perdas de água

Associada à incapacidade própria de conter e reduzir suas PA, os SAA, muitas vezes, tornam-se dependentes de auxílio financeiro externo para que sejam capazes de

investir na contenção de suas PA, pois já possuem dívidas, níveis de PA elevados (que os condicionam a uma manutenção muito dispendiosa), e tarifa insuficiente para produzir superavit financeiro. Com isso, uma possível resposta para afastar o SAA de uma condição de extrema vulnerabilidade é a utilização de recursos externos.

Os recursos externos precisariam ser devidamente investidos em ativos da companhia para que ao longo do tempo essa possa entrar em um estado de superavit financeiro para que, inclusive, seja capaz de pagar os empréstimos, quando for o caso. Ainda é possível que a fonte dos recursos sejam públicos e a intenção da alocação desse recurso seja justamente para capacitar o SAA à autossuficiência e gerar ganhos aos sistemas que a esses sejam diretamente associados.

4.7.4.7 (R7) Regularização dos usuários irregulares

A regularização dos usuários irregulares, caso esses existam, é capaz de proporcionar ganhos que incidem em dois aspectos para a manutenção sistêmica do SAA. Ter-se-ia a redução do estímulo a um consumo maior do que o necessário, via cobrança de tarifa, e, também, o incremento das receitas do prestador para que seja possível ampliar sua capacidade de investimentos para possíveis redução de PA.

Entretanto, salienta-se que o processo de regularização dos usuários, apesar de beneficiar substancialmente o prestador dos serviços, e por consequência o SAA no todo, as possibilidades atreladas a esse processo fogem, na maioria dos caso e nos mais agravantes, das suas competências, pois esses estão associados às ocupações irregulares. Tais competências estariam essencialmente vinculadas ao Poder público da esfera municipal, da administração direta. Esse processo é dotado de extrema complexidade, pois envolve diversos fatores sociais, ambientais, econômicos e políticos.

4.7.4.8 (R8) Maior rigorosidade nos aspectos jurídicos-legais (regulação)

Uma resposta que, inicialmente, materializar-se-ia como uma resposta não estrutural, seria a elevação da rigorosidade nos aspectos jurídicos e legais que estariam atrelados à prestação dos serviços de abastecimento, porém com repercussão de gerar outras respostas estruturais para o atendimento dessas. O país, por exemplo, possui diversas agências infranacionais que, por sua vez, possuem suas próprias métricas de regulação.

A argumentação para se elevar a rigorosidade da regulação está vinculada ao fato de que a prestação do serviço se trata de um monopólio natural, configurando baixíssimo poder de negociação por parte dos usuários com o prestador que detém a concessão. Em circunstâncias em que há um monopólio natural, faz-se extremamente necessário a implementação de métricas bem determinadas e de caráter vinculativo ao prestador, com base na realidade de cada caso, especialmente em países com o Brasil, que apresenta circunstâncias e características altamente variadas ao longo de todo seu território.

Espera-se da regulação a definição das melhores condições de manutenção sistêmica para o SAA, desde curto até longo prazo, visando proporcionar uma relação mais harmônica entre prestador e usuários, ponderando as capacidades e necessidades econômicas, delimitando metas factíveis que visem a eficiência mais tangível, segurança jurídica e transparência.

4.8 CONCLUSÕES

Este Capítulo abordou questões relacionadas à diferenciação entre dois tipos de perdas de água, múltiplas relações associadas entre perdas de água e suas influências nos sistemas de abastecimento de água e em outras instituições. Além disso, foram discutidos os efeitos das perdas decorrentes de fraudes e furtos, bem como a natureza da vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água frente a essas perdas. Por fim, foram identificadas as cadeias primordiais dos sistemas de abastecimento de água e apresentada a matriz FPEIR para análise das interações envolvidas. A síntese da conclusão pode ser apresentada da seguinte forma:

- As perdas aparentes (comerciais) e as perdas reais (físicas) têm impactos distintos, dependendo da proporção em que ocorrem em cada sistema. As proporções variam de acordo com cada sistema, porém existem padrões de acordo com as características geográficas.

- As perdas decorrentes de fraudes e furtos podem gerar pressões semelhantes às perdas físicas, mesmo sendo classificadas como perdas aparentes, devido ao incentivo ao desperdício de água que gera tais semelhanças.

- A vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água frente às perdas de água está relacionada à capacidade de resposta às pressões exercidas por essas perdas, resultando em impactos diretos e indiretos para o sistema e outros fatores que intensificam as pressões iniciais.

- As cadeias primordiais dos sistemas de abastecimento de água, que envolvem a disponibilidade e captação de água, a conversão de água bruta para tratada e distribuição, e a conversão de água tratada em recurso financeiro, estão intimamente ligadas ao grau de vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água frente às perdas de água. O desequilíbrio de apenas uma dessas cadeias é capaz de condicionar o sistemas de abastecimento de água à vulnerabilidade de suas perdas de água.

- Os sistemas de abastecimento de água, especialmente aqueles com níveis elevados de perdas de água, podem demandar intervenção externa para emergir do estado de insustentabilidade, já que a prestadora, sob os efeitos da regulação, por si pode não ser capaz de superar essas perdas sem grandes investimentos em ativos.

- A análise da matriz FPEIR revelou a existência de trinta e duas interações, distribuídas em cinco interações de pressão, dez de estado, nove de impactos e oito de respostas, fornecendo uma compreensão abrangente dos diversos aspectos relacionados às perdas de água nos sistemas de abastecimento de água.

5 CAPÍTULO IV - DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE ÀS PERDAS DE ÁGUA (IVuPA)

5.1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos Capítulos anteriores foi fundamentado que os SAA podem ser vulneráveis as suas PA e como essa constante dinâmica se dá. Também, foi apresentado que identificar o quão vulnerável determinado SAA é uma ação complexa em função das variáveis que estão associadas a esse fenômeno. Em função disso, propõe-se a construção de uma metodologia com aplicação para realizar uma avaliação e classificação, de maneira objetiva e simplificada, do quão vulneráveis os SAA podem ser frente as suas PA. Portanto, este capítulo tem os objetivos de:

- Desenvolver um índice, composto por indicadores valoráveis e públicos, para avaliar e classificar a vulnerabilidade que os sistemas de abastecimento podem apresentar frente as suas perdas de água.

- Detalhar os processos envolvidos na construção e desenvolvimento do índice.

- Aplicar o índice desenvolvido nos municípios do Estado de São Paulo.

- Discutir sobre o desempenho dos municípios para cada um dos indicadores selecionados para compor o índice e produzir mapas para cada indicador.

- Discutir sobre as avaliações e classificações geradas pela aplicação do índice aos municípios contemplados pelo estudo e produzir mapas para essas avaliações.

- Sugerir outros indicadores que possam ser utilizados pelo Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA) em avaliações futuras.

Apesar de atenderem a sua finalidade, de entregarem água tratada aos usuários, os SAA podem fazê-la com baixa eficiência no processo de distribuição contando com

elevadas perdas, causando diversos impactos, de diferentes ordens, internos e externos ao próprio SAA. Em muitos casos, tais impactos podem passar despercebidos, acarretando baixos esforços para conter a matriz desses impactos. Diante disso, torna-se pertinente a construção de um meio objetivo que possa evidenciar quais SAA são mais vulneráveis com o fim de direcionar maiores esforços na contenção e redução das PA. Isso se faz necessário justamente por não se perder apenas a água, como um recurso hídrico, dotado de valor, mas também diversos outros recursos que são limitados, não renováveis, além de aplicar pressão em outros sistemas produtivos que se relacionam com a produção de água potável e não potável, afastando, consideravelmente, esses sistemas do caráter de sustentabilidade.

Dessa maneira, com a finalidade de promover e contribuir com a Governança dos Recursos Hídricos, em especial com a segurança da água, com a prestação dos serviços universalizados do saneamento básico, e com a promoção de sistemas produtivos operando em vias mais sustentáveis, foi desenvolvido o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA). Esse índice se apresenta com aplicação para o Estado de São Paulo, porém a metodologia proposta não é impeditiva de que o IVuPA seja utilizado com os mesmos parâmetros para outros Estados.

A construção do IVuPA levou em consideração algumas premissas, por se tratar de uma primeira versão e com aplicação voltada para o Estado de São Paulo. O IVuPA é composto por indicadores que, necessariamente, nesta análise, precisam ser compostos por informações públicas. Argumenta-se que por levar em consideração essa premissa de que os dados e informações precisam ser públicos, o IVuPA é, naturalmente, dotado de limitações. Isso se dá justamente pelo fato de que alguns aspectos triviais a serem considerados no processo de avaliação e classificação da vulnerabilidade dependem de informações que apenas o prestador dos serviços de abastecimento possui, configurando-se como não públicas, e portanto não poderiam ser integradas a essa aplicação.

Visa-se, por meio da análise proposta neste trabalho, incorporar o maior número de SAA possíveis, para que se possa dar início à discussão da realidade que os SAA do Estado de São Paulo se encontram, sob a ótica da potencial vulnerabilidade que esses apresentam, que por consequência se renuncia à construção de um índice com informações não-públicas. Resumidamente, a finalidade do IVuPA é demonstrar que há meios para se avaliar a vulnerabilidade que os SAA apresentam e que os diversos esforços, sejam eles estruturais e não estruturais, para contenção e redução de PA, devem receber maior foco em SAA que apresentem maior vulnerabilidade. Evidentemente que

todos os SAA precisem transitar para um nível operacional de perdas inevitáveis para que se tenha maior proximidade à sustentabilidade, ou ao menos para o econômico de perdas, mas até que isso seja uma realidade, faz-se necessário alocar maior atenção aos SAA com problemas, oriundos das PA, mais latentes.

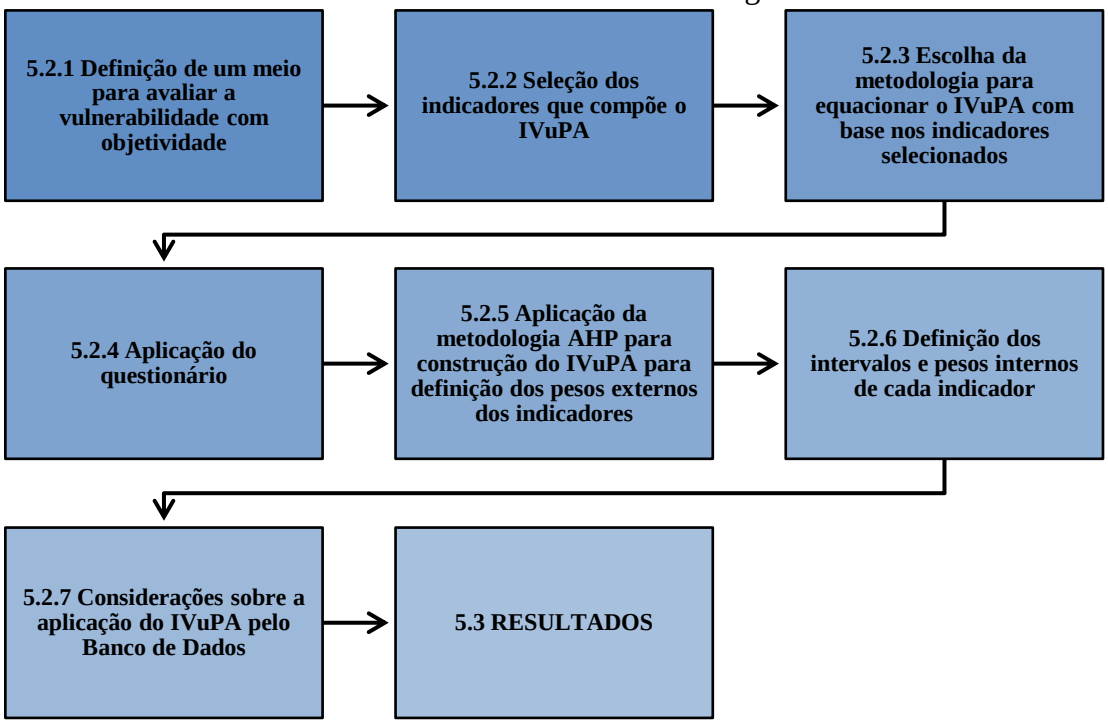
Este Capítulo é essencialmente estruturado em dois subcapítulos: Desenvolvimento Metodológico e Resultados. O Desenvolvimento Metodológico visa apresentar de maneira detalhada todos os processos que foram necessários para se construir o IVuPA, pois se tem como objetivo deste Capítulo a construção do IVuPA e sua aplicação para as análises definidas. Quaisquer espécie de resultados primários produzidos ao longo do desenvolvimento do IVuPA, como as respostas do questionário, são resultados que foram necessários para o processo de construção do IVuPA e não para o atendimento dos objetivos definidos deste Capítulo e por isso não estão dispostos nos Resultados, mas sim no Desenvolvimento. O subcapítulo Resultados é dividido inicialmente pela apresentação do IVuPA concluído para ser aplicado para a Base de Dados da pesquisa. Em seguida são apresentados os desempenhos dos municípios contemplados pela avaliação para os indicadores que compõe IVuPA. Posteriormente, são apresentados os desempenhos dos municípios avaliados para o IVuPA.

5.2 DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO

O Desenvolvimento Metodológico apresenta quais foram os processos envolvidos para a construção do IVuPA, sob critérios metodológicos, conjuntamente com uma discussão a respeito dos critérios de seleção de cada processo, parâmetro ou decisão, por parte do autor.

O fluxograma das ações envolvidas para o desenvolvimento do IVuPA pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 – Fluxograma das ações envolvidas para o desenvolvimento do Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.1 Definição de um meio para avaliar a vulnerabilidade com objetividade

Tendo em vista as variadas relações causais e os nexos existentes para operação de um SAA e que podem condicioná-lo a um estado de vulnerabilidade, além da vasta quantia de sistemas existentes, analisar caso a caso, com base em um sistema de indicadores que pudessem elucidar tal estado, tornaria o protocolo, para se avaliar a vulnerabilidade dos SAA existentes do Estado de São Paulo, demasiadamente dispendioso. Por conta disso, desenvolveu-se uma metodologia de análise que seja objetiva, simples e prática, envolvendo, na medida do possível, os aspectos mais fundamentais que conduzem o sistema a ser passível de apresentar vulnerabilidade frente as suas PA. A demanda por tal objetividade, como já apresentado no Capítulo I, pode se dar com êxito por meio de indicadores valoráveis que em conjunto possam compor um índice.

5.2.2 Seleção dos indicadores que compõe o IVuPA

Com base nas características dos SAA e da disponibilidade de compilação de informações que estariam associadas a cada SAA e o que elas representam no contexto de vulnerabilidade, optou-se em se desenvolver o IVuPA, que é composto por indicadores pré-selecionados para realizar a avaliação e classificação dos SAA do Estado de São Paulo. A partir da definição da utilização do IVuPA, foi necessário determinar quais seriam os indicadores com informações públicas que poderiam compor o índice. Esse processo, apresentado neste Capítulo, deu-se associado ao que é desenvolvido do Capítulo 1 e 3.

Após a argumentação sobre a caracterização do contexto de vulnerabilidade dos SAA de água frente as suas PA, foi possível selecionar quais aspectos necessitariam ser incorporados pelo IVuPA. Destes, destacam-se os aspectos da: disponibilidade e capacidade para captar água; capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição; e capacidade de conversão de água tratada em recurso financeiro.

Dessa maneira, o índice só pode ser considerado como válido, caso consiga contemplar ao mínimo esses 3 aspectos simultaneamente. Cada um desses aspectos é dotado de diversas cadeias e sistemas próprios e contribuem em diferentes proporções para o condicionamento da vulnerabilidade ao SAA frente as suas PA. Dentre os aspectos citados e os indicadores com informações públicas que poderiam ser utilizadas para praticamente todos os SAA do Estado, foram selecionados os indicadores vinculados à cada aspecto, que podem ser observados no Quadro 13.

Para aplicar avaliar os SAA por meio do IVuPA foi necessário construir um Banco de Dados (BD) com informações vinculadas a cada município, além das UGRHIs. O BD está disposto no Apêndice A.

Quadro 13 – Relação de aspectos e indicadores que compõe o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água

Aspecto	**Indicadores**
Disponibilidade e capacidade para captar água	Tipo de manancial; Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica
Capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição	Índice de atendimento urbano de água; Índice de perdas por ligação
Capacidade de conversão de água tratada em recurso financeiro	Razão do Consumo médio *per capita* de água ponderado por UGHRI; Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada

Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir são dispostas considerações e informações sobre cada indicador, além de como representam, parcialmente, cada aspecto ao qual estão associados. O Quadro 14, no fim das considerações, apresenta a relação dos indicadores que compõem o IVuPA com a fórmula de cálculo, unidades e fonte.

5.2.2.1 Tipo de manancial

Este indicador está associado ao aspecto de disponibilidade e capacidade para captar água. Inclui-se no IVuPA por apresentar qual seria o tipo da fonte de água bruta que abastece determinado SAA, fazendo alusão à qualidade da água (pela natureza da fonte, sendo essa subterrânea ou superficial) e aos potenciais usos derivados da fonte que são perdidos com as PA.

As opções existentes para o tipo de manancial de um SAA são: superficial; subterrânea; ou mista. A partir de qual tipo de manancial o SAA opera, é possível considerar que a existência das PA acima dos níveis inevitáveis configuram diferentes impactos com base no tipo de manancial. Todo o sequenciamento estrutural do SAA, pelo menos até o sistema de tratamento de água, se configura a partir do tipo do manancial de captação.

Com base no que se conjectura dos estudos e argumentações apresentadas ao longo da Pesquisa, é possível concluir que, dentro das esferas ambientais, econômicas e sociais, perder água de manancial superficial durante o processo de distribuição é mais problemático do que de manancial subterrâneo.

A fonte para construção do BD para aplicação do IVuPA foi o Atlas Águas (ANA, 2021a), que apresenta quais seriam as fontes de captação associados a cada município do Brasil.

5.2.2.2 Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica

Este indicador está associado ao aspecto de disponibilidade e capacidade para captar água. Estruturado pelo autor, este indicador visa avaliar a razão existente entre o quanto de água estaria sendo destinada para o consumo humano via abastecimento público e o quanto de água se tem disponível no município. Para que seja possível fazer tal comparativo, fez-se necessário normalizar as informações para que se operar na mesma unidade, e que o comparativo fosse aplicado ao quanto se tem outorgado para o

quanto se tem de disponível. Quanto maior for essa proporção, mais problemático é possuir PA no SAA.

Apesar de se utilizar o indicador de Vazão Outorgada para o Abastecimento, seria mais pertinente inserir a Vazão Média de Captação, pois em muitos casos, há uma vazão outorgada extremamente superior à vazão de captação, e dessa maneira não se avalia o que ocorre de forma prática. Também, seria mais pertinente, nos casos de haver captação superficial, fazer uso da Vazão Média do Manancial Superficial. No entanto, considerar a Vazão Outorgada para o Abastecimento inclui, inevitavelmente, a gestão dos recursos hídricos, pois a vazão outorgada, provavelmente, leva em consideração os usos múltiplos, apesar do abastecimento público possuir preferência da reserva de vazão outorgável.

Para a construção do BD para aplicação do IVuPA se obteve essas vazões, tidas como informações nessa análise, tendo como fonte o Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) e a ANA. As vazões e as disponibilidades dispostas foram compiladas pela Coordenadoria de Recursos Hídricos (CRHI, 2022) do Estado de São Paulo, em seu documento Banco de Indicadores para Gestão dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (2022), com informações de 2019.

5.2.2.3 Índice de atendimento urbano de água

Este indicador está associado ao aspecto de capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição. Após produzida, como produto final, a água tratada distribuída em um SAA pode ocorrer para a totalidade dos usuários existentes, configurando a prestação universalizada, ou não. Esse indicador é o único não criado ou adaptado para a construção da análise. Insere-se na avaliação com a finalidade de contribuir com a dimensão do quanto o sistema atende ao seu objetivo primordial que seria o atendimento universal da população inserida no SAA.

Um SAA que não possui atendimento universalizado e ainda apresenta níveis consideráveis de PA, apresenta-se como extremamente problemático pelo não atendimento das metas já vigentes e pela existência de desperdício do recurso hídrico que deveria ser convertido em água tratada e distribuída para toda a população, e pior, pois já se encontrava nas condições próprias para consumo humano.

Dessa maneira, o SAA não atende ao seu propósito e ainda o faz de maneira não sustentável, tornando-o ainda mais distante da autossuficiência. Para atender

completamente ao seu propósito, o SAA deve atender 100% dos usuários existentes, caso não o faça, além de não atender tal proposito, a operação desse aspecto também desfavorece o aspecto capacidade de conversão de água tratada em recurso financeiro, ao não distribuir a todos o produto de água tratada.

Para a construção do BD para aplicação do IVuPA, o Índice de atendimento urbano de água foi extraído da série histórica do SNIS (SNIS, 2023b).

5.2.2.4 Índice de perdas por ligação

Este indicador está associado ao aspecto de capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição. Após produzida, como produto final, a água tratada, para ser efetivamente consumida pelos usuários do SAA, precisa ser distribuída, e isso ocorre sob um nível de perdas. Este também pode ser considerado como o principal indicador do IVuPA, pois ele apresenta qual seria o estado em que as PA se apresentam dentro do SAA, e as PA são a pressão matriz que configura a existência de vulnerabilidade.

Para a construção do BD para aplicação do IVuPA, o Índice de perdas por ligação foi extraído da série histórica do SNIS (SNIS, 2023b).

5.2.2.5 Razão do Consumo médio per capita de água ponderado por UGHRI

Este indicador está associado ao aspecto de capacidade de conversão de água tratada em recurso financeiro. O indicador visa demonstrar qual seria o nível ponderado de consumo médio existente, com base na média da UGRHI em que se insere. Esse comparativo do consumo médio existente entre uma UGRHI se faz pertinente pela configuração que a própria UGRHI possui. Trata-se de uma região com municípios próximos, apresentando quesitos ambientais, sociais e econômicos mais similares, apesar de em muitos casos haver um município que concentra maior capital econômico, que inclusive advém dos municípios limítrofes pela sua predominância na produção de bens, serviços e commodities. Tal concentração, pode, muitas vezes, favorecer o consumo de água e elevar a média da Unidade em questão. Também se faz pertinente a análise comparativa com base da UGRHI pelos próprios quesitos da gestão do recursos hídricos e do quão tolerável o consumo seria em função da disponibilidade hídrica existente na Unidade em questão.

Para a construção do BD para aplicação do IVuPA, o Consumo médio per capita de água foi extraído da série histórica do SNIS (SNIS, 2023b).

