



PPGECA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIAS E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL -
PPGECA

MARIA JOSÉ DE SOUSA CORDÃO

**GESTÃO MULTIESCALA PARA SISTEMAS URBANOS
SUSTENTÁVEIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Campina Grande - PB, Agosto de 2021.

MARIA JOSÉ DE SOUSA CORDÃO

**GESTÃO MULTIESCALA PARA SISTEMAS URBANOS
SUSTENTÁVEIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), como requisito para obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientadores:

Profa. Dra. Iana Alexandra Alves Rufino

Prof. Dr. Mauro Normando Macêdo Barros Filho

Campina Grande - PB, Agosto de 2021.

C794g

Cordão, Maria José de Sousa.

Gestão multiescala para sistemas urbanos sustentáveis de abastecimento de água / Maria José de Sousa Cordão. – Campina Grande, 2021.

154 f. : il. : color.

Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.

"Orientação: Prof^ª. Dr^ª. Iana Alexandra Alves Rufino, Prof. Dr. Mauro Normando Macêdo Barros Filho".

Referências.

1. Gestão Sustentável. 2. Cidade Sensível à Água. 3. Sistemas de Abastecimento de Água. 4. Fontes Descentralizadas. 5. Multiescala. 6. Águas Urbanas. 7. GISMCDA. I. Rufino, Iana Alexandra Alves. II. Barros Filho, Mauro Normando Macêdo. III. Título.

CDU 556.18(043)

MARIA JOSÉ DE SOUSA CORDÃO

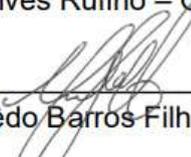
GESTÃO MULTIESCALA PARA SISTEMAS URBANOS SUSTENTÁVEIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), como requisito para obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil e Ambiental.

BANCA EXAMINADORA



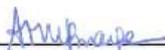
Profa. Dra. Iana Alexandra Alves Rufino – Orientadora (PPGECA/UFCG).



Prof. Dr. Mauro Normando Macêdo Barros Filho – Orientador (PPGECA/UFCG).



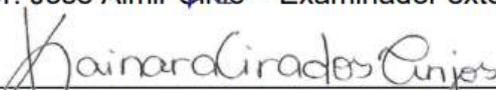
Profa. Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues – Examinadora interna (PPGECA/UFCG).



Profa. Dra. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga – Examinadora externa (UFPB).



Prof. Dr. José Almir Cirilo – Examinador externo (UFPE).



Profa. Dra. Kainara Lira dos Anjos – Examinadora externa (UFCG).



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO ENGENHARIA CIVIL AMBIENTAL
Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitário, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

1. **ATA DA DEFESA PARA CONCESSÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**
2. **ALUNO(A): MARIA JOSÉ DE SOUSA CORDÃO / COMISSÃO EXAMINADORA: DR.ª IANA ALEXANDRA ALVES RUFINO - PPGECA/UFMG (PRESIDENTE) - ORIENTADORA, DR. MAURO NORMANDO MACÊDO BARROS FILHO - PPGECA/UFMG - ORIENTADOR, DR.ª ANDRÉA CARLA LIMA RODRIGUES - PPGECA/UFMG - EXAMINADORA INTERNA, DR.ª KAINARA LIRA DOS ANJOS - UFG - EXAMINADORA EXTERNA, DR. JOSÉ ALMIR CIRILO - UFPE - EXAMINADOR EXTERNO, DR.ª ANA CLÁUDIA FERNANDES MEDEIROS BRAGA - UFPB - EXAMINADORA EXTERNA (PORTARIA 31/2021). / TÍTULO DA DEFESA: "GESTÃO MULTIESCALA PARA SISTEMAS URBANOS SUSTENTÁVEIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA" / ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL / HORA DE INÍCIO: 08:30 HORAS / FORMA DA SESSÃO: POR VÍDEO CONFERÊNCIA.**
3. **EM SESSÃO REALIZADA POR VÍDEO CONFERÊNCIA, APÓS EXPOSIÇÃO DE CERCA DE 40 MINUTOS, A ALUNA FOI ARGUIDA ORALMENTE PELOS MEMBROS DA COMISSÃO EXAMINADORA, TENDO DEMONSTRADO SUFICIÊNCIA DE CONHECIMENTO E CAPACIDADE DE SISTEMATIZAÇÃO NO TEMA DE SUA TESE, SENDO-LHE ATRIBUÍDO O CONCEITO "EM EXIGÊNCIA", SENDO QUE A POSSIBILIDADE DE APROVAÇÃO ESTÁ CONDICIONADA À AVALIAÇÃO DA NOVA VERSÃO DO TRABALHO FINAL, SEGUINDO PROCEDIMENTOS PREVISTOS NA RESOLUÇÃO DO PROGRAMA. O PRESIDENTE DA COMISSÃO EXAMINADORA, OUVIDOS OS DEMAIS MEMBROS, DEVERÁ FICAR RESPONSÁVEL POR ATESTAR QUE AS CORREÇÕES SOLICITADAS NA LISTA DE EXIGÊNCIAS FORAM ATENDIDAS NA VERSÃO FINAL DO TRABALHO. A COMISSÃO EXAMINADORA CUMPRINDO OS PRAZOS REGIMENTAIS, ESTABELECE UM PRAZO MÁXIMO DE 30 DIAS PARA QUE SEJAM FEITAS AS ALTERAÇÕES EXIGIDAS. APÓS O DEPÓSITO FINAL DO DOCUMENTO DE TESE, DEVIDAMENTE REVISADO E MEDIANTE ATESTADO DO ORIENTADOR, O CONCEITO "EM EXIGÊNCIA" PASSARÁ IMEDIATAMENTE PARA O DE "APROVADO". NA FORMA REGULAMENTAR, FOI LAVRADA A PRESENTE ATA, QUE É ASSINADA POR MIM, WELLINGTON LAURENTINO DOS SANTOS, SECRETÁRIO, ALUNO E OS MEMBROS DA COMISSÃO EXAMINADORA PRESENTES.**
4. **CAMPINA GRANDE, 20 DE AGOSTO DE 2021**
5. _____
6.  _____
7. **ANA CLÁUDIA FERNANDES MEDEIROS BRAGA - UFPB - EXAMINADORA EXTERNA**
8. _____
9.  _____
10. **JOSÉ ALMIR CIRILO - UFPE - EXAMINADOR EXTERNO**



Documento assinado eletronicamente por IANA ALEXANDRA ALVES RUFINO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR, em 20/08/2021, às 15:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.



Documento assinado eletronicamente por MAURO NORMANDO MACEDO BARROS FILHO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR, em 26/08/2021, às 21:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.



Documento assinado eletronicamente por MARIA JOSÉ DE SOUSA CORDAO, Usuário Externo, em 27/08/2021, às 09:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

9/2/2021

SEI/UFMG - 1685068 - Ala de Defesa



Documento assinado eletronicamente por **KAINARA LIRA DOS ANJOS, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 31/08/2021, às 09:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ANDREA CARLA LIMA RODRIGUES, PROFESSOR**, em 01/09/2021, às 14:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **1685068** e o código CRC **01E5A666**.

Referência: Processo nº 23096.046242/2021-66

SEI nº 1685068

GESTÃO MULTIESCALA PARA SISTEMAS URBANOS SUSTENTÁVEIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Maria José de Sousa Cordão

Orientadores: Profa. Dra. Iana Alexandra Alves Rufino

Prof. Dr. Mauro Normando Macêdo Barros Filho

RESUMO

Os Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água (SUAA) são analisados neste trabalho com o objetivo de propor estratégias para a sua gestão e sustentabilidade, através de um plano de gestão baseado nas múltiplas escalas urbanas. O domínio de estudo é Campina Grande, no estado da Paraíba, relevante polo comercial e de serviços de médio porte, situado no semiárido do Brasil. Conceitos de sustentabilidade e resiliência relacionados às Cidades Sensíveis à Água são discutidos considerando diversas estratégias, como a utilização de fontes multivariadas, utilizando multiescala; e sistemas de água urbanos integrados apoiados por infraestruturas não convencionais com multifunções. Estas estratégias buscam apoiar e suplementar o SUAA convencional, especialmente em cidades que vivenciam crises hídricas recorrentes. Os caminhos metodológicos que direcionam para um Sistema Urbano de Abastecimento de Água Sustentável (SUAA-Sustentável) são envolvidos por um ciclo de natureza dinâmica evolutiva e perpassam por múltiplas escalas. São analisadas abordagens em multiescala orientadas por regras essenciais para avaliar estratégias de gestão em busca de um serviço de água sustentável. O modelo revela os fluxos de trabalho que devem ser percorridos utilizando três escalas geográficas urbanas: global (fronteira urbana), setorial e local, apoiando-se em três regras essenciais: as regras espaciais, as regras biofísicas e as regras de governança. O resultado principal é um modelo de gestão sustentável através de um quadro composto por 17 (dezesete) estratégias de gestão centralizadas e descentralizadas. O quadro de estratégias é explorado através de três contribuições metodológicas como ações para o modelo de gestão proposto. Primeiro, um mapeamento de risco de desabastecimento de água para apoiar o sistema centralizado utilizou Sistemas de Informações Geográficas baseado em Análise de Decisão Multicritério (GIS-MCDA) e Processos de Hierarquia Analítica (AHP). O resultado é uma ferramenta de suporte de adequação espacial apropriada para planejamento, manutenção e operação dos

SUAA. Segundo, uma setorização em *clusters* de abastecimento empregou análises espaciais e decisões técnicas de engenharia para gerar uma ferramenta de apoio à gestão do sistema centralizado, especialmente gerenciamento de perdas. A clusterização obtida da rede de abastecimento deverá incluir análise multicriterial para definição final da viabilidade técnica, incluindo otimização hidráulica e custos envolvidos. Por último, um estudo sobre percepção e disposição pública conduziu uma análise através de mídias sociais sobre os fatores que influenciam as respostas públicas à hipótese de reutilização de água como contribuição para o sistema descentralizado. Os resultados revelaram que a água reutilizada é uma fonte alternativa de água reconhecida positivamente pelo público, notadamente em razão de economia de água e restrição hídrica. O estudo evidenciou a necessidade de iniciar um debate para desenvolver políticas para promover a reutilização de água, especialmente mecanismos regulatórios e políticas orientadas ao grau de escassez hídrica. As descobertas revelam que a abordagem que aplica a gestão dos sistemas urbanos de água em multiescala integrada a regras espaciais, biofísicas e de governança é um modelo de projeto societécnico que impulsiona a um novo paradigma para os SUAA. O resultado final pode ser classificado como um “plano para o futuro sustentável dos SUAA”.

PALAVRAS CHAVE: gestão sustentável, cidade sensível à água, sistemas de abastecimento de água, fontes descentralizadas, multiescala, águas urbanas, GIS-MCDA.

MULTI-SCALE MANAGEMENT FOR SUSTAINABLE URBAN WATER SUPPLY SYSTEMS

Maria José de Sousa Cordão

Orientadores: Profa. Dra. Iana Alexandra Alves Rufino

Prof. Dr. Mauro Normando Macêdo Barros Filho

RESUMO

The Urban Water Supply Systems (UWSS) are analyzed in this work to propose strategies for their management and sustainability through a management plan based on multiple urban scales. The study domain is Campina Grande, in the state of Paraíba, a relevant medium-sized commercial and services hub, located in the semiarid region of Brazil. Sustainability and resilience concepts related to Water Sensitive Cities are discussed considering several strategies, such as the use of multivariate sources, using multiscale; and integrated urban water systems supported by unconventional multi-purpose infrastructure. These strategies seek to support and supplement the conventional UWSS, especially in cities experiencing recurrent water crises. The methodological paths that lead to a Sustainable Urban Water Supply System (UWSS -Sustainable) are compromised by a cycle of a dynamic evolutionary nature and permeate multiple scales. Essential rule-oriented multi-scale approaches to assess management management in pursuit of a sustainable water service are analyzed. The model reveals the workflows that must be followed using three urban geographic scales: global (urban frontier), sectorial and local, based on three essential rules: spatial rules, biophysical rules and governance rules. The main result is a sustainable management model through a framework composed of 17 (seventeen) centralized and decentralized management strategies. The strategy framework is explored through three methodological contributions as actions for the proposed management model. First, a shortage of water risk mapping to support the centralized system used Geographic Information Systems based on Multicriteria Decision Analysis (GIS-MCDA) and Analytical Hierarchy Processes (AHP). The result is a spatial fit support tool suitable for UWSS planning, maintenance and operation. Second, the sectorization in supply clusters employed spatial analysis and technical engineering decisions to generate a support tool for centralized system management, especially loss management. The clustering obtained from the supply network should include a multi-criteria analysis

for the final definition of technical feasibility, including hydraulic optimization and costs involved. Finally, the study on public perception and disposal conducted a social media analysis of the factors influencing public responses to the hypothesis of water reuse as a contribution to the decentralized system. The results revealed that reused water is an alternative source of water that is positively recognized by the public, mainly due to water savings and water restriction. The study highlighted the need to initiate a debate to develop policies to promote water reuse, especially regulatory mechanisms and policies targeted at the degree of water scarcity. The findings reveal that the approach that applies integrated multiscale urban water systems management to spatial, biophysical and governance is a socio-technical design model that drives a new paradigm for the UWSS. The end result can be classified as a “plan for the UWSS sustainable future”.

KEYWORDS: sustainable management, water-sensitive cities, water supply system, decentralized systems, multiscale, GIS-MCDA.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois Dele, por Ele e para Ele são todas as coisas.

À toda minha família, por acreditarem nos meus esforços e nas minhas decisões e estarem comigo, sempre, lado a lado.

Aos meus orientadores, Iana Rufino e Mauro Barros Filho, pela motivação, amizade, paciência e dedicação durante todo o período de desenvolvimento desta pesquisa.

À UEPB, pela concessão do afastamento dos meus encargos docentes para dedicação integral ao desenvolvimento desta tese.

Ao projeto Planejeee, pela colaboração e contribuições para o modelo de risco de desabastecimento e outros conhecimentos.

À banca examinadora, pelas valiosas contribuições durante todas as fases de qualificação desta tese.

A todos os amigos e professores do laboratório de Hidráulica (BU), pelas dúvidas sanadas, pelos cafés e momentos afetivos.

A Wellington Laurentino pela disponibilidade e paciência através da secretaria do PPGECA.

Às muitas outras pessoas que apoiaram o desenvolvimento desta tese.

*Que darei eu ao Senhor, por todos os benefícios que
me tem feito? Sl 116:2*

A todos que sustentaram esta tese, dedico.

LISTA DE SIGLAS

AHP - Processo de Hierarquia Analítica
ANA - Agência Nacional de Águas
BMP - Melhores Práticas de Gestão
CAGEPA - Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba
DMA - Áreas de Medição Distrital
FC - Fontes Centralizadas
FD - Fontes Descentralizadas
GIS - Sistema de Informação Geográfica
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LID - Desenvolvimento de Baixo Impacto
ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS - Organização Mundial da Saúde
ONU - Organização das Nações Unidas
PDE - Plano de Desenvolvimento Estratégico
PIB - Produto Interno Bruto
PMCG - Prefeitura Municipal de Campina Grande
PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico
PSA - Pagamento por Serviços Ambientais
SRA - Sistemas de Reutilização de Água
SUAA - Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água
SUDS - Sistemas de Drenagem Urbano Sustentável
UWMP - Plano de Gestão Integrado das Águas Urbanas
WEF - Fórum Econômico Mundial
WSUD - Design Urbano Sensível à Água

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura conceitual para um sistema urbano de abastecimento de água sustentável.	15
Figura 2 - Modelo de transição para cidades sensíveis à água.....	17
Figura 3 - Componentes do WSUD e suas interações com os SUAA.....	19
Figura 4 - Estratégias WSUD como exemplo em multiescalas.	22
Figura 5 - Visualização esquemática de novos modelos de infraestrutura urbana de água.	24
Figura 6 - Representação de um sistema híbrido de abastecimento de água.	25
Figura 7 - Relações entre as múltiplas etapas e as partes interessadas em um modelo de gestão das águas urbanas.	27
Figura 8 - Tipologias de modelos e ferramentas apoiadores para gerenciamento das águas urbanas.....	30
Figura 9 - Localidades globais mais citadas como referência em sistemas urbanos de água sustentáveis.	33
Figura 10 - Proposta de um plano contemplando metas para a suplementação do abastecimento de água da cidade de Los Angeles.	35
Figura 11 - Localização da cidade de Campina Grande - PB.....	51
Figura 12 - Decaimento do volume do reservatório Epitácio Pessoa durante o período de seca entre os anos 2013-2017.....	53
Figura 13 - Projeto multilagos para Campina Grande proposto pela Prefeitura Municipal em 1993.	55
Figura 14 - Estrutura metodológica em direção a um SUAA-Sustentável.	60
Figura 15 - Fluxo de trabalho para o modelo de gestão em multiescala proposto para sistemas urbanos de abastecimento de água sustentáveis.	62
Figura 16 - Componentes ou regras essenciais que integram o modelo de gestão sustentável do SUAA em multiescala.....	66
Figura 17 - Contribuições metodológicas específicas desenvolvidas como ações para o modelo de gestão proposto.....	69
Figura 18 - Modelo de gestão para um SUAA-Sustentável para a área de estudo.	72
Figura 19 - ' <i>Model Builder</i> ' para o mapeamento de risco de desabastecimento de água em Campina Grande-PB.	81

