

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS CONTÁBEIS
CURSO DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS CONTÁBEIS**

THAMIRYS DE SOUSA CORREIA

**ESTRUTURA TARIFÁRIA E CUSTOS NO SETOR DE SANEAMENTO: UMA
ABORDAGEM A PARTIR DA GESTÃO DA ÁGUA E DESEMPENHO**

JOÃO PESSOA

2024

THAMIRYS DE SOUSA CORREIA

**ESTRUTURA TARIFÁRIA E CUSTOS NO SETOR DE SANEAMENTO: UMA
ABORDAGEM A PARTIR DA GESTÃO DA ÁGUA E DESEMPENHO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis da Universidade Federal da Paraíba, do Centro de Ciências Sociais Aplicadas, como requisito para obtenção do grau de Doutora em Ciências Contábeis.

Linha de pesquisa: Informação contábil para usuários internos

Orientador: Prof. Dr. Wenner Glaucio Lopes Lucena.

JOÃO PESSOA

2024

**Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação**

C824e Correia, Thamirys de Sousa.
Estrutura tarifária e custos no setor de saneamento
: uma abordagem a partir da gestão da água e desempenho
/ Thamirys de Sousa Correia. - João Pessoa, 2024.
158 f. : il.

Orientação: Wenner Glaucio Lopes Lucena.
Tese (Doutorado) - UFPB/CCSA.

1. Gestão da água. 2. Saneamento - Custos. 3.
Saneamento - Tarifa. 4. Regulação da Água. 5.
Pensamento sistêmico. I. Lucena, Wenner Glaucio Lopes.
II. Título.

UFPB/BC

CDU 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS CONTÁBEIS – PPGCC

ATA DE DEFESA DE TESE DE DOUTORADO

DEFESA DE TESE Nº 35

Ata de Sessão Pública de Defesa de Tese de Doutorado da aluna Thamirys de Sousa Correia, do Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis da Universidade Federal da Paraíba.

Linha de Pesquisa: Informação Contábil para Usuários Internos

Aos trinta e um dias do mês de janeiro de dois mil e vinte e quatro, às quatorze horas e trinta minutos, reuniu-se, no na Plataforma Google Meet, através do link: <https://meet.google.com/mhm-apdx-uct>, a Banca Examinadora, composta pelos professores doutores: **Wenner Glaucio Lopes Lucena (Presidente da Banca Examinadora – PPGCC/UFPB)**, **Viviane da Costa Freitag (Membro Interno – PPGCC/UFPB)**, **Ariel Behr (Membro Externo – UFRGS)**, **Gilnei Luiz de Moura (Membro Externo – UFSM)** e **Prof. Dr. Roberto Max Protil (Membro Externo - UFV)**, para julgar a tese intitulada: **“Estrutura tarifária e custos no setor de saneamento: uma abordagem a partir da gestão da água e desempenho”**, de autoria da aluna Thamirys de Sousa Correia, orientada pelo Prof. Dr. Wenner Glaucio Lopes Lucena. Dando início aos trabalhos, o Presidente da Banca Examinadora, explicou aos presentes a finalidade da sessão pública, e passou a palavra à doutoranda para que fizesse a apresentação de sua tese. Após a apresentação do trabalho, a banca examinadora fez arguições à discente, que as respondeu. Em seguida, o presidente da banca examinadora, acatou as observações e a Banca Examinadora se reuniu reservadamente, para que fosse feito o julgamento do trabalho, e após decisão então atribuiu à aluna o conceito:

() Aprovado(a)
 () Insuficiente
 () Reprovado (a)

Comentários da Banca Examinadora

Fazer as alterações sugeridas pelos membros da banca

Comentários da Banca Examinadora

Proclamados os resultados, o Presidente da Banca Examinadora encerrou os trabalhos referentes à Defesa de Tese da discente. João Pessoa, 31 de janeiro de 2024.

Prof. Dr. Wenner Glaucio Lopes Lucena
Presidente da Banca Examinadora – PPGCC/UFPB

Profº. Dra. Viviane da Costa Freitag
Membro Interno – PPGCC/UFPB

Documento assinado digitalmente

 ARIEL BEHR
 Data: 31/01/2024 22:03:15-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ariel Behr
Membro Externo– UFRGS

Documento assinado digitalmente

 GILNEI LUIZ DE MOURA
 Data: 31/01/2024 23:39:42-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gilnei Luiz de Moura
Membro Externo - UFSM

Documento assinado digitalmente

 ROBERTO MAX PROTIL
 Data: 31/01/2024 19:10:20-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Roberto Max Protil
Membro Externo- UFV

Documento assinado digitalmente

 THAMIRYS DE SOUSA CORREIA
 Data: 01/02/2024 12:41:22-0300
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Thamirys de Sousa Correia
Discente

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

SISTEMA INTEGRADO DE PATRIMÔNIO, ADMINISTRAÇÃO E CONTRATOS

FOLHA DE ASSINATURAS

Emitido em 30/01/2024

ATA N° 35/2024 - PPGCC (11.00.52.03)
(Nº do Documento: 35)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 02/02/2024 20:22)

WENNER GLAUCIO LOPES LUCENA

COORDENADOR(A) DE CURSO

1526402

(Assinado digitalmente em 02/02/2024 16:14)

VIVIANE DA COSTA FREITAG

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

3155358

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufpb.br/documentos/> informando seu número: **35**, ano: **2024**, documento (espécie): **ATA**, data de emissão: **02/02/2024** e o código de verificação: **47e962adfe**

THAMIRYS DE SOUSA CORREIA

**ESTRUTURA TARIFÁRIA E CUSTOS NO SETOR DE SANEAMENTO: UMA
ABORDAGEM A PARTIR DA GESTÃO DA ÁGUA E DESEMPENHO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis da Universidade Federal da Paraíba (PPGCC UFPB), como requisito à obtenção do título de Doutora em Ciências Contábeis.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Wenner Glaucio Lopes Lucena (Orientador)

Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dra. Viviane da Costa Freitag (Examinador Interno)

Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Ariel Behr (Examinador Externo)

Universidade Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Gilnei Luiz de Moura 

Prof. Dr. Gilnei Luiz De Moura (Examinador Externo)

Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Roberto Max Protil (Examinador Externo)

Universidade Federal de Viçosa

Dedico este trabalho a Maria, minha mãe.
E ao meu esposo, Caio.

AGRADECIMENTOS

Ao longo do meu percurso no Doutorado pude contar com o apoio da minha família. Quero externar profundo agradecimento ao meu esposo, Caio Henriques, meu parceiro de todas as horas que em nenhum momento me deixou desistir. Agradeço a minha mãe, Maria, minha maior inspiração, que sempre me mostrou o caminho certo a seguir, com honestidade e respeito ao próximo. E minha irmã, Luanna Correia, que em momentos difíceis está sempre ao meu lado, nunca irei esquecer do quanto me ajudou neste último ano.

Quero deixar meu agradecimento à Psicóloga, Mirian Venâncio do Espírito Santo, não tenho palavras para expressar o quanto sou grata por sua ajuda, seu profissionalismo e dedicação foram fundamentais para a conclusão desse ciclo em minha vida.

Criar pontes entre o setor produtivo e a academia é um desafio. Dessa forma, agradeço a oportunidade recebida pelo Programa Doutorado Acadêmico para Inovação (DAI) e o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a ciência é um investimento fundamental para o avanço de qualquer pesquisador(a) e nação. Aproveito a ocasião para externar meu agradecimento a Empresa Parceira, Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA), que abriu suas portas para me receber e disponibilizou bases de dados para realização da pesquisa, em especial ao Gerente de Inovação Altamar Alencar Cardoso e o Gerente de Controladoria Alecsandro Gomes da Silva.

Agradeço ao professor Ph.D. Juan Martín García, tendo em vista que a realização da pesquisa (ESTUDO 01) com uso da *System Dynamics* só foi possível de ser feita com o devido treinamento no curso disponibilizado pela ATC-Innova.

Deixo meu agradecimento ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis da Universidade Federal da Paraíba. Agradeço a todos os docentes do programa, que aqui represento pelo professor Dr. Paulo Roberto Nóbrega Cavalcante a quem tive o prazer de ser aluna desde o período da graduação. Sou grata aos colegas que tive contato durante o curso e não posso deixar de citar a Dra. Risolene Alves de Macena Araújo por sempre motivar e compartilhar conhecimentos. Também sou grata às secretárias do PPGCC-UFPB por resolverem minhas demandas, Cecília e Wilma, o êxito do programa perpassa por elas.

Esta tese se beneficiou da orientação do professor Dr. Wenner Glaucio Lopes Lucena, e dos comentários em banca de defesa dos professores Dra. Viviane da Costa Freitag, Dr. Ariel Behr, Dr. Gilnei Luiz De Moura e Dr. Roberto Max Protil. Seus apontamentos e indicações de melhorias foram fundamentais. A todos, obrigada.

A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez.
(George Bernard Shaw)

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo realizar uma discussão sobre estrutura tarifária e gestão da água com apoio de uma abordagem multimetodológica (ESTUDO 01) e verificar a relação de custos e estrutura tarifária em medidas de desempenho no setor de saneamento (ESTUDO 02). Buscou-se alcançar esse objetivo por meio de dois estudos, com base no Pensamento Sistêmico (ESTUDO 01) e Regulação da Água (ESTUDO 01 e ESTUDO 02). Para tanto, em cada estudo foi trabalhada uma metodologia distinta. No ESTUDO 01, a partir da *Strategic Options Development and Analysis* (SODA), por meio de reuniões *online* (2019-2023) e *survey* por correspondência (2020) com especialistas da área (Gerência de Gestão Estratégica e Comercial, Gerência de Controladoria, Gerência de Meio Ambiente, Químico e Engenheiros) foi desenvolvido um mapa cognitivo. Dando prosseguimento com *System Dynamics* (SD), foi proposto um modelo para a Bacia Hidrográfica de Gramame (BHG). Para a SD, os dados foram extraídos da AESA, SINS e reuniões com especialistas. O período de simulação foi de 2013 a 2022. Os principais achados são que para ajustes de tarifa, ao aplicar taxa de incremento para que se possa ter receita adicional, os cálculos realizados buscaram a otimização de tarifas por meio de estruturas tarifárias alternativas, com intuito de atender ao objetivo de recuperação de custos (produção e distribuição, investimentos e custos ambientais). Ao se considerar os ajustes de tarifa nas simulações realizadas no último ano (R\$4,88, R\$5,01, R\$5,14, respectivamente), em relação a tarifa média praticada (R\$4,85) no mesmo ano (2022), o modelo pode ser usado com a finalidade de se discutir melhores estratégias para definir estrutura tarifária de modo que leve em consideração a conservação da água. Para tanto, sugere-se que devam ser feitos ajustes para os maiores consumidores da categoria residencial. Do mesmo modo, pelas simulações para controle de perdas, é percebido o quanto esse parâmetro está intrinsecamente ligado a gestão da água e isso se deve a melhor conservação da água pelo aumento do volume no balanço hídrico, este resultado pode ser confirmado pelo teste de sensibilidade de Monte Carlo. No ESTUDO 02, com uma amostra de 1.526 municípios brasileiros e dados extraídos do SNIS, cuja as variáveis explicativas se referem ao desempenho de qualidade e operacional, as variáveis dependentes selecionadas são custos com serviços de exploração, medidos pelos produtos químicos e a tarifa de abastecimento de água, medida pela tarifa média. O período de análise compreendeu 1999-2020 e foram utilizados modelos de regressão quantílica. Os resultados principais apontam que o número de reclamações por parte de clientes se relaciona positivamente à custos com serviços de exploração, na qual uma possível justificativa é de que em parte reclamações podem ser relacionadas a qualidade da água. Ainda, o número de reclamações por parte de clientes, a quantidade de amostra de turbidez, o índice de atendimento urbano de água e índice de perdas na distribuição são relacionados positivamente (em algum dos *quartis* analisados - *quantil 25°*, *quantil 50°* e *quantil 75*) com tarifa de abastecimento de água. Destaca-se que há relação negativa entre quantidade de amostras para cloro residual e tarifa de abastecimento de água, isso para os maiores *quartis*, havendo como possível explicação o fato de que quanto maior a amostragem em laboratórios para análises, maior será a verificação de se a quantidade de cloro residual está chegando de maneira adequada em todos os pontos do sistema, evitando excesso de custos e não repasse desse custo ao consumidor final. Diante dos resultados apresentados, os dois estudos empíricos trazem contribuições para a literatura e implicações práticas, tendo em vista à iniciativa de abordar tarifas, custos, gestão da água e desempenho como componentes críticos de políticas públicas.

Palavras-chave: Gestão da água; Saneamento - Custos; Saneamento - Tarifa; Regulação da água; Pensamento sistêmico.

ABSTRACT

This research aimed to discuss the tariff structure and water management with the support of a multi-methodological approach (STUDY 01) and verify the relationship between costs and tariff structure in performance measures in the sanitation sector (STUDY 02). We sought to achieve this objective through two studies, based on Systems Thinking (STUDY 01) and Water Regulation (STUDY 01 and STUDY 02). To this end, each study used a different methodology. In STUDY 01, based on Strategic Options Development and Analysis (SODA), in which through online meetings (2019-2023) and correspondence survey (2020) with experts (Strategic and Commercial Management, Controllership Management, Environmental Management, Chemical and Engineers), a cognitive map was developed. Continuing, with System Dynamics (SD) a model was proposed for the Gramame Hydrographic Basin. For SD, data were extracted from AESA, SINS and meetings with experts. The simulation period was from 2013 to 2022. The main findings are that through the simulations for tariff adjustments, when applying an increment rate, so that additional revenue can be obtained, the calculations carried out sought to optimize tariffs, with alternative tariff structures, to meet the objective of cost recovery (production and distribution, investments and environmental costs). When considering the tariff adjustments in the simulations carried out in the last year (R\$4.88, R\$5.01, R\$5.14, respectively), in relation to the average tariff charged (R\$4.85) in the same year (2022), the model can be used to discuss better strategies for defining a tariff structure, in a way that takes water conservation into account. To this end, it is suggested that tariff adjustments should be made for the largest consumers in the residential category. Likewise, through simulations to control losses, it is clear how much this parameter is intrinsically linked to water management and this is due to better water conservation by increasing the volume in the water balance. This result could be confirmed by the Monte Carlo sensitivity test. In STUDY 02, with a sample of 1,526 Brazilian municipalities and data extracted from the SNIS, whose explanatory variables refer to quality and operational performance, the dependent variables selected are costs with exploration services, measured by chemical products and the supply tariff of water, measured by the average tariff. This for a period that comprised 1999-2020. Quantile regression models were used. The main results indicate that the number of complaints from customers are related to costs with exploration services. A possible justification is that some of the complaints may be related to water quality. Furthermore, the number of complaints from customers, the number of turbine samples, the urban water service index and the distribution loss index are positively related (in some of the analyzed quartiles - 25th quantile, 50th quantile and 75) with water supply tariff. It is noteworthy that there is a negative relationship between the quantity of samples for residual chlorine and the water supply tariff, in the largest quartiles, with a possible explanation being the fact that the greater the sampling in laboratories for analysis, the greater the verification of whether the quantity of residual chlorine is arriving adequately at all points in the system, avoiding excess costs and not passing this cost on to the end consumer. In view of the results presented, the two empirical studies bring contributions to the literature and practical implications, considering the initiative to address tariffs, costs, water management and performance as critical components of public policies.

Key words: Water management; Sanitation - Costs; Sanitation - Tariff; Water regulation; Systems thinking.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Linha do tempo da formulação do pensamento sistêmico e contribuições para a teoria	27
Figura 02 – O teste do sistema.....	30
Figura 03 – Sistema de Pensamento Sistêmico	32
Figura 04 – Noções de diagrama de loop causal	38
Figura 05 – Exemplo de diagrama de loop causal - circuito de reforço de abastecimento de água e circuito de viabilidade para verificar a utilidade da cidade	39
Figura 06 – Esquema do diagrama de estoques e fluxos	40
Figura 07 – Exemplo 1 de diagrama de estoques e fluxos - Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí	41
Figura 08 – Exemplo 2 de diagrama de estoques e fluxos - Água no Semiárido Paraibano	42
Figura 09 – Exemplo 3 de diagrama de estoques e fluxos: setor financeiro de uma empresa de abastecimento	44
Figura 10 – Sistematização do protocolo de pesquisa da RSL.....	64
Figura 11 – Nuvem de palavras da RSL.....	66
Figura 12 – Nuvem de similitudes da RSL	67
Figura 13 – Dendograma da classificação hierárquica descendente (Método de Reinert).....	69
Figura 14 – Publicação e número de citações por estudo para estrutura tarifária e gestão da água.....	70
Figura 15 – Bacia do Rio Gramame, Paraíba	75
Figura 16 – Dados de evaporação mensal em João Pessoa	76
Figura 17 – Série histórica do volume (m ³) na Bacia do Rio Gramame (2013-2022)	77
Figura 18 – Fotografias realizadas em visita técnica – Instalações da ETA Gramame, Paraíba	77
Figura 19 – Fotografias realizadas em visita técnica – Tratamento da água na ETA Gramame, Paraíba	78
Figura 20 – Nuvem de similitude referente visita técnica – ETA Gramame, Paraíba	79
Figura 21 – Mapa cognitivo proposto	84
Figura 22 – Árvore do ponto de vistas fundamentais	84
Figura 23 – Abordagem da Modelagem de <i>System Dynamics</i>	85

Figura 24 – Diagrama de loop causal representando o modelo conceitual e os principais loops de <i>feedback</i>	87
Figura 25 – Modelo proposto de <i>System Dynamics</i> para estrutura tarifária e gestão da água ..	89
Figura 26 – Validação do modelo para o Sistema Gramame	93
Figura 27 – Tarifa média da água praticada e simulação para ajuste de tarifas	95
Figura 28 – Conservação da água pelos ajustes de tarifas simulados	96
Figura 29 – Conservação da água pelo controle de perdas.....	98
Figura 30 – Combinação de cenários	99
Figura 31 – Simulação de Monte Carlo para Índice de Controle de Perda	100
Figura 32 – Simulação de Monte Carlo para Demanda <i>per capita</i>	101
Figura 33 – Média das variáveis de custos com serviços de exploração, estrutura tarifária e desempenho de qualidade e operacional, por ano (1999-2020)	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Aspectos hidroclimáticos.....	75
Tabela 02 – Tarifa residencial - consumo normal	80
Tabela 03 – Resultado das estatísticas descritivas para custos com serviços de exploração, estrutura tarifária, desempenho de qualidade, operacional e variáveis de controle (1999-2020)	122
Tabela 04 – Resultado da Regressão Quantílica para custos com serviços de exploração e desempenho de qualidade (1999-2020).....	124
Tabela 05 – Resultado da Regressão Quantílica para estrutura tarifária e desempenho de qualidade (1999-2020).....	127
Tabela 06 – Resultado da Regressão Quantílica para estrutura tarifária e desempenho operacional (1999-2020).....	129

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Desenho de pesquisa para estrutura tarifária, gestão da água, custos e desempenho	17
Quadro 02 – Síntese da trajetória da pesquisa de estrutura tarifária, gestão da água, custos e desempenho	24
Quadro 03 – Comparação entre o pensamento tradicional e o pensamento sistêmico.....	28
Quadro 04 – Processo de desenvolvimento de <i>System Dynamics</i>	36
Quadro 05 – Mensuração da inovação para o setor de saneamento	49
Quadro 06 – Quatro passos para o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos.....	54
Quadro 07 – Fatores comparativos que podem contribuir para um saneamento mais eficiente	58
Quadro 03 – Comparação entre o pensamento tradicional e o pensamento sistêmico.....	28
Quadro 07 – Processo de desenvolvimento de <i>System Dynamics</i>	51
Quadro 08 – Objetivos políticos associados a estrutura tarifária	72
Quadro 09 – Abordagem metodológica de SODA e <i>System Dynamics</i>	81
Quadro 10 – Elementos primários considerados no mapa cognitivo	83
Quadro 11 – Etapas da <i>System Dynamics</i>	86
Quadro 12 – Amostra de municípios selecionados no SNIS	110
Quadro 13 – Variáveis referente custos com serviços de exploração, estrutura tarifária, desempenho de qualidade, operacional e variáveis de controle	112

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão de Águas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BHG	Bacia Hidrográfica do Rio Gramame
CAGEPA	Companhia de Água e esgoto da Paraíba
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DAI	Programa Doutorado Acadêmico para Inovação
DQO	Demanda química de Oxigênio
ETA Gramame	Estação Tratamento de Água de Gramame
IPCA	Índice de Preços ao Consumidor
LSB	Lei de Saneamento Básico Federal
MAPE	Erro Percentual Absoluto Médio
MMC	Milhões de metros cúbicos
MQO	Mínimos quadrados ordinários
ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONU	Organização das Nações Unidas
O&M	Custos de operação e manutenção
PDRH RG	Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PRISMA	Itens Preferenciais de Relatório para Revisões Sistemáticas e Meta-análises
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
RQ	Regressão quantílica
SD	<i>System Dynamics</i>
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SODA	<i>Strategic Options Development and Analysis</i>
WFD	<i>Water Framework Directive</i>
WWAP	<i>United Nations World Water Assessment Programme</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Retrato teórico da tese de doutorado	15
1.2	Estudos Empíricos	19
1.1.1	ESTUDO 01: Estrutura tarifária e gestão da água com apoio de uma abordagem multimetodológica.....	19
1.1.2	ESTUDO 02: Custos, estrutura tarifária e desempenho no setor de saneamento.....	21
1.3	Estrutura e síntese da tese de doutorado	23
2	REVISÃO DA LITERATURA	25
2.1	Pensamento Sistêmico	25
2.1.1	Origens do Pensamento Sistêmico	25
2.1.2	Definições do Pensamento Sistêmico.....	29
2.2	<i>System Dynamics</i>	33
2.2.1	Modelagem e simulação da <i>System Dynamics</i>	37
2.2.1.1	Diagrama de loop causal.....	38
2.2.1.2	Diagrama de estoques e fluxos	40
2.3	O setor de saneamento e a inovação	45
2.4	Objetivos do desenvolvimento sustentável e o acesso a água	50
2.5	Regulação da água	54
3	ESTUDO 01: ESTRUTURA TARIFÁRIA E GESTÃO DA ÁGUA COM APOIO DE UMA ABORDAGEM MULTIMETODOLÓGICA	60
3.1	Introdução	60
3.2	RSL para estrutura tarifária e gestão da água	63
3.2.1	Análise de similitudes e classificação hierárquica descendente nos <i>abstracts</i>	65
3.2.2	Objetivos políticos associados a estrutura tarifária	70
3.3	Caracterização geral da área de estudo	74
3.4	Metodologia	81
3.4.1	<i>Strategic options development and analysis</i> (SODA) e procedimentos da <i>System Dynamics</i> (SD).....	81
3.4.1.1	<i>Strategic options development and analysis</i> (SODA)	82

3.4.1.2 Procedimentos da <i>System Dynamics</i>	85
3.4.1.2.1 Abordagem da modelagem da <i>System Dynamics</i>	85
3.4.1.2.2 Hipótese dinâmica	87
3.4.1.2.3 Modelo de simulação: estoques e fluxos	88
3.4.1.2.4 Validação do modelo e análise dos cenários	93
3.5 Análise dos resultados	94
3.5.1 Simulação para ajuste de tarifa	94
3.5.2 Simulação para controle de perdas	97
3.5.3 Combinação de cenários e simulação de Monte Carlo.....	99
3.6 Conclusões do Estudo 01	102
4 ESTUDO 02: CUSTOS, ESTRUTURA TARIFÁRIA, E DESEMPENHO NO SETOR DE SANEAMENTO.....	104
4.1 Introdução.....	104
4.2 <i>Background</i> e hipóteses	106
4.3 Metodologia.....	109
4.3.1 População e amostra	109
4.3.2 Variáveis para estrutura tarifária, custos e desempenho.....	111
4.3.3 Tratamento dos dados e modelos inferenciais	116
4.4 Análise dos resultados	118
4.4.1 Análise descritiva	118
4.4.2 Análise inferencial.....	123
4.4.2.1 Custos e desempenho de qualidade	123
4.4.2.2 Estrutura tarifária e desempenho de qualidade e operacional	125
4.5 Conclusões do Estudo 02.....	130
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	132
REFERÊNCIAS	134
APÊNDICE A - Principais parâmetros do modelo proposto de <i>System Dynamics</i> para estrutura tarifária e gestão da água (ESTUDO 01).....	148
APÊNDICE B - Testes Estatísticos das Regressões Quantílicas (ESTUDO 02).....	152

1 INTRODUÇÃO

Nesta introdução são apresentados o retrato teórico da tese de doutorado, os elementos e fundamentos que foram considerados nos dois estudos empíricos e a estrutura da tese.

1.1 Retrato teórico da tese de doutorado

A Organização Mundial da Saúde estima que cerca de 780 milhões de pessoas em todo o mundo vivem sem acesso a melhores fontes de água. Esse realidade é evitável em países desenvolvidos onde há sistemas modernos de água encanada, tratamento, educação sobre higiene e lavagem das mãos, o que pode resultar em recursos econômicos e benefícios sociais, em particular benefícios para a saúde humana. Todavia, doenças associadas a condições precárias de água, saneamento e higiene representaram 6 a 7% da mortalidade em países menos desenvolvidos e continuam sendo um dos principais contribuintes para a carga ambiental de doenças em todo o mundo (WHITTINGTON, ET AL., 2009; JEULAND, ET AL., 2013; HOEKSTRA; BUURMAN; GINKEL, 2018).

O abastecimento limitado de água e sua procura crescente significam que a gestão eficaz da água se tornou muito mais importante agora do que no passado. Além disso, a estrutura tarifária passa a ser uma ferramenta poderosa que pode ser usada para promover uma série de objetivos econômicos, ambientais e sociopolíticos (JEULAND, ET AL., 2013; DONG; SCHOUPS; GIESEN, 2013; BABAMIRI; PISHVAEE; MIRZAMOHAMMADI, 2020; GHINIS; FOCHEZATTO; KUHN, 2020; MERCADIER; BRENNER, 2020; REVOLLO-FERNANDEZ, ET AL., 2020; LEE; POMEROY; BURIAN, 2021).

Pretende-se que estrutura tarifária atinja múltiplos objetivos, tais como estabilidade da receita líquida, aceitabilidade, equidade, simplicidade, eficiência econômica, sustentabilidade ambiental e saúde pública (BABAMIRI; PISHVAEE; MIRZAMOHAMMADI, 2020). Ou seja, uma avaliação abrangente da tarifa da água a nível nacional precisa satisfazer uma vasta gama de exigências dos decisores políticos. Isso se refere aos critérios de qualidade utilizados pelos decisores bem-intencionados para determinar a tarifa, devendo integrar toda a cadeia de valor, desde a captação, entrega, e consumo. Apesar das diferenças nos custos induzidos relacionados com vários padrões de utilização, a melhor política de tarifas tem que satisfazer requisitos políticos básicos (AL-SAIDI; DEHNAVI, 2019).

Quando é analisado o financiamento na área de saneamento, há consenso de que a recuperação total dos custos é o alvo ideal do ponto de vista da teoria econômica. Para ilustrar

isto, na Europa por exemplo, o Artigo 9º da Diretiva Quadro da Água, estabelece o princípio da recuperação dos custos dos serviços de água, incluindo os custos ambientais. Tendo em vista que, qualquer decisão que possa prejudicar o modelo de financiamento tarifário resultará inevitavelmente num declínio na qualidade do serviço prestado e num aumento dos riscos ambientais e de saúde pública como resultado da falta de manutenção e investimentos em infraestruturas (MERCADIER; BRENNER, 2020).

Esta definição é alinhada com o modelo de recuperação total de custos, que garante o bom funcionamento e a sustentabilidade das instalações, mas conduz a vários fracassos. Em muitos países em desenvolvimento, as populações são frequentemente privadas destes serviços essenciais e espera-se que financiem integralmente projetos no espaço de apenas alguns anos. E com isso apenas uma minoria de prestadores consegue realmente recuperar totalmente os custos provenientes das receitas tarifárias. Existe consenso sobre práticas desejáveis do ponto de vista da teoria econômica, mas estas práticas revelaram-se difíceis (ou inviáveis) de aplicar por diversas razões. Como resultado, modelos sustentáveis de recuperação de custos que leve em consideração o longo prazo foram estabelecidas na maioria dos casos (ROMANO; MASSERINI; GUERRINI, 2015; BABAMIRI; STEVOVIC; NESTOROVIC; LUTOVAC, 2018; MERCADIER; BRENNER, 2020; PISHVAEE; MIRZAMOHAMMADI, 2020; GHINIS; FOCHEZATTO; KUHN, 2020; MERCADIER; BRENNER, 2020; LEE.; POMEROY; BURIAN, 2021).

A literatura acadêmica ainda inclui uma série de estudos sobre práticas de tarifação e custos em diferentes partes do mundo indicando a relação com desempenho nas empresas de saneamento (AL-SAIDI; DEHNAVI, 2019). Os indicadores de desempenho constituem uma resposta às necessidades do setor, sendo uma das metodologias com maior credibilidade, permitindo a avaliação e gestão dos sistemas de abastecimento. Entre os vários objetivos e vantagens da utilização de indicadores de desempenho de acordo com a entidade a que se destinam, um deles é a possibilidade de ser utilizados para promover *benchmarking* entre diferentes concessionárias (MAZIOTIS; MOLINOS-SENANTE, SALA-GARRIDO, 2016).

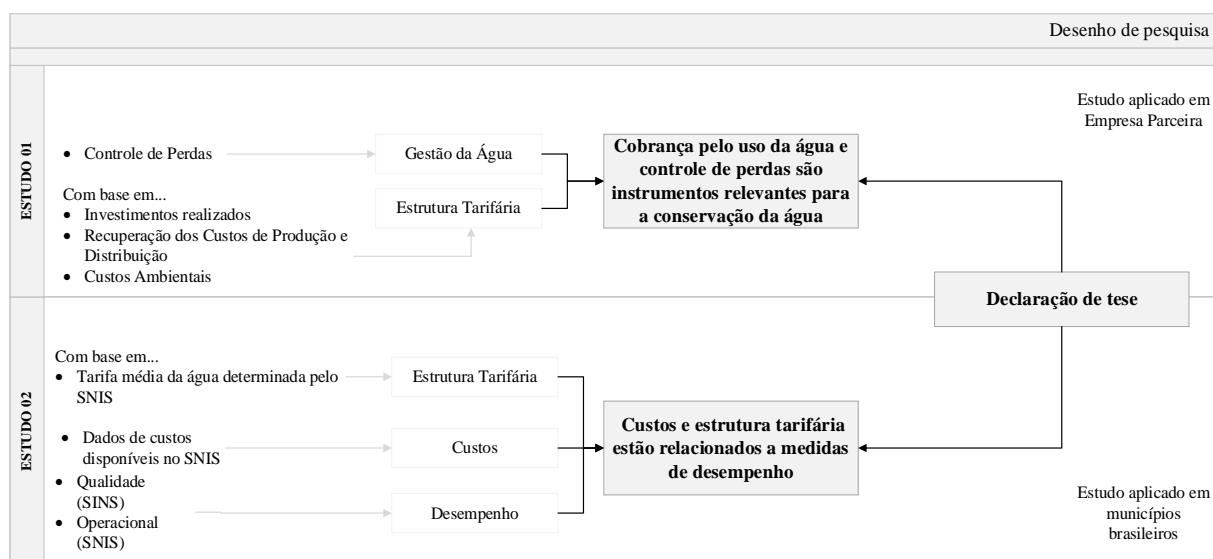
Nessa conjuntura, a gestão da água, estrutura tarifária, custos e desempenho têm sido colocada cada vez mais no topo das agendas políticas e de financiamento. Visto que, com intuito de cumprir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e o Novo Marco Regulatório do Saneamento Básico (Ortega; Neves, 2021) na próxima década serão exigidos recursos econômicos substanciais e soluções tecnológicas sustentáveis para não apenas fornecer saneamento básico para aqueles que carecem desses serviços, mas também garantir que sejam fornecidos: água potável segura, quantidades adequadas de água para saúde,

higiene, agricultura e o desenvolvimento de abordagens de saneamento sustentável para proteger o meio ambiente, tais fatores motivam estudos nesse tema.

Diante dos argumentos apresentados, **esta pesquisa teve como objetivo realizar uma discussão sobre estrutura tarifária e gestão da água com apoio de uma abordagem multimetodológica e verificar a relação de custos e estrutura tarifária em medidas de desempenho no setor de saneamento**. Para tanto, a declaração de tese é que a cobrança pelo uso da água e controle de perdas são instrumentos relevantes para a conservação da água, assim como custos e estrutura tarifária estão relacionados a medidas de desempenho.

Para o presente trabalho de tese foram desenvolvidos dois estudos empíricos (Quadro 01). O ESTUDO 01 aborda a gestão da água (com base em controle de perdas) e estrutura tarifária com base na recuperação dos custos de produção e distribuição, custos ambientais e investimentos realizados. Havendo como embasamento teórico o Pensamento Sistêmico e a regulação do setor. Para tanto, teve a contribuição direta da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA), tendo em vista ser uma Empresa Parceira do Doutorado Acadêmico para Inovação (DAI), programa pela qual a pesquisadora inseriu-se no Doutorado do PPGCC/UFPB. Vale destacar que o DAI visa fortalecer a pesquisa, o empreendedorismo e a inovação nas instituições de Ensino e Pesquisa, por meio do envolvimento de alunos de doutorado em projetos de interesse empresarial.

Quadro 01: Desenho de pesquisa para estrutura tarifária, gestão da água, custos e desempenho



Fonte: Elaboração Própria (2024).

Nota: SNIS é o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento.

O ESTUDO 02 engloba custos, estrutura tarifária e o desempenho, conforme aspectos da regulação, sendo que esta visa a qualidade dos serviços, garantindo o cumprimento das condições e metas estabelecidas nos contratos e nos planos de investimento, certificando que haja a sustentabilidade econômica e financeira (SAMPAIO; SAMPAIO, 2020; NARZETTI; MARQUES, 2021; GHINIS; FOCHEZATTO, 2021; ORTEGA; NEVES, 2021).

Sabendo-se que o setor de saneamento básico tem um papel imprescindível no bem-estar e na saúde humana, isso porque colabora na expectativa de vida da população, a relevância do estudo se deve ao fato de que estudos no tocante à gestão da água, medida pelo controle de perdas, e em especial à tarifa cobrada têm sido limitados pela falta de dados de custos precisos, isso tem como possível motivo a ausência do detalhadamente dos diversos dos custos de operação, de manutenção, ambientais e pelos investimentos realizados. Isso posto, pretendeu-se considerar uma perspectiva holística e de longo prazo em relação à recuperação de custos, em que possam ser mitigadas as dificuldades em realizar investimentos no setor de saneamento, além disso, abordando políticas tarifárias devido ao desafio de universalizar o serviço em um país com desigualdades econômicas e sociais. Bem como, pela necessidade de se identificar a relação dos custos e estrutura tarifária com medidas de desempenho aplicadas, por meio de indicadores de qualidade e operacionais.

A pesquisa contribui para a academia, ampliando o estado da arte, e tem implicações práticas, no contexto internacional e nacional, dos estudos que tratam do Pensamento Sistêmico e regulação da água. O primeiro pelo fato de que mesmo que a *System Dynamics* venha sendo usada nessa área por muitos anos, é geralmente trabalhada em apenas uma direção, não considerando *feedbacks* de sistema interno e externo, o que pode levar gestores ao erro e reduzir a adaptabilidade dos sistemas (DONG; SCHOUPS; GIESEN, 2013). Além disso, com a crescente exigência de abastecimento de água, tanto em países industrializados como em países em desenvolvimento, há necessidade de se implementar novas abordagens metodológicas de avaliação de tarifas e custos das empresas gestoras. Já o segundo, contribui por ampliar a compreensão sobre a forma com a água é regulada no Brasil, trazendo consigo um papel relevante na determinação de tarifas, custos e desempenho do setor.

A estratégia de acertar as tarifas para conseguir a recuperação dos custos (quando os custos já estão inflacionados devido à infra-estrutura deficiente e à pequena dimensão da rede) e melhorar o serviço prestado tem sido tentada sem grandes sucessos. Chegou o momento de o investimento público inicial na renovação das infraestruturas alcançar a recuperação de custos no setor, com tarifas acessíveis, como também, de sair do ciclo de baixo investimento e fraca cobrança de receitas (DAGDEVIREN, 2008).

1.2 Estudos Empíricos

Na sequência, são enfatizados brevemente os dois estudos empíricos realizados nesta tese e também os objetivos de pesquisa e as bases teóricas, as quais são exploradas com mais substância nas próximas seções. Assim, a discussão teórica, hipóteses, achados e contribuições serão apresentados individualmente em cada um dos dois estudos.

1.2.1 ESTUDO 01: Estrutura tarifária e gestão da água com apoio de uma abordagem multimetodológica

A água e sua gestão efetiva têm sido colocada cada vez mais no topo das agendas políticas e sua disponibilidade reconhecida como um direito humano fundamental pela Assembleia Geral das Nações Unidas. Isso posto, a necessidade de cuidar dos recursos globais de água doce e dos ecossistemas para alcançar o acesso universal e equitativo ao saneamento está embutida nas metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (DONG; SCHOUUPS; GIESEN, 2013; HØJBERG, ET AL., 2013; WEHN, MONTALVO, 2017).

Dong, Schouups e Giesen (2013) ao destacarem os objetivos da gestão da água enfatizam que se deve combinar a demanda pelo sistema socioeconômico com o abastecimento (quantidade e qualidade) do sistema hídrico por meio do controle e gestão administrativa (regulamentos/leis da água e infraestrutura), isso sem comprometer a sustentabilidade do ecossistema. Em essência, as mudanças nos sistemas de recursos hídricos são impulsionados por três subsistemas relacionados: as variáveis socioeconômicas, que incluem o crescimento populacional, o desenvolvimento econômico, a mudança tecnológica e as práticas de uso da água; o sistema climático, que tem impacto direto na disponibilidade e demanda de água por meio de mudanças na temperatura, precipitação e evaporação; e o sistema de gestão, como estratégia de alocação de água, padrões legislativos e intervenção política que desempenha papel relevante em influenciar os caminhos futuros.

Assim como Dong, Schouups e Giesen (2013), Wehn e Montalvo (2017) descrevem que na gestão da água há diversos desafios, e nas variadas áreas que estão inter-relacionadas, estes autores fazem a divisão em cinco subsistemas, a saber: (i) questões sociais, tais como crescimento populacional, urbanização, migração, mudança de estilos de vida, fornecimento de acesso à água, seja rural ou urbano, (ii) questões tecnológicas, como a captação de novas fontes de água doce, infraestrutura inteligente, tecnologias de eficiência de uso, reutilização e reciclagem de água, (iii) questões econômicas, como os serviços de ecossistemas,

fornecimento de energia, infraestrutura, e adaptação ao clima, (iv) questões ambientais, como risco de inundaçao, seca persistente, esgotamento das águas subterrâneas, produtividade agrícola e resiliência climática, poluição do ecossistema e gestão de resíduos, e (v) ainda as questões políticas, como a governança, modelos de propriedade de serviços públicos, vulnerabilidade do sistema e direitos da água (WEHN, MONTALVO, 2017).

A gestão da água deve ser baseada em abordagem integrada, considerando todo o ciclo da água doce. Ainda assim, mesmo que os estudos na área tenham desenvolvido modelos que geralmente melhoram a base técnica, alguns conflitos ocorrem em que modelos sobrepostos, construídos para propósitos idênticos, fornecem resultados distintos, levando a disputas sobre a validade dos diferentes modelos. As discrepâncias podem ser causadas por vários fatores, como diferenças em escalas e detalhes com base nas quais os modelos foram construídos, utilização de diferentes dados, aplicação de diferentes procedimentos de garantia de qualidade ou mesmo a construção de modelo com base em diferentes conceitos e compreensões do sistema físico (HØJBERG, ET AL., 2013).

Atenta-se que além da gestão da água, medida nesta pesquisa pelo controle de perdas, a cobrança também é um dos instrumentos de estratégia para o desenvolvimento de uma dada região (KAYAGA; SMOOT, 2014; FUENTE, 2019; SÁNCHEZ, ET AL. 2020; MIRZAMOHAMMADI, 2020; LEE, POMEROY, BURIAN, 2021). No Brasil, a cobrança é prevista na Lei n. 9.433/97, que instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos, e tem os objetivos de incentivar o uso racional e gerar recursos financeiros para investimentos na recuperação e na preservação dos recursos hídricos. Refere-se a um preço público unitário, fixado a partir de um acordo entre usuários, sociedade civil e poder público.

É uma realidade, não só no Brasil, que em geral os decisores políticos traduzem as preocupações tradicionais de equidade e justiça social numa política de fixação de tarifas que não reflete o verdadeiro valor financeiro do recurso, mas que está vinculado aos custos históricos de construção de sistemas de abastecimento de água. Isso pelo receio de definir tarifas de acordo com o mercado ou que reflita o custo total, porque isso poderia colocar a água, uma necessidade vital, fora do alcance das pessoas com baixos rendimentos (GHINIS; FOCHEZATTO; KUHN, 2020; MERCADIER; BRENNER, 2020; REVOLLO-FERNANDEZ, ET AL., 2020; LEE; POMEROY; BURIAN, 2021).

Nesse contexto, no Estudo 01, **o objetivo foi realizar uma discussão sobre estrutura tarifária e gestão da água com apoio de uma abordagem multimetodológica**. Havendo como objetivos específicos: (i) realizar simulações para ajuste de tarifa de água; e, (ii) realizar simulações para controle de perdas.

Foi aplicado o método *Strategic Options Development and Analysis* para desenvolver o mapa cognitivo e também *System Dynamic*, com base em Araújo, Esquerre, Sahin, (2019) e Araújo (2021). A modelagem de *System Dynamics* é uma abordagem para análise e desenho de políticas, pela qual aplica-se a problemas dinâmicos que surgem em diferentes sistemas complexos (que são caracterizados por interdependência, interação mútua, *feedback* de informação e causalidade circular). Esta abordagem é adequada para examinar sistemas complexos, tais como sistemas de saneamento básico (FORRESTER, 1961,1969; DONG; SCHOUUPS; GIESEN, 2011; BARATI, AZADI, SCHEFFRAN, 2019).

1.2.2 ESTUDO 02: Custos, estrutura tarifária e desempenho no setor de saneamento

A estrutura tarifária é enfatizada quando se incentiva o uso racional da água (ASCI; BORISOVA; DUKES, 2017; BABAMIRI; PISHVAEE; MIRZAMOHAMMADI, 2020; SAMPAIO; SAMPAIO, 2020; LEE; POMERO; BURIAN, 2021). Tendo em conta o princípio de que o cliente deve pagar, as empresas precisam observar os seguintes aspectos: (i) devem ser fortemente motivadas a serem eficientes e inovadores; (ii) estar cientes que há numa pressão contínua sobre os sistemas de água para a melhora na qualidade do serviço; (iii) garantir uma recuperação mais “justa” dos custos e dos investimentos (MAZIOTIS; MOLINOS-SENANTE, SALA-GARRIDO, 2016; WEHN, MONTALVO, 2017; AL-SAIDI; DEHNAVI, 2019; MERCADIER; BRENNER, 2020).

A análise dos custos e da estrutura das tarifas para as operadoras do setor de água no Brasil constitui um verdadeiro desafio. Estudando a estrutura tarifária nacional em geral, é possível perceber se existem desvios significativos em relação à média do país e se o aumento tarifário se deve ao acréscimo dos custos da energia, da água importada, do pessoal, dos serviços prestados por terceiros, produtos químicos, depreciação e amortização, entre outros (ÁRPÁD-ZOLTÁN; KINGA-ERZSÉBET; CAMELIA, 2017).

É muito importante que os custos gerados pelos serviços públicos, que são de utilidade pública, assim como o serviço de água, sejam permanentemente medidos e monitorados. Esse monitoramento e controle, se deve ao fato de que a maioria das empresas de saneamento estão com capital público, portanto utilizam indiretamente dinheiro público e operam em uma infraestrutura majoritariamente pública. O controle público pode ser alcançado por meio de indicadores de desempenho que são fiscalizados por essas empresas (ÁRPÁD-ZOLTÁN; KINGA-ERZSÉBET; CAMELIA, 2017).

A medição do desempenho exerce um papel importante na melhoria dos serviços de abastecimento de água no mundo desenvolvido. É uma prática padrão utilizada pelos reguladores do setor para avaliar a eficácia das políticas/reformas. Esta prática ganhou recentemente impulso nos países em desenvolvimento e está a ser adotada por uma série de associações de serviços de abastecimento de água, autoridades governamentais e agências reguladoras para melhorar a eficiência nas operações de abastecimento de água/prestação de serviços (NYATHIKALA; KULSHRESTHA, 2020). No conjunto de indicadores de desempenho normalmente estão incluídos indicadores na área técnica (operacional) e qualidade dos serviços prestados (WEHN, MONTALVO, 2017; ÁRPÁD-ZOLTÁN; KINGA-ERZSÉBET; CAMELIA, 2017; D'INVERNO; CAROSI; ROMANO, 2020).

Conforme as alterações regulamentares que ocorrem, as empresas têm de operar num quadro institucional novo e mais exigente. Como consequência direta, avaliações devem envolver diversas dimensões. Como exemplo, nos indicadores operacionais, que são há muito considerados nas medidas de desempenho das unidades avaliadas e disponíveis nos seus balanços (D'INVERNO; CAROSI; ROMANO, 2020).

Destaca-se que, enquanto no passado as empresas de abastecimento de água deveriam apenas assegurar a prestação de serviços e garantir a sua sustentabilidade econômica e financeira, hoje em dia também devem ser responsáveis do ponto de vista social e ambiental. Isto vem claramente à luz quando se observa a evolução do sistema regulador da água, tanto a nível nacional como internacional. A definição das melhores práticas auxilia as autoridades na definição de tarifas e padrões de qualidade, no monitoramento da prestação de serviços e na promoção de melhorias em diversas direções, como investimentos. Dessa forma, os reguladores na área de saneamento estão agora vinculando as tarifas à qualidade do serviço. (D'INVERNO; CAROSI; ROMANO, 2020).

À medida que a regulação das empresas do setor se consolida e estas constituem uma indústria tecnologicamente madura, as questões de qualidade de serviço também tornam-se mais importantes na avaliação do desempenho. Dependendo do objetivo principal do estudo, artigos anteriores consideraram diversas variáveis para introduzir a qualidade do serviço na avaliação do desempenho, tais como cobertura do serviço, percentagem de água tratada, continuidade do serviço, perdas de água, água não contabilizada, qualidade da água, entre outros (MAZIOTIS; MOLINOS-SENANTE, SALA-GARRIDO, 2016; ÁRPÁD-ZOLTÁN; KINGA-ERZSÉBET; CAMELIA, 2017; D'INVERNO; CAROSI; ROMANO, 2020).

Nessa conjuntura, no Estudo 02, **o objetivo foi verificar a relação de custos e estrutura tarifária em medidas de desempenho no setor de saneamento.** Os objetivos

específicos são os seguintes: (i) identificar custos no setor de saneamento; e, (ii) verificar o desempenho de qualidade e operacional em municípios brasileiros.

Existem razões para discutir sobre o assunto. É, portanto, cada vez mais relevante que as empresas de abastecimento de água adotem planos tarifários sólidos que lhes permitam fornecer serviços essenciais aos seus clientes de forma fiável. Isto exige que as empresas tenham acesso a conhecimentos especializados para compreender como as reformas tarifárias afetarão a utilização da água, os custos, as receitas e as necessidades de investimento de capital, e como estas, por sua vez, podem ser afetadas pelos múltiplos critérios de desempenho (que nesta pesquisa é representado por medidas de qualidade e operacional). Esta capacidade de modelar cuidadosamente todo o conjunto de consequências de um processo de reforma tarifária não está atualmente bem desenvolvida nem nas próprias empresas nem na comunidade de consultores que as apoiam (NAUGES; WHITTINGTO, 2016).

1.3 Estrutura e síntese da trajetória da tese de doutorado

Esta tese está dividida conforme Quadro 02. Nesta seção introdutória, são apresentados o retrato teórico e os dois estudos empíricos. É importante mencionar que cada uma das pesquisas possuem um objetivo particular para abordar uma questão específica. Portanto, é descrito um panorama de como os dois estudos são, ao mesmo tempo, independentes e conectados entre si pela discussão em torno de tarifas e custos no setor.

Em seguida, é enfatizada a revisão de literatura onde são discutidos os seguintes elementos: os conceitos do pensamento sistêmico, da *System Dynamics*, os diversos aspectos do saneamento e a inovação, as determinações dos objetivos de desenvolvimento sustentável e o acesso a água e por fim a regulação da água. Esta revisão baseia-se principalmente na literatura internacional, considerando artigos publicados em periódicos de alto nível.

Os estudos empíricos são apresentados em seguida. Cada um desses artigos está dividido nas subseções: (i) introdução, (ii) base teórica, (iii) metodologia (iv) análise de dados (v) e conclusões. No primeiro artigo foi realizada uma discussão sobre estrutura tarifária e instrumentos da gestão da água, com uso da *Strategic Options Development and Analysis* e *System Dynamics*. O segundo artigo, verificou-se a relação entre custos, estrutura tarifária e medidas de desempenho de qualidade e operacional. Por fim, são enfatizadas as considerações finais, indicando as contribuições para a comunidade acadêmica e profissionais da área.