5.2.2.6 Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada

Este indicador está associado ao aspecto de capacidade de conversão de água tratada em recurso financeiro. O indicador visa avaliar a razão entre o quanto se gasta para produzir o m³ de água tratada com a Tarifa Média Aplicada. Este é capaz de demonstrar de maneira mais direta a capacidade que o prestador dos serviços possui em converter água bruta em tratada de maneira economicamente sustentável. Já explicado, a existência de PA implica na elevação de praticamente todas as frentes que compõem as despesas para produção de água tratada.

Quanto maior a diferença entre o quanto se gasta para produzir com o quanto se ganha pela produção, maior será o potencial individual do prestador em produzir respostas para conter e reduzir as PA, por meio de recursos próprios para investimentos na própria infraestrutura. Apesar do objetivo de avaliação levar em consideração apenas o SAA, os indicadores do SNIS, para essa avaliação são considerados como informações, selecionados para compor esse indicador, leva em consideração custos e tarifa associados ao serviço de esgoto.

Em diversos casos, o mesmo prestador dos serviços de abastecimento de água também presta os serviços de coleta, afastamento e tratamento de esgoto. A conjunção dos serviços, inevitavelmente, em fins práticos, não dissocia o capital de custeio e investimento do prestador. Em casos que não há prestação dos serviços de esgoto, não há computo de capital desse serviço, e por consequência não há interferência da prestação desse serviço. O mais ideal, para a avaliação, seria levar em consideração apenas os custos e ganhos de capital associados apenas a prestação dos serviços de abastecimento de água, no entanto, no SNIS, os indicadores são compostos por informações sem discriminar as despesas totais para cada serviço, quando a prestadora possui os 2 serviços (água e esgoto).

Outra opção para ocupar o espaço de representatividade que esse indicador possui, associado ao seu aspecto, seria o indicador IN012 – Indicador de desempenho financeiro. No entanto, optou-se pela utilização da Razão, ao invés do IN012, pois a composição desse não apresenta a uma associação direta à Tarifa, apenas de forma indireta. Para ser

completo, inevitavelmente, o Índice precisa incluir a interface que a tarifa possui aplicada para o SAA.

Para a construção do BD para aplicação do IVuPA, as Despesas totais com os serviços por m³ faturado e Tarifa Média aplicada foram extraídas da série histórica do SNIS (SNIS, 2023b).

Quadro 14 – Apresentação dos Indicadores que compõe o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água

(continua)

Indicador	**Fórmula de Cálculo**	**Unidade**	**Fonte**	**Observação**
Tipo de manancial	Não há fórmula de cálculo para este indicador	Superficial, subterrâneo ou misto	ANA (2021a)	A determinação do tipo de manancial se dá pela disposição da informação de qual manancial provê água bruta ao SAA. Em SAA que há menos de 10% de contribuição de mais de um tipo de manancial, considera-se apenas o que possui maior contribuição, ao invés de se considerar misto.
Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica	({Q outorgado para abastecimento [m³/s] x 31536000} / {Pop total x Disponibilidade *per capita* [m³/hab.ano]}) x 100	%	CRHI (2022)	Com o fim de se ponderar em uma razão, há necessidade de compatibilizar as unidades da vazão e disponibilidade, por isso se introduz a constante de (seg/ano) e população total do munícipio em questão.
Índice de atendimento urbano de água	Fórmula de cálculo é o próprio IN023 (SNIS, 2023b)	%	SNIS (2023b)	Esse indicador é diretamente extraído do Banco de Dados da Série Histórica disponível no SNIS. Trata-se do IN023 – Índice de atendimento urbano de água. Não há qualquer alteração dos valores obtidos para fins de cálculo.
Índice de perdas por ligação	Fórmula de cálculo é o próprio IN051 (SNIS, 2023b)	l/dia/lig	SNIS (2023b)	Esse indicador é diretamente extraído do Banco de Dados da Série Histórica disponível no SNIS. Trata-se do IN051 – Índice de perdas por ligação. Não há qualquer alteração dos valores obtidos para fins de cálculo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 14 – Apresentação dos Indicadores que compõe o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água

(conclusão)

Indicador	Fórmula de Cálculo	Unidade	Fonte	Observação
Razão do Consumo médio *per capita* de água ponderado por UGHRI	l/hab.dia / (média UGRHI l/hab.dia)	Adimensional	SNIS (2023b)	Esse indicador foi adaptado para que se houvesse uma ponderação e uma base normalizada para comparação do consumo. Optou-se pela comparação da UGRHI em que o município se insere, tendo a média calculada a partir da informação obtida no SNIS. A informação de consumo médio é obtida do IN022 - Consumo médio *per capita* de água.
Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada	R$/m³ despesas / R$/m³ tarifa	Adimensional	SNIS (2023b)	Esse indicador é adaptado para se auferir a razão entre o quanto se consome de recurso financeiro (R$) pelo quanto se cobra em média pela tarifa. A razão apresentada leva em consideração os indicadores: IN003 - Despesa total com os serviços por m3 faturado e IN004 - Tarifa média praticada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.3 Escolha da metodologia para equacionar o IVuPA com base nos indicadores selecionados

O IVuPA é composto por indicadores que apresentam diferentes níveis de importância no condicionamento de um SAA a ser vulnerável às PA. Para atribuir tais níveis de importância aos indicadores se fez necessário a determinação de um critério objetivo. Com o fim de se propor uma nova metodologia objetiva, composta por vários critérios subjetivos, buscou-se dentre as metodologias existentes a que de maneira mais simplificada pudesse transformar esses critérios subjetivos, em um método objetivo.

Apesar da busca em classificar a vulnerabilidade dos SAA ser realizada de forma objetiva, não se desconsidera o caráter subjetivo por trás do que constitui uma avaliação da vulnerabilidade. Uma ferramenta que é capaz de compor uma análise que visa avaliar de forma subjetiva e classificar de forma objetiva é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), preconizada por Saaty (1980). No geral, a proposta do método é de ser utilizado para proposição de soluções alternativas frente a um dado problema, geralmente de caráter decisório. No entanto, sua estruturação matemática é passível de ser aproveitada para realização de análises que vão além da ponderação de diferentes soluções ou alternativas. O método se baseia em três etapas analíticas que foram adaptadas para analisar à

vulnerabilidade dos SAA, que são a construção de hierarquias, definição de prioridades e consistência lógica.

5.2.3.1 Construção de hierarquias

No método AHP as relações são estruturadas em níveis hierárquicos, para facilitar a compreensão e a avaliação das interações existentes no foco da análise. A aplicação da metodologia demanda que os critérios e as alternativas possam ser estruturadas de forma hierárquica. Nessa estrutura, o primeiro nível corresponde ao propósito geral da análise (vulnerabilidade a partir da existência de PA), o segundo aos critérios (indicadores) e o terceiro as alternativas (conjunto de indicadores de uma mesma classe).

5.2.3.2 Definição de prioridades

Para a execução do método, fez-se necessário determinar quais seriam as alternativas, em relações condicionantes, da análise. Foi preciso escolher os melhores conjuntos de pesos numéricos que correspondessem às relações observadas, etapa conhecida como julgamento paritário. Para isso, contou-se com o auxílio da opinião objetiva de profissionais e acadêmicos da área, por meio de um questionário (Apêndice B). A comparação entre pares de mesmo nível deve ser feita refletindo o entendimento de sua prioridade, no quanto um fator é mais influente que outro, para condicionar à situação de vulnerabilidade. A escala de prioridades está disposta na Tabela 8. Essa escala varia de 1 a 9, no qual o valor de 1 apresenta a indiferença de importância de um critério com relação ao outro e 9 apresenta a extrema importância de um critério sobre outro, ambos com valores intermediários de importância.

Por se tratar de uma análise cujo meio possui caráter subjetivo, para que os procedimentos de determinação dos pesos se apresentassem de forma mais coerente e com as menores tendências da prévia confirmação do autor, questionários foram enviados para especialistas da área do saneamento ambiental com o fim de observar, de forma mais pluralista, os possíveis pesos que as interações desse Estudo poderiam apresentar, ao se integrar múltiplos entendimentos. A partir dos julgamentos e da definição dos pesos, torna-se possível a construção da matriz correspondente dos elementos considerados para avaliação da vulnerabilidade dos SAA.

Tabela 8 – Escala numérica de Saaty (AHP)

Escala numérica	Escala Verbal	Explicação
1	Ambos elementos são de igual importância.	Ambos os elementos contribuem com a propriedade de igual forma.
3	Moderada importância de um elemento sobre o outro.	A experiência e a opinião favorecem um elemento sobre o outro.
5	Forte importância de um elemento sobre o outro.	Um elemento é fortemente favorecido.
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro.	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro.
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro.	Um elemento é favorecido pelo menos com uma ordem de magnitude de diferença.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre as opiniões adjacentes.	Usados como valores de consenso entre as opiniões.
Incremento 0,1	Valores intermediários na graduação mais fina de 0.1.	Usados para graduações mais finas das opiniões.

Fonte: Saaty (1980).

5.2.3.3 Consistência Lógica

Como preconizado pelo autor do método, para avaliar se os julgamentos apresentam coerência, com base nas definições dos pesos do planejador, é possível calcular ao Razão de Consistência (RC), que corresponde à razão do Índice de Consistência (IC) com o Índice de Consistência Randômico (IR). Segundo o autor do método, para que os julgamentos possam apresentar consistência, é preciso que a RC seja inferior à 0,10 (10%).

5.2.4 Aplicação do questionário

Como preconizado pela metodologia AHP, torna-se prestigioso contar com a contribuição de especialistas na área para definição das hierarquias (pesos), com o fim de evitar vieses prévios. Com base nisso, elaborou-se um questionário, disposto no Apêndice B, que foi aprovado pela Plataforma Brasil com o seguinte CAAE: 58585222.8.0000.5402. O certificado de aprovação está disposto no Anexo A.

Durante o período de coleta de participação do questionário, foram coletadas, ao todo, 17 contribuições. O questionário foi construído visando possibilitar a conferência

da conformidade das respostas inicialmente distribuídas para quais seriam os pesos para cada indicador, por meio de questões que produziam na distribuição comparação entre cada indicador para avaliar tal conformidade. Esperava-se do questionário uma distribuição não uniforme e que a média dos pesos distribuídos entre os 6 indicadores pré-selecionados fosse próxima de 5. Também, esperava-se que caso um indicador possuísse peso superior a outro, nas respostas das questões comparativas se observaria que tal indicador é de fato mais importante, ou menos importante quando fosse o caso.

Com base nesses parâmetros, das 17 contribuições apenas 5 se apresentaram como proveitosas para contribuir com a composição da matriz da metodologia AHP. Salienta-se que as 5 contribuições válidas apresentaram distribuição dos pesos com conformidade e não uniformes, e também conformidade nas questões comparativas entre cada indicador, com base nos pesos distribuídos. É possível avaliar todas as contribuições adquiridas ao longo do período de coleta das respostas do questionário no Apêndice C.

Em função da baixa adesão ao questionário e pelas respostas obtidas, optou-se por desenvolver o IVuPA apenas com as considerações do autor a respeito dos pesos dos indicadores. Salienta-se que a proposta inicial do projeto era de desenvolver o IVuPA a partir da exclusiva participação de especialistas, tendo a contribuição do autor como uma resposta válida para distribuição dos vetores de peso dos indicadores. Contudo, mesmo com a exclusiva definição das hierarquias por parte do autor, fez-se uso da metodologia AHP para construção do IVuPA.

5.2.5 Aplicação da metodologia AHP para construção do IVuPA para definição dos pesos externos dos indicadores

A definição dos pesos externos de cada um dos indicadores que compõe o IVuPA se deu por meio do valor do peso do critério obtido pela aplicação da Metodologia AHP. O Quadro 15 apresenta a matriz de comparações paritárias com base nas considerações do autor.

Quadro 15 – Matriz de comparações paritárias

	Índice de perdas por ligação	**Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada**	**Tipo de manancial**	**Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica**	**Razão do Consumo médio *per capita* de água ponderado por UGHRI**	**Índice de atendimento urbano de água**
Índice de perdas por ligação	1	4	5	5	6	7
Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada	1/4	1	2	2	3	4
Tipo de manancial	1/5	1	1	1	2	3
Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica	1/5	1/2	1	1	2	3
Razão do Consumo médio *per capita* de água ponderado por UGRHI	1/6	1/3	1/2	1/2	1	2
Índice de atendimento urbano de água	1/7	1/4	1/4	1/3	1/2	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Posteriormente à construção da matriz de comparações paritárias, calculou-se o vetor peso de cada critério (no caso, dos indicadores), para isso, utilizou-se da Equação 6, disposta a seguir.

$$w_i = \frac{\left(\Pi_{j=1}^{n} a_{ij}\right)^{1/n}}{\Sigma_{i=1}^{n}\left(\Pi_{i=1}^{n} a_{ij}\right)^{1/n}} \quad (6)$$

Sendo:

- w_i: peso do critério;
- n: ordem da matriz; e
- a_{ij}: valor de importância do critério i em relação ao critério j.

Aplicando-se a Equação 6 à matriz apresentada no Quadro 15, obtém-se os diferentes pesos para os indicadores que compõe o IVuPA, apresentado o vetor peso de cada indicador no Quadro 16.

Quadro 16 – Relação dos pesos obtidos, pela aplicação da metodologia AHP, para os diferentes indicadores selecionados para composição do IVuPA

Indicador	**Vetor peso**
Tipo de manancial	0,112
Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica	0,112
Índice de atendimento urbano de água	0,044
Índice de perdas por ligação	0,483
Razão do Consumo médio *per capita* de água ponderado por UGRHI	0,068
Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada	0,182

Fonte: Elaborado pelo autor.

Adicionalmente, para atribuir maior validade à distribuição dos pesos, a metodologia AHP preconiza uma avaliação da consistência das distribuições do grau de importância, configurando maior objetividade no processo de distribuição de importância, que resulta nos pesos obtidos. Para isso, foi calculado o RC, com base na Equação 7, que é composta pela razão do IC [Equação 8] e IR [Tabela 9].

$$\mathrm{RC} = \frac{\mathrm{IC}}{\mathrm{IR}} \tag{7}$$

Sendo:

- RC: Razão de Consistência;
- IC: Índice de Consistência; e
- IR: Índice de Consistência Randômico.

$$\mathrm{IC} = \frac{(\text{méd do vetor}\,\frac{\mathrm{Aw}}{\mathrm{w}}) - \mathrm{n}}{\mathrm{n}-1} \tag{8}$$

Sendo:

- IC: Índice de Consistência;
- Aw: matriz de comparação paritária;
- w: vetor peso;
- n: ordem da matriz;

Tabela 9 – Índice Randômico Médio do AHP em função da ordem da matriz

1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**
0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: Saaty (1980).

A matriz utilizada, para obtenção dos pesos paras os indicadores selecionados para compor o IVuPA, para ambas versões, apresenta ordem 6, portanto seu IR é 1,24. Com isso, obtém-se, a partir da metodologia de cálculo do RC, o valor de 0,0321 (3%). Dessa maneira, o valor obtido apresenta conformidade com o que é preconizado pela metodologia AHP, devendo ser inferior a 10%, e assim, atribuindo validade para a distribuição de pesos.

5.2.6 Definição dos intervalos e pesos internos de cada indicador

Além dos pesos externos, houve a necessidade de definição dos intervalos a serem considerados para cada indicador e quais seriam os pesos internos de cada um desses intervalos, para fazer com o cômputo do valor do IVuPA para se realizar avaliação para cada município. No geral, para configuração dos intervalos e respectivos pesos internos, levou-se em consideração cenários bons, realistas e péssimos para o desempenho de cada um dos indicadores, mesmo para área de aplicação da avaliação, no caso o Estado de São Paulo e ainda para contexto temporal (2019) do estado em que o saneamento se encontra no País.

5.2.6.1 Tipo de manancial

Este indicador é o único que se apresenta com intervalos não numéricos, pois as opções para o tipo de manancial seriam limitadas apenas para: superficial; predominantemente superficial; predominantemente subterrânea; e subterrânea. Dessa maneira, não há outra combinação possível para delimitação além desses quatro intervalos para o indicador.

O manancial superficial apresenta diferentes potencialidades mais diretas para uso do recurso hídrico, além de imenso valor ecológico, e por conta disso, a exploração adicional, quando há PA (passiva de ser reduzida), nesse tipo de manancial se apresenta como mais problemática, em comparação com a fonte subterrânea. Dessa maneira, considera-se que a definição dos pesos se aplicou de maneira progressiva do menor peso, que seria fonte exclusivamente subterrânea, para o maior, que seria fonte exclusivamente superficial.

Apesar de se considerar a fonte de água subterrânea como a menos problemática para se perder ao longo do processo de distribuição, ainda há certo grau de impactos que

são gerados pela existência das PA, por isso não há como esse indicador apresentar peso interno no valor de 0 absoluto mesmo para captação exclusivamente subterrânea.

Também, apesar de diversos municípios realizarem a captação tendo como fonte captação de um manancial superficial, muitos desses não possuem outra opção de captação, a não ser a fonte superficial, em função da elevada demanda (por conta da elevada população) ou pela inviabilidade financeira da exploração. Por isso, optou-se em, apenas para este indicador, não atribuir valor absoluto de 1 para o peso interno para a captação superficial, que seria a com maior capacidade de contribuir com a condição de vulnerabilidade.

Matematicamente, seria possível atribuir o valor absoluto de 1 à captação superficial e ajustar o peso externo, no entanto, o desenvolvimento se deu inicialmente pela definição dos pesos externos, para posteriormente avaliar quais seriam as melhores opções para definição dos intervalos e seus respectivos pesos internos. Por conta disso, optou-se em definir os pesos internos dos intervalos sem que se alterasse os pesos externos de cada indicador.

5.2.6.2 Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica

Para esse indicador e os outros, diferentemente do indicador Tipo de Manancial, houve a necessidade de definição de intervalos com faixas de intervalo. O critério de definição dos intervalos utilizado se deu a partir da delimitação de cenários com proporções progressivas, até o intervalo superior que não apresenta limitação.

A média encontrada (melhor apresentado no subcapítulo Resultados) para todos os municípios considerados na avaliação é de 6,91%, demonstrando que considerável parcela dos municípios apresenta bom desempenho para esse indicador. No entanto, há 59 municípios com valores superiores a 10%, e por conta desses, a definição dos limites poderia ser expandida de modo a considerá-los com maior segregação, pois o município com maior valor apresenta 846,28%.

É possível que a razão se apresente como maior que 100%, isso porque a Vazão Outorgada para o Abastecimento associada ao município em questão se apresenta maior que a Disponibilidade per capita. Essa condição está associada ao vínculo da informação, pois em casos práticos é possível que o SAA possua captação fora dos limites municipais em que se encontra, e a informação da outorga está associado ao município em que ocorre a captação.

Espera-se que nenhum sistema apresente valor superior a 100%, e por conta disso, esse seria o limite superior e correspondente ao valor absoluto de 1. No entanto, apesar de haver diversos municípios com bom desempenho para esse indicador, não se considerou o valor absoluto de 0 para a o intervalo mais baixo.

Considerou-se o valor de 0,2, pois apesar de em muitos casos haver grande disponibilidade hídrica, existe a possibilidade de que o município seja muito extenso e com isso haja grande disponibilidade associada a ele, porém, para o abastecimento, em especial quando ocorre por fonte superficial, tal disponibilidade pode não refletir os reais potenciais de uso do recurso hídrico para que o município o use para o abastecimento.

5.2.6.3 Índice de atendimento urbano de água

A determinação dos intervalos para este indicador se deu levando em consideração as metas de universalização do serviço de abastecimento de água, e por conta disso, é o único indicador com a possibilidade de apresentar uma faixa ideal, no caso o 100%. Considerou-se, tomando como base a realidade do Estado de São Paulo em conjunção com as metas de universalização do serviço, o limite inferior (que recebe o maior valor do peso interno) deve ser de 95%. A partir disso, as faixas de intervalo variam de menor que 95% a 100% de atendimento.

Espera-se que os municípios apresentem prestação universalizada dos serviços de abastecimento de água, configurando, dessa maneira, valor de peso interno de 0 absoluto para os municípios com 100% de atendimento. E o maior peso interno de 1 é designado aos municípios que apresentarem atendimento inferior a 95%. Há divisão de faixas de intervalo entre 100% e 95%, para comtemplar os municípios que estão próximos à universalização, dentro da avaliação, 127 municípios se enquadram nessas faixas intermediárias.

5.2.6.4 Índice de perdas por ligação

Esse indicador apresenta, naturalmente, uma variação muito alta dos valores apresentados que são autodeclarados pelos municípios. Diferentemente, por exemplo, do indicador Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica, que demandou a definição dos intervalos. Este indicador possui como base para tal definição, as considerações apresentadas pelo Relatório de Análise de Impacto

Regulatório nº 1/2021/COAES/SRS (ANA, 2021b), que estipulam intervalos que categorizam a eficiência dos SAA com base no seu Índice de perdas por ligação.

Não é possível que o SAA apresente perdas inferiores a 0, no entanto não há limite superior para as perdas que os SAA possam apresentar, no entanto, há faixas bem delimitadas que são comuns. O Relatório apresenta o intervalo mais comum de 216 a 340 L/lig.dia, portanto a segregação dos intervalos leva em consideração essa faixa e as suas extremidades, com valores inferiores e superiores a esse intervalo. Em função da natureza do comportamento das PA de se elevarem naturalmente, mesmo que os SAA se apresentem no menor intervalo possível do indicador, não se considerou o valor absoluto de 0 para tal intervalo.

O limite superior do menor intervalo é de 0 a 160 L/lig.dia, valor considerado baixo, para os padrões brasileiros. Ainda, para os limites superiores, optou-se em dividir em as faixas de intervalos entre 340 e 500 L/lig.dia e maiores que 500 L/lig.dia. Tal decisão leva em consideração a observação da performance que os municípios apresentaram para esse indicador (melhor apresentado no subcapítulo Resultados), pois uma quantia considerável se encontra nesses intervalos propostos.

5.2.6.5 Razão do Consumo médio per capita de água ponderado por UGRHI

Esse indicador apresenta, naturalmente, uma variação muito alta por considerar a razão entre o consumo médio per capita de água e a média observada destes para cada UGRHI, em especial para as Unidades com maior número de municípios inseridos. Para este indicador, o critério de definição dos intervalos utilizado foi mediante observação dos valores do desempenho dos municípios para o indicador e sob os cenários de operação sob a influência das possíveis razões.

A média encontrada (melhor apresentado no subcapítulo Resultados) para todos os municípios considerados na avaliação é próxima de 1, isso se dá em função do critério de ponderação conferido pela média da UGRHI. O menor valor e o maior valor calculados para esse indicador são, respectivamente, 0,1 e 3,08, dessa maneira, as faixas de intervalo devem contemplar tais variações, porém considerando a base comparativa que tende os valores a serem próximos de 1, tornando municípios com valores superiores a 1 mais tendenciosos à vulnerabilidade, pela influência do elevado consumo que o SAA pode apresentar.