Figura 20 - Normalização dos critérios utilizando uma função linear para uma escala de 0 a 1.	85
Figura 21 - Mapeamento do risco de desabastecimento de água para a cidade de Campina Grande - PB.	89
Figura 22 - Metodologia para definição de <i>clusters</i> de abastecimento de água....	94
Figura 23 - Setorização da infraestrutura de abastecimento de água do caso de estudo em <i>clusters</i> potenciais de abastecimento.	100
Figura 24 - Matriz conceitual de interação mútua entre multicritérios para a viabilidade técnica de <i>clusters</i> de abastecimento.	105
Figura 25 - Fases metodológicas para a percepção pública sobre reutilização de água.	114
Figura 26 - Frequência de atitudes otimistas à reutilização de água.	122
Figura 27 - Frequência de associações pessimistas à reutilização de água.	125
Figura 28 - Nível de disposição do público à reutilização de água para cenários de uso.	126
Figura 29 - Níveis de relacionamento entre reutilização de água e o público.	128

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Meta de economia no uso de água potável para grupos de usuários na Grande Adelaide, até 2050.	37
Tabela 2 - Matriz da importância relativa dos critérios, grau de consistência (CR) e pesos obtidos.	87
Tabela 3 - Expansão da infraestrutura secundária da rede de distribuição.	96
Tabela 4 - Dimensionamento amostral para pesquisa de opinião sobre reutilização de água.	115
Tabela 5 - Informações descritivas dos participantes.	117
Quadro 1 - Principais abordagens que tratam da água no contexto urbano.	11
Quadro 2 - Síntese de avanços e obstáculos para os sistemas descentralizados de água.	28
Quadro 3 - Práticas de gerenciamento de águas pluviais urbanas estruturais e não estruturais em Singapura e seu potencial para abastecimento de água.	40

Quadro 4 - Estágios do desenvolvimento da gestão das águas urbanas e a situação do Brasil.	41
Quadro 5 - Estratégias centralizadas para o modelo de gestão SUAA-Sustentável da área de estudo.	76
Quadro 6 - Estratégias descentralizadas para o modelo de gestão SUAA-Sustentável de Campina Grande-PB.	78
Quadro 7 - Critérios utilizados para o mapa de risco de desabastecimento de água.	82
Quadro 8 - Critérios utilizados para determinar riscos de desabastecimento de água em uma área urbana.	84
Quadro 9 - Grau de importância dos critérios do método AHP.	86
Quadro 10 - Estrutura de indagações reportada à companhia de água sobre viabilidade técnica de clusterização da rede de abastecimento de água.	99
Quadro 11 - Banco de palavras manifestadas pelo público sobre para o termo 'reuso de água'.....	120

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativa	4
1.2	Questões e hipóteses da pesquisa	8
2	SISTEMAS URBANOS SUSTENTÁVEIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: CONCEITOS E DEFINIÇÕES	11
2.1	Componentes conceituais para sistemas hídricos urbanos sustentáveis	11
2.1.1	Estrutura conceitual de um sistema urbano de água sustentável	15
2.1.2	Cidades Sensíveis à Água: um modelo de gestão para a sustentabilidade contemporâneo	16
2.2	Sistemas Urbanos Sustentáveis de Abastecimento de Água	22
2.2.1	Integração de sistemas de infraestrutura de água	24
2.2.2	Integração de agentes e instituições: as partes interessadas	26
2.2.3	Barreiras e avanços para a sustentabilidade	28
2.3	Sistemas de Apoio à Gestão dos SUAA	29
2.4	Em busca de sustentabilidade para SUAA: experiências internacionais	32
2.4.1	Los Angeles	32
2.4.2	Adelaide	36
2.4.3	Singapura	38
2.5	O contexto nacional para a sustentabilidade dos SUAA	41
2.5.1	O caso da Região Metropolitana de Fortaleza: uma gestão para fortalecer o sistema centralizado	44
2.5.2	O caso de Porto Alegre: primeiros passos para a sustentabilidade de serviços urbanos de água	47
3	ÁREA DE ESTUDO	51
4	METODOLOGIA	60
4.1	Visão geral	60
4.2	As múltiplas escalas de gestão	63
4.2.1	A escala global	64

4.2.2	A escala setorial	65
4.2.3	A escala local	65
4.3	As abordagens temáticas	66
4.3.1	As regras espaciais	67
4.3.2	As regras biofísicas	67
4.3.3	As regras de governança	68
4.4	As estratégias de gestão	68
4.4.1	As estratégias centralizadas	69
4.4.2	As estratégias descentralizadas	70
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
5.1	O modelo de gestão para um SUAA-Sustentável	71
5.1.1	As estratégias centralizadas	75
5.1.2	As estratégias descentralizadas	77
5.2	Mapeamento do risco de desabastecimento de água: um modelo espacial de apoio à gestão eficiente	80
5.2.1	Base de dados	80
5.2.2	Definição dos critérios	80
5.2.3	Estruturação do modelo	81
5.2.4	Análise multicritério	82
5.2.5	Riscos de desabastecimento de água e sua variabilidade no espaço urbano	88
5.3	Setorização em <i>clusters</i> de abastecimento	92
5.3.1	Análise preliminar: identificando os problemas de abastecimento	94
5.3.2	Análise espacial	97
5.3.3	Decisões baseadas em conhecimento de engenharia	98
5.3.4	Mapeamento de clusters potenciais de abastecimento e julgamento da engenharia	100

5.4 Sistemas de Reutilização de Água: uma discussão rumo ao desenvolvimento de estratégias descentralizadas na escala local	107
5.4.1 Evidências para a reutilização de água: barreiras e oportunidades	108
5.4.2 Contexto local	112
5.4.3 Percepções públicas sobre a reutilização de água em Campina Grande-PB	113
5.5 Desenvolvimentos colaborativos e investigações com outras pesquisas	131
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	133
REFERÊNCIAS	139
APÊNDICE A	152

1 INTRODUÇÃO

Investigações da Organização das Nações Unidas indicam que 68% da população mundial viverá em cidades até 2050, enquanto consomem em torno de 70% dos recursos naturais em todo o mundo (ONU, 2018). Estas ocorrências têm pressionado os sistemas urbanos de água e, por conseguinte, gerado crescentes lacunas entre demanda e oferta de água nas cidades. Em seu relatório sobre riscos globais, o Fórum Econômico Mundial identificou as crises de abastecimento de água como um dos maiores impactos e mais prováveis riscos que o planeta enfrentará (WEF, 2020).

Nas regiões semiáridas essas condições de riscos são mais marcantes em decorrência das cronologias de secas, caracterizadas pela alta variabilidade espaço-temporal das chuvas. Além disso, a dependência de fontes únicas de abastecimento, expansão urbana e infraestruturas envelhecidas aumentam os desafios em torno dos Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água.

Em resposta a essas tendências e previsões, as cidades globais estão repensando suas abordagens para a sustentabilidade dos SUAA. Neste contexto, emergem diversas pesquisas acerca da resiliência e adaptação para as cidades; por exemplo, Ahern (2011) enfatiza que o mundo do século atual será “sustentável” a depender em grande parte da sustentabilidade das cidades. Estas novas investigações envolvem o moderno paradigma de uma Cidade Sensível à Água, o qual está associado aos conceitos do *Design Urbano Sensível à Água* (do inglês: *Water Sensitive Urban Design - WSUD*). Os princípios sensíveis à água foram inicialmente desenvolvidos na Austrália desde das duas últimas décadas e fundamentam-se em caminhos que as cidades percorrem para atingir um estado futuro denominado ‘cidade sensível à água’. Neste estado, as cidades alcançam ampla resiliência e sustentabilidade em torno de seus serviços integrados de água.

As infraestruturas convencionais centralizadas de abastecimento de água, exclusivamente, são cada vez mais reconhecidas por possuírem baixa capacidade de adaptação a um clima em mudança e a um futuro incerto. O modelo centralizado dos serviços de água está no cerne da grande maioria dos sistemas e passa por transições; por conseguinte, precisa de uma nova perspectiva mais abrangente e muitas companhias de serviços de água têm evoluído gradualmente para abraçar uma variedade de estratégias de gestão de águas urbanas mais sustentáveis, em

oposição ao serviço tradicional centralizado. O investimento em gestão dos sistemas centralizados (por exemplo, gestão de perdas), em conjunto com sistemas alternativos de água são ações críticas para alcançar serviços urbanos de água mais sustentáveis. A medida que a escassez de água nos centros urbanos aumenta, estratégias avançadas de gestão em conjunto com sistemas alternativos de água serão desenvolvidos para criar novas capacidades no abastecimento de água em oposição à busca de expansão da oferta em áreas cada vez mais longínquas.

Sistemas alternativos de água são fontes para complementar os SUAA (BONZI, 2019), compreendem tecnologias utilizadas para captar, tratar e armazenar água e estão situadas dentro das múltiplas escalas urbanas dentre os quais, citam-se: Sistemas de Captação de Água de Chuva (KHANAL, 2020); Desenvolvimentos de Baixo Impacto (LID) (BAI *et al.*, 2018; ISHAQ *et al.*, 2019), Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana (SUDS) (LUTHY *et al.*, 2019), Reuso de Águas Cinzas (CABRERA *et al.*, 2018; NASEM, 2019) e Melhores Práticas de Gestão (BMP) (SITZENFREI; MÖDERL; RAUCH, 2013). Estes sistemas estão inseridos no contexto do Design Urbano Sensível à Água (WSUD) e da gestão integrada das águas urbanas (FLETCHER *et al.*, 2015), incluem sistemas descentralizados de água (LEIGH e LEE, 2019) e são novos paradigmas que desafiam as noções tradicionais e fragmentadas de gestão da água urbana.

É neste contexto que os Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água (SUAA) são analisados neste trabalho, com o objetivo de desenvolver um modelo de gestão sustentável para os SUAA considerando as múltiplas escalas urbanas. O objeto empírico da pesquisa é a cidade de Campina Grande-PB, importante centro regional com níveis altos de serviços e fluxos de pessoas, e ainda, vulnerabilidade em torno da segurança hídrica urbana. Portanto, o objetivo principal desta pesquisa é:

Propor um modelo de gestão em multiescala para um Sistema Urbano de Abastecimento de Água Sustentável com a inserção de estratégias que resultem em eficiência e sustentabilidade como um arranjo de benefícios para a segurança hídrica urbana.

Configuram-se como objetivos específicos, os seguintes:

- Desenvolver e descrever um modelo de gestão sustentável em multiescala para os SUAA.

- Propor estratégias centralizadas e descentralizadas em multiescala para compor um modelo de SUAA-Sustentável.
- Simular e discutir exemplos de estratégias em multiescala para apoiar o modelo de gestão proposto.

A pesquisa é delineada pela proposição de um quadro de estratégias através de um modelo de gestão que incorpora as escalas urbanas global, setorial e local e as abordagens temáticas espacial, biofísica e de governança. As múltiplas escalas urbanas são limites geográficos de diferentes dimensões e características espaciais, dada as dinâmicas espaciais próprias das cidades. As abordagens temáticas são as áreas do conhecimento mais relevantes que apoiam as investigações e análises necessárias para a implementação das estratégias de gestão propostas no modelo. O modelo de gestão proposto adota conceitos sobre a gestão integrada das águas urbanas e sua interface com os SUAA e inclui contribuições através de ferramentas de gestão para o SUAA-Sustentável. Sua proposta organizacional contempla a estrutura a seguir:

- Uma justificativa em defesa das necessidades de pesquisas deste cunho, bem como a formulação de questões e hipóteses para desenvolvimento da pesquisa no Capítulo 1.
- Uma revisão bibliográfica abrangendo conceitos centrais ao tema, experiências internacionais, contexto nacional e métodos utilizados, no Capítulo 2.
- A descrição da área de estudo no Capítulo 3.
- A proposta metodológica com discussões sobre as principais etapas, no Capítulo 4.
- Resultados e discussão no Capítulo 5.
- Considerações finais no Capítulo 6.

1.1 Justificativa

Este problema de pesquisa está inserido no contexto da busca por segurança hídrica urbana, baseado em estratégias de gestão urbana da água, utilizando os Sistemas de Abastecimento de Água como objeto de estudo. Quatro eixos principais justificam este estudo. O primeiro diz respeito às recorrentes crises hídricas que perpassam a área de estudo devido ao crescimento da demanda urbana e às mudanças climáticas próprias deste século. Estes fatores confirmam a tendência crescente de estudos sobre melhores usos e conservação da água, especialmente em regiões áridas e semiáridas. A região semiárida do Brasil, embora uma das mais chuvosas do mundo, vivencia uma situação crítica em relação à água devido à distribuição heterogênea das chuvas, que quando somada à gestão ineficaz e aos baixos investimentos em infraestruturas, evidenciam a necessidade de mudanças nos seus sistemas de gestão de água.

As recorrentes crises hídricas na cidade de Campina Grande têm muito a ensinar sobre mudanças de atitude na maneira como gerenciar as águas urbanas. A forte dependência de uma única fonte quase causou um colapso no fornecimento de água na cidade na última crise (2013-2017). Sua fonte de água, o reservatório Epitácio Pessoa, conhecido como Boqueirão, chegou a atingir 3,18% de sua capacidade total, o menor volume histórico desde de sua fundação. Supostamente, os gestores locais tinham como única expectativa para retomar a segurança hídrica da cidade a chegada da Transposição do Rio São Francisco, em abril de 2017, fato que ficou marcado na história de Campina Grande e foi bastante enaltecido por entes governamentais e população. Contudo, à medida que a escassez de água nos centros urbanos aumenta, novas tecnologias, estratégias avançadas de gestão e diversas fontes de água devem apoiar novas fontes de abastecimento e uso da água, opondo-se a medidas emergenciais e reativas. Mesmo com a história de secas recorrentes, há poucas evidências do gerenciamento da demanda do lado da concessionária através, por exemplo, de um programa de redução de perdas, bem como do lado do usuário, como uso racional da água, a não ser no período de racionamento. A gestão dos SUAA de Campina Grande-PB baseia-se na necessidade de buscar fontes externas e cada vez mais distantes para atender às crescentes demandas e suprir as épocas de racionamento. Muitas cidades brasileiras e globais convivem com situação semelhante à Campina Grande-PB.

Neste contexto, componentes para a gestão eficiente dos SUAA associados a sistemas descentralizados é uma maneira apropriada de análise e debate para aumentar o portfólio de água para abastecimento e, por conseguinte, aumentar a segurança hídrica da cidade de Campina Grande, além dos outros benefícios, como mitigação de alagamentos, também presente na cidade.

O segundo eixo se refere à universalização dos serviços de água e saneamento. O acesso ao saneamento básico é reconhecido como um direito universal, contudo, subsistem grandes desafios para ser alcançado. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela ONU, no ano de 2017, almejam um futuro melhor e mais sustentável para todos e devem ser cumpridos até 2030. O ODS 6 define as metas que garantem a disponibilidade e gestão sustentável dos serviços de água e saneamento. Isso significa que, além de garantir acesso e disponibilidade dos serviços de água através de infraestruturas, a prestação do serviço deve ser eficiente e sustentável. Em outras palavras, a presença da infraestrutura não é suficiente para a existência de um serviço sustentável. Os desafios para à universalização dos serviços de água e saneamento em países em desenvolvimento estão relacionados a dois motivos principais: equidade de acesso e perdas de água (CETRULO *et al.*, 2020), portanto, nas cidades brasileiras, deve-se intensificar ações em dois campos principais: gestão operacional eficiente e cobertura para populações localizadas em áreas periurbanas.

Os investimentos projetados para universalizar os serviços de água e saneamento somam R\$ 357 bilhões, a serem implementados até o ano de 2033, de acordo com o Plano Nacional de Saneamento (PLANSAB); contudo, para o modelo atual, áreas vulneráveis poderão não ser alcançadas; nomeadamente, assentamentos informais em situação de irregularidade fundiária e/ou com necessidade de proteção ambiental (NARZETTI e MARQUES, 2021). Além disso, a Lei Nº 14.026/2020 (conhecida como o novo marco legal do saneamento) estabeleceu incentivos e a regionalização dos serviços de saneamento para atrair investimentos privados. Não obstante, essas mudanças, além de gerar enfraquecimento do serviço oferecido por prestadores públicos, poderá continuar restringindo o acesso à água e aos outros componentes do saneamento, especialmente nas áreas urbanas mais vulneráveis. Portanto, para atingir as metas estabelecidas, será necessário romper com o modelo atual e ampliar a capacidade de implementar políticas para o acesso universal à água e demais componentes do

saneamento, tais como, aplicar equitativamente, os princípios fundamentais de acessibilidade, disponibilidade e qualidade.

O terceiro eixo se refere à necessidade emergente de encontrar novas maneiras de atendimento à demanda de água, ao mesmo tempo que buscam soluções ambientalmente sustentáveis por diversas cidades no mundo, em particular aquelas que vivenciam escassez hídrica recorrentes. O modelo de abastecimento de água baseado em uma única fonte, em diversas cidades do mundo, está migrando para um estado mais sustentável que engloba fontes diversas. Desta forma, novas maneiras de abastecimento de água possuem perspectivas de integração das águas urbanas em seus múltiplos sistemas buscando ações descentralizadas em diversas escalas em detrimento das tradicionais ações centralizadas. Estas ideias não perpassam pelo desuso das fontes centralizadas, porém pela combinação destas com formas descentralizadas para que as cidades vivenciem um contexto de flexibilidade em seus sistemas urbanos de água.

O quarto, e último eixo, diz respeito à necessidade de inserção de inovações para apoiar este cenário emergente com novas maneiras de gerenciar as águas urbanas através de novas tecnologias e novos comportamentos para aumentar a flexibilidade, sustentabilidade e resiliência do sistema de abastecimento centralizado. A literatura tem enfatizado que os sistemas de água urbanos precisam evoluir de uma infraestrutura rígida, cinza, para uma flexível, verde devido aos significativos benefícios econômicos, ambientais e de sustentabilidade proporcionados. Compatibilidade, conectividade, modularidade de componentes, gerenciamento orientado a mudanças são algumas características citadas que convêm aos novos formatos de modelo de gestão.