Quadro 02: Síntese da trajetória da pesquisa de estrutura tarifária, gestão da água, custos e desempenho

Síntese e Trajetória da Pesquisa																					
Introdução	<p>A pesquisa teve como objetivo realizar uma discussão sobre estrutura tarifária e gestão da água com apoio de uma abordagem multimetodológica e verificar a relação de custos e estrutura tarifária em medidas de desempenho no setor de saneamento.</p> <p>Declaração de Tese: Cobrança pelo uso da água e controle de perdas são instrumentos relevantes para a conservação da água, assim como custos e estrutura tarifária estão relacionados a medidas de desempenho.</p> <p>Devido à complexidade do assunto, foram desenvolvidos dois estudos empíricos:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: 45%;"> <p>ESTUDO 01 Objetivo</p> <p>Realizar uma discussão sobre estrutura tarifária e gestão da água com apoio de uma abordagem multimetodológica.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Realizar simulações para ajuste de tarifa de água; - Realizar simulações para controle de perdas. </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: 45%;"> <p>ESTUDO 02 Objetivo</p> <p>Verificar a relação de custos e estrutura tarifária em medidas de desempenho.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identificar custos no setor de saneamento; - Verificar o desempenho de qualidade e operacional em municípios brasileiros. </div> </div>																				
Revisão de Literatura	<p>Trajetória Epistemológica Pensamento sistêmico; Regulação da água.</p> <p>Revisão da Literatura - <i>System Dynamics</i>; - ODS e a Regulação da água/Inovação para o setor.</p>																				
Estudos Empíricos	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 5px;">ESTUDO 01</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">ESTUDO 02</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;">Introdução.</td> <td style="padding: 5px;">Introdução.</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Base Teórica</td> <td style="padding: 5px;">Base Teórica</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"> Pensamento Teórico: Araújo (2021), Araújo, Esquerre e Sahin (2019), Romano, Masserini e Guerrini (2015), Sterman JD (2000); Senge PM (1990); Sterman JD (1989; 1986; 1985); Forrest JW (1989; 1973; 1969; 1968; 1961; 1956). RSL para estrutura tarifária e gestão da água.</td> <td style="padding: 5px;"> Pensamento Teórico: Tourinho et al., (2021); Sampaio e Sampaio (2020); Mercadier, Brenner, (2020); Maziotis et al., 2020). Definição de hipóteses de pesquisa.</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Metodologia</td> <td style="padding: 5px;">Metodologia</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"> Empresa Parceira: CAGEPA. (Bacia Hidrográfica de Gramame). Método abordado: <i>Strategic Options Development and Analysis (SODA)</i> e <i>System Dynamics (SD)</i>. Dados: AESA, SINS e reuniões com especialistas. Período de simulação: 2013 a 2022. </td> <td style="padding: 5px;"> População: Municípios brasileiros. Amostra: 1.526 municípios. Dados: SINS. Período de coleta de dados: 1999 a 2020. Constructo: Custos, Tarifação e variáveis de desempenho de qualidade, operacional e de controle. </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Procedimentos da System Dynamics</td> <td style="padding: 5px;">Análise Inferencial</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"> Articulação do Problema; Definição de hipóteses dinâmicas; Apresentação do modelo de simulação com fluxos e estoques e as devidas equações; Realização de testes do modelo com análise de sensibilidade (Monte Carlo), com as apresentações dos gráficos; e desenho de políticas. <i>Softwate:</i> Vensim, versão 9.3.3. </td> <td style="padding: 5px;"> Foi utilizado o modelo de Regressão Quantílica, com dados em painel; Estatísticas descritivas (média, mediana, desvio padrão); outros testes estatísticos; e análise de regressões. <i>Softwate:</i> Stata 17. </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Análise dos Resultados e Discussões</td> <td style="padding: 5px;">Análise dos Resultados e Discussões</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"> Análises preliminares do modelo de simulação de <i>System Dynamics</i> para a empresa parceira e discussão dos resultados obtidos com base em hipótese dinâmica. </td> <td style="padding: 5px;"> Análises de estatísticas descritivas e inferencial para empresas de saneamento do Brasil e discussão dos resultados obtidos com base nas hipóteses de pesquisa. </td> </tr> </tbody> </table>	ESTUDO 01	ESTUDO 02	Introdução.	Introdução.	Base Teórica	Base Teórica	Pensamento Teórico: Araújo (2021), Araújo, Esquerre e Sahin (2019), Romano, Masserini e Guerrini (2015), Sterman JD (2000); Senge PM (1990); Sterman JD (1989; 1986; 1985); Forrest JW (1989; 1973; 1969; 1968; 1961; 1956). RSL para estrutura tarifária e gestão da água.	Pensamento Teórico: Tourinho et al., (2021); Sampaio e Sampaio (2020); Mercadier, Brenner, (2020); Maziotis et al., 2020). Definição de hipóteses de pesquisa.	Metodologia	Metodologia	Empresa Parceira: CAGEPA. (Bacia Hidrográfica de Gramame). Método abordado: <i>Strategic Options Development and Analysis (SODA)</i> e <i>System Dynamics (SD)</i> . Dados: AESA, SINS e reuniões com especialistas. Período de simulação: 2013 a 2022.	População: Municípios brasileiros. Amostra: 1.526 municípios. Dados: SINS. Período de coleta de dados: 1999 a 2020. Constructo: Custos, Tarifação e variáveis de desempenho de qualidade, operacional e de controle.	Procedimentos da System Dynamics	Análise Inferencial	Articulação do Problema; Definição de hipóteses dinâmicas; Apresentação do modelo de simulação com fluxos e estoques e as devidas equações; Realização de testes do modelo com análise de sensibilidade (Monte Carlo), com as apresentações dos gráficos; e desenho de políticas. <i>Softwate:</i> Vensim, versão 9.3.3.	Foi utilizado o modelo de Regressão Quantílica, com dados em painel; Estatísticas descritivas (média, mediana, desvio padrão); outros testes estatísticos; e análise de regressões. <i>Softwate:</i> Stata 17.	Análise dos Resultados e Discussões	Análise dos Resultados e Discussões	Análises preliminares do modelo de simulação de <i>System Dynamics</i> para a empresa parceira e discussão dos resultados obtidos com base em hipótese dinâmica.	Análises de estatísticas descritivas e inferencial para empresas de saneamento do Brasil e discussão dos resultados obtidos com base nas hipóteses de pesquisa.
ESTUDO 01	ESTUDO 02																				
Introdução.	Introdução.																				
Base Teórica	Base Teórica																				
Pensamento Teórico: Araújo (2021), Araújo, Esquerre e Sahin (2019), Romano, Masserini e Guerrini (2015), Sterman JD (2000); Senge PM (1990); Sterman JD (1989; 1986; 1985); Forrest JW (1989; 1973; 1969; 1968; 1961; 1956). RSL para estrutura tarifária e gestão da água.	Pensamento Teórico: Tourinho et al., (2021); Sampaio e Sampaio (2020); Mercadier, Brenner, (2020); Maziotis et al., 2020). Definição de hipóteses de pesquisa.																				
Metodologia	Metodologia																				
Empresa Parceira: CAGEPA. (Bacia Hidrográfica de Gramame). Método abordado: <i>Strategic Options Development and Analysis (SODA)</i> e <i>System Dynamics (SD)</i> . Dados: AESA, SINS e reuniões com especialistas. Período de simulação: 2013 a 2022.	População: Municípios brasileiros. Amostra: 1.526 municípios. Dados: SINS. Período de coleta de dados: 1999 a 2020. Constructo: Custos, Tarifação e variáveis de desempenho de qualidade, operacional e de controle.																				
Procedimentos da System Dynamics	Análise Inferencial																				
Articulação do Problema; Definição de hipóteses dinâmicas; Apresentação do modelo de simulação com fluxos e estoques e as devidas equações; Realização de testes do modelo com análise de sensibilidade (Monte Carlo), com as apresentações dos gráficos; e desenho de políticas. <i>Softwate:</i> Vensim, versão 9.3.3.	Foi utilizado o modelo de Regressão Quantílica, com dados em painel; Estatísticas descritivas (média, mediana, desvio padrão); outros testes estatísticos; e análise de regressões. <i>Softwate:</i> Stata 17.																				
Análise dos Resultados e Discussões	Análise dos Resultados e Discussões																				
Análises preliminares do modelo de simulação de <i>System Dynamics</i> para a empresa parceira e discussão dos resultados obtidos com base em hipótese dinâmica.	Análises de estatísticas descritivas e inferencial para empresas de saneamento do Brasil e discussão dos resultados obtidos com base nas hipóteses de pesquisa.																				
Conclusões e Recomendações																					

Fonte: Elaboração própria (2024).

2. REVISÃO DE LITERATURA

Nesta revisão de literatura são abordadas discussões que fornecem maiores informações sobre o tema, o que é vital para a interpretação do retrato teórico da tese. Diante disso, os principais conceitos do pensamento sistêmico e da *System Dynamics* são enfatizados, os aspectos do saneamento e a inovação, as determinações dos objetivos de desenvolvimento sustentável e o acesso a água, e por fim a regulação da água são apresentados.

2.4 Pensamento Sistêmico

2.4.1 Origens do Pensamento Sistêmico

O Pensamento Sistêmico consiste na habilidade de compreender sistemas de acordo com a abordagem da Teoria Geral de Sistemas, sendo formado a partir do conhecimento e das características dos sistemas (Figura 01). Os conceitos fundamentais do pensamento sistêmico foram desenvolvidos na década de 1920 em três campos: biologia, psicologia da Gestalt (enfatiza a percepção e a sensação do movimento, os processos psicológicos envolvidos diante de um estímulo e como este é percebido pelo sujeito) e ecologia. Nesses campos, os cientistas exploraram sistemas vivos, ou seja, totalidades integradas cujas propriedades não podem ser reduzidas às de partes menores, onde “tudo e todos estão interconectados, interdependentes e inter-relacionados” (CAPRA, 1997; TASCA, ET AL., 2020).

O Pensamento Sistêmico mostra o sentido das inter-relações entre os componentes do sistema para entender o que impulsiona o comportamento dinâmico, ou seja, as mudanças nas variáveis de estoque e fluxo ou mesmo da estrutura ou propósito de o sistema ao longo do tempo. Um dos princípios fundamentais de pensamento do sistema é que o comportamento do sistema está latente em sua estrutura, ou seja, é por meio da estrutura de interconexões entre seus elementos que os sistemas produzem seu próprio comportamento ao longo do tempo, e que a função ou propósito real do sistema passa a existir (SEDLACKO, ET AL., 2014).

A aplicação deste conceito foi reconhecida por Von Bertalanffy (1950) no qual ele propôs princípios que considerou válidos para todos os sistemas. Nas décadas seguintes, a Teoria Geral dos Sistemas foi aprimorada para lidar com a enorme complexidade dos sistemas vivos, que foram reconhecidos como sistemas abertos por Prigogine (1967) em sua Teoria Das Estruturas Dissipativas. Prigogine (1967) ficou intrigado com o fato de que organismos vivos eram capazes de manter seus processos vitais em condições distantes do equilíbrio. Esse

estado era estável e poderia até mesmo evoluir quando o fluxo de energia e matéria por meio deles aumentasse, passando por processos de instabilidade e transformando em novas estruturas (estruturas dissipativas) (TASCA, ET AL., 2020).

Como o Pensamento Sistêmico é considerado em termos de relacionamentos, uma mudança das partes para o todo é necessária e requer uma mudança de foco dos objetos para os relacionamentos. Relacionamentos não podem ser medidos e pesados; relacionamentos precisam ser mapeados. O mapeamento de relacionamento permite encontrar determinadas configurações que ocorrem repetidamente, ou seja, com base em padrões. Portanto, o estudo de relacionamentos leva ao estudo de padrões (TASCA, ET AL., 2020).

Nessa perspectiva, uma contribuição é dada por Varela et al. (1974), que descreveu que a chave para a compreensão desses processos está em compreender a organização da vida. Eles descreveram o padrão de organização de um sistema vivo como uma rede de relacionamentos em que a função de cada componente deve transformar e substituir outros componentes da rede, sendo essa a Teoria da Autopoiese (autoprodução).

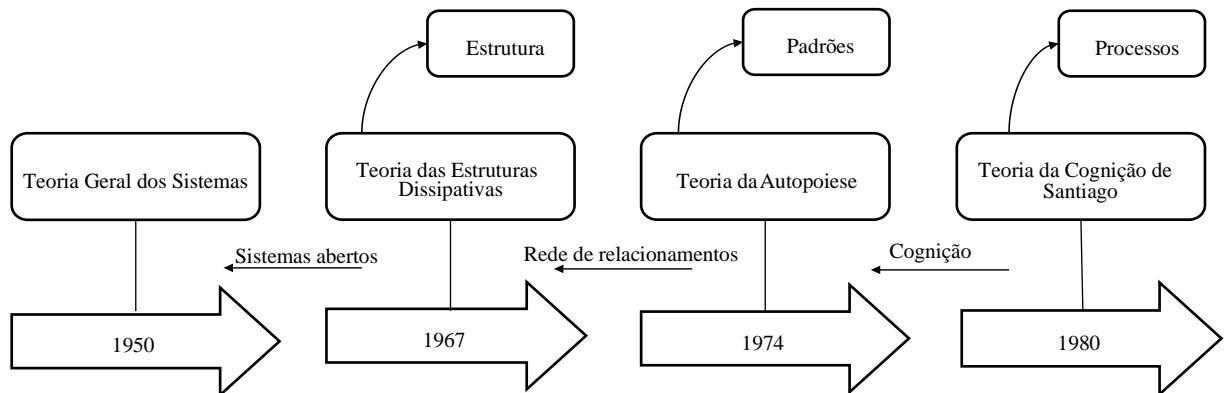
Caracterizado como uma rede fechada de produções moleculares (processos), designa a capacidade dos seres vivos de produzirem a si próprios, a ideia básica é um sistema organizado auto-suficiente, mais especificamente: um sistema opera a partir de e por meio de suas próprias estruturas; por não operar além de suas estruturas, caracteriza-se como uma unidade autônoma em seu operar; existe, um fechamento operacional que se refere às operações estabelecidas internamente; isto é, são os processos do sistema como unidade que interagem entre si, constituindo os limites de interação e os limites do sistema; um sistema deve ser visto como dinâmico e que designa este a operar por si mesmo; um sistema se autoproduz, produz a si como unidade, bem como se auto-repara, se auto-reestrutura, se auto-transforma e se auto-adapta (VARELA, ET AL., 1974; TASCA, ET AL., 2020).

De acordo com Tasca, et al. (2020), a autopoiese diz respeito à organização dos sistemas vivos (um padrão visual), mas não fornece informações sobre as características físicas de seus componentes. Para isso, o estudo da estrutura dos sistemas é necessário e envolve a descrição de seus componentes físicos; ou seja, o padrão de organização só pode ser reconhecido se estiver incorporado a estrutura física. Ao mesmo tempo a compreensão da estrutura viva é necessária para compreender os processos contínuos que ocorrem no sistema. Portanto, o critério do processo de vida é o elo entre padrões e a estrutura.

Já na Teoria da Cognição de Santiago, a cognição é a capacidade de se adaptar a um ambiente que envolve processos de percepção, emoção e comportamento. A interação contínua entre o sistema e seu ambiente pode desencadear perturbações e o sistema usa esses

processos para se adaptar a eles (MATURANA; VARELA, 1980). Essas contribuições constituem o principal axioma do Pensamento Sistêmico, no qual o comportamento do sistema está latente em sua estrutura; ou seja, é por meio da estrutura de interconexões entre seus elementos que os sistemas produzem seus próprios comportamentos ao longo do tempo e que a função ou propósito real do sistema passa a existir (TASCA, ET AL, 2020).

Figura 01: Linha do tempo da formulação do pensamento sistêmico e contribuições para a teoria



Fonte: Tasca, et al. (2020).

Além de o Pensamento Sistêmico encontrar raízes na Biologia, também ocorreu em uma série de disciplinas, tais como; filosofia, comunicação e engenharia de controle, entre outros. Para ratificar essa afirmação, Spruill, Kenney, Kaplan (2003) ao revisar as teorias do Pensamento Sistêmico destacam que em sua maior parte surgem da matemática, no entanto a sua aplicação e o seu progresso podem ser notados em uma variedade de disciplinas, começando da medicina, engenharia, psicologia e estudos políticos. Assim, o Pensamento Sistêmico nas raízes de seu nascimento pode ser chamado de ciência integrada, que possibilita a percepção da realidade de muitos pontos distintos.

Destaca-se que as principais ferramentas da “era da máquina” foram o reducionismo e mecanização, nas quais as propriedades do todo podem ser reduzidas às propriedades das suas partes (STERMAN, 2000). Ou seja, do ponto de vista clássico, um sistema é uma combinação de dois ou mais elementos quando cada elemento do todo influencia o comportamento de outros elementos e o comportamento de cada elemento influencia o comportamento do todo (VON BERTALANFFY, 1972; FORRESTER, 1975). A análise tradicional concentra-se em separar as partes individuais do que está sendo estudado.

Já o Pensamento Sistêmico, ao contrário da análise tradicional, concentra-se em como o que está sendo estudado interage com os outros constituintes do sistema - um conjunto de elementos que interagem para produzir comportamento - do qual faz parte. Portanto, os

sistemas não podem ser suficientemente compreendidos como partes compartmentadas, conforme assumido na tradição científica clássica do reducionismo (VON BERTALANFFY, 1972; RICHMOND, 2001; SKARZ'AUSKIENE, 2010; SEDLACKO, ET AL., 2014).

Richmond (2001) com intuito de enfatizar uma comparação entre o pensamento tradicional e o sistêmico, identificou, no Quadro 03, sete habilidades de pensamento crítico, que desempenham um papel importante na melhoria da qualidade do nosso pensamento, na qual cada uma dessas habilidades de pensamento crítico serve a um propósito diferente e traz algo único para uma análise de Pensamento Sistêmico.

Quadro 03: Comparação entre o pensamento tradicional e o pensamento sistêmico

Habilidades do Pensamento Sistêmico	Habilidades de Pensamento Tradicionais
Pensamento dinâmico: enquadra problema em termos de padrão de comportamento ao longo do tempo	Pensamento estático: focando em eventos particulares
Pensamento de sistema como causa: atribuindo a responsabilidade por um comportamento aos atores internos que gerenciam as políticas do sistema	Pensamento de sistema como efeito: ver o comportamento gerado por um sistema como impulsionado por forças externas
Pensamento florestal: acreditar que, para saber algo, é preciso entender o contexto das relações	Pensamento árvore por árvore: acreditar que realmente saber algo significa focar nos detalhes
Pensamento operacional: concentrar-se em chegar à causalidade e compreender como um comportamento é realmente gerado	Fatores de pensamento: listando os fatores que influenciam ou estão correlacionados com algum resultado
Pensamento em circuito fechado: ver a causalidade como um processo contínuo com o "efeito" realimentando para influenciar as causas, e as causas afetando umas às outras	Pensamento em linha reta: ver a causalidade como uma direção, com cada causa independente de todas as outras causas
Pensamento quantitativo: aceitar que sempre se pode quantificar, mas nem sempre medir	Pensamento de medição: buscando dados perfeitamente medidos
Pensamento científico: reconhecendo que todos os modelos são hipóteses de trabalho que sempre têm aplicabilidade limitada	Pensamento da verdade comprovada: buscando provar que os modelos são verdadeiros, validando com dados históricos

Fonte: Richmond (2001).

De acordo com essa visão, as organizações são sistemas abertos complexos, enfatizando a realidade interconectada entre as organizações e seus sistemas e subsistemas internos e externos, que são todos parte de um ecossistema social maior. Portanto, cada organização deve ser entendida como um todo e os relacionamentos entre as diferentes partes

e pessoas dentro dela definem a identidade e a cultura da organização. Esse Pensamento Sistêmico aberto e ecológico não imagina as organizações como algo controlável e pode estar sujeito à cultura, estrutura e sistemas organizacionais subscritos. Em outras palavras, não existe uma abordagem única para todos que possa ajudar uma organização a ser uma organização ativa e eficaz. Em vez disso, existem muitas maneiras de as organizações serem bem-sucedidas e serão individualmente exclusivas, dependendo da situação de cada organização (SENGE, 2006; WHITEHEAD; SCHERER; SMITH, 2014).

Assim, ao pensar em sistemas, deve-se considerar os aspectos mais amplos possíveis de um sistema com o objetivo de inovar na mudança e se concentrar nas soluções ideais que atinjam os objetivos do sistema. Na perspectiva da abordagem de sistemas, por exemplo, que comprehende as metodologias e ferramentas que mais obviamente se manifestam na análise de sistemas, projeto de sistemas e engenharia de sistemas, a pesquisa em ciência de sistemas têm pouco valor se não forem baseadas em uma base de Pensamento Sistêmico. Condições necessárias e suficientes para sistemas bem-sucedidos, portanto, são ter uma metodologia de abordagem de sistemas apoiada por uma perspectiva de Pensamento Sistêmico (WHITEHEAD; SCHERER; SMITH, 2014).

2.4.2 Definições do Pensamento Sistêmico

Na teoria dos sistemas é possível integrar, na estrutura da teoria e postulados dos sistemas, as descobertas e observações das várias áreas multidisciplinares. Nesse contexto, ao contrário da abordagem reducionista, o Pensamento Sistêmico concentra-se em como algo que está sendo estudado interage com os outros constituintes do sistema - um conjunto de elementos que interagem para produzir comportamento - do qual faz parte. Portanto, em vez de isolar partes menores de um sistema, o Pensamento Sistêmico envolve uma visão mais ampla, observando um número maior de interações, e criando dessa forma um melhor entendimento do quadro geral (RICHMOND, 2001; CABRERA; COLOSI; LOBDELL, 2008; WHITEHEAD; SCHERER; SMITH, 2014).

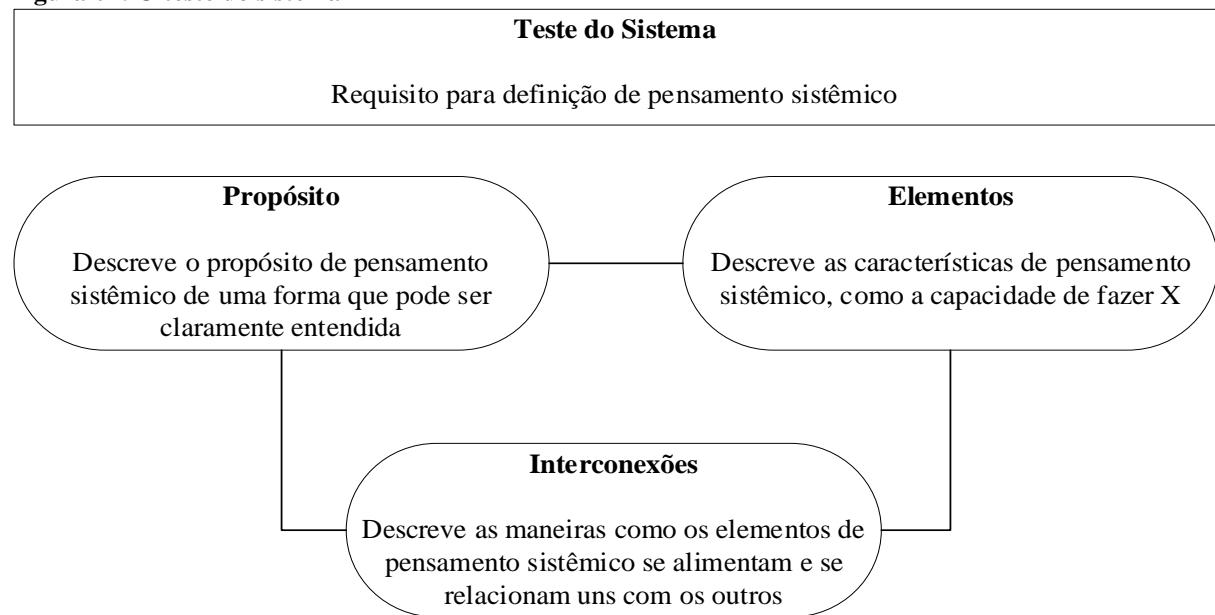
Pensar em sistemas é um processo *ad hoc*, basicamente informal que cada um faz diariamente. Em contraste, o pensamento sistêmico é um esforço cognitivo mais formal, abstrato e estruturado. Embora nem todos os sistemas sejam complexos, todo pensamento é complexo e, como tal, o processo de pensar de forma sistêmica é complexo. O Pensamento Sistêmico se baseia em padrões contextuais de organização, em vez de conteúdo específico.

Por exemplo, o Pensamento Sistêmico equilibra o foco entre o todo e suas partes e leva em consideração múltiplas perspectivas (CABRERA; COLOSI; LOBDELL, 2008).

Conforme Arnold e Wade (2015) definições diferentes de Pensamento Sistêmico podem ser encontradas em toda a comunidade de sistemas (Forrester, 1961; Senge, 1990; Richmond, 1994), mas os principais componentes de uma definição singular podem ser destilados da literatura. Os autores consideraram esses componentes tanto individual quanto holisticamente e, em seguida, propôs uma nova definição de pensamento sistêmico que integra esses componentes como um sistema. A definição foi testada quanto à fidelidade em um Teste de Sistema e em três arquétipos de sistema amplamente aceitos.

Como descrito na Figura 02, a definição de Pensamento Sistêmico deve conter três arquétipos, a saber; elementos (que se manifestarão como características do pensamento sistêmico), interconexões (pela qual os elementos ou características se alimentam e se relacionam) e um propósito (em que deve descrever o propósito do Pensamento Sistêmico de uma forma que possa ser claramente entendida e relacionada à vida cotidiana). Um requisito para uma definição completa do Pensamento Sistêmico deve ser que ela defina o último como um sistema orientado ao propósito, que notadamente é a mais crucial no comportamento do sistema (ARNOLD; WADE, 2015).

Figura 02: O teste do sistema



Fonte: Adaptado de Arnold e Wade (2015).

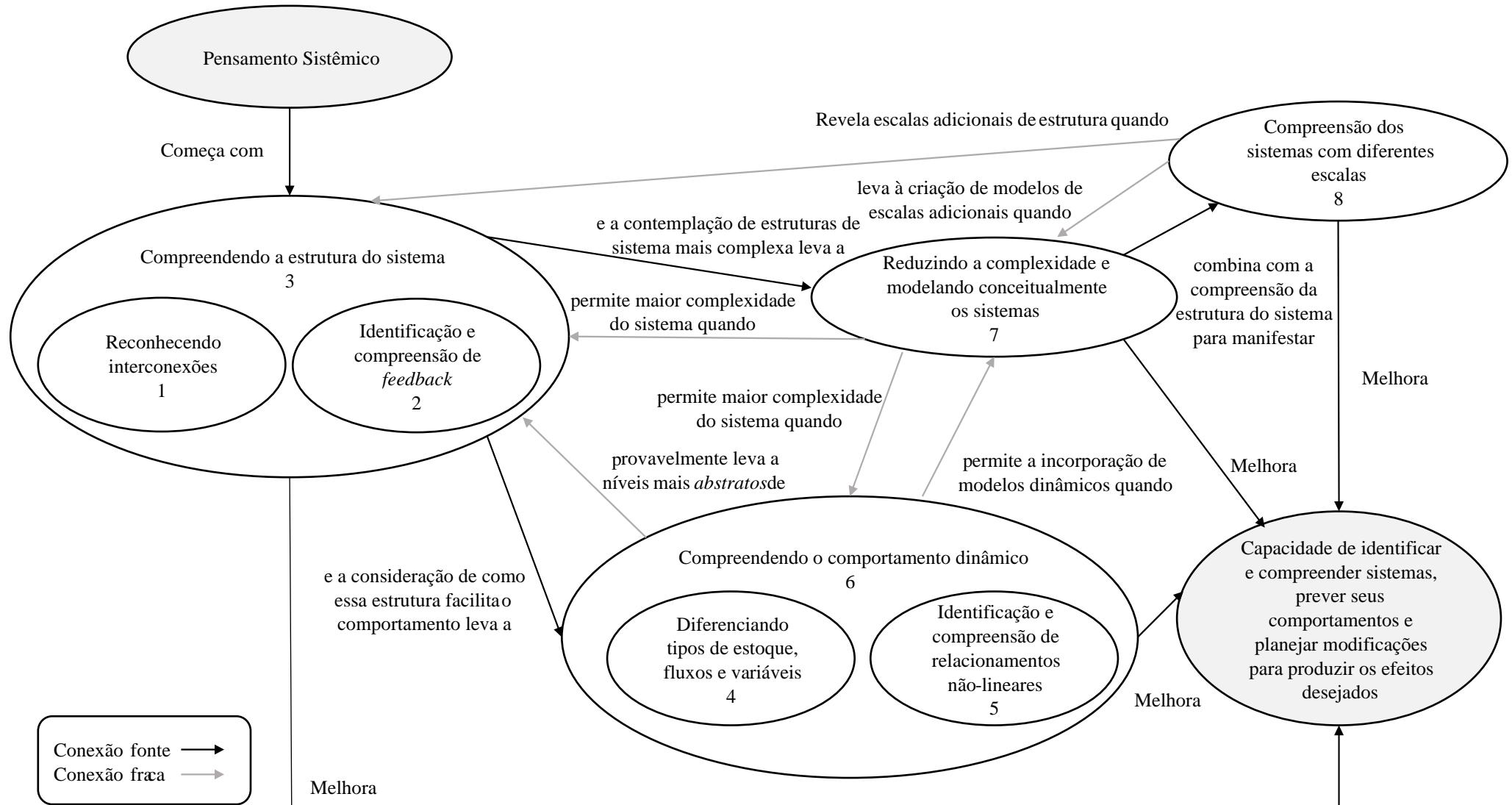
Arnold e Wade (2015) definem o Pensamento Sistêmico como um sistema, identificando seu propósito e, em seguida, elaborando seus elementos e as interconexões entre esses elementos. Para os autores, a ideia de definir um sistema por seu propósito é onipresente e pode ser encontrada em uma miríade de sistemas ao nosso redor, por exemplo, em um sistema de tratamento de água, um sistema de aquecimento doméstico, um sistema de energia ou um sistema de transporte, todos esses sistemas são nomeados de acordo com sua finalidade. Sem propósito, não há sistema; tornando o debate a identificação de componentes necessários (e inter-relações entre eles) e processos dentro do sistema. A capacidade de alterar os requisitos do sistema permite melhorar os processos do sistema (DEMING, 1994).

Assim, é apresentada a seguinte definição por Arnold e Wade (2015): o Pensamento Sistêmico é um conjunto de habilidades analíticas sinérgicas usadas para melhorar a capacidade de identificar e compreender sistemas, prever seus comportamentos e planejar modificações para produzir os efeitos desejados. Essas habilidades funcionam juntas como um sistema. Nesse aspecto, é apresentado o propósito do pensamento sistêmico (Figura 03), com o conteúdo dos elementos e interconexões.

Arnold e Wade (2015) afirmam que o sistema de Pensamento Sistêmico, opera como uma série de ciclos de *feedback* contínuos. Ou seja, à medida que cada um dos elementos melhora e, por sua vez, melhora os elementos conectados, o próprio pensamento sistêmico melhora continuamente. Os elementos são enfatizados da seguinte forma:

- 1. Reconhecendo interconexões: capacidade de identificar as principais conexões entre as partes de um sistema;
- 2. Identificação e compreensão do *feedback*: requer a identificação desses loops de *feedback* e a compreensão de como eles afetam o comportamento do sistema;
- 3. Compreendendo a estrutura do sistema: consiste em elementos e interconexões entre esses elementos;
- 4. Diferenciando tipos de estoque, fluxos, variáveis: reconhecer como eles operam é uma habilidade crítica do pensamento sistêmico;
- 5. Identificação e compreensão de relacionamentos não-lineares: em que, este elemento refere-se a estoques e fluxos de natureza não linear. É possível agrupar este elemento diferenciando tipos de estoque, fluxos e variáveis;

Figura 03: Sistema de Pensamento Sistêmico



Fonte: Adaptado de Arnold e Wade (2015).

- 6. Compreendendo o comportamento dinâmico: nas interconexões, diferenciar tipos de estoques, fluxos e variáveis, bem como identificar e entender relações não lineares, são chaves para entender o comportamento dinâmico;
- 7. Reduzindo a complexidade e modelando conceitualmente os sistemas: este elemento é a capacidade de modelar conceitualmente diferentes partes de um sistema e visualizar um sistema de maneiras diferentes. Essa habilidade pode ser vista como a capacidade de olhar para um sistema de maneiras diferentes que eliminam o excesso e reduzem a complexidade;
- 8. Compreendendo os sistemas em diferentes escalas: envolve a capacidade de reconhecer diferentes escalas de sistemas, e sistemas de sistemas.

Burgess, Horbatuck e Beruvides (2019) evidenciam as abordagens de gestão da água destacando a importância dos sistemas. É descrito que o sistema é composto de partes que devem estar todas presentes para que cumpra sua finalidade de forma otimizada, os componentes de um sistema devem ser organizados de uma maneira específica para cumprir sua finalidade, os sistemas têm finalidades específicas dentro de sistemas maiores; os sistemas mantêm sua estabilidade por meio de flutuações e ajustes e os sistemas têm *feedback* (ANDERSON; JOHNSON, 1997). Nesse contexto, governança e financiamento adequados para apoiar a gestão do sistema ajuda a aperfeiçoar o sistema permitindo melhorias na gestão de operações e otimização do sistema (HORBATUCK ET AL, 2018).

Diante dos argumentos apresentados se faz necessário trazer de volta o Pensamento Sistêmico para o planejamento e gestão da água, devido à crescente complexidade, escopo e urgência das questões ambientais. No entanto, a Teoria Geral dos Sistemas é mais do que apenas uma coleção de teorias; é também uma filosofia subjacente, servindo como uma ponte para o diálogo interdisciplinar entre áreas autônomas de estudo. Essa filosofia traz o papel da estrutura na construção das condições adversas encontradas, reconhecendo a existência de leis poderosas, mas desconhecidas, que atuam na sensibilização das ações humanas para a circularidade da natureza no mundo (TASCA, ET AL, 2020).

2.5 *System Dynamics*

Os princípios da *System Dynamics* foram desenvolvidos em 1956 no *Massachusetts Institute of Technology* por Forrester (1961). Ele apresentou suas ideias em *Industrial Dynamics*, que por sua vez foi um grande avanço para os tomadores de decisões. As

aplicações do método se espalharam pela área das ciências sociais e, como consequência, Forrester renomeou a técnica como *System Dynamics*. Ele a considerou como reflexo de uma aplicabilidade universal a qualquer situação que pode ser modelada como um "sistema", que combina pessoas e/ou máquinas. Desde essa concepção, muitas contribuições foram feitas nesse campo (BAINES; HARRISON, 1999).

Forrester fundou o método da *System Dynamics* no que eram, então, quatro desenvolvimentos recentes: avanços na tecnologia de computação, experiência crescente com simulação de computador, melhor compreensão da tomada de decisões estratégicas e desenvolvimentos na compreensão do papel do *feedback* em sistemas complexos (RICHARDSON, 2011). Ele formulou as quatro bases de maneira um pouco diferente em *Industrial Dynamics*, mas a ênfase era a mesma (Forrester, 1961):

- A teoria dos sistemas com *feedback* de informação;
- Conhecimento dos processos de tomada de decisão;
- A abordagem do modelo experimental para sistemas complexos;
- O computador como meio de simular modelos matemáticos realistas.

A simulação dinâmica permite observar o comportamento de um sistema modelado e sua resposta às intervenções ao longo do tempo. Os modelos de simulação dinâmica consistem em equações que descrevem mudanças dinâmicas. Se as condições do estado do sistema forem conhecidas em um determinado momento, o estado do sistema no próximo momento poderá ser calculado. Repetindo este processo, pode-se avançar passo a passo no tempo ao longo de qualquer intervalo de tempo desejado. O processo de modelagem e seus resultados podem ser usados para melhorar nossa compreensão do problema como uma etapa necessária para afetar uma mudança sustentável e eficaz (BAINES; HARRISON, 1999; WINZ; BRIERLEY; TROWSDALE, 2009; RICHARDSON, 2011).

System Dynamics é capaz de integrar uma ampla gama de parâmetros de entrada de forma significativa, apoiando o reconhecimento de que a direção da mudança é crucial para o gerenciamento de respostas de forma adaptativa (PLUCHINOTTA, ET AL., 2018). Bem como, a *System Dynamics* é tanto qualitativo/conceitual quanto quantitativo/numérico. A modelagem qualitativa (diagramas de loop causal) pode melhorar o entendimento do sistema conceitual. A modelagem quantitativa (modelos de estoque e fluxo) permite investigar e visualizar os efeitos de diferentes ações dentro do modelo de simulação (STERMAN, 2001).

É considerado um método de investigação do sistema e, como tal, ocupa posição entre as ciências da Pesquisa Operacional e o Pensamento Sistêmico (uma abordagem filosófica). Dito isso, ao considerar como a *System Dynamics* pode estar relacionada a essas ciências *hard* (quantitativa) e *soft* (qualitativa), a sua posição exata permaneceu sem solução, mas é possível para os cientistas em ambos os campos se relacionarem com ela. A *System Dynamics* pode ser considerada no sentido da visão dos sistemas de controle e cibernetica (estruturação de sistemas organizacionais/humanos para resolução de problemas), bem como os defensores de qualquer um dos pontos de vista se beneficiam das perspectivas *hard* e *soft* (BAINES; HARRISON, 1999; PLUCHINOTTA, ET AL., 2018).

Nesse conjuntura, quanto ao processo a *System Dynamics* segue três etapas que podem ser resumidas da seguinte forma (Ulloa, Caceres, 2005):

- Compreensão da definição da situação/problema: O problema/objetivo do estudo deve ser enfatizado de maneira clara. O problema é descrito juntamente com os fatores que parecem causá-lo e as relações entre eles. A ênfase de Forrester (1961) na definição do problema é uma das etapas principais do método. Os possíveis fatores que causam isso são enquadrados em loops de feedback de informação que são usados na modelagem;
- Conceitualização/construção de modelo: O primeiro procedimento que deve ser feito é construir um diagrama causal de sinal, visto que ajuda a compreender as influências entre as variáveis/elementos. A construção de modelos usa conceitos explícitos de *System Dynamics* que transformam os fluxos em níveis, taxas e variáveis auxiliares;
- Executando o modelo de simulação/usando os resultados: Uma vez que o modelo é construído, diferentes cenários são analisados e usados para testar diferentes políticas/decisões. Para tanto, podem ser exploradas diferentes situações hipotéticas. O modelo é usado como uma descrição ontológica da situação percebida e, se for aceito com sucesso pelas pessoas envolvidas, tanto mudanças estruturais quanto recomendações para a formulação de políticas podem ser introduzidas.

Vale destacar que, de início, Pidd (1992) identificou dois problemas na *System Dynamics*: as equações matemáticas eram muito aproximadas para serem credíveis aos engenheiros de controle, e também complexas para serem compreendidas pelos gerentes. No entanto, Forrester previu em seus primeiros trabalhos que o desenvolvimento do computador ajudaria na aplicação de sua técnica. Agora, as equações podem ser resolvidas com agilidade, por meio de interface gráfica, como exemplo: Stella, Powersimk e Vensim.

Quanto ao processo de pesquisas em Sistemas Dinâmicos, Chen e Wei (2014) argumentam que é um método aplicável para resolver dificuldades em modelagem e pesquisa de simulação no desenvolvimento sustentável de grandes sistemas, para com isso conduzir pesquisas sobre questões de gestão empresarial. Diante disso, sabendo-se que é aplicável para simular o processo evolutivo de grandes sistemas complexos, é estabelecido e desenvolvido em três etapas importantes (íncio, maturidade e aplicação). Trabalhos representativos sobre o processo de desenvolvimento de *System Dynamics* se encontram no Quadro 04.

Chen e Wei (2014) ainda destacam que quando se trata de sistema de segurança hídrica são incluídos subsistemas como sociedade, economia, recursos hídricos, ecologia da água e ambiente hídrico. Este sistema envolve vários aspectos, como recursos, população, economia social, tecnologia e política. Um sistema de segurança de água também é um sistema de *feedback* complexo com vários fatores de influência, bem como apresenta relações de interação complexas entre os sistemas (ou seja, o ambiente e vários subsistemas dentro do sistema), além de simular e prevê a estrutura, funções e desenvolvimento do sistema.

Quadro 04: Processo de desenvolvimento de *System Dynamics*

		Alguns trabalhos representativos
A primeira etapa (íncio)	1950-1960	Forrester JW (1956). Established SD and applied to Industry Enterprise Management. Forrester JW (1956). Industrial Dynamics: A Breakthrough for Decision Makers. Forrester JW (1961). Industrial Dynamics. Forrester JW (1968). Principles of Systems. Forrester JW (1969). Urban Dynamics.
A segunda etapa (maturidade)	1970-1980	Forrester JW (1973). World Dynamics. Sterman JD (1985). A Behavioral Model of the Economic long Wave. Sterman JD (1986). The Economic Long Wave: Theory and Evidence. Sterman JD (1989). Deterministic Chaos in an Experimental Economic System. Forrester JW (1989). The System Dynamics National Model: Macro behavior from Microstructure Modeling Growth Strategy in a Biotechnology Startup Firm.
A terceira etapa (aplicação)	1990-Atualmente	Senge PM (1990). The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization. Sterman JD (2000). Business Dynamics Systems Thinking and Modeling for a Complex World.

Fonte: Adaptado de Chen e Wei (2014).

Dong, et al. (2019), por exemplo, ao estudarem a gestão da água na região da Pequim-Tianjin-Hebei, China, desenvolveram um modelo baseado em *feedbacks* de um sistema de recursos hídricos-socioeconômico-ambientais. Para tanto, estabeleceram e compararam diferentes cenários de gestão dinâmica com várias intensidades de *feedbacks*. Os três subsistemas e os *feedbacks* foram ilustrados da seguinte forma:

- Subsistema socioeconômico: Consiste na economia e na população. É usado para representar o estado do subsistema econômico, que é dividido em indústria primária, indústria secundária e indústria terciária. A indústria primária inclui agricultura, silvicultura, pecuária e pesca; a indústria secundária inclui indústrias que produzem um produto acabado e utilizável e a indústria de construção. A população inclui a população urbana e a população rural, que são calculadas com base na população total e na taxa de urbanização;
- Subsistema de recursos hídricos: Inclui o abastecimento e a demanda de água. O abastecimento de água inclui águas superficiais, subterrâneas, água importada e outros recursos hídricos. Os outros recursos hídricos incluem a reutilização de águas residuais, a utilização de águas pluviais e a dessalinização da água do mar. A demanda de água inclui a demanda de água doméstica, a demanda de água industrial e a demanda ecológica de água;
- Subsistema Ambiental: Para o subsistema ambiental, foi utilizada a Demanda Química de Oxigênio (DQO) como indicador. A razão pela qual selecionaram a DQO é que o governo chinês usa DQO como um indicador para gerenciar águas residuais e subsistema ambiental.

Os resultados do estudo de Dong, et al. (2019), indicaram que a escassez de recursos hídricos e a poluição continuarão a ocorrer de 2015 a 2030 (período analisado) se nenhuma medida de gestão for tomada, e o governo deve dar mais atenção à redução da demanda de água da indústria primária e ao crescimento populacional.

2.5.1 Modelagem e simulação da *System Dynamics*

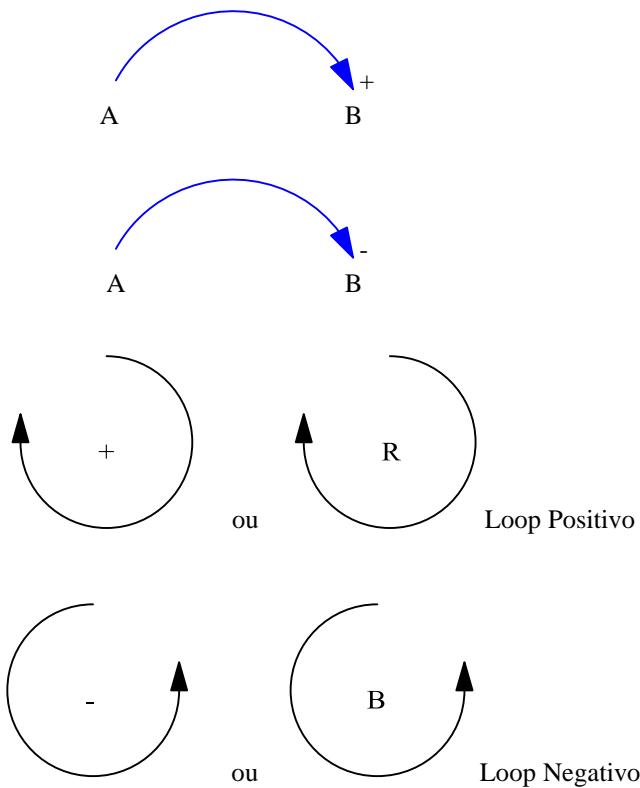
Tendo em vista a discussão realizada em torno do fato de que a *System Dynamics* se encontra relacionada as ciências *hard* (quantitativa) e *soft* (qualitativa), na qual a primeira enfatiza características estruturais de relações causa-efeito-causa e *feedback*, já a segunda desenvolve modelo de simulação por meio de Estoques e Fluxos (Ulloa, Caceres, 2005; Baines, Harrison, 1999), nos próximos tópicos seguem com maiores detalhes as duas formas de modelagens empregadas na *System Dynamics*.

2.5.1.1 Diagrama de loop causal

Por meio do Diagrama de Loop Causal é possível realizar uma análise qualitativa e descrever os componentes do sistema, que ao se relacionarem geram o próprio comportamento do sistema, bem como o seu funcionamento. Uma das suas vantagens é a observação dos padrões de realimentação, em que com intuito de aplicar o método e construir diagramas algumas convenções devem ser destacadas: só após conhecidos os elementos do sistema e as hipotéticas relações causais entre eles é possível realizar representação gráfica.

Conforme Sterman (2000) neste diagrama as diferentes relações são representadas por flechas que são acompanhadas de um sinal positivo ou negativo que representa o tipo de influência exercida de um elemento sobre a outro. Um sinal de (+) indica que mudanças no elemento de origem provocarão uma mudança na mesma direção no elemento de destino (ligação de reforço). Já o sinal (-) significa que o efeito produzido será no sentido inverso (ligação de equilíbrio, balanceamento) (Figura 04):

Figura 04: Notação de diagrama de loop causal



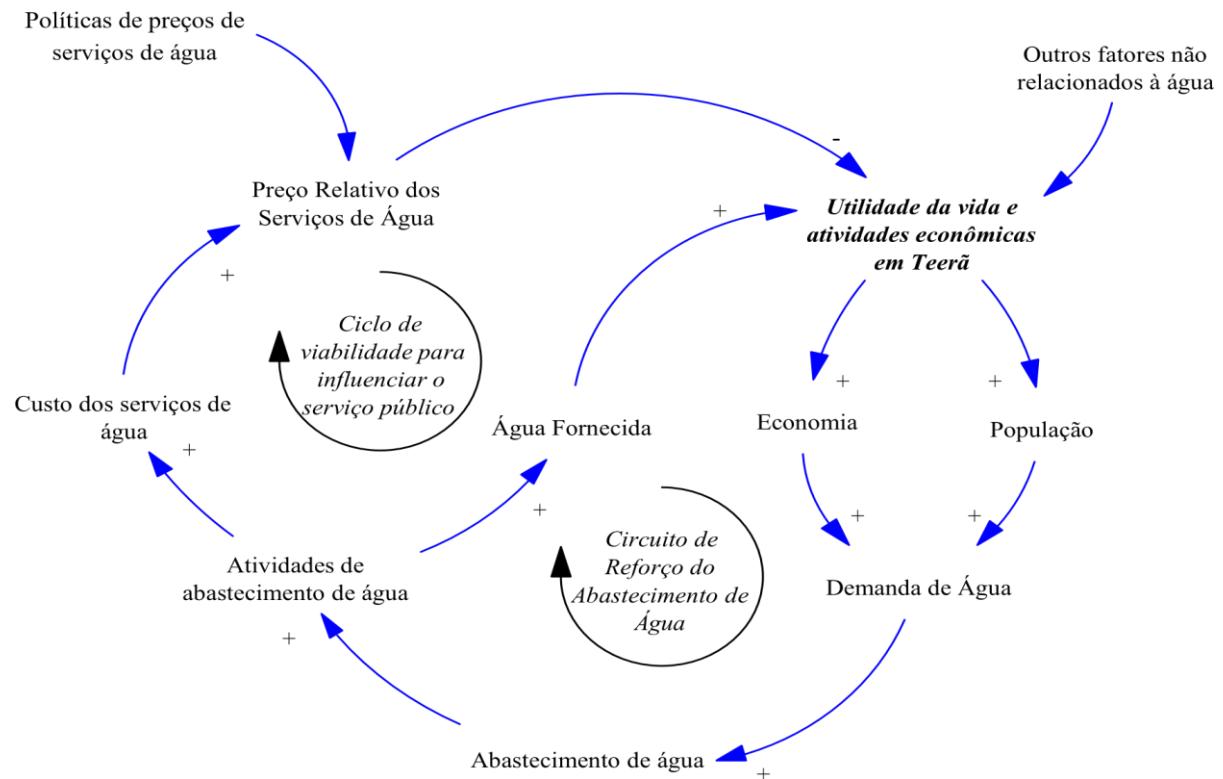
Fonte: Adaptado de Sterman (2000).

Como exemplo de Diagrama de Loop Causal, Bagheri e Hjorth (2007) ao ilustrar uma implementação prática de desenvolvimento sustentável com um sistema de água urbano no

Teerã apresentaram a estrutura da Figura 05, intitulado de circuito de reforço de abastecimento de água e circuito de viabilidade para verificar a utilidade da cidade.

Os autores argumentam que nessa estrutura há um laço de reforço que aumenta a utilidade da vida e das atividades econômicas em Teerã por meio do fornecimento de mais água. Este laço de reforço causa mais demanda por água e, novamente, mais fornecimento de água. Por outro lado, mais atividades de abastecimento de água resultam em um aumento do custo dos serviços de água, o que pode atuar como um mecanismo de *feedback* normal para gerar sinais sobre o declínio da utilidade da cidade. Este mecanismo de *feedback* pode funcionar como um circuito de viabilidade para verificar o circuito de reforço do fornecimento de água. No entanto, políticas de preços, como subsídios, esconderiam os custos marginais crescentes dos serviços de água e podem distorcer o fluxo de sinais, o que fará com que o ciclo de viabilidade atue como uma estrutura de reforço. Este novo mecanismo de reforço apoiaria o ciclo de fornecimento de água para fazer o público perceber que a utilidade da vida e das atividades econômicas em Teerã ainda estaria crescendo.

Figura 05: Exemplo de diagrama de loop causal - circuito de reforço de abastecimento de água e circuito de viabilidade para verificar a utilidade da cidade



Fonte: Adaptado de Bagheri e Hjorth (2007).

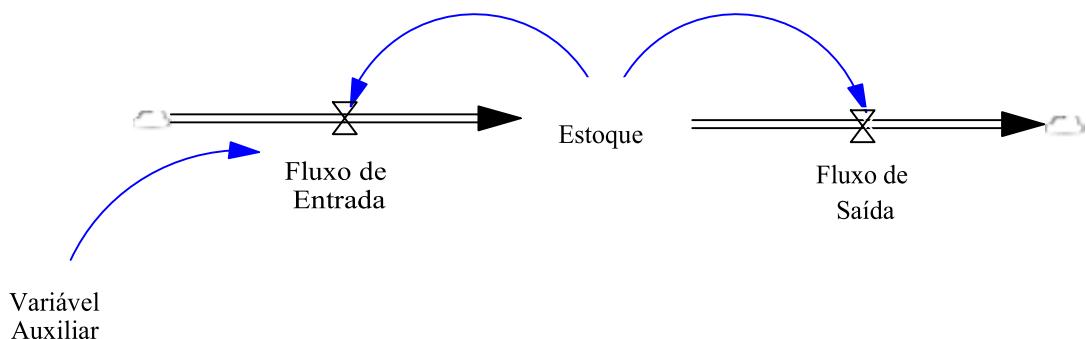
A partir da Figura 05 e das simulações da pesquisa, Bagheri e Hjorth (2007) abordam que a diferença entre o custo real dos serviços de água e o que deve ser pago pelos consumidores em termos de tarifas de água é considerada um indicador de processo para mostrar o quanto bem o ciclo de viabilidade estaria funcionando. Isso posto, como resultado, um usuário do serviço de água paga menos da metade dos custos reais dos serviços prestados em Teerã. E ainda, não se observa nenhuma tendência no sentido de fechar a lacuna, o que significa que o público não se conscientizam dos custos do abastecimento de água; tampouco há sinais eficazes de que as inovações tecnológicas resultam em menos consumo de água.

2.5.1.2 Diagrama de estoques e fluxos

O Diagrama de Estoques e Fluxos ou Diagrama de Forrester é o diagrama da *System Dynamics*, que traduz o Diagrama de Loop Causal (visto no tópico anterior) para uma terminologia com as equações que se assegura a simulação do sistema. Nesse aspecto, conforme Sterman (2000), Forrester desenvolveu quatro elementos principais para o Diagrama de Estoques e Fluxos (Figura 06):

- Estoque: É representado pelas acumulações dos fluxos ao longo do tempo;
- Fluxos: São elementos que representam a variação dos estoques, controlando a velocidade com que o nível de estoque sofre mudanças;
- Variáveis Auxiliares: São embasadas em outros elementos do sistema;
- Conectores (setas): Determinam o vínculo entre os elementos do modelo, e por isso transportam as informações de um elemento para outro.

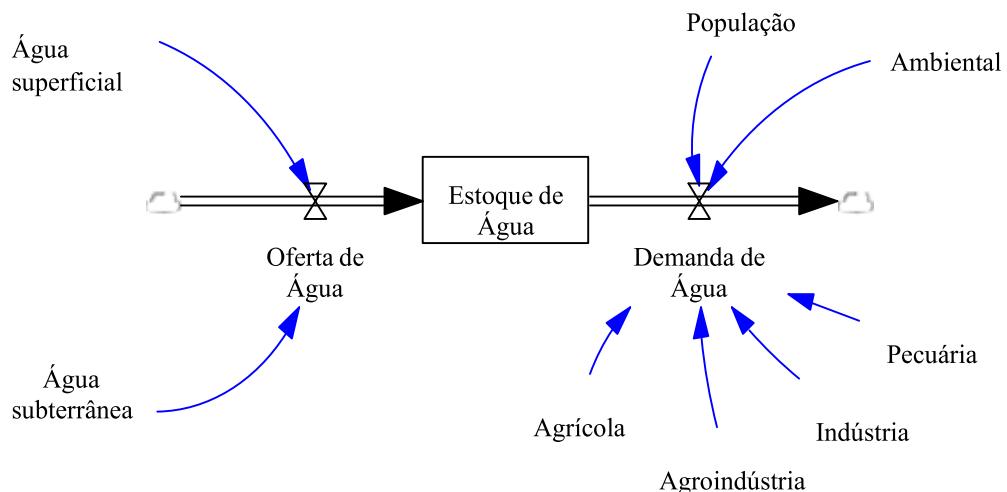
Figura 06: Esquema do diagrama de estoques e fluxos



Fonte: Vensim, versão 9.3.3.

Como exemplo de Diagrama de Estoques e Fluxos, Sánchez-Román, Folegatti, Orellana-González (2009) desenvolveram um modelo de *System Dynamics* (Figura 07) para as Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (BH-PCJ), na qual fizeram cinco simulações em um horizonte de 50 anos, com intuito de contribuir com a gestão da água. Para tanto, ao argumentarem que a gestão da água e o enfoque sistêmico tem uma relação direta, tendo em vista a característica sistêmica e não-linear, são enfatizados fluxos da oferta (água superficial e subterrânea), a demanda da água (população, ambiente, agroindústria, pecuária, indústria e agricultura) e o estoque, que é a água.