Espera-se que os municípios apresentem valores próximos de 1, isso porque na estrutura de cálculo das informações se considera apenas o consumo residencial e comercial, não o consumo de industriais que estejam conectadas ao sistema. Apesar de as indústrias condicionarem a estruturação do SAA, os grandes volumes consumidos por essas não são capazes, pelos cálculos, de influenciar na elevação do valor auferido, tornando assim a comparação entre os municípios, por meio da média da Unidade, mais compatível e proba.

Em função dos valores observados, considerou-se valores superiores a 1,5 a se enquadrem no intervalo superior, com valor de peso interno de 1 absoluto. Apesar de haver diversos municípios com bom desempenho nesse indicador, não se considerou o valor absoluto de 0 para a o intervalo mais baixo, apresentando para esse definição de peso interno 0,2.

5.2.6.6 Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média Aplicada

Esse indicador se apresenta por uma razão comparativa individual, dessa maneira não há influências tendenciosas externas no processo de análise, pois essa razão incide singularmente em cada município. Para esse indicador, há necessidade de determinação de faixas de intervalo, assim como foi para o indicador Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica. Para este, o critério de definição dos intervalos utilizado foi mediante observação dos valores do desempenho dos municípios e sob os cenários de operação sob a influência das possíveis razões.

A média encontrada (melhor apresentado no subcapítulo Resultados) para todos os municípios considerados na avaliação é de 1,13, demonstrando que há considerável equilibro entre as despesas e a tarifa na maioria dos municípios do Estado, porém com considerável número de municípios com valor superior a 1 (indicando que as despesas são superiores à Tarifa Média Aplicada), totalizando 356 municípios com valor superior a 1. O menor valor e o maior valor calculados para esse indicador são, respectivamente, 0,45 e 3,92, dessa maneira, as faixas de intervalo devem contemplar tais variações.

Por conta disso, esse é o indicador com maior número de intervalos considerados, sendo 7, enquanto os outros são compostos por 5 ou 6, com exceção do Indicador Tipo de Manancial. Qualquer sistema que apresente valor superior a 1, para este Indicador, encontra-se, de certa maneira, suscetível à um déficit financeiro a longo prazo de

operação, tornando-o menos autossuficiente no processo de gerenciamento de perdas. Por conta disso, considerou que valores superiores a 1, devam apresentar peso interno considerável, graduando a medida que se afastam do valor de 1. Municípios que apresentarem valores maior que 2 para o indicador, apresentam o valor de peso interno com 1 absoluto. Apesar de haver diversos municípios com bom desempenho nesse indicador, não se considerou o valor absoluto de 0 para a o intervalo mais baixo.

5.2.7 Considerações sobre a aplicação do IVuPA pelo Banco de Dados

Em função das informações apresentadas no SNIS, fonte de informação de quatro indicadores que compõe o IVuPA, serem autodeclaradas, alguns municípios pertencentes ao Estado de São Paulo não apresentaram informações ao sistema de informações, e por consequência inviabilizaram os cálculos desses indicadores. Esses municípios foram classificados como "informações ausentes", e por isso não foram avaliados. A relação dos municípios que possuem informações ausentes é: Aramina; Areias; Ariranha; Bady Bassitt; Boa Esperança do Sul; Borebi; Campos Novos Paulista; Canitar; Cedral; Conchal; Dumont; Ibitinga; Júlio Mesquita; Lavínia; Luís Antônio; Monte Castelo; Nova Castilho; Nova Luzitânia; Pacaembu; Paraíso; Rincão; Santa Cruz das Palmeiras; São João de Iracema; Severínia; Taiuva; Taquaral; Tejupá; Uchoa; Vera Cruz. Os municípios que não apresentaram todas as informações necessárias para realização da avaliação se contabilizam em 30, correspondendo a 4,65% dos municípios do Estado de São Paulo.

5.3 RESULTADOS

5.3.1 Composição do IVuPA

O resumo geral da composição do IVuPA, com: indicadores e seus pesos externos (obtidos pela metodologia AHP); intervalos (definidos pelo autor) e seus respectivos pesos internos (também definidos pelo autor), está disposto no Quadro 17 e as classes de vulnerabilidade, com seus intervalos e cores de representação, no

Quadro 18. A partir da finalização da construção do IVuPA, tornou-se possível realizar a sua aplicação considerando as informações agregadas aos municípios.

Quadro 17 – Resumo dos parâmetros do Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água

Indicador	Peso Externo	Intervalos	Peso Interno
Tipo de manancial	0,112	Superficial	0,80
		Predominantemente superficial	0,60
		Predominantemente subterrânea	0,30
		Subterrânea	0,20
Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica	0,112	> 100 %	1,00
		60,01 a 99,99	0,80
		31,00 a 60,99	0,60
		16,00 a 30,99	0,40
		0 a 15,99	0,20
Índice de atendimento urbano de água	0,044	< 95%	1,00
		95,01% a 97,50%	0,70
		97,51% a 98,99%	0,40
		99,00% a 99,99%	0,20
		100%	0
Índice de perdas por ligação	0,483	> 500	1,00
		340 a 500	0,85
		250 a 340	0,75
		216 a 250	0,50
		160 a 216	0,30
		0 a 160	0,10
Razão do Consumo médio *per capita* de água ponderado por UGRHI	0,068	> 1,5	1,00
		1,20 a 1,49	0,80
		0,80 a 1,19	0,60
		0,50 a 0,79	0,40
		0 a 0,49	0,20
Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada	0,182	> 2,0	1,00
		1,50 a 1,99	0,85
		1,30 a 1,49	0,75
		1,00 a 1,29	0,60
		0,80 a 0,99	0,30
		0,50 a 0,79	0,20
		0 a 0,49	0,10

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 18 – Resumo Classes de Vulnerabilidade do Índice

Intervalo	Classe	Cor	Código HEX
Informações ausentes			#7B7B7B
0 a 0,250	Irrisoriamente vulnerável		#99FF33
0,251 a 0,350	Pouco vulnerável		#1FA808
0,351 a 0,550	Consideravelmente vulnerável		#FFFF00
0,551 a 0,750	Muito vulnerável		#FFC000
0,751 a 1,00	Extremamente vulnerável		#FF0000

Fonte: Elaborado pelo autor

5.3.2 Desempenho dos municípios contemplados pela avaliação para os indicadores

Apresenta-se nesse item o desempenho que os municípios comtemplados no estudo apresentaram para cada um dos indicadores selecionados para composição do IVuPA. A seguir é apresentado o desempenho e a discussão para cada um dos indicadores selecionados.

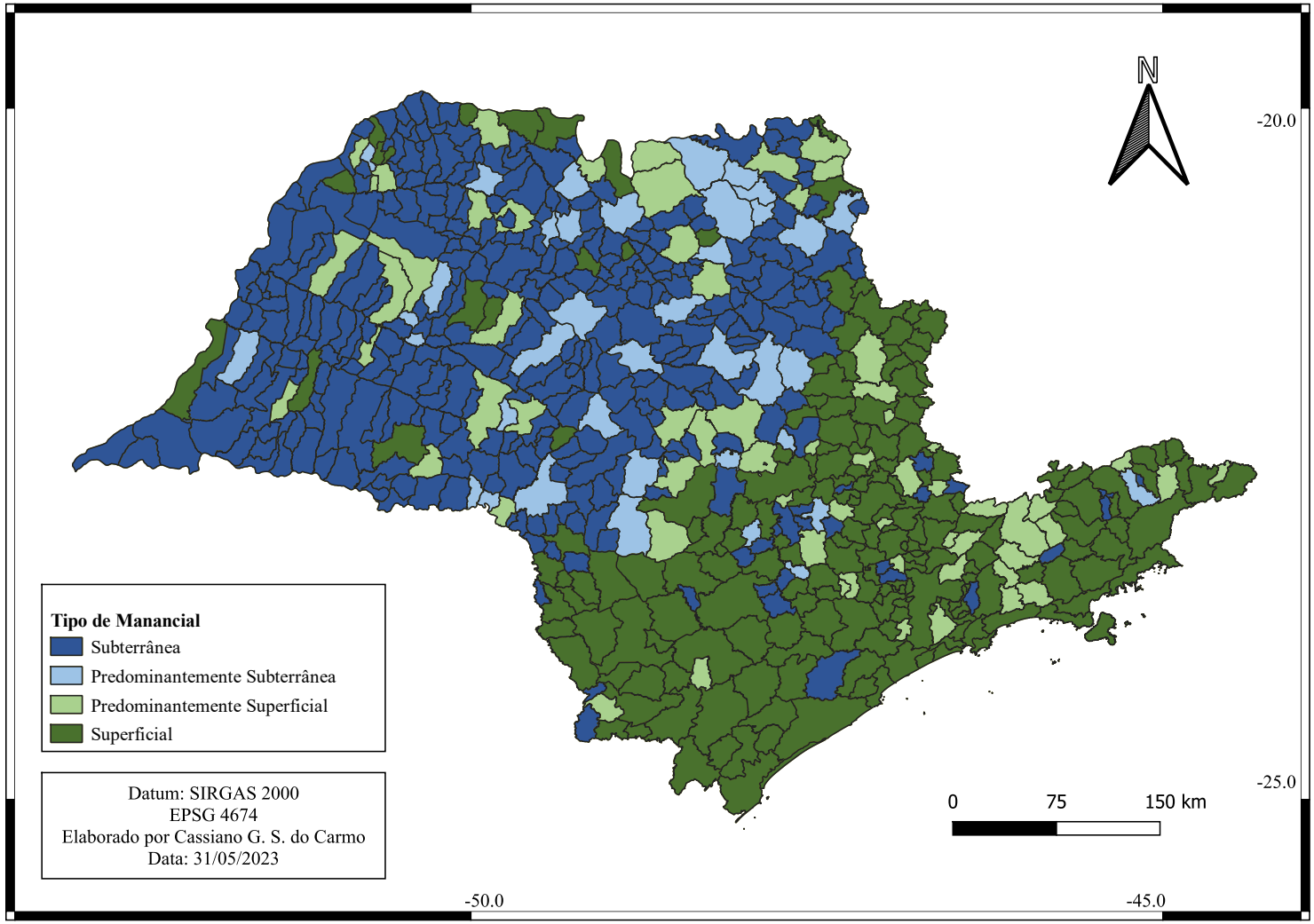
Ressalva-se que os indicadores são compostos por informações de 2019. Apesar das informações utilizadas no processo de análise serem de 2019, alguns das informações possuem caráter estacionário, como o tipo de manancial de captação. Já outras informações, como a despesa total com os serviços; tarifa média praticada, consumo médio; índice de atendimento urbano de água; e índice de perdas por ligação, possuem caráter transicional a curto e médio prazo, diferentemente da população que apresenta variações consideráveis apenas em longos períodos de tempo.

Dessa maneira, novas avaliações, com parâmetros idênticos, em curto período de tempo, podem variar pouco dos resultados avaliados neste estudo. Considera-se que avaliações diferentes das observadas neste estudo, possam se alterar significativamente em prazos superiores a 5 anos, em especial sob o atual contexto do desenvolvimento do saneamento do País.

5.3.2.1 Tipo de Manancial

No Estado de São Paulo os tipos de mananciais para captação dos SAA apresentam considerável padrão, como pode ser observado no Mapa da Figura 10, em que no litoral e nos municípios mais próximos das duas maiores regiões metropolitanas do Estado (Região Metropolitana de São Paulo [RMSP] e Região Metropolitana de Campinas [RMC]) apresentam captação em manancial superficial ou misto predominantemente superficial, com baixas distribuições de fontes subterrâneas. Já no interior do Estado, há predominância de SAA que apresentam captações subterrâneas ou misto predominantemente subterrânea. Essa configuração tende, por parte deste indicador, a condicionar os SAA do litoral e principais regiões metropolitanas a serem mais vulneráveis do que os sistemas do interior do Estado.

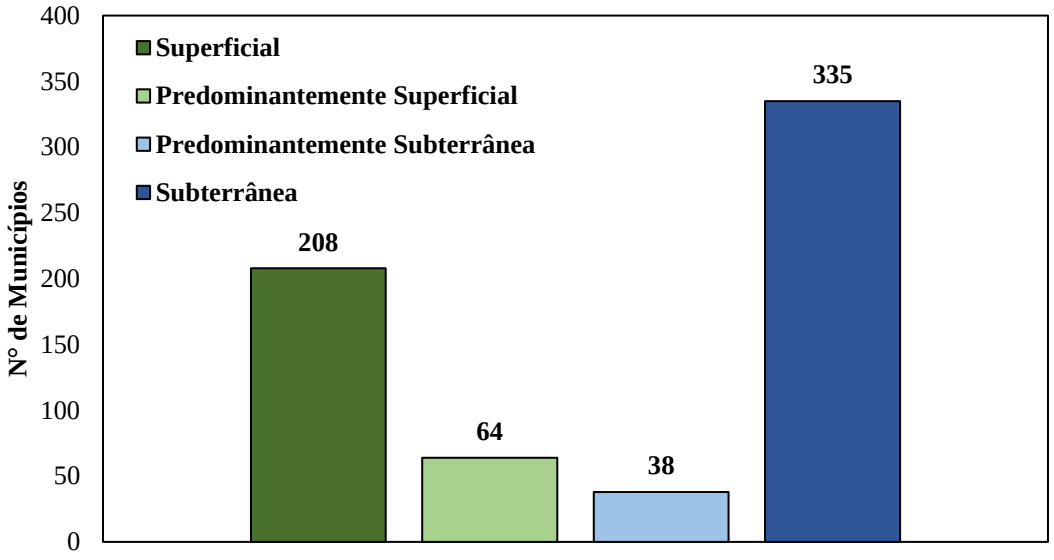
Figura 10 – Mapa de distribuição dos tipos de manancial de captação dos municípios do Estado de São Paulo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 11 apresenta o gráfico comparativo dos tipos de mananciais dos municípios avaliados.

Figura 11 – Gráfico comparativo dos tipos de mananciais dos municípios avaliados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Praticamente metade dos municípios do Estado fazem captação subterrânea (51,94 %), a segunda maior contribuição é por captação superficial que corresponde a 32,25%, completando a distribuição com os sistemas mitos, tendo quase o dobro de contribuição os predominantemente superficiais que correspondem a 9,92% e os predominantemente subterrâneos com 5,89%. Dessa maneira, mais da metade dos SAA apresentam o melhor desempenho parcial possível para o indicador, no entanto quase um terço se apresenta no pior intervalo.

Dentre as fragilidades associados ao uso de indicador, pode-se destacar:

a) Em casos práticos, em que o SAA se apresente como misto é possível que haja acionamento da captação subterrânea somente em casos de necessidade, porém não há discriminação desses quesitos operacionais. Os dados são dispostos com base na estrutura existente de cada sistema. Tornaria a análise mais completa com a discriminação dos casos em que os sistemas operam constantemente de forma mista ou apenas em casos de necessidade.

b) A presente análise considera os valores apresentados na vazão média dispostas para os SAA, de acordo com Atlas Águas (ANA, 2021a), para determinar se os

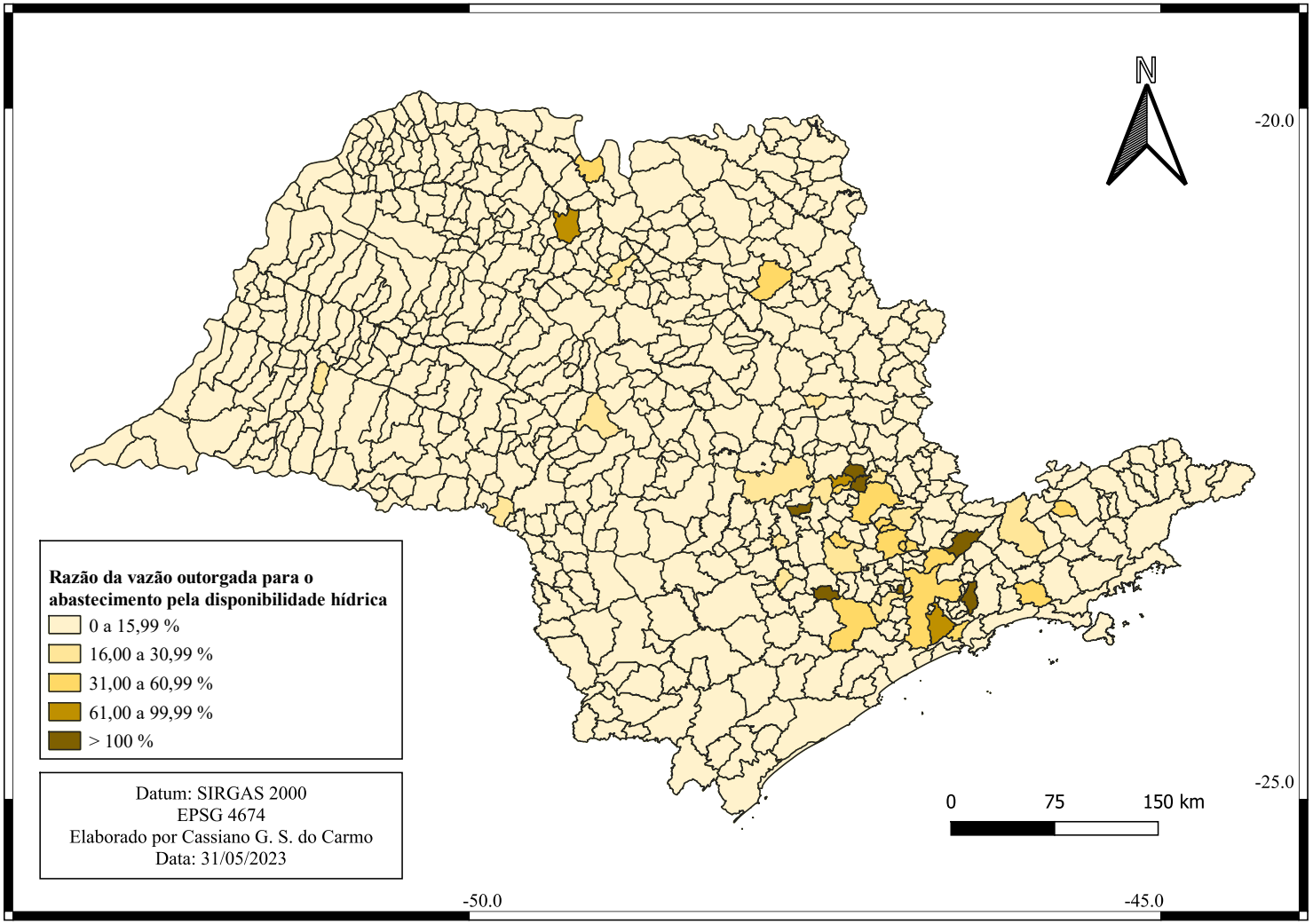
SAA que se apresentam como mistos possuem mais de 90% de apenas um tipo de fonte de manancial (superficial ou subterrâneo).

c) A definição dos pesos internos se deu de maneira subjetiva, a partir das considerações do autor, no entanto, com base em critérios avaliados ao longo da pesquisa e desenvolvimento da argumentação das problemáticas associadas ao tipo de manancial de captação.

5.3.2.2 Relação da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica

No Estado de São Paulo, a maioria dos municípios, quando incluídos a disponibilidade hídrica subterrânea, como é considerado pela composição deste indicador, apresenta grande quantidade de disponibilidade. Em função disso, ao se comprar a disponibilidade pela vazão outorgada para o abastecimento público, na grande maioria dos casos, haverá sempre uma razão inferior a 16%, como pode ser observado no Mapa da Figura 12.

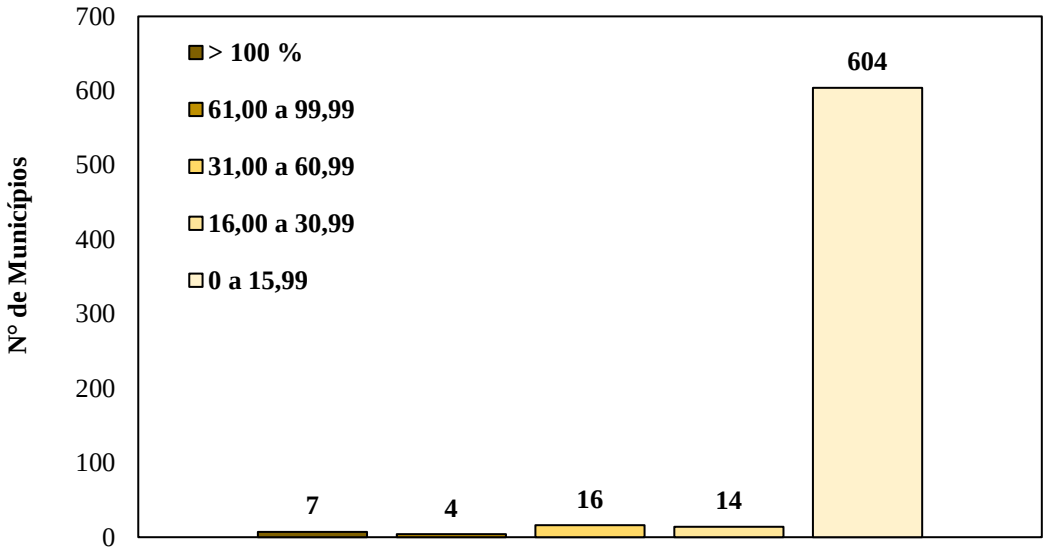
Figura 12 – Mapa da relação da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica dos municípios do Estado de São Paulo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 13 apresenta o gráfico comparativo da Relação da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica dos municípios avaliados.

Figura 13 – Gráfico comparativo da Relação da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica dos municípios avaliados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Praticamente todos os municípios apresentaram desempenho para o melhor intervalo possível do indicador, correspondendo a 93,64%. Apenas 1,70% se apresenta nos piores intervalos, em que a razão é superior a 61,00%, enquanto 4,65% se apresentaram nos intervalos intermediários de 16,00% a 60,99%.

Caso os municípios com captação superficial fossem avaliados com apenas a disponibilidade hídrica do manancial de captação em que a outorga é realizada, a distribuição dessa proporção poderia ser muito variada. Porém, para uma avaliação de abrangência estadual, não foi acessível realizar a avaliação com incidência para os mananciais superficiais utilizados apenas para o abastecimento.

Dentre as fragilidades associados ao uso de indicador, pode-se destacar:

a) O indicador considera informações associadas aos municípios e não necessariamente aos sistemas.

b) Não há base de dados pública que permita uma distribuição das informações visadas para os sistemas. Ainda há casos em que o município possui seu abastecimento oriundo de um sistema integrado, e dessa maneira não há

contabilização no bando de dados para qual seria a Vazão Outorgada para o Abastecimento vinculada a contribuição da vazão outorgada que é registrada.