A combinação de infraestrutura de água descentralizada com um sistema centralizado pode aumentar a resiliência desse sistema, reduzindo a vulnerabilidade a colapsos e mudanças ao longo do tempo. Um portfólio diversificado de fontes de água, aumenta a capacidade, reduz as demandas de água potável do sistema centralizado e utiliza estratégias em escalas múltiplas. Essa adequação geográfica das estratégias descentralizadas fornece recursos de segurança hídrica, limitando os impactos de possíveis falhas em áreas geográficas específicas. Em particular, os sistemas descentralizados permitem que os usos da água estejam associados a níveis de potabilidade diferenciados, evitando que água tratada com alto nível de potabilidade, seja utilizada para usos não-potáveis, como por exemplo lavagem de

vãos sanitários e irrigação de jardins, o que pode ser considerada um grande paradoxo nas regiões semiáridas.

Um plano de gestão para a sustentabilidade simultaneamente em várias escalas pode preencher lacunas de gestão dos SUAA. Uma maior atenção para estratégias específicas em diferentes escalas, as influências espaciais associadas, os processos biofísicos envolvidos e as mudanças para a governança podem apoiar o estado de gestão atual e contribuir para a gestão integrada das águas urbanas e sustentabilidade dos serviços de água das cidades.

É notório o aumento de estudos de caso que estão surgindo em várias cidades do mundo com a visão sensível à água. As evidências mostram como vários aspectos do ciclo da água estão sendo gerenciados de maneira oportuna para desenvolver uma série de ações em busca de mais resiliência e sustentabilidade. Ações em diversos níveis que permeiam desde as residências, até a área urbana como um todo possibilitam aumento do acesso à água disponível localmente, a redução do uso de energia, o desenvolvimento paisagístico com implicações estéticas para a cidade e a proteção ambiental.

O crescimento e a dinâmica da população urbana associados às mudanças climáticas próprios deste século são fatores que confirmam a tendência crescente para maximizar a conservação da água. As águas cinzas e pluviais terão papel potencial para este futuro e irão desempenhar diferentes prioridades e urgências. As recorrentes crises hídricas na cidade de Campina Grande precisam gerar mudanças de atitude sobre a maneira como gerenciar as águas urbanas. O que se observa em um futuro próximo é uma integração total entre todas as formas de água produzidas dentro do espaço urbano. Muitas tecnologias vêm sendo desenvolvidas para ultrapassar os desafios regulatórios e aqueles maiores desafios que estão relacionadas à qualidade da água, como por exemplo novos estudos sobre tecnologias para tratamento de água.

Esta tese conceitua um SUAA-Sustentável como 'um sistema que integra a gestão eficiente para o sistema centralizado, o qual é apoiado por um sistema descentralizado que o torna mais resiliente às incertezas. Portanto, a gestão sustentável dos SUAA implica conciliar duas perspectivas: (i) melhorar a qualidade dos serviços prestado pelo sistema centralizado e contribuir para a universalização do acesso à água em quantidade e qualidade para os diferentes usos; e (ii) incorporar novos recursos hídricos descentralizados como um novo paradigma para os SUAA e cobenefícios socioambientais, tais como, mitigação de alagamentos,

conservação ambiental dos rios urbanos e melhoria da paisagem e microclima da cidade.

1.2 Questões e hipóteses da pesquisa

Diversas razões de ordem climática, demográfica e de gestão têm levado as cidades a crises recorrentes de falta de água, inclusive a área de estudo (RÊGO *et al.*, 2015). Apesar dos esforços atuais na modernização dos Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água (ANGELAKIS *et al.*, 2020), as soluções até então implementadas muitas vezes ignoram as questões de sustentabilidade das infraestruturas que integram os sistemas de água das cidades. O referencial teórico apresentado a seguir tem destacado os benefícios potenciais destas infraestruturas que geram um conjunto de soluções importantes que sustentam a transição da gestão das águas urbanas de uma abordagem centralizada para descentralizada, ou seja, com características que perpassam por caminhos em direção ao modelo de gestão sensível à água. Este novo modelo exigirá não apenas infraestruturas flexíveis, mas a integração destas através de um modelo físico-espacial e institucional bem elaborado considerando as características espaciais e biofísicas da cidade, bem como questões de ordem social, econômica e cultural.

Este estudo avalia o potencial para aumentar a sustentabilidade dos Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água e, por conseguinte, a resiliência urbana e a adaptação aos perigos da seca. A pesquisa busca delinear uma proposta de plano de gestão dos SUAA direcionado à apoiar o sistema centralizado e a suplementação do abastecimento de água através de infraestruturas descentralizadas em multiescala, ao mesmo tempo que mitiga questões de cunho ambiental, como os alagamentos urbanos e agrega valores a paisagem urbana.

Um Sistema Urbano de Abastecimento de Água (SUAA) tradicional é caracterizado por conter uma única fase, considerando condições e demandas fixas; projetado para a situação mais desfavorável; dissociado das dinâmicas urbanas. Em contraponto, um Sistema Urbano de Abastecimento de Água Sustentável (SUAA-Sustentável) é dinâmico e perpassa por um processo evolutivo de aperfeiçoamento; captura as modificações reais e o crescimento do sistema, devido ao desenvolvimento da área ocupada, incluindo incertezas técnicas, socioambientais e climáticas através de cenários futuros e outras considerações de desempenho; prevalece das fontes descentralizadas de água (água pluvial e

residuárias, captação de água de chuva), notadamente as potencialidades de fontes alternativas com tratamento próximos aos pontos de consumo; adapta-se às mudanças que podem ocorrer e integra o ciclo da água urbano. Portanto, essa proposta de estudo responde a principal questão, qual seja:

Como inserir novas infraestruturas ou tecnologias descentralizadas e em múltiplas escalas em um sistema de abastecimento tradicional para transformá-lo em um sistema sustentável buscando arranjos de benefícios para a segurança hídrica urbana?

Com base nas lacunas de conhecimento identificadas, a principal questão pode ser desmembrada em:

- i) Como e quais tecnologias centralizadas ainda precisam ser modificadas e inseridas para alcançar a eficiência do sistema centralizado em Campina Grande – PB?
- ii) Como e quais tecnologias descentralizadas podem ser inseridas na proposta de uma modelo conceitual em multiescala para a construção de um SUAA-Sustentável em Campina Grande – PB?
- iii) Como e quais preferências definirão uma estrutura de modelo de SUAA-Sustentável em multiescala para propor as estratégias mais adequadas para a área de estudo?
- iv) Como compor um SUAA-Sustentável, através de estratégias de gestão nos SUAA com a inserção de ferramentas considerando as múltiplas escalas urbanas avaliando as regras espaciais, biofísicas e de governança?

Desta forma, as possíveis hipóteses deste estudo são:

- Ao propor um modelo de SUAA-Sustentável, a cidade estará mais apta à segurança hídrica;
- A área de estudo possui características de um sistema de abastecimento de água centralizado eficiente;
- A área de estudo possui requisitos espaciais para receber propostas de tecnologias descentralizadas;
- Os recursos hídricos descentralizados poderão ser considerados como suporte ao SUAA;

- Uma abordagem de fontes multivariadas em multiescala são consideradas como um modelo de negócio atraente para as autoridades municipais, instituições e engenheiros das companhias de saneamento e usuários.

2 SISTEMAS URBANOS SUSTENTÁVEIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Diversos estudos têm tratado da água e sua interface com as áreas urbanas, abordando conceitos que abrangem gestão do risco de seca e vulnerabilidades, cidades sensíveis à água, metabolismo urbano, *design* flexível dos sistemas urbanos de abastecimento de água, sistemas integrados de água, segurança hídrica e abastecimento intermitente (Quadro 1). Estes conceitos contribuem para apresentar técnicas, evidências e oportunidades para o planejamento e gerenciamento dos sistemas de abastecimento de água das cidades, buscando segurança, resiliência e sustentabilidade às futuras incertezas em um campo operacional desejável.

Quadro 1 - Principais abordagens que tratam da água no contexto urbano.

Principais abordagens sobre gestão das águas nas áreas urbanas	Aporte bibliográfico
Gestão do risco de seca e vulnerabilidades	(BUURMAN; MENS; DAHM, 2017; MCDONALD <i>et al.</i> , 2014; MILLINGTON, 2018).
Cidades Sensíveis a Água	(BARRON <i>et al.</i> , 2017; BROWN; KEATH; WONG, 2009; MISHRA <i>et al.</i> , 2020).
Cidades Sustentáveis	(KULLER <i>et al.</i> , 2017; MARQUES; DA CRUZ; PIRES, 2015).
Metabolismo Urbano	(BEHZADIAN; KAPELAN, 2015; KENNEDY; PINCETL; BUNJE, 2011; SERRAO-NEUMANN <i>et al.</i> , 2017).
Design Flexíveis dos Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água	(MALA-JETMAROVA; SULTANOVA; SAVIC, 2017; ZISCHG; RAUCH; SITZENFREI, 2018).
Sistemas integrados de água	{FORMATTING CITATION}.
Segurança hídrica e abastecimento intermitente	(GALAITSI <i>et al.</i> , 2016; HOEKSTRA; BUURMAN; VAN GINKEL, 2018).

Fonte: autoria própria (2019).

2.1 Componentes conceituais para sistemas hídricos urbanos sustentáveis

Em Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água (SUAA), dois tipos de projetos são identificados (MALA-JETMAROVA *et al.*, 2017): (i) um projeto tradicional com uma única fase de construção para todo um ciclo de vida esperado, geralmente considerando condições fixas de carga refletindo as demandas máximas e futuras; e (ii) um projeto avançado e dinâmico que considera as modificações e o crescimento do sistema, devido às expansões urbanas durante várias fases de construção, incluindo incertezas futuras, tais como demandas,

mudanças climáticas, deterioração das infraestruturas e considerações de desempenho.

O objetivo principal dos SUAA é fornecer segurança no serviço de abastecimento. Em razão dos eventos extremos, notadamente secas e inundações (IPCC, 2014), os gestores públicos são obrigados a aumentarem seus esforços e recursos em busca de maiores níveis de resiliência. No entanto, sob os atuais riscos climáticos e dificuldades socioeconômicas ocorrem desequilíbrios na aquisição de segurança, de resiliência e dos objetivos de sustentabilidade, ameaçando o desenvolvimento sustentável dos serviços urbanos de água. A comunidade internacional está sendo convocada através da Agenda 2030 para abordar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), incluindo cidades e comunidade sustentáveis (ODS 11) e água potável e saneamento (ODS 6), bem como um debate nacional está ocorrendo em defesa dos objetivos de universalizar o acesso efetivo aos serviços básicos de saneamento. Neste sentido, surge a questão de como esses objetivos podem ser alcançados para as cidades sem as consequências indesejadas sobre os recursos socioambientais disponíveis.

Buscando aplicar as características de um projeto sustentável em SUAA para as cidades, investigações são realizadas para identificar tecnologias que gerem resiliência e apõem metas de sustentabilidade (NGUYEN *et al.*, 2018; ZHOU *et al.*, 2021). Estas investigações indicam que o potencial hídrico urbano deve ser explorados em diferentes níveis e escalas. A busca por resiliência e sustentabilidade exigem multiplicidade de estratégias e incluem gestão eficiente das infraestruturas de água existentes (CETRULO *et al.*, 2020) e a integração de infraestruturas não convencionais com multifunções e fontes de água multivariadas (HOFFMANN *et al.*, 2020). Estas estratégias buscam apoiar e suplementar o SUAA convencional, especialmente aqueles que vivenciam crises hídricas recorrentes. Isso significa que o fato de cada infraestrutura ser projetada para um único propósito resulta em oportunidades desperdiçadas para uma gestão sustentável e ecológica da água urbana (LUTHY *et al.*, 2019). Neste sentido, é necessário reconhecer a necessidade de transições e redimensionamentos dos SUAA para que evoluam em direção à sustentabilidade, como discutido nas alíneas seguintes.

Os conceitos sobre sustentabilidade são abrangentes e, muitas vezes, subjetivos, em razão dos múltiplos contextos que os envolvem. Em síntese, sustentabilidade é definida como a capacidade de manter um mencionado nível atual no futuro (TYLER e MOENCH, 2012; WOLFRAM *et al.*, 2019). Desde da

publicação do relatório sobre desenvolvimento sustentável da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED) em 1987, o conceito de sustentabilidade tem sido amplamente aplicado a projetos de engenharia (LEIGH e LEE, 2019). Neste sentido, este estudo é guiado pela proposição de que a forma como as funções do sistema são planejadas e realizadas determina sua sustentabilidade. Esta tese se concentra na abordagem sobre estratégias de gestão como um conjunto de opções rumo à sustentabilidade dos SUAA.

Nomeadamente, em Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água a sustentabilidade refere-se ao enfrentamento dos impactos locais e globais e à viabilidade de longo prazo dos serviços do sistema (KRUEGER; RAO e BORCHARDT, 2019). A bibliografia especializada evidencia que os conceitos sobre sustentabilidade estão entrelaçados com aqueles sobre segurança hídrica (HOEKSTRA *et al.*, 2018) e resiliência no contexto das cidades sustentáveis (WHITNEY *et al.*, 2017) e são definidos como alvos para os esforços de gestão estratégica dos serviços de água.

Um sistema resiliente é aquele capaz de absorver altos níveis de perturbações, manter suas funções essenciais, adaptar-se a mudanças externas e evoluir para níveis desejáveis de maneira que seus componentes rapidamente se recuperam após falhas (AROUA, 2016; FOLKE *et al.*, 2010; LEIGH e LEE, 2019; RODINA, 2018; WOLFRAM *et al.*, 2019). Em outras palavras, são sistemas projetados para falhar com segurança, ao invés de serem à prova de falhas. Por consequência, a resiliência exige uma nova abordagem para a sustentabilidade. Os sistemas resilientes são mais estratégicos do que normativos e baseiam-se nas dinâmicas ambientais, ecológicas e socioeconômicas de um lugar (AHERN, 2011). Portanto, são sistemas passíveis de contínuas mudanças e possuem, em seu eixo principal, características de flexibilidade e diversidade.

Neste contexto, a construção da capacidade de resiliência em uma cidade requer conhecimentos importantes, tais como: a identificação, intensidade e frequência dos eventos de perigo, o nível de perturbações nas infraestruturas e a construção de uma estrutura institucional para assegurar participação significativa das partes interessadas no planejamento e nas decisões (WONG e BROWN, 2009). Ahern (2011) discute cinco estratégias ou características de planejamento urbano para construir a capacidade de resiliência:

- Multifuncionalidade: caracteriza-se por fornecer múltiplas funções a um determinado sistema ambiental, através de processos de combinação e associação, resultando em multiplicidade de respostas. Exemplos incluem o programa Green Streets em Portland, Oregon, Estados Unidos (EVERETT *et al.*, 2018); e o programa de zonas úmidas de águas pluviais urbanas em Berlim, Alemanha (NICKEL *et al.*, 2014).
- Redundância: qualifica-se por promover a inserção de componentes em um determinado sistema ambiental com funções iguais ou semelhantes ao longo do tempo e/ou do espaço. Exemplos incluem a exploração de sistemas de esgotos e sistemas de águas pluviais baseados no local, como no programa Green Alley em Chicago, Estados Unidos (NEWELL *et al.*, 2013).
- Diversidade: distingue-se por contribuir para um sistema ambiental através da inserção de componentes que desempenham a mesma função com diferentes respostas a determinados perigos, pois quando um número maior de componentes desempenham uma função semelhante, os serviços ambientais fornecidos têm maior probabilidade de serem mantidos em uma faixa mais ampla de condições. Exemplos incluem as práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID), como pavimento permeável e biovaletas (BOUARAFA *et al.*, 2019).
- Conectividade: caracteriza-se por incluir nos sistemas ambientais a redundância de circuitos que mantêm conectividade funcional, mesmo após falhas. Notadamente, a conectividade é importante ao planejar funções que operam em várias escalas. Por exemplo, redes de drenagem urbana que se conectam a rios de primeira ordem não canalizados, que por sua vez, se conectam a rios de ordem superior. Em ambientes urbanos, a conectividade de sistemas construídos é geralmente robusta, mas os sistemas naturais, muitas vezes, são fragmentados. Um exemplo é o Staten Island Bluebelt que suporta a drenagem urbana e funções recreativas na cidade de Nova York (SMITH e RODRIGUEZ, 2017).

Existe uma diversidade de abordagens e, por conseguinte, de termos sobre sistemas resilientes, tais como aqueles relacionados a sistemas de engenharia que tendem a se referir a métricas de resiliência, tais como a confiabilidade (HASHIMOTO *et al.*, 1982); aqueles relacionados a sistemas socioecológicos focado no gerenciamento de recursos hídricos (CHESTERFIELD *et al.*, 2016); e

aqueles relacionados a sistemas hídricos urbanos integrados, como o *Design Urbano Sensível à Água (WSUD)* (LÄHDE *et al.*, 2019). Portanto, o campo de pesquisas que usam termos de resiliência no contexto de sistemas de água é bastante amplo e podem ser inseridos em diversos contextos de pesquisa sobre recursos ambientais urbanos.

2.1.1 Estrutura conceitual de um sistema urbano de água sustentável

Uma estrutura conceitual com as características de modelo que apoia a resiliência urbana, e por conseguinte, a sustentabilidade, está sinteticamente apresentada na Figura 1. No contexto de sistemas urbanos sustentáveis, a diversidade das infraestruturas é uma técnica importante. Notadamente, a diversidade espacial (AHERN, 2011), que implica na distribuição de ações, estratégias ou tecnologias nas múltiplas escalas urbanas, de modo que um evento adverso não afete todos os usuários.