Figura 07: Exemplo 1 de diagrama de estoques e fluxos - Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí

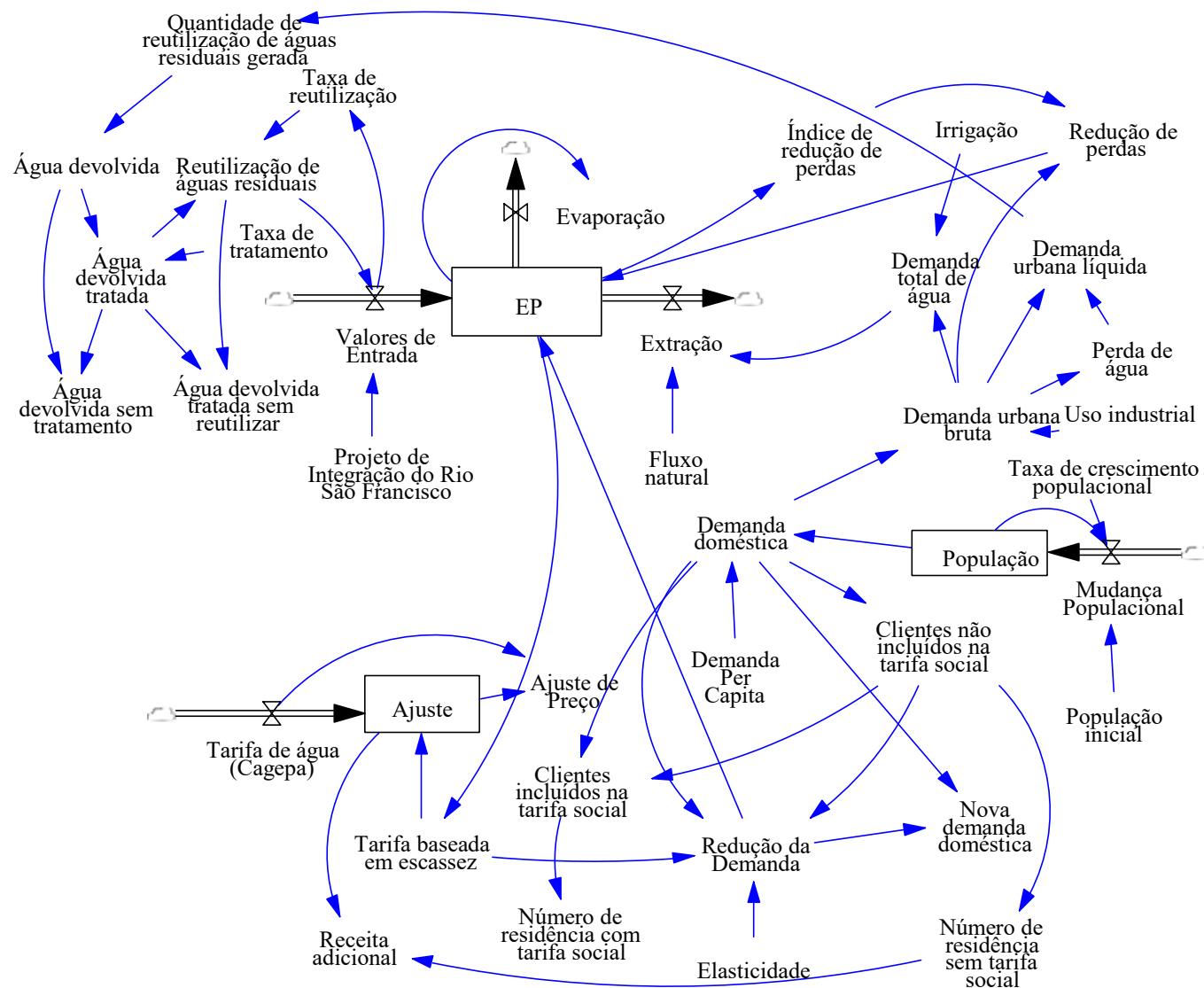


Fonte: Adaptado de Sánchez-Román, Folegatti, Orellana-González (2009).

Em outro exemplo de Diagrama de Estoque e Fluxos, Araújo, Esquerre e Sahin (2019) desenvolveram um modelo de *System Dynamics* para avaliar o sistema hídrico na região semiárida do estado da Paraíba (EP – Epitácio Pessoa), no nordeste brasileiro, explorando os seguintes objetivos específicos: (1) medidas que poderiam ter sido tomadas em relação à recente crise da água (2012–2017); (2) simulação da disponibilidade de água até 2025.

Após a construção do Diagrama de Loop Causal, os submodelos foram delimitados para a construção do Diagrama de Estoque e Fluxos (Figura 08). O diagrama proposto pelos autores consiste em cinco submodelos: submodelo de população, submodelo de abastecimento de água (superfície), submodelo de demanda, submodelo de tarifa de água e submodelo de água recuperada. Para evitar anomalias devido a oscilações nos níveis dos reservatórios, o modelo foi projetado para agregar a produção mensal em uma etapa de simulação anual (ARAÚJO; ESQUERRE; SAHIN, 2019).

Figura 08: Exemplo 2 de diagrama de estoques e fluxos - Água no Semiárido Paraibano



Fonte: Adaptado de Araújo, Esquerre e Sahin (2019).
ta: EP é referente a bacia hidrográfica do acude Epitácio Pessoa.

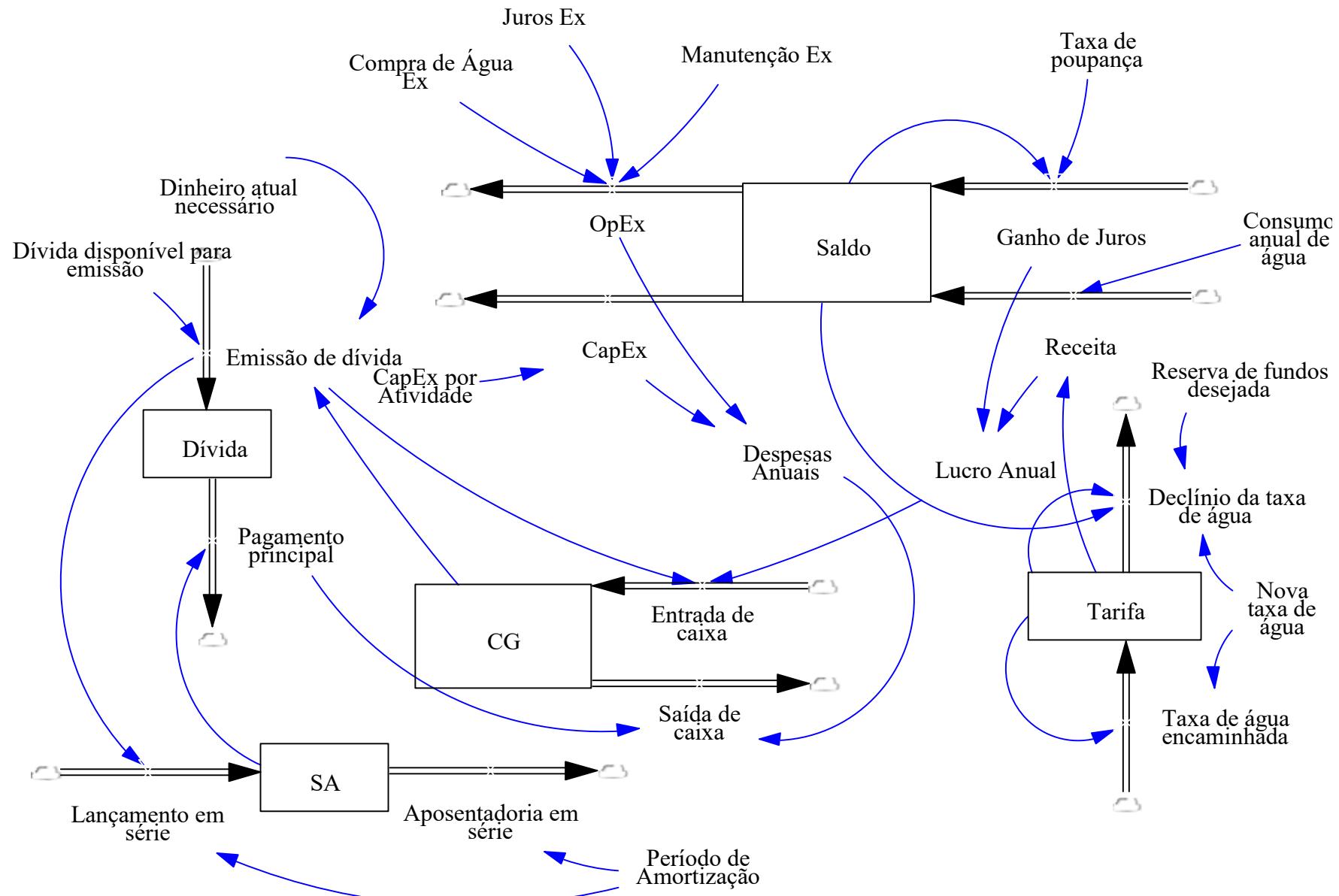
De acordo com os resultados, observou-se que apesar das opções de ferramentas de gestão da demanda serem soluções eficientes para a escassez de água no curto prazo (por exemplo, tarifas baseadas na redução do uso de água), tais ferramentas não seriam suficientes em um contexto de seca severa em um sistema de abastecimento de água que depende fortemente das chuvas. Por outro lado, políticas envolvendo a gestão da água (reutilização de águas residuais, transferência de água entre bacias e controle de perdas) são muito eficazes na manutenção do abastecimento de água (ARAÚJO; ESQUERRE; SAHIN, 2019).

Araújo, Esquerre e Sahin (2019) ainda descrevem que uma contribuição importante do estudo é a discussão e melhoria, por meio de um caso real, de abordagens para modelar balanços hídricos urbanos que incorporam *feedback* econômico por meio de novas metodologias de tarifação da água, que por sua vez, podem aumentar a receita e o investimento em outras alternativas de água. Ao descreve o modelo de *System Dynamics* para gestão de águas, são incluídos neste estudo dados sobre fontes de abastecimento de água, demanda de água, valores de tarifas, receita, perda de água e reutilização de águas residuais.

O modelo de *System Dynamics* de água também pode ser usado pelos governos estaduais e federais ou órgãos reguladores para estabelecer políticas racionais de água que regem o comportamento das empresas de saneamento de água no curto e longo prazo, ou seja, pela sustentabilidade financeira. Também pode ser usado para avaliar políticas e estratégias de financiamento de longo prazo, para avaliar planos e finanças de gerenciamento de ativos de serviços de água e para estabelecer empréstimos de serviços de água e perfis de risco. O modelo pode ser usado para investigar o comportamento do sistema e sua sensibilidade a parâmetros-chave, como modelos de deterioração, e para direcionar as necessidades de pesquisas com intuito de melhorar o desempenho (REHAN, ET AL., 2013).

Dito isso, o exemplo abaixo, Figura 09, foi desenvolvido por Rehan, et al. (2013), e mostra o setor financeiro de uma empresa de saneamento e inclui variáveis como; capital de giro, dívida e taxa de água. Cada variável tem estruturas de estoque-fluxo associadas e essas estruturas estão conectadas a outras variáveis. Entre outros resultados, o autores enfatizam o loop entre receita, *déficit* de receita e taxa de água. À medida que o déficit de receita cresce, a taxa de água aumenta. Uma taxa de água mais elevada implica maiores receitas e, consequentemente, uma diminuição do déficit de receitas. Outro loop de *feedback* de equilíbrio é formado com a interconexão da taxa de reabilitação, despesas de capital, despesas totais, caixa disponível e caixa disponível para reabilitação. As despesas de capital aumentam quando uma empresa de saneamento aumenta a taxa de reabilitação de sua rede (comprimento de tubos reabilitados por ano é aumentado).

Figura 09: Exemplo 3 de diagrama de estoques e fluxos: setor financeiro de uma empresa de abastecimento



Fonte: Adaptado de Rehan, et al. (2013). Nota:
CG é capital de giro; SA são séries anuais.

2.1 O setor de saneamento e a inovação

Os serviços de abastecimento e saneamento fornecem água potável e também acesso adequado ao sistema de esgoto para os humanos. Nesse aspecto, não apenas apresentam fortes impactos na vida e saúde das pessoas e meio ambiente, como também têm um papel importante no planejamento regional e participam na promoção da coesão social dentro de uma nação. Ao longo do tempo, esses serviços têm enfrentado muitos desafios, como o aumento do número de clientes e suas expectativas, aumento da demanda por recursos hídricos, requisitos regulatórios para a qualidade da água e segurança da saúde pública, questões ambientais e financeiras, entre outros diversos aspectos (HAIDER; SADIQ; TESFAMARIAM, 2016; HOEKSTRA; BUURMAN; GINKEL, 2018).

No setor é imprescindível que seja observada a quantidade e a qualidade da água, bem como a infraestrutura para gerenciá-las. Dessa forma, a quantidade da água pode ser descrita em termos de estoques, fluxos e trocas com áreas fora dos limites municipais. A extração de água subterrânea de poços dentro e fora dos limites municipais passa a ser uma fonte importante para abastecimento de água urbano. Já a água da superfície é outra fonte relevante para o abastecimento urbano de água. Visto que, muitas cidades estão localizadas nas margens dos rios, mas os pontos de captação de água geralmente estão localizados a montante, onde a qualidade é melhor. A qualidade das águas superficiais e subterrâneas pode ser comparada aos padrões de qualidade da água ambiente, tanto para poluentes químicos quanto biológicos (HOEKSTRA; BUURMAN; GINKEL, 2018).

Quanto a infraestrutura, há indicadores que incluem a cobertura dos sistemas de abastecimento em termos de tarifas de ligação e capacidade; padrões de qualidade da água potável, distinguindo entre tratamento primário, secundário e terciário; vazamentos em sistemas de abastecimento de água potável; e adequação da infraestrutura de proteção contra águas pluviais e inundações (diques, açudes). Este último deve ser comparado com as projeções de aumento do nível do mar e mudanças climáticas, uma vez que o horizonte de investimento para este tipo de infraestrutura é de longo prazo (HAIDER; SADIQ; TESFAMARIAM, 2016; HOEKSTRA; BUURMAN; GINKEL, 2018).

Sob a perspectiva das políticas ambientais, o setor enfrenta diversos problemas, que vão desde as disparidades de interesses, aos múltiplos tomadores de decisão, redes complexas de governança e distribuição, complexo desenvolvimento socioeconômico e pelas preocupações com as mudanças climáticas (PLUCHINOTTA, ET AL., 2018). Em outras palavras, apesar de a gestão da água ser um aspecto essencial no desenvolvimento sustentável

de áreas urbanas, os problemas relacionados à água urbana têm gerado preocupações em todo o mundo (ROMANO; SALVATI; GUERRINI, 2017). Como exemplo, devido à rápida urbanização e ao fenômeno climático extremo, as questões hídricas agora incluem mais enchentes urbanas, superexploração das águas subterrâneas, escassez de água urbana, desperdício de recursos de água da chuva e poluição da água (NGUYEN, ET AL., 2019).

No que se refere aos problemas relacionados à água urbana a construção de edifícios, por exemplo, tem como objetivo acomodar as populações em rápido crescimento que se mudam das regiões rurais para áreas urbanas, assim como populações que buscam centros urbanos maiores atrás de melhores condições de trabalho e consequentemente de vida, resultando na remoção da infraestrutura natural de retenção da água da chuva, incluindo florestas, espaços verdes, lagos naturais e áreas úmidas para processos de reciclagem de água da chuva. Com isso, as águas pluviais passam a serem descartadas como águas residuais em vez de serem absorvidas pelo solo; sendo adicionada às reservas de água subterrânea para conservar a água, ou até mesmo reutilizada para sustentar a vida das pessoas, suas moradas e a produção agrícola (BROWN; KEATH; WONG, 2009; NGUYEN, ET AL., 2019).

Em regiões semiáridas, devido os sistemas urbanos de abastecimento dependerem exclusivamente de reservatórios superficiais, ocasiona a dependência dos períodos de chuva, provocando secas severas, o que também gera um problema de gestão da água (DÍAZ, ET AL., 2016; ARAÚJO; ESQUERRE; SAHIN, 2019). E ainda, a pressão crescente sobre o setor, devido ao aumento da demanda e à incerteza no fornecimento, enfatiza o valor de estratégias de gestão eficientes (LOPEZ-NICOLAS, ET AL., 2018). Nessa perspectiva, cidades que se preocupem com a sustentabilidade da gestão da água devem buscar mudanças de uma gestão de água urbana tradicional para um paradigma holístico que gerencia a água urbana de uma forma mais integrada, abordando questões contemporâneas enquanto se prepara para as necessidades futuras (DÍAZ, ET AL., 2016).

De acordo com Gurung e Martínez-Espiñeira (2019) uma das principais ferramentas de mudança de gestão tradicional é a tarifa da água, isso se deve aos seus diversos objetivos, tais como estabilidade da receita, eficiência econômica, sustentabilidade ambiental, entre outros aspectos (BABAMIRI; PISHVAEE; MIRZAMOHAMMADI, 2020). Em 2010, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico informou que tais objetivos podem ser agrupados em quatro dimensões, são elas: sustentabilidade ambiental, sustentabilidade financeira, eficiência econômica e preocupações sociais.

O potencial da tarifação da água para promover uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos disponíveis foi reconhecido em estruturas regulatórias, como na *EU Water*

Framework Directive (2000). Esta regulamentação europeia promove a precificação como uma maneira de alcançar vários objetivos, como recuperação de custos para fornecedores de água, eficiência econômica e preservação ambiental, levando em consideração não apenas os custos financeiros, mas também os custos ambientais (GRAFTON; CHU; KOMPAS, 2015; WEHN, MONTALVO, 2017; LOPEZ-NICOLAS, ET AL., 2018).

Isso posto, a integração da rede de distribuição de água com os setores financeiro e social, ambiental, interconexões entre contabilidade financeira, balanço hídrico, uso da água e crescimento populacional, levando em conta os ciclos de *feedback* e as inter-relações, parece ser parte integrante da mudança na atitude do formulador de políticas em relação à gestão da água urbana (DONG; SCHOUPS; GIESEN, 2013; WEHN; MONTALVO, 2017; BABAMIRI; PISHVAEE; MIRZAMOHAMMADI, 2020).

Hilbig e Rudolph (2018), por exemplo, ao realizarem uma pesquisa na África do Sul, enfatizaram que os mecanismos de financiamentos são de grande importância para as instalações que são projetadas, construídas e operadas, além de argumentarem que essas instalações contribuem para uma gestão eficiente de longo prazo dos escassos recursos hídricos. Projetos de pesquisa na África do Sul, na visão dos autores, mostram a necessidade de eficiência na gestão da água, como também o papel essencial do financiamento sustentável da água para uma gestão econômica, social e ambientalmente sustentável desses recursos. Do ponto de vista econômico, há necessidade de ação na área de eficiência de gestão de recursos, incluindo financiamento sustentável da água, abordagens de custos e controle de perdas

Diante dos argumentos apresentados sobre a gestão da água até o momento, é percebida que as expectativas por soluções inovadoras se fazem necessárias. Soluções estas que proporcionem uso eficiente dos recursos hídricos disponíveis, melhorando a qualidade da água oferecida a população e o planejamento dos recursos hídricos devido ao aumento da demanda da água. Além de, óbvio, haver o anseio por soluções inovadoras com vista a resolver questões como as mudanças climáticas, como dito anteriormente. Para tanto, é preciso conhecer os diferentes tipos de água, de usuários, o valor da água e o seu (re)uso, como também, é reconhecido que os financiamentos no setor é um caminho para investir em soluções inovadoras (PINSENT MASONS, 2011; WEHN, MONTALVO, 2017).

Havendo como parâmetro a visão dos recursos hídricos, em que a *United Nations World Water Assessment Programme* (WWAP) apresenta o setor em três categorias, a saber; gestão da água (uso sustentável de recursos hídricos), infraestrutura hídrica (prestação de serviços da água, incluindo a gestão de cheias e secas) e serviços de água (abastecimento de

água, saneamento e higiene e gestão de águas residuais para uso doméstico e econômicos), Wehn e Montalvo (2017) apresentam a taxonomia de estudos de inovação para o setor.

A partir disso, a primeira discussão do Quadro 05 é se a inovação é de natureza incremental ou radical. Isso se refere as diversas mudanças em indústrias, serviços, entre outros. Já a segunda é disruptiva, na qual ocorre transformações em indústrias inteiras. Outros tipos de inovação; produtos, processos e/ou serviços, bem como a inovação organizacional e tecnológica, podendo serem incrementais ou radicais. O investimento tecnológico, por exemplo, fator importante para o setor, impulsionado pela inovação, é benéfico para o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias para proteção ambiental em empresas industriais, otimização e progresso das indústrias emergentes.

Quanto aos estágios de inovação, Wehn e Montalvo (2017) enfatizam que se referem ao ciclo de criação do novo, da geração de ideias à ampla difusão, declínio e substituição dessas ideias incorporadas em protocolos, padrões, artefatos, máquinas, equipamentos ou sistemas. Kline e Rosenberg (1986), por exemplo, realizaram uma pesquisa sobre o processo de inovação, sendo destacadas duas abordagens, linear e não linear. Em que, para cada abordagem são considerados os principais tipos de modelos do processo de inovação e suas vantagens e desvantagens. Nesse contexto, é afirmado que no processo de gestão da inovação é importante a existência de *loops de feedback* entre estágios (WEHN, MONTALVO, 2017).

Conforme Quadro 05, no que se refere ao nível de análise, trata-se aspectos da governança da inovação em referência ao contexto e nível de agregação onde a mudança ocorre ou ocorreu. A inovação é colocada em um processo realizado por um departamento dentro de uma organização, formal ou informal, o mercado em uma indústria ou em um território específico. Tudo isso se relaciona com um processo interdependente de tomada de decisão e ação coletiva que leva à criação de novos modelos de referência, padrões, normas sociais e instituições que reforçam ou mudam (WEHN, MONTALVO, 2017).

As inovações na governança da água são dinâmicas, com mudanças ocorridas ao longo dos anos. A mais recente e difundida foram as formas neoliberais, que viram a introdução de preços orientados para o mercado. Isso foi impulsionado por empresas privadas, mas as concessionárias públicas também desempenharam um papel significativo com foco em seus resultados financeiros (MCDONALD, 2018).

Quadro 05: Mensuração da inovação para o setor de saneamento

Inovação		Mensuração da Inovação
Modelo	Radical	Característica de: • Mudança de práticas existentes; Desfazer ou criar competências e empregos; Elevada incerteza, transformação de indústrias e setores.
	Incremental	Característica de: • Mudança marginal, tipo de inovação mais frequente; Reforçar as capacidades a curto prazo; Maturidade da indústria.
	Produto	Ênfase nos benefícios do cliente: • Produzir; Desempenho; Serviço.
	Processo	Ênfase na otimização de custos: • Ferramentas, equipamentos, máquinas; Rotinas, <i>layouts</i> de processos de produção; Conhecimento em tecnologia.
	Serviço	Característica de: • Principalmente habilitado por outros tipos de inovações; Dificuldade em medição de intangíveis; Dependência em competências embutidas no capital humano; Servitização do processo de produção e produtos.
	Tecnológica	Inovações de: Ferramentas, equipamentos, etc.; Produtos, Processo; <i>Know-how</i> ; Rotinas.
	Organizacional	Inovações de: Estrutura organizacional e rotinas; Recursos Humanos; Processo administrativo.
Estágio	Mecânica <ul style="list-style-type: none"> Resolvendo problema Tomada de decisão (oportunidades de negócios, regulamentação, capacidades) 	
	Estágio <pre> graph TD A[Processo] --> B[Linear] A --> C[Não-Linear] B --> D[Resolvendo problema] C --> D D --> E[Tomada de decisão] E --> F[Desenvolvimento] F --> G[Adoção/Difusão] G --> H[Iniciação] H --> I[Implementação] I --> J[Implementação experimental] J --> K[Implementação mantida] </pre>	
Nível de Análise	Financiamento da Inovação <ul style="list-style-type: none"> Geração de ideias; Definição e resolução de problemas; Pesquisa e desenvolvimento; <i>Marketing</i>. Conscientização de uma inovação; Avaliação de inovação; Atitude em relação à inovação. Implementação experimental; Implementação mantida. 	
	A inovação em si <ul style="list-style-type: none"> Características: • Custo, Vantagem relativa, Complexidade, Radicalidade, Padrões. 	
	Departamentos de P&D <ul style="list-style-type: none"> Fatores que afetam a estrutura de inovação: Processo de interação com: <ul style="list-style-type: none"> Processo de comunicação e tomada de decisão; Posse e diversidade de grupos de P&D; Liderança técnica; Inovação no local de trabalho Finanças e política; <i>Marketing</i>, Desenvolvimento de processos; Manufatura 	
	Organização <ul style="list-style-type: none"> Abordagem de resultado Abordagem do processo <ul style="list-style-type: none"> Procurar características: Comportamental; Contextual; Estrutural. Olhar o papel da inovação em: Adaptabilidade ao ambiente, capacidade de mudança, capacidades dinâmicas; Capacidade de alocar recursos e modelos de negócios; Resultado organizacional e eficácia na abertura de entradas e saídas de conhecimento. 	
	Setores da indústria <ul style="list-style-type: none"> Intersectorial Intrasectorial <ul style="list-style-type: none"> Identificação de fatores que distinguem: Gatilhos de inovação, magnitude e desempenho; Padrões de desenvolvimento de inovação. Identificação de fatores que distinguem: Diferenças relativas no tempo de adoção ou desenvolvimento; Implicações da inovação para o desempenho das organizações. 	
Panorama (A identificação da governança potencializa o crescimento e a sustentabilidade)		<ul style="list-style-type: none"> Orientado para estratégia Impulsionado pela demanda Orientado para políticas <ul style="list-style-type: none"> Inovação aberta; Modelos de negócios; Incubadoras e aumento da inovação. Inovação social; Inovação econômica; Inovação sustentável e transformadora; Orientado à missão. Sistemas de inovação; Inovação no setor público (administração, regulamentação e compras); Ecossistemas de inovação; Inovação e complexidade.

Fonte: Adaptado de Wehn e Montalvo (2017).

Diante desses discussões, os estudos de inovação da água concentra-se na demanda da inovação por parte de organizações gestoras e as contribuições em geral são concentrados nos serviços prestados, o que provoca a necessidade de se também dar atenção à dinâmica da inovação nas categorias funcionais de gestão da água e infraestrutura hídrica e suas subcategorias. Dito isso, a taxonomia da inovação e as reflexões apresentadas sugerem um caminho para estudar as dinâmicas de inovação hídrica e acompanhar a implementação dos esforços estratégicos existentes para promover a inovação em um mundo com segurança hídrica (WEHN, MONTALVO, 2017).

O modelo voltado ao processo é adequado aos dois estudos empíricos apresentados nesta tese, tendo em vista que trata de aspectos voltados para a otimização de custos. Quanto ao nível de análise, no ESTUDO 01 com *System Dynamics* pode haver um panorama voltado tanto para determinação de estratégias, quanto para orientação de políticas e impulsionado as demandas. No ESTUDO 02 por abordar desempenho medido com indicadores de qualidade e operacional, empresas de saneamento podem vir a discutir inovação (modelos, estágios e níveis de análise) de modo que melhorem a qualidade do serviço prestado.

2.2 Objetivos de desenvolvimento sustentável e o acesso a água

O desenvolvimento sustentável tem recebido atenção crescente nos últimos anos. Isso envolve equilibrar as necessidades de vários aspectos e abrangendo várias partes interessadas e tomadores de decisão para colaborar. Enfatiza o desenvolvimento coordenado e gestão da água, terra e recursos relacionados para alcançar o máximo de bem-estar socioeconômico na premissa de garantir a sustentabilidade do ecossistema. Como a proteção e restauração dos ecossistemas relacionados a água também é uma das chaves para alcançar o desenvolvimento sustentável, estudos mostram que introduzir o valor dos serviços ecossistêmicos relacionados a água em políticas de desenvolvimento sustentável e fornecer compensação por tais serviços pode ser um meio válido de melhorar a gestão da água (COSGROVE; LOUCKS, 2015; GARRICK, ET AL., 2017; UNWATER, 2018; NETO; CAMKIN, 2020; HUTTON; CHASE, 2016; NETO; CAMKIN, 2020; WEI, ET. AL., 2020).

Os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) que expiraram no final de 2015 foram a primeira tentativa da comunidade internacional de estabelecer metas para serem cumpridas em um período de tempo. Houve algum progresso em termos de acesso à água potável. Assim, com a vontade, o esforço, a capacidade técnica e os investimentos é possível alcançar um objetivo acordado e bem definido. Todavia, os ODMs não cobriram todas as

áreas de desafio, pois não levaram em consideração o papel da água na consecução da maioria das metas dos ODMs. As metas também não reconheceram a diferença na capacidade ou prioridades nacionais de implementação (COSGROVE; LOUCKS, 2015).

Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) realizou uma proposta aos seus países membros de uma nova agenda de desenvolvimento sustentável para 15 anos, a Agenda 2030, composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Os objetivos são baseados em uma definição comum de “o futuro que queremos” que vem de uma consulta aberta que atraiu dezenas de milhares de partes interessadas individualmente ou por meio de organizações de membros. Apresenta como foco o bem-estar humano, acabar com a pobreza, enfrentar as desigualdades, agir contra mudanças climáticas, entre outros fatores. As nações individuais embora concordem com os objetivos comuns tem flexibilidade para estabelecer metas para alcançá-los de acordo com sua própria capacidade e necessidades prioritárias (COSGROVE; LOUCKS, 2015; WEI, ET. AL., 2020).

Os ODS justificam-se devido ao mundo que avançou no período pós-2015, aumentando os esforços de monitoramento e a necessidade uma maior compreensão dos desafios para alcançar o acesso universal dentro de 15 anos e sustentá-lo além de 2030. Extração insustentável de água junto com demandas concorrentes, crescimento populacional e migração (incluindo a urbanização), poluição da água pelo lançamento de esgotos e águas residuais não tratadas, mudança climática e variabilidade climática adicionam pressões muito significativas sobre os sistemas de abastecimento, bem como requerem planejamento sistemático e coordenado de novos assentamentos e adaptação de assentamentos existentes para fornecer serviços hídricos sustentáveis (HUTTON; CHASE, 2016).

Dito isso, os ODS observam que muitas pessoas não têm acesso as instalações de saneamento administradas com segurança. A escassez de água, as inundações e a falta de uma gestão também prejudicam o desenvolvimento social e econômico. Aumentar a eficiência e melhorar, em especial, a gestão da água são essenciais para equilibrar as demandas competitivas e crescentes em vários setores e usuários (NETO; CAMKIN, 2020). No ODS 6, por exemplo, há uma discussão em torno desse assunto. O relatório identificou principalmente as seguintes mensagens relacionadas à compreensão do *status* da linha de base e tendências dos indicadores globais (UNWATER, 2018; NETO; CAMKIN, 2020):

- Estender o acesso à água potável representa um grande desafio: alcançar o seu acesso universal de maneira segura e acessível significa fornecer serviços básicos para 844

milhões de pessoas e melhorar a qualidade do serviço para 2,1 bilhões de usuários que carecem disso (Indicador ODS 6 6.1.1);

- Bilhões de pessoas ainda precisam de acesso a instalações sanitárias básicas até para lavar as mãos: mais de 2,3 bilhões de pessoas não têm serviços de saneamento básico, 892 milhões ainda praticam a defecação a céu aberto e 4,5 bilhões de pessoas não têm serviços de saneamento gerenciados de forma segura. Eles não serão erradicados até 2030 com as tendências atuais. Em média, apenas 27% da população em países menos desenvolvidos tem acesso a sabão e água para lavar as mãos. (Indicador ODS 6 6.2.1);
- Melhorar a qualidade da água pode aumentar a disponibilidade de água: o agravamento da poluição da água deve ser combatido na fonte e tratado para proteger a saúde pública e o meio ambiente (Indicador ODS 6 6.3.2);
- A agricultura oferece oportunidades de economia significativa de água: o setor é responsável 70% da extração global de água doce. Economizar apenas uma fração disso aliviaria o estresse hídrico em outros setores (Indicador ODS 6 6.4.1; 6.4.2);
- A sustentação dos ecossistemas relacionados à água é crucial para as sociedades e economias: o mundo perdeu 70% de suas áreas úmidas naturais no último século. Manter e recuperar ecossistemas relacionados à água são vitais para o bem-estar social e o crescimento econômico (Indicador ODS 6 6.6.1);
- Melhor cooperação internacional e melhores usos de financiamentos se faz necessário: mais de 80% dos países relatam financiamento insuficiente para cumprir as metas nacionais de ASH. O financiamento do ODS é importante, mas também engajamento financeiro doméstico, incluindo do setor privado, e um melhor uso dos recursos existentes são relevantes (ODS 6 Indicador 6.A.1);
- A participação pública é crítica para a gestão da água: a participação da comunidade na tomada de decisões pode render muitos benefícios, mas são necessários melhores meios de medir a qualidade e a eficácia dessa participação, em vez de depender apenas da quantidade de engajamento (Indicador ODS 6 6.B.1).

Atingir serviços de água e saneamento universais e geridos com segurança até 2030, conforme previsto pelo ODS 6 das Nações Unidas (ONU), são projetados para exigir despesas de capital de US\$ 114 bilhões por ano. O investimento nessa escala, junto com as reformas políticas que os acompanham, podem ser motivados por uma valorização crescente do valor da água. No entanto, a capacidade de valorizar o serviço e incorporar esses valores à

governança da água precisa ser revista. Os impactos negativos em cascata recém-reconhecidos da escassez de água, poluição e inundações destacam a necessidade de mudança da forma como valoriza-se a prestação do serviço (GARRICK, ET AL., 2017).

Com o painel de alto nível da ONU/Banco Mundial sobre a água lançando a iniciativa de valorização da água em 2017 para traçar princípios e caminhos para a valorização da água é vista uma oportunidade global de repensar o valor da água (HUTTON; CHASE, 2016; NETO; CAMKIN, 2020). Assim, Garrick, et al. (2017), no Quadro 06, descrevem etapas para uma melhor avaliação da água examinando os avanços recentes em cada uma dessas áreas e argumentando que essas etapas devem ser integradas.

Medição, modelagem e contabilidade da água são a base para a avaliação da água. Os dados sobre o conhecimento do volume, fluxo e qualidade da água em lagos, rios, solos, aquíferos e instalações de armazenamento e distribuição construídas pelo homem são notáveis, dada a importância da água (etapa 1). No entanto, as abordagens existentes ainda lutam para reconhecer, medir e reconciliar toda a gama de benefícios econômicos, socioculturais e ambientais nas decisões de gestão da água, que por sua vez pode ser um bem privado, bem público e um recurso comum, em termos econômicos. A fome, a urbanização e outros desafios globais afetam esses atributos econômicos, complicando a gestão (etapa 2).

Explorar os diversos valores da água geralmente expõe a necessidade de escolhas difíceis, incluindo possíveis compensações entre eficiência e equidade. A mensuração e a avaliação devem ser incorporadas aos processos de tomada de decisão para garantir *trade-offs* mais sistemáticos, explícitos e inclusivos (etapa 3). E ainda, quanto ao progresso tecnológico na contabilidade da água não é suficiente por si só. Os usuários de água geralmente percebem a medição como um passo para criar novas tarifas ou restringir o uso, e não como um meio de melhorar a eficiência e a sustentabilidade. A medição deve, portanto, ser apoiada por instituições robustas para engajar efetivamente interesses investidos, monitorar e controlar o uso da água e resolver disputas de valor (etapa 4).

Com isso, infere-se que o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos exige progresso em: (i) investimento em medição e modelagem que capture a oportunidade de detecção e comunicação de baixo custo, evitando retrocessos nas redes essenciais de monitoramento de longo prazo, (ii) inovação na valoração da água, para abordar preocupações sobre estimativas incompletas, aproximadas e conflitantes. A experiência em abordagens existentes como disposição para pagar, contabilidade do capital natural e mapeamento participativo precisa ser aprimorada, e mais atenção deve ser direcionada à interface das técnicas de valoração econômica e cultural, (iii) avanços no planejamento hídrico para

contabilizar diversos valores e finalmente (iv) identificar e abordar os *déficits* de governança por meio do desenvolvimento de caminhos de investimento em instituições, informação e infraestrutura (GARRICK, ET AL., 2017).

Quadro 06: Quatro passos para o desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos

Desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos
Etapa 1. Medição. Informações sobre a situação das bacias hidrográficas, uso da água e cenários. Entenda e meça os componentes do ciclo global da água, os orçamentos locais de água e o uso da água.
Etapa 2. Avaliação. Múltiplos valores e múltiplas formas de valorizá-los. Identificar e valorizar os benefícios associados à água em múltiplas escalas temporais e espaciais, incluindo valores ambientais, socioculturais e econômicos.
Etapa 3. Tomada de decisão. Reconciliando valores, resolvendo <i>trade-offs</i> . Incorporar diferentes valores de água e as compensações entre eles em processos de tomada de decisão sistemáticos e inclusivos.
Etapa 4. Governança. Construir capacidade institucional em múltiplas escalas. Fortalecer a governança da água para garantir que as políticas e decisões de gestão sejam realmente entregues por meio de um conjunto adaptável de instituições, incentivos e instrumentos.

Fonte: Garrick, et al. (2017).

A partir da discussão acima, é perceptível que o desafio para a universalização do acesso à água e a determinação do seu valor consiste em fortalecer também a cobertura para populações localizadas em regiões vulneráveis, a exemplo de áreas periurbanas, comunidades mais humildes e outros assentamentos informais, já em áreas rurais o desafio é atender uma população que, por outro lado, é muito dispersa (NARZETTI; MARQUES, 2021). Diante destas configurações, a compreensão do setor de saneamento requer o entendimento de seus aspectos político-institucionais, que incluem maneiras de monitorar, modelar e gerenciar dinamicamente o uso da água por meio de um portfólio de abordagens regulatórias (CARVALHO, 2015; GARRICK, ET AL., 2017).

2.3 Regulação da água

As Nações Unidas reconheceram o direito à água potável como direito humano em 2010. Todavia, a falta de uma política estratégica de infraestrutura dificulta o desenvolvimento socioeconômico do Brasil e implica em grave violação dos direitos humanos expressos pela Organização das Nações Unidas e pela Constituição Brasileira de 1988

(GARRICK, ET AL., 2017; SAMPAIO; SAMPAIO, 2020). Dito isso, é imprescindível que a Administração Pública preste os serviços de distribuição de água (ou delegá-los) segundo os princípios que norteiam a definição de serviço público, como a universalização, bem como os princípios de respeito às peculiaridades locais e regionais; adequação às diretrizes de saúde pública, proteção ambiental e eficiência econômica. Todos esses objetivos devem ser considerados pelos reguladores no desempenho de suas funções de fixação de tarifas (SAMPAIO; SAMPAIO, 2020).

A regulação tem como finalidade apresentar padrões e normas para o bom acesso e qualidade dos serviços prestados aos usuários dos serviços de água, garantindo o cumprimento das condições e metas estabelecidas nos contratos e nos planos de investimento, prevenindo e reprimindo o abuso de poder econômico e definindo tarifas acessíveis que garantam a sustentabilidade econômica e financeira das empresas prestadoras de serviços (SAMPAIO; SAMPAIO, 2020; NARZETTI; MARQUES, 2021; GHINIS; FOCHEZATTO, 2021; ORTEGA; NEVES, 2021).

A primeira questão que restringe a regulamentação da tarifa de água no Brasil diz respeito aos poderes para regular o serviço. A falta de direitos patrimoniais e de atribuições legais claros como as disputas históricas entre estados e municípios pela titularidade dos serviços tem papel central na explicação da falha do país em regular adequadamente o serviço, e ainda a estrutura tripartite da federação aliada a grande parcela de autonomia aos municípios ajudam a explicar a falta de oferta adequada de serviços. Essa disputa representam custos de transação para potenciais investidores privados (SAMPAIO; SAMPAIO, 2020).

Ainda assim, o marco regulatório sobre o saneamento tem apresentado avançado nas duas últimas décadas. Em 1997, a Lei nº 9.433 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), enfatizando que a cobrança do uso dos recursos hídricos tem os seguintes objetivos: (1) reconhecer a água como um bem econômico, (2) dar ao usuário uma indicação de seu real valor, (3) estimular a racionalização do uso da água e (4) obter recursos financeiros para custear os programas e intervenções previstos nos planos de recursos hídricos. Portanto, com a introdução da referida lei, um dos principais objetivos da cobrança pelo uso da água no Brasil foi estimular o consumo responsável e reduzir o desperdício de água. Assim, existem avanços nas diretrizes para a condução da política tarifária, qual seja, a utilização da cobrança pelo uso da água como instrumento de gestão da demanda (GHINIS; FOCHEZATTO, KUHN, 2020).

Em 05 de janeiro de 2007, foi criada no Brasil a Lei de Saneamento Básico Federal (LSB) nº 11.445, que intensificou a regulação do setor estabelecendo as diretrizes nacionais

para o saneamento básico, além do Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010, que a regulamenta (GHINIS; FOCHEZATTO, KUHN, 2020; GHINIS; FOCHEZATTO, 2021). Entre outros aspectos, no que tange especificamente a água, para os fins desta lei, considera-se no saneamento básico: o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais para o abastecimento de água potável, compreendendo as atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até às ligações prediais e respectivos instrumentos de medição (SAMPAIO; SAMPAIO, 2020).

Nessa lei, em art. 21, o exercício da função de regulação deve atender aos seguintes princípios: I - independência decisória, incluindo autonomia administrativa, orçamentária e financeira da entidade reguladora; II - transparência, tecnicidade, celeridade e objetividade das decisões. No que se refere aos aspectos econômicos e sociais na prestação dos serviços do setor, fica determinado que a instituição das tarifas, preços públicos e taxas para os serviços de saneamento básico deve observar, dentre diversas outras diretrizes os recursos precisos para a realização dos investimentos, visando o cumprimento das metas e objetivos do planejamento dos serviços, a inibição do desperdício de recursos hídricos, a recuperação dos custos incorridos na prestação dos serviços, em regime de eficiência e a remuneração referente ao capital investido (GHINIS; FOCHEZATTO, 2021).

Mesmo com os avanços decorrentes da Lei nº 11.445 fica ordenado que apenas os custos incorridos em regime de eficiência podem ser repassados aos usuários. Dessa forma, todo o custo gerado acima de um determinado nível de eficiência deve ser absorvido pelas mesmas, sem repasse às tarifas cobradas aos clientes, impondo um teto para as tarifas cobradas. Por um lado, o aprofundamento da regulação pode ser benéfico para a sociedade, por não repassar ao usuário ineficiências no processo produtivo, mas por outro lado pode incorrer em prejuízo para a sustentabilidade econômica e financeira das mesmas (BARRAQUÉ, 2020; GHINIS; FOCHEZATTO, 2021).

Ortega e Neves (2021) analisaram a adequação do Brasil em criar uma autoridade reguladora independente que unifique o sistema e garanta economia e sustentabilidade, além de melhorar a transparência, oferecer neutralidade e segurança jurídica, monitorando a estratégia nacional de saneamento no Brasil. Os autores consideram a conveniência de tratar minuciosamente os aspectos relacionados ao abastecimento e tratamento de águas residuais. Desse modo, os autores argumentam que seu trabalho enfrenta fatores relevantes que podem contribuir positivamente para o estabelecimento de um modelo regulatório mais eficiente no Brasil ao comparar com o caso da Espanha.

Entre as questões mais relevantes aplicadas na Espanha, tem-se que: há experiência internacional e o alto desenvolvimento tecnológico das empresas e a colaboração público-privada; a apostar na transparência e no estabelecimento de instrumentos de responsabilização como parte da estratégia de contratação de serviços, seguindo os regulamentos europeus; o debate sobre a necessidade de estabelecer um controle mais operacional das concessionárias, independente do modelo de gestão direta ou indireta; a conveniência de integrar normativos ambientais, obras públicas e contratação pública, e desenvolver instrumentos de planeamento gerais e específicos no tratamento de águas residuais; a importância de promover a concorrência dentro dos limites da regulação do serviço, bem como gerar economias de escala que reduzam o custo efetivo do serviço (ORTEGA; NEVES, 2021).

No Quadro 07 são apresentados os pontos fortes da estrutura legal da Espanha e como o setor é estruturado no Brasil. Destaca-se que apesar da crítica a nova regulação brasileira, por centralizar estratégias de saneamento a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a Lei 14.026 de 15 de julho de 2020 (conhecida como a Nova Lei Sobre Água e Saneamento), que em seu art. 1º atualiza o regime jurídico do saneamento e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, tem como objetivo a universalização do saneamento, e com isso prevê o fortalecimento da água potável para 99% da população e coleta de esgoto que chegue a 90%, até 2033. Entre outros fatores, como elevar investimentos nas reduções de perdas e melhorias nos processos de tratamento (ANANDA, 2019; LIBANIO, 2020; BARRAQUÉ, 2020; GHINIS; FOCHEZATTO, 2021).

A ANA teve suas atribuições ampliadas (art. 2º da Lei Federal nº 14.026/20). Além da missão de cuidar dos recursos hídricos nacionais passou a ser responsável por estabelecer padrões de referência para a regulamentação do saneamento público que recai sobre três questões: a técnica, a legal e a política (ORTEGA; NEVES, 2021).

No domínio jurídico, passa a regulamentar a uniformização dos instrumentos negociais de prestação de serviços públicos de saneamento entre o titular do serviço público e as entidades delegadas. Na área técnica, regulará os padrões de qualidade e eficiência na provisão, manutenção e operação dos sistemas de saneamento básico, a regulamentação tarifária e estabelecer os critérios para a contabilidade regulatória, a progressiva redução e controle da perda hídrica, a reutilização de efluentes sanitários tratados, dentro das normas ambientais e de saúde pública. Outro fator é que a perspectiva política definirá as metas de universalização dos serviços públicos essenciais de saneamento, definir metodologias de cálculo das indenizações decorrentes de investimentos realizados e ainda não amortizados ou depreciados e participar da governança dos órgãos reguladores (ORTEGA; NEVES, 2021).

Quadro 07: Fatores comparativos que podem contribuir para um saneamento mais eficiente

Pontos fortes da estrutura legal espanhola	Como o setor é estruturado no Brasil
Sistema político descentralizado	A nova regulamentação centraliza as estratégias de saneamento na Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) que assume o controle das políticas de água para o Brasil, onde o serviço de saneamento é principalmente de competência estadual
Experiência internacional e técnica como fórmula de sucesso para parceria público-privada	Uma gestão mais adaptativa pode fornecer maior adequação e participação privada, tornando o saneamento básico mais eficiente no Brasil
Conscientização da necessidade de controle das concessionárias	O acompanhamento e monitoramento descontrolados das concessionárias (geralmente empresas públicas) são notórios no Brasil
Fortalecimento dos mecanismos anticorrupção	Não há informações relevantes sobre o impacto da corrupção neste setor. A ineficiência do sistema e os casos de corrupção em segmentos de atividade semelhantes indicariam lacuna significativa para o alcance do saneamento básico no Brasil
Mecanismos de transparência e responsabilidade	Instituições públicas estão fazendo mudanças e melhorando, como ANA e no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Em colaboração com entidades da sociedade civil (Instituto Trata Brasil). No entanto, uma outra melhoria é necessário neste tópico
Garantia de saneamento independentemente da rentabilidade econômica (competitividade)	No Brasil, a política e a governança influenciam muito nessa questão
Quadro jurídico avançado e desenvolvimento de instrumentos de direito ambiental	O arcabouço jurídico exige uma evolução holística em termos de eficiência e segurança processual
Desenvolvimento de um planejamento ambiental específico para estabelecer compromissos tangíveis e superar o déficit de investimentos	O Brasil pode operar sob instrumentos financeiros e específicos planejamento para reduzir o déficit estrutural prospectivo de investimento
Conveniência de trabalho baseada no monitoramento técnico do serviço e criação de economias de escala	O Brasil se aprofunda no conceito de economia de escala e no custo efetivo do serviço, aproximando a decisão do modelo de gestão de abordagens mais frutíferas e lucrativas
Criação de uma autoridade independente como elemento de padronização e previsibilidade do sistema	O Brasil deve criar uma autoridade técnica independente que afasta a decisão dos parâmetros políticos e introduz racionalidade técnica e controle

Fonte: Ortega e Neves (2021).

Ou seja, no Brasil, as ações de regulação da água foi recentemente capturado pelas autoridades como um argumento para a atuação do estado, servindo para justificar uma série de reformas institucionais e legais em nível federal desde 2019. Preocupados com questões de em torno da água, com a Lei 14.026 de 15 de julho de 2020, o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) passou por uma rodada de reformas administrativas, a mais significativa desde sua criação em 1997 (Lei Federal 9.433/1997).

Outra importante iniciativa reformista foi a criação da Secretaria Nacional de Segurança Hídrica no Ministério do Desenvolvimento Regional para fiscalizar projetos nacionais de infraestrutura hídrica, integrar políticas públicas hídricas, apoiar o funcionamento do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, entre outras atribuições (Decreto Executivo 9.666/2019). Todas essas mudanças institucionais sinalizaram um novo foco governamental em melhorar a coordenação com as políticas de desenvolvimento de infraestrutura. Até certo ponto essas medidas reformistas foram propostas em resposta à ineficácia de muitos sistemas de gestão de água existentes (LIBANIO, 2020).

Em síntese, as mudanças legais trazidas pela reforma podem ser estruturadas em pilares que consolidam os principais avanços do novo marco legal. Como exemplo, melhorias no marco regulatório com a finalidade de reduzir riscos regulatórios. Visto que, existem mais de setenta agências reguladoras subnacionais no país, cada uma com seu próprio conjunto de regulamentos, procedimentos e diferentes níveis de capacidade e maturidade institucional. Assim, a reforma estabelece que um órgão federal, a ANA, pode publicar diretrizes padrão para a regulamentação dos serviços (NUNES; ANDERAOS; ARAÚJO, 2021).

Com a reforma há uma maior regionalização da prestação de serviços, pois saneamentos exigem grandes investimentos e se beneficiam de economias de escala. Portanto, o processo envolve a agregação de municípios em regiões de que prestam serviço de água e saneamento para aproveitar economias de escala, visando a universalização e a viabilização financeira. A regionalização também motiva a harmonização do planejamento, regulamentação e cumprimento da legislação (NUNES; ANDERAOS; ARAÚJO, 2021).

Mais importante ainda, as reformas pró-mercado da água no Brasil precisam ser implementadas de acordo com as demandas sociais e preocupações ambientais apresentadas democraticamente nos fóruns de água do SINGREH. No longo prazo, programas orientados a resultados também podem contribuir para reformular a agenda de segurança hídrica do Brasil, melhorando a atuação do Estado e ampliando o envolvimento de agentes do terceiro setor e do setor privado nos esforços do país para atender à Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável da ONU (LIBANIO, 2020).

3 ESTUDO 01: ESTRUTURA TARIFÁRIA E GESTÃO DA ÁGUA COM APOIO DE UMA ABORDAGEM MULTIMETODOLÓGICA

3.1 Introdução

A disponibilidade da água contribui com atividades socioeconômicas e tem influência na qualidade de vida das pessoas. Além de ser insumo primário na produção agrícola, a água também é utilizada em processos industriais como na geração de energia, manufatura e mineração (WHITTINGTON, ET AL., 2009; JEULAND, ET AL., 2013; REHAN, ET AL., 2013). Nesse contexto, a gestão da água é um assunto que merece atenção (NASSERY, ET AL., 2017). Por exemplo, no nordeste brasileiro, os sistemas urbanos de abastecimento de água são abastecidos quase inteiramente por reservatórios superficiais. E por isso o abastecimento depende do reposicionamento dos estoques hídricos desses reservatórios durante o período de chuvas (ARAUJ0; ESQUERRE; SAHIN, 2019).

A segurança da água potável é uma preocupação crescente, desempenhando um papel importante até mesmo nas relações internacionais, uma vez que o crescimento populacional, as mudanças climáticas, rápida urbanização e o aumento da demanda por água devido à retomada do crescimento econômico local gera uma pressão considerável sobre os recursos hídricos disponíveis (ROMANO; SALVATI; GUERRINI, 2017). Para tanto, deve-se destacar os regulamentos pertinentes ao abastecimento de água, tais como: (i) igualdade de acesso da população a preços acessíveis e com qualidade no serviço prestado; (ii) a sustentabilidade do ponto de vista ambiental com intuito de reduzir danos aos recursos naturais; e (iii) eficiência na produção e no fornecimento de água, com o menor custo possível (GRAFTON; CHU; KOMPAS, 2015; ARAUJ0; ESQUERRE; SAHIN, 2019).