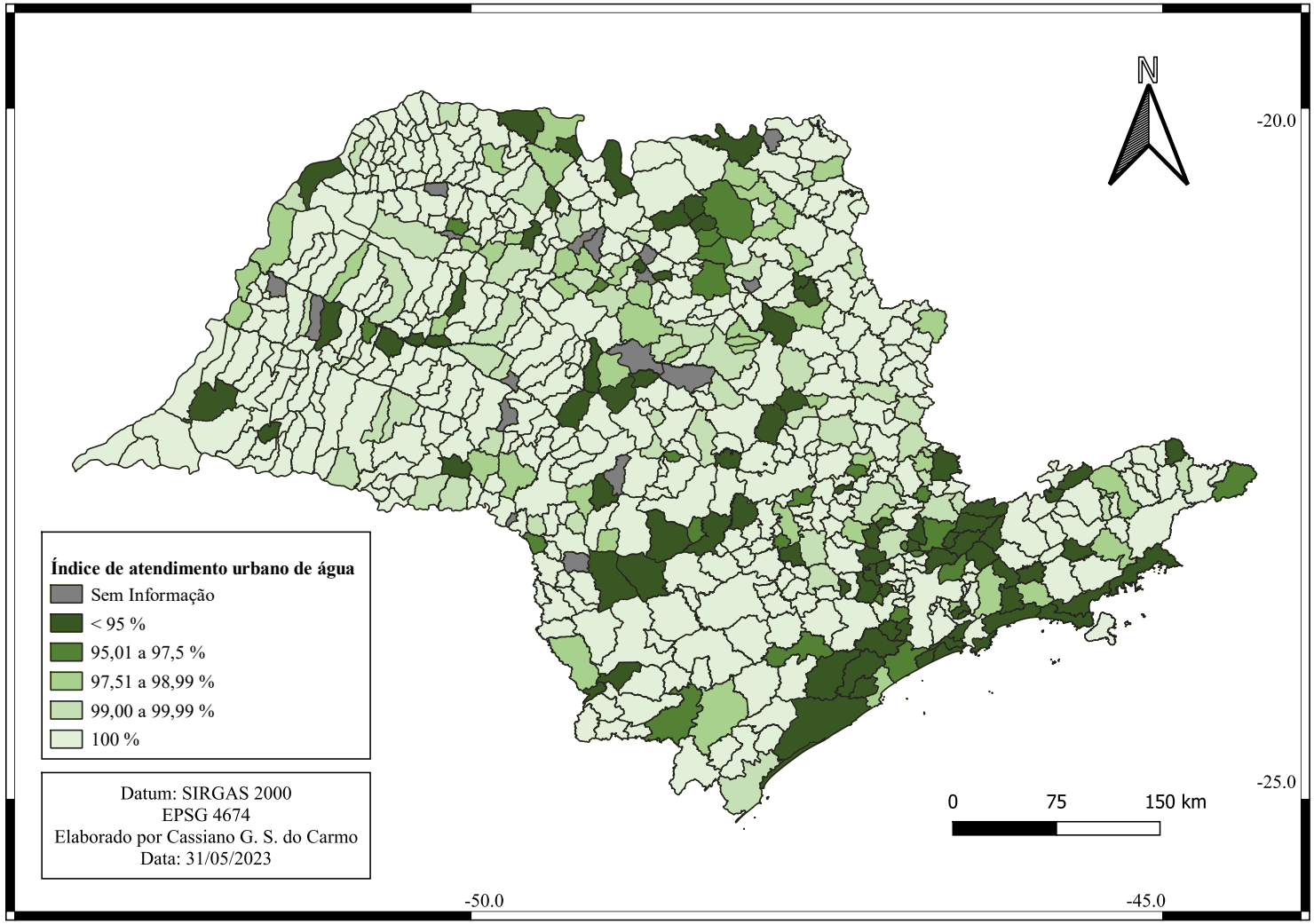
c) A análise mais ideal incidiria sob a razão da vazão média de captação pela vazão média disponível do manancial de captação. Caso o indicador fosse construído dessa maneira, nos casos em que a captação é superficial, as razões tenderiam a ser mais elevadas, nos casos em que a captação é subterrânea, os valores seriam os mesmos observados pelos parâmetros atuais utilizados.

5.3.2.3 Índice de atendimento urbano de água

No Estado, a grande maioria dos municípios apresentam 100% de atendimento do serviço de abastecimento de água, ou ainda próximos da universalização, estando acima de 95%. Contabilizou-se, no ano de 2019, 84 municípios que estão abaixo de 95%. Sob o atual contexto pela busca da universalização, espera-se que até 2030 todos os municípios se apresentem com o atendimento universalizado. Isso torna uma necessidade futura de adaptação do IVuPA sob um contexto de universalização do atendimento, pois a influência desse indicador seria nula.

No geral, como pode ser observado no mapa da Figura 14, há certos padrões regionais definidos dos estratos de atendimento. No interior do Estado, a grande maioria dos municípios apresentam atendimento maior de 95%, com algumas exceções dispersas. No litoral e no nordeste da RMSP há maior predominância de municípios com atendimento inferior a 95%.

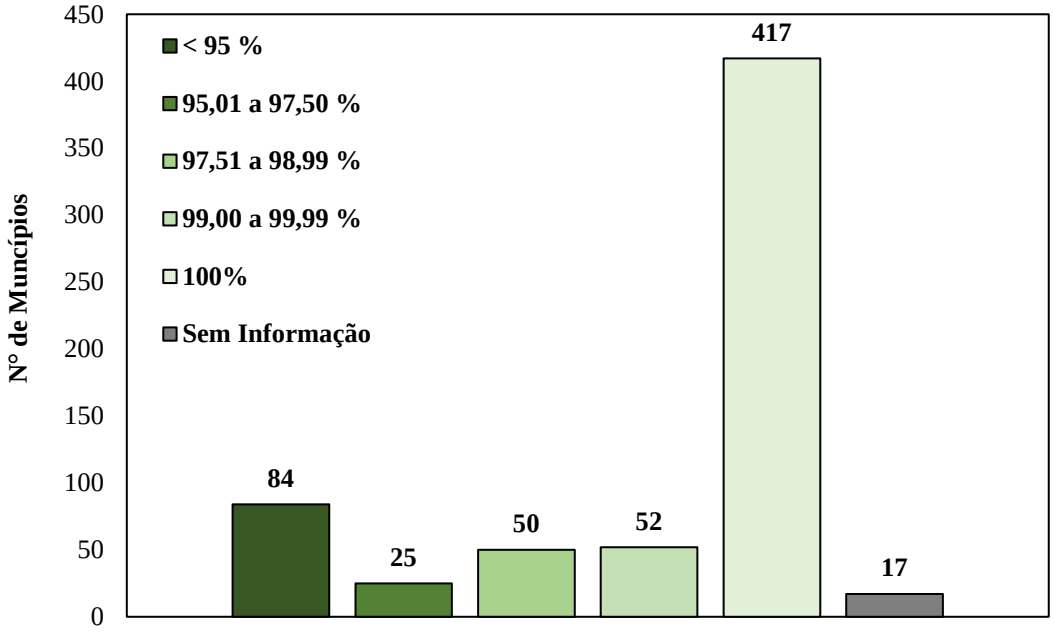
Figura 14 – Mapa do Índice de atendimento urbano de água dos municípios do Estado de São Paulo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 15 apresenta o gráfico comparativo do Índice de atendimento urbano de água dos municípios avaliados.

Figura 15 – Gráfico comparativo do Índice de atendimento urbano de água dos municípios avaliados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dos municípios avaliados, 65,65% se apresentaram no melhor intervalo possível para o indicador, com atendimento de 100%; 19,69% entre os intervalos médios, de 95% a 99,99%; e 13,02% no pior intervalo possível, com atendimento inferior a 95%. Dessa maneira, os municípios apresentaram bom desempenho para esse indicador e os que não apresentaram possuem potencial de curto prazo, ao longo dos próximos anos, de melhorarem seu desempenho, e dentro da influência desse indicador, de se distanciarem da vulnerabilidade que as PA propiciam.

Dentre as fragilidades associados ao uso de indicador, pode-se destacar:

a) O Indicador considera informações associadas aos municípios e não necessariamente aos SAA.

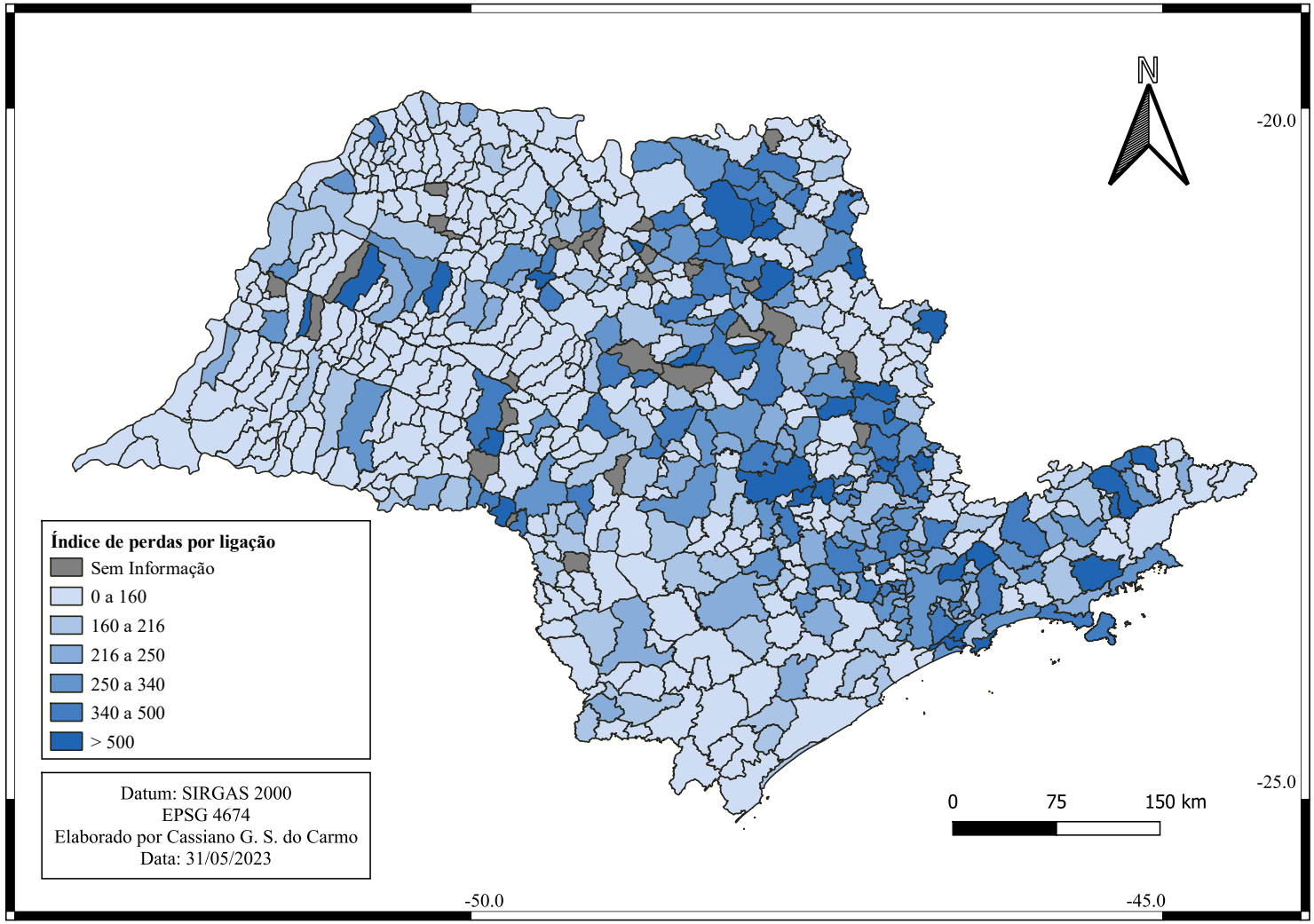
b) Não há base de dados pública que permita uma distribuição das informações visadas para os SAA.

c) A maior fragilidade associado a esse indicador está no fato de que os valores apresentados na plataforma do SNIS correspondem a valores autodeclarados, e podem não coadunar com a realidade.

5.3.2.4 Índice de perdas por ligação

Como pode ser observado no mapa da Figura 16, no Estado a grande maioria dos municípios apresentam perdas por ligação entre 0 e 160 L/dia/lig. No mapa, ainda é possível observar que os municípios do noroeste e o sudoeste do Estado apresentam predominância deste intervalo de perdas. Os municípios próximos as regiões metropolitanas RMSP e RMC, assim como os municípios no nordeste do estado apresentam os maiores estratos de perdas.

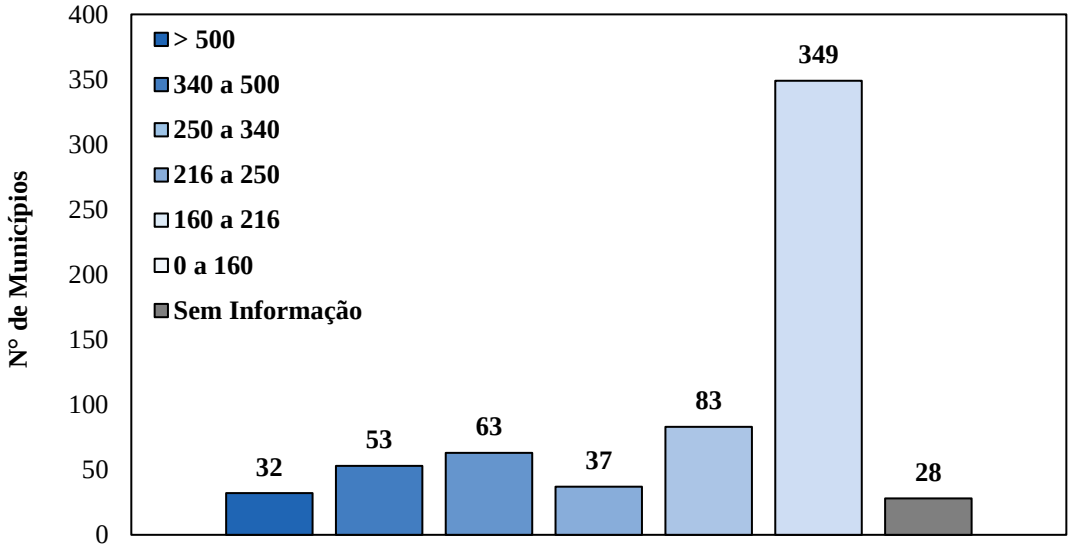
Figura 16 – Mapa do Índice de perdas por ligação dos municípios do Estado de São Paulo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 17 apresenta o gráfico comparativo do Índice de perdas por ligação dos municípios avaliados.

Figura 17 – Gráfico comparativo do Índice de perdas por ligação dos municípios avaliados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dos municípios avaliados, 54,11% se apresentaram no melhor intervalo possível para o indicador, com perdas entre 0 e 160 l/dia/lig; 28,37% entre os intervalos médios, de 160 a 340 l/dia/lig; e 13,18% nos dois piores intervalos possíveis, de 340 a 500 e maior que 500 l/dia/lig. Dessa maneira, os municípios apresentaram bom desempenho para esse indicador e os que não apresentaram possuem potencial de médio prazo, ao longo dos próximos anos, de melhorarem o desempenho, e dentro da influência desse indicador, de se distanciarem da vulnerabilidade que as PA propiciam.

Dentre as fragilidades associados ao uso de indicador, pode-se destacar:

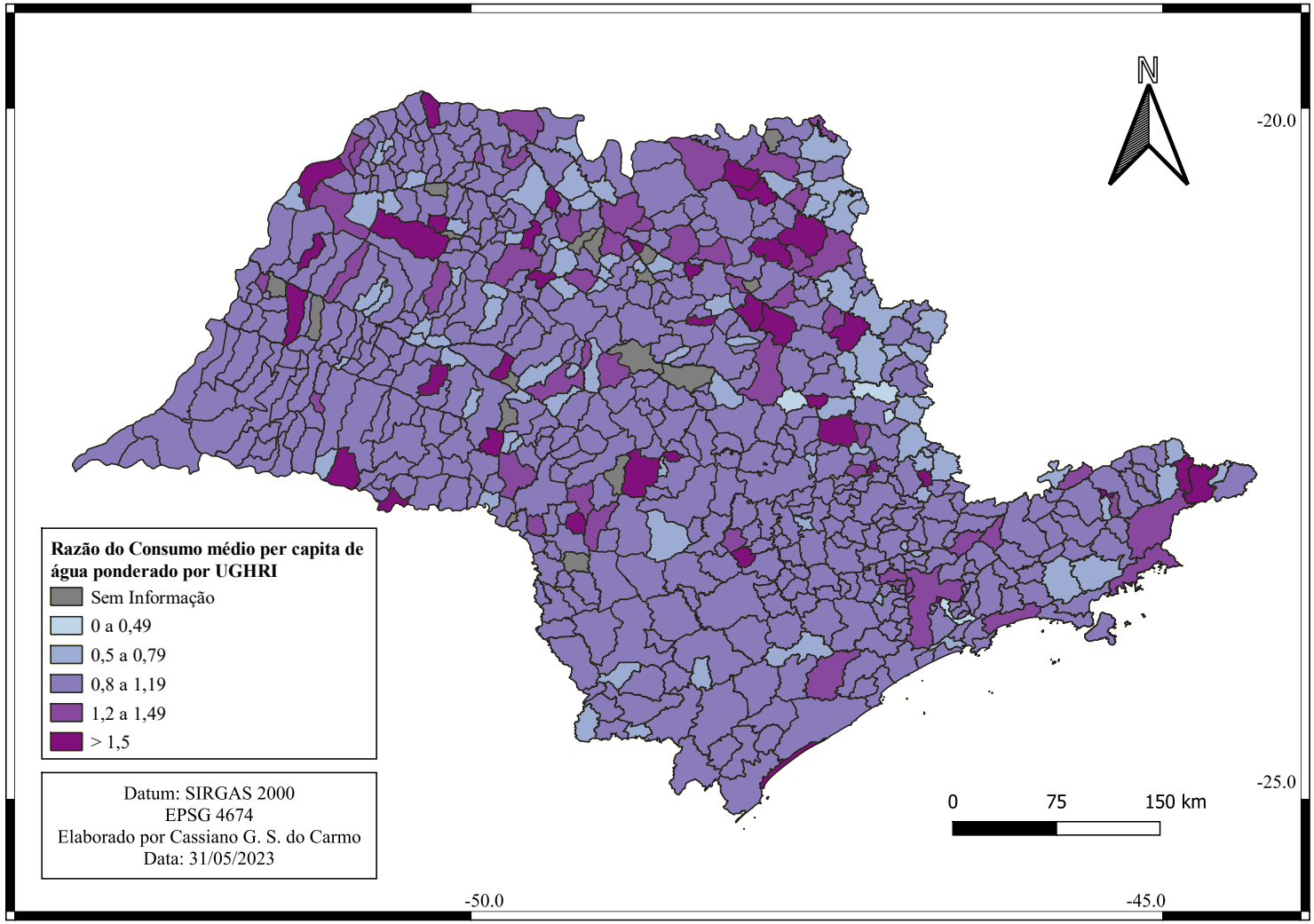
a) A maior fragilidade associado a esse indicador está no fato de que os valores apresentados na plataforma do SNIS correspondem a valores autodeclarados, e podem não coadunar com a realidade

5.3.2.5 Razão do Consumo médio per capita de água ponderado por UGRHI

Como pode ser observado no mapa da Figura 18, no Estado, a grande maioria dos municípios apresenta razão de consumo no estrato médio do indicador, que seria entre 0,8

e 1,19, estando, dessa maneira, próximos à média de consumo da UGRHI que se inserem. Resultado esperado em função dos parâmetros utilizados para o indicador.

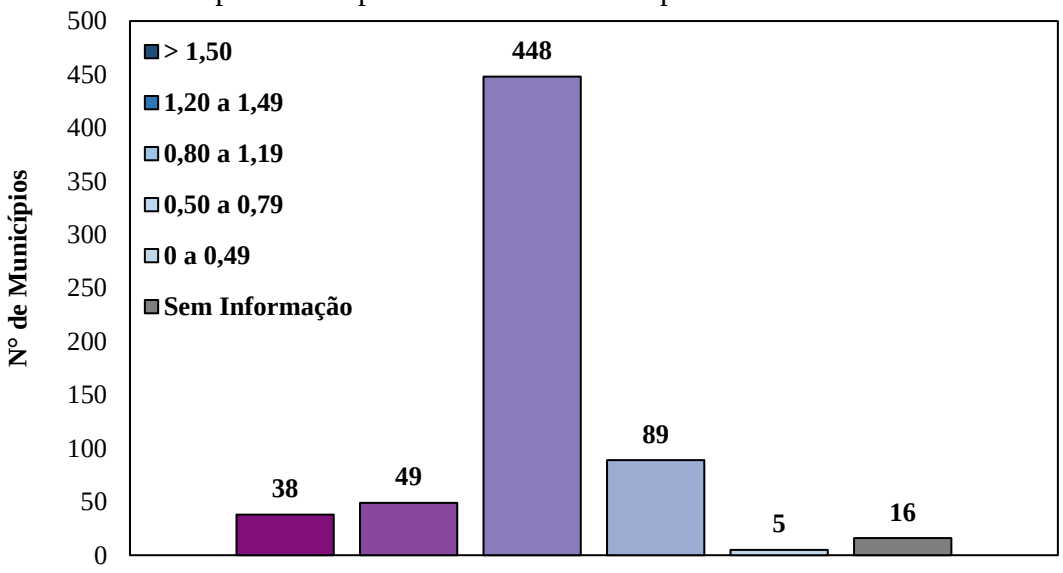
Figura 18 – Mapa da Razão do Consumo médio per capita de água ponderado por UGRHI dos municípios do Estado de São Paulo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 19 apresenta o gráfico comparativo da Razão do Consumo médio per capita de água ponderado por UGRHI dos municípios avaliados.

Figura 19 – Gráfico comparativo da Razão do Consumo médio *per capita* de água ponderado por UGRHI dos municípios avaliados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dos municípios avaliados, 14,57% se apresentaram nos melhores intervalos possíveis para o indicador, com razão de consumo entre 0 e 0,79; 69,46% entre o intervalo médio, de 0,8 a 1,19; e 13,49% nos dois piores intervalos possíveis, de 1,2 a 1,49 e maior que 1,5. Dessa maneira, em função dos parâmetros utilizados, os municípios apresentaram desempenho razoável para esse indicador. A utilização desse indicador no IVuPA depende da ponderação do peso externo pelos parâmetros utilizados, que tende a convergir a maioria dos municípios para valores próximos de 1,00. O indicador visa, majoritariamente, identificar quais seriam os municípios que apresentam consumo muito superiores à média da Unidade em que se inserem.