Desta forma, são contextualizados diversos meios para inserir nos SUAA a técnica da diversidade, dentre os quais, pode-se citar um portfólio amplo de fontes de água locais (*in situ*) (SAPKOTA *et al.*, 2015). Esta diversidade de fontes busca reduzir o risco de escassez hídrica urbana, diminuir a demanda por água potável e aumentar a segurança hídrica.

Figura 1 - Estrutura conceitual para um sistema urbano de abastecimento de água sustentável.



Fonte: Leigh e Lee (2019).

Esta flexibilidade permite múltiplos caminhos para atender a demanda com maior segurança. Soluções baseadas no local (MO *et al.*, 2018), com dimensões menores, com baixo custo de implantação e localizados em pontos estratégicos podem ser boas estratégias para suplementar os SUAA, diminuindo o uso da água potável vindo de longe a altos custos.

Dentro de um panorama mais prático, estudos têm avançado no campo de identificar experiências para tornar os SUAA mais resilientes e sustentáveis (MISHRA *et al.*, 2020). Estes estudos apontam a captação de águas pluviais e de águas cinzas para usos locais potáveis e não potáveis (CHEN; NGO e GUO, 2013). Estas pesquisas mostram que a viabilidade para o adequado tratamento destas águas, a fim de atender os critérios de potabilidade, é o desafio das pesquisas futuras. No entanto, a redução da demanda de água potável, a melhoria da poluição e a redução de alagamentos são campos de pesquisas que se relacionam com a sustentabilidade dos Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água (SUAA). Desta forma a integração do SUAA com os demais sistemas de água compõem um portfólio de estratégias para definir um sistema como resiliente.

Nesta busca por resiliência em seus SUAA através da integração dos demais fluxos de água, cidades em todo o mundo, em especial nas regiões que sofrem com crises hídrica recorrentes, têm reunido esforços para criar e implementar um modelo de gestão sustentável dos SUAA, como descrito a seguir.

2.1.2 Cidades Sensíveis à Água: um modelo de gestão para a sustentabilidade contemporâneo

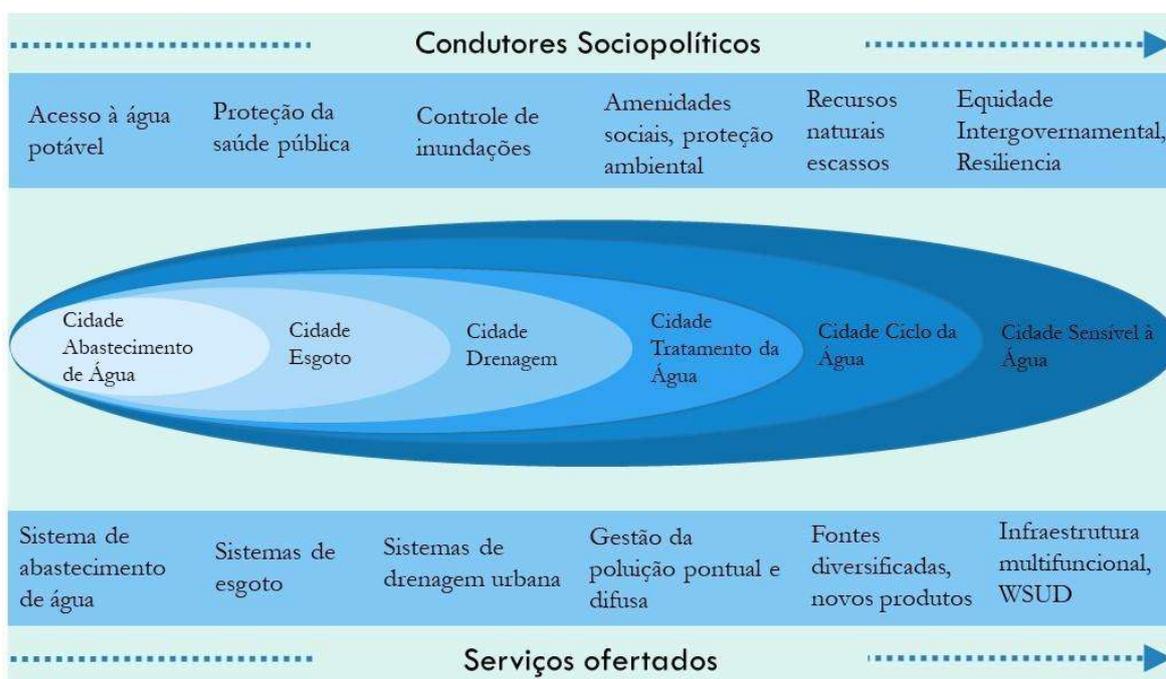
A principal premissa da gestão das águas nas cidades na atualidade é a migração de um modelo centralizado para um modelo flexível, descentralizado. Estudos contemporâneos demonstram que as pesquisas têm migrado de uma abordagem convencional sobre as águas urbanas para uma abordagem mais 'sensível à água', da Bibliografia Internacional, Water Sensitive City ou Water Wise City. São propostos três pilares fundamentais que sustentam o desenvolvimento e a prática de uma Cidade Sensível à Água (BROWN; KEATH e WONG, 2009):

- Acesso a uma diversidade de recursos hídricos com fontes sustentadas por uma diversidade de infraestruturas centralizada e descentralizada;
- Prestação de serviços ecossistêmicos para o ambiente construído e natural;

- Emprego de capital sociopolítico para a sustentabilidade e comportamentos sensíveis à água.

O modelo que rege a estrutura de transição para uma Cidade Sensível à Água possui seis estados distintos que irão sendo somados à medida que ações e estratégias são implementadas para o gerenciamento das águas urbanas (Figura 2). Os Condutores Sociopolíticos, refletem mudanças nas dimensões normativa e reguladora; os Serviços Ofertados representam a resposta da aquisição do conhecimento ao longo do processo.

Figura 2 - Modelo de transição para cidades sensíveis à água.



Fontes: Brown, Keath e Wong (2009).

Estes autores afirmam que os três primeiros estados de transição, o estado 'Cidade Abastecimento de Água', o estado 'Cidade Esgoto' e o estado 'Cidade Drenagem', evoluíram a partir de pesquisas do passado; o estado 'Cidade Caminhos das Águas', também chamado de estado 'Cidade Tratamento das Águas' e parte do estado 'Cidade Ciclo da Água' estão evoluindo na fase atual de pesquisa. O restante do estado de transição 'Cidade Ciclo da Água' e o estado que compõe a meta final 'Cidade Sensível à Água' evoluirão a partir de pesquisas futuras.

Neste modelo, embora apresentado como um processo linear, as cidades podem mover-se de forma escalonada ou até mesmo transpor estados de transição.

Muitas cidades no mundo ainda se encontram nos estados do passado e ainda ofertam com deficiência os serviços básicos de água, como por exemplo, as cidades em países em desenvolvimento. Outras, mesmo diante de diversos desafios, assumiram a visão WSUD e buscam incorporar atributos para alcançar a meta de uma Cidade Sensível à Água, especialmente em seus processos de planejamento. São os casos das cidades de Adelaide, Perth, Melbourne e Sydney na Austrália; Wellington na Nova Zelândia; Los Angeles e Portland nos Estados Unidos; cidades do Reino Unido na Europa; Hong Kong na China; e Singapura.

As primeiras pesquisas que deram origem a este conceito foram desenvolvidas na década de 1990 na Austrália (FLETCHER *et al.*, 2015). Estes estudos desenvolveram conceitos como *Design Urbano Sensível à Água* (WSUD) que se baseia na Gestão Integrada das Águas Urbanas (IUWM). Esses conhecimentos evoluíram para o conceito de Cidade Sensível à Água.

Os conceitos de WSUD foram aprofundados como uma abordagem filosófica do planejamento e *design* urbanos que visam minimizar os impactos hidrológicos do desenvolvimento urbano sobre o meio ambiente. O WSUD aborda uma visão ampla sobre o ciclo da água urbano ao considerar a totalidade de suas partes constituintes e seus múltiplos objetivos: saúde pública, proteção contra inundações, suplementação de abastecimento de água, economia de energia, equidade e sustentabilidade.

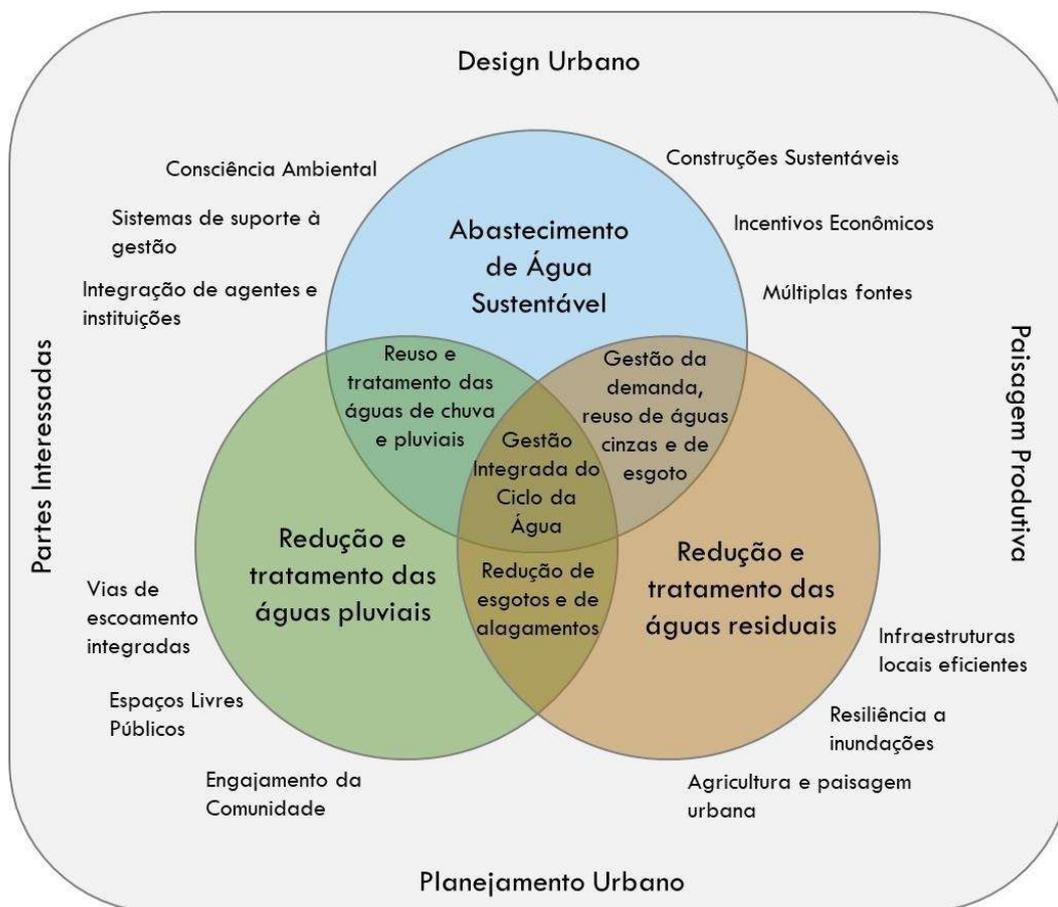
A visão do passado fragmentada, em que os componentes dos sistemas urbanos de água eram separados, passa a ser desconsiderada. A Figura 3 mostra os componentes do desenho urbano sensível à água e suas interações (ASHLEY *et al.*, 2013).

Três princípios relevantes da prática do WSUD e que podem ser adotados, dependendo do contexto específico de cada cidade, comum na maioria dos estudos e que revelam sua natureza multifuncional são (BACH; MCCARTHY; DELETIC, 2015; LÄHDE *et al.*, 2019; SITZENFREI; MÖDERL; RAUCH, 2013):

- Gerenciar a água de forma integrada no ciclo hidrológico urbano através de uma visão holística;
- Explorar oportunidades de uso locais das águas em diferentes escalas relevantes;

- Maximizar a integração dos agentes envolvidos nas diferentes funções urbanas, partes interessadas e níveis de governo, e facilitar o envolvimento da comunidade.

Figura 3 - Componentes do WSUD e suas interações com os SUAA.



Fonte: Ashley (2013).

As infraestruturas que podem contribuir para aumentar a sustentabilidade nas cidades, associadas à visão WSUD, são: os SUDS - Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável, os LID - Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto e as BMPs - Melhores Práticas de Gestão.

Estas denominações são sobrepostas e se confundem em termos de terminologias. Estudos classificam as infraestruturas em WSUD, LID, SUDS e BMP (FLETCHER *et al.*, 2015). No entanto, entende-se que SUDS e LID estão incluídas no conceito mais amplo do WSUD com a finalidade de alcançar o objetivo da Cidade Sensível à Água. Outra terminologia que está inserida no campo de pesquisa de cidades sustentáveis são as Infraestruturas Verdes (GI) (FLUHRER *et al.*, 2021). Um breve conceito esclarece que a infraestrutura verde é uma rede de espaços

verdes que conservam os valores e funções do ecossistema natural urbano e fornece benefícios às populações humanas. Incluem a rede de cursos d'água, pântanos, vias verdes, parques e florestas e outros espaços abertos urbanos que mantêm processos ecológicos, sustentam recursos hídricos e contribuem para a saúde e qualidade de vida das comunidades.

Os Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (do inglês, *Sustainable Urban Drainage Systems* - SUDS) são sistemas descentralizados voltados predominantemente para o tratamento das águas pluviais, baseados na filosofia de replicar o mais próximo possível da drenagem natural pré-desenvolvimento de um local (GIMENEZ-MARANGES; BREUSTE e HOF, 2020). São geralmente usados para tratamento de águas pluviais próximo à fonte que deu origem, antes de chegar a jusante ou antes que ocorra infiltração no lençol freático.

Um manual SUDS (CIRIA, 2015) é um conjunto importante de documentos de orientação de *design* para países da Europa que pode fornecer um guia de apoio abrangente sobre a implementação do SUDS em outros países. A multifuncionalidade dos SUDS baseia-se na existência simultânea de quatro critérios: controle de qualidade, controle de quantidade, biodiversidade e amenidade. Os estudos sobre SUDS não os caracterizam como uma estratégia para suplementação de Sistemas de Abastecimento de Água, exceto pela capacidade de infiltração controlada do lençol freático; contudo, tem sido citado aqui como uma possibilidade de avaliar sua relação com os SUAA já que está inserido na abordagem integrada das águas urbanas.

LID referem-se a práticas de projetos locais que reduzem os impactos do escoamento das águas de chuva e têm como objetivo imitar a função hidrológica natural do ambiente pré-urbanização (BAI *et al.*, 2018). A prática inovadora do LID é considerada promissora para melhorar a qualidade das águas pluviais, reduzindo a concentração de poluentes transportados e os volumes escoados. A intenção original do LID era conseguir uma hidrologia natural usando o *layout* do local e medidas de controle integradas com o uso de dispositivos de menor porte localizados próximos às fontes de escoamento, como os sistemas de biorretenção e telhados verdes (FLETCHER *et al.*, 2015).

O uso de tecnologias LID se desenvolveu em diversas regiões do mundo, como Austrália, Estados Unidos e Nova Zelândia (DAVIS *et al.*, 2012; JOHNSON e HUNT, 2019; LIU *et al.*, 2014) e, mais recentemente, Canadá (ISHAQ *et al.*, 2019) e China (ZHANG e ZHANG, 2019). As práticas LID vêm sendo implementadas nas

idades mesmo com a tendência emergente de expansão urbana, fato que sugere que as cidades podem se desenvolver associadas a práticas sustentáveis de uso da água.

As práticas LID parecem estar mais voltadas para a gestão das águas pluviais e para funções paisagísticas; no entanto, deve-se considerar sua utilização para múltiplos fins, próprios da proposta de integrar o ciclo hidrológico urbano. Neste contexto, como uma maneira de exemplificar as tecnologias LID pensando no ciclo urbano da água, pode-se citar: para fins de infiltração, representando o solo, os pisos permeáveis e a arborização urbana; para fins de coleta, representando as depressões naturais, as biovaletas; e, para fins de armazenamento, representando os lagos, as cisternas e as bacias de retenção. Especificamente nesta tese, destacam-se especialmente as estratégias ou infraestruturas de armazenamento de água para fins de suplementação do abastecimento de água.

As Melhores Práticas de Gestão (BMP, do inglês *Best Management Practices*) abrangem medidas que possuem atributos não estruturais, de ordem operacional ou regulatória, e atributos estruturais, de ordem mais construtiva e de engenharia (ISHAQ *et al.*, 2019). A Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos Estados Unidos possui um extenso portfólio de estudos sobre a diversidade de estratégias envolvendo BMP que incluem proibições construtivas, procedimentos de manutenção, requisitos de tratamento e procedimentos operacionais para controlar o escoamento.

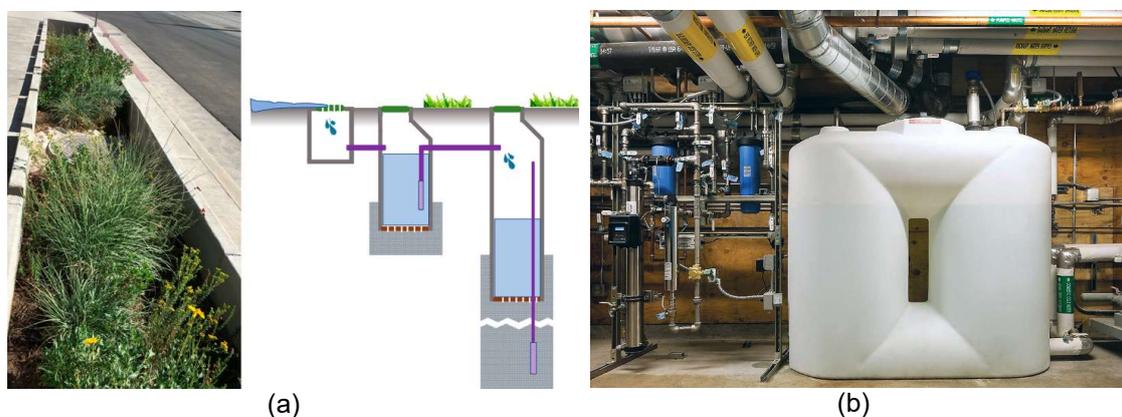
Diferentemente das LID, BMP nem sempre são desenvolvidas no local, e se caracterizam por serem práticas de engenharia individuais. Em relação aos SUAA, entende-se que fazem parte das BMP, as práticas relacionadas à minimização de vazamentos na rede de abastecimento de água convencional, bem como aquelas que podem tornar obrigatório o reúso de águas cinzas em edifícios em construção e/ou o emprego obrigatório de SUDS em novos empreendimentos comerciais e industriais.