Para atender a essas necessidades, na prestação de serviço deve-se considerar a perspectiva holística e de longo prazo em relação à recuperação de custos (BRATTEBØ, ET AL., 2013). Na maioria dos países, as concessionárias de água urbana contam com subsídios e concessões governamentais insustentáveis para financiar a reabilitação de ativos de infraestrutura física. Ao longo dos anos, a insustentabilidade dessas fontes de financiamento tem causado aumento nos custos resultantes do acúmulo significativo de infraestrutura deteriorada. Dessa forma, com estruturas tarifárias ineficientes são transmitidas informações equivocadas sobre a disponibilidade e o valor da água. Esse desafio gerencial destaca a necessidade de autossustentabilidade financeira na gestão de ativos de infraestrutura hídrica urbana (BABAMIRI; PISHVAEE; MIRZAMOHAMMADI, 2020). Em outras palavras, a fim

de garantir a segurança da água a longo prazo, as concessionárias de água precisam diversificar seus investimentos no abastecimento de água enquanto melhoram a eficiência do uso da água (ARAÚJO; ESQUERRE; SAHIN, 2019).

Barraqué (2020) ao discutir as tarifas de água na Europa, abordou que na França a *Water Framework Directive* (WFD), chegou a recomendar que a população deveria pagar o mais próximo possível do custo total dos serviços prestados pela água. Isso levantou duas questões: o que está incluído no “custo total” dos serviços de água? E todos os custos deveriam ser cobertos por meio da tarifa, ou também por impostos e, eventualmente, de algumas transferências? Para o referido autor, ocorre pelo fato de que a recuperação total dos custos compreende mais do que os custos de operação e manutenção (O&M) e investimento.

Além de O&M e retorno do investimento, deve-se levar em consideração os custos ambientais. Os custos ambientais são cobranças que a sociedade, investidores, fornecedores e o mercado vêm fazendo aos gestores ao longo dos anos, e dizem respeito, por exemplo, aos problemas de qualidade da água, decorrentes de poluição, o que pode resultar em um preço mais alto em comparação ao custo interno total, dependendo das condições geográficas (ROGERS; BRATIA; HUBER, 1998).

Nos países em desenvolvimento em muitos casos apenas os O&M são cobrados aos clientes, enquanto que os investimentos são cobertos por recursos ou transferências governamentais, de modo a manter os preços da água em níveis aceitáveis dadas as condições sociais (BARRAQUÉ, 2020). No Brasil, o modelo vigente concebe a tarifa a garantia de manutenção, operação e todos os custos dos serviços dos sistemas e outros custos operacionais. Financiamentos de obras e os custos vinculados possuem como base o orçamento público (da União, Estados/Distrito Federal e Municípios) e os recursos tomados no mercado pelos prestadores de serviços (IPEA, 2020).

Há grandes dificuldades em realizar investimentos no setor e com tarifas adequadas devido ao desafio de universalizar o serviço em um país com desigualdades econômicas e sociais. A infraestrutura e gestão requer consenso político, planejamento e longo prazo tanto para que se possa mensurar os investimentos feitos nos sistemas de água e esgoto como para amortizar os custos de implementação e operação (IPEA, 2020).

Para que o cenário futuro dos usos dos recursos hídricos seja sustentável, são necessários investimentos de vários níveis nos diversos agentes envolvidos do setor. Também é necessário desenvolvimento tecnológico que gere novo processo que possa avaliar minuciosamente os custos de todos os serviços prestados, a fim de melhor adequá-los às

atuais práticas de mercado, tornando-os com valores mais justos e evitando cobranças abusivas ou cobranças que tragam prejuízos às empresas (IPEA, 2020).

Assim, ao aplicar uma abordagem multimetodológica para apoiar na discussão sobre estrutura tarifária e gestão da água (sendo esta medida pelo controle de perdas), foi trabalhado método *Strategic Options Development and Analysis* (SODA), que é uma metodologia de estruturação de problemas que incorporam uma abordagem particular ao mapa cognitivo que se baseia na teoria psicológica de construções pessoais. O processo de concepção dos mapas SODA e seu conteúdo oferecem uma interface transparente por meio da qual podem explorar, aprender e, consequentemente, tomar decisões mais seguras para melhorar, ou de outra forma, alterar uma situação-problema (ALKERMAN; EDEN, 2010; GEORGIOU, 2011).

Ainda, houve a necessidade de uma análise abrangente para se adaptar ao desenvolvimento de sistema dinâmico. Os conceitos de *System Dynamics* foram inicialmente apresentados por Forrester (1961,1969) como um método de modelagem e simulação para gerenciamento industrial e tomada de decisão, havendo como base a teoria de controle de *feedback* e os conceitos de pensamento sistêmico. Tal abordagem tem se mostrado adequada em problemas de negócios e estratégia (STERMAN, 2000).

Modelar e simular a mudança nos recursos hídricos fornece uma base científicamente defensável para estratégias de gestão proativas, aumentando as perspectivas de maximizar a capacidade adaptativa do sistema como um todo. Abordagens eficazes para a geração e uso de tais ferramentas permitem extrapolar e interpolar de uma maneira significativa, enquadrando aplicativos específicos do sistema em um contexto mais amplo. Além de representar uma oportunidade para testar a compreensão do sistema, explorando suas implicações, levantando e interrogando hipóteses (WINZ; BRIERLEY; TROWSDALE, 2009).

À exemplo, Rehan, et al. (2013) desenvolveram um modelo de *System Dynamics* em redes urbanas de distribuição de água. Na visão dos autores, por meio da *System Dynamics* é possível enfatizar interações entre as variáveis do sistema ao longo do tempo, ao passo que no setor de saneamento básico passa a ser composta pelas redes de distribuição de água, pelas finanças e consumidor. Além de examinar diferentes estratégias da tarifa de água no que tange a consistência e estabilidade, Rehan et al. (2013) determinaram todas as despesas e os vários direcionadores de custos envolvidos nas prestações de serviços de água potável. Eles propõem uma estrutura tarifária com base na recuperação total dos custos.

3.2 RSL para estrutura tarifária e gestão da água

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) segue a metodologia recomendada pelo Itens Preferenciais de Relatório para Revisões Sistemáticas e Meta-análises (PRISMA). A revisão sistemática, por ser uma técnica que enfatiza resultados conclusivos frente aos estudos empíricos, dado que evidenciaram resultados já realizados sobre o tema, mostra-se adequada na identificação, mapeamento e análise das pesquisas relevantes. Disso isso, esta abordagem para uma revisão sistemática consiste nas seguintes etapas básicas (Fuente, 2019):

Na primeira etapa, o pesquisador define termos de pesquisa *booleanos*. Isso é feito por tentativa e erro em bancos de dados selecionados com dois objetivos: 1) os termos de pesquisa devem ser amplos o suficiente para capturar todas as referências que identificou anteriormente como relevantes ou essenciais com base em seu conhecimento do campo e 2) os termos de pesquisa também devem ser específicos o suficiente para produzir um corpo coerente de literatura para revisão.

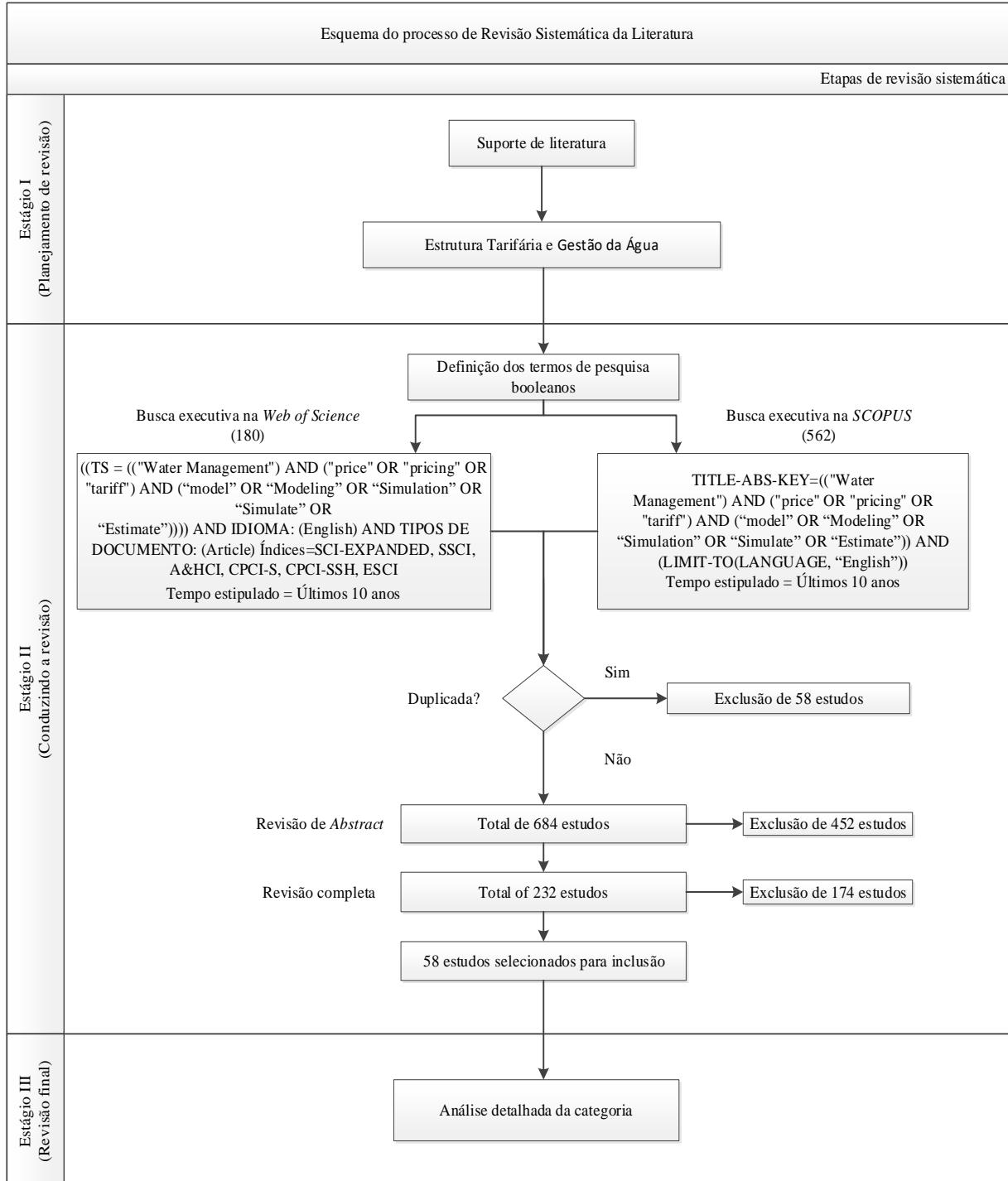
Na segunda etapa, o pesquisador usa esses termos de pesquisa para consultar um conjunto definido de bancos de dados de publicação. Em seguida, compila uma lista de referências não duplicadas desses bancos de dados e define critérios de inclusão e exclusão para identificar estudos apropriados para o escopo da revisão.

Na terceira etapa, o pesquisador refina a lista submetendo iterativamente os estudos à triagem de título, resumo e texto completo para obter um conjunto central de artigos. Uma vez que o pesquisador tenha reunido um conjunto básico de estudos, é analisada a literatura relevante identificada, pesquisas suplementares na literatura e opinião de especialistas.

Seguindo os critérios acima, sabendo-se que a tarifação é um dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, foram definidos e refinados um conjunto de termos chaves de pesquisa *booleanos* relacionados a gestão da água e avaliação de tarifas para serviços de água e saneamento. Visto que, as taxas de uso de água devem atender aos seguintes objetivos: maximizar a alocação eficiente de recursos; ser percebido como justo pelos usuários de água; ser equitativo entre as classes de clientes; gerar renda suficiente; proporcionar estabilidade ao lucro líquido; envolver um processo de fixação de tarifas que seja compreendido pelo público; promover a conservação de recursos; ser facilmente implementado; envolvem acessibilidade à água; levar em consideração mudanças futuras; reduzir custos administrativos; incluem custos ambientais; refletir as características de abastecimento e qualidade da água, bem como a confiabilidade e frequência do abastecimento; e, possibilite realizar investimentos no setor

(LEE; POMEROY; BURIAN, 2021; SAMPAIO; SAMPAIO, 2020; SANABRIA; TORRES, 2020; BRISEÑO, 2018; ROTERS; OELMANN, 2018).

Figura 10: Sistematização do protocolo de pesquisa da RSL



Fonte: Elaboração própria (2024).

Conforme Figura 10, a *string* de busca foi a seguinte: (("Water Management") AND ("price" OR "pricing" OR "tariff") AND ("model" OR "Modeling" OR "Simulation" OR "Simulate" OR "Estimulate"))). Em seguida, os termos de pesquisa

booleanos foram consultados em dois mecanismos de pesquisa acadêmica: *Web of Science (Core Collection)* e *SCOPUS*. A partir da *string* e bases de dados foram utilizados os seguintes filtros: período de 10 anos, documento tipo (artigo), idioma (inglês) e campos de busca (título, palavras-chave e resumos). Os estudos foram baixados em 06 de julho de 2021.

Quantos aos estágios envolvidos no processo, após o Estágio I (planejamento de revisão), no estágio II foram encontrados 180 estudos na *Web of Science* e 562 na *Scopus*. Em seguida, foram excluídos 58 estudos por serem duplicados. Ademais, verificou-se a aderência dos artigos no que diz respeito a área contextual. Neste momento, a seleção envolveu a leitura dos *abstracts* e identificação das palavras-chaves no corpo dos textos. Feito isto, foram excluídos 452 artigos na etapa de revisão de *abstracts* e 174 estudos na revisão completa, restando 58 artigos na amostra final, ou seja, *corpus* textual da pesquisa. E ainda, no estágio III é feita a revisão final com uso dos softwares: *Microsoft Excel®* e *Iramuteq*.

3.2.1 Análise de similitudes e classificação hierárquica descendente nos *abstracts*

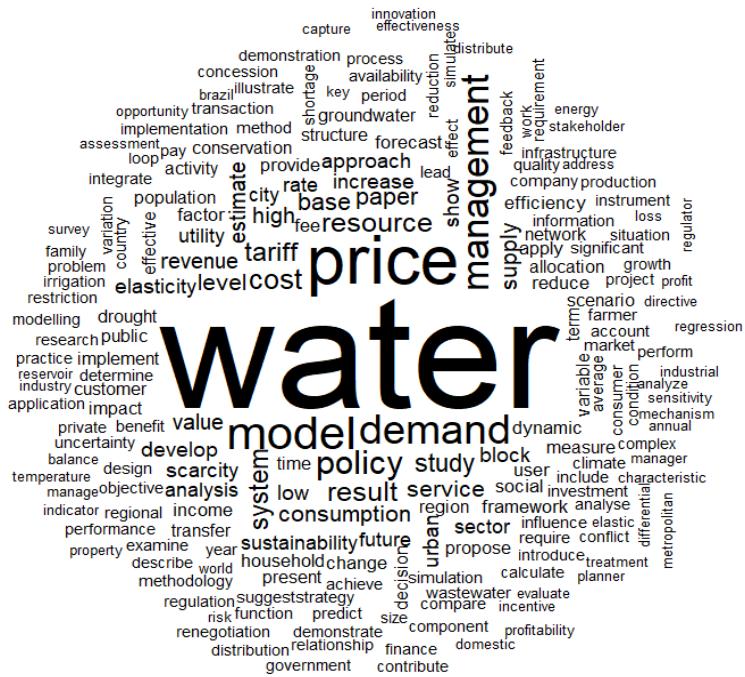
A nuvem de palavras apresentada na Figura 11 a seguir, evidencia quais palavras deram forma a estrutura tarifária e a gestão da água. As palavras estão em língua inglesa, tendo em vista a seleção feita em *Web of Science* e *SCOPUS*, da Figura 09. Isso posto, é possível perceber a uniformidade das palavras utilizadas nos 58 estudos selecionados na RSL, sendo aprofundadas pela análise de similitudes e classificação hierárquica descendente (método de Reinert) nos *abstracts*.

Sendo a água a palavra central (Figura 11), há entendimento dos 58 estudos que, a água desempenha um papel crucial até nas relações internacionais. O serviço de água é considerado um bem público por causa de suas externalidades ambientais e de saúde pública. Em comparação com outros tipos de demanda de água, a água urbana assume especial importância. O papel vital da água nas funções do corpo, estilo de vida saudável e práticas de higiene, juntamente com a escassez de recursos, tornam o governo responsável pelo abastecimento seguro e suficiente de água residencial (WANG, ET AL., 2018; ANDRADE; CRUZ; SARMENTO, 2018; BEN; BEN; NGUYEN, 2019; BABAMIRI; PISHVAEE; MIRZAMOHAMMADI, 2020; GHINIS; FOCHEZATTO; KUHN, 2020).

Ainda, entre outras palavras, às que envolve o preço, o modelo, a demanda, a gestão e as políticas em torno da água são apresentadas com ênfase. Villar e Melgarejo (2020), por exemplo, mostram as possibilidades de ferramentas de gestão da água, em particular a utilização de modelos prospectivos de preços e demanda. Na visão dos autores, uma maneira

de enfrentar os desafios práticos dos problemas atuais dos serviços de água é por meio de medidas voltadas a demanda. Esses tipos de medidas impactam na demanda por meio de mudanças de preços ou no controle do uso da água, considerando que os impactos dessas medidas seriam extremamente úteis para a implementação de um *mix* de políticas adequadas.

Figura 11: Nuvem de palavras da RSL



Fonte: Elaboração própria (2024).

A análise de similitude permite entender a estrutura de construção do texto e temas de relativa relevância, mostra as palavras próximas e distantes umas das outras, ou seja, forma uma árvore de palavras com suas ramificações a partir das relações guardadas entre si nos textos. Nesse aspecto a Figura 12 enfatiza a análise de similitudes das palavras contidas nos *abstracts* dos artigos da RSL, sendo perceptível que essa análise corroborou com a nuvem de palavras da Figura 10, pois a maior parte dos artigos se concentram nas mesmas palavras.

Entre os artigos selecionados, Hoffman e Plessis (2013) identificaram em sua pesquisa que um aumento nas tarifas de água causa um aumento na economia de água esperada e, portanto, causa uma redução no consumo de água. Os valores de elasticidade de preço selecionados determinam a inclinação da diminuição do consumo de água, como seria de esperar. E ainda, a porcentagem de economia de água e receita aumenta com um aumento nos valores absolutos de elasticidade para um determinado aumento das tarifas de água. O

aumento percentual na receita das vendas de água é normalmente maior do que a porcentagem real na economia de água.

Usar os valores corretos de elasticidade de preços é essencial para determinar os impactos esperados e corretos dos aumentos de preços. O modelo proposto por Hoffman e Plessis (2013) é capaz de analisar o possível impacto de um aumento nas tarifas de água no consumo de água e rendimentos associados. De acordo com autores, pode-se concluir que a economia obtida com o aumento da tarifa de água pode não ser significativa, a menos que valores notáveis de elasticidade de preço sejam aplicados na área. A economia de água é tipicamente menor do que o aumento da receita induzida pelo aumento do custo e, portanto, a economia de água pode ser considerada um benefício secundário.

Figura 12: Nuvem de similitudes da RSL



Fonte: Elaboração própria (2024).

O método de classificação hierárquica de Reinert possibilita a contabilização das palavras pela frequência de co-ocorrência, havendo como base as classes gramaticais com significados cognitivos passíveis de exame. Nesse contexto, realizam-se cálculos por meio da co-ocorrência de palavras em segmentos de texto, de modo a diferenciar as classes de palavras que dizem respeito às formas distintas de discurso sobre o tópico de interesse da investigação. Dessa forma, as classes são representadas comparativamente com seu grau de ocorrência e similitude possibilitando a descrição, classificação e interpretação dos segmentos de texto.

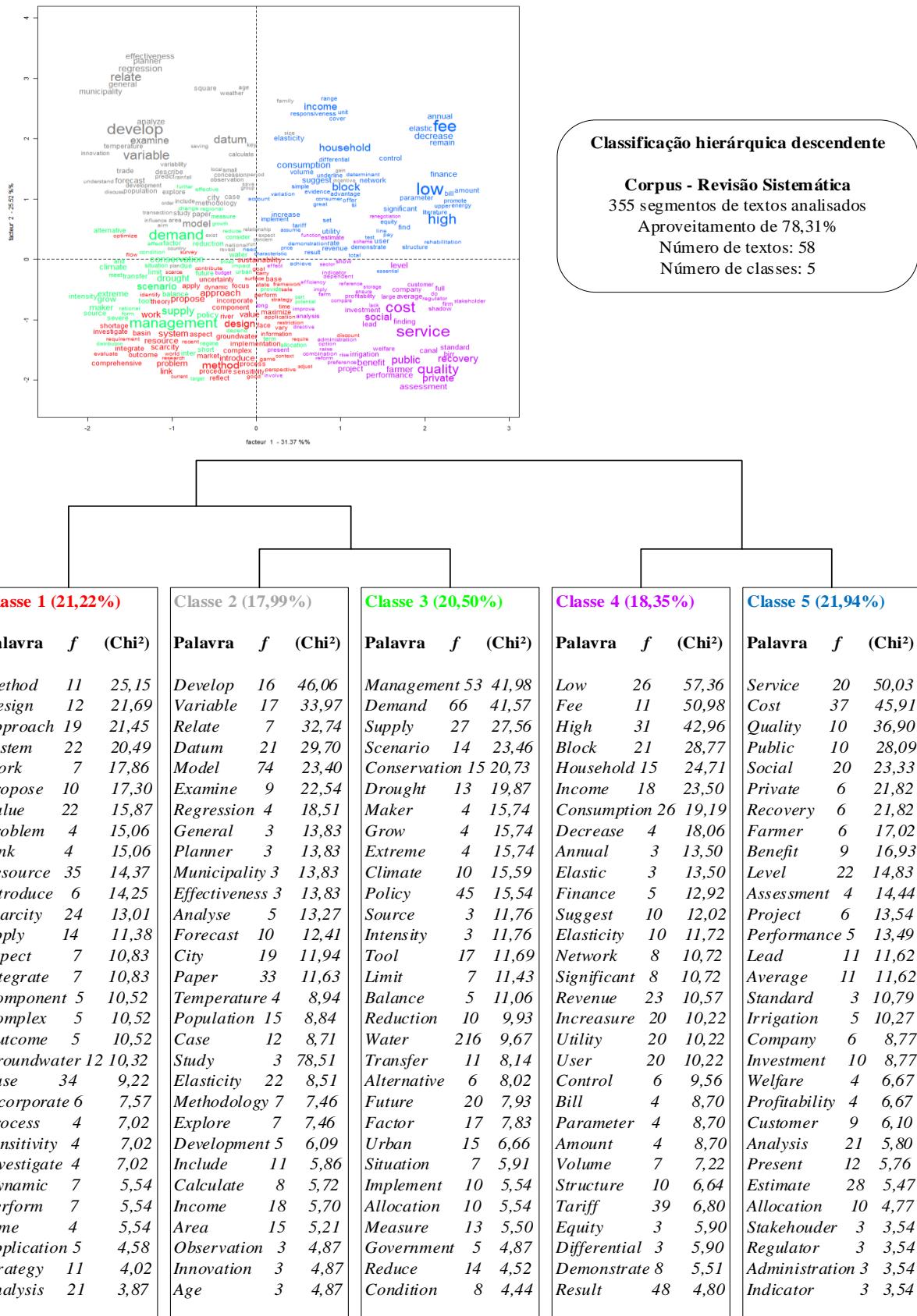
Conforme Figura 13, pode-se visualizar o dendograma que demonstra as classes advindas das partições do conteúdo. Dito isso, na análise do corpus proveniente dos *abstracts* dos artigos selecionados, pelas classificações hierárquicas descendentes foram observados 355 segmentos de textos, com aproveitamento de 78,31% do total de palavras equiparadas e com tamanhos diferentes, indicando o grau de semelhança no vocabulário das cinco classes resultantes, para o total de 58 textos (artigos) analisados.

O corpus textual foi dividido em 5 classes. Para a melhor visualização das características de cada classe foram elencadas as 30 palavras mais expressivas, segundo: a) sua frequência (f); e b) seu grau de associação (χ^2) com a classe correspondente. A classe 5, considerada a de maior poder explicativo, representa 21,94% de todo o corpus textual, seguida pela classe 1 (21,22%), classe 3 (20,50%), classe 3 (18,35%) e classe 2 (17,99%).

Com fundamento em todas as informações disponibilizadas, depreende-se que a classe 1 e 2 traduz-se nas metodologias apresentadas desenvolvidas nos artigos. Na classe 1 são estudos que envolvem métodos voltados ao sistema/processo do abastecimento de água, com uso da *System Dynamics*, por exemplo (REHAN, ET AL., 2011; SAHIN, ET AL., 2018). A classe 2, se refere a métodos econôméticos, por exemplo, com uso de regressão, e uma amostra maior de dados para análise (TANG, ET AL., 2014; GHINIS; FOCHEZATTO; KUHN, 2020). Já a classe 3 apresenta um conteúdo lexical agrupado, principalmente, em torno da gestão da água, e isso pode ser visto em pesquisas como as de Araújo, Esquerre e Sahin (2019) e Yuan, Lo e Chiueh (2019).

A classe 4 refere-se a questão da conservação e acessibilidade ao serviço de prestação de água pelos diversos usuários. Isso pode ser percebido pela primeira palavra da classe, que analisada pelo contexto do texto refere a baixa renda de usuários. Kayaga e Smout (2014) Este artigo analisa como as estruturas tarifárias urbanas podem ser projetadas para promover a conservação da água nas residências, ao mesmo tempo em que garante a suficiência de receita para os provedores de serviços e acessibilidade para famílias de baixa renda.

Figura 13: Dendograma da classificação hierárquica descendente (Método de Reinert)



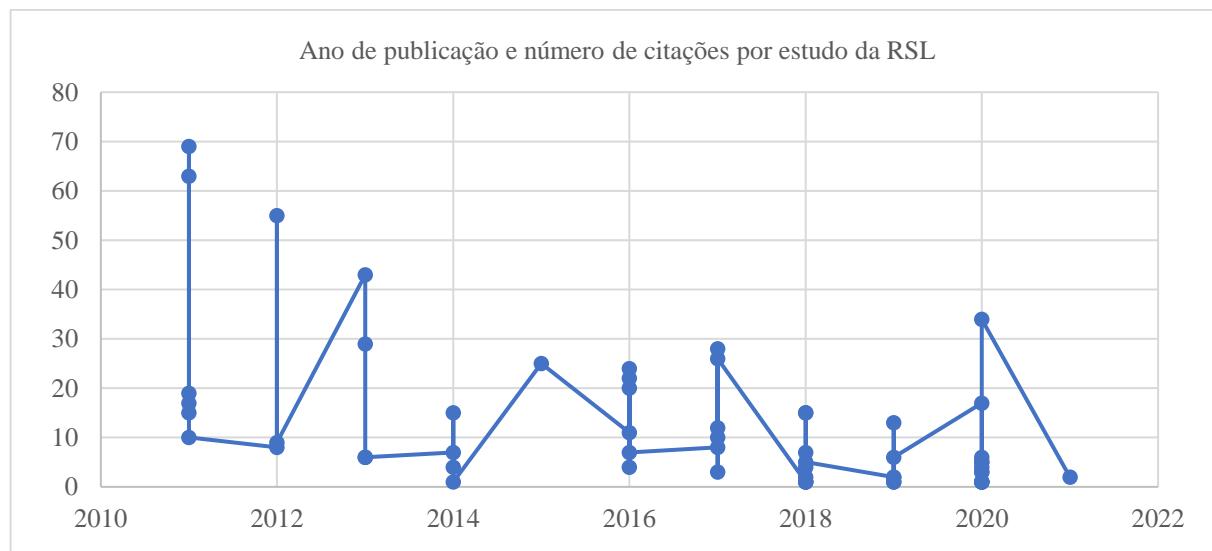
Fonte: Elaboração própria (2024).

A classe 5 enfatiza a qualidade do serviço prestado, a recuperação dos custos, preocupações sociais, desempenho, investimentos, lucratividade, *stakeholder* e o papel da regulação. Isso é enfatizado por Pinto e Marques (2016) ao afirmarem que as discussões em torno das tarifas evoluíram nas últimas décadas, embora de forma variável no mundo. Com efeito, esta evolução está ligada a requisitos mais exigentes, ou objetivos que têm de ser alcançados com padrões de qualidade, manutenção de infraestruturas mais rigorosos, recuperação de custos e preocupações sociais. Tais fatores também são abordados por Rehan, et al. (2011), Pulido, Alvarez e Andreu (2013) e Stevovic, Nestorovic e Lutovac (2018).

3.2.2 Objetivos políticos associados a estrutura tarifária

Na Figura 14 verifica-se o ano de publicação e número de citações por estudo da RSL para estrutura tarifária e gestão da água. Dessa forma, com um total de 69 citações a pesquisa desenvolvida por Rehan, et al. (2011) é mais citadas da amostra selecionada. Seguida por Almansa e Martínez-Paz (2011) com 63 citações, Zarghami e Akbariyeh (2012) com 55 citações, Pulido-Velazquez, Alvarez-Mendiola e Andreu (2013) com 43 citações e Karimlou, et al. (2020) com 34 citações.

Figura 14: Publicação e número de citações por estudo para estrutura tarifária e gestão da água



Fonte: Elaboração própria (2024).

Rehan, et al. (2011), Zarghami e Akbariyeh (2012) e Karimlou, et al. (2020) propuseram uma abordagem para ajudar empresas de saneamento a se planejarem para atender aos requisitos dos novos regulamentos, por meio de diagrama de loop causal de uma

rede de água como um sistema complexo com múltiplas interconexões e loops de *feedback*. Já Almansa e Martínez-Paz (2011), abordam uma análise de custo-benefício para avaliação de investimento público no setor. Visto que, para os autores em projetos de alto impacto ambiental, com efeito de longo prazo nas gerações futuras, a escolha do horizonte temporal é de particular relevância, pois pode levar a avaliações de rentabilidade muito diferentes.

Pulido-Velazquez, Alvarez-Mendiola e Andreu (2013), com foco na recuperação dos custos, apresenta um método para a simulação de políticas de precificação de água vinculadas à disponibilidade de água e o desenho de políticas de precificação que incorporam o valor marginal da água em toda a bacia. Para tanto, foi feita simulação baseada em prioridades e otimização econômica, sendo avaliadas comparando os resultados da simulação da operação atual do sistema e a tabela de preços.

Quanto ao Quadro 08, são abordados os objetivos políticos associados a estrutura tarifária (eficiência, equidade social, conservação, acessibilidade, estabilidade da receita e recuperação dos custos), em pesquisas de 2011 a 2021. Além disso, com um total de 38 artigos, os estudos identificados na RSL concentram-se em grande parte na precificação dos serviços de água (BABAMIRI; PISHVAEE; MIRZAMOHAMMADI, 2020; GHINIS; FOCHEZATTO; KUHN, 2020; MERCADIER; BRENNER, 2020; REVOLLO-FERNANDEZ, ET AL., 2020; LEE; POMEROY; BURIAN, 2021).

Pinto e Marques (2016) e Lee, Pomeroy e Burian (2021) trazem em suas pesquisas uma discussão que abrange cada objetivo político do Quadro 05. Tomando como base a regulação, Pinto e Marques (2016), por exemplo, descrevem que com base na proteção do interesse público, a adequação entre os objetivos políticos definidos pelas empresas de saneamento e as necessidades reais podem exigir uma abordagem institucional mais ampla. E com isso, a atividade regulatória pode ser exigida no contexto de muita arbitrariedade nos procedimentos de fixação de tarifas.

Verifica-se que, aproximadamente 53% dos artigos enfatizam que os custos intrínsecos na tarifação da água, e sua devida recuperação, e a possibilidade de retorno dos investimentos do setor são fatores que requerem maiores aprofundamentos de estudo. E ainda, em torno de 45% dos estudos incluídos em nossa revisão abordaram explicitamente a questão da eficiência econômica de alguma maneira. Muitos estudos que abordaram a eficiência econômica utilizaram-na para motivar a proposição de estruturas tarifárias alternativas (ASHOORI; DZOMBAK; SMALL, 2017; WANG L., ET AL., 2018).

Quadro 08: Objetivos políticos associados a estrutura tarifária

Estudo	O foco principal é a simulação de tarifas?	Objetivos políticos					
		Eficiência	Equidade social	Conservação	Acessibilidade	Estabilidade de receita	Recuperação dos custos
Lee S.; Pomeroy C.; Burian S. (2021)	SIM	X	X	X	X	X	X
Babamiri A.; Pishvaaee M.S.; Mirzamohammadi S. (2020)	SIM		X	X	X	X	X
Ghinis C.P.; Focchezatto A.; Kuhn C.V. (2020)	SIM			X		X	X
Di D., et al. (2020)	NÃO					X	X
Sampaio P.R.P.; Sampaio R.S.R. (2020)	NÃO		X				X
Zounemat-Kermani M., et al. (2020)	NÃO					X	
Mercadier A.C.; Brenner F.S. (2020)	SIM		X		X	X	X
Sanabria, S; Torres, J. (2020)	SIM						X
Maria, MBM; Exposito, A; Berbel, J. (2020)	SIM	X					X
del Villar, A; Melgarejo, J. (2020)	SIM			X		X	X
Revollo-Fernandez, DA., et al. (2020)	SIM	X				X	X
Alamanos, A. et al. (2020)	NÃO		X	X			
Karimlou, K. et al. (2020)	SIM	X		X		X	X
Ben Zaied Y.; Ben Cheikh N.; Nguyen P. (2019)	SIM		X	X			
Alamanos A., et al. (2019)	SIM	X					X
Park H.; Lee D.K. (2019)	SIM	X				X	
Yuan M.-H.; Lo S.-L.; Chiueh P.-T. (2019)	SIM	X		X			
Araujo, WC; Esquerre, KPO; Sahin, O. (2019)	SIM			X		X	
Shen J., Wu F., et al. (2019)	NÃO		X			X	
Briseño H. (2018)	SIM	X					
Andrade I.; Cruz C.O.; Sarmento J.M. (2018)	NÃO		X				
Wang L., et al. (2018)	SIM	X					X
Stevovic S.; Nestorovic Ž.; Lutovac M. (2018)	NÃO						X
Sahin O., et al. (2018)	SIM		X	X			X
Lopez-Nicolas A., et. al. (2018)	SIM	X				X	X
Taştan H. (2018)	SIM	X				X	X
Roters B.; Oelmann M. (2018)	SIM						
Colby, B; Isaaks, R. (2018)	SIM	X					
Ashoori N.; Dzombak D.A.; Small M.J. (2017)	SIM			X			
Gezahagn T.W.; Zhu X. (2017)	SIM						X
Sahin O.; Bertone E.; Beal C.D. (2017)	SIM		X	X		X	
Hoyos D.; Artabe A. (2017)	SIM	X					

Estudo	O foco principal é a simulação de tarifas?	Objetivos políticos					
		Eficiência	Igualdade social	Conservação	Acessibilidade	Estabilidade de receita	Recuperação dos custos
Koundouri, P; Roseta-Palma, C; Englezos, N. (2017)	NÃO	X					X
Asci, S; Borisova, T; Dukes, M. (2017)	SIM	X	X	X			
Ghimire M., et al. (2016)	SIM	X					
Silvestre H.C. (2016)	NÃO		X				X
Kahil M.T., et al. (2016)	NÃO	X					
Molinos-S. M.; Maziotis A.; Sala-G. R. (2016)	SIM						X
Almendarez-Hernandez, MA, et al. (2016)	SIM	X	X			X	
Pinto F.S.; Marques R.C. (2016)	SIM	X	X	X	X	X	X
Romano, G; Masserini, L; Guerrini, A. (2015)	SIM	X	X				X
Kayaga S.; Smout I. (2014)	SIM	X		X	X	X	X
Krinner W. (2014)	NÃO					X	X
Tang J., et al. (2014)	NÃO				X		
Brochet A.; Benech C. (2014)	NÃO		X				
Pulido-V. M.; Alvarez-M. E.; Andreu J. (2013)	SIM	X					X
Riegels N., et al. (2013)	SIM	X					X
Hoffman J.J.; du Plessis J.A. (2013)	NÃO			X		X	
Almutaz I., et al. (2013)	NÃO		X	X	X		
Fontdecaba S., et al. (2012)	NÃO				X		
Zarghami, M; Akbariyeh, S. (2012)	NÃO			X			
Mylopoulos, N; Fafoutis, C. (2012)	SIM						X
Mieno T.; Braden J.B. (2011)	SIM	X					
de Leeann M.; Landfair S.; Ward F.A. (2011)	SIM		X	X			
Chellattan Veettil P., et al. (2011)	SIM	X	X				X
Almansa C.; Martínez-Paz J.M. (2011)	NÃO						X
Rehan R., et al. (2011)	NÃO					X	X
Walter T.; Kloos J.; Tsegai D. (2011)	NÃO	X	X	X	X		

Fonte: Elaboração Própria (2024).

A igualdade social, conservação da água e estabilidade da receita são discutidas em aproximadamente 34% dos artigos. A maioria dos estudos que abordam a questão da equidade social são examinando os impactos distributivos de tarifas alternativas (LEEANN; LANDFAIR; WARD, 2011). No âmbito da conservação da água os gerentes de serviços públicos e os formuladores de políticas públicas expressam interesse em uma redução no uso de água, para evitar a necessidade de aumentar o abastecimento de água (KAYAGA; SMOUT, 2014; ASCI; BORISOVA; DUKES, 2017). Já os estudos de estabilidade da receita, buscam uma otimização de tarifas para atender a um objetivo específico de recuperação de custos (REHAN, ET AL., 2011; KAYAGA; SMOUT, 2014; FUENTE, 2019).

Quanto a questão da acessibilidade, discutida em pouco mais de 15% dos artigos, é muitas vezes medida como a relação entre os gastos de uma família com água e sua renda. A medida em que o serviço de água é acessível é, obviamente, subjetivo. No entanto, os estudos na literatura geralmente usam uma métrica frequentemente citada de que o serviço é acessível se as famílias gastam menos de dois a cinco por cento de sua renda (HOFFMAN; PLESSIS, 2013; KAYAGA; SMOUT, 2014; FUENTE, 2019).

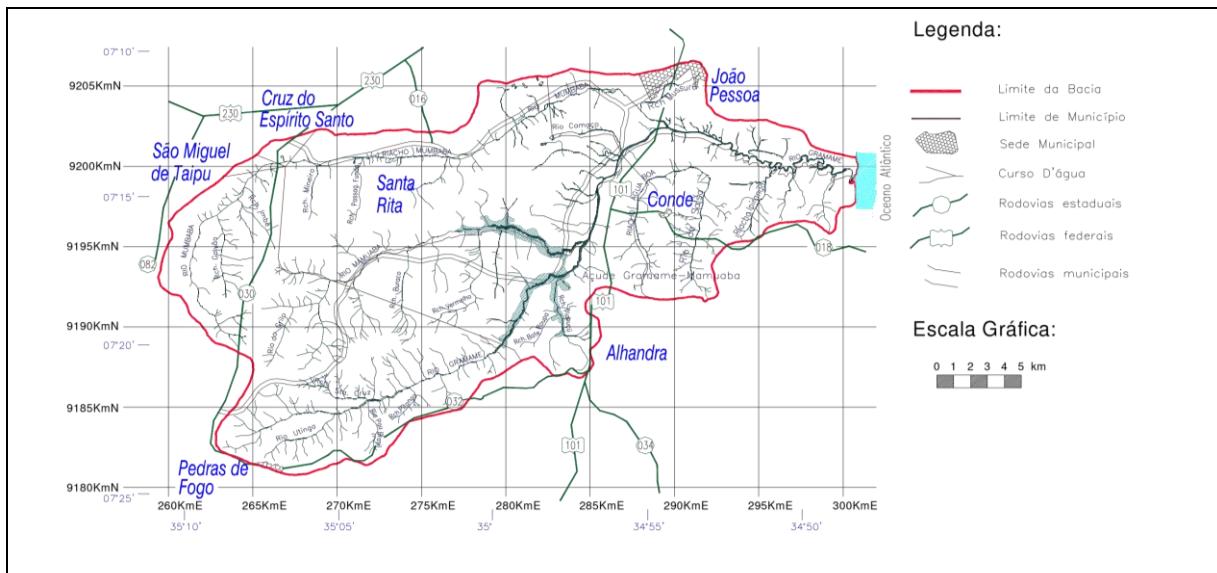
3.3 Caracterização geral da área de estudo

A CAGEPA, empresa parceira selecionada, é responsável pelo abastecimento de 199 municípios (89% das sedes urbanas), atendendo uma população de 3,1 milhões de habitantes. Dentre os principais rios que abastecem o estado, destaca-se a bacia do Rio Gramame [com capacidade máxima de 56,9 MMC (milhões de metros cúbicos)], que atende alguns dos principais sistemas integrados do Estado da Paraíba, sendo foco desta primeira etapa da pesquisa. Localiza-se entre as latitudes 7°11' e 7°23' Sul e as longitudes 34°48' e 35°10' Oeste, no litoral sul estado, próximo a capital João Pessoa. O principal curso d'água é o rio Gramame, com extensão de 54,3 km, e seus principais afluentes são os rios Mumbaba, Mamuaba e Água Boa (ANA, 2021).

Como mostrado na Figura 15, a área da bacia passa pelos municípios de Alhandra, Conde, Cruz de Espírito Santo, João Pessoa, Santa Rita, São Miguel do Taípu e Pedras de Fogo. Sendo considerada uma bacia estratégica, por ser responsável pelo abastecimento de cerca de 70% do conglomerado denominado grande João Pessoa, que, além da capital, fazem parte os municípios de Cabedelo, Bayeux e até o ano de 2022 parte de Santa Rita. Quanto ao processo da água e os serviços prestados de seus reservatórios para o abastecimento de água

são os seguintes: captação (retirada da água no manancial; adução (transporte da água); tratamento (retirada das impurezas) e distribuição (chegada da água ao cliente).

Figura 15: Bacia do Rio Gramame, Paraíba



Fonte: AESA (2023).

Os aspectos hidroclimáticos da região são apresentados na Tabela 01. Um dos fatores principais na questão climática da zona litorânea da Paraíba, na qual está inserida a bacia do rio Gramame, é o relevo. Isso se deve ao fato de que o Planalto da Borborema se constitui em uma barreira natural aos ventos das estações do ano, separando a Paraíba em duas regiões climáticas, uma região litorânea baixa, drenada para o leste, e a região ocidental onde ocorre a depressão sertaneja, conforme Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame - PDRH Rio Gramame (MEIRA; BARROS, 2022; AESA, 2023).

Tabela 01: Aspectos hidroclimáticos

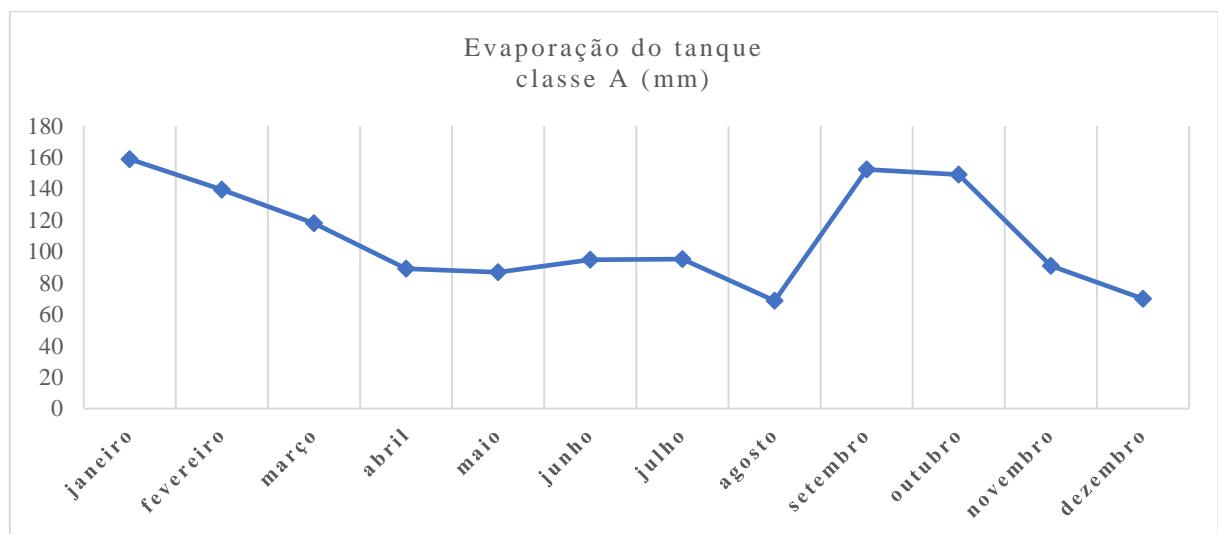
Aspectos	Dados
Área de drenagem (km ²)	589,1
Precipitação (mm/ano)	1498,1
Período de concentração de precipitação (meses)	6
Temperatura média (°C)	26,1
Evaporação em João Pessoa (mm/ano)	1313,5

Fonte: Adaptado de Meira e Barros (2022), AESA (2023)

A região da bacia do rio Gramame possui clima tropical chuvoso com estação seca no outono (PDRH RIO GRAMAME, 2023). Ainda assim, com uma média alta de consumo de água que corresponde a aproximadamente 250 l/p/d (litros por pessoa por dia), valor este considerado pela CAGEPA para uma população acima de 500.000 habitantes, há uma preocupação com consumo consciente para um futuro sustentável.

Para a evaporação, não foram identificadas pesquisas com medições de lâminas evaporadas da Estação Tratamento de Água de Gramame (ETA Gramame). Por isso, para a presente pesquisa, são usados dados médios mensais de evaporação coletados de um tanque evaporimétrico Classe A em João Pessoa pela PDRH Rio Gramame (Figura 16), por sua proximidade com o reservatório, obedecendo a Organização Meteorológica Mundial (OMM).

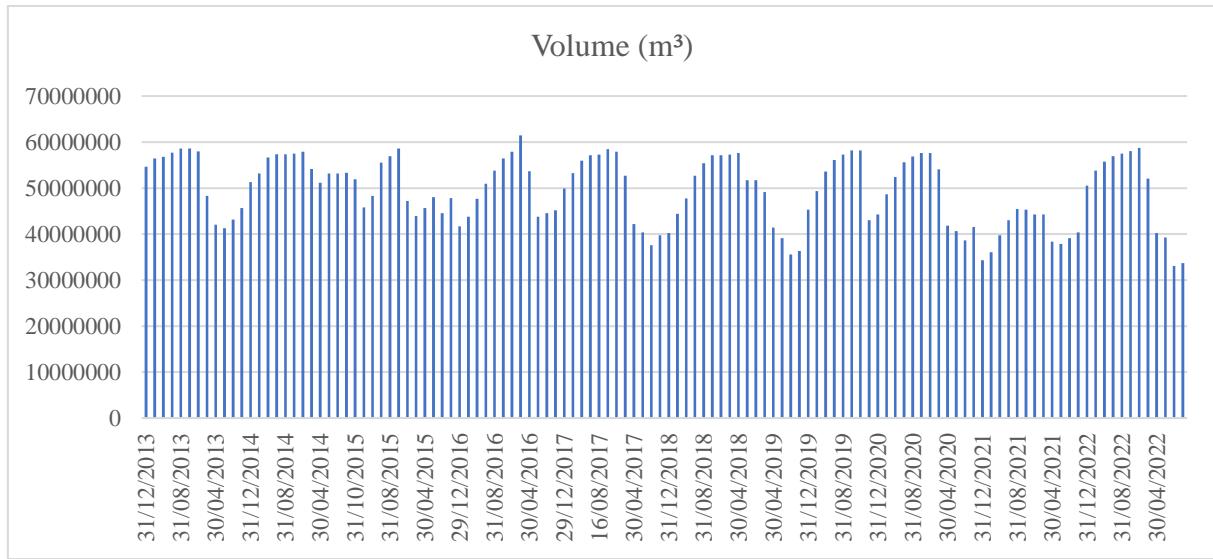
Figura 16: Dados de evaporação mensal em João Pessoa



Fonte: Dados disponíveis em AESA (2023)

Ainda sobre o balanço hídrico, vale destacar às informações sobre o volume de água da ETA Gramame, dados estes imprescindíveis para aplicar uma abordagem multimetodológica no presente estudo, e com isso realizar simulações. Portanto, uma série de dados de 2013 e 2022 (Figura 17) é empregada com base em volume de medições diárias e convertidas para anual, retiradas do sistema de monitoramento da Agência Executiva de Gestão de Águas, AESA (AES, 2023).

Figura 17: Série histórica do volume (m³) na Bacia do Rio Gramame (2013-2022)



Fonte: Dados disponíveis em AESA (2023).

A ETA Gramame, situada no município do Conde, é a maior do Estado da Paraíba. Dito isso, em visita técnica, em julho de 2022, e acompanhada pela supervisora do projeto (Gerência de Gestão Estratégica e Comercial), um dos funcionários, com a função de Químico, colaborou com a pesquisa ao mostrar na prática o funcionamento do sistema, desde o processo de captação até a distribuição da água. Na ETA existe um laboratório onde são feitas análises de amostras todos os dias de acordo com os parâmetros da Portaria nº 518 do Ministério da Saúde. Para tanto, foi feita visita *in loco* às instalações (Figura 18 e Figura 19), como casa do clorador, filtros de limpeza, reservatórios de acumulação, calha parshall (para medir a vazão de entrada e saída em estações de tratamento) e estações elevatórias.

Figura 18: Fotografias realizadas em visita técnica – Instalações da ETA Gramame, Paraíba



Fonte: Elaboração própria (2024).

A ETA Gramame é do tipo convencional de ciclo completo, constando das etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, correção de pH e desinfecção. Isso posto, a coagulação, depende de fatores como temperatura, pH, alcalinidade, cor verdadeira, turbidez, sólidos totais dissolvidos, força iônica, tamanho das partículas, entre outros. A floculação é formação de aglomerados gelatinosos, denominados flocos, que por sua vez são resultantes da reação do produto químico do coagulante e as impurezas da água. A decantação é onde as partículas presentes nos flocos irão decantar, por meio da gravidade, formando um lodo, com isso o decantador possui colmeias que forçam os flocos a continuar em embaixo, tornando aceitável a coleta apenas da parte sobrenadante. Ainda, é removida as impurezas pela filtração, que se refere a remoção das partículas suspensas e coloidais e dos microrganismos na água que escoa por meio de algo filtrante. Bem como, é feita desinfecção e o ajuste final do pH com produtos químicos, para eliminação ou destruição de organismos patogênicos na água que possam provocar doenças.

Figura 19: Fotografias realizadas em visita técnica – Tratamento da água na ETA Gramame, Paraíba

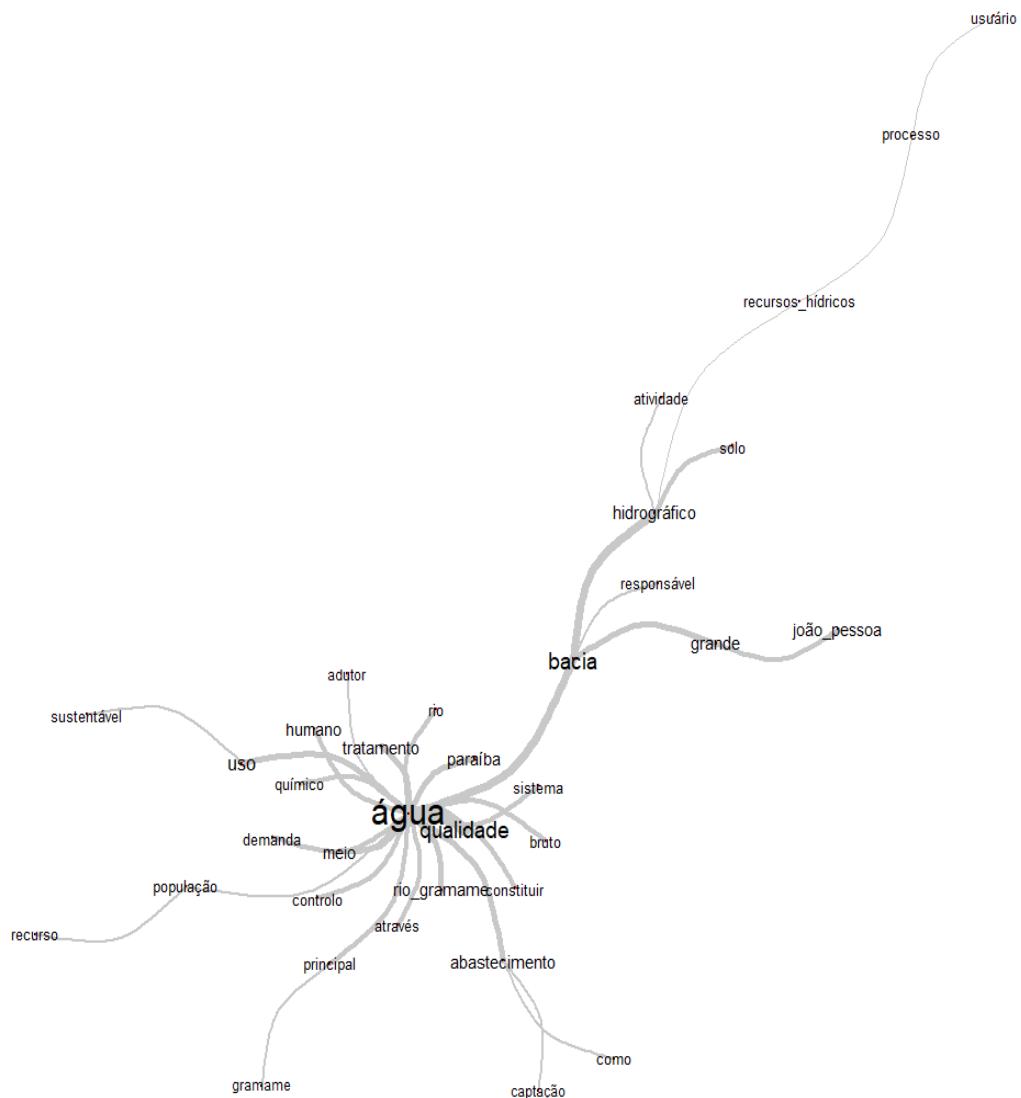


Fonte: Elaboração própria (2024).