Em avaliações futuras, o desempenho esperado para esse indicador é de que seja muito similar ao desta avaliação, tornando necessário a redução dos intervalos considerados, consequentemente expandindo o número de classes para o indicador.

Dentre as fragilidades associados ao uso de indicador, pode-se destacar:

a) Tomando a UGRHI como base comparativa, cria-se uma tendência de comparação entre municípios limítrofes ou regionalizados, em grande parte dos casos, que se configuram em diferentes níveis de organização regional. Esse fator

gera, em praticamente todo território estadual, a tendência de municípios que concentrarem capital financeiro em função das cadeias produtivas neles inseridas e associadas, e consequentemente, tenderem a apresentar maior consumo de água. Essa tendência influencia, isoladamente, negativamente a avaliação, no entanto, é compensada, parcialmente, pelo fator de que as Unidades concentram municípios que apresentam características culturais (atreladas ao consumo de água) associadas à própria disponibilidade hídrica para o consumo humano. Quanto maior for o número de municípios incluídos na Unidade, maior será a tendência de desviarem do valor 1, em função do maior aporte da população estatística, ao se ponderar a média calculada. Tal tendência, sob essa configuração, pode resultar em valores elevados para municípios com maiores polos produtivos dentro de suas regiões e tais valores podem não necessariamente refletir a real situação, no contexto de vulnerabilidade, vinculado ao consumo médio.

b) O indicador considera informações associadas aos municípios e não necessariamente aos sistemas.

c) Não há base de dados pública que permita uma distribuição das informações visadas para os sistemas.

d) A maior fragilidade associado a esse indicador está no fato de que os valores apresentados na plataforma do SNIS correspondem a valores autodeclarados, e podem não coadunar com a realidade.

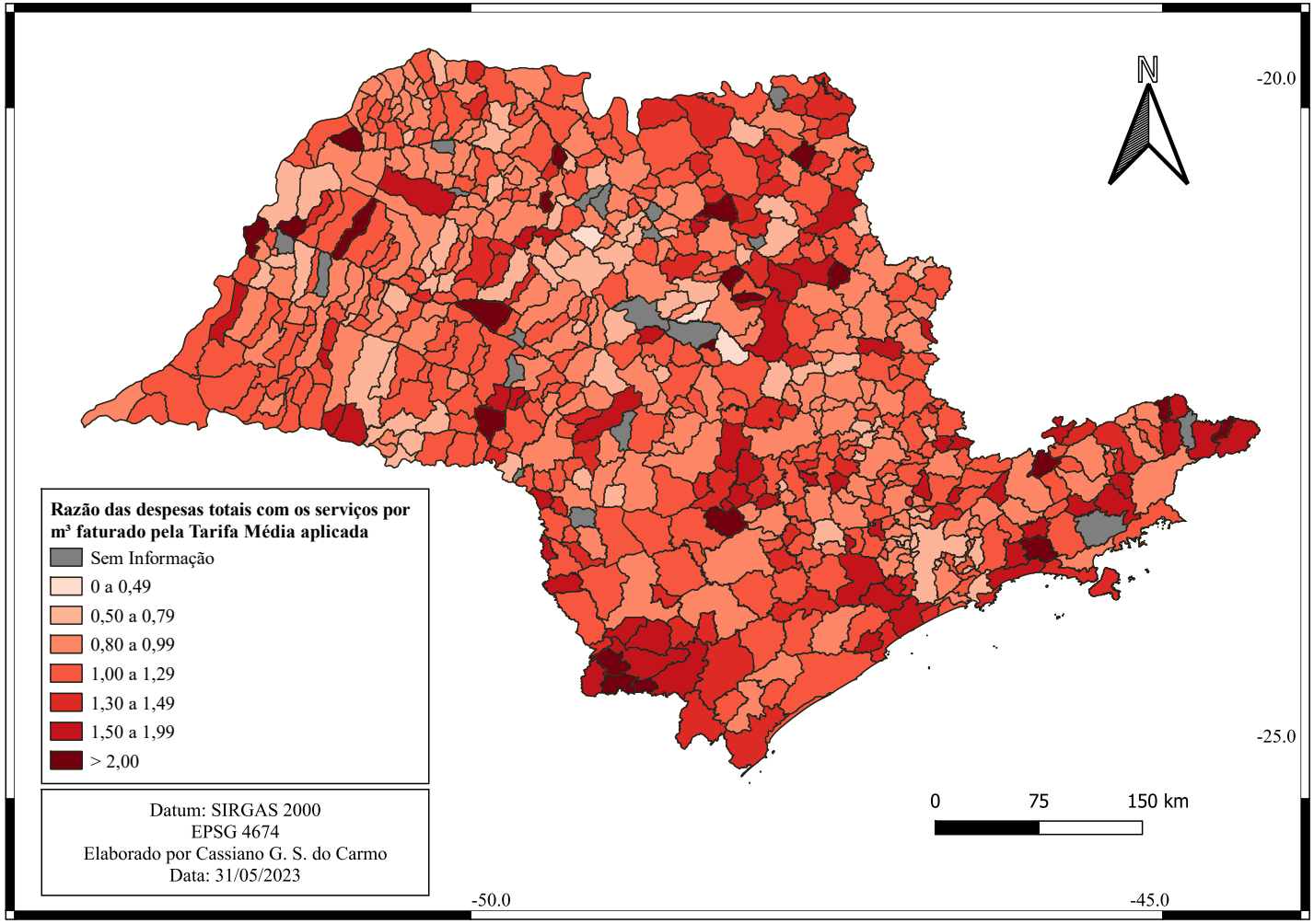
5.3.2.6 Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada

Esse indicador, dentre os que compõe o IVuPA, é o que os municípios do Estado de São Paulo apresentaram menor padrão de distribuição ao longo do território estadual, como pode ser observado na Figura 20. Isso se dá em função dos parâmetros utilizados para o indicador, que não necessariamente depende de fatores regionais, diferentemente dos outros indicadores. A razão calculada por esse indicador depende da tarifa e dos custos de produção, tal aplicação varia muito de acordo com a natureza jurídica do prestador e de quesitos de regulação, que a princípio variam muito para cada município,

com exceção da existência de consórcios para compor agências reguladoras de âmbito regional, tendendo a configurar quesitos mais uniformes no processo de regulação.

Dentre os indicadores valoráveis (com exceção do tipo de manancial) que compõem o IVuPA, este indicador é o que apresentou distribuição mais normalizada entre os intervalos propostos. Isso se dá pelo número de intervalos propostos e pelo cálculo do indicador, que configura alta variação entre os resultados para os municípios.

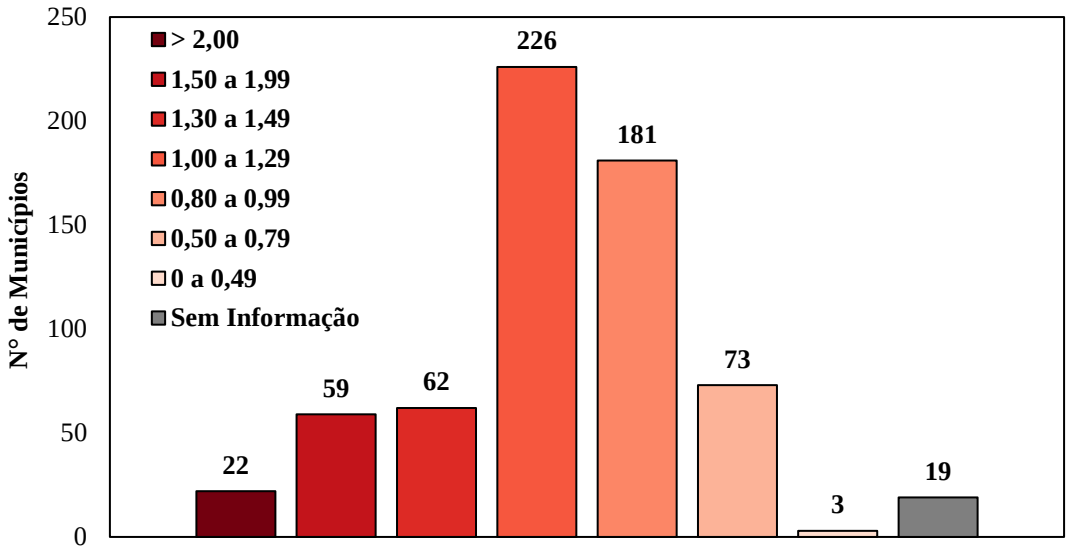
Figura 20 – Mapa da Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada dos municípios do Estado de São Paulo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 21 apresenta o gráfico comparativo da Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada dos municípios avaliados.

Figura 21 – Gráfico comparativo da Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada dos municípios avaliados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dos municípios avaliados, 11,78% se apresentaram nos melhores intervalos possíveis para o indicador, com razão entre 0 e 0,79; 28,06% no intervalo razoável, que ainda seria uma razão positiva, de 0,8 a 0,99; 44,65% entre os intervalos ruins, que já seriam negativos, de 1,00 a 1,49; e 12,56% nos dois piores intervalos possíveis, de 1,5 a 1,99 e maior que 2,00. Dessa maneira, os municípios apresentaram baixo desempenho, de maneira geral, tendo mais da metade dos municípios (369 – 57,21%) razão superior a 1,00, configurando custos de produção maiores que a tarifa média praticada, indicado potenciais déficits financeiros, podendo estes estarem intimamente vinculados às PA e ainda a outras razões.

Dentre os indicadores selecionados que compõe o IVuPA, este é o que apresenta o maior potencial de variação dos valores ao longo do ano, pois os custos associados à produção e a tarifa média podem variar consideravelmente a cada ano.

Dentre as fragilidades associados ao uso de indicador, pode-se destacar:

a) A maior fragilidade associado a esse indicador está no fato de que os valores apresentados na plataforma do SNIS correspondem a valores autodeclarados, e podem não coadunar com a realidade.

b) Na amostragem dos resultados da performance desse indicador, os valores observados possuem extrema amplitude tornando a definição dos intervalos e dos pesos de cada intervalo mais dificultoso e, por consequência, podendo não representarem o real nível de influência que o intervalo possui para o indicador.

c) Salienta-se que tais cálculos são indicadores da proporção, ou entre a receita obtida e o volume faturado (IN004), ou entre a despesa do prestador de serviços pelo volume faturado (IN003). Logo, no caso da tarifa média praticada (IN004), o indicador não é a tarifa efetivamente cobrada pelo prestador de serviço. As tarifas cobradas e a política tarifária são de responsabilidade dos prestadores e da definição das entidades reguladoras (SNIS, 2023).

5.3.3 Desempenho para o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água na base de dados municipal

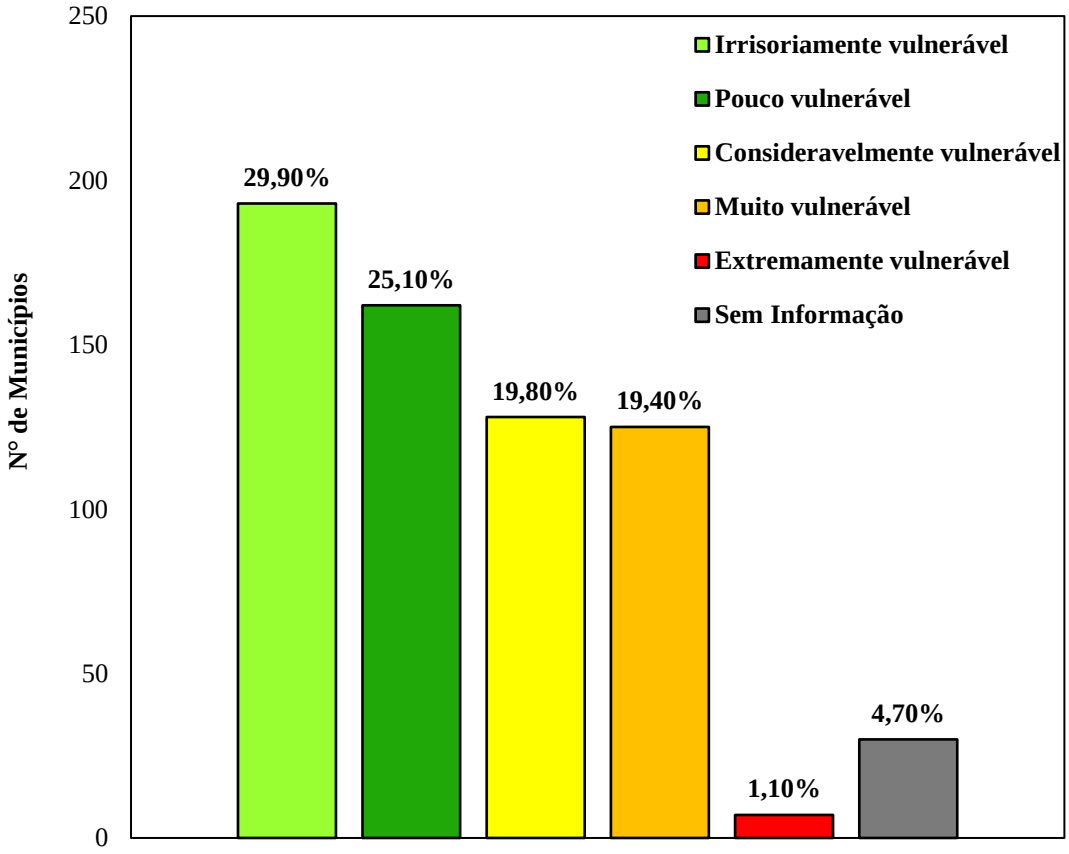
O Quadro 19 apresenta o resumo da distribuição dos municípios nas classes propostas pela avaliação por meio do IVuPA que os SAA podem apresentar e o gráfico da Figura 22 apresenta visualmente a comparação da classificação dos municípios avaliados pelo estudo. Adicionalmente, a Figura 23 apresenta o mapa com as classificações do IVuPA, com informações do ano de 2019.

Quadro 19 – Comparação dos resultados obtidos para o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água para as diferentes parâmetros utilizados

Índice de Vulnerabilidade	**Intervalo**	**N° de Municípios**	**Distribuição (%)**
Extremamente vulnerável	0,751 a 1,00	7	1,10%
Muito vulnerável	0,551 a 0,750	125	19,40%
Consideravelmente vulnerável	0,351 a 0,550	128	19,80%
Pouco vulnerável	0,251 a 0,350	162	25,10%
Irrisoriamente vulnerável	0 a 0,250	193	29,90%
Sem Informação		30	4,70%

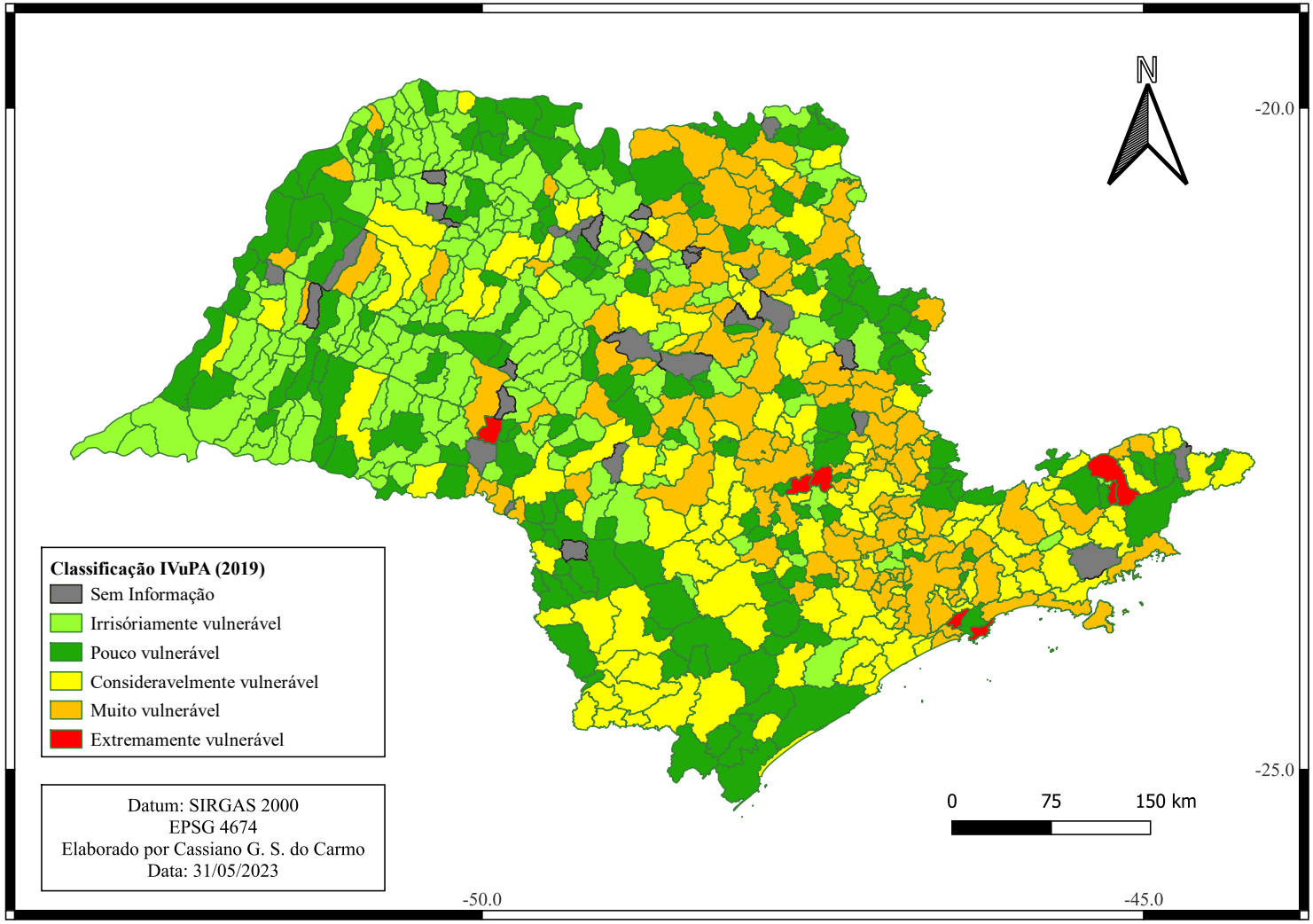
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 22 – Gráfico comparativo dos resultados obtidos pela classificação do Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 23 – Mapa da classificação do Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda, para fins comparativos, o Quadro 20 apresenta uma relação entre os 10 melhores e 10 piores desempenhos avaliados pelo IVuPA.

Quadro 20 – Relação entre os 10 melhores e 10 piores desempenhos avaliados pelo IVuPA

10 melhores		**10 piores**	
Município	**Avaliação**	**Município**	**Avaliação**
Ribeirão Bonito	0,15	Cubatão	0,82
Balbinos	0,16	Guarujá	0,80
Aspásia	0,17	Guaratinguetá	0,79
Ipiguá	0,17	Aparecida	0,79
Vitória Brasil	0,17	Rio das Pedras	0,78
Sabino	0,17	Santa Bárbara D'Oeste	0,77
Maracaí	0,17	Ocauçu	0,76
Tarumã	0,17	Caconde	0,75
Dirce Reis	0,17	Santo Antônio de Posse	0,75
Guzolândia	0,17	Aguaí	0,75

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4 Sugestão de indicadores adicionais para novas composições do IVuPA

A partir das considerações, critérios de escolha, avaliação dos desempenhos dos indicadores e do próprio IVuPA, da discussão e base teórica, da argumentação sobre o estado as cadeias que condicionam os SAA a serem vulneráveis a partir da existência das PA, esse item visa dispor sugestões para a utilização de outros indicadores que possam enriquecer a aplicação do IVuPA. As sugestões se aplicam tanto a possibilidade de substituição, quanto para adição dos indicadores que foram selecionados para aplicação do IVuPA apresentado neste documento. Ressalva-se que não há um limite de inclusão de indicadores para composição do IVuPA, porém quanto mais indicadores forem incluídos, mais complexa se torna a distribuição dos pesos e aquisição das informações que compõem os indicadores do índice.

Uma possibilidade que foi considerada durante o processo de decisão de construção do IVuPA seria a de condicionar o conjunto de parâmetros, pesos externos dos indicadores selecionados, a partir do intervalo de perdas de água que o SAA (município) apresenta. Dessa maneira, não se consideraria o indicador de perdas de água na composição de indicadores do índice, mas sim como uma condicionante para o conjunto de parâmetros dos indicadores que estariam inclusos com base no intervalo de perdas de água que o município se encontrasse. Isso permitiria avaliar de maneira mais proporcional o peso dos indicadores selecionados a partir dos níveis de perdas de água.

Os indicadores sugeridos para serem considerados em futuras avaliações são apresentados a seguir para representação de cada uma das cadeias primordiais de operação dos SAA, e ainda nas variáveis internas dessas.

a) Disponibilidade e capacidade para captar água:

Para representar essa cadeia o autor selecionou os indicadores de Tipo de manancial e Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica. As considerações sobre o uso e as fragilidades associadas a esses foram dispostas anteriormente. Uma possibilidade que foi considerada durante o processo de decisão de quais indicadores que poderiam ser utilizados é a de se estruturar um conjunto de parâmetros para os indicadores que forem selecionados para avaliar a Disponibilidade e capacidade para captar água, a partir da definição inicial do tipo de captação, incidindo diferentes pesos aos indicadores selecionados para o tipo de captação, de maneira similar à sugestão de definição inicial dos intervalos de perdas de água, porém apenas para os indicadores de representação desta cadeia. A seguir seguem sugestões de indicadores cogitados para representação da Disponibilidade e capacidade para captar água, divididos em avaliação da quantidade e qualidade do recurso hídrico, que estão dispostos nos Quadro 21 e Quadro 22:

- **Aspecto quantitativo da água:**

Quadro 21 – Relação de sugestão de indicadores para avaliação da cadeia Disponibilidade e capacidade para captar água referentes ao aspecto quantitativo da água

(continua)

Nome/Título do Indicador	**Estrutura de cálculo**	**Considerações gerais**	**Possíveis fontes das informações**
Razão de tipo de manancial de captação	(Vazão secundária) / (Vazão predominante)	Em casos que a captação seja mista, é possível ponderar a proporção das vazões dos dois tipos de mananciais que são utilizados para compor o montante do abastecimento. Poderiam ser distribuídos diferentes intervalos de 0 a 1,00 com pesos progressivos. Deve-se levar em consideração a premissa apresentada de que perder água de manancial superficial é mais prejudicial para o todo do que de manancial subterrâneo.	Órgãos de gestão dos Recurso Hídricos; Atlas ANA; Prestador do serviço

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 21 – Relação de sugestão de indicadores para avaliação da cadeia Disponibilidade e capacidade para captar água referentes ao aspecto quantitativo da água

(conclusão)

Nome/Título do Indicador	**Estrutura de cálculo**	**Considerações gerais**	**Possíveis fontes das informações**
[Para captação exclusiva em mananciais superficiais] Razão da vazão outorgada para abastecimento pela vazão outorgável do manancial de captação, ou outro vazão de referência	(Vazão outorgada para abastecimento) / (Vazão outorgável do manancial de captação)	Indicador de considerável relevância para avaliar o quanto o SAA extraí de água do manancial superficial que o abastece. Espera-se que a razão não seja superior a 1,00. Poderiam ser distribuídos diferentes intervalos de 0 a 1,00 com pesos progressivos à medida que o valor se aproxima de 1,00. Existe a possibilidade de um sistema captar somente água de mananciais superficiais, porém a captação é feita em mais de um manancial ou ainda seja implementada uma barragem. Essas condicionantes precisariam ser avaliadas.	Órgãos de gestão dos Recurso Hídricos
Vazão adicional de captação à vazão para atendimento sob operação em níveis – inevitáveis ou econômico de perdas de água	(Vazão de captação – Vazão redutível aos níveis inevitáveis) / Vazão de captação	Razão que indicaria a proporção de água poderia ser deixar de ser captada para se efetivar o consumo virtual promovido pela existência das perdas de água. Esse indicador pode ser avaliado em %, com intervalos e pesos progressivos.	Prestador

Fonte: Elaborado pelo autor.