Comumente, as práticas SUDS, LID e BMP se complementam pelas características múltiplas que as mesmas possuem, tais como as múltiplas finalidades e escalas. Mesmo que a maioria das tecnologias seja projetada para cumprir uma função principal dentro do sistema urbano, elas automaticamente cumprem várias outras. As práticas que estão mais associadas à suplementação do abastecimento de água de uma cidade são o foco deste estudo, muito embora, a

redução da poluição e dos alagamentos, bem como melhorias na paisagem urbana automaticamente são incorporadas.

A Figura 4 mostra dois exemplos de infraestruturas descentralizadas com o objetivo principal de suplementação do abastecimento de água para uma reflexão sobre estratégias em multiescala: a Figura 4a é um caso em escala de bairro; trata-se de um sistema que permite a captação de água através de jardins de chuva e cisternas; enquanto que a Figura 4b é um sistema na escala de um edifício, que permite a coleta e o tratamento de água pluvial para uso potável e águas cinzas para uso não potáveis.

Figura 4 - Estratégias WSUD como exemplo em multiescalas.



Fonte: Luthy *et al.* (2019).

Fonte: Oppetheimer *et al.* (2017).

Entende-se, portanto, que o uso das diversas tecnologias WSUD podem ser um aporte emergente importante para melhorar a segurança hídrica urbana inseridos na perspectiva do estado “Cidades Sensíveis à Água” através de novos serviços e produtos que envolvem tecnologias descentralizadas, tais como o reuso de águas residuais e pluviais para suplementar o abastecimento de água, ao mesmo tempo que melhora as condições ambientais e a paisagem urbana.

2.2 Sistemas Urbanos Sustentáveis de Abastecimento de Água

A sustentabilidade dos Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água é primordial para atender à crescente demanda por água potável das cidades. A escassez hídrica associado a eventos climáticos, os altos custos associados com a substituição de infraestruturas antigas motivaram a reconsideração do paradigma

centralizado *take* (coletar), *make* (utilizar) e *waste* (descartar) (NGUYEN *et al.*, 2018) que está no cerne de muitos sistemas de água.

No ciclo hidrológico urbano, a chuva se transforma em água pluvial, que pode se infiltrar para o lençol subterrâneo ou se tornar escoamento superficial; uma vez que a água captada nas fontes de água centralizadas, é usada em residências, comércios e indústrias, em seguida é descartada como água residual, tratada e lançada nos rios e oceanos. Um modelo de gestão de águas urbanas identifica projetos, programas e políticas para promover oportunidades de utilização das águas originadas nas cidades. De forma generalizada, as principais iniciativas para gerenciar o ciclo da água urbana incluem (MO *et al.*, 2018):

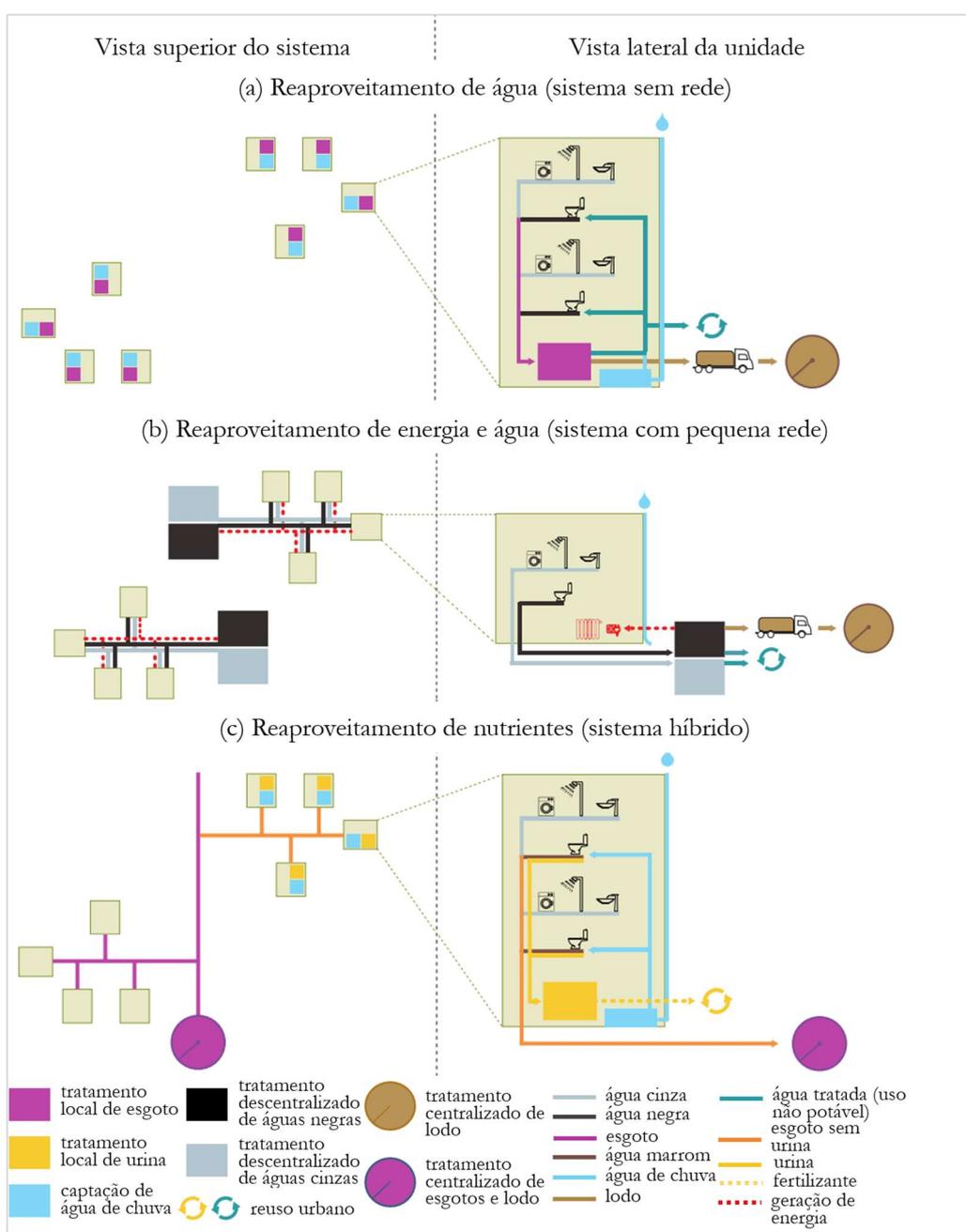
- Aumentar a captação, o tratamento e a reutilização de águas pluviais a nível residencial e urbano;
- Aumentar o uso das bacias subterrâneas para armazenamento através de projetos de recarga, quando couber;
- Expandir o uso de água reciclada em comércios, indústrias e irrigação da paisagem, tais como os espaços livres públicos;
- Explorar opções de utilização de águas residuais tratadas em estações de tratamento;
- Equilibrar as necessidades de abastecimento de água da cidade com as necessidades ambientais, como preservar os ecossistemas;
- Promover programas e projetos de infraestrutura para todas estas finalidades, acima citadas.

Estas iniciativas emergiram da necessidade de aproveitar as diversas formas de água no espaço urbano. Sistemas alternativos de água diminuem o uso de água potável, melhoram a paisagem urbana e mudam a visão dos habitantes da cidade sobre a água. As águas poderão ser observadas no cotidiano das pessoas através do contato que as tecnologias WSUD oferecem; elas podem começar a enxergar a importância da água para as cidades, possibilitando um maior reconhecimento da sua multirrelevância, e não somente como uma oferta de serviço, através de uma infraestrutura invisível, que simplesmente surge em suas torneiras para logo depois ser descartada.

2.2.1 Integração de sistemas de infraestrutura de água

Um novo paradigma para promover a segurança hídrica urbana envolve a captação, o tratamento e a reutilização de águas residuais e pluviais nas cidades. Este novo paradigma está associado a novos modelos de infraestruturas e suas respectivas interações Figura 5. Uma nova agenda de pesquisas futuras explora soluções baseadas em infraestrutura sem rede (Figura 5a), com pequenas redes (Figura 5b) e híbridas (Figura 5c) (HOFFMANN *et al.*, 2020).

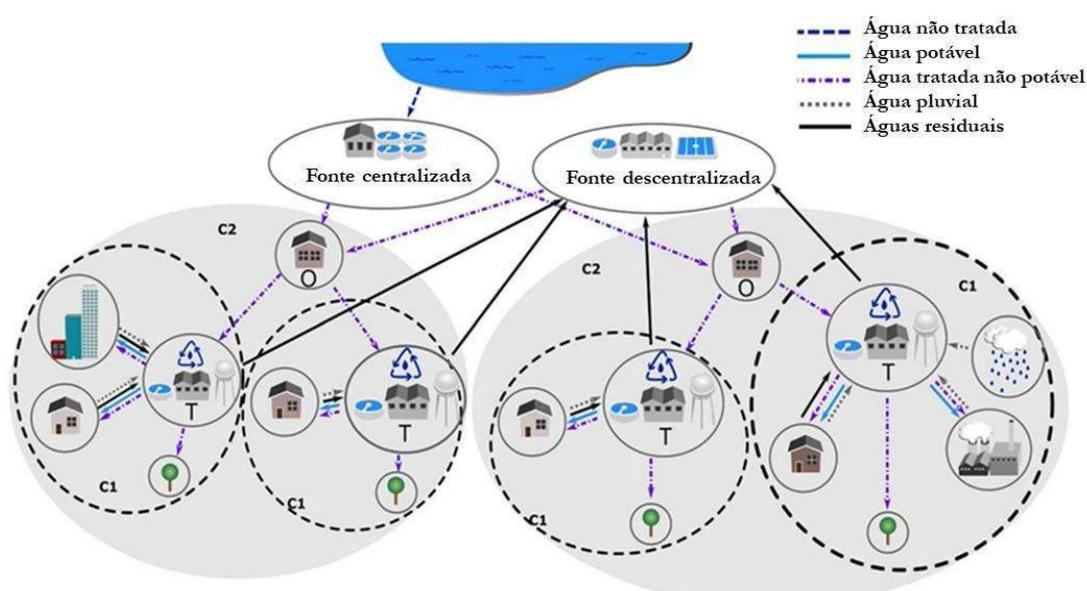
Figura 5 - Visualização esquemática de novos modelos de infraestrutura urbana de água.



Fonte: Hoffmann *et al.* (2020).

Os sistemas híbridos de água (Figura 6) são compostos por infraestruturas centralizada e descentralizada e instalações de tratamento adequadas ao uso (*fit-for-purpose*). As fontes descentralizadas, também denominadas de alternativas, incluem captação de águas pluviais e cinzas em pequenas escalas (LÄHDE et al., 2019). Fontes descentralizadas estão sendo examinadas por diversos estudos para uso como fontes de abastecimento de água potável, bem como para aplicações não potáveis (BURSZTA-ADAMIAK e SPYCHALSKI, 2020) as quais ajudam a compensar a demanda de água potável.

Figura 6 - Representação de um sistema híbrido de abastecimento de água.



Fonte: Zodrow et al. (2017).

No caso apresentado na Figura 6, cada instalação distribuída de tratamento e reutilização ("T") fornece água separadamente para usos potáveis e não potáveis. Observa-se que o modelo apresentado pode representar o sistema em cenários variáveis. No cenário de configuração mais complexa, todos os componentes do sistema são representados como nós individuais, incluindo todos os usuários finais. No cenário com uma configuração menos complexa, pode-se agrupar os usuários e suas instalações de tratamento local em um nó, representado pelas áreas de nível 1 (C1) nos círculos pretos tracejados. Por fim, em um cenário com uma configuração mais simples, pode-se combinar várias áreas de nível 1 em um nó, que corresponde as áreas de nível 2 (C2), representadas pelos círculos cinzentos preenchidos.

As vantagens dos sistemas descentralizados, para além da suplementação do abastecimento de água são (HUANG et al., 2013):

- Aumento da resiliência da infraestrutura de água, ou seja, a capacidade de se recuperar de danos ou interrupções: uma pane de uma instalação de tratamento descentralizada afetaria apenas um pequeno número de usuários;
- Proteção ambiental: a redução da descarga de contaminantes por meio do tratamento aprimorado de águas residuais e pluviais reduz os riscos ao meio ambiente e protege os ecossistemas a jusante;
- Aumentar a capacidade da infraestrutura hídrica centralizada: as instalações de tratamento adaptadas à finalidade (*fit-for-purpose*) seriam conectadas a uma rede hídrica urbana existente em locais mais próximos dos usuários finais que reduziria a distância e os requisitos de energia associados ao transporte de água;
- Redução de custos: o tratamento de água seria destinado a níveis de qualidade específicos, como por exemplo, resfriamento em indústrias e irrigação da paisagem não exigem padrões de água potável.

Os sistemas híbridos possuem a desvantagem de duplicação de redes. No entanto, pesquisas apontam esses sistemas como grande avanço para soluções de restrição hídrica e proteção ambiental (FURLONG *et al.*, 2019; ZHOU *et al.*, 2021). Em um futuro próximo, a demanda urbana de água deverá ser redimensionada para atender diferentes usos e requisitos de qualidade, bem como, as infraestruturas possuirão diferentes arranjos.

2.2.2 *Integração de agentes e instituições: as partes interessadas*

A implementação bem-sucedida de sistemas descentralizados de água requer a integração efetiva de diversos entes, chamados de partes interessadas. Define-se como parte interessada, indivíduos ou grupos que possam afetar a implementação de planos de gestão (SCOTT-BOTTOMS e ROE, 2020). Portanto, as partes interessadas são relevantes para projetos em diversas escalas e podem incluir residentes, proprietários de empresas, funcionários e organizações. Mudanças na infraestrutura incluem não apenas as inovações tecnológicas que trazem eficiência aos sistemas de tratamento e distribuição de água, mas também as relações socioeconômicas, políticas e culturais que impedem ou corroboram

para tais mudanças (KIPARSKY *et al.*, 2013). Desta forma, um plano de gestão orientado à resiliência requer a integração e o engajamento de sistemas, agentes e instituições.

A Figura 7 identifica como as partes interessadas influenciam em todas as múltiplas etapas de um modelo de gestão sustentável das águas urbanas. Incentivar o engajamento das partes interessadas possibilita a inovação nos Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água. Na ausência de integração das partes interessadas, as mudanças em relação a infraestruturas sustentáveis continuarão a ser um desafio (MARLOW *et al.*, 2013). A fragmentação das responsabilidades das instituições e o planejamento individual dos componentes do ciclo hidrológico urbano resultam em políticas limitadas para a gestão dos recursos hídricos urbanos.

Figura 7 - Relações entre as múltiplas etapas e as partes interessadas em um modelo de gestão das águas urbanas.



Fonte: NASEM (2019).

Diversos modelos trazem promessas de gestão que podem apoiar a mudança através de formulações de políticas em direção às estratégias de governança que tragam resultados desejáveis, tais como plataformas para apoio a planejadores, analistas de políticas e tomadores de decisão são disponibilizadas em Chesterfield *et al.* (2016).

2.2.3 Barreiras e avanços para a sustentabilidade

Apesar de seus benefícios, a adoção de sistemas descentralizados possui complexidades e desafios. Leigh e Lee (2019) levantaram avanços, bem como impedimentos na implementação das tecnologias sustentáveis para incorporar a infraestrutura hídrica descentralizada nas cidades, como se observa no Quadro 2.

Dentre os obstáculos e barreiras, a estrutura administrativa fragmentada possui alta influência. Portanto, a reorganização de funções e responsabilidades provavelmente será necessária e isto pode ser imperativo para os gestores públicos aceitarem ou não a adoção da tecnologia descentralizada. Estas barreiras político-institucionais estão associadas às necessárias mudanças à conjuntura sociotécnica dos sistemas de água atuais.

Quadro 2 - Síntese de avanços e obstáculos para os sistemas descentralizados de água.

Avanços e vantagens	Redução da retirada de água
	Capacidade de melhorar a equidade do serviço de água
	Diversificação de fontes de água
	Maior capacidade de alcance
	Recurso seguro contra falhas ou panes
	Menores investimentos de capital e cronograma de construção mais curto
	Adaptabilidade a contextos locais
	Exigência reduzida de energia
Obstáculos e barreiras	Apego a tecnologias comprovadas
	Estrutura administrativa de água fragmentada
	Falta de legislação, aceitação pública e engajamento da comunidade
	Preocupações sobre custo-benefício
	Complexidade na adoção e gerenciamento de sistemas

Fonte: Leigh e Lee (2019).