Na Figura 20, é enfatizada a nuvem de similitude referente reunião com o responsável Químico da ETA Gramame. Isso é importante pois mostra que a bacia hidrográfica do Rio Gramame é considerada estratégica para o estado da Paraíba, e por tanto, a avaliação da qualidade da água se faz necessária, sendo realizada por meio da determinação das propriedades físicas, químicas e bacteriológicas.

Conforme o Químico da ETA Gramame, a captação é feita para consumo humano, não necessariamente para agricultura e indústria, mas pode ser usada para esses fins, todavia o tratamento é o mesmo, sendo uma questão da saúde pública. Além disso, é afirmado que há investimentos na preservação do meio ambiente e na qualidade de suas obras reafirmando seu compromisso socioambiental de compatibilizar sua atuação dentro dos princípios do desenvolvimento sustentável e socialmente responsável.

Figura 20: Nuvem de similitude referente visita técnica – ETA Gramame, Paraíba



Fonte: Elaboração própria (2024).

Mesmo que a ETA Gramame forneça água para uso humano, agricultura e indústria, não havendo dados precisos sobre consumo de agricultores/indústrias, e rateio de custos na própria CAGEPA para cada categoria (conforme afirmado em visita técnica), este estudo leva em consideração a tarifa residencial - consumo normal, tomando como base Araújo, Esquerre e Sahin (2019) e Araújo (2021). A Tabela 02 enfatiza as tarifas aplicadas no decorrer de 2019 a 2022. Nos anos de 2019 e 2020 não houveram reajuste na tarifa em decorrência de resolução da Agência de Regulação do Estado da Paraíba (ARPB).

Tabela 02: Tarifa residencial - consumo normal

Faixa de consumo mensal	2019	2020	2021	2022
Tarifa Mínima - Consumo até 10 m ³	37,91	37,91	40,64	44,03
11 à 20 m ³ (p/m ³)	4,89	4,89	5,24	5,68
21 à 30 m ³ (p/m ³)	6,45	6,45	6,91	7,49
acima de 30 m ³ (p/m ³)	8,76	8,76	9,39	10,17

Fonte: CAGEPA (2023).

A tarifa de consumo até 10m³, compreende aproximadamente 67% dos clientes (CAGEPA, 2023). Ainda assim, é uma faixa de tarifa com função de equidade no acesso à água. Com isso, os ajustes desta pesquisa são feitos para os maiores consumidores da categoria residencial (ARAÚJO; ESQUERRE, SAHIN, 2019; ARAÚJO, 2021).

Além de todos os aspectos apresentados, a gestão da água também é um desafio enfrentado pelo setor, particularmente, para este estudo além da conservação da água, as perdas também são enfatizadas. Isso se deve ao fato de que os custos decorrentes das perdas são repassados ao consumidor final, e nesse cenário, são essenciais programas de avaliação e controle de perdas. As perdas se dividem em aparentes e reais. As perdas aparentes estão relacionadas ao volume de água que foi efetivamente consumido pelo usuário, mas que, por algum motivo, não foi contabilizado. Decorrem de erros de medição, ligações clandestinas, falhas no cadastro comercial, e outros. Já as perdas reais se referem a água disponibilizada para distribuição que não chega aos consumidores, tais como, decorrentes de vazamentos em adutoras, redes, ramais, conexões e reservatórios (SNIS, 2022).

Para o ESTUDO 01 as perdas são medidas pelo índice de perdas na distribuição calculada pelo SNIS. Vale destacar que o valor medido não difere perdas reais e aparentes, não podendo assim afirmar que os valores divulgados se são referentes ao desperdício de

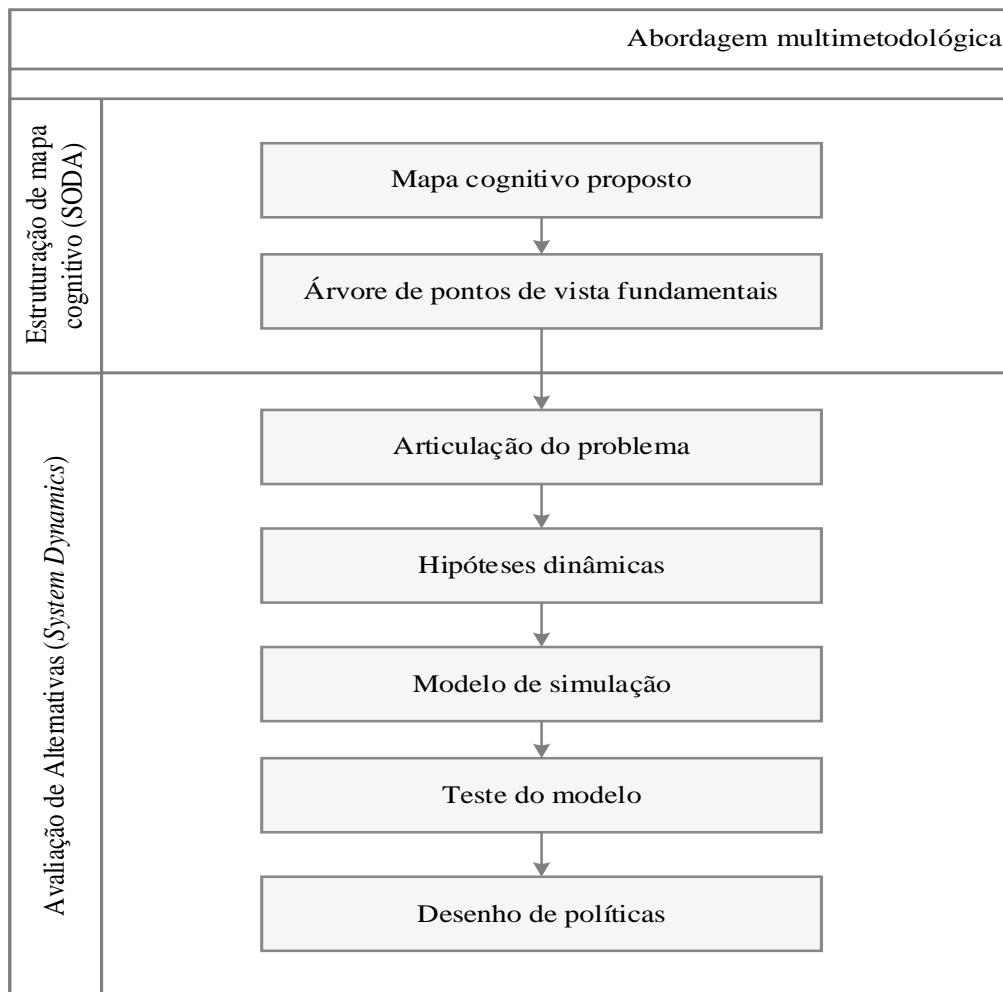
água, necessariamente. Essa limitação ocorre pela falta de técnicas para quantificação do volume de água perdido por vazamentos na rede, por submedição em hidrômetros (SNIS, 2022). Em João Pessoa, em sua última atualização, o índice chegou 38,46%.

3.4 Metodologia

3.4.1 *Strategic options development and analysis (SODA) e procedimentos da System Dynamics (SD)*

Com uma metodologia quali-quantitativa, é aplicada uma abordagem multimetodologia para apoiar a discussão sobre a estrutura tarifária e gestão da água. Com isso, o método qualitativo é pela estrutura do problema por meio de mapa cognitivo (SODA), e quantitativo pelo estoque e fluxo da *System Dynamics* (Quadro 09).

Quadro 09: Abordagem metodológica de SODA e System Dynamics



Fonte: Elaboração própria (2024).

3.4.1.1 *Strategic options development and analysis (SODA)*

Strategic Options Development and Analysis (SODA) é um método para trabalhar em problemas complexos, sendo por isso enfatizado neste estudo. A essência subjacente é que se trata de uma abordagem que permite que situações-problemas sejam exploradas de forma mais completa. Esse processo é realizado usando uma técnica chamada mapeamento cognitivo ou de causa (ou causal), que permite que as visualizações sejam capturadas e estruturadas em um formato de 'meio-fim', gerando cadeias de argumentos. Com isso, mapa pode ser visto como uma representação de como alguém ou um grupo interpreta uma situação e, portanto, os ajuda a entendê-la antes de considerá-la (ALKERMAN; EDEN, 2010).

A SODA foi trabalhada por meio de reuniões e questionários em que mapas cognitivos individuais foram usados para facilitar a negociação sobre sistemas de valores/objetivos, questões estratégicas-chave e portfólios de opções, para com isso desenvolver um mapa cognitivo congregado. É dada atenção à dinâmica afetiva, política e processual do grupo. Visto que, tem como parâmetro dotar a equipe de gestão de um modelo como dispositivo de apoio a tomada de decisão (ALKERMAN; EDEN, 2010; GEORGIOU, 2011).

Após a construção dos mapas cognitivos individuais, um mapa congregado foi elaborado. Esta agregação de todos os mapas cognitivos individuais é um procedimento que exigiu maior atenção, tendo em vista o número de participantes envolvidos na pesquisa. Ressalta-se que, assim como Araújo (2021), nesta etapa não foi obedecido o procedimento padrão do SODA para validar o mapa agregado, ou seja, uma reunião com todos os participantes envolvidos na pesquisa foi inviável. Dessa forma, para superar a distância geográfica e divergências de horários foram feitas adaptações.

Para definição dos elementos primários em torno da estrutura tarifária e gestão da água, foram realizadas reuniões *online* com a Gerência de Gestão Estratégica e Comercial (supervisora do projeto na Empresa Parceira), reuniões com o contador responsável pela Gerência de Controladoria e com a Gerência de Meio Ambiente, no decorrer de 2019 a 2023. Foi realizada visita técnica na ETA Gramame, em 2022, cujo o profissional com função de Químico recebeu a pesquisadora. Além disso, o contato com participantes com função específica (engenheiros), que se disponibilizaram a participar do estudo foi efetuado por intermédio da Empresa Parceira, no qual o setor de Gestão Empresarial se encarregou de encaminhar o e-mail com um *link* eletrônico que os redirecionaram para o questionário da pesquisa (*survey* por correspondência), nos meses de junho e julho de 2020. A ferramenta

utilizada foi o Formulários Google e as respostas foram tratadas de forma anônima. Dito isso, no Quadro 10, abaixo, é possível enfatizar a reflexão a respeito desse ponto da pesquisa.

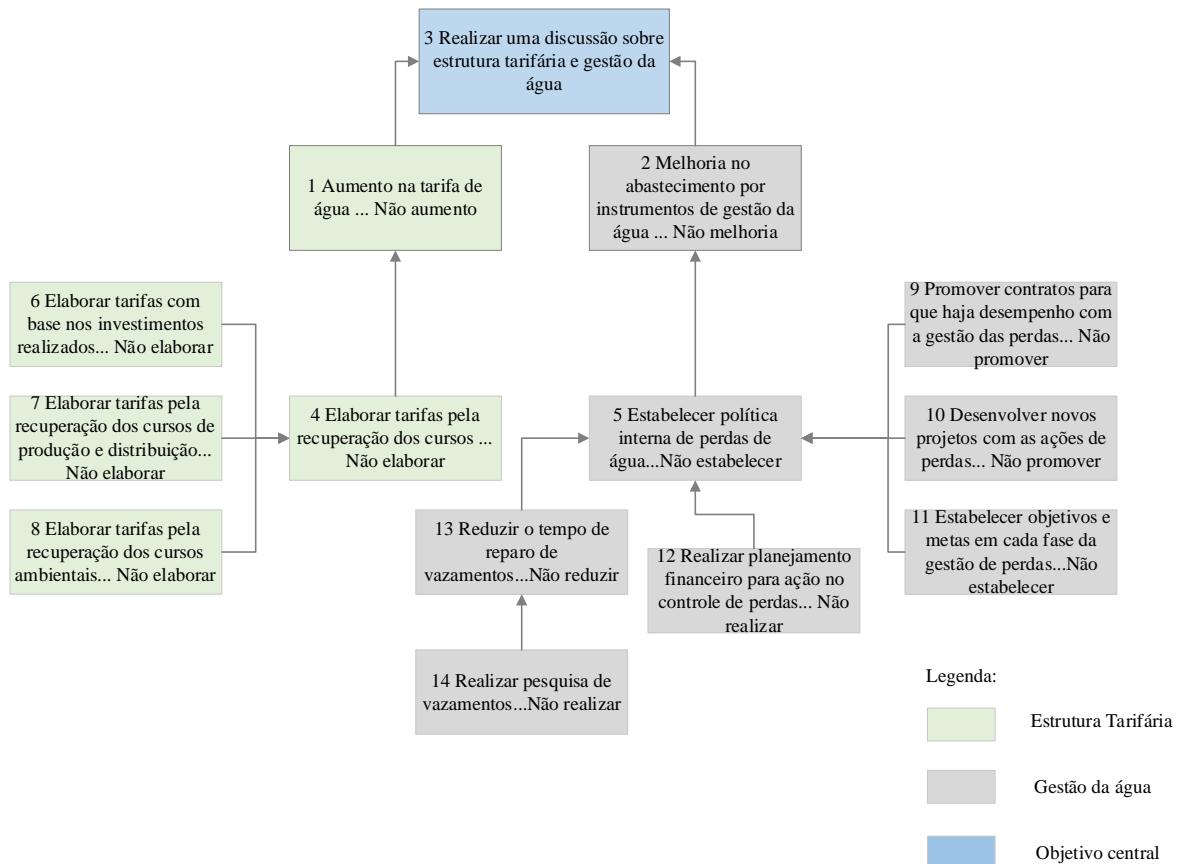
Quadro 10: Elementos primários considerados no mapa cognitivo

Regional	Função	Aspectos que devem ser tratados com relevância na estrutura tarifária e instrumentos de gestão de água
Sede Administrativa	Gerência de Gestão Estratégica e Comercial	
Sede Administrativa	Gerência de Controladoria	
Sede Administrativa	Gerência de Meio Ambiente	elaborar tarifas com base na recuperação dos custos de produção e distribuição, nos custos ambientais e nos investimentos realizados; estabelecer política interna de perdas de água; promover contratos específicos para que haja desempenho com a gestão das perdas de água;
Sede Administrativa	Químico	desenvolver novos projetos com as ações de perdas de água; estabelecer objetivos e metas em cada fase da gestão de perdas água; realizar planejamento financeiro para ação contínua no controle de perdas de água; reduzir o tempo de reparo de vazamentos; realizar pesquisa de vazamentos.
Sede Administrativa	Engenheiro	
Litoral	Engenheiro	
Litoral	Engenheiro	

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

O mapa cognitivo desenvolvido foi a partir de toda base teórica e colaboração de funcionários da CAGEPA, como evidenciado abaixo, na Figura 21, em que se verifica os conceitos “meios” na parte inferior, que se referem aos procedimentos para alcançar os objetivos, e os conceitos “fins” na parte superior, que por sua vez são os objetivos propriamente ditos. É enfatizado também um conceito “cabeça”, número 3, com o objetivo central da Etapa 01 do estudo. Já os conceitos “caudas”, representados por 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14, são os meios para se chegar aos objetivos estratégicos. Ainda, no mapa não há laços de realimentação, bem como há 2 *clusters*, estrutura tarifária e gestão da água.

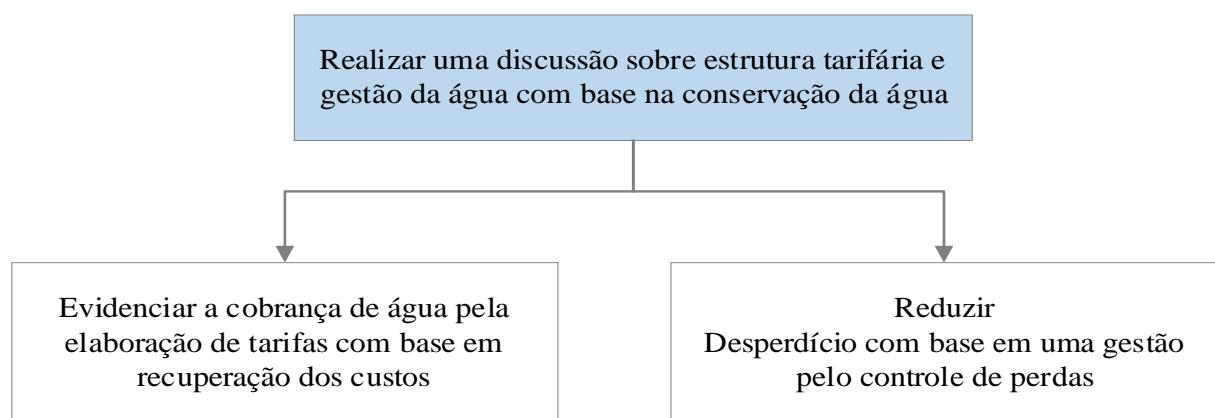
Figura 21: Mapa cognitivo proposto



Fonte: Elaboração própria (2024).

Com as informações do mapa congregado, foi possível desenvolver a árvore de pontos de vistas fundamentais/árvore de decisão (Figura 22). A estruturação em um contexto interativo com os participantes do estudo, buscou uma visualização e determinação de ações e metas para serem atingidas, com o objetivo de facilitar a tomada de decisão (ARAÚJO, 2021).

Figura 22: Árvore do ponto de vistas fundamentais



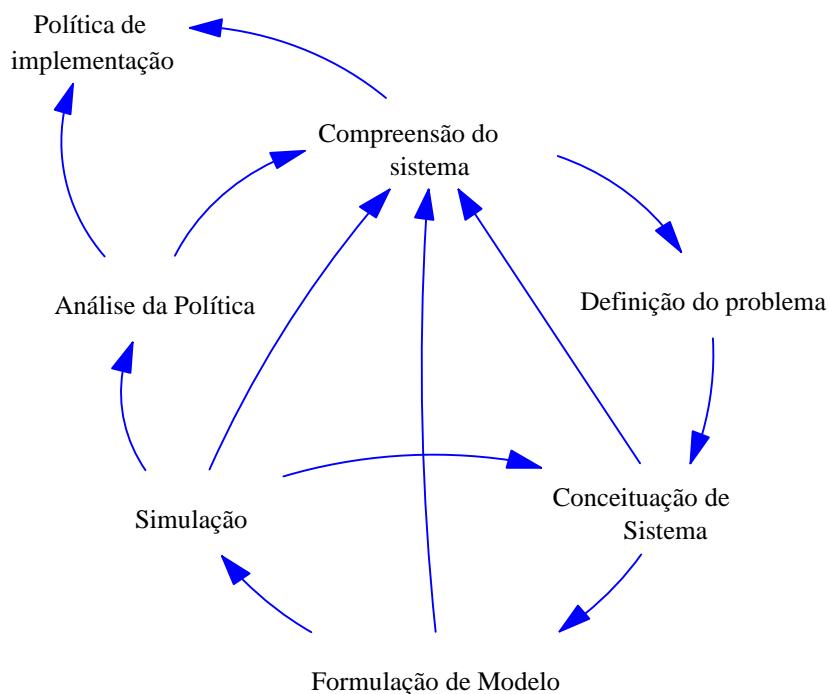
Fonte: Elaboração própria (2024).

3.4.1.2 Procedimentos da *System Dynamics*

3.4.1.2.1 Abordagem da modelagem de *System Dynamics*

A modelagem de *System Dynamics* é uma abstração da realidade que é vivenciada no campo de pesquisa, sendo uma simplificação da realidade, das observações e conhecimentos adquiridos ao longo do tempo (SENGE, 1990, 2006; ANGERHOFER; ANGELIDES, 2006). A partir das percepções dos participantes envolvidos no estudo foi desenvolvido o modelo de *System Dynamics* para estrutura tarifária e gestão da água. Nesse aspecto, as seguintes etapas foram efetuadas (Figura 23):

Figura 23: Abordagem da Modelagem de *System Dynamics*



Fonte: Adaptado de Sterman (2000).

Com a *System Dynamics*, uma situação problema é representada em termos de processos, fluxos de informação, *feedback* e *delays*, limites e estratégias/políticas. O processo de modelagem compreende várias etapas, formando um *loop* em vez de uma progressão linear: definição do problema e propósito do modelo, conceituação do sistema, formulação do modelo e simulação e análise da política (ANGERHOFER; ANGELIDES, 2006).

O foco da *System Dynamics* está em definir o problema, sendo este sempre o primeiro passo, desenvolvido nesta pesquisa com o apoio do SODA. Após a conceituação do modelo, as equações matemáticas para todos os relacionamentos no modelo foram especificadas e os parâmetros foram quantificados. A simulação é usada para rastrear o comportamento das variáveis ao longo do tempo (Quadro 11). Isso ajuda a compreender o comportamento do modelo e avaliar o efeito de diferentes políticas de decisão no comportamento das variáveis-chave ao longo do tempo (ANGERHOFER; ANGELIDES, 2006). Assim, as seguintes etapas foram realizadas (Sterman, 2000; Barati, Azadi, Scheffran, 2019):

Quadro 11: Etapas da System Dynamics

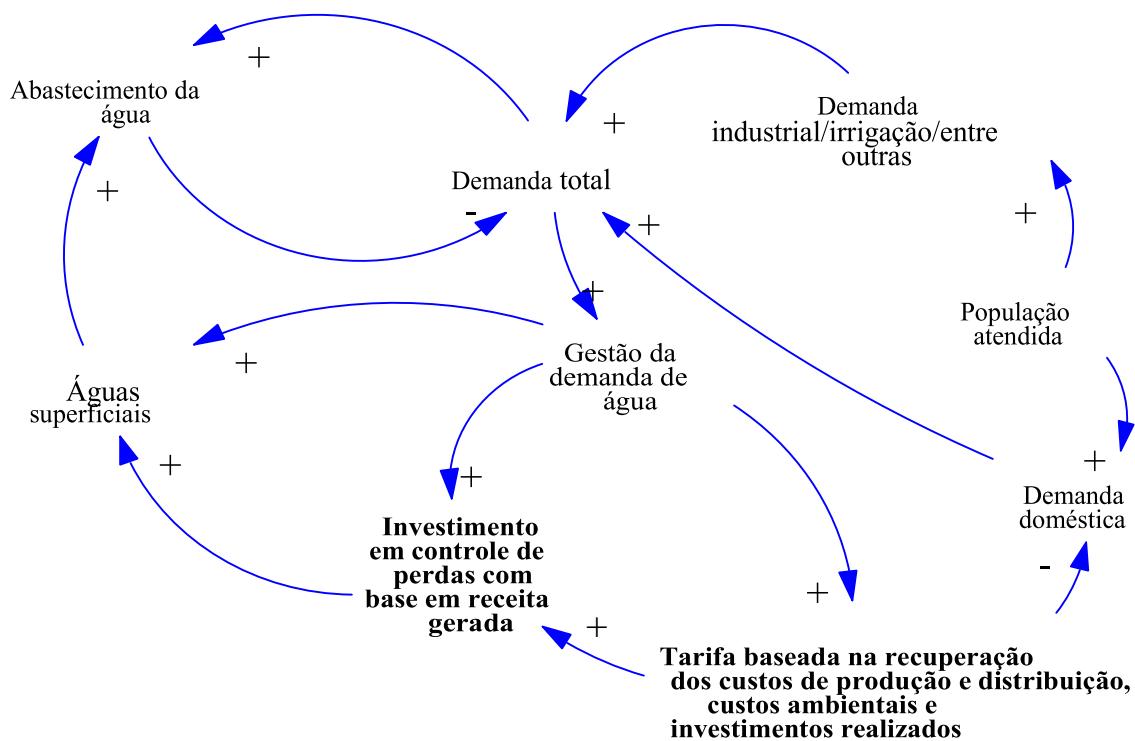
		Etapas da <i>System Dynamics</i>
Articulação do problema		<p>É uma situação em que o problema, as variáveis-chave e o tempo horizonte devem ser definidos e considerados. Neste estudo, as variáveis-chave do sistema foram identificadas usando duas fontes principais:</p> <ol style="list-style-type: none"> reuniões com especialistas cadastrados; referêncial teórico.
Hipóteses Dinâmicas		Inclui um processo baseado em hipóteses iniciais, modos de referência e outros dados e ferramentas disponíveis.
Modelo de simulação		<p>Inclui a especificação da estrutura, regras de decisão, estimativa de parâmetros, relações comportamentais, condições iniciais e testes de consistência com o propósito e limite. São estimados usando:</p> <ol style="list-style-type: none"> modelos básicos; análise dos conjuntos de dados de séries temporais disponíveis.
Testando o modelo		<p>Depois de formular o modelo, é necessário testá-lo. Esta fase inclui testes específicos, comparação com modos de referência, robustez sob condições extremas e análise de sensibilidade. Este estudo usou análise de sensibilidade para cada cenário simulado com o método de Monte Carlo, para com isso gerar parâmetros que permitam ao gestor aumentar a assertividade em tomadas de decisões.</p>
Desenho de políticas		<p>Durante esta fase, a capacidade do modelo de desenvolver cenários e a concepção de políticas é avaliada com base em novas regras de decisão, estratégias e estruturas locais. A tomada de decisão é o objeto principal da modelagem de quaisquer fenômeno ou sistema para resolver o problema de modelagem; portanto, esta fase é crítica para gerentes e formuladores de políticas. Os cenários neste estudo são desenvolvidos com base nas principais variáveis-chave do modelo proposto. Esses impactos são determinados pela análise da sensibilidade do modelo às suas mudanças. O <i>software</i> usado para modelagem e simulação é o Vensim, versão 9.3.3. É trabalhado o caso da estrutura tarifária e gestão da água na Paraíba, em especial, para a Bacia Hidrográfica de Gramame, para testes, formulação de políticas e avaliação.</p>

Fonte: Sterman (2000); Barati; Azadi; Scheffran (2019).

3.4.1.2.2 Hipótese dinâmica

System Dynamics é um método para especificar modelos causais (endógenos) que captura dinâmicas decorrentes da estrutura subjacente do sistema, em que com base em diagramas de loop causal e diagrama de estoque e fluxo, descrevem o que é chamado de “hipótese dinâmica”, ou seja, uma representação da estrutura do sistema hipotético. Nesse contexto, a Figura 24 apresenta Diagrama de Loop causal representando o modelo conceitual e os principais loops de *feedback*, que teve como base teórica a pesquisa desenvolvida por Araújo, Esquerre e Sahin (2019) e Araújo (2021).

Figura 24: Diagrama de loop causal representando o modelo conceitual e os principais loops de feedback



Fonte: Elaboração própria (2024).

O Estudo 01 segue a hipótese de que com ajustes na tarifa média praticada (baseada na recuperação dos custos de produção e distribuição, custos ambientais e investimentos realizados) e com controles de perdas, que nesta pesquisa é enfatizada como uma medida que está intrinsecamente ligada a gestão da água, é possível que haja conservação da água, de modo a melhorar o serviço prestado pela empresa em análise. Disso isso, após determinar essas variáveis do sistema, foi aceitável selecionar o crescimento populacional, demanda da água e o abastecimento da água superficial como as variáveis auxiliares.

3.4.1.2.3 Modelo de simulação: estoques e fluxos

O modelo proposto de estoques e fluxos encontra-se na Figura 25. Dito isso, é verificado o processo de captação da água (Fluxo de Entrada) no sistema, Estoque da Bacia Hidrográfica do Rio Gramame (BHG) e o Fluxo de Saída da água para consumo da Demanda Total (Demanda de água doméstica, Irrigação, Demanda Industrial e outras demandas). Destaca-se que também foram levadas em consideração a Evaporação e a saída da água por Fluxo Natural do Estoque. Nesse sentido foram simulados Controles de Perdas para investigar a conservação da água (com o retorno da água ao sistema) calculados pelos índices de perdas aplicados a demanda total e de índices de controle de perdas estabelecidos (5%, 7% e 10%).

Em seguida, verifica-se que para realizar os cálculos da Tarifa Ajustada da Água foi necessário inserir ao sistema os Custos e Despesas para Distribuição da Água (Custos Diretos, Custos Indiretos, Despesas Comerciais e Administrativas, Investimentos e Custos Ambientais simulados), como também Taxas de Inflação para todo o período simulado e Taxa para Limite de Tarifa (5%, 10% e 15%), que representa receita adicional para empresa.

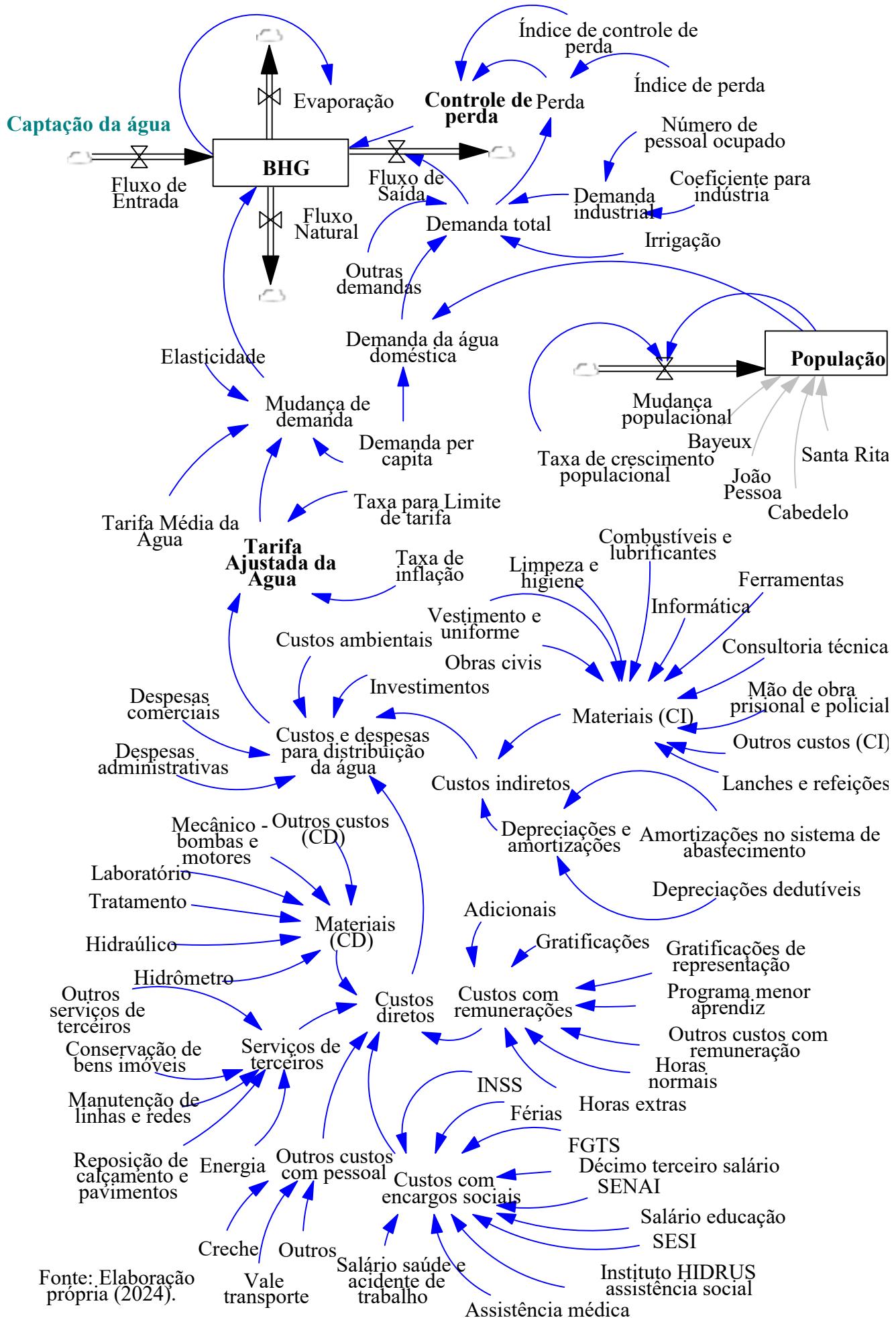
Com intuito de averiguar se há conservação da água com ajustes de tarifas simulados a Mudança de Demanda, ou Redução da Demanda, também foi calculada, isso a partir da demanda de água *per capita*. Para tanto, foi preciso inserir ao sistema a Tarifa Média da Água (isso para cada ano de simulação) e a determinação da elasticidade-preço da demanda.

Tanto para fins de cálculo de Controles de Perdas quanto para Mudança de Demanda pelos ajustes de tarifas a determinação do fator populacional se fez necessário. Dito isso, para definir a Demanda da Água Doméstica verificou-se o nível populacional calculado de acordo com a população atual e a mudança populacional. Isso para os municípios atendidos pela BHG (Bayeux, João Pessoa, Cabedelo e até 2022 Santa Rita).

Vale salientar que uma limitação do modelo proposto é o fato de que não foram calculadas Esperas (ou *delays*), que são atrasos ou retardos que fazem com que uma ação possa produzir efeitos diferentes no tempo e espaço.

Nessa conjuntura, foram realizadas simulações para o período de 2013 a 2022. Para o balanço hídrico foi usada a base de dados da AESA (2013-2022). A tarifa média da água e os índices de perda foram extraídos do SINS (2013-2022). Os custos, despesas e simulação de investimentos e custos ambientais foram disponibilizados pela Empresa Parceira (dados sensíveis), cujo o ano base é 2021. Os demais dados foram extraídos do próprio site da CAGEPA e das reuniões com especialistas da referida empresa. As principais equações do modelo proposto de estoques e fluxos se encontram após a Figura 25.

Figura 25: Modelo proposto de System Dynamics para estrutura tarifária e gestão da água



Na modelagem de *System Dynamics* a correspondente representação da função objetivo do problema e das equações diferenciais da evolução dos estoques de água, enfatiza na linguagem de estoques e fluxos, o seguinte aspecto, pela qual é considerada a forma agregada do modelo teórico (Equação 01):

$$\text{Estoque}(t) = \int_{t_0}^t [\text{Fluxo de Entrada}(s) - \text{Fluxo de Saídas}(s)] ds + \text{Estoque}(t_0) \quad (01)$$

Em que o Fluxo de Entrada(s) representa o valor do fluxo de entrada em qualquer tempo s , entre o tempo inicial t_0 e o tempo corrente t . Por sua vez, a taxa líquida de mudança de qualquer estoque, sua derivada, é o fluxo de entrada menos o fluxo de saída, definido pela seguinte equação diferencial (Equação 02):

$$d(\text{Estoque})/dt = \text{Fluxo de Entrada}(t) - \text{Fluxo de Saída}(t) \quad (02)$$

O diagrama proposto na presente pesquisa apresenta submodelos, delimitados, sendo possível a construção do Diagrama de Estoque e Fluxo, são eles: submodelo de população, submodelo de abastecimento de água e submodelo de demanda, conforme proposto por Araújo, Esquerre e Sahin (2019) e Araújo (2021) e ainda o submodelo de tarifa de água, de acordo com Romano, Masserini e Guerrini (2015). O modelo projetado agrupa etapa anual de simulação. Dito isso, segue abaixo os submodelos do sistema.

O nível populacional foi calculado de acordo com a população atual e a mudança populacional (Equação 03):

$$P = \Sigma (Pvp)dt + [Pi] \quad (03)$$

P é a população, Pvp representa a taxa de variação populacional (pessoa/ano) Pi é a população inicial.

O Sistema Gramame é um estoque de água basicamente superficial. A equação a seguir representa a formulação do balanço hídrico. Todas as variáveis são medidas com base em MMC (milhões de metros cúbicos), conforme base de dados da AESA (Equação 04):

$$At+1 = At + VEt - Et - VRt - FNt \quad (04)$$

Em que, t é intervalo de simulação atual e $t+1$ o próximo intervalo da simulação, At é o volume armazenado na bacia, VEt é volume de entrada na bacia, Et é volume de água perdida por evaporação, VRt é volume retirado da bacia para consumo e FNt é volume de

água vertida da bacia para os fluxos naturais no Rio Gramame. Destaca-se que a água retornada com o controle de perdas foi considerada como o volume total de água retornada ao sistema (ARAÚJO; ESQUERRE, SAHIN, 2019; ARAÚJO, 2021).

A demanda de água doméstica foi calculada a partir do consumo doméstico de água (Equação 05):

$$DADt = Pt * DApct \quad (05)$$

DADt representa a demanda anual de água doméstica, *Pt* é a população anual e *DApct* é a demanda de água per capita.

Além da demanda de irrigação, e outras demandas existentes, conforme AESA, para a demanda industrial, quanto aos dados dos vários tipos de indústria existentes no Estado, foi adotada a demanda unitária por operário (m³ /operário/dia), de acordo com o ramo da atividade industrial (Equação 06):

$$DAIt = PO * CD \quad (06)$$

Onde *DAI* é a demanda de água para a indústria, *PO* é o número de pessoal ocupado, *CD* é o coeficiente de demanda de água relacionado com o tipo de indústria.

Posteriormente, foi possível calcular a demanda total anual de água (Equação 07):

$$DTAt = DADt + DIAt + DAAt + DOt \quad (07)$$

DTAt representa a demanda total anual de água; *DADt* é a demanda de água doméstica, *DIAt* é a demanda industrial de água e *DAAt* é a demanda de água para irrigação e *DOt* são outras demandas (como pecuária, por exemplo).

Para o ajuste da tarifa de água, foi levado em consideração os custos de produção e distribuição da água, investimentos e custos ambientais, de modo que possibilitem aos gestores tomar decisões estratégicas que se fazem necessárias. Assim, com base em Romano, Masserini e Guerrini (2015), a Equação 08 a seguir representa a tarifa de água para Sistema Gramame (havendo como avanço a inclusão dos custos ambientais no cálculo):

$$TRRG = (CO + AD + RI + CA) n-1 * (1 + \pi + k) \quad (08)$$

TRRG é a tarifa por metro cúbico de água para o Sistema Gramame; *CO*, *AD*, *RI* e *CA* são os custos unitários planejados por metro cúbico do ano anterior, referentes aos custos

operacionais (custos de produção e distribuição da água), amortizações e depreciações, retorno dos investimentos e custos ambientais, respectivamente; π é a taxa de inflação medida pelo Índice de Preços ao Consumidor (IPCA) e k é a taxa para limite de tarifa, simulado em 5%, 10% e 15%. Os dados de custos são informações internas da empresa (dados sensíveis) e foram disponibilizados para cada município e devido a bacia abastecer cerca de 70% da amostra, foi este o percentual trabalhado sobre os dados fornecidos pela pesquisa. Para fins de cálculo de custos unitários foi tomado como base o volume de água operado (m^3/ano).

Para prever a mudança da demanda (Equação 09), com intuito de verificar a extensão da resposta do consumidor a uma mudança de tarifa, foi levada em consideração a equação a seguir (elasticidade da demanda):

$$Mudança\ na\ demanda = DApc * (TRRG / TMA) Ed \quad (09)$$

$DApc$ é a demanda de água *per capita*; TRRG é a tarifa por metro cúbico para o Sistema Gramame e TMA é a média da água (R/m^3$) prática pela Empresa Parceira conforme SNIS e Ed é a elasticidade-preço da demanda. A elasticidade para avaliar a sensibilidade dos usuários aos novos níveis de tarifas foi -0,55 (SAHIN, BERTONE E BEAL, 2017).

O retorno da água ao sistema foi medido pelo controle de perdas, sendo considerado como o volume de água total retornado ao sistema. Como base em simulações pelos percentuais de 5%, 7% e 10% de controle sobre as perdas (Equação 10):

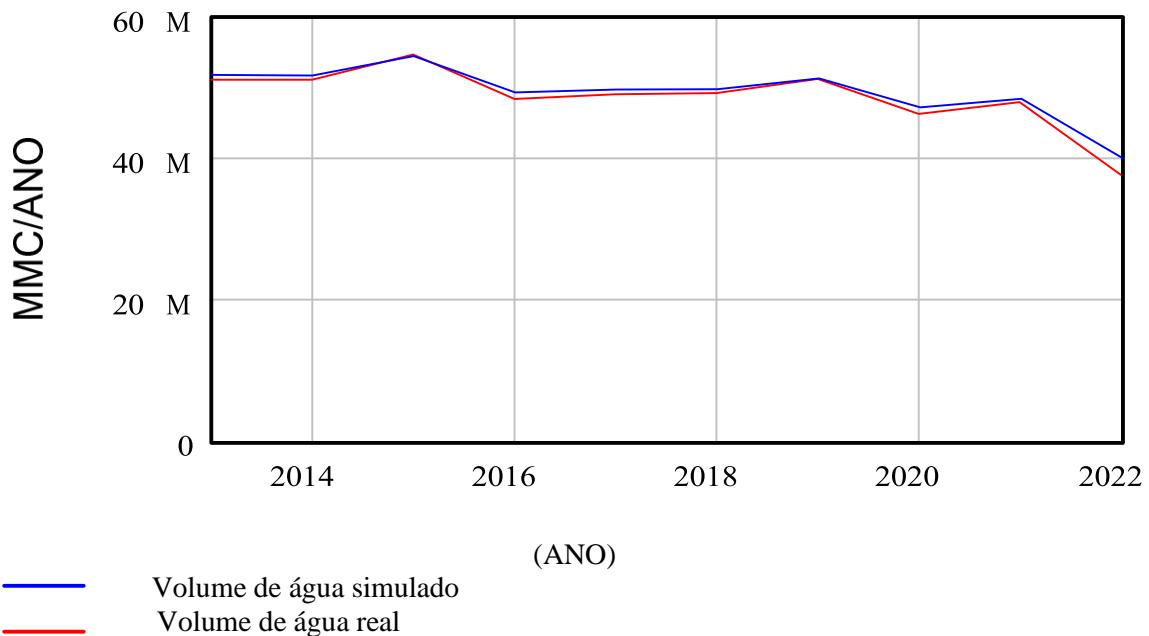
$$CPt = Perda * ICP \quad (10)$$

Onde, CPt é controle de perdas; Perda se refere as perdas medidas pela demanda total e ICP é o índice de controle de perdas.

3.4.1.2.4 Validação do modelo e análise dos cenários

Como forma de validação do modelo proposto, foi verificado balanço hídrico de 2013 a 2022, conforme Figura 26. Para tanto, pelo Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE), foi possível verificar que entre o volume de água simulado e o volume de água real há um erro de 3,39%, percentual este que satisfaz para a realização da pesquisa.

Figura 26: Validação do modelo para o Sistema Gramame



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

O balanço hídrico, e mais especificamente, as simulações de conservação da água no Sistema Gramame foi analisada a partir de ajustes na tarifa média da água da Empresa Parceira, com uma taxa limite de tarifa de 5%, 10% e 15%, respectivamente (Romano, Masserini e Guerrini, 2015), como também pela própria gestão da água medida pelo controle de perdas no processo de abastecimento, simulados pelos percentuais de 5%, 7% e 10% de controle. Após simulações nas tarifas e controle de perdas foi feita análise de sensibilidade, visando identificar quais parâmetros de entrada explicam as incertezas do modelo. O teste de sensibilidade é o processo de alterar as suposições sobre o valor das constantes no modelo e examinar a saída resultante. Isso envolve alterar o valor de uma constante (ou várias constantes de uma vez) e simular, depois alterar o valor da constante novamente e simular novamente, e repetir esta ação muitas vezes para obter uma distribuição dos valores de saída. A simulação de Monte Carlo foi o método trabalhado. Para tanto, seguem os parâmetros de entrada do sistema: (a) índice de controle de perda de água e (b) a demanda *per capita*.

3.5 Análise dos resultados

3.5.1 Simulação para ajuste de tarifa

A Figura 27 mostra a tarifa média da água praticada em todo o período de análise (2013-2022) e a simulação com os ajustes de tarifas com base na equação de Romano, Masserini e Guerrini (2015). Os referidos autores destacam a relevância dos custos de produção e distribuição, investimentos realizados, de uma atualização da tarifa pela inflação e uma taxa de incremento, taxa limite de tarifa, para que a empresa possa ter uma receita adicional. Nesta pesquisa, além de incluir custos ambientais, foram realizadas três simulações com taxa limite de tarifa de 5%, 10% e 15%. Isso pode ser visto na figura em questão.

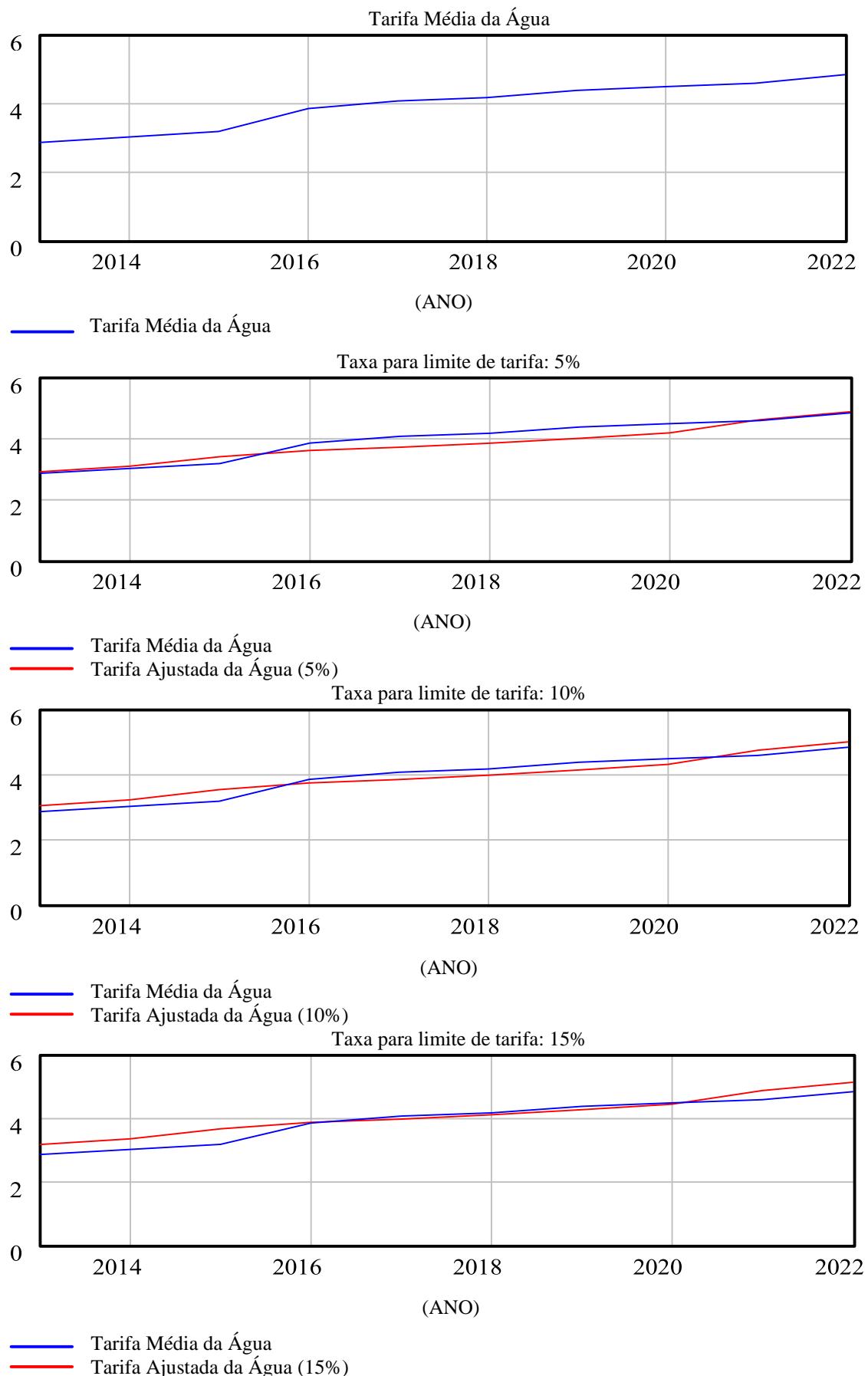
Diante dos gráficos apresentados, é possível perceber que com uma taxa limite de tarifa de 5% e, para o ano inicial da simulação (2013) a tarifa ajustada (R\$ 2,92) é próxima a praticada (R\$2,87) no período. Entre os anos de 2016 e 2020 a tarifa praticada é maior. Em 2020, a tarifa praticada chega a R\$ 4,50. Ainda assim, para último ano da simulação, a tarifa ajustada (R\$4,88) é bastante próxima a que é praticada pela empresa analisada (R\$4,85).

Ao realizar uma simulação com uma taxa limite de tarifa de 10%, nos três primeiros anos da simulação a tarifa ajustada (R\$3,05, R\$3,23, R\$3,54, respectivamente) apresenta-se maior que a tarifa praticada (R\$2,87, R\$3,03, R\$3,19, respectivamente). Da mesma forma em que foi observada na simulação anterior, entre os anos de 2016 e 2020 a tarifa praticada é maior. Já 2022, a tarifa ajustada (R\$5,01) ultrapassa a praticada pela empresa (R\$4,85).

No que se refere a simulação com uma taxa limite de tarifa de 15%, entre os anos de 2013 a 2016 a tarifa ajustada com no novo cálculo (R\$3,18, R\$3,36, R\$3,67, R\$3,88, respectivamente) é maior que a praticada pela empresa. Entre 2018 e 2020 a tarifa praticada (R\$4,18, R\$4,39, R\$4,50, respectivamente) é maior, mas em proporção bastante pequena. Para último ano da simulação a tarifa ajustada (R\$5,14) ultrapassa a praticada (R\$4,85).

Os cálculos realizados buscam a otimização de tarifas, com estruturas tarifárias alternativas, para atender ao objetivo de recuperação de custos (REHAN, ET AL., 2011; KAYAGA; SMOOT, 2014; ASHOORI; DZOMBAK; SMALL, 2017; WANG L., ET AL., 2018; SAHIN, ET AL., 2018; BEN; BEN; NGUYEN, 2019; FUENTE, 2019). Isso é uma forma de enfatizar estratégias de gestão proativa, aumentando a perspectiva de maximizar a capacidade adaptativa do sistema como um todo (WINZ; BRIERLEY; TROWSDALE, 2009). Isso posto, é visto que por meio da *System Dynamics* é possível enfatizar interações entre as variáveis do sistema ao longo do tempo (REHAN, ET AL., 2013).

Figura 27: Tarifa média da água praticada e simulação para ajuste de tarifas



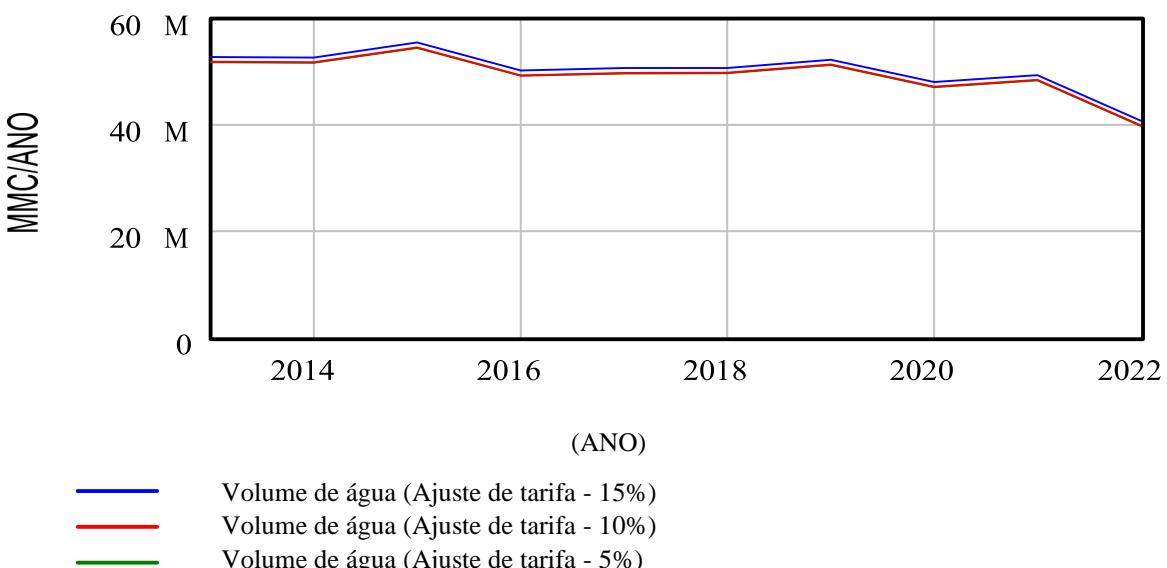
Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Dando continuidade à análise, a Figura 28 mostra a conservação da água pelos ajustes de tarifas simulados. É verificado que nos cálculos realizados com custos de produção e distribuição, investimentos realizados, custos ambientais e uma atualização da tarifa pela inflação IPCA e uma taxa de incremento, taxa limite de tarifa de 5% e 10%, não há grandes mudanças no volume da água do balanço hidráulico. Só há um aumento mais significativo em termos de volume, aproximadamente 1 MMC a partir de uma de uma taxa limite de tarifa de 15%. Em 2022, por exemplo, na simulação de ajuste na tarifa com limite de preço de 15%, o volume de água armazenado no balanço hidráulico é de aproximadamente 40 MMC.