- **Aspecto qualitativo da água:**

Quadro 22 – Relação de sugestão de indicadores para avaliação da cadeia Disponibilidade e capacidade para captar água referentes ao aspecto qualitativo da água

Nome/Título do Indicador	**Estrutura de cálculo**	**Considerações gerais**	**Possíveis fontes das informações**
Classe do Manancial	Se superficial pode ser especial, 1, 2 ou 3 Se subterrâneo poder ser especial, 1, 2, 3, 4 e 5	Existe a possibilidade de considerar a classe do manancial de captação. Tal consideração associa naturalmente as possibilidades de usos associados à água bruta. Quanto mais restritiva a classe, mais problemático torna-se perdê-la ao longo do processo de distribuição. Existe a possibilidade de haver captação em mais de um manancial. Tornaria pertinente associar valores primários a cada classe. Caso um SAA capte somente de um manancial, esse teria valor integral correspondente, caso se capte em mais de um manancial e de classe diferente, seria pertinente fazer a ponderação dos valores primários das classes às proporções das captações.	Órgãos de gestão dos Recurso Hídricos; documentos dos comitês de bacias
[Para captação exclusiva em mananciais superficiais] IQA ou IAP	Estrutura de cálculo idêntico ao IQA da CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Variando de 0 a 100.	O IQA ou IAP indicaria qual a qualidade inicial da água bruta do manancial de captação superficial. Também existe a possibilidade de haver captação em mais de um manancial, fazendo necessária ponderação da proporção da vazão e do índice escolhido para análise. Num contexto de produção de água tratada, quanto pior o índice, maior será a necessidade de esforços para adequar à água para o consumo humano elevando dessa maneira os custos associados ao tratamento e tais análises já estariam inclusas em outros indicadores dentro das outras cadeias de avaliação. Contudo, em um contexto de perdas de água, seria pior perder água bruta de maior qualidade. Torna-se necessário avaliar com mais amplitude as implicâncias do uso desses possíveis indicadores para compor o IVuPA, especialmente pela associação das informações vinculadas a este.	Órgãos de gestão dos Recurso Hídricos e Meio Ambiente; documentos dos comitês de bacias; CETESB (para SP)

Fonte: Elaborado pelo autor.

b) Capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição:

Para representar essa cadeia o autor selecionou os indicadores de Índice de atendimento urbano de água e Índice de perdas por ligação. As considerações sobre o uso e as fragilidades associadas a esses foram dispostas anteriormente. A seguir seguem sugestões de indicadores cogitados para representação da Capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição, divididos pelas unidades do SAA, que estão dispostos nos Quadro 23, Quadro 24, Quadro 25 e Quadro 26:

- **Estação elevatória de água**

Quadro 23 – Relação de sugestão de indicadores para avaliação da cadeia Capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição referentes à unidade de estação elevatória

(continua)

Nome/Título do Indicador	**Estrutura de cálculo**	**Considerações gerais**	**Possíveis fontes das informações**
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água	Estrutura de cálculo idêntica ao IN058 do SNIS em kWh/m³	O indicador apresentaria a relação do consumo de energia elétrica do SAA necessário para produzir água tratada. A estrutura de cálculo considera toda energia elétrica consumida. A maior porção de energia elétrica é consumida na Estação elevatória de água e em casos de necessidade de adução de água para os reservatórios de água tratada, a depender de cada caso. Caso o foco seja avaliar somente a energia consumida na estação elevatória de água bruta, faz-se necessário adquirir a informação com o prestador. O uso desse indicador demanda uma avaliação para definição de intervalos e pesos mais específico a depender de cada estudo.	SNIS; e prestador
Razão do custo do consumo de energia com tarifa	(R$/m³ energia) / (R$/m³ tarifa)	O indicador apresentaria a relação do custo de energia elétrica do SAA pela tarifa média aplicada. Tendo como foco avaliar somente a energia consumida na estação elevatória de água bruta, faz-se necessário adquirir a informação com o prestador. O uso desse indicador demanda uma avaliação para definição de intervalos e pesos mais específico a depender de cada estudo.	SNIS; e prestador

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 23 – Relação de sugestão de indicadores para avaliação da cadeia Capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição referentes à unidade de estação elevatória (conclusão)

Nome/Título do Indicador	**Estrutura de cálculo**	**Considerações gerais**	**Possíveis fontes das informações**
Eficiência média do conjunto motobomba	$\frac{\sum_{i=1}^{n} Xi}{n}$ em % sendo x a eficiência e n o número de conjuntos	Esse indicador apresentaria a eficiência média que a estação elevatória apresenta durante sua operação. Torna-se problemático operar com baixas eficiências. Existem diversos fatores que condicionam a eficiência do conjunto, contudo a captação adicional para compensação das perdas de água pressiona a ainda mais a eficiência de operação.	Prestador

Fonte: Elaborado pelo autor.

- **Estação de tratamento de água**

Quadro 24 – Relação de sugestão de indicadores para avaliação da cadeia Capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição referentes à unidade de estação de tratamento de água

Nome/Título do Indicador	**Estrutura de cálculo**	**Considerações gerais**	**Possíveis fontes das informações**
Índice de eficiência no tratamento de água	Necessita criação	Sugere-se que seja criado um índice que possa avaliar a eficiência do tratamento, a partir da qualidade de água bruta e da quantidade de insumos que são utilizados para produzir a água tratada, própria para consumo humano.	Prestador

Fonte: Elaborado pelo autor.

- **Rede de distribuição**

Quadro 25 – Relação de sugestão de indicadores para avaliação da cadeia Capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição referentes à unidade rede de distribuição

(continua)

Nome/Título do Indicador	**Estrutura de cálculo**	**Considerações gerais**	**Possíveis fontes das informações**
Idade média da rede de distribuição	$\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i\, p_i}{\sum_{i=1}^{n} p_i}$ Em anos, sendo x a idade da rede e p a extensão da rede	Esse indicador é calculado a partir da média ponderada da idade da rede de distribuição. No geral, redes mais antigas tendem a possuir maior propensão às perdas de água. O uso desse indicador demanda uma avaliação para definição de intervalos e pesos mais específico a depender de cada estudo.	Prestador
Tipo de sistema	Isolado ou integrado	Principalmente em regiões metropolitanas existem muitos municípios que possuem seu abastecimento realizado por sistemas integrados. Considerar essa realidade é fundamental para produzir análises mais profundas e condizentes com a realidade, tendo em vista a impraticidade de desagregar as informações para que incidam nas bases de informações municipais. Ter os sistemas como integrados, faz-se necessário avaliados dessa maneira, agregando as informações de como operam na prática, ao envolver mais de um município na sua operação e manutenção. Essa natureza é apresentada como um indicador, mas poderia ser feita a aglutinação das informações associadas aos municípios no processo de avaliação de uma abrangência regional; estadual; ou nacional, seja de qual for a fonte, para avalia-los efetivamente.	ATLAS ANA; prestador

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 25 – Relação de sugestão de indicadores para avaliação da cadeia Capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição referentes à unidade rede de distribuição

(continuação)

Nome/Título do Indicador	**Estrutura de cálculo**	**Considerações gerais**	**Possíveis fontes das informações**
Razão de perdas	Unidade de perdas aparentes / unidade de perdas reais	Esse indicador visa apresentar a proporção existente entre perdas aparentes com as perdas reais. O indicador se estrutura dessa maneira pois se espera que as perdas de água reais sejam sempre superiores às aparentes. Conduto, é possível que haja sistemas que apresentem proporção inversa da esperada. Poderiam ser distribuídos diferentes intervalos de 0 a 1,00 (ou maior que 1 quando houver ocorrência nas análises) com pesos progressivos à medida que o valor se aproxima de 1,00.	Prestador
Taxa de renovação da rede de distribuição nos últimos X anos	Comprimento de tubulação renovada nos últimos x anos / Comprimento total da rede	Esse indicador visa demonstrar qual a taxa de renovação da rede de distribuição em um determinado tempo de análise. Esse indicador levaria em consideração apenas a renovação da rede, e não a adição (expansão) de tubulações inéditas. Essa taxa indicaria o quanto os ativos estariam sendo renovados visando a redução das perdas físicas nas tubulações. Faz-se necessário determinar quantos anos se pretende analisar. Contudo, existe a possibilidade de haver SAA com tubulações em sua totalidade novas, afetando dessa maneira os resultados a serem observados. De maneira geral, a aplicabilidade no Brasil desse indicador é alta, porém ele apresenta a potencialidade de induzir a uma baixa performance em casos que as tubulações sejam todas novas. Por isso, sua aplicabilidade está associada ao reconhecimento dos fatores que estão além do alcance de análise isolada do indicador.	Prestador

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 25 – Relação de sugestão de indicadores para avaliação da cadeia Capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição referentes à unidade rede de distribuição

(conclusão)

Nome/Título do Indicador	**Estrutura de cálculo**	**Considerações gerais**	**Possíveis fontes das informações**
Taxa de redução média de perdas de água nos últimos X anos	(Perdas T_0 – Perdas T_x) / (ano T_x – ano T_0)	Esse indicador visa demonstrar a taxa de redução média das perdas de água nos últimos anos, a partir do foco de análise que é visado. Existe a possibilidade de haver incremento das perdas de água, ao invés de uma redução. Todos os indicadores de perdas, seja em %; m³/ramal.dia; m³/km.dia; ou o índice infraestrutural de perdas, permitem que seja feito o comparativo de redução ao longo dos anos. Poderiam ser distribuídos diferentes intervalos de acordo com as amostras existentes e pesos de acordo com os cenários de redução, ou aumento quando for o caso.	SNIS

Fonte: Elaborado pelo autor.

- **Todas unidades do sistema**

Quadro 26 – Relação de sugestão de indicadores para avaliação da cadeia Capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição referentes a todas unidades do sistema de abastecimento

Nome/Título do Indicador	**Estrutura de cálculo**	**Considerações gerais**	**Possíveis fontes das informações**
Vida útil restante da unidade ou média do sistema atual	Avaliar uma estrutura que possa indicar o cálculo de cada vida útil restante das unidades instaladas, chegando na unidade em anos	Esse indicador pode ser criado para avaliar separadamente a vida útil restante de cada unidade do SAA ou do SAA no todo. Num contexto de compensação do volume existente de perdas de água, a vida útil das unidades para atendar às vazões efetivas podem ser prologadas caso as perdas sejam reduzidas, pois as vazões necessárias para efetivar o abastecimento seriam reduzidas. Precisaria ser avaliado os melhores conjuntos de parâmetros e a realidade local para se usar esse indicador no IVuPA.	Prestador

Fonte: Elaborado pelo autor.

c) Capacidade de conversão de água tratada em recurso financeiro:

Para representar essa cadeia o autor selecionou os indicadores de Razão do Consumo médio per capita de água ponderado por UGRHI e Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada. As considerações sobre o uso e as fragilidades associadas a esses foram dispostas anteriormente. A seguir seguem sugestões de indicadores cogitados para representação da Capacidade de conversão de água tratada em recurso financeiro, que estão dispostos no Quadro 27:

Quadro 27 – Relação de sugestão de indicadores para avaliação da cadeia Capacidade de conversão de água tratada em recurso financeiro

(continua)

Nome/Título do Indicador	**Estrutura de cálculo**	**Considerações gerais**	**Possíveis fontes das informações**
Razão de cobrança pelo uso do recurso hídrico pela tarifa (ou despesas totais de produção)	(R$/m³ explorado) / (R$/m³ tarifa) ou (R$/m³ explorado) / (R$/m³ despesas totais)	O uso desse indicador é recomendado apenas para avaliações em que existe a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Seu uso também demanda uma avaliação para definição de intervalos e pesos mais específico a depender de cada estudo.	SNIS
Razão do custo do consumo de energia com tarifa	(R$/m³ energia) / (R$/m³ tarifa)	O indicador apresentaria a relação do custo de energia elétrica do SAA pela tarifa média aplicada. Tendo como foco avaliar somente a energia consumida na estação elevatória de água bruta, faz-se necessário adquirir a informação com o prestador. O uso desse indicador demanda uma avaliação para definição de intervalos e pesos mais específico a depender de cada estudo.	SNIS; e prestador
Razão do custo de insumos pela tarifa média aplicada	(R$/m³ insumos) / (R$/m³ tarifa)	O uso desse indicador apresentaria a razão existente entre o quanto se gasta de recurso financeiro para aplicação de insumos no processo de tratamento da água na ETA pela tarifa média aplicada. O uso desse indicador demanda uma avaliação para definição de intervalos e pesos mais específico a depender de cada estudo.	SNIS; e prestador

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 27 – Relação de sugestão de indicadores para avaliação da cadeia Capacidade de conversão de água tratada em recurso financeiro

(conclusão)

Nome/Título do Indicador	**Estrutura de cálculo**	**Considerações gerais**	**Possíveis fontes das informações**
Investimento direto para redução de perdas no último ano	(R$ em redução de perdas de água) / (R$ investimento total)	Esse indicador visa apresentar a proporção do quanto é investido de maneira geral com o foco em se reduzir as perdas de água (seja em novos ativos [dos mais variados], pessoal especializado, logística, projetos, capacitação, etc.) com todos os investimentos realizados por parte do prestador, que não sejam necessariamente utilizados no processo de operação do SAA. Poderiam ser distribuídos diferentes intervalos de 0 a 1,00 com pesos regressivos.	Prestador
Índice de hidrometração	Estrutura de cálculo idêntica ao IN009 do SNIS, em %	Indicador já existente que visa apresentar a proporção de ramais de consumidores com controle do quanto é consumido. Esse indicador tem aplicabilidade em casos que parte dos prestadores da amostra não possui 100% de hidrometração na sua área de abrangência do serviço. Poderiam ser distribuídos diferentes intervalos de 0 a 100 com pesos regressivos.	SNIS
Índice de perdas de faturamento	Estrutura de cálculo idêntica ao IN013 do SNIS, em %	Indicador já existente que visa apresentar a proporção de perdas no faturamento. Esse indicador demonstra a eficiência econômica de operação, capaz de produzir mais ou menos excedente (ou nenhum) para que sejam feitos investimento no controle e redução das perdas de água, tendo em vista a sua relação com o quanto é faturado. Poderiam ser distribuídos diferentes intervalos de 0 a 100 com pesos regressivos.	SNIS

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4 CONCLUSÕES

Este capítulo abordou a avaliação e classificação da vulnerabilidade às perdas de água nos sistemas de abastecimento de água do Estado de São Paulo, por meio do Índice de

Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA). A síntese dos resultados produzidos pelo Capítulo pode ser resumida da seguinte forma:

- O Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA) foi construído a partir de seis indicadores pré-selecionados, compostos por informações públicas. Os pesos dos indicadores foram definidos a partir de uma metodologia objetiva e a distribuição dos pesos dos intervalos dos indicadores a partir de cenários e desempenho dos municípios nos próprios indicadores.

Para a avaliação do desempenho dos municípios para os indicadores que compõe o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA), têm-se:

- Para o indicador tipo de manancial, a análise revelou que praticamente metade dos municípios do Estado de São Paulo fazem captação subterrânea (51,94%), enquanto a captação superficial corresponde a 32,25% da distribuição. Completando o panorama, os sistemas de abastecimento de água mistos representam uma parcela considerável, sendo que os predominantemente superficiais correspondem a 9,92% e os predominantemente subterrâneos a 5,89%.

- A análise da relação da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica revelou que praticamente todos os municípios apresentaram um desempenho favorável, correspondendo a 93,64%. Por outro lado, apenas 1,70% dos municípios se encontram nos piores intervalos.

- No que se refere ao índice de atendimento urbano de água, os resultados indicaram que a maioria dos municípios apresenta um bom desempenho nesse indicador. Cerca de 65,65% dos municípios se encontram no melhor intervalo possível, com atendimento de 100% da população urbana. Outros 19,69% dos municípios estão dentro dos intervalos médios, com atendimento variando de 95% a 99,99%. 13,02% dos municípios se encontram no pior intervalo possível, com atendimento urbano inferior a 95%.

- O indicador de perdas por ligação revelou que 54,11% dos municípios avaliados se encontram no melhor intervalo possível, com perdas entre 0 e 160 litros por dia por

ligação. Outros 28,37% dos municípios estão nos intervalos médios, com perdas variando de 160 a 340 litros por dia por ligação. 13,18% dos municípios se encontram nos piores intervalos, com perdas superiores a 340 litros por dia por ligação.

- A análise do consumo médio per capita de água ponderado por UGRHI do Estado de São Paulo revelou um desempenho razoável dos municípios. A maioria dos municípios apresenta valores próximos de 1,00, indicando um consumo médio per capita de água condizente com as características hidrográficas da região. 36,47% dos municípios se encontram nos intervalos médios, com consumo médio per capita de água variando de 1,01 a 1,50. 11,34% dos municípios estão nos piores intervalos, com consumo médio per capita de água superior a 1,50.

- A análise do indicador de Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada revelou que os municípios apresentaram baixo desempenho, de maneira geral, tendo mais da metade dos municípios (369 – 57,21%) razão superior a 1,00. Apenas 11,78% se apresentaram nos melhores intervalos possíveis para o indicador, com razão entre 0 e 0,79.

- A aplicação do Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA) classificou 7 municípios como Extremamente vulnerável; 125 Muito vulnerável; 128 Consideravelmente vulnerável; 162 Pouco vulnerável; 193 Irrisoriamente vulnerável; e 30 sem informação.

- Foram sugeridos no total 21 indicadores que podem ser incorporados no Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA) em avaliações futuras. Esses indicadores se dividem em 5 para cadeia de Disponibilidade e capacidade para captar água; 10 para cadeia de Capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição; e 6 para cadeia de Capacidade de conversão de água tratada em recurso financeiro.

6 CONCLUSÕES DO ESTUDO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

A partir de todo o desenvolvimento deste estudo, é possível destacar as principais conclusões, tanto a partir das argumentações e discussão apresentadas, quanto pela aplicação do índice proposto e produção de resultados desse:

- A interligação intrínseca entre água, alimentos/materiais e energia, conhecida como Nexo Água-Energia-Alimento, exige ações integradas, uma vez que as escolhas e ações em um desses domínios têm impactos diretos e indiretos nos demais, apesar das matérias serem tratadas separadamente nas produções de materiais e pela governança. A segurança hídrica emerge como uma condição fundamental para alcançar o desenvolvimento sustentável em escala global, devendo ser promovida em conjunto com a segurança energética e alimentar.

- As perdas de água nos sistemas de abastecimento de água têm impactos que vão além de sua escala local e, por ocorrerem em todo mundo, afetam a sustentabilidade global. Por isso, é crucial dar maior atenção à indústria da água e operar os sistemas de abastecimento de água de forma sustentável. As perdas de água podem inviabilizar ou retardar o cumprimento das metas do ODS 6 e comprometer o sucesso de outros objetivos que dependem dessa sinergia.

- Embora nem todos os ODS tenham sido estruturados para enfatizar a sinergia com a água, é importante analisar como as perdas de água influenciam negativamente, mesmo que minimamente, o cumprimento e o sucesso de outros objetivos, como Erradicação da Pobreza; Fome Zero e Agricultura Sustentável; Saúde e Bem-estar; Energia Limpa e Acessível; Indústria, Inovação e Infraestrutura; Cidades e Comunidades Sustentáveis; Consumo e Produção Responsáveis; Ação Contra a Mudança Global do Clima; Vida terrestre; e Parcerias e Meios de Implementação.

- As perdas aparentes (comerciais) e as perdas reais (físicas) têm impactos distintos, dependendo da proporção em que ocorrem em cada sistema. As perdas decorrentes de fraudes e furtos podem gerar pressões semelhantes às perdas físicas, mesmo sendo

classificadas como perdas aparentes, devido ao potencial incentivo ao desperdício de água que gera tais semelhanças.

- A vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água frente às perdas de água está relacionada à capacidade de resposta às pressões exercidas por essas perdas, resultando em impactos diretos e indiretos para o sistema e outros fatores que intensificam as pressões iniciais. As cadeias primordiais dos sistemas de abastecimento de água, que envolvem a disponibilidade e captação de água, a conversão de água bruta para tratada e distribuição, e a conversão de água tratada em recurso financeiro, estão intimamente ligadas ao grau de vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água frente às perdas de água.

- Os sistemas de abastecimento de água, especialmente aqueles com níveis elevados de perdas de água, podem demandar intervenção externa para emergir do estado de insustentabilidade, já que a prestadora, sob os efeitos da regulação, por si pode não ser capaz de superar essas perdas sem grandes investimentos em ativos.

- A análise da matriz FPEIR revelou a existência de 32 interações, distribuídas em 5 interações de pressão, 10 de estado, 9 de impactos e 8 de respostas, fornecendo uma compreensão abrangente dos diversos aspectos relacionados às perdas de água nos sistemas de abastecimento de água.

- O Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA) foi construído a partir de seis indicadores pré-selecionados, compostos por informações públicas. Os pesos dos indicadores foram definidos a partir de uma metodologia objetiva e a distribuição dos pesos dos intervalos dos indicadores a partir de cenários e desempenho dos municípios nos próprios indicadores.

- A aplicação do Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA) classificou 7 municípios como Extremamente vulnerável; 125 Muito vulnerável; 128 Consideravelmente vulnerável; 162 Pouco vulnerável; 193 Irrisoriamente vulnerável; e 30 sem informação.

- Foram sugeridos no total 21 indicadores que podem ser incorporados no Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA) em avaliações futuras. Esses indicadores se dividem em 5 para cadeia de Disponibilidade e capacidade para captar água; 10 para cadeia de Capacidade de conversão de água bruta para tratada e distribuição; e 6 para cadeia de Capacidade de conversão de água tratada em recurso financeiro.