Johns (2019) discute os motivos pelos quais as mudanças em relação a infraestruturas sustentáveis continuarão a ser um desafio, a menos que mudanças políticas e institucionais significativas sejam promovidas. É notório que tecnologias descentralizadas envolvem multiplicidade institucional. Os órgãos municipais precisarão se engajar entre si, e com órgãos estaduais. Assim, pode haver relutância por parte dos agentes para uma nova organização. Um exemplo de engajamento dos órgãos, dos setores e da comunidade em geral pode ser percebido na experiência da cidade de Los Angeles através do programa Water LA, discutido anteriormente.

Pesquisas recentes que analisaram respostas do público à reutilização de água (MOYA-FERNÁNDEZ *et al.*, 2021), constataram que há uma consciência de que águas residuárias já está presente no abastecimento de água em várias cidades do mundo. Projetos de sucesso, por exemplo, os de Singapura, fornecem evidências de que campanhas educativas bem planejadas podem efetivamente gerenciar as preocupações da comunidade.

Os custos associados aos sistemas descentralizados é outro fator limitante (LEIGH e LEE, 2019). Os agentes públicos podem ignorar muitos benefícios sociais e ambientais dos sistemas hídricos descentralizados nos casos em que os custos de implementação sejam altos, ou que ainda comprometam à estabilidade financeira das empresas de água. Estudos como os de Cooley, Phurisamban e Gleick (2019) concluíram que, embora estas ações descentralizadas possam ser dispendiosas, o custo é menor do que ampliação dos projetos de abastecimento de água tradicionais. Seus estudos para a Califórnia mostram as seguintes estimativas: para captação e reutilização de águas pluviais: o custo total médio de pequenos projetos vale US\$ 1,23/m³; para projetos de grande porte vale em média US\$0,48/m³; para reciclagem e reutilização de água incluindo transporte e tratamento, os custos de pequenos projetos valem em média de US\$ 1,881,50/m³; já para projetos maiores, o custo médio estimado foi de US\$ 1,43/m³. Neste último caso, a energia é a maior despesa, perfazendo 30% a 55% dos custos totais.

Incentivos com pegada ecológica, a exemplo do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) ou Ecosistêmicos, podem apoiar barreiras em relação aos custos. PSA são instrumentos financeiros que surgiram como um conceito para recompensar e encorajar a quem executa boas práticas ambientais (RICHARDS e THOMPSON, 2019). No Brasil, existe um Projeto de Lei nº 792/2007, que estabelece a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) que se encontra em fase de tramitação na Câmara dos Deputados. Este fato evidencia que incentivos financeiros para práticas sustentáveis ainda se encontram pouco explorados no país.

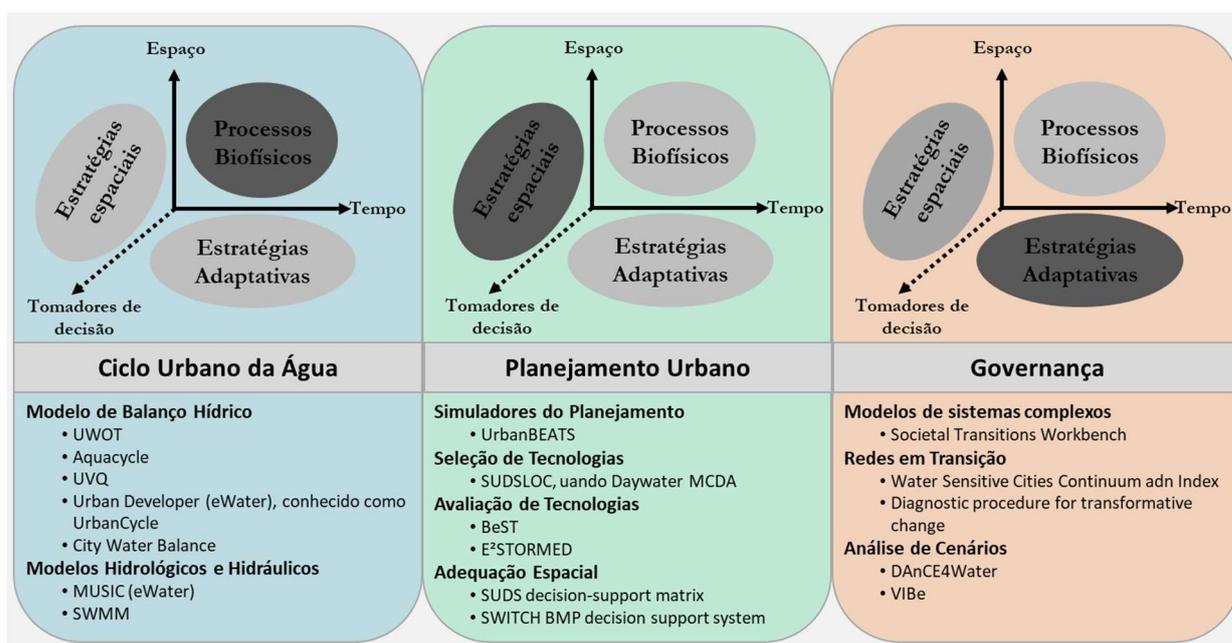
2.3 Sistemas de Apoio à Gestão dos SUAA

Um levantamento exaustivo realizado por Kuller *et al.* (2017) sobre diversos modelos e ferramentas específicos para apoiar o gerenciamento de águas urbanas

pode ser sinteticamente observado na Figura 8. Esses modelos foram organizados utilizando três planos temáticos assim denominados:

- Processos biofísicos, como parte do ciclo urbano da água;
- Estratégias espaciais, como parte da forma urbana;
- Estratégias adaptativas, como parte da governança da água.

Figura 8 - Tipologias de modelos e ferramentas apoiadores para gerenciamento das águas urbanas.



Fonte: KULLER *et al.* (2017).

Na parte que cabe ao ciclo da água estão os modelos de balanço hídrico e os modelos hidrológicos e hidráulicos. Simulações de planejamento, seleção e avaliação das tecnologias e a avaliação da adequação espacial fazem parte das estratégias espaciais. Modelos de sistemas complexos, redes de transição e análise de cenários englobam as estratégias adaptativas de governança.

Com relação às estratégias de decisões espaciais, entende-se que os Sistemas de Informação Geográfica (GIS) são parte imprescindível para este fim. A combinação GIS-MCDA (Sistemas de Informações Geográficas baseado em Análise de Decisão Multicritério) (ALVARADO *et al.*, 2016; DIAZ-BALTEIRO; GONZÁLEZ-PACHÓN e ROMERO, 2017; GREENE *et al.*, 2011) possibilita solucionar diferentes tipos de problemas que envolvem dados espaciais. Por este motivo, há uma elevada dependência dos GIS neste tipo de estudo, os quais

possuem, dentre outros, recursos de gerenciamento e visualização das informações e de análises e inferências espaciais, tais como modelagem numérica do terreno (GRAYSON; LADSON e MOORE, 1991); técnicas de análise espacial, como álgebra de mapas, utilização de funções *fuzzy* (BURROUGH *et al.*, 2015), entre outras.

GIS-MCDA é amplamente utilizado em recursos hídricos, pois, possibilita, dentre outros, a simplificação de situações complexas e o uso de múltiplas variáveis, a exemplo dos estudos sobre sustentabilidade em sistemas urbanos de abastecimento de água (ALVARADO *et al.*, 2016). Um dos mais populares métodos utilizados no contexto de tomada de decisão é o denominado AHP, Analytic Hierarchy Process (SAATY, 2008), que consiste em comparar critérios em pares, resultando em uma matriz quadrada e simétrica com dimensão correspondente ao número de critérios. É um método bastante intuitivo e de fácil execução utilizado em uma extensa variedade de situações para tomada de decisões em todo o mundo (AKSHA *et al.*, 2020; GIGOVIĆ *et al.*, 2017), mas que exige um conhecimento profundo da importância dos critérios já que a definição e ponderação dos mesmos envolvem conhecimento especializado e consequente subjetividade.

Comumente, as práticas descentralizadas de abastecimento de água se entrelaçam pelas características multiparâmetros que as mesmas possuem. Portanto, a seleção, a alocação e o projeto devem ser pensados seguindo um modelo de gestão bem estabelecido. Dada a quantidade de recomendações e restrições envolvidas neste processo, a alocação espacial dessas práticas tornou-se importante e deve ser seriamente considerada durante o planejamento. Tal alocação pode ser beneficiada utilizando a integração GIS-MCDA (JIMÉNEZ ARIZA *et al.*, 2019).

Na alocação das práticas descentralizadas de abastecimento de água, deve-se considerar a integração destas com a paisagem urbana. Enquanto a localização das infraestruturas descentralizadas afeta o seu funcionamento, a infraestrutura em si mesma afeta a função e a qualidade de seu entorno. Portanto, a adequação de um local para a implementação de medidas descentralizadas deve-se avaliar dois aspectos importantes: as necessidades da infraestrutura, ou seja, o que as tecnologias precisam para um ótimo funcionamento; e as necessidades do entorno, ou seja, quais locais precisam realmente receber estes benefícios (KULLER *et al.*, 2017).

Para captar águas pluviais, por exemplo, os lugares mais apropriados para instalação de tecnologias podem ser aqueles mais susceptíveis a alagamentos; para potencializar o uso da irrigação da paisagem, os lugares mais apropriados para implementar cisternas podem ser praças e parques; para mitigar o abastecimento intermitente de água, os bairros mais susceptíveis poderão ser fortes candidatos para implementação de medidas descentralizadas; para reuso de águas cinzas, os edifícios em fase de projeto poderão ser boas propostas para inserção desta técnica. Os vazios urbanos e os espaços livres públicos podem ser áreas propícias para uma avaliação inicial da alocação destas infraestruturas descentralizadas. Enfatiza-se que toda esta avaliação espacial possui uma elevada dependência dos GIS e seus respectivos recursos de gerenciamento e visualização das informações e de análises e inferências espaciais.

2.4 Em busca de sustentabilidade para SUAA: experiências internacionais

A seguir são descritos casos de cidades que possuem estudos, planos e ações que abordam Sistemas Urbanos de Água Sustentáveis e Resilientes. Todos esses lugares possuem a escassez hídrica como fator impulsionador para implementar técnicas e tecnologias resilientes em seus sistemas urbanos de água. Dada a variedade de condições climáticas, geográficas e socioeconômicas, as cidades possuem diferentes desafios e respondem de maneira diferente à escassez hídrica e, conseqüentemente, às estratégias que compõem o modelo de gestão urbana da água.

Dentre as cidades e países que têm se tornado referências nos modelos de gestão de água mais sustentáveis e resilientes, podem-se citar, dentre outros: Los Angeles nos Estados Unidos, Adelaide na Austrália e a cidade-estado de Singapura (Figura 9).

2.4.1 *Los Angeles*

Localizada em uma região semiárida, a cidade de Los Angeles, Califórnia, importa água de centenas de quilômetros para atender às necessidades de abastecimento urbano.

Figura 9 - Localidades globais mais citadas como referência em sistemas urbanos de água sustentáveis.



Fonte: elaboração própria (2020).

Em números, em todo o condado de Los Angeles em 2015, foram 10,5 milhões de pessoas que usaram aproximadamente 810 milhões de metros cúbicos de água (PINCETL *et al.*, 2019). Estes números equivalem a uma demanda per capita de 211 L/hab.dia. Uma infraestrutura física e institucional atende aproximadamente 50% desta demanda através de água importada de três fontes principais: os reservatórios da bacia do rio Colorado; o Projeto de Água do Estado da Califórnia (SWP) que traz água das montanhas no norte da Califórnia e o aqueduto de Los Angeles que leva a água do vale de Owens à cidade de Los Angeles. Neste contexto de altas demandas de água, importação em larga escala e mudanças climáticas, os gestores da cidade iniciaram um processo de análise do desenvolvimento de seus recursos de água locais para reduzir a dependência de água importada.

Para a cidade garantir a segurança futura de água, a Prefeitura começou a elaborar Planos de Gestão de Recursos Hídricos Integrados, a exemplo do atual plano denominado One Water LA, com horizonte de implementação até 2040. Trata-se de uma abordagem colaborativa para desenvolver uma estrutura integrada de gerenciamento de bacias hidrográficas, recursos hídricos e águas urbanas, envolvendo questões ambientais, econômicas e sociais. O plano propõe projetos, programas e políticas que produzirão abastecimento de água sustentável e de longo prazo para Los Angeles e proporcionarão maior resiliência às condições de seca e às mudanças climáticas (ONE WATER LA, 2018).

Uma rede de colaboradores e tomadores de decisão - incluindo agências, grupos consultivos e partes interessadas - elaboraram sete objetivos norteadores apoiados por 38 princípios orientadores. Dentre os objetivos, pode-se citar (ONE WATER LA, 2018):

- Integrar a gestão de recursos hídricos e políticas, aumentando a coordenação e a cooperação entre as instituições municipais, parceiros e partes interessadas;
- Melhorar a confiabilidade local do suprimento de água aumentando a captação de águas pluviais, conservando a água potável e expandindo a reutilização de água;
- Aumentar a resiliência climática, planejando estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas em todas as ações da cidade;
- Aumentar a conscientização e a defesa da comunidade por água sustentável por meio de engajamento ativo, alcance público e educação.

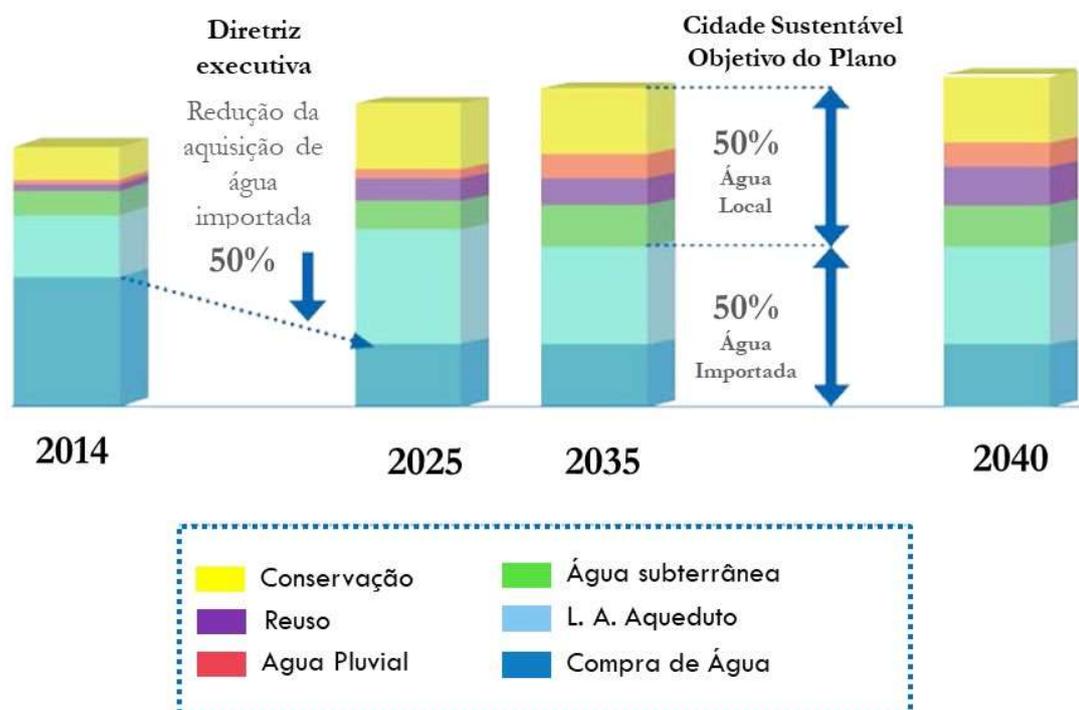
Dentre os diversos estudos e planos, o UWMP (*Urban Water Management Plan*) busca aumentar a suplementação do abastecimento urbano através de um portfólio de fontes descentralizadas, tais como: água subterrânea, água reciclada e água da chuva, aliados a programas de conservação de água em toda a cidade. São metas deste plano: reduzir a aquisição de água importada em 50% até 2025, captar 180 milhões de m³/ano de água pluvial até 2035 e aproveitar 50% da água local como fonte de abastecimento até 2035 (Figura 10).

Com a produção atual de cerca 79 milhões de m³/ano de águas pluviais, através das metas proposta no plano, a captação de águas pluviais da cidade aumentará para cerca de 180 milhões de m³/ano, ou seja, mais de duas vezes em relação ao valor atual. Considerando que as necessidades hídricas de Los Angeles são estimadas em cerca de 880 milhões de m³/ano em 2035, está claro que a captura de águas pluviais poderá desempenhar um papel importante na diversificação do abastecimento de água da cidade e na redução da necessidade de água importada (LUTHY *et al.*, 2019).

Em relação aos programas de conservação da água, estes incluem propostas, tais como: distribuição gratuita e descontos em aparelhos poupadores de água, incentivos para mecanismos comerciais e industriais eficientes em relação ao uso da água, apoio aos programas de conservação de água industriais e comerciais,

rodízio para regas de jardins, cursos e campanhas informativas sobre como utilizar a água de forma eficiente fomentando a consciência ambiental em todos os usuários da água.

Figura 10 - Proposta de um plano contemplando metas para a suplementação do abastecimento de água da cidade de Los Angeles.



Fonte: One Water LA (2018).

Um dos elementos primordiais do One Water LA é a ampla cooperação e colaboração em diferentes níveis institucionais. Um grupo de 500 representantes formam as partes interessadas que consistem em 200 organizações, incluindo conselhos de bairros, organizações sem fins lucrativos, associações empresariais de proprietários de residências, academia e outros. Aproximadamente 250 partes interessadas participam ativamente dos *workshops* e reuniões. Um grupo consultivo com 10 membros representa as partes interessadas com interação mais frequente e discussões mais profundas para orientar o desenvolvimento do plano.

Embora Los Angeles tenha sido usada aqui como exemplo, as cidades de Portland, no estado de Oregon, assim como cidades dos estados de Arizona e Texas são também casos de sucesso quando se trata de gestão das águas urbanas e a busca por sustentabilidade nos Sistemas de Abastecimento Urbanos de Água.