Esse resultado confirma o estudo de Kayaga e Smout (2014) e Asci, Borisova e Dukes (2017). Em que, no âmbito da conservação da água os gestores e formuladores de políticas públicas expressam interesse em uma redução no uso de água, para evitar a necessidade de aumentar o abastecimento. Isso pela mudança de demanda gerada com a atualização da tarifa (MIRZAMOHAMMADI, 2020; LEE, POMEROY, BURIAN, 2021).

Como exemplo, Kayaga e Smout (2014) afirmam que a estrutura tarifária deve promover a conservação da água, assegurando suficiência de receitas e recuperação dos custos para os prestadores de serviços e a acessibilidade para as famílias de baixo rendimentos. Para tanto, sua pesquisa descreve o caso de Saragoça (Espanha), uma cidade onde a implementação de uma tarifa de água e o fornecimento de incentivos econômicos contribuíram largamente para uma redução de 27% no consumo global de água entre 1996 e 2008, embora a população tenha aumentado 12%. Princípios semelhantes foram adaptados para modelar uma tarifa socialmente equitativa e que economize água para a cidade de Kampala (Uganda).

Figura 28: Conservação da água pelos ajustes de tarifas simulados



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Asci, Borisova e Dukes (2017) destacam a elasticidade-preço da procura de água para medir a capacidade de resposta da utilização da água às alterações de tarifas, especialmente para os grandes consumidores. Os dados de uso de água em nível doméstico para grandes usuários residenciais da Flórida foram analisados e os seus resultados implicam que, para que as estratégias de preços sejam eficazes, seria necessário um aumento de tarifas. Destacando a importância de conceber políticas de conservação de água adaptadas a grupos específicos de clientes e utilizando de estratégias de forma eficaz e justa para diferentes grupos de clientes.

Nessa perspectiva, diante dos ajustes de tarifas, ao se considerar um aumento no último ano de simulação (R\$4,88, R\$5,01, R\$5,14, respectivamente), em relação a tarifa média praticada (R\$4,85) no mesmo ano (2022), a Empresa Parceira pode vir a trabalhar com *System Dynamics*, em especial, com o modelo proposto de estrutura tarifária e gestão da água, com a finalidade de se discutir melhores estratégias para definir sua estrutura tarifária, de modo que leve em consideração a conservação da água. Para tanto, sugere-se que devam ser feitos ajustes de tarifa para os maiores consumidores da categoria residencial (ARAÚJO; ESQUERRE, SAHIN, 2019; ARAÚJO, 2021).

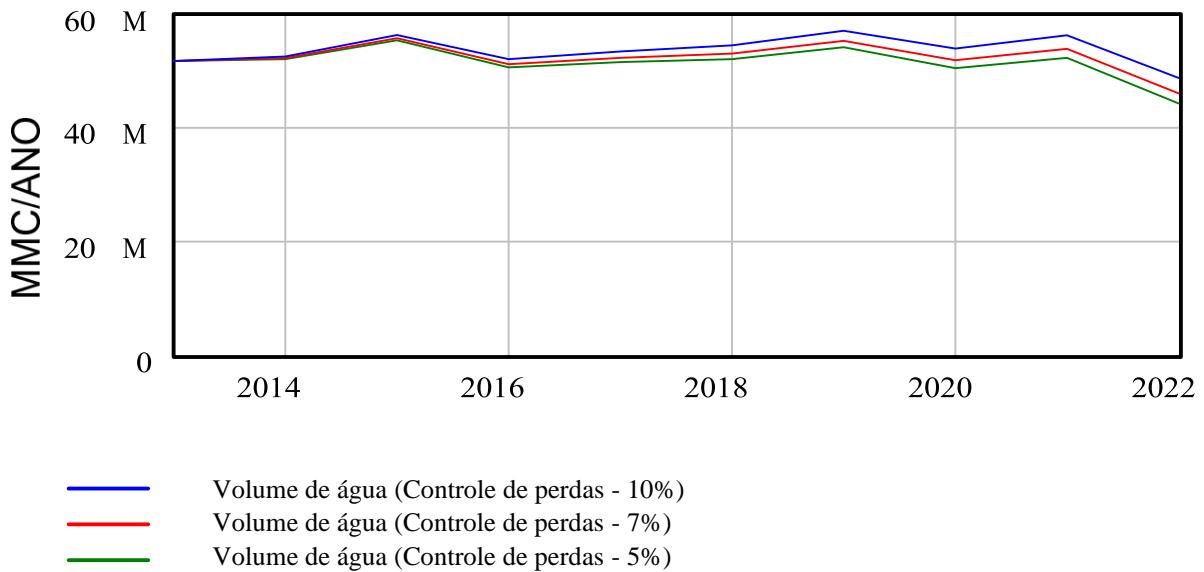
3.5.2 Simulação para controle de perdas

A Figura 29 destaca a conservação da água pelo controle de perdas. Para tanto, foi estimado um controle 5%, 7% e 10% sobre o índice de perda de água na distribuição, disponibilizado pelo SNIS. Isso para cada ano de análise (2013-2022). É importante destacar que a média do referido índice para todo o período foi de 38,13% para a Empresa Parceira. Diante disso, é percebido que ao realizar um controle, há um aumento mais significativo em termos de volume no balanço hídrico. Por exemplo, no último ano da simulação (2022) volume de água armazenado é de aproximadamente 44 MMC com um controle de perdas de 5%, 46 MMC para um controle de 7% e 48% para 10%, respectivamente.

A gestão da água é uma medida de ampliação de oferta, no sentido de aumentar o número de usuários atendidos no sistema. São conhecidos das concessionárias os programas de controle de perdas de água e de melhoria operacional voltada à redução de tais perdas. Diante disso, os resultados mostram que controle de perdas está intrinsecamente ligado a gestão da água, e pode trazer benefícios para a Empresa Parceira. Isso se deve ao fato de haver uma melhor conservação da água, ocasionando menos danos ao meio ambiente, como também agrega no faturamento e na sua capacidade de realizar investimentos e financiamentos, tendo em vista o aumento do volume de água no balanço hídrico.

Esses achados corroboram com a pesquisa de Hilbig e Rudolph (2018) ao argumentarem que o financiamento sustentável da água é uma forma de financiamento baseado em resultados em que se refere a qualquer programa que recompense a entrega de um ou mais produtos ou resultados por meio de um ou mais incentivos, financeiros ou outros, após verificação de que o resultado acordado foi realmente alcançado. Centrando-nos no lado da oferta, os mecanismos de financiamento a serem discutidos são baseados no desempenho, direcionando os incentivos para os prestadores de serviços, e não para o lado da procura (utilizadores/beneficiários) de um determinado mercado. E a falta quantitativa de fundos (do setor público), especialmente nos países em desenvolvimento, é agravada pela falta de conceitos de financiamento para cobrir a crescente necessidade de programas de investimento de longo prazo de redução de perdas de água com melhorias na rede de distribuição.

Figura 29: Conservação da água pelo controle de perdas



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

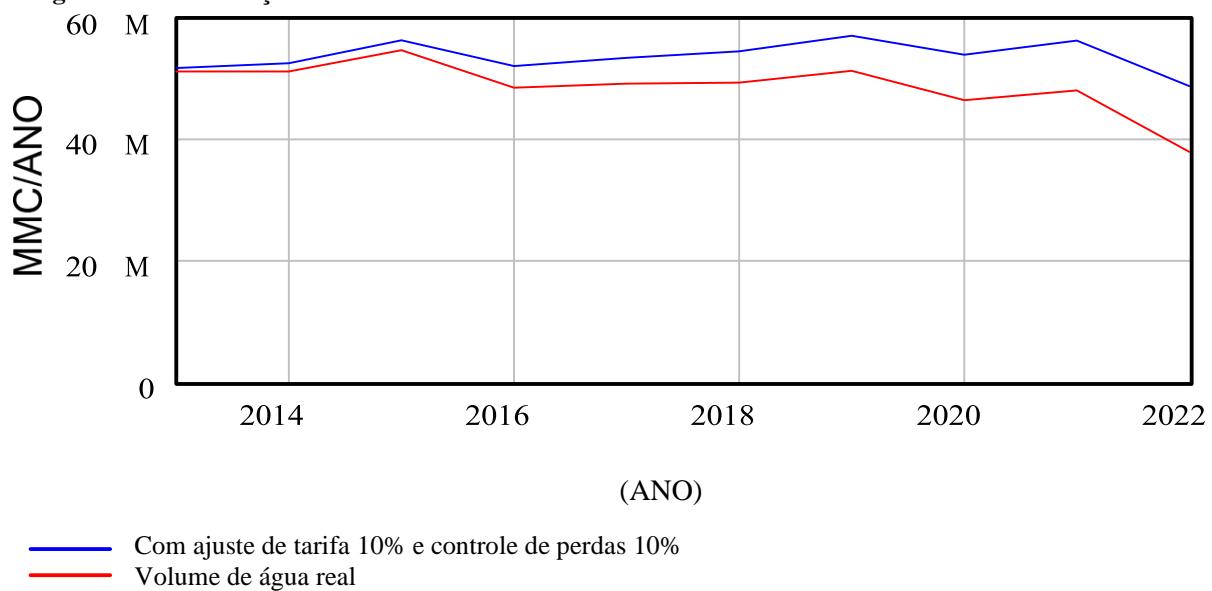
Do mesmo modo, é relevante destacar que há décadas é sabido e amplamente divulgado que os recursos hídricos do planeta estão se esgotando gradativamente e que, além da poluição dos rios e mananciais, o consumo irresponsável e sem base sustentável no desenvolvimento econômico é um fator relevante na redução da disponibilidade de água. A preocupação com a falta deste recurso atinge os mais diversos segmentos das esferas social, política e econômica, pois os problemas ambientais têm exigido maior consideração em todos os países, sejam eles desenvolvidos ou em desenvolvimento (LIBANIO, 2020; BARRAQUÉ, 2020; GHINIS; FOCHEZATTO, 2021). Isso comprova a necessidade de empresas de saneamento abordarem a questão da perda de água com bastante esmero.

3.5.3 Combinação de cenários e simulação de Monte Carlo

A Figura 30 enfatiza a combinação de cenários, com ajuste na tarifa pela taxa limite de tarifa de 10% e controle de perdas de água de também de 10%. Nesta simulação, verifica-se que na conservação da água do ano de 2022, por exemplo, há aproximadamente 48 MMC de volume de água armazenado no balanço hídrico. Isso mostra como seria a eficiência com mecanismos de gestão aplicados na Empresa Parceira, tendo em vista que nesse mesmo ano, o volume de água real é em cerca de 37 MMC, e ainda, com essa diferença (11 MMC) esse é o ano em que a gestão seria mais acentuada pelas simulações realizadas.

Em países em desenvolvimento, a água é cada vez mais considerada como recurso estratégico que se constitue com base para o desenvolvimento socioeconômico sustentável, visto que há aumento na taxa de crescimento populacional. No caso desta pesquisa taxa é de 1,43% ao ano conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Corroborando com isso, na Tunísia, Ben Zaied, Ben Cheikh e Nguyen (2019), enfatizam que a distribuição de água tem-se concentrado constantemente na distribuição de modo que possa satisfazer a procura de água a preços nivelados. O custo da melhoria da distribuição continua a aumentar à medida que as fontes de água mais acessíveis são esgotadas, causando alterações tarifárias que subsequentemente afetam a quantidade procurada. Para isso, é preciso definir políticas de gestão da água e que as instituições públicas fixem as tarifas que devam ser capazes, de alguma forma, de medir o verdadeiro valor econômico do abastecimento e de utilizar esta informação para estabelecer tarifas economicamente racionais.

Figura 30: Combinação de cenários

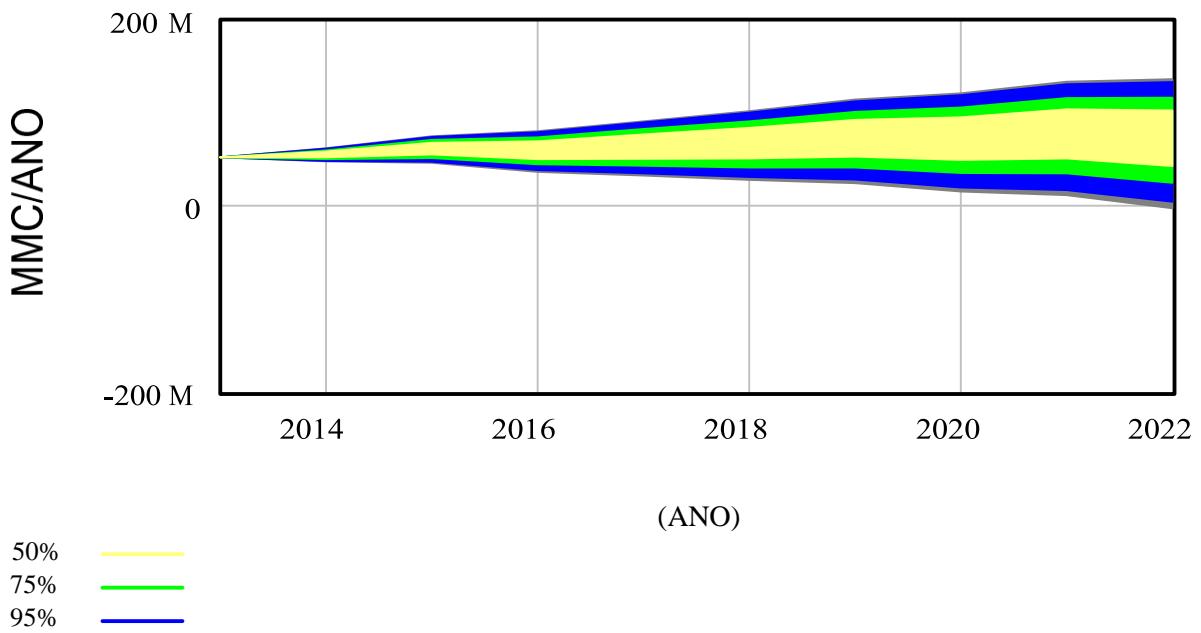


Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A taxa de incremento, taxa limite de tarifa, para que a empresa possa ter uma receita adicional, são decisões políticas que os gestores podem definir, como visto na literatura sobre saneamento básico (FUENTE, 2019). Todavia, existem variáveis em que há incertezas quanto a sua definição. Visando identificar parâmetros (constantes) que impactaram o volume de água armazenado no balanço hídrico, foram selecionadas duas variáveis a seguir: (a) índice de controle de perda (Figura 31) e (b) demanda *per capita* (Figura 32). As vantagens da análise de sensibilidade de Monte Carlo estão na detecção de erros técnicos, verificação de melhorias, simplificação no modelo proposto e a possibilidade de validação de análise e/ou afirmação.

O parâmetro de índice de controle de perda teve valor inicial de 7% com intervalo de sensibilidade de 5% a 10%. A demanda *per capita* teve valor inicial 82 l/hab/dia e intervalo de sensibilidade de 73,80 l/hab/dia a 90,20 l/hab/dia. E ainda, de acordo com as Figuras 31 e 32 as cores amarelo, verde, azul e cinza enfatizam limites de confiança de 50%, 75%, 95% e 100%, respectivamente. Em que, caso o parâmetro fornece um gráfico com faixa mais larga, isso demonstra que o parâmetro é mais sensível ao modelo proposto.

Figura 31: Simulação de Monte Carlo para Índice de Controle de Perda



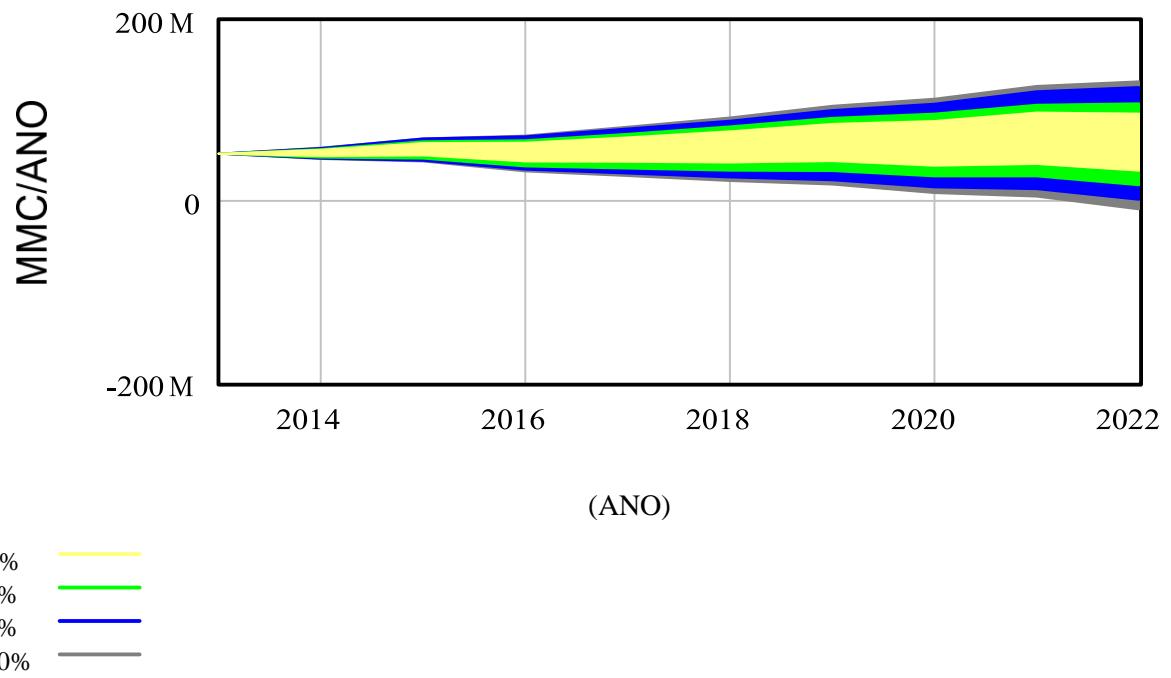
Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Ao comparar a simulação de Monte Carlo das Figuras 31 e 32, percebe-se que tanto o Índice de Controle de Perda como a Demanda *per capita* são sensíveis ao modelo proposto. Ainda assim, com um olhar mais atento, é verificado que no limite de confiança de 100% a Demanda *per capita* ainda é mais sensível do que o Índice de Controle de Perda, para o

modelo proposto. Outro detalhe é o fato de que dentro das faixas de limites de confiança, na Figura 31 o volume de água armazenado no balanço hídrico vai de aproximadamente -6 MMC à 118 MMC. Já na Figura 32 o volume de água armazenado no balanço hídrico vai de aproximadamente -7 MMC à 120 MMC.

Esses achados enfatizam que nem todo o volume de água potável tratada que entra num sistema será registrado. Isso não é um caso isolado do Brasil, e mais especificamente na Bacia Hidrográfica de Gramame, de acordo com Sánchez, et al. (2020) empresas de serviços públicos do Japão, Alemanha, Austrália e Nova Zelândia apresentam taxas de perdas em torno de 10%. Nos EUA, as perdas nos sistemas de distribuição variam de 7,5% a 31,2%. Diante disso, o índice de perdas dá uma boa ideia sobre a gestão da água. Independentemente da dimensão do sistema de distribuição, as perdas representam uma perda direta de receitas financeiras, bem como um desperdício de dois recursos ambientais cada vez mais escassos: água e energia. A nível de planeamento, o controle de perdas contribuirá para reduzir ou estabilizar futuras captações de água e, portanto, garantir o abastecimento.

Figura 32: Simulação de Monte Carlo para Demanda *per capita*



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Esse resultado ainda mostra que além de dar ênfase à estrutura tarifária e controles de perdas, o quanto o sistema de distribuição de água depende, e precisa atender, a demanda *per capita*. Ou seja, estimar a procura de água potável é importante para os serviços públicos de em regiões urbanas de rápido crescimento para o planeamento, concepção e gestão de ativos

dos serviços prestados. Realizar simulações é particularmente relevante para que decisores políticos tenham uma estimativa confiável da procura de água a longo prazo, a fim de implementar as despesas de capital apropriadas e evitar que ocorra falta de abastecimento doméstico da água (ALMUTAZ, ET AL. 2013; DONG, SCHOUPS E GIESEN, 2013; HAIDER; SADIQ; TESFAMARIAM, 2016; WEHN, MONTALVO, 2017; HOEKSTRA; BUURMAN; GINKEL, 2018; LOPEZ-NICOLAS, ET AL., 2018).

3.6 Conclusões do Estudo 01

O ESTUDO 01 teve como objetivo aplicar uma abordagem multimetodológica para apoiar na discussão sobre estrutura tarifária e gestão da água. Para tanto, a trajetória epistemológica refere-se regulação da água, com a finalidade de abordar o acesso e qualidade dos serviços prestados aos usuários, que entre outros fatores busca definir tarifas acessíveis que garantam a sustentabilidade econômica e financeira das prestadoras de serviços. Bem como o pensamento sistêmico, com sua forma de investida que compreende o sistema sob a perspectiva da complexidade, em que é considerado o contexto e as relações estabelecidas.

Visando atender o objetivo estabelecido, e responder os objetivos específicos (realizar simulações para ajuste de tarifa de água e realizar simulações para controle de perdas), o campo de estudo foi a Bacia Hidrográfica de Gramame, localizado no Estado da Paraíba. A abordagem multimetodológica foi a *Strategic Options Development and Analysis* e *System Dynamics*, conforme Araújo (2021). A primeira contribuiu pelo desenvolvimento de mapa cognitivo, a partir de reuniões *online* (2019-2023) e *survey* por correspondência (2020) com especialistas da área. E com a segunda, ao dar prosseguimento, foi possível propor um modelo para estrutura tarifária e gestão da água. Os dados foram extraídos da AESA, SINS e reuniões com especialistas. O período de simulação foi de 2013 a 2022.

Partindo-se da ideia de que a cobrança pelo uso da água e controle de perdas são instrumentos relevantes para a conservação da água, foi descrita a hipótese dinâmica de que com ajustes na tarifa média praticada (baseada na recuperação dos custos de produção e distribuição, custos ambientais e investimentos realizados) e com controles de perdas, que nesta pesquisa é enfatizada como uma medida que está intrinsecamente ligada a gestão da água, é possível que haja conservação da água, de modo a melhorar o serviço prestado pela Empresa Parceira em análise. As variáveis auxiliares são o crescimento populacional, demanda da água e o abastecimento da água superficial.

A recuperação total dos custos é uma questão importante, o que inclui custos de produção e distribuição, investimentos e custos ambientais. E a estrutura tarifária deve funcionar como incentivo à utilização sustentável dos recursos hídricos. Assim, a fim de avaliar vários aspectos da atual política da Empresa Parceira, de investigar as perspectivas de conservação de água e de explorar novas abordagens para a gestão sustentável no setor foi calculado o ajuste de tarifa. A influência de algumas variáveis selecionadas é examinada, a demanda residencial de água e a elasticidade do preço da água são calculadas.

Os resultados mostram que nas simulações para ajustes de tarifa, ao aplicar taxa de incremento, taxa limite de tarifa, para que a Empresa Parceira possa ter uma receita adicional, os cálculos realizados buscaram a otimização de tarifas, com estruturas tarifárias alternativas, para atender ao objetivo de recuperação de custos (REHAN, ET AL., 2011; REHAN, ET AL., 2013; KAYAGA; SMOUT, 2014; ASHOORI; DZOMBAK; SMALL, 2017; WANG L., ET AL., 2018; SAHIN, ET AL., 2018; BEN; BEN; NGUYEN, 2019; FUENTE, 2019). Além disso, há conservação da água pelos ajustes de tarifas simulados, confirmando os achados de Kayaga e Smout (2014) e Asci, Borisova e Dukes (2017). Do mesmo modo, ao realizar simulações para controle de perdas, é percebido o quanto controle de perdas está intrinsecamente ligado a gestão da água, isso se deve a melhor conservação da água pelo aumento do volume no balanço hídrico, corroborando com Hilbig e Rudolph (2018). Na combinação de cenários (pelo ajuste de tarifa e controle de perdas) também foi identificado que a conservação da água seria maior pelas simulações realizadas.

Destaca-se que, na simulação de Monte Carlo, foram identificados os parâmetros às quais o modelo proposto foi mais sensível: (a) índice de controle de perda e (b) demanda *per capita*. Foi ilustrado que a incerteza nos parâmetros é importante na avaliação dos resultados da simulação do modelo de *System Dynamics*. Os clientes podem queixar-se de que a conservação da água e controles de perdas, leva a aumentos nas tarifas cobradas pelos fornecedores (estas tarifas cobrem os custos do abastecimento, dados os menores volumes de venda de água). Com isso, é preciso equilibrar os objetivos de conservação da água, controles de perdas e de recuperação de custos e, portanto, estratégias devem ser definidas (ASCI; BORISOVA; DUKES, 2016; SÁNCHEZ, ET AL. 2020).

3 ESTUDO 02: CUSTOS, ESTRUTURA TARIFÁRIA E DESEMPENHO NO SETOR DE SANEAMENTO

4. 1 Introdução

Prevê-se que as alterações na disponibilidade da água e, portanto, na tarifa, estejam entre os efeitos mais alarmantes das alterações climáticas em muitas partes do mundo. As estruturas tarifárias são os componentes críticos das políticas públicas concebidas para atingir os objetivos de eficiência, equidade e sustentabilidade, de modo que forneça acesso para todos os cidadãos, incentivando ao mesmo tempo a utilização racional da água e angariando receitas suficientes para operar, manter e investir no sistema de distribuição (WICHELNS, 2013). Assim, compreender a capacidade da sociedade/consumidores para se adaptarem a tais mudanças requer a compreensão da disposição de resposta da procura de água às mudanças de tarifa (BABAMIRI; PISHVAE; MIRZAMOHAMMADI, 2020; SAMPAIO; SAMPAIO, 2020; LEE; POMERO; BURIAN, 2021).

A sustentabilidade é alcançada quando as receitas provenientes da venda de água são suficientes para compensar os custos anuais em um sistema de distribuição. Isso exige que as fontes de abastecimento sejam geridas de uma forma que garanta a continuação da prestação de serviços ao longo do tempo (WICHELNS, 2013). Ou seja, para além das mudanças organizacionais, os fornecedores devem racionalizar as tarifas de uma forma que haja esforço para alcançar a recuperação total dos custos. Na prática, nos países de baixo desenvolvimento que enfrentam um período prolongado de austeridade econômica, a comercialização de serviços de água tem sido um instrumento para os governos renunciarem à sua responsabilidade de financiar investimentos na expansão da rede. Embora, em geral, as reformas do setor para melhorar a qualidade do serviço e o acesso sejam bem-vindas, a forte dependência da racionalização tarifária sem prestar muita atenção às necessidades de investimento e manutenção pode ser um problema grave (DAGDEVIREN, 2008; GHINIS; FOCHEZATTO; KUHN, 2020; MERCADIER; BRENNER, 2020; REVOLLO-FERNANDEZ, ET AL., 2020; LEE; POMEROY; BURIAN, 2021).

Para fazer face a estas pressões políticas sobre as tarifas e recuperação dos custos, os prestadores de serviço nos países em desenvolvimento podem alterar tanto a tarifa média cobrada aos clientes como a própria estrutura tarifária, ou seja, o procedimento utilizado para calcular as contas de água dos diferentes clientes. Contudo, os decisores políticos e os gestores normalmente querem saber o que acontecerá com as diversas métricas de

desempenho antes de fazerem tais alterações (FUENTE, 2019; FUENTE, AT AL., 2021). Isso implica dizer que há relevância em se analisar a relação entre os custos e estrutura tarifária aplicada em relação ao desempenho do setor.

Desempenho refere-se à extensão da prestação de serviços às expectativas do consumidor e é uma medida de eficácia, confiabilidade e custo. Os sistemas de medição de desempenho geralmente utilizam indicadores de desempenho nas empresas de abastecimento de água. Isso permite que as empresas reconheçam os seus pontos fortes e fracos (BANDARI; SADHUKHAN, 2022). Dessa forma, o Estudo 02 aborda o desempenho de qualidade e operacional. Havendo como base o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), que busca investigar as condições do saneamento básico do Brasil junto às prefeituras municipais e empresas contratadas para a prestação desses serviços.

A qualidade da água fornecida refere-se ao desempenho dado pela percentagem de amostras de água que cumprem os critérios de qualidade. Além da ideia de que o acesso à água é uma necessidade humana básica, a influência de sua qualidade na vida das pessoas também é relevante. Qualidade de vida é um importante conceito multidimensional que vem ganhando espaço nos últimos anos. A qualidade da água potável é largamente influenciada pela qualidade da água de origem e está associada às condições das redes de abastecimento de água. Este estudo aborda o abastecimento de água, que é a fase do ciclo que vai da captação até às torneiras dos utilizadores, incluindo o tratamento da água potável e a sua distribuição (MOURA; PROCOPIUCK, 2020; JOSÉ ANTONIO; VICENT; RAMÓN, 2021).

O setor de água constitui uma parte importante da indústria. Isto é verdade para todos os países, tanto em desenvolvimento como desenvolvidos. Os países, por outro lado, estão interessados em melhorar o desempenho. Esta preocupação crescente estendeu-se também a instituições financeiras internacionais como o Banco Mundial, que tem realizado vários estudos para identificar os problemas que prejudicam o desempenho dos serviços de água, particularmente nos países em desenvolvimento. O desempenho é um dos obstáculos enfrentados em termos de custos e a estrutura tarifária. Portanto, o cálculo de um conjunto de indicadores que avaliem, além da qualidade os aspectos operacionais das concessionárias é essencial antes de qualquer ação tomada para melhorar o desempenho (HASSANEIN; KHALIFA, 2007; MERCADIER; BRENNER, 2020).

Em particular, ao argumentar que o desempenho afeta diretamente a subordinação das tarifas às necessidades macroeconômicas, deve-se salientar que geralmente, quanto maior for o atraso na redefinição tarifária, maior será o esforço o esforço político e custo social (LEE; POMERO; BURIAN, 2021). Para reduzir estes *défices*, a empresa tem de emitir nova dívida

ou reduzir renovações e planos de investimento de manutenção (aumentando a carga dos futuros clientes). Isso cria um círculo vicioso à medida que a qualidade do serviço e os níveis de eficiência diminuem. Por exemplo, leva a custos mais elevados. Esta é uma transferência intergeracional entre clientes (do futuro para o atual). Alternativamente, o governo, por exemplo, pode trazer fundos públicos para o setor, cortando outras despesas ou aumentando ainda mais os impostos (MERCADIER; BRENNER, 2020).

Nesse conjuntura, é de salientar que as autoridades reguladoras desempenham um papel crucial no setor, supervisionando os prestadores e garantindo a sustentabilidade dos serviços. Neste cenário, compreender o impacto dos fatores contextuais nas operações dos provedores é fundamental, tanto do ponto de vista regulatório quanto gerencial. Estes fatores referem-se a variáveis que afetam o desempenho dos serviços. No setor hídrico o ambiente operacional pode aumentar ainda mais a complexidade de serviços que já são intrinsecamente complexos. Assim, ignorar as variações ambientais pode levar a medidas de desempenho tendenciosas (TOURINHO ET AL., 2021). No abastecimento de água, entre os fatores contextuais pode-se citar a regulação. Em especial no Brasil, a LSB nº 11.445, de 2007, que intensificou a regulação estabelecendo as diretrizes nacionais para o setor de água. Já o novo marco legal busca estabelecer metas de universalização para os serviços do saneamento. Em que a regulação e fiscalização do setor caberão à ANA (Agência Nacional de Águas).

4.2 *Background e hipóteses*

A atuação dos operadores de abastecimento de água tem sido o foco de muitas pesquisas dado o interesse internacional na economia dos recursos públicos e o desenvolvimento de simulações de concorrência (competição por critério) devido à natureza monopolista. Na verdade, ao longo do tempo, estudos reconhecem a importância dos custos, estrutura tarifária e desempenho, com impacto econômico no setor (BABAMIRI; PISHVAEE; MIRZAMOHAMMADI, 2020; SAMPAIO; SAMPAIO, 2020; MERCADIER; BRENNER, 2020; LEE; POMERO; BURIAN, 2021; TOURINHO ET AL., 2021).

Em média, no Brasil, aproximadamente 16% da população brasileira não tem acesso à rede de abastecimento de água e 46% não tem acesso a serviços de saneamento. Vale ressaltar que dos efluentes coletados apenas 78% são tratados, o que significa que atualmente, no Brasil, cerca de 4,7 bilhões de m³ de esgoto por ano são descartados no meio ambiente sem tratamento. Atrasos na expansão dos serviços de saneamento compromete o desenvolvimento social e econômico do país e reduz gravemente a qualidade de vida de milhões de pessoas.

Essa realidade reforça a necessidade da realização de estudos que forneçam evidências aos profissionais e reguladores sobre a situação atual na busca de melhores práticas que possam levar a avanços no setor (TOURINHO ET AL., 2021).

Dito isso, a avaliação do desempenho passa a ser uma ferramenta útil tanto para os gestores dos serviços públicos e privados como para os reguladores da água. Por um lado, permite-lhes avaliar o desempenho das empresas de água para fins regulatórios, como definir tarifas de água e proteger o interesse dos clientes em termos da qualidade do serviço prestado pelas empresas de água (MERCADIER; BRENNER, 2020; POMERO; BURIAN, 2021). Com também, a avaliação de desempenho permite identificar os pontos fortes e fracos de cada empresa de água e ajudar a economizar custos (MAZIOTIS, ET AL., 2020).

No setor de saneamento, a recuperação dos custos refere-se à auto-suficiência financeira das empresas em termos de utilização dos recursos disponíveis (de receitas combinadas de taxas ou impostos, incluindo subvenções financiadas por impostos) para cobrir todos os seus custos contabilísticos (de capital e operacionais) no fornecimento de um nível ideal de serviço em conformidade ao longo do tempo. Ao orientar a produção e o consumo para alcançar a eficiência econômica (e a equidade econômica), as taxas que refletem o custo do serviço são aceitas como “o padrão básico de razoabilidade” (BEECHER, 2020).

Molinos-Senante, et al., (2017), por exemplo, apresentaram uma abordagem pioneira e inovadora para avaliar a qualidade do serviço de água aos clientes ao longo dos anos, utilizando proponto um índice. É argumentado que o objetivo é ser útil para os reguladores de água: (i) para apoiar a tomada de decisões ao introduzir incentivos para melhorar o desempenho; (ii) monitorar tendências globais de qualidade; e (iii) verificar a eficácia das políticas existentes. Por outras palavras, medir o índice de forma holística passaria que os reguladores da água tomem decisões críticas e, se necessário, implementem medidas corretivas para melhorar o serviço, em especial, aqui refere-se à eficiência econômica, uma vez que as estimativas de custos a longo prazo devem ser levadas em consideração.

No Brasil, é possível medir a qualidade dos serviços por meio variáveis disponíveis no SINS, como verificar as reclamações dos clientes a respeitos do serviços prestados pelas empresas, pelas paralisações no sistema. Isso posto apresenta-se abaixo a seguinte hipótese:

Hipótese: Medidas de desempenho de qualidade na prestação dos serviços podem ser relacionadas aos custos com serviços de exploração do saneamento do Brasil.

A relação de medidas de desempenho de qualidade e custos com serviços de exploração pode indicar o desafio social para a universalização dos serviços de saneamento. Danelon, Augusto e Spolador (2021), destacam que no Brasil, as empresas de tratamento de água têm incentivos econômicos para apoiar a preservação ambiental e que a promoção da proteção ambiental pode contribuir para a produtividade do setor do saneamento. Portanto, a contribuição das empresas de tratamento de água para a conservação das bacias hidrográficas deve ser incluída nas medidas das agências reguladoras, a fim de promover práticas ambientalmente corretas. Em particular, quando se trata da turbidez da água.

Em termos mundial, o aumento dos preços relativos ao uso da água é uma função de vários fatores, incluindo o impacto do aumento dos custos de capital e operacionais, e ainda, pela pressão de custos que decorre de investimentos corretivos em infraestruturas, águas residuais e águas pluviais envelhecidas ou inadequadas. Muitas cidades mais antigas enfrentam custos herdados do seu patrimônio industrial, incluindo ativos sobredimensionados, perda de população e pobreza generalizada; estas realidades estruturais estão fora do controle das famílias. Para muitas comunidades, os fatores de custos incluem padrões de qualidade e a necessidade de abordar questões de conformidade ambiental e de saúde (BEECHER, 2020).

Entre outros aspectos, o desempenho medido pela qualidade, e operacional, tem sido enfatizado quando se leva em consideração a estrutura tarifária. Para tanto, os gerentes devem usar sistemas de medição de desempenho e indicadores como ferramentas para o planejamento das operações e expansão dos abastecimentos de água (DAGDEVIREN, 2008; GHINIS; FOCHEZATTO; KUHN, 2020; MERCADIER; BRENNER, 2020; REVOLLO-FERNANDEZ, ET AL., 2020; LEE; POMEROY; BURIAN, 2021).

Assumindo que os gestores procuram racionalizar e harmonizar todos os componentes do processo produtivo, a medição do desempenho permite-lhes estabelecer metas de redução de insumos (por exemplo, água bruta, eletricidade e produtos químicos utilizados) e maximizar a água ofertada e rentabilidade dos produtos. A melhoria do desempenho permite, por exemplo, o aumento da água fornecida (em reduzindo as taxas de perda de água de distribuição) sem necessariamente aumentar a captação de água bruta. Nesse caso, podem ser evitadas pressões desnecessárias (impacto ambiental) sobre a bacia hidrográfica de origem e investimentos em estruturas físicas para expansão do sistema de abastecimento por meio do desempenho (VILANOVA; BELESTIERI, 2015).

A medição do desempenho tem vários objetivos principais: apoiar a tomada de decisões; mudar comportamentos; monitorar tendências de desempenho; declarar prioridades e ações; e, verificar a eficácia das medidas de otimização já implementadas. Neste estudo,

leva-se em consideração para desempenho de qualidade as reclamações, paralisações no sistema e o quantitativo de amostra de cloro residual e turbidez que são feitos em laboratórios. Já para desempenho operacional o Índice de atendimento urbano de água, Índice de consumo de energia elétrica e as Perdas de água na distribuição, todos definidos pelo SINS.

As perdas de água na distribuição, por exemplo, podem atingir um terço da água captada e envolvem perdas significativas de receitas. Ou seja, deve haver um acompanhamento dessa questão, dados os desafios atuais e futuros que a indústria enfrenta. A redução das perdas contribui para alcançar a sustentabilidade financeira e uma maior satisfação dos clientes. Isto força as empresas de abastecimento a implementar estratégias eficazes (ANANDA, 2019; GHINIS; FOCHEZATTO; KUHN, 2020; MERCADIER; BRENNER, 2020; REVOLLO-FERNANDEZ, ET AL., 2020; LEE; POMEROY; BURIAN, 2021). Dessa forma, segue abaixo a seguinte hipótese:

Hipótese: Medidas de desempenho de qualidade e operacional podem ser relacionadas às tarifas aplicadas do saneamento do Brasil.

A tomada de decisões pelos gestores no que tange as tarifas de água aplicadas passa pelo desempenho de qualidade e operacional. Embora qualquer ação para melhorar o setor raramente seja implementada sem levantamentos de dados, a ação governamental é imperativa na definição de objetivos de desempenho no abastecimento de água, servindo eficazmente ao interesse público e cumprindo os requisitos de sustentabilidade associados (investimentos (MAZIOTIS; MOLINOS-SENANTE, SALA-GARRIDO, 2016; WEHN, MONTALVO, 2017; AL-SAIDI; DEHNAVI, 2019; MERCADIER; BRENNER, 2020). Para tanto, a legislação brasileira institucionaliza indicadores, de modo que seu uso é normalmente integrado ao planejamento, regulação e supervisão das operadoras nos municípios.

4.3 Metodologia

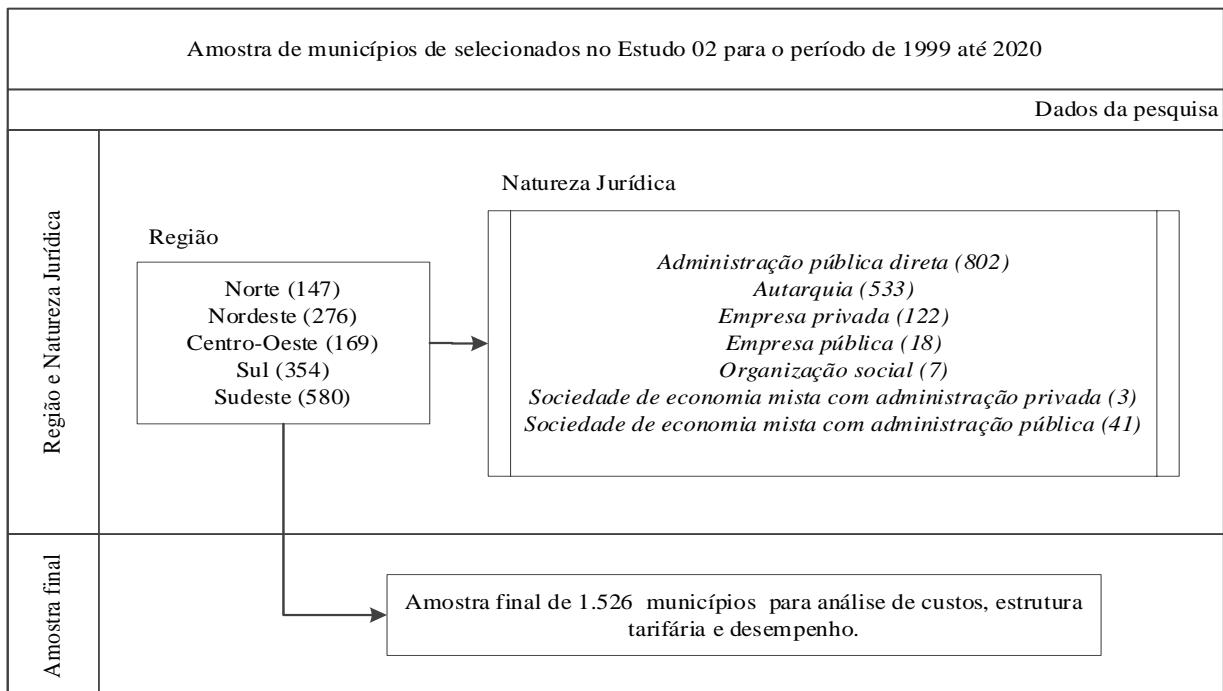
4.3.1 População e amostra

Diante de um mercado pouco competitivo do setor de saneamento e características institucionais e regulatórias específicas, que acabam por fomentar menor eficiência dos serviços prestados, torna-se essencial a disseminação de indicadores, que por sua vez tem sido realizada no Brasil pelo Ministério das Cidades, por meio do SNIS. Esta base de dados,

fornecer uma série de informações, tanto por provedor quanto por município. Além disso, recebe de maneira voluntária os dados dos prestadores de serviços.

Apesar da significativa representatividade do SNIS, a amostra varia ao longo do tempo, pois, a cada ano, novos prestadores passam a disponibilizar seus dados e pode acontecer de aqueles que informavam regularmente todos os anos deixarem de informar por qualquer motivo, já que não existe uma lei que os obrigue a essa prática. Nesse contexto, a amostra apresenta-se de forma desbalanceada, devido haver dados “missing” ou dados faltantes, ainda que tenham sido excluídas as empresas com demasiada ausência de informações no período de estudo com objetivo de não enviesar os resultados da pesquisa. Contudo, apesar das limitações, o SNIS é o maior e mais importante banco de dados do setor e conta com uma expressiva fonte de dados, o que justifica a sua utilização neste estudo.

Quadro 12: Amostra de municípios selecionados no SNIS



Fonte: Elaboração própria (2024).

O período amostral foi de 1999 até 2020 (Quadro 12). A escolha do ano de 1999 se deu pelo fato de que o SINS foi criado em 1995, mas apenas em 1999 foi possível ter uma base de dados mais consistente, com a adesão de municípios ao programa, e com isso ter uma seleção de variáveis adequadas para análise nesta pesquisa. Destaca-se que por ser uma ferramenta do saneamento os objetivos do SINS são: auxiliar o planejamento e execução de políticas públicas; orientar na aplicação de recursos; avaliar o setor e o desempenho de

prestadores dos serviços; melhorar a gestão; orientar na regulação, na fiscalização e permitir o controle social. Isso posto, foram selecionados 1.526 municípios no Estudo 02.

Ressalta-se que a classificação do conjunto de dados do SNIS é basicamente por município, estado, nome do prestador de serviço, escopo de atuação do prestador (ou seja, local, multimunicipal ou regional), natureza jurídica do prestador (ou seja, administração pública direta, autarquia, empresa privada e pública, organização social e sociedade de economia misca com administração privada e pública) e tipo de serviço prestado (ou seja, apenas abastecimento de água e saneamento)

4.3.2 Variáveis de custos, estrutura tarifária e desempenho

Conforme o Quadro 13, para determinação dos custos foi selecionado a variável referente ao valor anual com a aquisição de produtos químicos, ligado diretamente ao tratamento de água no processo de abastecimento, como também de esgotos, com intuito de analisar sua relação apenas com as medidas de desempenho de qualidade. Mesmo que seja incluído o esgotamento sanitário essa é a variável mais próxima da mensuração de custos na base de dados. Nos demais dados de saneamento do Brasil no SNIS, os custos estão incluídos juntamente em contas de despesas não sendo por isso selecionados para o presente estudo.

Foi analisada a relação da estrutura tarifária com o desempenho medido pela qualidade e variáveis operacionais. Para fins de determinação da tarifa de abastecimento de água, optou-se pelo cálculo apresentado na base de dados do SNIS, que leva em consideração a receita operacional direta da água, o volume de água faturado, o volume de água bruta exportado e o volume de água tratada exportado.

Para desempenho de qualidade, foram selecionadas as variáveis: log da quantidade de amostras de cloro (analisadas), log da quantidade de amostras para turbidez (analisadas), log da quantidade de economias ativas atingidas por paralisações e log da quantidade de reclamações. Como medidas de desempenho operacional, tem-se o índice de atendimento urbano de água, índice de consumo de energia elétrica e índice de perdas na distribuição. Destaca-se que estas variáveis foram defasadas em relação ao ano anterior.

E ainda, foram selecionadas as seguintes variáveis de controle: densidade de economias de água por ligação, extensão da rede de água por ligação, log do volume de água tratada em ETAs, índice de fluoretação de água, despesa de exploração por m³ faturado, índice de evasão de receita, índice de desempenho financeiro, índice de suficiência de caixa, log dos investimentos realizados em abastecimento de água e a população total atendida.

Quadro 13: Variáveis referente custos com serviços de exploração, estrutura tarifária, desempenho de qualidade, operacional e variáveis de controle

Dimensão	Variáveis	Sigla	Equação/Explicação	Unidade	Descrição
Custos	Custos com serviços de exploração	<i>CustExp</i>	Logaritmo natural do valor anual da aquisição de produtos químicos.	R\$/ano	Valor anual com a aquisição de produtos químicos conforme SINS.
Estrutura Tarifária	Tarifa de abastecimento de água	<i>TMA</i>	$TMA = \frac{ROD}{VAF+VABE+VATE} \times \frac{1}{1.000} \quad (11)$	R\$/m ³	TMA é a tarifa média da água, ROD é a receita operacional direta da água, VAF é o volume de água faturado, VABE é o volume de água bruta exportado e VATE é o volume de água tratada exportado.
Desempenho de Qualidade	Paralisações no sistema	<i>LogParalisações</i>	Logaritmo natural do número de paralisações	(paralisações/ano)	Quantidade de economias ativas atingidas por paralisações. Refere-se a interrupção no fornecimento de água ao usuário pelo sistema de distribuição, por problemas em qualquer das unidades do sistema de abastecimento, desde a produção até a rede de distribuição, que tenham acarretado prejuízos à regularidade do abastecimento de água. Inclui, dentre outras, as interrupções decorrentes de reparos. Para efeito do SNIS consideram-se paralisações somente as interrupções que tenham acarretado 6 horas ou mais de interrupção no fornecimento de água.
	Reclamações	<i>LogReclamações</i>	Logaritmo natural do número de reclamações	(reclamações/ano)	Quantidade total anual de reclamações ou solicitações de serviços referentes ao(s) sistema(s) de abastecimento de água e de

					esgotamento sanitário. Incluem-se aquelas de iniciativa do próprio prestador de serviços. No caso de município atendido por mais de um sistema, as informações dos diversos sistemas devem ser somadas.
Análises de cloro residual	<i>logCloro</i>	Logaritmo natural da quantidade de amostras para cloro residual	(amostras/ano)	Quantidade de amostras para cloro residual (analisadas).	
Análises de turbidez	<i>logTurbidez</i>	Logaritmo natural da quantidade de amostras de turbidez	(amostras/ano)	Quantidade de amostras para turbidez (analisadas).	
Desempenho Operacional	Índice de atendimento urbano de água	<i>IAT</i>	$IAT = \frac{PAT}{POP} \times 100 \quad (12)$	percentual	IAT é o índice de atendimento urbano de água, PAT representa a população urbana atendida com abastecimento de água e POP é a população urbana residente do(s) município(s) com abastecimento de água. Destaca-se que a população urbana do município é do ano de referência.
	Índice de consumo de energia elétrica	<i>ICEE</i>	$ICEE = \frac{CEE}{VAP+VATI} \quad (13)$	kWh/m ³	ICEE é o índice de consumo de energia elétrica, CEE é o consumo total de energia elétrica, VAP representa o volume de água produzido, VATI é o volume de água tratada importado.
	Perdas de água na distribuição	<i>IPD</i>	$IPD = \frac{VAP+VATI-VAC-VS}{VAP+VATI-VS} \times 100 \quad (14)$	percentual	IPD é o índice de perda na distribuição, VAP representa o volume de água produzido, VATI é o volume de água tratada importado, VAC é o volume de água consumido e VS é o volume de serviço.

Controle	Densidade de economias de água por ligação	<i>DEL</i>	$DEL = \frac{QEA}{QLA}$ (15)	econ./lig	DEL é a densidade de economias de água por ligação, QEA é a quantidade de economias ativas de água, QLA é a quantidade de ligações ativas de água. Utiliza-se a média aritmética dos valores do ano de referência e do ano anterior ao mesmo.
	Extensão da rede de água por ligação	<i>ERL</i>	$ERL = \frac{ERA}{QLT} \times 1.000$ (16)	m/lig.	ERL é a extensão da rede de água por ligação; ERA é a extensão da rede de água, QLT é a quantidade de ligações totais de água. Utiliza-se a média aritmética dos valores do ano de referência e do ano anterior ao mesmo.
	Volume de água tratada em ETAs	<i>logVAT</i>	Logaritmo natural do volume anual de água submetido a tratamento	1.000 m ³ /ano	Volume anual de água submetido a tratamento, incluindo a água bruta captada pelo prestador de serviços e a água bruta importada, medido ou estimado na(s) saída(s) da(s) ETA(s).
	Índice de fluoretação de água	<i>IFA</i>	$IFA = \frac{VAF}{VAP+VATI} \times 100$ (17)	percentual	VAF é o volume de água fluoretada, VAP é o volume de água produzido, VATI é o volume de água tratada importado.
	Despesa de exploração por m ³ faturado	<i>DEX</i>	$DEX = \frac{DE}{VAF + Vef} \times \frac{1}{1.000}$ (18)	R\$/m ³	DEX é Despesa de exploração por m ³ faturado, DE é despesas de exploração, VAF é o volume de água faturado, VEF é o volume de esgotos faturado.
	Índice de evasão de receita	<i>IER</i>	$IER = \frac{ROT - ARRT}{ROT} \times 100$ (19)	percentual	IER é o índice de evasão de receitas, ROT representa receita operacional total (direta + indireta) e ARRT é a arrecadação total.