6.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Também, a partir de tudo que foi observado e produzido ao longo deste trabalho, é possível apresentar as seguintes considerações finais. O trabalho em questão deve ser compreendido como um todo, sem ser analisado ou interpretado de forma separada. Cada Capítulo do trabalho contribui para a construção de um conhecimento mais abrangente e consistente. Ao considerar o trabalho em sua totalidade, é possível perceber a relação entre as diferentes áreas do conhecimento que são abordadas e como essas se complementam para fornecer uma visão holística sobre as perdas de água.

A sequência lógica da estrutura do trabalho desempenha um papel fundamental na transmissão das informações ao longo da Dissertação. Cada Capítulo é organizado de maneira a construir e expandir o conhecimento apresentado. À medida que se avança a leitura, novas informações são introduzidas, conectando-se com as ideias já apresentadas e aprofundando a compreensão sobre o assunto em questão.

Esse trabalho representou um avanço significativo na forma como as perdas de água podem ser interpretadas, pelo menos no âmbito acadêmico. Por meio de uma abordagem inovadora e meticulosa, foram identificados novos elementos e perspectivas que contribuem para uma compreensão mais abrangente das perdas de água. Essa contribuição promove um debate e um aprimoramento dos conhecimentos existentes nessa área, incentivando pesquisas futuras e a busca por soluções mais eficientes nos serviços de abastecimento de água, sob a perspectiva de segurança hídrica e governança dos recursos hídricos.

Uma das principais contribuições desse trabalho foi a apresentação da concepção da vulnerabilidade e de como essa pode ser avaliada. Através de um arcabouço teórico e metodológico robusto, foram desenvolvidas metodologias e indicadores capazes de medir e analisar a vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água às perdas de água. Essa abordagem fornece uma visão mais precisa dos pontos fracos e das cadeias que necessitam de intervenção, permitindo a elaboração de estratégias eficazes para redução das perdas de água.

A partir desse trabalho, foi concebido o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA) que propõe avaliar a vulnerabilidade das perdas de água. No entanto, é importante ressaltar que esse índice precisa evoluir ao longo do tempo, incorporando novas informações e aprimorando sua metodologia. Além disso, os interessados nos resultados desse índice são diversos, incluindo prestadores do serviço, reguladores, usuários do sistemas de abastecimento de água, gestores dos recursos hídricos, agentes políticos e outros agentes e profissionais que se vinculam as instituições que estejam diretamente associadas à prestação do serviço de abastecimento. Essa ampla gama de interessados demonstra a relevância e a necessidade de uma ferramenta como essa, capaz de auxiliar na tomada de decisões e na busca por soluções sustentáveis para o uso da água.

A aplicação desse índice visou demonstrar tanto seu potencial quanto suas fragilidades. Por meio das suas aplicações e análises empíricas, foi possível identificar os pontos fortes e fracos dessa ferramenta, a fim de buscar o seu fortalecimento e aprimoramento contínuo. Por meio desses processos, o Índice de Vulnerabilidade às Perdas de Água (IVuPA) pode se tornar uma ferramenta ainda mais poderosa e confiável para a avaliação da vulnerabilidade das perdas de água em diferentes contextos, tanto nas UGRHIs de São Paulo, sob diferentes parâmetros, para outros Estados do Brasil e até mesmo em outros países. Para que isso seja possível, faz-se necessário a contribuição de diferentes interessados para aplicar, testar e melhorar o uso da ferramenta, aplicando-a sob diferentes contextos e com diferentes conjuntos de parâmetros.

As perdas de água são um problema latente para os sistemas de abastecimento de água de todo o território nacional. O país, em diversas regiões, ainda precisa universalizar o acesso aos serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de efluentes domésticos, colocando, de certa maneira, os investimentos em gestão das perdas de água em segundo plano. No entanto já existem sistemas com prestação universalizada, devendo ser, portanto, a gestão das perdas de água o atual foco de investimentos para esses sistemas. O desenvolvimento de estratégias, a consolidação de informações, a alocação de recursos financeiros se fazem extremamente necessárias no contexto atual do saneamento do Brasil, tanto para universalização quanto para gestão de perdas de água. Este extenso trabalho contribui evidenciando materialmente essas necessidades, propondo meios para avaliar objetivamente os sistemas que dependem de maiores investimentos na gestão de perdas de água, inclusive destacando, que por meio dos sistemas atuais de gestão e regulação dos sistemas de abastecimento de água, haver sistemas que não possuem capacidade autônoma de conterem suas perdas de água, e consequentemente, não atendendo às metas propostas para redução de perdas e outras metas associadas ao desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

ABES – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água: Posicionamento e contribuições técnicas da ABES**. São Paulo: ABES, 2015. Disponível em: http://www.abes-sp.org.br/arquivos/perdas.pdf. Acesso em: 11 jul. 2021.

ABES – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Perdas em sistemas de abastecimento de água**: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate. São Paulo: ABES, 2013. Disponível em: https://abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas_Abes.pdf. Acesso em: 11 jul. 2021.

ADASA – Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (Distrito Federal). **Perdas de água**. 2023. Disponível em: https://www.adasa.df.gov.br/fiscalizacao-sae1/fiscalizacao-direta/perdas-de-agua. Acesso em: 18 jul. 2023.

ADGER, W. N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, n. 3, p. 268–281, ago. 2006.

AHOPELTO, S.; VAHALA, R. Cost–Benefit Analysis of Leakage Reduction Methods in Water Supply Networks. **Water**, v. 12, n. 1, p. 195, 10 jan. 2020.

ALEGRE, H. *et al.* Performance Indicators for Water Supply Services: Third Edition. **Water Intelligence Online**, v. 15, n. 0, p. 9781780406336–9781780406336, 8 set. 2016.

ALLEN, C.; METTERNICHT, G.; WIEDMANN, T. Initial progress in implementing the Sustainable Development Goals (SDGs): a review of evidence from countries. **Sustainability Science**, v. 13, n. 5, p. 1453–1467, set. 2018.

ALMEIDA, L. Q. de. **Riscos ambientais e vulnerabilidades nas cidades brasileiras: conceitos, metodologias e aplicações.** São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012, 215p.

AL-WASHALI, T.; SHARMA, S.; KENNEDY, M. Methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review. **Water Resources Management**, v. 30, n. 14, p. 4985–5001, 1 nov. 2016.

AMORIM JÚNIOR, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga de captação: critérios anual e mensal para definição de vazões mínimas de referência.** 2014. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Atlas águas:** segurança hídrica do abastecimento urbano. Brasília: ANA, 332 p. 2021a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **ODS 6 no Brasil: visão da ANA sobre os indicadores**. Brasília, 2019b. 94 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Plano Nacional de Segurança Hídrica.** Brasília: ANA, 112 p. 2019a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Relatório de análise de impacto regulatório nº 1/2021/COAES/SRS.** 2021b. Disponível em: https://participacao-social.ana.gov.br/api/files/Relatorio_AnaliseImpactoRegulatorio-1639599803817-1641223982498.pdf. Acesso em: 07 jun. 2023.

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Sistema de Informações de Geração da ANEEL.** 2023. Disponível em: https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOjR9. Acesso em: 08 jun. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12.211: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água.** Rio de Janeiro. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12.212: Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea.** Rio de Janeiro. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12.213: Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público.** Rio de Janeiro. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12.214: Projeto de estação de bombeamento ou de estação elevatória de água.** Rio de Janeiro. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12.215: Projeto de adutora de água.** Rio de Janeiro. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12.216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12.217: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12.218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR ISO 24.5: Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto - Diretrizes para avaliação e para a melhoria dos serviços prestados aos usuários.** Rio de Janeiro. 2012.

AUDEN, W. H. **Juvenilia: poems 1922 - 1928**. Expanded pbk. ed ed. Princeton, N.J: Princeton University Press, 2003.

BAKKER, K.; MORINVILLE, C. The governance dimensions of water security: a review. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 371, n. 2002, p. 20130116, 13 nov. 2013.

BARROS, A. J. A.; PEREIRA, J. A. R. Assessment of the economic sustainability of water capture from surface and underground water sources to supply urban areas. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 27, p. e3, 2023.

BARROS, I. P. A. F. **Proposta de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação de estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal.** Dissertação (Mestrado

em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. 228 f.

BEBBINGTON, J.; UNERMAN, J. Achieving the United Nations Sustainable Development Goals: An enabling role for accounting research. **Accounting, Auditing & Accountability Journal**, v. 31, n. 1, p. 2–24, 15 jan. 2018.

BEEK, E. VAN; ARRIËNS, W. L. **Water security: putting the concept into practice**. Stockholm: Global Water Partnership, 2014.

BEN-ELI, M. U. Sustainability: definition and five core principles, a systems perspective. **Sustainability Science**, v. 13, n. 5, p. 1337–1343, set. 2018.

BIERMANN, F.; KANIE, N.; KIM, R. E. Global governance by goal-setting: the novel approach of the UN Sustainable Development Goals. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 26–27, p. 26–31, jun. 2017.

BRADLEY, P. An exploration of institutional approaches in pursuing sustainable development. **Sustainable Production and Consumption**, v. 30, p. 623–639, mar. 2022.

BRAND, F. Critical natural capital revisited: Ecological resilience and sustainable development. **Ecological Economics**, v. 68, n. 3, p. 605–612, jan. 2009.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 22 dezembro. 1997a.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil.** 3. ed. Rio de Janeiro: Saraiva, 2015. 350 p.

BRASIL. Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 22 jun. 2010.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 08 janeiro. 2007.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a

participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 16 jul. 2020.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 02 set. 1981.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 09 janeiro. 1997b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria Nº 888, de 04 de maio de 2021. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 07 maio. 2021. p. 127.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Gabinete do Ministro. Portaria nº 490, de 22 de março de 2021. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 mar. 2021. p. 30.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **Plano Nacional de Saneamento Básico**. 2019. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/ptbr/assuntos/saneamento/plansab/Versao_Conselhos_Resoluo_Alta__Capa_Atualizada.pdf. Acesso em: 07 jun. 2023.

BROWN, C. M. *et al.* The future of water resources systems analysis: Toward a scientific framework for sustainable water management: THE FUTURE OF WATER RESOURCES SYSTEMS ANALYSIS. **Water Resources Research**, v. 51, n. 8, p. 6110–6124, ago. 2015.

CARMO, M. E.; GUIZARDI, F. L. O conceito de vulnerabilidade e seus sentidos para as políticas públicas de saúde e assistência social. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 3, 2018.

CARVALHO, J. R. M.; CURI, W. F.; LIRA, W. S. **Processo participativo na construção de indicadores hidroambientais para bacias hidrográficas.** Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa. Campina Grande: EDUEPB, 2013.

CHUNG, G.; LANSEY, K.; BAYRAKSAN, G. Reliable water supply system design under uncertainty. **Environmental Modelling & Software**, v. 24, n. 4, p. 449–462, abr. 2009.

COM+ÁGUA. **Perdas Aparentes**. 2018a. Disponível em: http://antigo.snis.gov.br/downloads/publicacoes-acertar/perdas/Vol.4-Perdas-Aparentes.pdf. Acesso em: 12 jun. 2023.

COM+ÁGUA. **Perdas Reais**. 2018b. Disponível em: http://antigo.snis.gov.br/downloads/publicacoes-acertar/perdas/Vol.3-Perdas-Reais.pdf. Acesso em: 12 jun. 2023.

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

CRHI – COORDENADORIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Banco de Indicadores para Gestão dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (2022).** Base de dados preparada

pelo Departamento de Gerenciamento de Recursos Hídricos, em Microsoft Office Excel. São Paulo: CRHi, 2022 (Não publicado).

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. Disponibilidade hídrica para outorga (I): avaliação por seção hidrológica de referência. **REGA.** v. 4, n. 2, p. 51- 64. 2007.

DI VAIO, A. *et al.* Water governance models for meeting sustainable development Goals:A structured literature review. **Utilities Policy**, v. 72, p. 101255, out. 2021.

DISTRITO FEDERAL. Lei nº 4285, de 26 de dezembro de 2008. Reestrutura a Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal – ADASA/DF, dispõe sobre recursos hídricos e serviços públicos no Distrito Federal e dá outras providências. **Diário Oficial do Distrito Federal**: seção 1, Brasília, DF, 29 dez. 2008.

DUTRA, M.T.D. **Desenvolvimento de um índice de sustentabilidade hidroambiental em bacia hidrográfica**: o caso da bacia do rio Capibaribe, Pernambuco. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, 2017. 160 f.

EEA – European Environment Agency. **Environmental indicators: typology and overview.** Copenhagen: EEA. Technical report, n.25. 1999.

EUREAU – EUROPEAN FEDERATION OF NATIONAL ASSOCIATIONS OF WATER SERVICES. **The governance of water services in Europe.** 2020. Disponível em: https://www.eureau.org/resources/publications/eureau-s-publications/5219-the-governance-of-water-services-in-europe-2020-edition/file. Acesso em: 07 jun. 2023.

EUROPEAN COMMISSION. **EU reference document good practices on leakage management**. LU: Publications Office, 2015.

FRAUENDORFER, R.; LIEMBERGER, R. **The issues and challenges of reducing non-revenue water**. Metro Manila, Philippines: Asian Development Bank, 2010.

FRENCH, D.; KOTZÉ, L. J. Introduction. In: FRENCH, D.; KOTZÉ, L. (Eds.). **Sustainable Development Goals**. [s.l.] Edward Elgar Publishing, 2018. p. 1–12.

FUKUDA-PARR, S. From the Millennium Development Goals to the Sustainable Development Goals: shifts in purpose, concept, and politics of global goal setting for development. **Gender & Development**, v. 24, n. 1, p. 43–52, 2 jan. 2016.

GILES-CORTI, B.; LOWE, M.; ARUNDEL, J. Achieving the SDGs: Evaluating indicators to be used to benchmark and monitor progress towards creating healthy and sustainable cities. **Health Policy**, v. 124, n. 6, p. 581–590, jun. 2020.

GIORDANO, M. Global Groundwater? Issues and Solutions. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 34, n. 1, p. 153–178, 1 nov. 2009.

GLAVIČ, P.; LUKMAN, R. Review of sustainability terms and their definitions. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 18, p. 1875–1885, dez. 2007.

GLEICK, P. H. On methods for assessing water-resource risks and vulnerabilities. **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 11, p. 111003, 16 nov. 2015.

GUANAIS, A. L. R.; COHIM, E. B.; MEDEIROS, D. L. Avaliação energética de um sistema integrado de abastecimento de água. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 1187–1196, 6 jul. 2017.

GUO, G. *et al.* Simulation of a leak's growth process in water distribution systems based on growth functions. **Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua**, v. 70, n. 4, p. 521–536, 1 jun. 2021.

GUPTA, J.; PAHL-WOSTL, C. Global Water Governance in the Context of Global and Multilevel Governance: Its Need, Form, and Challenges. **Ecology and Society**, v. 18, n. 4, 29 nov. 2013.

HAIDER, H.; SADIQ, R.; TESFAMARIAM, S. Performance indicators for small- and medium-sized water supply systems: a review. **Environmental Reviews**, v. 22, n. 1, p. 1–40, mar. 2014.

HARDI, P.; ZDAN, T. (eds.). **Assessing sustainable development**: principles in practice. Canada: International Institute for Sustainable Development, 1997.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (EDS.). **Abastecimento de água para consumo humano. T. 2**. 2. ed. revista e atualizada ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

HIRNER, W.; LAMBERT, A. **Losses from Water Supply Systems:** Standard Terminology and Recommended Performance Measures. The Blue Pages. International Water Association. 2000.

HOEKSTRA, A. Y.; BUURMAN, J.; VAN GINKEL, K. C. H. Urban water security: A review. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 5, p. 053002, 1 maio. 2018.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Perdas de água 2021 (SNIS 2019):** desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico**.** 2021. Disponível em: http://tratabrasil.org.br/images/estudos/Perdasd%C3%A1gua/EstudodePerdas2021.pdf. Acesso em: 15 jun. 2021.

JENSEN, O.; WU, H. Urban water security indicators: Development and pilot. **Environmental Science & Policy**, v. 83, p. 33–45, maio 2018.

JONG, E. DE; VIJGE, M. J. From Millennium to Sustainable Development Goals: Evolving discourses and their reflection in policy coherence for development. **Earth System Governance**, v. 7, p. 100087, mar. 2021.

LAITINEN, J. *et al.* Resilient Urban Water Services for the 21th Century Society – Stakeholder Survey in Finland. **Water**, v. 12, n. 1, p. 187, 9 jan. 2020.

LAMBERT, A. O. *et al.* A review of performance indicators for real losses from water supply systems. **Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA**, v. 48, n. 6, p. 227–237, set. 1999.

LEAKSSUITE LIBRARY. **Overviews of Leakage by Country using reported ILI data**. 2019. Disponível em: https://www.leakssuitelibrary.com/ili-overviews-by-country/. Acesso em: 12 jun. 2023.

MACHADO, F. H. **Proposição de indicadores de segurança hídrica:** seleção, validação e aplicação na bacia hidrográfica do rio Jundiaí-Mirim, Jundiaí – SP. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais). Universidade de São Paulo, 2018. 255 f.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos**: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa. 2 ed. Editora Bertrand Brasil, 2010,

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; NETTO, O.; NASCIMENTO, N. Os Indicadores como Instrumentos Potenciais de Gestão das Águas no Atual Contexto Legal-Institucional do Brasil - Resultados de um painel de especialistas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 4, p. 49–67, 2003.

MALAY, O. E.; AUBINET, S. Improving government and business coordination through the use of consistent SDGs indicators. A comparative analysis of national (Belgian) and business (pharma and retail) sustainability indicators. **Ecological Economics**, v. 184, p. 106991, jun. 2021.

MANCUSO, P. C. S. **Reúso de água potável como estratégia para a escassez**. Santana de Parnaíba: Manole, 2021.

MANZI, D. **Hidráulica de todo dia no saneamento.** Curitiba: Appris Editora, 2020.

MANZIONE, R. L. **Águas subterrâneas:** conceitos e aplicações sob uma visão multidisciplinar. Jundiaí: Paco Editorial, 2015. 386 p.

MARANDOLA JR., E.; DANTONA, A.O. **Vulnerabilidade:** problematizando e operacionalizando o conceito. In: Roberto do Carmo; Norma Valencio. (Org.). Segurança humana no contexto dos desastres. 1ed São Carlos: RiMa, 2014, p. 45-61.

MARINHO, M. M. O. *et al.* . **Indicadores de sustentabilidade ambiental**. Salvador, Bahia: SEI, 2006.

MIDR – MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (Brasil). **Programa Nacional Combate ao Desperdício Água - PNCDA**. 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/pmss/biblioteca-virtual/programa-nacional-combate-ao-desperdicio-agua-pncda. Acesso em: 18 jul. 2023.

MELO, M. C. DE; JOHNSSON, R. M. F. O conceito emergente de Segurança Hídrica. **Sustentare**, v. 1, n. 1, p. 72–92, 11 jan. 2018.

MIRANDA, E. C. (2002). **Avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água**: indicadores de perdas e metodologias para análise de confiabilidade. 193 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília.

MOSCA, M. On the origins of the concept of natural monopoly: Economies of scale and competition. **The European Journal of the History of Economic Thought**, v. 15, n. 2, p. 317–353, jun. 2008.

MOSER, C. O. N. The asset vulnerability framework: Reassessing urban poverty reduction strategies. **World Development**, v. 26, n. 1, p. 1–19, jan. 1998.

MOURA, M. R. F. *et al.* Segurança e vulnerabilidade hídrica: evoluções conceituais à luz da Gestão Integrada e Sustentável. **VETOR - Revista de Ciências Exatas e Engenharias**, v. 44, n. 1, 9 jun. 2020.

MULLIGAN, M. *et al.* Mapping nature's contribution to SDG 6 and implications for other SDGs at policy relevant scales. **Remote Sensing of Environment**, v. 239, p. 111671, mar. 2020.

MUTIKANGA, H. *et al.* Using performance indicators as a water loss management tool in developing countries. **Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua**, v. 59, n. 8, p. 471–481, dez. 2010.

NÚÑEZ-LÓPEZ, J. M.; RUBIO-CASTRO, E.; PONCE-ORTEGA, J. M. Optimizing resilience at water-energy-food nexus. **Computers & Chemical Engineering**, v. 160, p. 107710, abr. 2022.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Acompanhando a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável:** subsídios iniciais do Sistema das Nações Unidas no Brasil sobre a identificação de indicadores nacionais referentes aos objetivos de desenvolvimento sustentável/Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. 2015a. Disponível em: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/br/undp-br-Acompanhando-Agenda2030-Subsidios_iniciais-Brasil-2016.pdf. Acesso em: 07 jun. 2023.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Progress towards the Sustainable Development Goals.** 2022. Disponível em: https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2022/secretary-general-sdg-report-2022--EN.pdf. Acesso em: 07 jun. 2023.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development.** 2015b. Disponível em: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf. Acesso em: 07 jun. 2023.

PASQUAL, J. C. *et al.* Water-Energy-Food Nexus: Comparative Scenarios and Public Policy Perspectives from Some Latin American Countries Regarding Biogas from Agriculture and Livestock. **Journal of Agricultural Science and Technology A**, v. 5, n. 6, 28 jun. 2015.

PASQUAL, J. C.; BOLLMANN, H. A.; SCOTT, C. Water-Energy-Food Nexus: Background and Perspectives for Brazil and the United States by 2050. **Journal of Agricultural Science and Technology B**, v. 6, n. 2, 28 fev. 2016.

PEARSON, D. **Standard definitions for water losses**. [s.l.] IWA Publishing, 2019.

PHILIPPI JUNIOR, Arlindo *et al.* (ed.). **Indicadores de sustentabilidade e gestão ambiental**. Barueri: Manoele, 2012.

PISELLI, D. Duncan French and Louis Kotzé (eds.), Sustainable Development Goals: Law, Theory and Implementation, Cheltenham, Edward Elgar Publishing, 2018, pp. 336. **The Italian Yearbook of International Law Online**, v. 28, n. 1, p. 619–625, 18 out. 2019.

PLUMMER, R.; LOË, R.; ARMITAGE, D. A Systematic Review of Water Vulnerability Assessment Tools. **Water Resources Management**, v. 26, n. 15, p. 4327–4346, dez. 2012.

REN, K. *et al.* A nature-based reservoir optimization model for resolving the conflict in human water demand and riverine ecosystem protection. **Journal of Cleaner Production**, v. 231, p. 406–418, set. 2019.

REN, K. *et al.* Assessing the reliability, resilience and vulnerability of water supply system under multiple uncertain sources. **Journal of Cleaner Production**, v. 252, p. 119806, abr. 2020.