2.4.2 Adelaide

A Seca do Milênio (2001-2009) no sudeste da Austrália é considerada como a pior seca na região registrada com consequências para os ecossistemas, a economia e a sociedade (DIJK *et al.*, 2013). Este evento de seca fomentou ações e investimentos envolvendo o ciclo integrado da água urbana. O modelo 'Water Wise City' (Cidade Sensível à Água) foi criado neste contexto e incorporado aos planos de gestão urbana da água.

O conceito da Cidade Sensível à Água associada às inovações do WSUD é um objetivo declarado dos gestores públicos da Austrália, fortemente apoiados por uma série de instituições de pesquisa. O modelo consiste em enxergar a cidade em direção a um futuro mais sustentável em relação à água que perpassa por diversos estados de transição denominados de 'Cidades' até alcançar o estado de Cidade Sensível à Água (BROWN; KEATH e WONG, 2009).

Neste contexto, desde de 2009, o governo do Sul da Austrália tem somado esforços para alcançar metas relacionadas com a gestão das águas urbanas. Em 2010 foi publicado um plano de segurança, intitulado "*Water for Good*", com horizonte de tempo até 2050, o qual se fundamenta em quatro objetivos principais: gerir os recursos hídricos de forma integrada; mitigar de forma otimizada o risco de inundação; esclarecer papéis e responsabilidades, e promover o *design* urbano sensível à água. A grande região de Adelaide, capital do Estado da Austrália do Sul possui uma população estimada para 2019 de aproximadamente em 1.400.000 habitantes, de acordo com o Departamento de Estatística da Austrália (ABS). É a quinta cidade mais populosa da Austrália. Seus principais recursos hídricos são as águas importadas do rio Murray e da Bacia Hidrográfica da Cordilheira do Monte Lofty.

Diversas estratégias para incrementar as fontes de água existentes são discutidos no plano *Water for Good*. A nível local, incluindo os usos residencial, comercial, industrial e irrigação, o plano tem como meta para 2050 uma redução de 50 milhões de m³ por ano de água, conforme se observa nos dados da Tabela 1. Em relação às águas pluviais, as principais metas consistem em: (i) triplicar a quantidade de coleta de águas pluviais de 20 milhões m³/ano em 2013 para 60 milhões m³/ano em 2050, este aumento pode atender cerca de metade do crescimento na demanda de água futura para 2050; e (ii) manter o projeto de dessalinização como aporte para a segurança hídrica e incentivar a recarga

controlada de aquíferos com águas pluviais. Um terço da demanda de água potável pode ser atendida pela recarga controlada de aquíferos, compreendendo assim, uma redução de metade dos custos com dessalinização.

Tabela 1 - Meta de economia no uso de água potável para grupos de usuários na Grande Adelaide, até 2050.

USOS	Previsão de Uso (10 ⁶ m ³ /a)	Previsão de Economia (10 ⁶ m ³ /a)
Residencial Aparelhos eficientes, Rótulos de Eficiência (WELS - Water Efficiency Labelling and Standards Scheme) Regulamentos construtivos, Programas de paisagismo, Coberturas para piscinas, Educação.	242	35
Comercial e industrial Programas de gestão da água em empresas e Prédios públicos, Irrigação de Espaços Livres Públicos (IPOS), Gerenciamento de perdas por vazamentos	55	11
Agricultura Substituição de águas residuais	36	4
Total	333	50

Fonte: Water for good (2010).

A dessalinização da água do mar foi iniciada em Adelaide com capacidade de produção de 100 milhões de m³/ano para abastecimento de água potável. Durante a seca do Milênio, a dessalinização foi implementada muito rapidamente. No entanto, atualmente as estações são operadas com capacidade mínima para mantê-la em condições de funcionamento, como medida de segurança hídrica (WATER FOR GOOD, 2010).

Para os recursos de águas residuais, o plano prevê para 2025 obter uma capacidade de reciclar 50 milhões de m³/ano, para fins não potáveis. Para 2050 essa capacidade passará para 75 milhões de m³/ano. A exploração de esgotos proporciona uma oportunidade para reutilização de água, permitindo extração, tratamento e distribuição em locais específicos do sistema. As vantagens incluem: o tratamento e uso no local; oportunidade para irrigar espaços livres públicos, redução da dependência de água da rede importada e redução do lançamento no meio ambiente. A água deve ser monitorada regularmente para garantir às diretrizes de reutilização.

Os arranjos institucionais propostos no plano envolvem órgãos reguladores, órgãos executores da política e do planejamento das águas, órgãos prestadores dos Serviços (SA Water) e os órgãos de monitoramento de desempenho, como por exemplo, o conselho de clientes da SA Water. A SA Water é a instituição que gerencia os serviços de água. Além da gerência dos serviços de água, a SA Water também participa do apoio a educação de alunos das escolas. O centro de aprendizagem de água e o programa de educação escolar ajudam a educar os alunos sobre os problemas da água. Ressalta-se que o centro foi projetado para criar um espaço inspirador para aprender sobre a água e usa a mais recente tecnologia interativa. O objetivo é fornecer programas e eventos que ajudem a melhorar o conhecimento sobre a água da comunidade. O centro é um espaço multifuncional que incentiva todos os visitantes a aprender de uma forma divertida e interativa. Pode ser usado para seminários profissionais e apresentações na comunidade, até programas de educação escolar e exposições.

O plano ressalta a importância de atualizar os aspectos legais e institucionais com relação às novas estratégias em busca da Cidade Sensível à Água. Evidencia a forte relação entre a pesquisa e o desenvolvimento de novos meios em busca da segurança hídrica através da colaboração entre instituições governamentais e instituições de pesquisa.

Perth, Sydney e Melbourne também são exemplos de outras cidades australianas que buscam fazer a gestão das suas águas urbanas com base em um modelo sensível à água.

2.4.3 *Singapura*

Singapura é uma cidade-estado insular, situada no sudeste asiático, com uma área total de cerca de 719 km² e uma população total de 5,69 milhões de pessoas no ano de 2020, de acordo com o Departamento de Estatística de Singapura (www.singstat.gov.sg). Estas informações revelam uma elevada densidade populacional, da ordem de 7.914 hab/km². Além disso, 80% dos seus habitantes vivem em altos edifícios de alto padrão construtivo e apenas 6% residem em casas.

Os efeitos destes números populacionais resultam em grandes pressões sobre o uso do solo e suas bacias hidrográficas. A ausência de aquíferos naturais e com uma área limitada de bacias hidrográficas, ocorre uma extrema preocupação em

aproveitar todo o potencial hídrico disponível; dois terços da área de Singapura são usados para captação e gerenciamento das águas pluviais (WANG *et al.*, 2018). É uma cidade tropical que normalmente recebe chuvas abundantes ao longo do ano; contudo, embora sejam curtos, ocorrem períodos de escassez em razão de seca. Por exemplo, no ano de 2014, algumas áreas receberam menos de 1 mm de chuva (BUURMAN; MENS e DAHM, 2017).

Diante deste contexto, o governo de Singapura tem em prática um grande número de medidas estratégicas sustentáveis para a gestão das águas urbanas e, por conseguinte, para o abastecimento de água eficiente. Segundo o Departamento de Serviços Públicos (PUB), o abastecimento é diversificado e compreende quatro fontes: água importada, águas pluviais, águas residuais tratadas e água dessalinizada (PUB, 2014). A água importada soma 345,42 milhões de m³/ano através de um acordo com o governo da vizinha Johore, na Malásia, até o ano 2061.

As águas residuais são geridas através do programa denominado NEWater e somam 40% das demandas atuais de água. O principal usuário é a indústria, no entanto, em períodos de escassez pode atender a outros usos. O tratamento é realizado em três etapas: microfiltração, osmose reversa e desinfecção por ultravioleta. As metas propõem que, até 2060, o NEWater atenda 55% da demanda futura de água de Singapura (PUB, 2018).

A dessalinização faz parte do suprimento de água de Singapura desde 2005, quando a primeira usina de dessalinização, com capacidade para produzir 41,45 milhões de m³ por ano de água para consumo, foi construída. Atualmente, duas plantas de dessalinização com capacidade de 378.541 m³/dia atendem 25% (PUB, 2018).

A água da chuva é armazenada em dezessete reservatórios e pode render 685 milhões de m³ por ano. Após coletada, é transportada por tubulações, canais, rios e lagos para os referidos reservatórios de armazenamento; em seguida, tratada para atender aos critérios de potabilidade e múltiplos usos da cidade. Ressalta-se que a área das bacias de captação equivale a dois terços de toda a nação (PUB, 2018).

No passado, o Sistemas de Drenagem Urbana de Singapura eram centralizados, com tubulações enterradas. O Programa ABC Waters foi introduzido para transformar a paisagem da cidade e integrar os corpos de água de Singapura à vida cotidiana das pessoas. Córregos, rios e lagos foram restaurados e fazem parte da arquitetura da cidade. Práticas locais foram construídas em toda Singapura

para coletar e tratar o escoamento em seu ponto de origem em seus diversos parques e margens de vias (PUB, 2014). O Quadro 3 sintetiza informações sobre as múltiplas ações e seus resultados com relação a gestão das águas pluviais em Singapura e como estas potencializam o abastecimento de água local.

Quadro 3 - Práticas de gerenciamento de águas pluviais urbanas estruturais e não estruturais em Singapura e seu potencial para abastecimento de água.

Estratégias		Informações síntese	
Gestão de águas pluviais		Gestão holística de águas pluviais urbanas	
Alvos		Controle de inundação, recarga de chuva	
Práticas estruturais	não	Administração	Departamento de serviços públicos (PUB)
		Custo da água	US\$ 117,30 para consumo de 100 m ³ de água potável (período chuvoso).
	Outras práticas		US\$ 234,61 para consumo de 100 m ³ de água potável (período seco).
			Custo total de água potável 100 m ³ /PIB=117,30 / 85.700=US\$0,00137.
Práticas locais		Programa ABC Waters	Setores 3P (Popular, Privado, Público)
		Semana Internacional da Água de Singapura	
Práticas locais		Área de parques	5.375 ha
		Área de vegetação de <i>Skyrise</i>	60,0 ha
Práticas Transporte	de	Rios, canais, drenos e túneis de drenagem	Sungei Pandan Kechil, Canal Siglap, Canal Alexandra, Canal Stamford, Rio Kallang, Rio Geylang, Canal Bedok, Canal Bukit Timah (seção <i>upstream</i>) para Bukit Timah Primeiro Canal de desvio para Sungei Ulu Pandan
		Tubos e canais	8.000 km
Práticas de armazenamento	de	Detenção e retenção	Uma série de lagoas de coleta de águas pluviais
		Outras	Barragens e barreiras contra inundações
Desempenho de controle de inundações		As áreas propensas a inundações foram reduzidas de cerca de 3.200 ha nos anos 1970 para cerca de 32 ha em 2015.	
Recarga		Área de captação	479,3 km ²
		Volume de recarga anual	685,40 milhões de m ³
		Volume total anual de precipitação	1685 milhões de m ³
		Taxa de recarga	40,68%
		Recarga anual per capita	339,56 m ³

Fonte: Wang *et al.* (2018).

O Programa ABC Waters também apoia projetos relacionados a WSUD e campanhas de educação ambiental (PUB, 2014). A exemplo da Semana Internacional da Água de Singapura (www.siww.com.sg), um evento que publica as mais recentes tecnologias e oportunidades de negócios no setor da água.

Juntamente com cidades da Austrália, como Adelaide, Sydney e Melbourne, Singapura é considerada uma cidade que tem um alto número de atributos que a aproxima de uma Cidade Sensível à Água.

2.5 O contexto nacional para a sustentabilidade dos SUAA

Os estudos entre demanda e oferta hídrica no Brasil revelam regiões de déficits de acesso à água e riscos aos setores produtivos (ANA, 2018). De acordo com o IBGE e as prévias de dados para o Censo de 2020, as cidades brasileiras concentram 86% da população nacional, perfazendo 210 milhões de pessoas vivendo nas cidades e contribuindo para altos índices de urbanização. O processo de urbanização contribui significativamente para as lacunas entre oferta e demanda de água e ocorre de forma acelerada, enquanto que, a infraestrutura de abastecimento de água é expandida em uma velocidade inferior à da urbanização. Neste contexto, a gestão integrada das águas urbanas nas cidades do Brasil enfrenta impasses relativos à preservação dos recursos hídricos e à universalização do acesso aos serviços de saneamento (BORELLI, 2020).

De acordo com o modelo sensível à água, pode-se argumentar que a gestão das águas urbanas no Brasil encontra-se ainda nos estágios do passado (Quadro 4), pois ainda pretende universalizar os serviços básicos do saneamento. O modelo convencional e fragmentando que rege a gestão das águas urbanas no Brasil não permite a integração das infraestruturas de água, bem como o envolvimento das partes interessadas (BRITTO *et al.*, 2012).

Quadro 4 - Estágios do desenvolvimento da gestão das águas urbanas e a situação do Brasil.

Estágios de gestão	Princípios	Brasil
Passado	Infraestruturas de água centralizadas: busca pela garantia de abastecimento de água para uma crescente população urbana, com baixo ou nenhum tratamento de esgoto; transferência de água pluvial para jusante através de canalizações revestidas; contenção de inundações com medidas emergenciais (FERGUSON; BROWN; DELETIC, 2013). Baixo nível de investimento setorial e desigualdade nos serviços de água (KIPARSKY <i>et al.</i> , 2013).	Este é o estágio atual de gestão das águas urbanas. Subsiste um esforço para entregar um serviço de água eficiente. As infraestruturas de esgoto e drenagem são projetadas para remover as águas e transferi-las à jusante sem o devido tratamento (BORELLI, 2020). A infraestrutura verde está dissociado das outras infraestruturas urbanas (SANTOS; ENOKIBARA; FONTES, 2020).

Estágios de gestão	Princípios	Brasil
Transição (presente)	Integração das águas urbanas: abordagem do ciclo total da água; água segura para abastecimento; reuso de águas pluviais e esgotos (HOFFMANN <i>et al.</i> , 2020); pesquisas e experiências em torno da abordagem integrada; suprimentos de água de diversas fontes com diferentes qualidades; água da chuva, água pluvial, esgotos (ZHOU <i>et al.</i> , 2021).	Este estágio está em desenvolvimento no nível de pesquisas e experiências acadêmicas (BORELLI, 2020). Marcos regulatórios setoriais estão em desenvolvimento através da Política Nacional de Saneamento nas grandes cidades, por exemplo, sistemas de drenagem sustentável (NASCIMENTO <i>et al.</i> , 2019), barreiras significativas para a qualidade das águas residuais e pluviais; falta de um fluxo de financiamento dedicado adequado (MOURA <i>et al.</i> , 2020).
Futuro	Integração de valores normativos: segurança no abastecimento, controle de inundações, saúde pública, habitabilidade e sustentabilidade econômica; o <i>design</i> sensível à água estaria integralmente estabelecido (CHESTERFIELD <i>et al.</i> , 2016); as comunidades seriam conduzidas por valores normativos de proteção e equidade ambiental (WOLFRAM; BORGSTRÖM; FARRELLY, 2019).	Este estágio deverá ser alcançado quando houver, dentre outros: integração entre as instituições, instrumentos e planos com metas claras de gestão; uma comunidade com conhecimento e consciência ambiental e recursos dedicados para a gestão sustentável e efetiva implementação dos instrumentos e metas.

Fonte: elaboração própria (2020).

O abastecimento de água, o esgotamento sanitário, a drenagem urbana e a infraestrutura verde são quatro sistemas físicos separados e as relações e contratos hidrossociais que os regem possuem arranjos institucionais exclusivos, ou seja, os diferentes níveis de governo assumem suas respectivas responsabilidades individualmente.

A sustentabilidade dos SUAA implica em conciliar duas perspectivas que ainda são vistas como obstáculos: (i) melhorar a qualidade dos serviços de saneamento universalizando o acesso à água em quantidade e qualidade para os diferentes usos (CETRULO *et al.*, 2020; NARZETTI e MARQUES, 2020); e (ii) implementar os princípios nacionais da gestão integrada das águas urbanas (ANELLI, 2015; DE MACEDO *et al.*, 2019) para aproveitar os potenciais hídricos produzidos no nível da cidade. A superação dos impasses ocorrerá quando forem efetivamente adotados, nas práticas de gestão dos serviços e dos recursos, os novos paradigmas de sustentabilidade que vêm sendo aplicados internacionalmente. O novo modelo de gestão pressupõe que sejam superados conflitos e estabelecidos compromissos para superar a fragmentação das instituições e o baixo nível de integração entre as políticas setoriais.

O nível de alcance nacional dos pressupostos para os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) sinalizam grandes dificuldades para atingir o

ODS 6 (Água Potável e Saneamento). Dados do Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SNIS) mostram que o índice nacional de atendimento total de água é de 83,7%, enquanto que o índice de perdas na distribuição é de 39,2% (SNIS, 2020). A mesma pesquisa também revela que somente 49,1% do esgoto total gerado recebe tratamento e apenas 20% dos municípios brasileiros possuem plano diretor de manejo de águas pluviais.

Sendo assim, sérios desafios subsistem para que a meta 6.1: “até o 2030, alcançar o acesso universal e equitativo à água potável e segura para todas e todos” seja atendida, bem como para a meta 6.2: “até 2030, alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos”.

Corroboram para esta conjuntura, o panorama do IBGE sobre os domicílios brasileiros que indica que 85,5% dos domicílios nacionais possuem a infraestrutura da rede geral de água como principal forma de abastecimento de água, índice que revela que os demais 14,5% utilizam outra fonte de abastecimento. Além de não alcançar o universo dos usuários, o acesso à água nas cidades, especialmente nas áreas periféricas, muitas vezes, é inadequado, sobretudo no que concerne à frequência da distribuição e à qualidade da água distribuída (MATTOS *et al.*, 2020).