	Índice de Desempenho Financeiro	IDF	$IDF = \frac{RDA + RDE + RDAE + RDEI}{DEST} \times 100$ (20)	percentual	IDF é o índice de desempenho financeiro, RDA é a receita operacional direta de água, RDE é a receita operacional direta de esgoto, RDAE é a receita operacional direta de água exportada (bruta ou tratada), RDEI é a receita operacional direta menos esgoto bruto importado e DEST são as despesas totais com os serviços,
	Índice de suficiência de caixa	ISC	$ISC = \frac{ARRT}{DE + DJESD + DFT + DASD} \times 100$ (21)	percentual	ISC é o índice de suficiência de caixa, ARRT representa a arrecadação total, DE são as despesas de exploração, DJESD são as despesas com juros e encargos do serviço da dívida, DFT são as despesas fiscais ou tributárias não computadas na DE e DASD são as despesas com amortizações do serviço da dívida.
	Investimentos	<i>log</i> Investimentos	Logaritmo natural do valor anual de investimentos.	R\$/ano	Investimentos realizado em abastecimento de água (valor do investimento realizado no ano de referência, diretamente ou por meio de contratos celebrados pelo próprio prestador de serviços, em equipamentos e instalações incorporados ao(s) sistema(s) de abastecimento de água, contabilizado em obras em andamento, no ativo imobilizado ou no ativo intangível)
	População	População	Logaritmo natural da população total atendida com abastecimento de água.	habitantes	População total atendida com abastecimento de água.

Fonte: SNIS (2023).

4.3.3 Tratamento dos dados e modelos inferenciais

Considerando-se que no Brasil há municípios com diferentes níveis de desenvolvimento, a técnica padrão de mínimos quadrados ordinários (MQO) pode apresentar limitações e levar a resultados enviesados como subestimação ou superestimação dos parâmetros devido à heterogeneidade da amostra. Bem como, os parâmetros estimados podem vir a refletir apenas os efeitos médios das variáveis independentes sobre a variável dependente, ou seja, não capturando possíveis efeitos diferenciados do desempenho nos municípios com menores ou maiores níveis de desenvolvimento (KOENKER; BASSETT, 1978). Isso posto, uma opção ao MQO é a estimação de tais efeitos por meio de regressão quantílica (RQ). Assim, as relações analisadas foram estimadas por meio de RQ.

A regressão quantílica enfatiza características que a faz apropriada para o Estudo 02, como: (a) o fato de ser mais robusta a *outliers* do que a regressão média (MQO); (b) permitir estudar o impacto das variáveis independentes em dimensões e localizações diferentes, portanto, proporcionará uma leitura mais precisa dos dados, e; (c) é uma abordagem semiparamétrica, no sentido de que evita hipóteses sobre os erros de regressão em uma distribuição do tipo paramétrica (CAMERON; TRIVEDI, 2009). E ainda, no processo de estimação, aplicou-se os testes para verificar os pressupostos dos modelos apresentados: (i) linearidade nos parâmetros; (ii) ausência de multicolinearidade; (iii) homocedasticidade; (iv) ausência de autocorrelação serial de resíduos.

Nessa conjuntura, para os custos com serviços de exploração e desempenho de qualidade tem-se a seguinte Equação (22):

$$\begin{aligned} CustExp_{it} = & \alpha + \beta_1 LogParalisações_{it-1} + \beta_2 LogReclamações_{it-1} + \beta_3 DEL_{it} + \beta_4 ERL_{it} + \\ & \beta_5 logVAT_{it} + \beta_6 IFA + \beta_7 logPopulação + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (22)$$

Em que, *CustExp*: Custos com serviços de exploração do município; *Log Paralisações*: Logaritmo natural da quantidade de economias ativas atingidas por paralisações do município *i* no tempo *t-1*; *Log Reclamações*: Logaritmo natural da quantidade de reclamações ou solicitações de serviços do município *i* no tempo *t-1*; *DEL*: Densidade de economias de água por ligação; *ERL*: Extensão da rede de água por ligação; *Log VAT*: Logaritmo natural do Volume de água tratada em ETAs; *IFA*: Índice de fluoretação de água; *Log População*: Logaritmo natural da população atendida com abastecimento de água; ε_{it} é erro aleatório.

Para estrutura tarifária e desempenho de qualidade e operacional tem-se as Equações 23 e 24 a seguir:

$$TMA_{it} = \alpha + \beta_1 LogCloro_{it-1} + \beta_2 logTurbidez_{it-1} + \beta_3 LogParalisações_{it-1} + \beta_4 LogReclamações_{it-1} + \beta_5 DEX_{it} + \beta_6 IER_{it} + \beta_7 IDF + \beta_8 LogISC + \beta_9 LogInvestimentos + \beta_{10} logPopulação + \varepsilon_{it} \quad (23)$$

Em que, TMA: tarifa de abastecimento de água do município; *Log Cloro*: Logaritmo natural da quantidade de amostras de cloro (analisadas) do município *i* no tempo *t-1*; *Log Turbidez*: Logaritmo natural da quantidade de amostras para turbidez (analisadas) do município *i* no tempo *t-1*; *Log Paralisações*: Logaritmo natural da quantidade de economias ativas atingidas por paralisações do município *i* no tempo *t-1*; *Log Reclamações*: Logaritmo natural da quantidade de reclamações ou solicitações de serviços do município *i* no tempo *t-1*; DEX: Despesa de exploração por m³ faturado; IER: Índice de evasão de receita; IDF: Índice de Desempenho Financeiro; *Log ISC*: Índice de Suficiência de Caixa; *Log Investimentos*: Logaritmo natural dos investimentos em abastecimento de água; *Log População*: Logaritmo natural da população atendida com abastecimento de água; ε_{it} representa o erro aleatório.

$$TMA_{it} = \alpha + \beta_1 IAT_{it-1} + \beta_2 ICEE_{it-1} + \beta_3 IPD_{it-1} + \beta_4 DEX_{it} + \beta_5 IER_{it} + \beta_6 IDF + \beta_7 LogISC + \beta_8 LogInvestimentos + \beta_9 logPopulação + \varepsilon_{it} \quad (24)$$

Em que, TMA: tarifa de abastecimento de água do município; IAT: Índice de atendimento urbano de água do município *i* no tempo *t-1*; ICEE: Índice de consumo de energia elétrica do município *i* no tempo *t-1*; IPD: Índice de perdas na distribuição do município *i* no tempo *t-1*; DEX: Despesa de exploração por m³ faturado; IER: Índice de evasão de receita; IDF: Índice de Desempenho Financeiro; *Log ISC*: Índice de Suficiência de Caixa; *Log Investimentos*: Logaritmo natural dos investimentos em abastecimento de água; *Log População*: Logaritmo natural da população atendida com abastecimento de água; ε_{it} representa o erro aleatório.

4.4 Análise dos Resultados

4.5.1 Análise descritiva

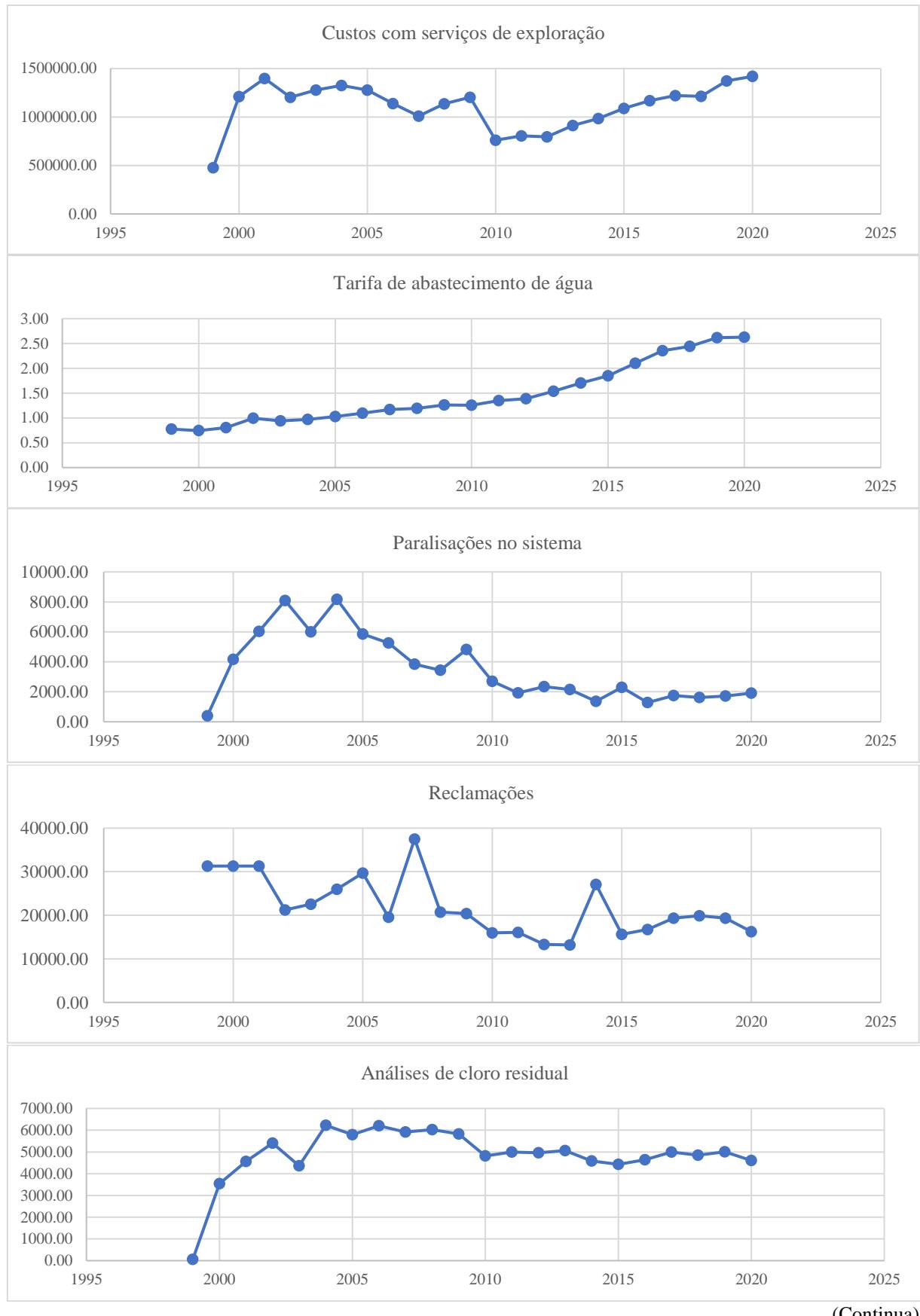
Na Figura 33 são mostradas a média das variáveis de custos com serviços de exploração, a estrutura tarifária e os desempenhos de qualidade e operacional, por ano. É importante observar que os produtos químicos estão alocados nas estações de tratamento da água, e chega a valor de R\$ 1,5 milhões em 2020. Em grande parte, com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). E mais recentemente com o Novo Marco Regulatório do Saneamento Básico, com as exigências para fornecer água de qualidade, deve-se impactar ainda mais na necessidade de se investir em produtos químicos devido a ampliação da rede.

O crescimento da tarifa de abastecimento de água abaixo de R\$ 3,00 em 2020 é devido a análise ser com todas as regiões do Brasil. As regiões norte e sudeste apresentam menores tarifas médias em 2020. Destaca-se que as tarifas representam o equilíbrio econômico-financeiro das empresas, e dessa forma a disparidade de deus valores por unidade de federação fica a cargo das entidades de regulação econômica (SAMPAIO; SAMPAIO, 2020).

Quanto as variáveis de desempenho de qualidade, há uma redução do número de paralisações no sistema, que mede o tempo que a operação fica fora de funcionamento durante paralisações (técnicas ou não), em especial a partir de 2010. No número de reclamações por parte dos usuários, é percebido um gráfico mais disperso no decorrer dos anos analisados, em 2020 totalizou cerca de 16 mil reclamações. Já as análises de cloro residual e turbidez, os números de amostras trabalhadas em laboratórios são bastante próximos, com as mesmas tendências, ficando aproximadamente entre 4 e 5 mil amostras a partir do ano de 2004.

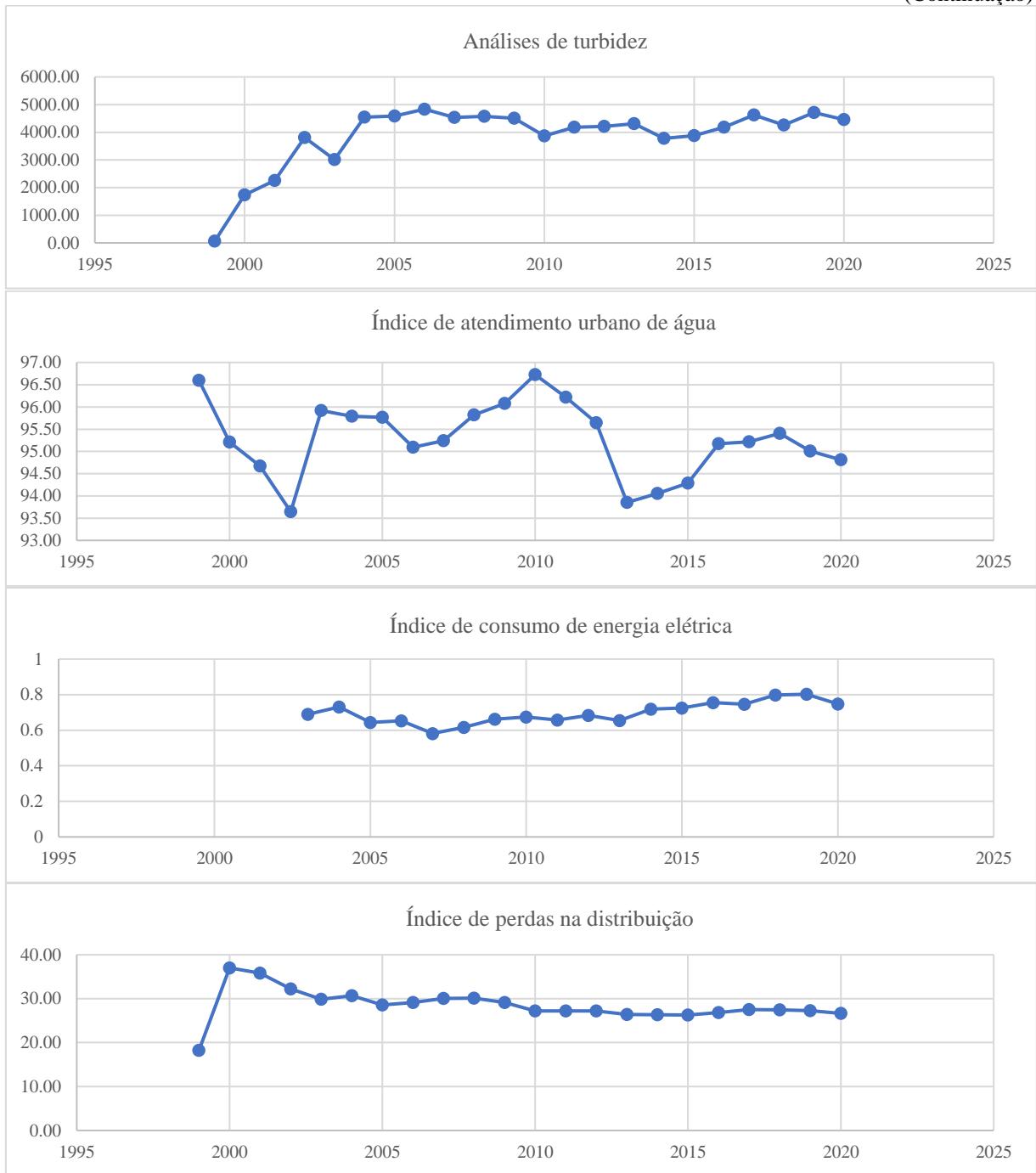
Para as variáveis de desempenho operacional, o índice de atendimento urbano de água apresenta um gráfico disperso, variando entre 93,64% (2002) a 96,73% (2010). Ainda assim, uma pequena queda do índice a partir de 2018 já é um dado que se deve ter atenção, visto que o Novo Marco Legal estabelece metas para a universalização que garantam o atendimento até 31 de dezembro de 2033 de 99% da população do Brasil com água potável. Para isso, o Ministério da Economia estima que seja necessário atrair entre R\$ 500 bilhões e R\$ 700 bilhões em investimentos até 2033, então, com estas novas aquisições espessa-se que o índice melhore nos próximos anos (LIBANIO, 2020; BARRAQUÉ, 2020; GHINIS; FOCHEZATTO, 2021; ORTEGA; NEVES, 2021).

Figura 33: Média das variáveis de custos com serviços de exploração, estrutura tarifária e desempenho de qualidade e operacional, por ano (1999-2020)



(Continua)

(Continuação)



Nota: Exclusivamente para estes gráficos, nas variáveis de desempenho de qualidade e operacional foram desconsideradas defasagens e logaritmo natural.

Fonte: SINS. Dados da pesquisa (2024).

O índice de consumo de energia elétrica varia de 0,58 kWh/m³ (2007) a 0,80 kWh/m³ (2019), pelo consumo de energia entre volume de água produzido e água tratada importado. Já o índice de perda na distribuição apresenta pequena variação no decorrer do tempo, e mesmo que haja uma redução de perda, esta é uma variável que requer atenção, pois os custos decorrentes das perdas são repassados ao consumidor final (SNIS, 2020).

Dando seguimento a análise descritiva, a Tabela 03 mostra o resultado das estatísticas descritivas para custos com serviços de exploração, estrutura tarifária, desempenho de qualidade, operacional e variáveis de controle. Sendo consideradas as devidas defasagens e logaritmo natural. Os custos com serviços de exploração medido pelos produtos químicos apresentam um *log* de 4,7750, já a média da tarifa de água para todo o período é de 1,7548. Ressalta-se que a tarifa é um componente crítico das políticas públicas e com o Novo Marco Legal, espera-se que com as parcerias firmadas se estabeleça tarifa máxima calculando quanto custa prestar o serviço, de fato (GHINIS; FOCHEZATTO, 2021; ORTEGA; NEVES, 2021).

As variáveis de desempenho de qualidade apresentam um total de 15.189 observações para o período analisado. O cloro residual e a turbidez têm característica de medição rápida e acessível, permitindo uma avaliação representativa no tratamento de água por estarem ligados às duas operações unitárias principais (filtração e desinfecção) do sistema. Dito isso, é verificada uma incidência maior de amostragem de cloro residual (2,8159), ao comparar com os dados de turbidez (2,6507). Ainda, o número de reclamações (2,4623) é maior que o de paralisações (1,1346), mas isso se deve ao fato de que no SNIS, reclamações pelos clientes podem ter motivações diversas, tais como: qualidade da água, rede obstruída; vazamento; mudança na distribuição, causada por manobras ou desligamento de elevatórias; dentre outras.

O número de observações das variáveis de desempenho operacional também é de 15.189 observações para o período analisado. O índice de atendimento urbano apresentou um percentual de 94,82%, já índice de consumo de energia elétrica 0,53 kWh/m³. Com um índice de perdas na distribuição de 26,82%, esta variável apresenta o maior desvio padrão (20,2041), entre as variáveis de desempenho operacional, ou seja, mais dispersos são os dados do conjunto (menos regular, menos homogêneo).

Tabela 03: Resultado das estatísticas descritivas para custos com serviços de exploração, estrutura tarifária, desempenho de qualidade, operacional e variáveis de controle (1999-2020)

Variáveis	Observações	Média	Mediana	Desvio Padrão
CustExp	13.828	4,7750	4,7033	0,9799
TMA	13.601	1,7548	1,4200	1,5881
<i>Log</i> Cloro	15.189	2,8159	3,1283	1,1931
<i>Log</i> Turbidez	15.189	2,6507	2,8573	1,2167
<i>Log</i> Paralisações	15.189	1,1346	0,000	1,4204
<i>Log</i> Reclamações	15.189	2,4623	2,5502	1,4665
IAT	15.189	94,8241	100,0000	14,6005
ICEE	15.189	0,5327	0,4200	0,7439
IPD	15.189	26,8241	26,5700	20,2041
DEL	15.140	1,0982	1,0200	0,3369
ERL	15.119	19,880	13,8000	23,9107
<i>Log</i> VAT	15.102	2,0905	2,6347	1,7301
IFA	14.466	52,6351	74,3700	46,5912
DEX	13.588	1,5910	1,2200	3,0158
IER	14.117	3,2767	0,0000	21,1046
IDF	15.013	96,4733	99,0500	51,4461
<i>Log</i> ISC	14.396	1,7262	2,0157	0,7233
<i>Log</i> Investimentos	15.189	2,6717	0,0000	2,8159
<i>Log</i> População	15.187	4,2484	4,1699	0,7727

Notas: (i) CustExp: Custos com serviços de exploração, dado pelos produtos químicos; TMA: tarifa de abastecimento de água; *Log* Cloro: Quantidade de amostras de cloro (analisadas); *Log* Turbidez: Quantidade de amostras para turbidez (analisadas); *Log* Paralisações: Quantidade de economias ativas atingidas por paralisações; *Log* Reclamações: Quantidade de reclamações ou solicitações de serviços; IAT: Índice de atendimento urbano de água; ICEE: Índice de consumo de energia elétrica; IPD: Índice de perdas na distribuição; DEL: Densidade de economias de água por ligação; ERL: Extensão da rede de água por ligação; *log* VAT: Volume de água tratada em ETAs; IFA: Índice de fluoretação de água; População: População total atendida com abastecimento de água; DEX: Despesa de exploração por m³ faturado; IER: Índice de evasão de receita; IDF: Índice de Desempenho Financeiro; ISC: Índice de Suficiência de Caixa; *Log* Investimentos: Investimentos realizados em abastecimento de água; *Log* População: População total atendida com abastecimento de água.

Fonte: SINS. Dados da pesquisa (2024).

Nas variáveis de controle, a maior média enfatizada é a do índice de desempenho financeiro nos municípios brasileiros (96,4733), com maior desvio padrão (51,4461) entre as variáveis de controle, é um indicador que se constitue em uma resposta às necessidades financeiras do setor (MAZIOTIS; MOLINOS-SEANTE; SALA-GARRIDO, 2016; AL-SAIDI; DEHNAVI, 2019; LEE; POMEROY; BURIAN, 2021). Seguida do índice de fluoretação de água (52,6351), que é uma medida efetiva para reduzir a cárie dentária, tendo em vista que o uso do flúor no abastecimento público é considerado o principal fator para a obtenção de redução na prevalência da doença, cujo o desvio padrão (46,5912) é segundo mais representativo entre todas as variáveis de controle.

4.5.2 Análise inferencial

4.5.2.1 Custos e desempenho de qualidade

A Tabela 04 apresenta os resultados da análise inferencial da equação referente os custos com serviços de exploração e desempenho de qualidade. Foi realizada a aplicação do Fator de Inflação da Variância (VIF) para identificação da multicolinearidade. Os valores do VIF apresentaram-se abaixo de 10. No presente estudo, o maior valor obtido foi de 4,95, confirmando a não existência de multicolinearidade. Já a testagem da autocorrelação em painel resultou em $\text{Prob}>\text{F} = 0.0000$, ou seja, rejeita-se a hipótese nula de ausência de autocorrelação, pois o valor foi inferir a 5%. Com relação aos pseudo R^2 identificados na regressão quantílica, variam entre 0,4311 e 0,5451.

Conforme exposto na Tabela 04, a variável *Log Paralisações* não dispôs de valor preditivo para o resultado da variável dependente. Já a variável de interesse *Log Reclamações* apresentou significância estatística em todos os quartis. Nos *quantis* de custos de serviços de exploração (*quantil 25°*, *quantil 50°* e *quantil 75°*) o número de reclamações por parte dos clientes de empresas de saneamento tem coeficientes positivos (0,0705, 0,0608 e 0,0553, respectivamente). Isso implica dizer que há relação positiva entre o *Log Reclamações* ao nível de 1% e custos com serviços de exploração, medido pelo logaritmo natural do valor de anual da aquisição de produtos químicos.

Esse achado pode ser explicado devido ao fato de que garantir o abastecimento com a devida purificação da água é crucial e urgentemente necessária (HOEKSTRA; BUURMAN; GINKEL, 2018). Um saneamento inadequado leva à propagação descontrolada de uma série de doenças evitáveis, tais como: doenças diarreicas, hepatite, malária e dengue. Entre as várias doenças transmitidas pela água, só as doenças diarreicas ceifam dois milhões de vidas todos os anos (KHAN; MALIK, 2018). Com isso, em parte as reclamações dos clientes podem ser relacionadas a qualidade da água, o que implica afirmar que a hipótese de que medidas de desempenho de qualidade na prestação dos serviços podem ser relacionadas aos custos com serviços de exploração do saneamento do Brasil não é rejeitada totalmente (D'INVERNO; CAROSI; ROMANO, 2020; MERCADIER; BRENNER, 2020).

As medidas de desempenho de qualidade e custos com serviços de exploração passa a ser um desafio social para a universalização dos serviços de saneamento (MAZIOTIS, ET AL., 2020; DANELON; AUGUSTO E SPOLADOR, 2021). E as agências reguladoras tem um papel crucial nesse processo, seja apoiando na tomada de decisões; mudando

comportamentos; monitorando tendências de desempenho; declarando prioridades e ações; e, verificando a eficácia das medidas de otimização já implementadas.

Tabela 04: Resultado da Regressão Quantílica para custos com serviços de exploração e desempenho de qualidade (1999-2020)

Variáveis	Custos com serviços de exploração		
	Quartil 25	Quartil 50	Quartil 75
<i>Log</i> Paralisações	0,0617 (1,41)	-0,0454 (-1,54)	-0,0169 (-0,54)
<i>Log</i> Reclamações	0,0705*** (12,31)	0,0608*** (17,13)	0,0553*** (15,77)
DEL	-0,0669** (-2,17)	-0,0301 (-0,91)	0,0653 (0,20)
ERL	-0,0223 (-0,55)	0,0803** (2,04)	0,0152*** (3,81)
<i>Log</i> VAT	0,0187*** (4,04)	0,0211*** (7,48)	0,0186*** (8,08)
IFA	0,0311*** (17,86)	0,0176*** (14,35)	0,0116*** (11,17)
<i>Log</i> População	1,0498*** (88,27)	1,0168*** (113,8)	0,9723*** (149,61)
Constante	-0,3854*** (-7,41)	0,1321*** (3,64)	0,6224*** (17,82)
<i>Pseudo R</i> ² :	0,4311	0,4879	0,5451
<i>Observações</i>		13.085	

$$CustExp_{it} = \alpha + \beta_1 LogParalisações_{it-1} + \beta_2 LogReclamações_{it-1} + \beta_3 DEL_{it} + \beta_4 ERL_{it} + \beta_5 VAT_{it} + \beta_6 IFA + \beta_7 logPopulação + \varepsilon_{it}$$

Notas: (i) CustExp: Custos com serviços de exploração, dado pelos produtos químicos; *Log* Paralisações: Quantidade de economias ativas atingidas por paralisações; *Log* Reclamações: Quantidade de reclamações ou solicitações de serviços; DEL: Densidade de economias de água por ligação; ERL: Extensão da rede de água por ligação; *log* VAT: Volume de água tratada em ETAs; IFA: Índice de fluoretação de água; *Log* População: População total atendida com abastecimento de água. Notas: (ii) Estatística Z entre parênteses. iii) ** e *** significância estatística a 5% e 1%, respectivamente.

Fonte: SINS. Dados da pesquisa (2024).

No tocante às variáveis de controle, três das cinco variáveis apresentaram significância estatística em todos os *quantis*, a saber: *Log* VAT, IFA e *Log* População. Estas apresentaram uma relação positiva com os custos de serviços de exploração. Isso já era o de se esperar, tendo em vista que volume de água tratada em ETAs, o índice de fluoretação (o flúor é fator para a obtenção de redução na prevalência da doença de cárie dentária) e o tamanho da população atendida tem ligação direta com os custos que envolvem o tratamento da água. Da mesma forma, com significância estatística e positiva, a variável ERL (Extensão da rede de água por ligação), nos maiores *quartis* (*quartil 50°* e *quartil 75°*).

Uma ressalva é para a variável DEL (densidade de economias de água por ligação), que apresentou significância estatística e negativa com os custos de serviços de exploração, apenas no menor *quartil* (*quartil* 25°). Uma possível justificativa é pelo fato de que é uma variável atrelada a verticalização do município, ocasionando um menor volume de água distribuído por economia, em particular pelo consumo de água por domicílio em edifícios.

4.5.2.1 Estrutura tarifária e desempenho de qualidade e operacional

A Tabela 05 enfatiza os resultados da análise inferencial da equação referente os estrutura tarifária, medida pela tarifa de água (TMA) e desempenho de qualidade. Foi realizada a aplicação do Fator de Inflação da Variância (VIF) para identificação da multicolinearidade. Os valores do VIF apresentaram-se abaixo de 10. No presente estudo, o maior valor obtido foi de 5,22, confirmando a não existência de multicolinearidade. Já a testagem da autocorrelação em painel resultou em $\text{Prob}>\text{F} = 0.0000$, ou seja, rejeita-se a hipótese nula de ausência de autocorrelação, pois o valor foi inferior a 5%. Com relação aos pseudos R^2 identificados na regressão quantílica, variam entre 0,4113 e 0,5788.

Diante do exposto na Tabela 05, a variável de interesse *Log Turbidez* apresentou significância estatística em todos os *quartis*. Isso posto, nos *quantis* de TMA (*quartil* 25°, *quartil* 50° e *quartil* 75°) a quantidade de amostras para turbidez (analisadas) tem coeficientes positivos (0,0439, 0,0426 e 0,0742, respectivamente). O resultado indica que há relação positiva entre *Log Turbidez*, ao nível de 1% com a estrutura tarifária. Já a variável *Log Cloro* apresentou significância estatística e negativa (-0,0183 e -0,0452, respectivamente) nos maiores *quartis* (*quartil* 50° e *quartil* 75), ao nível de 1%.

O aumento da turbidez nos cursos d'água é provocado pela poluição, ocasionada pelas atividades antrópicas, ou seja, em decorrência dos impactos ambientais provocados pelo homem. A água turva dos corpos hídricos é um dos indicativos de que a qualidade da água é inapropriada para consumo humano, pela presença de componentes físicos e microbiológicos, associados a partículas suspensas, que atuam como abrigo aos microrganismos patogênicos, impedindo o processo de desinfecção no tratamento (HAIDER; SADIQ; TESFAMARIAM, 2016; HOEKSTRA; BUURMAN; GINKEL, 2018).

O padrão de potabilidade do Brasil, definiu por meio do Anexo XX da Portaria do Ministério da Saúde n° 05/2017 o valor máximo permitido de 5,0 unidades nefelométricas de turbidez no sistema de abastecimento de água. Logo, verifica-se que um aumento da

amostragem do parâmetro de turbidez em laboratórios, ocasiona em aumento de tarifa para o cliente, ou seja, os custos decorrentes de turbidez são repassados ao consumidor final.

Com a variável *Log Cloro* foi identificado uma relação inversa com a estrutura tarifária. O art. 32 da portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, informa que é obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede) e nos pontos de consumo. É importante salientar que deve haver uma dosagem ideal, pois o nível de cloro inferior ao necessário, pode ocasionar possíveis surtos de contaminação, já em o excesso de cloro residual pode ocasionar alergias e os trihalometanos, potencialmente cancerígenos (HOEKSTRA; BUURMAN; GINKEL, 2018). Dessa forma, pode-se supor que quanto maior a amostragem em laboratórios para análises, maior será a verificação de se a quantidade de cloro residual está chegando de maneira adequada em todos os pontos do sistema. Evitando excesso de custo com esse componente, e consequentemente ocasionando o não repasse desse custo ao consumidor final.

A variável *Log Paralisações* não dispôs de valor preditivo para o resultado da variável TMA (assim como na variável *CustExp* da tabela anterior). Em contrapartida a variável de interesse *Log Reclamações* apresentou significância estatística em todos os *quartis*. Dessa forma, nos *quartis* de estrutura tarifária (*quantil 25°*, *quantil 50°* e *quantil 75°*) o número de reclamações por parte dos clientes de empresas de saneamento tem coeficientes positivos (0,0395, 0,0297 e 0,0485, respectivamente). Ou seja, o resultado indica que há relação positiva entre *Log Reclamações*, ao nível de 1% com a estrutura tarifária. As reclamações por parte dos clientes podem ter motivações diversas, como dito anteriormente, e ao que foi constatado os custos com as melhorias feitas são repassados ao consumidor final (BEECHER, 2020). Pode-se dizer que a hipótese de que medidas de desempenho de qualidade podem ser relacionadas às tarifas aplicadas do saneamento do Brasil não é rejeitada totalmente.

No que se refere às variáveis de controle, cinco das seis variáveis apresentaram significância estatística em todos os *quartis*, a saber: IER, IDF, *Log ISC*, *Log Investimentos* e *Log População*. A variável DEX mostrou-se significante nos maiores *quartis*. A relação é positiva com a estrutura tarifária. Esse resultado já era esperado visto que assim como a própria TMA, as variáveis IER, IDF, *Log ISC* e *Log Investimentos* estão inseridas no campo de desempenhos financeiros dos municípios estudados. *Log População* representa o tamanho, portanto municípios maiores tendem a requerem uma maior infraestrutura, e com isso os custos são inseridos na tarifa cobrada ao consumidor final.

Tabela 05: Resultado da Regressão Quantílica para estrutura tarifária e desempenho de qualidade (1999-2020)

Variáveis	Estrutura Tarifária		
	Quartil 25	Quartil 50	Quartil 75
<i>Log Cloro</i>	-0,0093 (-1,11)	-0,0183*** (-3,45)	-0,0452*** (-6,02)
<i>Log Turbidez</i>	0,0439*** (4,71)	0,0426*** (7,61)	0,0742*** (12,25)
<i>Log Paralizações</i>	0,0025 (0,88)	-0,0031 (-1,21)	-0,0069 (-1,53)
<i>Log Reclamações</i>	0,0395*** (8,19)	0,0297*** (-1,21)	0,0485*** (10,4)
DEX	0,7365*** (18,11)	0,9396*** (51,38)	1,0602*** (55,05)
IER	0,0014** (2,51)	0,0045*** (9,00)	0,0062*** (10,66)
IDF	0,0067*** (11,74)	0,0056*** (12,74)	0,0047*** (11,61)
<i>Log ISC</i>	0,0018*** (3,23)	0,0048*** (10,18)	0,0062*** (13,39)
<i>Log Investimentos</i>	0,0210*** (10,53)	0,0016*** (8,22)	0,0193*** (7,07)
<i>Log População</i>	0,0642*** (7,38)	0,0573*** (4,88)	0,0566*** (4,88)
Constante	-1,1553*** (-19,51)	-1,3037*** (-38,86)	-1,3539*** (-32,92)
<i>Pseudo R²:</i>	0,4113	0,5288	0,5788
<i>Observações</i>		12.716	

$$TMA_{it} = \alpha + \beta_1 LogCloro_{it-1} + \beta_2 logTurbidez_{it-1} + \beta_3 LogParalizações_{it-1} + \beta_4 LogReclamações_{it-1} + \beta_5 DEX_{it} + \beta_6 IER_{it} + \beta_7 IDF + \beta_8 LogISC + \beta_9 LogInvestimentos + \beta_{10} logPopulação + \varepsilon_{it}$$

Notas: (i) TMA: tarifa de abastecimento de água; *Log Cloro*: Quantidade de amostras de cloro (analisadas); *Log Turbidez*: Quantidade de amostras para turbidez (analisadas); *Log Paralizações*: Quantidade de economias ativas atingidas por paralisações; *Log Reclamações*: Quantidade de reclamações ou solicitações de serviços; DEX: Despesa de exploração por m³ faturado; IER: Índice de evasão de receita; IDF: Índice de Desempenho Financeiro; *Log ISC*: Índice de Suficiência de Caixa; *Log Investimentos*: Investimentos realizados em abastecimento de água; *Log População*: População total atendida com abastecimento de água. Notas: (ii) Estatística Z entre parênteses. iii) ** e *** significância estatística a 5% e 1%, respectivamente.

Fonte: SINS. Dados da pesquisa (2024).

A Tabela 06 aborda os resultados da análise inferencial da equação referente à estrutura tarifária, medida pela tarifa de abastecimento de água e desempenho operacional. Foi realizada a aplicação do Fator de Inflação da Variância (VIF) para identificação da multicolinearidade. Os valores do VIF apresentaram-se abaixo de 10. No presente estudo, o maior valor obtido foi de 2,64, confirmando a não existência de multicolinearidade. Já a testagem da autocorrelação em painel resultou em Prob>F = 0.0000, ou seja, rejeita-se a

hipótese nula de ausência de autocorrelação, pois o valor foi inferir a 5%. Com relação aos pseudos R^2 identificados na regressão quantílica, variam entre 0,4048 e 0,5754.

A variável ICEE não dispôs de valor preditivo para o resultado da variável dependente. Já a variável de interesse IAT apresentou significância estatística em todos os quartis. Nos *quantis* de TMA (*quantil 25°*, *quantil 50°* e *quantil 75°*) o índice de atendimento urbano de água tem coeficientes positivos (0,0859, 0,0511 e 0,0939, respectivamente). E ainda, o resultado indica que há relação positiva entre IAT, ao nível de 10% para o *quantil 25°*, e 5% para o *quantil 50°* e *quantil 75* de TMA.

O índice de atendimento urbano de água é um indicador que mensura o percentual do atendimento urbano de água fornecido nos municípios. Permitindo avaliar o atendimento à população e atuar para melhorá-lo, caso seja preciso, por isso refere-se a saúde pública. O consumo de água tratada reflete na qualidade de vida da população (SNIS, 2020). Mas isso gera custos, e estes acabam sendo refletidos nas tarifas cobradas ao consumidor final (MAZIOTIS; MOLINOS-SEANTE, SALA-GARRIDO, 2016; WEHN, MONTALVO, 2017; AL-SAIDI; DEHNAVI, 2019; MERCADIER; BRENNER, 2020).

Há um consenso de que as perdas de água são refletidas em impactos negativos, seja à população, à empresa distribuidora de água e até mesmo ao meio ambiente (LIBANIO, 2020; BARRAQUÉ, 2020; GHINIS; FOCHEZATTO, 2021). Dito isso, o índice de distribuição de perdas na distribuição apresentou significância estatística, no entanto para o menor *quartil* (*quantil 25°*), com coeficiente positivo (0,0986) e a um nível de significância de 1%. Esse é um dado interessante, pois mostra que as perdas de água no processo de abastecimento são refletidas na tarifa cobrada ao consumidor final, todavia apenas no menor nível de TMA. Pode-se dizer que a hipótese de que medidas de desempenho operacional podem ser relacionadas às tarifas aplicadas do saneamento do Brasil não é rejeitada totalmente.

De acordo com dados desta pesquisa, o valor médio do índice de distribuição de perdas de água dos prestadores de serviços participantes foi em torno de 26% em todo o período de análise. E devido aos problemas com a manutenção do sistema de abastecimento, por ser um sistema antigo, há exigência de altos investimentos para evitar perdas financeiras por vazamentos em tubulações, por exemplo (MOURA; PROCOPIUCK, 2020). Assim, a TMA deve cobrir o custo do serviço de fato para poder prestar um serviço de boa qualidade (ANANDA, 2019; GHINIS; FOCHEZATTO; KUHN, 2020; MERCADIER; BRENNER, 2020; REVOLLO-FERNANDEZ, ET AL., 2020; LEE; POMEROY; BURIAN, 2021).

Tabela 06: Resultado da Regressão Quantílica para estrutura tarifária e desempenho operacional (1999-2020)

Variáveis	Estrutura Tarifária		
	Quartil 25	Quartil 50	Quartil 75
IAT	0,0859* (1,86)	0,0511** (2,00)	0,0939** (2,86)
ICEE	0,01449 (1,60)	0,0021 (0,36)	-0,0055 (-0,77)
IPD	0,0986*** (3,28)	0,0144 (0,64)	-0,0396 (-1,19)
DEX	0,7476*** (18,40)	0,9545*** (52,74)	1,0807*** (53,08)
IER	0,0117** (2,07)	0,0453*** (9,99)	0,0650*** (11,29)
IDF	0,0668*** (12,09)	0,0556*** (14,49)	0,0448*** (9,29)
<i>Log ISC</i>	0,0196*** (3,46)	0,0502*** (12,82)	0,0674*** (12,82)
<i>Log Investimentos</i>	0,0197*** (10,92)	0,0140*** (7,45)	0,0234*** (6,95)
<i>Log População</i>	0,1113*** (13,97)	0,0923*** (11,99)	0,1183*** (11,72)
Constante	-1,2962*** (-15,88)	-1,4054*** (-30,97)	-1,5605*** (-29,56)
<i>Pseudo R²:</i>	0,4048	0,5250	0,5754
<i>Observações</i>		12.716	

$$TMA_{it} = \alpha + \beta_1 IAT_{it-1} + \beta_2 ICEE_{it-1} + \beta_3 IPD_{it-1} + \beta_4 DEX_{it} + \beta_5 IER_{it} + \beta_6 IDF + \beta_7 LogISC + \beta_8 LogInvestimentos + \beta_9 LogPopulação + \varepsilon_{it}$$

Notas: (i) TMA: tarifa de abastecimento de água; IAT: Índice de atendimento urbano de água; ICEE: Índice de consumo de energia elétrica; IPD: Índice de perdas na distribuição; DEX: Despesa de exploração por m³ faturado; IER: Índice de evasão de receita; IDF: Índice de Desempenho Financeiro; *Log ISC*: Índice de Suficiência de Caixa; *Log Investimentos*: Investimentos realizados em abastecimento de água; *Log População*: População total atendida com abastecimento de água. Notas: (ii) Estatística Z entre parênteses. iii) *, ** e *** significância estatística a 10%, 5% e 1%, respectivamente.

Fonte: SINS. Dados da pesquisa (2024).

Para as variáveis de controle é percebida significância estatística em todos os *quantis* (*quantil 25°*, *quantil 50°* e *quantil 75°*) e para todas as variáveis a saber: DEX, IER, IDF, *Log ISC*, *Log Investimentos* e *Log População*. Isso indica a relevância dessas variáveis ao determinar a tarifa de abastecimento de água (TMA) cobrada nos municípios analisados.

4.6 Conclusões do Estudo 02

O ESTUDO 02 teve como objetivo verificar a relação de custos e estrutura tarifária em medidas de desempenho no setor de saneamento a partir da perspectiva da regulação da água. Os objetivos específicos foram os seguintes: (i) identificar custos no setor de saneamento; e, (ii) verificar o desempenho de qualidade e operacional em municípios brasileiros. Os resultados empíricos, para uma amostra de 1.526 municípios no período 1999-2020, mostram como os desempenhos de qualidade e operacional podem ser relacionados aos custos com exploração dos serviços medidos pelos produtos químicos e tarifa de abastecimento de água. Em particular, as descobertas contribuem para o recente debate acadêmico sobre a relevância do setor de saneamento básico, que tem um papel imprescindível no bem-estar e na saúde humana, isso porque colabora na expectativa de vida da população. Além disso, pela abordagem de políticas tarifárias devido ao desafio de universalizar o serviço em um país com desigualdades econômicas e sociais.

Inicialmente foram feitas as análises descritivas, nas quais foram identificados custos, a tarifa de abastecimento de água e desempenhos de qualidade e operacional em municípios brasileiros. Em seguida, considerando os dados obtidos da regressão quantílica foi possível inferir que a hipótese de que medidas de desempenho de qualidade na prestação dos serviços podem ser relacionadas aos custos com serviços de exploração do saneamento do Brasil não foi rejeitada totalmente. Isso se deve ao fato de que há relação positiva entre entre o número de reclamações por parte dos clientes e custos com serviços de exploração, ao nível de 1%, em todos os *quartis* de análise (*quantil 25°*, *quantil 50°* e *quantil 75°*). Esse resultado pode ser justificado devido ao fato de que em parte as reclamações dos clientes podem ser relacionadas a qualidade da água. Diante disso, agências reguladoras tem um papel crucial, mudando comportamentos das concessionárias e monitorando tendências de desempenho.

A hipótese de que medidas de desempenho de qualidade e operacional podem ser relacionadas às tarifas aplicadas do saneamento do Brasil não foi rejeitada totalmente. Conforme os dados obtidos da regressão quantílica há relação positiva entre a quantidade de amostras de turbidez e a estrutura tarifária. Esse resultado pode ser explicado devido ao fato de que um aumento da amostragem do parâmetro de turbidez verificado em laboratórios, ocasiona em aumento de tarifa para o cliente. Já a relação positiva entre o número de reclamações por parte dos clientes e a estrutura tarifária, justifica-se devido as reclamações terem motivações que ocasionam a necessidade de melhorias, sendo os custos repassados ao

consumidor final. O nível de significância para essas análises foi de 1%, em todos os *quartis* de análise (*quantil 25°*, *quantil 50°* e *quantil 75°*).

A relação negativa entre quantidade de amostras para cloro residual e a estrutura tarifária pode ser justificada devido ao fato de que quanto maior a amostragem em laboratórios para análises, maior será a verificação de se a quantidade de cloro residual está chegando de maneira adequada em todos os pontos do sistema. Evitando excesso de custos e não repasse desse custo ao consumidor final. Ainda assim, a significância estatística é percebida nos maiores *quartis* de análise (*quantil 50°* e *quantil 75°*), ao nível de 5%.

O índice de atendimento urbano de água também está relacionado a estrutura tarifária. Ao nível de 10% para o *quantil 25°*, e 5% para o *quantil 50°* e *quantil 75* de TMA. Isso se remete ao fato de que o consumo de água tratada reflete na qualidade de vida da população, mas isso gera custos, e estes acabam sendo refletidos nas tarifas cobradas ao consumidor final. Diante do exposto, mesmo que o índice gire em torno de 94,82%, deve-se observar as tendências de crescimento populacional e concentração urbana. Visto que, há riscos na redução do índice com o tempo, devido os problemas com a manutenção do sistema de abastecimento (MAZIOTIS; MOLINOS-SEANTE, SALA-GARRIDO, 2016; WEHN, MONTALVO, 2017; AL-SAIDI; DEHNAVI, 2019; MERCADIER; BRENNER, 2020).

O índice de distribuição de perdas na distribuição apresentou significância estatística, no entanto apenas para o menor *quartil* da regressão (*quantil 25°*), ao nível de 1%. Vale salientar que as perdas de água são um problema global que aumenta os custos operacionais dos serviços públicos. A questão não tem apenas implicações financeiras, mas também sociais e ambientais (GHINIS; FOCHEZATTO; KUHN, 2020; MERCADIER; BRENNER, 2020; REVOLLO-FERNANDEZ, ET AL., 2020; LEE; POMEROY; BURIAN, 2021). O ODS n.6 identifica especificamente a necessidade de garantir a gestão sustentável da água e do saneamento para todos até 2030, juntamente com outras melhorias no que diz respeito à forma como a água é gerida e utilizada. A redução das perdas de água não só pode contribuir para alcançar os ODS, mas também garantir a segurança e a sustentabilidade da água (UNWATER, 2018; ANANDA, 2019; NETO; CAMKIN, 2020).

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A respeito das principais conclusões e recomendações sobre os estudos empíricos realizados (ESTUDO 01 e ESTUDO 02), destaca-se que há implicações para a literatura e implicações práticas. Na literatura da estrutura tarifária e gestão da água, o ESTUDO 01 pode contribuir com a discussão em torno do fato de que prestações dos serviços devem consideradas por uma perspectiva holística e de longo prazo em relação à recuperação de custos (REHAN, ET AL., 2013). Tendo em vista que, pelo desafio gerencial de uma sustentabilidade econômica e financeira na gestão de ativos de infraestrutura hídrica as concessionárias precisam diversificar investimentos no abastecimento enquanto melhoram a conservação da água. Para tanto, com base no Pensamento Sistêmico foi possível compreender o sistema considerando o contexto e as relações estabelecidas.

Outra contribuição é fornecer aos decisores de políticas públicas informações sobre tarifa, custos, gestão da água e desempenho. Isto é essencial considerando a Lei recentemente aprovada no Brasil (Lei n.º 14.026, de 15 de julho de 2020) que reforça a necessidade de expansão do saneamento, aumento da eficiência operacional, ampliação da participação privada e descentralização dos serviços, o que aumentará a demanda por atenção regulatória para práticas eficazes. Dito isso, os dois estudos empíricos utilizaram da discussão em torno da regulação da água, em particular no tocante a universalização da prestação de serviços, investigando a estrutura tarifária e custos, como também debatendo o papel da regulação.

Após a promulgação da lei n. 14.026, a ANA passou a ter função essencial na regulação de serviço de água e saneamento ao passar a coordenar e implementar padrões de referência para outros órgãos subnacionais. Assim, o regulador federal, por exemplo, abordou uma agenda regulatória para o biênio 2021/2022 disponível para consulta pública com 22 padrões de referência, que englobaram padrões de provisão e supervisão, conteúdo mínimo dos contratos, capacidades econômicas e financeiras, indicadores e metas de desempenho, entre outros assuntos (NARZETTI; MARQUES, 2021). Com isso, os resultados das investigações do ESTUDO 01 e ESTUDO 02 podem contribuir com a discussão em torno da estrutura tarifária, custos, gestão da água e medidas de desempenho adotadas, de modo a enriquecer o âmbito teórico e prático, já que setor tem um papel imprescindível no bem-estar e na saúde humana, isso devido ao fato de que colabora na expectativa de vida da população.

Uma tarifa proporciona uma potencial solução de gestão para lidar com o delicado desafio de fornecer água a preços acessíveis a todos os consumidores e, ao mesmo tempo, conservar os recursos hídricos. Nesse contexto, os resultados têm algumas implicações

práticas para a Empresa Parceira e também para o setor como um todo. Em primeiro lugar, para o ESTUDO 01, considerando o cenário complexo e hostil de um país emergente, outras empresas podem compreender a importância de equilibrar objetivos de conservação da água, controle de perdas, recuperação de custos e estrutura tarifária, de forma a adotar estratégias eficientes. Tendo em vista que fatores como eficiência, equidade social, conservação, acessibilidade, estabilidade de receita e recuperação dos custos devem ser considerados.

Em segundo lugar, para o ESTUDO 02, a análise ilustra uma combinação de medidas de desempenho de qualidade e operacional que podem levar à determinação de custos com exploração de serviços e estrutura tarifária e, simultaneamente, às melhores estratégias na gestão, de modo a evitar excesso de custos, e consequentemente ocasionando o não repasse desses custos ao consumidor final. Finalmente, as descobertas podem fortalecer a iniciativa de abordar tarifas, custos e medidas de desempenho como componentes críticos das políticas públicas e com o Novo Marco Legal, espera-se que com as parcerias firmadas se estabeleça tarifa máxima calculando quanto custa prestar o serviço de fato.

Embora tenham sido enfatizadas as contribuições da pesquisa, destaca-se que os resultados não devem ser generalizados, pois o ESTUDO 01 e ESTUDO 02 apresentaram limitações, a saber: no ESTUDO 01 foi trabalhado apenas uma bacia hidrográfica e não levado em consideração Esperas (ou *delays*); para o ESTUDO 02 é possível que detalhes mais refinados possam permitir uma compreensão mais profunda de como medidas de desempenho tem impactado na estrutura tarifária e custos com serviços de exploração; ao defasarmos variáveis, municípios apresentaram dados “*missings*”, visto que alguns dados não foram disponibilizados em todos anos; e o fato de usar apenas custos com produtos químicos como critério para definir custos com serviços de exploração. Assim, como sugestão para futuras pesquisas, sugere-se observar e tentar mitigar tais limitações, optando, se for o caso, a exploração com maior profundidade no ESTUDO 01, ou seja, incluir no modelo proposto outras bacias hidrográficas e *delays* ao modelo para o ESTUDO 02 comparar empresas públicas e privadas e analisar por região e natureza jurídica no tocante ao tema proposto.

REFERÊNCIAS

ACKERMANN, F.; EDEN, C. Strategic Options Development and Analysis. **Systems Approaches to Managing Change: A Practical Guide**, 135–190, 2010. doi: 10.1007/978-1-84882-809-4_4

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, **Bacias Hidrográficas do Estado da Paraíba**, 2023. Disponível em: <http://www.paraiba.pb.gov.br>. Data de acesso: 08 de fevereiro de 2023.