ROESE, S.; GREEN, C.; MORGAN, G. Localizing the Sustainable Development Goals Through the Lens of Urban Resilience: Lessons and Learnings from 100 Resilient Cities and Cape Town. **Sustainability**, v. 12, n. 2, p. 550, 11 jan. 2020.

ROTAVA, J. **Índices de resiliência hídrica e de perigo para gestão do risco de inundações urbanas.** Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Escola Politécnica de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2014. 133 f.

RUGGERIO, C. A. Sustainability and sustainable development: a review of principles and definitions. **Science of The Total Environment**, v. 786, p. 147481, set. 2021.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process:** planning, priority setting, resource allocation. New York ; London: McGraw-Hill International Book Co, 1980.

SABESP – COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (São Paulo). **Água Legal**. Disponível em: https://www.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=779. Acesso em: 18 jul. 2023.

SAMBERGER, C. The role of water circularity in the food-water-energy nexus and climate change mitigation. **Energy Nexus**, v. 6, p. 100061, jun. 2022.

SANTOS, A. Q. O. *et al.* Electricity Market in Brazil: A Critical Review on the Ongoing Reform. **Energies**, v. 14, n. 10, p. 2873, 16 maio 2021.

SÃO PAULO, Secretária de Estado do Meio Ambiente, Gabinete do Secretário. Resolução SMA nº 54, de 19 de dezembro de 2007. Dispõe sobre o licenciamento ambiental e regularização de empreendimentos urbanísticos e de saneamento básico considerados de utilidade pública e de interesse social e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de São Paulo:** seção 1, São Paulo, SP, 20 dezembro. 2007.

SETTI, A. A. *et al.* **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos.** Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas. 2000.

SHI, B. *et al.* Quantitative design of emergency monitoring network for river chemical spills based on discrete entropy theory. **Water Research**, v. 134, p. 140–152, maio 2018.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Ministério das Cidades - SNIS. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto**. 2023a. Disponível em: https://arquivos-snis.mdr.gov.br/DIAGNOSTICO_TEMATICO_GESTAO_TECNICA_DE_AGUA_AE_SNIS_MAI_2023.zip. Acesso em: 07 jun. 2023.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Ministério das Cidades - SNIS. **Série Histórica**. 2023b. Disponível em: http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/. Acesso em: 07 jun. 2023.

SOUSA-FELIX, R. C. *et al.* Application of the DPSIR framework to the evaluation of the recreational and environmental conditions on estuarine beaches of the Amazon coast. **Ocean & Coastal Management**, v. 149, p. 96–106, nov. 2017.

STADDON, C.; SCOTT, C. A. Putting water security to work: addressing global challenges. **Water International**, v. 43, n. 8, p. 1017–1025, 17 nov. 2018.

STATE OF GREEN. **Reducing urban water losses.** 2021. Disponível em: https://stateofgreen.com/en/wp-content/uploads/2021/03/SoG_WhitePaper_NonRevenueWater_210x297_V11_WEB.pdf. Acesso em: 08 jun. 2023.

SUN, S. *et al.* Sustainability assessment of regional water resources under the DPSIR Framework. **Journal of Hydrology**, v. 532, p. 140-148, 2016.

TAYLOR, K. S. Australian water security framings across administrative levels. **Water Security**, v. 12, p. 100083, abr. 2021.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo (SP): USP, 2006.

UISCE ÉIREANN (Irlanda). **National Leakage Reduction Programme**. 2023. Disponível em: https://www.water.ie/projects/national-projects/leakage-reduction-programme/. Acesso em: 18 jul. 2023.

VAN BELLEN, H.M. **Indicadores de sustentabilidade**: uma análise comparativa. 2. Ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.

VASCO, A. N. D.; NETTO, A. O. A.; SILVA, M. G. The influence of dams on ecohydrological conditions in the São Francisco River Basin, Brazil. **Ecohydrology & Hydrobiology**, v. 19, n. 4, p. 556–565, out. 2019.

VICENTINI, L. P. (2012). **Componentes do balanço hídrico para avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água.** 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

VIJGE, M. J. *et al.* Governance through Global Goals. In: BIERMANN, F.; KIM, R. E. (Eds.). **Architectures of Earth System Governance**. 1. ed. [s.l.] Cambridge University Press, 2020. p. 254–274.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

VON SPERLING, T. L.; VON SPERLING, M. Proposição de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 313–322, dez. 2013.

VÖRÖSMARTY, C. J. *et al.* Ecosystem-based water security and the Sustainable Development Goals (SDGs). **Ecohydrology & Hydrobiology**, v. 18, n. 4, p. 317–333, dez. 2018.

WCED – WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Report of the World Commission on Environment and Development: note / by the Secretary-**

General. 1987. Disponível em: https://digitallibrary.un.org/record/139811/files/A_42_427-EN.pdf?ln=en. Acesso em: 12 jun. 2023.

WINTER, T. C. (ED.). **Ground water and surface water**: a single resource. Denver, Colorado: U.S. Geological Survey, 1998.

WU, H. *et al.* Effects of dam construction on biodiversity: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 221, p. 480–489, jun. 2019.

WYATT, A. *et al.* **Perdas de água**: guia para determinar o nível econômico e metas progressivas de controle para municípios, reguladores e prestadores de serviço. Guia para determinar o nível econômico e metas progressivas de controle para municípios, reguladores e prestadores de serviço. 2021. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/20210325_Nivel_economico_de_perdas_de_agua___Brasil.pdf. Acesso em: 12 jun. 2023.

YUAN, M.-H.; LO, S.-L. Principles of food-energy-water nexus governance. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 155, p. 111937, mar. 2022.

APÊNDICE A - BANCO DE DADOS DE APLICAÇÃO DO IVUPA

Link do Banco de Dados:
https://docs.google.com/spreadsheets/d/1DuKG_CbufWe8wqQfMrS-LAO7SJHiW2XKcHwDrvSX9QM/edit?usp=sharing

APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA AHP

Link do questionário: https://forms.gle/1Fz9QrpPUQcsH1JA9

Consulta para atribuição de pesos e grau de importância de indicadores
Esse questionário faz parte de uma etapa da pesquisa de Mestrado, do discente Cassiano Gonçalves Simões do Carmo, sob orientação do Prof. Dr. Rodrigo Lilla Manzione, que está sendo desenvolvida conjuntamente ao Programa de Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Questionário aprovado pela Plataforma Brasil com o seguinte CAAE: 58585222.8.0000.5402

Objetivos da pesquisa:
A presente pesquisa tem como objetivo principal o desenvolvimento de um modelo de avaliação e classificação da vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água, vinculados aos municípios do estado de São Paulo. O desenvolvimento do modelo conta como uma de suas etapas a distribuição de pesos para indicados pré-selecionados e valoráveis para compor o modelo. Visando atingir esse objetivo, o(a) Sr. (a), selecionado para esta pesquisa por ter experiência na área de recursos hídricos, regulação ou saneamento básico, responderá um questionário eletrônico que levará aproximadamente 10 minutos de duração, do qual visa atribuir níveis de importância e pesos para indicadores pré-selecionados, dos quais serão avaliados também por outros especialistas.

Benefícios, desconfortos e riscos:
Este estudo não apresenta benefícios diretos aos participantes, porém a sua participação contribuirá no processo de distribuição de pesos a indicadores em uma modelagem para o caso exposto, dos quais, uma vez definidos, poderão servir de base para o estudo em questão e futuros estudos semelhantes para uma base de análises sobre a vulnerabilidade de sistemas de abastecimento frente as suas perdas de água, podendo, ainda futuramente, contribuir para interpretação de reguladores, prestadores e consumidores sobre o tema. Ademais, responder o questionário não trará nenhum desconforto ou risco para você.

Sigilo e privacidade:
Esteja ciente de que a sua participação neste estudo é voluntária e que mesmo após ter dado seu consentimento para participar da pesquisa, você poderá retirá-la a qualquer momento, sem qualquer prejuízo. Destaca-se que os resultados desse estudo poderão ser publicados em revistas científicas, sem, no entanto, que sua identidade seja revelada.

Nome completo:

Formação:

Título:

a) Graduação
b) Mestrado
c) Doutorado

Área de Atuação:

a) Pesquisador/Acadêmico
b) Mercado provado ou público
c) Regulador
d) Outro

Questionário:

Tendo em vista que as perdas de água em sistemas de abastecimento apresentam-se como uma problemática ampla, que exercem forte pressão em seus componentes – manancial, prestador e usuários – que por sua vez geram impactos, que podem ser observados sob a ótica da sustentabilidade, ou no caso, do quanto a existência de perdas acaba por distanciar esses sistemas do caráter sustentável. Desse modo, há de se dizer que os sistemas podem apresentar algum grau de vulnerabilidade frente a suas perdas, pelas condições do manancial, sociais locais e capacidade financeira do prestador em gerenciar essas perdas. A pesquisa visa avaliar e classificar, por meio de um modelo, o quão vulnerável os sistemas de abastecimento de água são frente as suas perdas, com base em indicadores pré-selecionados e valoráveis com possíveis níveis de influência nessa análise. Para atribuir maior inclusão e legitimidade no desenvolvimento da pesquisa, a participação de especialistas e profissionais da área se torna fundamental.

Diante do exposto, pedimos sua colaboração para que possamos desenvolver uma pesquisa com maior participação no processo de distribuição de pesos e grau de importância dos indicadores selecionados para a composição do modelo de avaliação e classificação. Agradecemos desde já a sua colaboração.

Introdução:

Para facilitar sua colaboração, no contexto de perdas de água, os fenômenos vinculados aos indicadores são mais detalhados a seguir:

- **Tipo de manancial:** esse indicador visa traduzir qual tipo de manancial (fonte de captação) o sistema possuí, que pode variar em superficial, subterrâneo ou misto. Existe uma diferença entre perder a água captada tendo como fonte cada um desses, envolvendo aspectos ambientais, sociais e econômicos.
- **Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica:** esse indicador visa traduzir quanto o sistema de abastecimento possui de outorga de água em razão do quanto se têm de disponibilidade hídrica. Os sistemas de abastecimento de água possuem amparo legal por possuírem prioridade na outorga dos recursos hídricos. Essa razão (indicador) pode evidenciar o quão distante o sistema se encontra de uma saturação do disponível e reservado para captação, pois caso esteja próximo à saturação o sistema restringe outros empreendimentos e poderá, no futuro, depender de ações estruturais e não estruturais para continuar abastecendo com uma margem de segurança.
- **Índice de perdas por ligação:** esse indicador visa traduzir o grau atual de perdas do sistema de abastecimento. Qualquer sistema que não se apresenta no nível inevitável de perdas, apresenta-se com algum grau de vulnerabilidade. Dentre os indicadores/índices de perdas, esse seria o que melhor representa as condições locais, pois inclui o número de ligações, e portanto pondera a população, diferentemente do índice de perdas (%).
- **Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média Aplicada:** Esse indicador, diferentemente do Indicador de desempenho financeiro, envolve o fator socioeconômico da aplicação da tarifa com todas as despesas envolvidas para entregar a água tratada até o consumidor, que paga uma tarifa para isso. Essa relação, para o prestador,

pode ser negativa (maior que 1) ou positiva (menor que 1). Os custos advindos das perdas muitas vezes são embutidos na tarifa, colocando uma responsabilidade das perdas no próprio consumidor. Essa relação demonstra a capacidade econômica do prestador e dos consumidores, além da pressão que as perdas exercem em suas relações econômicas.

- **Consumo médio *percapita* de água:** esse indicador visa traduzir o fenômeno do quanto de água está sendo consumido pelo atendimento do sistema de abastecimento, por parte dos usuários. O consumo de água de uma população (real ou equivalente) demonstra um demanda que precisa ser atendida. Esse consumo varia de acordo com diversas características locais e regionais. Um local com elevado índice de perdas e elevado consumo de água pode gerar ainda mais impactos na cadeia de produção de água, pelo nexo da captação -> perdas -> consumo.
- **Índice de atendimento urbano de água:** esse indicador visa traduzir o grau de atendimento urbano de água nos municípios do estado. Tendo como meta a universalização do atendimento urbano de água, torna-se problemático quando um sistema além de perder muita água e não está de acordo com as metas estabelecidas para o atendimento urbano. Embora haja um nexo entre perdas aparentes e índice de atendimento urbano de água.

Atribua pesos de 1 a 9 para os indicadores selecionados para o modelo de avaliação e classificação, sendo que o menor peso deve ser destinado ao indicador que mais contribui com a vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água frente a suas perdas e o maior peso para o indicador que você considera que menos contribui e/ou condiciona para isso.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tipo de manancial									
Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica									
Índice de perdas por ligação									
Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média Aplicada									
Consumo médio *per capita* de água									
Índice de atendimento urbano de água									

Definição de importâncias

Diante os indicadores, os relacione e julgue aqueles que você acha que têm a mesma importância ou que possuem importância maior ou menor em relação ao outro, visando o quanto o fenômeno relacionado a esse indicador pode condicionar um sistema de abastecimento à vulnerabilidade.

Tipo de manancial x Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica

a) Igual importância
b) Mais importante
c) Menos importante

Com relação à questão anterior, se você acha que é Mais ou Menos importante, qual o nível?

a) Pouco
b) Moderado
c) Muito
d) Extremamente

Tipo de manancial x Índice de perdas por ligação

a) Igual importância
b) Mais importante
c) Menos importante

Com relação à questão anterior, se você acha que é Mais ou Menos importante, qual o nível?

a) Pouco
b) Moderado
c) Muito
d) Extremamente

Tipo de manancial x Razão das despesas totais com os serviços por m^3 faturado pela Tarifa Média aplicada

a) Igual importância
b) Mais importante
c) Menos importante

Com relação à questão anterior, se você acha que é Mais ou Menos importante, qual o nível?

a) Pouco
b) Moderado
c) Muito
d) Extremamente

Tipo de manancial x Consumo médio *per capita* de água

a) Igual importância
b) Mais importante
c) Menos importante

Com relação à questão anterior, se você acha que é Mais ou Menos importante, qual o nível?

a) Pouco
b) Moderado
c) Muito
d) Extremamente

Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica x Índice de perdas por ligação

a) Igual importância
b) Mais importante
c) Menos importante

Com relação à questão anterior, se você acha que é Mais ou Menos importante, qual o nível?

a) Pouco
b) Moderado
c) Muito
d) Extremamente

Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica x Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada

a) Igual importância
b) Mais importante
c) Menos importante

Com relação à questão anterior, se você acha que é Mais ou Menos importante, qual o nível?

a) Pouco
b) Moderado
c) Muito
d) Extremamente

Razão da vazão outorgada para o abastecimento pela disponibilidade hídrica x Consumo médio *per capita* de água

a) Igual importância
b) Mais importante
c) Menos importante

Com relação à questão anterior, se você acha que é Mais ou Menos importante, qual o nível?

a) Pouco
b) Moderado
c) Muito
d) Extremamente

Índice de perdas por ligação x Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada

a) Igual importância
b) Mais importante
c) Menos importante

Com relação à questão anterior, se você acha que é Mais ou Menos importante, qual o nível?

a) Pouco
b) Moderado
c) Muito
d) Extremamente

Índice de perdas por ligação x Consumo médio *per capita* de água

a) Igual importância
b) Mais importante
c) Menos importante

Com relação à questão anterior, se você acha que é Mais ou Menos importante, qual o nível?

a) Pouco
b) Moderado
c) Muito
d) Extremamente

Índice de perdas por ligação x Índice de atendimento urbano de água

a) Igual importância
b) Mais importante
c) Menos importante

Com relação à questão anterior, se você acha que é Mais ou Menos importante, qual o nível?

a) Pouco
b) Moderado
c) Muito
d) Extremamente

Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada x Consumo médio *per capita* de água

a) Igual importância
b) Mais importante
c) Menos importante

Com relação à questão anterior, se você acha que é Mais ou Menos importante, qual o nível?

a) Pouco
b) Moderado
c) Muito
d) Extremamente

Razão das despesas totais com os serviços por m³ faturado pela Tarifa Média aplicada x Índice de atendimento urbano de água

a) Igual importância
b) Mais importante
c) Menos importante

Com relação à questão anterior, se você acha que é Mais ou Menos importante, qual o nível?

a) Pouco
b) Moderado
c) Muito
d) Extremamente

Consumo médio *per capita* de água x Índice de atendimento urbano de água

a) Igual importância
b) Mais importante
c) Menos importante

Com relação à questão anterior, se você acha que é Mais ou Menos importante, qual o nível?

a) Pouco
b) Moderado
c) Muito
d) Extremamente

APÊNDICE C - RESPOSTAS ADQUIRIDAS PELA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Link das respostas:
https://docs.google.com/spreadsheets/d/10ECAqzL9OaAuaZZ3sFwAiW9SyX8GNBRNG3EGyKhRZ04/edit?usp=sharing

ANEXO A - CERTIFICADO DE APROVAÇÃO QUESTIONÁRIO PELA PLATAFORMA BRASIL

UNESP - FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DO CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Proposição de metodologias de análise da vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água frente a suas perdas de água

Pesquisador: CASSIANO GONCALVES SIMOES DO CARMO

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 58585222.8.0000.5402

Instituição Proponente: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO MESQUITA FILHO

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.690.413

Apresentação do Projeto:

O Projeto de Pesquisa intitulado "Proposição de metodologias de análise da vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água frente a suas perdas de água", tem por objetivo "desenvolver uma metodologia de análise, para contribuir com a mensuração da Segurança Hídrica, em níveis municipais, baseada em indicadores da vulnerabilidade dos Sistemas de Abastecimento de Água do estado de São Paulo, frente as perdas de água desses sistemas". Trata-se de uma pesquisa descritiva com aplicação de questionário fechado para contribuir com a atribuição de pesos para desenvolvimento do modelo em Analytic Hierarchy Process (AHP). Estima-se a participação de 200 especialistas e acadêmicos que trabalhem com os temas: Recursos Hídricos, Saneamento Básico e Regulação. Os dados serão analisados por "amostragem simples dos pesos obtidos, que será definida pela média das respostas, com possíveis remoções das amostras com base nos desvios padrões, com limites ainda não determinados, para cada indicador pré-selecionado".

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

"Desenvolver uma metodologia de análise, para contribuir com a mensuração da Segurança Hídrica, em níveis municipais, baseada em indicadores

da vulnerabilidade dos Sistemas de Abastecimento de Água do estado de São Paulo, frente as perdas de água desses sistemas".

Endereço: Rua Roberto Simonsen, 305 ¿ Faculdade de Ciência e Tecnologia da Unesp ¿ Prédio da Administração ¿ Sl 04
Bairro: Centro Educacional **CEP:** 19.060-900
UF: SP **Município:** PRESIDENTE PRUDENTE
Telefone: (18)3229-5315 **Fax:** (18)3229-5300 **E-mail:** cep.fct@unesp.br

Objetivo Secundário:

"• Relacionar, no contexto dos Objetivos do Desenvolvidos Sustentável, a busca pela sustentabilidade e a gestão no controle de perdas em Sistemas de Abastecimento de Água;

• Proposição de um sistema de indicadores para análise da vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água, frente as suas perdas de água;

• Desenvolver um método de avaliação e classificação da vulnerabilidade, mediante Análise Hierárquica de Processos (AHP), a partir de indicadores pré-selecionados e tributáveis, com base em dados disponibilizados, dos municípios de São Paulo;

• Realizar um mapa temático com as classificações obtidas a partir da resposta do método de avaliação e classificação da vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento de água, frente as suas perdas, para o estado de São Paulo;

• Proposição de um protocolo de análise e classificação, que seja replicável e adaptável, para quaisquer sistemas de abastecimento de água do Brasil."

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

"Este estudo não apresenta benefícios diretos aos participantes, porém a sua participação contribuirá no processo de distribuição de pesos a indicadores em uma modelagem para o caso exposto, dos quais, uma vez definidos, poderão servir de base para o estudo em questão e futuros estudos semelhantes para uma base de análises sobre a vulnerabilidade de sistemas de abastecimento frente as suas perdas de água, podendo, ainda futuramente, contribuindo para interpretação de reguladores, prestadores e consumidores sobre o tema. Ademais, responder o questionário não trará nenhum desconforto ou risco para você".

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Considera-se a proposta relevante.

Nada mais a comentar, nada mais a considerar.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Nada a considerar.

Recomendações:

Nada a recomendar.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Considerando a execução das alterações apontadas por esta relatoria no Parecer 5.527.535 de 14

de julho de 2022, bem como nos esclarecimentos e justificativas apresentadas, sobretudo no que diz respeito ao documento cronograma, e as responsabilidades atestadas pela documentação, indica-se a aprovação deste protocolo de pesquisa.

Considerações Finais a critério do CEP:

Em reunião realizada no dia 07.10.2022, o Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências e Tecnologia - Unesp - Presidente Prudente, em concordância com o parecerista, considerou o projeto APROVADO.

Obs: Lembramos que pesquisas que se enquadram na resolução 466/12 devem apresentar relatório parcial e final, e pesquisas que se enquadram na resolução 510/16 devem apresentar relatório final.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1909634.pdf	21/07/2022 13:10:10		Aceito
Outros	termo_de_compromisso.pdf	21/07/2022 13:09:15	CASSIANO GONCALVES SIMOES DO CARMO	Aceito
Cronograma	CRONOGRAMA_DA_PESQUISA.docx	21/07/2022 13:00:00	CASSIANO GONCALVES SIMOES DO CARMO	Aceito
Outros	JUSTIFICATIVA_DA_AUSENCIA_DA_AUTORIZACAO_DO_LOCAL_E_CONTATO_DOS_PARTICIPANTES.docx	28/04/2022 16:26:32	CASSIANO GONCALVES SIMOES DO CARMO	Aceito
Outros	termoderesponsabilidaddedadosearquivos.pdf	28/04/2022 16:24:57	CASSIANO GONCALVES SIMOES DO CARMO	Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRosto.pdf	28/04/2022 16:22:39	CASSIANO GONCALVES SIMOES DO CARMO	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	BASE_DISSERTACAO_CASSIANO_SIMOES.docx	14/03/2022 15:26:28	CASSIANO GONCALVES SIMOES DO CARMO	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Escopo_do_questionario.docx	09/03/2022 16:18:25	CASSIANO GONCALVES SIMOES DO CARMO	Aceito

UNESP - FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DO CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE

Situação do Parecer:
Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:
Não

PRESIDENTE PRUDENTE, 07 de Outubro de 2022

Assinado por:
Edna Maria do Carmo
(Coordenador(a))

Endereço: Rua Roberto Simonsen, 305 ¿ Faculdade de Ciência e Tecnologia da Unesp ¿ Prédio da Administração ¿ SI 04
Bairro: Centro Educacional **CEP:** 19.060-900
UF: SP **Município:** PRESIDENTE PRUDENTE
Telefone: (18)3229-5315 **Fax:** (18)3229-5300 **E-mail:** cep.fct@unesp.br