ALSOS, G. A.; LJUNGGREN, E. The Role of Gender in Entrepreneur–Investor Relationships: A Signaling Theory Approach. **Entrepreneurship Theory And Practice**, v. 40, 2016. doi:10.1111/etap.12226

ALAMANOS, A.; LATINOPoulos, D.; PAPAIOANNOU, G.; MYLOPOULOS, N. Integrated Hydro-Economic Modeling for Sustainable Water Resources Management in Data-Scarce Areas: The Case of Lake Karla Watershed in Greece. **Water Resources Management**, v. 33, n. 8, 2775–2790, 2020. doi:10.1007/s11269-019-02241-8

ALAMANOS, A.; SFYRIS, S.; FAFOUTIS, C.; MYLOPOULOS, N. Urban water demand assessment for sustainable water resources management, under climate change and socioeconomic changes. **Water Supply**, 2019. doi:10.2166/ws.2019.199

ALMANSA, C.; MARTÍNEZ-PAZ, J. M. What weight should be assigned to future environmental impacts? A probabilistic cost benefit analysis using recent advances on discounting. **Science of The Total Environment**, v. 409, n. 7, 1305–1314, 2011. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.12.004

ALMENDAREZ-HERNÁNDEZ, M.; AVILÉS POLANCO, G.; HERNÁNDEZ TREJO, V.; ORTEGA-RUBIO, A.; BELTRÁN MORALES, L. Residential Water Demand in a Mexican Biosphere Reserve: Evidence of the Effects of Perceived Price. **Water**, v. 8, n. 10, 428, 2016. doi:10.3390/w8100428

ALMUTAZ, I.; ALI, E.; KHALID, Y.; AJBAR, A. H. A long-term forecast of water demand for a desalinated dependent city: case of Riyadh City in Saudi Arabia. **Desalination and Water Treatment**, v. 51, 5934–5941, 2013. doi:10.1080/19443994.2013.769727

AL-SAIDI, M.; DEHNAVI, S. Comparative Scorecard Assessment of Urban Water Pricing Policies—The Case of Jordan and Iran. **Water**, v. 11, n. 4, 2019. doi:10.3390/w11040704

ANA. **Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano**, Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br>> Acesso em: 29/11/2021.

ANANDA, J. Determinants of real water losses in the Australian drinking water sector. **Urban Water Journal**, 1-9, 2019. doi:10.1080/1573062x.2019.170028

ANDRADE, I.; CRUZ, C. O.; SARMENTO, J. M. Renegotiations of Water Concessions: Empirical Analysis of Main Determinants. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 144, n. 11, 2018. doi:10.1061/(asce)wr.1943-5452.

ANDERSON, V.; JOHNSON, L. **Systems Thinking Basics: From Concepts to Causal Loops**. Waltham: Pegasus Communications, 1997.

ANGERHOFER, B.J.; ANGELIDES, M.C. A model and a performance measurement system for collaborative supply chains. **Decision Support Systems**, v. 42, n. 1, 283-301, 2006. doi:10.1016/j.dss.2004.12.005

ARAÚJO, W. C.; ESQUERRE, K. P. O.; SAHIN, O. Building a System Dynamics Model to Support Water Management: A Case Study of the Semi Arid Region in the Brazilian Northeast. **Water**, v. 11, n. 2513, 2019. doi: <https://doi.org/10.3390/w11122513>

ARAÚJO, W.C. **Desenvolvimento de uma abordagem multimetodológica para apoiar na gestão de sistemas de abastecimento de água**, 2021, 119 f. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial). Universidade Federal da Bahia, 2021.

ARNOLD, R. D.; WADE, J. P. A Definition of Systems Thinking: A Systems Approach. **Procedia Computer Science**, 44, 669 – 678, 2015. doi:10.1016/j.procs.2015.03.050

ARPAD-ZOLTAN, F.; KINGA-ERZSEBET, B.; CAMELIA, A. B. **The Analysis Of The Costs And The Correlation Between Tariff And Cost In The Sector Of Clean Water And Sewerage In Romania**, Annals - Economy Series, Constantin Brancusi University, Faculty of Economics, v. 4, 179-185, 2017.

ASCI, S.; BORISOVA, T.; DUKES, M. Are price strategies effective in managing demand of high residential water users? **Applied Economics**, v. 49, n. 1, 66–77, 2017. doi:10.1080/00036846.2016.1192272

ASHOORI, N.; DZOMBAK, D. A.; SMALL, M. J. Identifying water price and population criteria for meeting future urban water demand targets. **Journal of Hydrology**, 555, 547–556, 2017. doi:10.1016/j.jhydrol.2017.10.047

BABAMIRI, A. S.; PISHVAEE, M. S.; MIRZAMOHAMMADI, S. The analysis of financially sustainable management strategies of urban water distribution network under increasing block tariff structure: A system dynamics approach. **Sustainable Cities and Society**, 60 (102193), 2020. doi:10.1016/j.scs.2020.102193

BAINES T. S.; HARRISON D. K. An opportunity for system dynamics in manufacturing system modelling. **Production Planning & Control: The Management of Operations**, v. 10, n. 6, 542-552, 1999. doi:10.1080/095372899232830

BARATI, A. A.; AZADI, H.; SCHEFFRAN, J. A system dynamics model of smart groundwater governance. **Agricultural Water Management**, 221, 502–518, 2019. doi:10.1016/j.agwat.2019.03.047.

BAGHERI, A.; HJORTH, P. Planning for Sustainable Development: a Paradigm Shift Towards a Process-Based Approach. **Sustainable Development**, 15, 83–96, 2007. doi:10.1002/sd.310

BANDARI, A.; SHUBHAJIT, S. A Review of Performance Indicators of Urban Water Supply: Global and Indian Scenario. **SSRN Electronic Journal**. doi: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4009763>

BARRAQUÉ, B. Full cost recovery of water services and the 3 T's of OECD. **Utilities Policy**, 62 (100981), 2020. doi:10.1016/j.jup.2019.100981.

BEN ZAIED, Y.; BEN CHEIKH, N.; NGUYEN, P. Threshold Effect in Residential Water Demand: Evidence from Smooth Transition Models. **Environmental Modeling & Assessment**, 2019. doi:10.1007/s10666-019-9655-5

BEECHER, J. A. Policy Note: A Universal Equity–Efficiency Model for Pricing Water. **Water Economics and Policy**, v. 06, n. 03 2071001, 2020. doi:10.1142/s2382624x20710010

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento**. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snus>> Acesso em 31/12/2023.

BRASIL. Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>> Acesso em 29/11/2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Portaria MS nº 518 de 2004**. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/portaria_518_2004.pdf> Acesso em 16/10/2023.

BRASIL. Anexo XX da Portaria do Ministério da Saúde nº 05/2017. **Do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Disponível em: <<https://www.brkambiental.com.br/uploads/4/14-png-sumare/portaria-consolidacao-5-anexo-xx.pdf>> Acesso em 31/12/2023.

BRASIL. Portaria GM/MS nº 888, de 04/05/2021. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html> Acesso em 31/12/2023.

BRATTEBØ, H.; ALEGRE, H.; CABRERA, E.; MARQUES, R., HEIN, A.; CRUZ, C. **A master framework for UWCS sustainability**, 2013. TRUST. URL: <http://www.trust-i.net/downloads/?iddesc=40> (Acesso em 24 de abril de 2021).

BRISEÑO, H. Modelos tarifarios de agua en México según criterios sociales. **Tecnología y ciencias del agua**, v. 9, n. 5, 173-192, 2018. doi:10.24850/j-tyca-2018-06-08

BROCHET, A.; BENECH, C. **The rescaling and sustainability of water utilities The results of a intervention-research undertaken in the area of Grenoble**, 2014.

BROWN, R.R.; KEATH, N.; WONG, T.H.F. Urban water management in cities: historical, current and future regimes. **Water Sci. Technol.** v. 59, n. 5, 847–855, 2009. doi:10.2166/wst.2009.029

BURGESS, R. A.; HORBATUCK, K.; BERUVIDES. M. G. From Mosaic to Systematic: Applying Systems Thinking to Water Resource Management. **Proceedings of the 62nd Annual Meeting**, 2019.

CABRERA, D.; COLOSI, L.; LOBDELL, C. Systems Thinking. **Eval. Programm. Plan.**, v. 31, n. 3, 299–310, 2008.

CAGEPA, **Estrutura Tarifária**. Disponível em: <<https://www.cagepa.pb.gov.br/>> Acesso em 16/10/2023.

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Microeconometrics using stata**. College Station, TX: Stata press, 2009.

CAPRA, F. **The web of life: a new synthesis of mind and matter**. Flamingo, London, 1997.

CARVALHO, A. E. C.; SAMPAIO, L. M. B. Paths to universalize water and sewage services in Brazil: The role of regulatory authorities in promoting efficient service. **Utilities Policy**, 34, 1–10, 2015. doi:10.1016/j.jup.2015.03.001

CHELLATTAN VEETTIL, P.; SPEELMAN, S.; FRIJA, A.; BUYSSE, J., MONDELAERS, K.; VAN HUYLENBROECK, G. Price Sensitivity of Farmer Preferences for Irrigation Water–Pricing Method: Evidence from a Choice Model Analysis in Krishna River Basin, India. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 137, n. 2, 205–214, 2011. doi:10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000103

CHEN, Z.; WEI, S. Application of System Dynamics to Water Security Research. **Water Resour Manage**, 28, 287–300, 2014. doi:10.1007/s11269-013-0496-8

COLBY, B.; ISAAKS, R. Water Trading: Innovations, Modeling Prices, Data Concerns. **Journal of Contemporary Water Research & Education**, v. 165, n. 1, 76–88, 2018. doi:10.1111/j.1936-704x.2018.03295.x

COSGROVE, W. J.; LOUCKS, D. P. Water management: Current and future challenges and research directions. **Water Resources Research**, 51, 4823–4839. 2015. doi:<https://doi.org/10.1002/2014WR016869>

COUGHLAN, P.; COUGHLAN, D. Action research for operations management. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, p. 220-240, 2002. doi:10.1108/01443570210417515

DAGDEVIREN, H. Waiting for Miracles: The Commercialization of Urban Water Services in Zambia. **Development and Change**, v., 39, n. 1, 101–121, 2008. doi: 10.1111/j.1467-7660.2008.00470.x

DANELON, A. F.; AUGUSTO, F. G.; SPOLADOR, H. F. S. Water resource quality effects on water treatment costs: An analysis for the Brazilian case. **Ecological Economics**, 188, 107134, 2021. doi:10.1016/j.ecolecon.2021.107134

DE MOUCHE, L.; LANDFAIR, S.; WARD, F. A. (2011). Water Right Prices in the Rio Grande: Analysis and Policy Implications. **International Journal of Water Resources Development**, v. 27, n. 2, 291–314, 2011. doi:10.1080/07900627.2011.571041

DEL VILLAR, A.; MELGAREJO, J. Prospective Models for Water Service Demand and Price Analyses. **Water**, v. 12, n. 6, 1613, 2020. doi:10.3390/w12061613

DEMING, W. **The Economics for Industry, Government, Education 2nd ed.** Cambridge: MIT Press, 1994.

DI, D.; WU, Z.; WANG, H.; HUANG, S. Optimal water distribution system based on water rights transaction with administrative management, marketization, and quantification of sediment transport value: A case study of the Yellow River Basin, China. **Science of The Total Environment**, 137801, 2020. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.137

DÍAZ, P.; STANEK, P.; FRANTZESKAKI, N.; YEH, D. H. Shifting paradigms, changing waters: Transitioning to integrated urban water management in the coastal city of Dunedin, USA. **Sustainable Cities and Society**, 26, 555–567, 2016. doi:10.1016/j.scs.2016.03.016

D'INVERNO, G., CAROSI, L., & ROMANO, G. Environmental sustainability and service quality beyond economic and financial indicators: A performance evaluation of Italian water utilities. **Socio-Economic Planning Sciences**, 100852, 2020. doi:10.1016/j.seps.2020.100852

DONG, C.; SCHOUPS, G.; VAN DE GIESEN, N. Scenario development for water resource planning and management: A review. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 80, n. 4, 749–761, 2013. doi:10.1016/j.techfore.2012.09.015.

DONG, Q.; ZHANG, X.; CHEN, Y.; FANG, D. Dynamic Management of a Water Resources-Socioeconomic-Environmental System Based on Feedbacks Using System Dynamics. **Water Resources Management**, 33, 2093–2108, 2019. doi:10.1007/s11269-019-02233-8

FAKOYA, M. B.; IMUEZERUA, E. O. Improving water pricing decisions through material flow cost accounting model: a case study of the Politsi Water Treatment Scheme in South Africa. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 2, 2243–2260, 2020. doi:10.1007/s10668-020-00672-7

FONTDECABA, S.; GRIMA, P.; MARCO, L.; RODERO, L.; & SÁNCHEZ-ESPIGARES, J.; SOLÉ, I.; TORT-MARTORELL, X.; DEMESSENCE, D.; DE PABLO, V. M.; & JORDI ZUBELZU, J. A Methodology to Model Water Demand based on the Identification of Homogenous Client Segments. **Application to the City of Barcelona. Water Resource Manage**, v. 26, 499–516, 2012. doi. 10.1007/s11269-011-9928-5

FORRESTER, J.W. **Industrial Dynamics**. MIT Press, Cambridge, Mass, 1961.

FORRESTER, J.W. **Urban Dynamics**. MIT Press, Cambridge, Mass, 1969.

FORRESTER, J.W. **Collected Papers of Jay W. Forrester**, Productivity Press, Norwalk, CT, 1975.

FUENTE, D. The design and evaluation of water tariffs: A systematic review. **Utilities Policy**, 61, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2019.100975>

FUENTE, D.; KABUBO-MARIARA, J.; PETER KIMUYU, P.; MWAURA, M.; WHITTINGTON, D. Assessing the performance of water and sanitation tariffs: The case of Nairobi, Kenya. **Water Resources Research**, 57, 2021. doi: 10.1029/2019WR025791

GARRICK, D. E.; HALL, J. W.; DOBSON, A.; DAMANIA, R.; GRAFTON, Q. HOPE, R.; HEPBURN, C.; BARK, R. BOLTZ, F.; STEFANO, L.; O'DONNELL, E.; MATTHEWS N.; MONEY, A. Valuing water for sustainable development: Measurement and governance must advance together. **Science**, v. 358, n. 6366, 1003-1005, 2017.

GEZAHEGN, T. W.; ZHU, X. How should urban water be priced? – An empirical analysis for the city of Mekelle, Ethiopia. **Urban Water Journal**, v. 14, n. 4, 409–415, 2016. doi:10.1080/1573062x.2016.1175484

GEORGIOU, I. **Cognitive Mapping and Strategic Options Development and Analysis (SODA)**. Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science, 2011. doi: 10.1002/9780470400531.eorms0974

GHIMIRE, M.; BOYER, T. A.; CHUNG, C.; MOSS, J. Q. Estimation of Residential Water Demand under Uniform Volumetric Water Pricing. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 142, n.2, 2016. doi:10.1061/(asce)wr.1943-5452. 0000580

GHINIS, C. P.; FOCHEZATTO, A.; KUHN, C. V. Price elasticity of the demand for water in the Brazilian states: a panel data analysis, 2011–2017. **Sustainable Water Resources Management**, v. 6, n. 4, 2020. doi:10.1007/s40899-020-00429-0

GHINIS, C. P.; FOCHEZATTO, A. Impactos regulatórios no desempenho econômico das empresas de saneamento básico no Brasil: estimativas com o uso de dados em painel, 1995–2017. **Revista Brasileira e de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 10, n. 01, 79-98, 2021. doi: 10.3895/rbpd.v10n1.10440

GRAFTON, R.Q.; CHU, L.; KOMPAS, T. Optimal water tari_s and supply augmentation for cost-of-service regulated water utilities. **Utilities Policy**, 34, 54–62, 2015. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2015.02.003>

GURUNG, A.; MARTÍNEZ-ESPIÑEIRA, R. Determinants of the water rate structure choice by Canadian municipalities. **Utilities Policy**, 58, 89–101, 2019. doi:10.1016/j.jup.2019.04.003

HAIDER, H.; SADIQ, R.; TESFAMARIAM, S. Intra-utility performance management model (In-UPM) for the sustainability of small to medium sized water utilities: Conceptualization to

development. **Journal of Cleaner Production**, 133, 777-794, 2016. doi:10.1016/j.jclepro.2016.06.003

HASSANEIN, A.A.G.; KHALIFA, R.A. Financial and operational performance indicators applied to public and private water and wastewater utilities. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 14, n. 5, 479–492, 2007. doi:10.1108/09699980710780773

HILBIG, J.; RUDOLPH, K.U. Sustainable water financing and lean cost approaches as essentials for integrated water resources management and water governance: lessons learnt from the Southern African contexto. **Water Science & Technology: Water Supp**, 2018.

HOEKSTRA, A.Y.; BUURMAN, J.; GINKEL, K. C.H. Urban water security: A review. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 5, 053002, 2018. doi:10.1088/1748-9326/aaba52.

HORBATUCK, K.; BURGESS, R.; BERUVIDES, M. Water Infrastructure Sustainment Via Optimization: A Systems Approach. **ASEM Annual Conference Proceedings (forthcoming). American Society of Engineering Management**, 2018.

HØJBERG, A. L.; TROLDBORG, L.; STISEN, S.; BRITT, B.S. Christensen; Hans Jørgen Henriksen. Stakeholder driven update and improvement of a national water resources model, **Environmental Modelling & Software**, 40, 202-213, 2013. doi:10.1016/j.envsoft.2012.09.010.

HOFFMAN, J.; DU PLESSIS, J. A model to assess water tariffs as part of water demand management. **Water SA**, v. 39, 3, 2013. doi:10.4314/wsa.v39i3.12

HOYOS, D.; ARTABE, A. Regional Differences in the Price Elasticity of Residential Water Demand in Spain. **Water Resources Management**, v. 31, n. 3, 847–865, 2017. doi:10.1007/s11269-016-1542-0

HUTTON, G.; CHASE, C. The Knowledge Base for Achieving the Sustainable Development Goal Targets on Water Supply, Sanitation and Hygiene. **International Journal Environmental. Research Public Health**, 13, 536, 2016. doi:10.3390/ijerph13060536

IPEA. **Regulação e investimento no setor de saneamento no brasil: trajetórias, desafios e incertezas**. Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - Brasília: Rio de Janeiro: Ipea, 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.38116/td2587>.

KARIMLOU, K.; HASSANI, N.; RASHIDI MEHRABADI, A.; NAZARI, M. R. Developing a Model for Decision-Makers in Dynamic Modeling of Urban Water System Management. **Water Resources Management**, 2020. doi:10.1007/s11269-019-02428-z

KAYAGA, S.; SMOUT, I. Tariff structures and incentives for water demand management. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management**, v. 167, n. 8, 448–456, 2014. doi:10.1680/wama.12.00120

KRINNER, W. Financial Analysis of the Spanish Water Sector. **Water Resources Management**, v. 28, n. 9, 2471–2490, 2014. doi:10.1007/s11269-014-0615-1

KAHIL, M. T.; ALBIAC, J.; DINAR, A.; CALVO, E.; ESTEBAN, E.; AVELLA, L.; GARCIA-MOLLA, M. Improving the Performance of Water Policies: Evidence from Drought in Spain, **Water**, 34, 2016. doi:10.3390/w8020034

KHAN, S. T.; MALIK, A. Engineered nanomaterials for water decontamination and purification: from lab to products. **Journal of Hazardous Materials**, 2018. doi:10.1016/j.jhazmat.2018.09.091

KLINE, S.; ROSENBERG, N. “An Overview of innovation”, in Landau R, Rosenberg N, editors. The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth. **National Academy of Sciences**, Washington, DC. 275-306. 1986.

KOENKER, R.; BASSETT, G. Regression quantiles. **Econometrica**, Chicago, Ill., v. 6, n. 1, p. 33-50, 1978.

KOUNDOURI, P.; ROSETA-PALMA, C.; ENGLEZOS, N. Out of Sight, Not Out of Mind: Developments in Economic Models of Groundwater Management. **International Review of Environmental and Resource Economics**, v. 11, n. 1, 55–96, 2017. doi:10.1561/101.00000091

JEULAND, M. A.; FUENTE, D. E.; OZDEMIR, S.; ALLAIRE, M. C.; WHITTINGTON, D. The Long-Term Dynamics of Mortality Benefits from Improved Water and Sanitation in Less Developed Countries. **PLoS ONE**, v. 8, n. 10, 2013. doi:10.1371/journal.pone.0074804.

JOSÉ ANTONIO, P.G.; VICENT, A.L.; RAMÓN F.P. A composite indicator index as a proxy for measuring the quality of water supply as perceived by users for urban water services. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 174, 2022. doi: 10.1016/j.techfore.2021.121300

LEE, S.; POMEROY, C.; BURIAN, S. Setting Future Water Rates for Sustainability of a Water Distribution System. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 147, n. 2, 2021. doi:10.1061/(asce)wr.1943-5452.0001313

LIBANIO, P. A. C. Water reforms in Brazil: Challenges and opportunities for promoting water security in a continental-sized country, **World Water Policy**, v. 6, n.2, 2023-245, 2020. doi:10.1002/wwp2.12042

LOPEZ-NICOLAS, A.; PULIDO-VELAZQUEZ, M.; ROUGÉ, C.; HAROU, J. J.; ESCRIVA-BOU, A. Design and assessment of an efficient and equitable dynamic urban water tariff. Application to the city of Valencia, Spain. **Environmental Modelling & Software**, 101, 137-145, 2018.

MARIA, M.B.M.; EXPOSITO, A.; BERBEL, J. A Simplified Hydro-Economic Model of Guadalquivir River Basin for Analysis of Water-Pricing Scenarios. **Water**, v. 12, n. 7, 1879, 2020. doi:10.3390/w12071879

MATURANA, H. R.; VARELA, F.J. **Autopoiesis and cognition: the realization of the living**. Reidel, Dordrecht, 1980.

MAZIOTIS, A.; MOLINOS-SEANTE, M.; SALA-GARRIDO, R. Assessing the Impact of Quality of Service on the Productivity of Water Industry: a Malmquist-Luenberger Approach for England and Wales. **Water Resources Management**, v. 31, n. 8, 2407–2427, 2016. doi:10.1007/s11269-016-1395-6

MCDONALD, D. A. Innovation and new public water, **Journal of Economic Policy Reform**, 2018. doi: 10.1080/17487870.2018.1541411.

MEIRA, Y. C L.; BARROS, R. C. S. Impacto das mudanças climáticas na demanda de água para irrigação da cana-de-açúcar na bacia hidrográfica do rio gramame. **Irriga**, Botucatu, v. 27, n. 4, 667-684, 2022. doi: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2022v27n4p667-684>

MERCADIER, A. C.; BRENNER, F. S. Tariff (un)sustainability in contexts of price (in)stability: The case of the Buenos Aires water and sanitation concession. **Utilities Policy**, 63, 101005, 2020. doi:10.1016/j.jup.2019.101005

MIENO, T.; BRADEN, J. B. Residential Demand for Water in the Chicago Metropolitan Area1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 47, n.4, 713–723, 2011. doi:10.1111/j.1752-1688.2011.00536.x

MOLINOS-SEANTE, M.; MAZIOTIS, A.; SALA-GARRIDO, R. Estimating the cost of improving service quality in water supply: A shadow price approach for England and wales. **Science of The Total Environment**, 539, 470–477, 2016. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.08.155

MOLINOS-SEANTE, M.; GÓMEZ, T.; CABALLERO, R.; SALA-GARRIDO, R. (2017). Assessing the quality of service to customers provided by water utilities: A synthetic index approach. **Ecological Indicators**, 78, 214–220, 2017. doi:10.1016/j.ecolind.2017.03.016

MOURA, E. N.; PROCOPIUCK, M. GIS-based spatial analysis: basic sanitation services in Parana State, Southern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 2, 2020. doi:10.1007/s10661-020-8063-2

MYLOPOULOS, N.; FAFOUTIS, C. Full cost recovery in the urban residential sector according to the Water Framework Directive. **Urban Water Journal**, v. 9, n. 3, 161–176, 2012. doi:10.1080/1573062x.2011.652131

NARZETTI, D. A.; MARQUES, R. C. Access to Water and Sanitation Services in Brazilian Vulnerable Areas: The Role of Regulation and Recent Institutional Reform. **Water**, v. 13, n. 6, 787, 2021. doi:10.3390/w13060787

NASSERY, H. R.; ADINEHVAND, R.; SALAVITABAR, A.; BARATI, R. Water Management Using System Dynamics Modeling in Semi-arid Regions. **Civil Engineering Journal**, v. 3, n. 9, 2017.

NAUGES, C.; WHITTINGTON, D. Evaluating the Performance of Alternative Municipal Water Tariff Designs: Quantifying the Tradeoffs between Equity, Economic Efficiency, and Cost Recovery. **World Development**, 91, 125–143, 2017. doi: 10.1016/j.worlddev.2016.10.014

NETO, S.; CAMKIN, J. What rights and whose responsibilities in water? Revisiting the purpose and reassessing the value of water services tariffs. **Utilities Policy**, 63, 101016, 2020. doi:10.1016/j.jup.2020.101016

NUNES, C. M.; ANDERAOS, A.; ARAUJO, C. L. M. The 2020 reform of the water and sanitation services sector In Brazil. **Brics Law Journal**, v. 8, n. 2, 67-88, 2021. doi: <https://doi.org/10.21684/2412-2343-2021-8-2-66-88>

ORTEGA, A. N.; NEVES, R. B. Legal Aspects of Urban Water and Sanitation Regulatory Services: An Analysis of How the Spanish Experience Positively Would Contribute to the Brazilian New Regulation. **Water**, 13, 2021. doi: <https://doi.org/10.3390/w13081023>

NGUYEN, T. T.; NGO, H. H.; GUO, W; WANG, W. C.; REN, N.; LI, G.; DING, J.; LIANG, H. Implementation of a specific urban water management - Sponge City. **Science of the Total Environment**. 652, 147–162, 2019. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.10.168

NYATHIKALA, S. A.; KULSHRESTHA, M. Performance Measurement of Water Supply Services: A Cross-Country Comparison between India and the UK. **Environmental Management**, 2020. doi:10.1007/s00267-020-01333-1

PARK, H.; LEE, D. K. Is Water Pricing Policy Adequate to Reduce Water Demand for Drought Mitigation in Korea? **Water**, v. 11, n. 6, 1256, 2019. doi:10.3390/w11061256

PIDD, M. **Computer Simulation in Management Science**, 3rd edn. (Chichester: Wiley), 1992.

PINSENT MASONS, 2011. **PinSENT Masons Water Yearbook 2011-2012**, thirteenth ed. PinSENT Masons LLP, London, 2011.

PINTO, F.S.; MARQUES, R.C. Tariff Suitability Framework for Water Supply Services. **Water Resources Management**, v. 30, 6, 2037-2053, 2016. doi:10.1007/s11269-016-1268-z

PLUCHINOTTA, I.; PAGANOB, A.; GIORDANOB, R. F. G.; TSOUKIÀS, A. A system dynamics model for supporting decision-makers in irrigation water management. **Journal of Environmental Management**, 223, 815–824, 2018. doi:10.1016/j.jenvman.2018.06.083

PRIGOGINE, I. Dissipative structures in chemical systems. **Fast reactions and primary processes in chemical kinetics**, 371-382, 1967.

PULIDO-VELAZQUEZ, M.; ALVAREZ-MENDIOLA, E.; ANDREU, J. Design of Efficient Water Pricing Policies Integrating Basinwide Resource Opportunity Costs. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 139, n. 5, 583-592, 2013. doi:10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000262

QIN, H.; ZHENG, C.; HE, X.; REFSGAARD, J. C. Analysis of Water Management Scenarios Using Coupled Hydrological and System Dynamics Modeling. **Water Resources Management**, 33, 4849–4863, 2019.

REHAN, R.; KNIGHT, M. A.; HAAS, C. T.; UNGER, A. J. A. Application of system dynamics for developing financially self-sustaining management policies for water and wastewater systems. **Water Research**, v. 45, n. 16, 4737-4750, 2011. doi:10.1016/j.watres.2011.06.001

REHAN, R.; KNIGHT, M.A.; UNGER, A.J.A.; HAAS, C.T. Development of a system dynamics model for financially sustainable management of municipal watermain networks. **Water Research**, 2013. doi: 10.1016/j.watres.2013.09.061.

REVOLLO-FERNÁNDEZ, D. A.; RODRÍGUEZ-TAPIA, L.; MORALES-NOVELO, J. A. Economic value of water in the manufacturing industry located in the Valley of Mexico Basin, Mexico. **Water Resources and Economics**, 2020. doi:10.1016/j.wre.2019.01.004 RICHARDSON, G. P. Reflections on the foundations of system dynamics. **System Dynamics Review**, v. 27, n. 3, 219–243, 2011. doi:10.1002/sdr.462

RICHMOND, B. Systems Dynamics/Systems Thinking: Let's Just Get On With It. In **Systems Dynamics Review**. Sterling, Scotland, v. 10, n. 2-3, 1994. doi:<https://doi.org/10.1002/sdr.4260100204>

RICHMOND, B. An introduction to systems Thinking. **The Systems Thinker**, v. 8, n. 2, 2001.

RIEGELS, N.; PULIDO-VELAZQUEZ, M.; DOULGERIS, C.; STURM, V.; JENSEN, R.; MØLLER, F.; BAUER-GOTTWEIN, P. Systems Analysis Approach to the Design of Efficient Water Pricing Policies under the EU Water Framework Directive. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 139, n. 5, 574–582, 2013. doi:10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000284

ROMANO, G.; MASSERINI, L.; GUERRINI, A. Does water utilities' ownership matter in water pricing policy? An analysis of endogenous and environmental determinants of water tariffs in Italy. **Water Policy**, v. 17, 5, 918–931, 2015. doi:10.2166/wp.2015.016

ROMANO, G.; SALVATI, N.; GUERRINI, A. An Empirical Analysis of the Determinants of Water Demand in Italy. **J. Clean. Prod.** 130, 74–81, 2017. doi:10.1016/j.jclepro.2015.09.141

ROGERS, P.; BHATIA, R.; HUBER, A. Water as a Social and Economic Good: How to Put the Principle into Practice. **Global Water Partnership**, TAC Background Paper N. 2, p. 40, 1998.

ROTTERS, B.; OELMANN, M. Designing two-part greywater fees: Conceptual framework and empirical evidence from Germany. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, v. 13, n. 3, 457-468, 2018.

SAMPAIO, P.R.P.; SAMPAIO, R.S.R. The challenges of regulating water and sanitation tariffs under a three-level shared-authority federalism model: The case of Brazil, 64, **Utilities Policy**, 2020. doi:10.1016/j.jup.2020.101049

SANABRIA, S.; TORRES, J. Water Price: Environment Sustainability and Resource Cost. **Water**, v. 12, n. 11, 3176, 2020. doi:10.3390/w12113176

SÁNCHEZ-ROMÁN, R.; FOLEGATTI, M. V.; ORELLANA-GONZÁLEZ, A. M. G. Situação dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí utilizando modelo desenvolvido em dinâmica de sistemas. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.4, 578-590, 2009. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162009000400008>

SÁNCHEZ, A. S.; ESQUERRE, K. P. O.; NOGUEIRA, I. B. R.; JONG, P.; AGUIAR, A. Water Loss Management Through Smart Water Systems. **Smart Village Technology: Concepts and Developments**, 233-267, 2020.

SAHIN, O.; BERTONE, E.; BEAL, C.; STEWART, R. A. Evaluating a novel tiered scarcity adjusted water budget and pricing structure using a holistic systems modelling approach. **Journal of Environmental Management**, 215, 79–90, 2018.

SAHIN, O., BERTONE, E.; BEAL, C. D. A systems approach for assessing water conservation potential through demand-based water tariffs. **Journal of Cleaner Production**, 148, 773-784, 2017.

SEDLACKO, M.; MARTINUZZI, A.; RØPKE, I.; VIDEIRA, N.; ANTUNES, P. Participatory systems mapping for sustainable consumption: discussion of a method promoting systemic insights. **Ecological Economics**, 106, 33–43, 2014. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.07.002>

SENGE, P. **The Fifth Discipline, the Art and Practice of the Learning Organization**. New York, NY: Doubleday/Currency, 1990.

SENGE, P. M. **The fifth discipline: The art and practice of the learning organization**. New York, NY: Doubleday, 2006.

SHEN, J.; WU, F.; YU, Q.; ZHANG, Z.; ZHANG, L.; ZHU, M.; FANG, Z. Standardization of Exchanged Water with Different Properties in China's Water Rights Trading. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 5, 1730, 2019. doi:10.3390/ijerph17051730

SILVESTRE, H. C. Social performance in public services delivery: conceptual roots and results for the Portuguese water sector. **International Journal of Water Resources Development**, v. 32, n. 1, 43-56, 2015. doi:10.1080/07900627.2015.1012662

STERMAN, J. D. **Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World**. Irwin/McGraw-Hill, Boston, 2000.

STERMAN, J. D. **System dynamics modeling: tools for learning in a complex world**. Calif. Manag. Ver, v. 43, n. 4, 8–25, 2001. doi:10.2307/41166098

STEVOVIĆ, S.; NESTOROVIĆ, Ž.; LUTOVAC, M. Water management and sustainability of water resources. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 18, n. 3, 976–983, 2018. doi:10.2166/ws.2017.163

SPRUILL, N.; KENNEY, C.; KAPLAN, L. Community development and systems thinking: theory and practice. **National Civic Review**, v. 90, 105-16, 2003. doi:10.1002/ncr.90110

SKARZ AUSKIENE, A. Managing complexity: systems thinking as a catalyst of the organization performance. **Measuring Business Excellence**, v. 14, n. 4, 2010. doi:10.1108/13683041011093758

TANG, J.; FOLMER, H.; VAN DER VLIST, A. J.; XUE, J. The impacts of management reform on irrigation water use efficiency in the Guanzhong plain, China. **Papers in Regional Science**, v. 93, n. 2, 455-475, 2013. doi:10.1111/pirs.12064

TASCA, F. A.; GOERL, R. F.; MICHEL, G. P.; LEITE, N. K.; DJESSER, Z. S.; BELIZÁRIO, S.; CAPRARO, J.; FINOTTI, A. R. Application of Systems Thinking to the assessment of an institutional development project of river restoration at a campus university in Southern Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, 27, 14299-14317, 2020. doi:10.1007/s11356-019-06693-8

TAŞTAN, H. Estimation of dynamic water demand function:the case of Istanbul. **Urbanwater Journal**, v. 15, n. 1, 75-82, 2018.
<https://doi.org/10.1080/1573062X.2017.1395899>

TOURINHO, M.; SANTOS, P. R.; PINTO, F. T.; CAMANHO, A. S. Performance assessment of water services in Brazilian municipalities: An integrated view of efficiency and access. **Socio-Economic Planning Sciences**, 101139, 2021. doi:10.1016/j.seps.2021.101139

ULLOA, R. R.; CACERES, A. P. Soft System Dynamics Methodology (SSDM): Combining Soft Systems Methodology (SSM) and System Dynamics (SD). **Systemic Practice and Action Research**, v. 18, n. 3, 2005. doi:10.1007/s11213-005-4816-7

UNWATER, **Sustainable Development Goal 6: Synthesis Report 2018 on Water and Sanitation**. UNWater. Published by the United Nations, New York, New York 10017, USA, 2018.

VARELA, F. G.; MATURANA, H. R.; URIBE, R. Autopoiesis: the organizations of living systems, its characterization and a model. **Biosystems**, 5, 187–196, 1974.

VILANOVA, M. R. N.; MAGALHÃES FILHO, P.; BALESTIERI, J. A. P. Performance measurement and indicators for water supply management: Review and international cases. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, n. 1–12, 2015.
doi:10.1016/j.rser.2014.11.043

VON BERTALANFFY, L. The theory of open systems in physics and biology. **Science**, 111, 23–29, 1950.

VON BERTALANFFY, L. The history and status of general systems theory. **The Academy of Management Journal**, v. 15, n. 4, 23-29, 1972. doi: 10.2307/1676073

WANG, L.; YUEFEI HUANG, Y.; ZHAO, Y.; LI, H.; HE, F.; ZHAI, J.; ZHU, Y.; WANG, Q.; JIANG, S. Research on OptimalWater Allocation Based onWater Rights Trade under the Principle of Water Demand Management: A Case Study in Bayannur City, China. **Water**, 10, 863, 2018. doi:10.3390/w10070863

WALTER, T.; KLOOS, J.; TSEGAI, D. Options for improving water use efficiency under worsening scarcity: Evidence from the Middle Olifants Sub-Basin in South Africa. **Water SA**, v. 37, n. 3, 2011. doi:10.4314/wsa.v37i3.68487

WEI, F.; ZHANG, X.; XU, J.; BING, J.; PAN, G. Simulation of water resource allocation for sustainable urban development: An integrated optimization approach. **Journal of Cleaner Production**, 273, 2020. doi:10.1016/j.jclepro.2020.122537

WEHN, U.; MONTALVO, C. Exploring the dynamics of water innovation: Foundations for water innovation studies. **Journal of Cleaner Production**, 1-19, 2017. doi:10.1016/j.jclepro.2017.10.118.

WINZ, I.; BRIERLEY, B.; TROWSDALE, S. The Use of System Dynamics Simulation in Water Resources Management. **Water Resour Manage**, v. 23, n. 7, 1301-1323, 2009. doi:10.1007/s11269-008-9328-7

WICHELNS, D. Enhancing the performance of water prices and tariff structures in achieving socially desirable **outcomes**, **International Journal of Water Resources Development**, v. 29, n. 3, 310-326, 2023. doi: 10.1080/07900627.2012.721675

WWAP. **The United Nations World Water Development Report 2016: Water and Jobs**. UNESCO, Paris, 2016.

WHITEHEAD, P.; SCHERER, W. T.; SMITH, M. C. Systems Thinking About Systems Thinking, **Ieee Systems Journal**, 2014.

WHITTINGTON, D.; HANEMANN, W.M.; SADOFF, C.; JEULAND, M. The challenge of improving water and sanitation services in less developed countries. **Foundations and Trends in Microeconomics**, 4, 469-609, 2009. doi:10.1561/0700000030

YUAN, M.H.; LO, S.L.; CHIUEH, P.T. Embedding scarcity in urban water tariffs: mapping supply and demand in North Taiwan. **Environmental Earth Sciences**, v. 78, n. 10, 2019. doi:10.1007/s12665-019-8318-9

ZARGHAMI, M.; AKBARIYEH, S. System dynamics modeling for complex urban water systems: Application to the city of Tabriz, Iran. **Resources, Conservation and Recycling**, 60, 99-106, 2012. doi:10.1016/j.resconrec.2011.11.

ZOUNEMAT-KERMANI, M.; RAMEZANI-CHARMAHINEH, A.; RAZAVI, R.; ALIZAMIR, M.; OUARDA, T. B. M. J. Machine Learning and Water Economy: a New Approach to Predicting Dams Water Sales Revenue. **Water Resources Management**, 2020. doi:10.1007/s11269-020-02529-0

APÊNDICE A - Principais parâmetros do modelo proposto de *System Dynamics* para estrutura tarifária e gestão da água (ESTUDO 01)

(01) INITIAL TIME = 2013
 Units: ANO
 The initial time for the simulation.

(02) FINAL TIME = 2022
 Units: ANO
 The final time for the simulation.

(03) Elasticidade= -0.55
 Units: ANO

(04) Evaporação= IF THEN ELSE (Sistema Gramame,0,1313)
 Units: MM/ANO

(05) Fluxo de Entrada:= GET XLS DATA ('ESTOQUE.xls','Planilha1','2','c4')
 Units: MMC/ANO

(06) Fluxo de Saída= Demanda total
 Units: MMC/ANO

(07) Fluxo Natural= 100000
 Units: MMC/ANO

(08) Controle de perda= Perda*Índice de controle de perda
 Units: MMC/ANO

(09) Índice de controle de perda= 0.07
 Units: Percentual

(10) Índice de perda:= GET XLS DATA ('INDICEPERDA.xls','Planilha2','2','c4')
 Units: Percentual

(11) Perda= Índice de perda*Demandada total
 Units: MMC/ANO

(12) Sistema Gramame= INTEG (Fluxo de Entrada-Evaporação-Fluxo de Saída-Fluxo Natural-Mudança de demanda +Controle de perda,
 5.17626e+07)
 Units: MMC/ANO

(13) Irrigação= DADOS SENSÍVEIS
 Units: População

(14) Outras demandas= DADOS SENSÍVEIS
 Units: População

(15) Demanda industrial= Coeficiente para indústria*Número de pessoal ocupado
 Units: População

(16) Demanda per capita= 82
 Units: 1/hab/dia

(17) Demanda da água doméstica= População*Demandada per capita
 Units: MMC/ANO

(18) Demanda total= Demanda da água doméstica+Demanda industrial+Irrigação+Outras demandas
 Units: População

(19) João Pessoa= 583752
 Units: População

(20) Bayeux= 57919
 Units: População

(21) Cabedelo= 46563
Units: População

(22) Santa Rita= 104937
Units: População

(23) Mudança de demanda= Demanda per capita*((Tarifa Ajustada da Água/Tarifa Média da Água)^Elasticidade)

(24) Mudança populacional= População*Taxa de crescimento populacional

(25) População= INTEG (+Mudança populacional, Bayeux+Cabedelo+João Pessoa+Santa Rita)
Units: População

(26) Tarifa Ajustada da Água= (Custos e despesas para distribuição da água)*(1+Taxa de inflação+Taxa para Limite de tarifa)
Units: Unidades monetárias

(27) Tarifa Média da Água:= GET XLS DATA('TARIFA.xls','Planilha3','2','C4')
Units: Unidades monetárias

(28) Taxa de crescimento populacional= 0.0143333
Units: Percentual

(29) Taxa de inflação:= GET XLS DATA('INFLACAO.xls','Planilha4','2','C4')
Units: Percentual

(30) Taxa para Limite de tarifa= 0.1
Units: Percentual

(31) Adicionais= DADOS SENSÍVEIS
Units: Unidades monetárias

(32) Amortizações no sistema de abastecimento= DADOS SENSÍVEIS
Units: Unidades monetárias

(33) Assistência médica e social= DADOS SENSÍVEIS
Units: Unidades monetárias

(34) Combustíveis e lubrificantes= DADOS SENSÍVEIS
Units: Unidades monetárias

(35) Conservação de bens imóveis= DADOS SENSÍVEIS
Units: Unidades monetárias

(36) Consultoria técnica= DADOS SENSÍVEIS
Units: Unidades monetárias

(37) Creche= DADOS SENSÍVEIS
Units: Unidades monetárias

(38) Custos com encargos sociais= Assistência médica e social+Décimo terceiro salário+Férias+FGTS+INSS
+Instituto HIDRUS assistência social+Salário educação+Salário saúde e acidente de trabalho
+SENAI+SESI
Units: Unidades monetárias

(39) Custos com remunerações= Adicionais+Gratificações+Gratificações de representação+Horas extras
+Horas normais+Outros custos com remuneração+Programa menor aprendiz
Units: Unidades monetárias

(40) Custos diretos= Custos com encargos sociais+Custos com remunerações+"Materiais (41)"+Outros custos com pessoal
+Serviços de terceiros
Units: Unidades monetárias

(42) Custos e despesas para distribuição da água=

Custos ambientais+Custos diretos+Custos indiretos+Despesas administrativas
 +Despesas comerciais+Investimentos
 Units: Unidades monetárias

(43) Custos indiretos=
 Depreciações e amortizações+"Materiais (CI)"
 Units: Unidades monetárias

(44) Depreciações dedutíveis=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(45) Depreciações e amortizações=
 Amortizações no sistema de abastecimento+Depreciações dedutíveis
 Units: Unidades monetárias

(46) Despesas administrativas=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(47) Despesas comerciais=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(48) Décimo terceiro salário=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(49) Energia=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(50) Ferramentas=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(51) Férias=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(52) FGTS=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(53) Gratificações=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(54) Gratificações de representação=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(55) Hidráulico=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(56) Hidrometro=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(57) Horas extras=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(58) Horas normais=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(59) Informática=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(60) INSS=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(61) Instituto HIDRUS assistência social=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(62) Laboratório=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(63) Lanches e refeições=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(64) Limpeza e higiene=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(65) Manutenção de linhas e redes=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(66) "Materiais (CD)"=
 Hidráulico+Hidromóetro+Laboratório+"Mecânico - bombas e motores"+"Outros custos (CD)"
 +Tratamento
 Units: Unidades monetárias

(67) "Materiais (CI)"=
 Combustíveis e lubrificantes+Consultoria técnica+Ferramentas+Informática
 +Lanches e refeições+Limpeza e higiene+Mão de obra prisional e policial
 +Obras civis+"Outros custos (CI)"+Vestimento e uniforme
 Units: Unidades monetárias

(68) Mão de obra prisional e policial=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(69) "Mecânico - bombas e motores"=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(70) Obras civis=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(71) Outros=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(72) "Outros custos (CD)"=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(73) "Outros custos (CI)"=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(74) Outros custos com pessoal=
 Creche+Outros+Vale transporte
 Units: Unidades monetárias

(75) Outros custos com remuneração=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(76) Outros serviços de terceiros=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(77) Programa menor aprendiz=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(78) Reposição de calçamento e pavimentos=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(79) Salário educação=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(80) Salário saúde e acidente de trabalho=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(81) SENAI=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(82) Serviços de terceiros=
 Conservação de bens imóveis+Energia+Manutenção de linhas e redes+outros serviços de terceiros
 +Reposição de calçamento e pavimentos
 Units: Unidades monetárias

(83) SESI=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(84) Tratamento=
 DADOS SENSÍVEIS
 Units: Unidades monetárias

(85) Vale transporte=
DADOS SENSÍVEIS
Units: Unidades monetárias

(86) Vestimento e uniforme=
DADOS SENSÍVEIS
Units: Unidades monetárias

(87) Investimentos=
DADOS SENSÍVEIS
Units: Unidades monetárias

(88) Custo ambientais=
DADOS SENSÍVEIS
Units: Unidades monetárias

APÊNDICE B - Testes Estatísticos das Regressões Quantílicas (ESTUDO 02)

```
. sqreg CustExp LogParalisações LogReclamações DEL ERL LogVAT IAF LogPopulação, q(.25 .5 .75)  
reps  
> (400) nolog
```

Simultaneous quantile regression				Number of obs =		13,085			
bootstrap(400) SEs				.25	Pseudo R2 =	0.4311			
				.50	Pseudo R2 =	0.4879			
				.75	Pseudo R2 =	0.5451			
<hr/>									
		Bootstrap							
CustExp		Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]			
<hr/>									
q25									
LogParalisações		.0617711	.004392	1.41	0.160	-.0024319	.0147858		
LogReclamações		.0705136	.0057303	12.31	0.000	.0592813	.0817458		
DEL		-.0669305	.0308585	-2.17	0.030	-.1274176	-.0064433		
ERL		-.0223315	.0004028	-0.55	0.579	-.0010129	.0005664		
LogVAT		.0187032	.0046251	4.04	0.000	.0096373	.0277692		
IAF		.031156	.0001745	17.86	0.000	.0027736	.0034576		
LogPopulação		1.049864	.0118935	88.27	0.000	1.026551	1.073177		
_cons		-.3854814	.0520224	-7.41	0.000	-.4874529	-.2835099		
<hr/>									
q50									
LogParalisações		-.0454445	.0029475	-1.54	0.123	-.0103219	.0012332		
LogReclamações		.0608103	.0035502	17.13	0.000	.0538514	.0677693		
DEL		-.0301439	.0331454	-0.91	0.363	-.0951137	.0348259		
ERL		.0803925	.0003948	2.04	0.042	.00003	.0015777		
LogVAT		.0211237	.0028228	7.48	0.000	.0155906	.0266567		
IAF		.0176723	.0001231	14.35	0.000	.0015258	.0020086		
LogPopulação		1.016812	.0089285	113.88	0.000	.9993108	1.034313		
_cons		.1321483	.0363239	3.64	0.000	.0609482	.2033485		

q75							
LogParalisações		-.0169350	.003125	-0.54	0.588	-.007819	.004432
LogReclamações		.0553881	.0035119	15.77	0.000	.0485042	.062272
DEL		.0653034	.03269	0.20	0.842	-.0575467	.0706074
ERL		.0152246	.0003997	3.81	0.000	.000739	.0023058
LogVAT		.0186029	.0023015	8.08	0.000	.0140915	.0231143
IAF		.0116668	.0001045	11.17	0.000	.0009619	.0013714
LogPopulação		.9723619	.0064992	149.61	0.000	.9596224	.9851013
_cons		.6224949	.0349421	17.82	0.000	.5540033	.6909865

. sqreg TMA LogCloro LogTurbinez LogParalisações LogReclamações DEX IER IDF LogISC Log > investimentos LogPopulação, q(.25 .5 .75) reps(400) nolog

Simultaneous quantile regression

Number of obs =	12,716
bootstrap(400) SES	.25 Pseudo R2 = 0.4113
	.50 Pseudo R2 = 0.5288
	.75 Pseudo R2 = 0.5788

Bootstrap						
	TMA	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
-----+-----						
q25						
Logcloro		-.009387	.0084492	-1.11	0.267	-.0259487
LogTurbinez		.0439767	.0093347	4.71	0.000	.0256792
LogParalisações		.0025658	.0029214	0.88	0.380	-.0031606
LogReclamações		.0395594	.0048275	8.19	0.000	.0300967
DEX		.7365256	.0406749	18.11	0.000	.6567966
IER		.0014221	.0005676	2.51	0.012	.0003095
IDF		.0067552	.0005752	11.74	0.000	.0056277
LogISC		.0018204	.0005643	3.23	0.001	.0007143
Loginvestimentos		.0210614	.0020006	10.53	0.000	.0171399
Logpopulação		.0642294	.0087081	7.38	0.000	.0471601
_cons		-1.155364	.0592232	-19.51	0.000	-1.27145
-----+-----						

q50						
Logcloro		-.018342	.0053145	-3.45	0.001	-.0287592
LogTurbinez		.0426749	.0056107	7.61	0.000	.0316771
LogParalisações		-.0031927	.0026488	-1.21	0.228	-.0083847
LogReclamações		.0297184	.0034273	8.67	0.000	.0230005
DEX		.9396562	.0182881	51.38	0.000	.9038089
IER		.0045064	.0005009	9.00	0.000	.0035245
IDF		.0056394	.0004428	12.74	0.000	.0047715
						.0065074

	LogISC	.0048454	.000476	10.18	0.000	.0039124	.0057784
	Loginvestimentos	.0132332	.0016101	8.22	0.000	.0100772	.0163892
	Logpopulação	.0573982	.0073568	7.80	0.000	.0429778	.0718187
	_cons	-1.303763	.0335485	-38.86	0.000	-1.369523	-1.238002
-----+-----							
q75							
	Logcloro	-.0452967	.0075217	-6.02	0.000	-.0600404	-.030553
	LogTurbinez	.0742938	.0060636	12.25	0.000	.0624082	.0861795
	LogParalisações	-.0069903	.0045637	-1.53	0.126	-.0159359	.0019553
	LogReclamações	.048584	.00467	10.40	0.000	.0394302	.0577379
	DEX	1.060201	.0192582	55.05	0.000	1.022452	1.09795
	IER	.0062	.0005815	10.66	0.000	.0050601	.0073399
	IDF	.0047999	.0004135	11.61	0.000	.0039894	.0056104
	LogISC	.0062758	.0004687	13.39	0.000	.0053571	.0071945
	Loginvestimentos	.0193798	.0027408	7.07	0.000	.0140073	.0247523
	Logpopulação	.0566684	.0116239	4.88	0.000	.0338839	.0794529
	_cons	-1.353971	.0411306	-32.92	0.000	-1.434593	-1.273349
-----+-----							

```
. sqreg TMA IAT ICEE IPD DEX IER IDF LogISC Loginvestimentos Logpopulação, q(.2
> 5 .5 .75) reps(400) nolog
```

```
Simultaneous quantile regression
Number of obs = 12,716
bootstrap(400) ses
.25 Pseudo R2 = 0.4048
.50 Pseudo R2 = 0.5250
.75 Pseudo R2 = 0.5754
```

		Bootstrap					
	TMA	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
-----+-----							
q25							
	IAT	.0859515	.000461	1.86	0.062	-.0000441	.0017631
	ICEE	.0144948	.0090333	1.60	0.109	-.0032118	.0322013
	IPD	.0986835	.0003011	3.28	0.001	.0003966	.0015771
	DEX	.7476747	.0406365	18.40	0.000	.668021	.8273283
	IER	.0117968	.0005692	2.07	0.038	.000064	.0022952
	IDF	.0668611	.0005531	12.09	0.000	.005602	.0077702
	LogISC	.0196849	.0005689	3.46	0.001	.0008533	.0030835
	Loginvestimentos	.0197771	.0018109	10.92	0.000	.0162274	.0233267
	Logpopulação	.1113283	.007971	13.97	0.000	.0957039	.1269527
	_cons	-1.296223	.0816367	-15.88	0.000	-1.456243	-1.136203
-----+-----							
q50							