Neste contexto, a Política Nacional de Saneamento Básico, instituída pela Lei Federal Nº 11.445/2007 regulamentada pelos Decretos Federais Nº 7.207/2010 e Nº 8.211/2014 e recentemente alterada pela Lei 14.026/2020, além da universalização do acesso e efetiva prestação dos serviços, são princípios fundamentais do saneamento básico: integração das infraestruturas e dos serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos; articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional; redução e controle das perdas de água, inclusive na distribuição de água tratada, estímulo à racionalização de seu consumo pelos usuários e fomento à eficiência energética, ao reuso de efluentes sanitários e ao aproveitamento de águas de chuva.

Neste sentido, os entes brasileiros, inclusive após as modificações recentes pela Lei Nº 14.026/2020, devem assumir competências quanto ao planejamento, à prestação, à regulação e à fiscalização dos serviços, tendo em vista o alcance de princípios básicos. Para o atendimento das premissas da Lei, as autoridades municipais devem se organizar e planejar as suas ações de saneamento através da elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), que deverá alinhar-se com o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB).

Estudos apresentados pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) (por exemplo, Kuwajima *et al.* 2020) desenvolveram uma análise de dados municipais agregados, a respeito da cobertura dos serviços e trazem contribuições relevantes para o desafio de universalizar os serviços de abastecimento de água e esgoto no Brasil e para as dificuldades ainda encontradas pelos municípios mais deficitários em investimentos. Estes estudos ainda levantam discussões sobre o não estabelecimento explícito do direito humano à água potável e ao saneamento no nível nacional, embora explicitado como direitos universais. Este debate apoia-se na forte dependência financeira dos municípios do sistema tributário do Estado e da União e das companhias de água dos recursos e subsídios da União.

Embora os impasses existentes na integração da gestão das águas urbanas, um grande número de cidades brasileiras, especialmente as médias e grandes cidades, vem desenvolvendo planos e legislações específicas para aumentar os níveis de sustentabilidade dos serviços de água, como relatado nas alíneas seguintes.

2.5.1 O caso da Região Metropolitana de Fortaleza: uma gestão para fortalecer o sistema centralizado

De acordo com o Plano de Segurança Hídrica para a Região Metropolitana de Fortaleza, as águas dos mananciais localizados nas proximidades da região não são suficientes para atender a sua população de aproximadamente 4 milhões de pessoas - estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano de 2018 - mesmo com o apoio de fontes subterrâneas que contemplam 17.624 poços (CEARÁ, 2016). Desta forma, para suprir a demanda deficitária, parte do abastecimento é realizado através da transposição de águas de longas distâncias. Os fluxos de água bruta percorrem aproximadamente 200 km a 300 km de distância antes de alcançarem seus usuários finais (CEARÁ, 2016). Este modelo de adução de água é comumente encontrada em outras cidades brasileiras, onde os mananciais de água de grande porte, situam-se distantes da abrangência geográfica das cidades e requerem grandes estruturas de transposição de água. O abastecimento de água potável para atender às grandes populações em áreas altamente adensadas e heterogêneas é um desafio, especialmente em tempos de escassez hídrica.

O planejamento das ações e alternativas para os serviços de abastecimento de água é sustentada pelo Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de Fortaleza, para um horizonte de 20 anos, aprovado através do decreto Nº 13.713/2015. De acordo com as informações do PMSB (FORTALEZA, 2014), ocorrem déficits, para os cenários atuais e futuros de ofertas e demandas contemplados no estudo. As ações para equilibrar ofertas e demandas estão voltadas para a ampliação da infraestrutura convencional de água. Dentre estas, a melhoria da eficiência do sistema centralizado, tais como o controle operacional e a gestão de perdas. As ações pretendem reduzir o índice de perdas para 25,10 % até o ano de 2033. Para o ano de 2015, o índice era de 34,46%. Um sistema de controle de perdas foi construído para toda a região metropolitana. Outras ações incluem: implantação e restauração de reservatórios desativados, construção e ampliação de Estações de Tratamento de Água (ETA).

O PMSB de Fortaleza apresenta os quatros sistemas físicos que formam o saneamento básico de forma fragmentada. Não foram observadas conexões entre os serviços de água e o planejamento urbano. As ações estão voltadas para cada um dos sistemas individualmente e atenção é dada para ações estruturais de expansão da oferta de água e de coleta de esgotos e águas pluviais. Diante de situações de escassez hídrica severa, ações com abordagens descentralizadas foram observadas, no entanto, ainda são pouco desenvolvidas. As alíneas seguintes trazem uma breve descrição das estratégias tomadas em razão da última seca vivenciada pela região metropolitana, de acordo com o Plano de Segurança Hídrica para a Região Metropolitana de Fortaleza (CEARÁ, 2016). Uma seca prolongada entre os anos de 2012 e 2016 motivou a elaboração de um plano de segurança hídrica pelo governo do Estado do Ceará com o objetivo de elencar as ações estratégicas para equilibrar a oferta e a demanda, e, por conseguinte, evitar o racionamento de água.

O referido plano destaca que as principais reservas de água, dentre as quais, os reservatórios de Orós e Castanhão, passaram por restrições de usos, para priorizar o abastecimento humano. Expectativas foram lançadas também sobre a transposição de vazões das águas do rio São Francisco (PISF), esperada para outras cidades do Nordeste Brasileiro. Além disso, a produção de águas nas estações de tratamento tiveram reduções de 10% e a companhia de água passou a monitorar áreas elevadas, pontas de rede e o perfil de consumo de áreas menos críticas. Esse monitoramento resultou na identificação de áreas críticas que

precisam de mais atenção em tempos de escassez hídrica. Nestas áreas ações de educação ambiental foram estimuladas para apoiar a redução de consumo.

Dentre as estratégias utilizadas para gestão da demanda de água na região metropolitana de Fortaleza estão (CEARÁ, 2016):

- A tarifa de contingência: mecanismo tarifário regulatório correspondente à cobrança de valores acrescidos sobre as tarifas tradicionais aplicadas a cada metro cúbico excedente de água potável consumido pelos usuários. A tarifa é fundamentada na média de consumo de água de cada usuário em determinada escala de tempo. Usuários que não ultrapassaram a demanda mínima consumida na escala temporal definida ficaram isentos da cobrança da tarifa de contingência;
- O Programa de Combate às Perdas: estratégias planejadas para a redução das perdas reais ou físicas. Foram incorporados pela companhia de água, o controle e monitoramento de volumes de água disponibilizados; estudo para implantação de Distrito de Medição e Controle (DMCs); monitoramento remoto das pressões nas redes e adutoras; ampliação de equipes de pesquisas para georreferenciamento do sistema; intensificação e priorização na execução de retiradas de vazamentos; substituição de trechos de redes com vida útil comprometidos; utilização de sistema informatizado dedicado ao controle de perdas de água; utilização de aplicativo para manifestação da população sobre ocorrência de vazamentos; utilização de equipes de especialistas para detecção de fraudes; substituição de hidrômetros; e, por fim, a articulação com outras autoridades para debater sobre a gestão do serviço de água em áreas ocupadas irregularmente;
- Campanhas educativas: anúncios promovidos pelas autoridades através da mídia local e redes sociais com alertas sobre a necessidade do uso consciente da água com o objetivo de alertar para a importância de se evitar o seu desperdício. As campanhas sobre uso racional da água alertou sobre a importância da participação social nas medidas de enfrentamento da escassez hídrica urbana;
- Poços em equipamentos públicos e áreas críticas de abastecimento: promoção de suplementação do sistema de abastecimento centralizado através do levantamento e revisão de poços existentes e perfuração de

novos em áreas com abastecimento crítico para prédios públicos de interesse social, bem como para os complexos industrial e portuário;

- Reuso das águas das ETAs: execução de sistema de reciclagem da água resultante da lavagem dos filtros da Estação de Tratamento de Água, com retorno de 300 l/s para o início do ciclo de tratamento.

As ações de gestão contempladas nos programas de gestão do sistema de abastecimento de água para a Região Metropolitana de Fortaleza-CE se concentram em apoiar o sistema centralizado, no entanto, estudos sobre gestão integrada das águas urbanas (NUNES CARVALHO; DE SOUZA FILHO e MEDEIROS DE SABÓIA, 2020; SILVA *et al.*, 2019), bem como o desenvolvimento de mecanismos legais, elencados a seguir, foram observados:

- Lei Nº 10.892/2019: Dispõe sobre o controle do desperdício de água potável.
- Lei Nº 10.851/2019: Institui a política pública e programa de conscientização do uso responsável de água potável.
- Lei Nº 10.701/2018: Institui a política municipal de reutilização da água, com subsídios econômicos na forma de descontos no Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU).
- Lei Nº 10.051/2013: Dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de reservatórios para captação de água de chuva em postos de combustíveis e outros estabelecimentos que possuem sistema de lavagem de veículos.

2.5.2 *O caso de Porto Alegre: primeiros passos para a sustentabilidade de serviços urbanos de água*

A cidade de Porto Alegre-RS possui uma população de 1.488.252, de acordo com estimativas do IGBE para o ano de 2020. O território do município foi dividido em 2015 através do Decreto Municipal Nº 19.047 (PORTO ALEGRE, 2015). O principal objetivo desta divisão é a integração entre as instituições, inclusive, aquelas que gerenciam as águas urbanas. A partir de uma mesma base territorial, as instituições podem promover uma maior articulação, maior otimização, planejamento e administração dos serviços prestados. Esta articulação entre as instituições é um dos passos para iniciar a promoção da gestão integrada das águas urbanas. Repensar a maneira de gerenciar os esgotos e as águas pluviais, notadamente, a utilização de estratégias sustentáveis, fazem parte da gestão das

águas urbanas da cidade. Argumenta-se que essas ações são pontos iniciais para a gestão integrada das águas urbanas e o aproveitamento dos recursos hídricos urbanos e possível suplementação dos sistemas de abastecimento de água.

O Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) possui horizonte de tempo até 2035. Dentre os principais programas presentes no PMSB, citam-se (PORTO ALEGRE, 2015):

- Programa Integrado Socioambiental (PISA): resultado de discussões ocorridas no 3º Congresso da Cidade, em 2000, e tem como principal objetivo ampliar o índice de tratamento de esgotos em Porto Alegre de 27% para 77%;
- Programas de participação social: integram esse programa o Orçamento Participativo e o Conselho de Saneamento que são instrumentos políticos que asseguram a participação da população na definição das prioridades do orçamento público;
- Apresentação dos planos diretores de abastecimento de água (PDA), esgotamento sanitário (PDE) e drenagem urbana (PDDrU);
- Programas de abastecimento de água e esgotamento sanitário: em 2005 foi implantado um moderno modelo de gestão denominado Sistema de Gestão do DMAE – SGD, como forma de garantir a reconhecida qualidade dos serviços prestados à população de Porto Alegre e a adequada aplicação dos recursos públicos; Programa de Educação Ambiental desenvolvido em escolas públicas e privadas; Trabalho Técnico Socioambiental com a finalidade de proporcionar acesso e utilização adequada das instalações e sistemas de saneamento pelos usuários, além de incentivar a gestão participativa para a sustentabilidade do empreendimento; Automação de Unidades Operacionais, através de diretrizes apontadas no Plano Diretor de Automação Integrado (PDAI).

Os programas específicos para o abastecimento de água incluem gestão de perdas, incluindo substituição de redes, setorização, substituição de micromedidores e de macromedidores em todas as saídas das ETA e em pontos estratégicos na rede de distribuição.

Além disso, um programa social em áreas sem abastecimento de água atende zonas com problemas de regularização fundiária por caminhões-pipa. O Programa Consumo Responsável prevê a instalação de redes públicas setorizadas com

acompanhamento do consumo por medidores coletivos com caráter provisório em áreas que necessitam de regularização fundiária.

O PMSB de Porto Alegre-RS não apresenta, explicitamente, metas específicas para estratégias de drenagem sustentável, a exemplo, dos LID e SUDS, nem tampouco para reciclagem e reuso de águas residuárias. No entanto, estudos vêm sendo desenvolvidos sobre estas abordagens para a cidade (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

As experiências nacionais evidenciam que ainda existem muitos caminhos a percorrer para alcançar ações de gestão que incorporem os conceitos sensíveis à água nos instrumentos de gestão, a exemplo do PMSB. No entanto, ressalta-se que pesquisas acadêmicas envolvendo o tema estão sendo desenvolvidas (DE MACEDO *et al.*, 2019; DRUMOND *et al.*, 2020; GOMES CALIXTO, *et al.*, 2020; OKAWA *et al.*, 2020). Cidades que enfrentaram extensos períodos de escassez hídrica têm focado suas ações nos sistemas centralizados, em razão da ausência de planejamento de longo prazo e das ações comumente emergenciais que obrigam os gestores a adquirir com urgência novas fontes de água.

Embora questões intrinsecamente relacionadas à sustentabilidade dos sistemas urbanos, inclusive dos sistemas de água, tenham sido objeto de estudos relacionados a cidades sustentáveis, a grande maioria dos instrumentos (por exemplo, os PMSB) que estabelecem diretrizes gerais para a gestão das águas urbanas são anteriores às transformações que o conceito de cidade sensível à água tem repercutido no contexto nacional, o que justifica a escassez de propostas sensíveis à água nos respectivos planos.

Ressalta-se que as diretrizes sensíveis à água devem ser abordadas dentro da realidade de cada cidade, pois as prioridades da sociedade são influenciadas pelo contexto em que estão inseridas. As cidades brasileiras têm características próprias, como diferentes perfis de governo, capacidades de financiamento, culturas hidrossociais, níveis de hidrocidadania, entre outras. Assim, a percepção dos problemas e a busca de soluções serão distintas para cada cidade.

Acrescenta-se ainda o cenário de escassez de recursos financeiros e a má gestão destes nas cidades brasileiras. Os esforços dos governantes são direcionados para a mais alta prioridade; pois, para que as cidades evoluam e se tornem mais sustentáveis, os problemas estruturais antecedentes devem ser solucionados. Assim, o potencial para a gestão integrada das águas urbanas e, por conseguinte, a implementação de estratégias descentralizadas serão bem

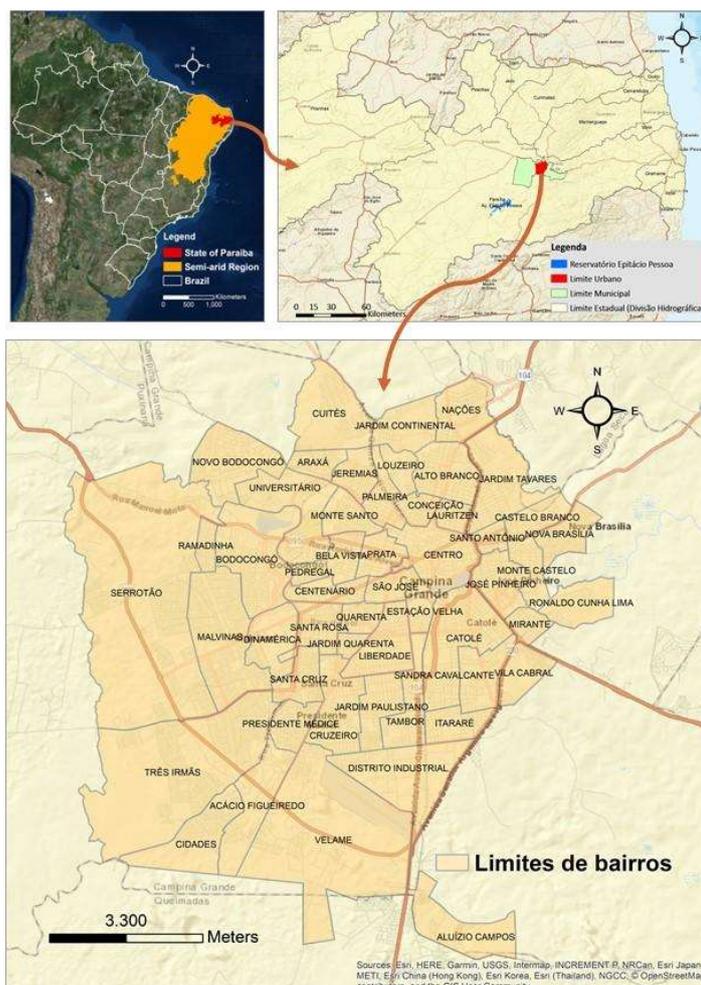
diferentes em uma cidade cuja população possui elevados níveis de capital social, um estado de bem-estar sólido, níveis justos de igualdade socioeconômica e um aparato institucional que garanta a correta utilização de fontes multivariadas de água em multiescala.

Argumenta-se que as mudanças necessárias para alcançar metas de sistemas hídricos urbanos sustentáveis para os países em desenvolvimento deverá perpassar por uma grande revisão sócio-técnica dos contratos hidrossociais (BOELENS *et al.*, 2016), com um projeto urbano de água culturalmente inclusivo (COYNE *et al.*, 2020), incluindo perspectivas culturais e valores históricos das águas urbanas, além da disposição de fundos de investimentos dedicados.

3 ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Campina Grande localiza-se na região semiárida do Brasil no estado da Paraíba (Figura 11) e, em 2020, possuía uma estimativa de 411.807 habitantes de acordo com dados do portal Cidades do Instituto Brasileiro de Geografia e estatística (IBGE).

Figura 11 - Localização da cidade de Campina Grande - PB.



Fonte: elaboração própria com dados da PMCG (2019).

É o segundo maior centro urbano do Estado, representando também a segunda maior economia. O Plano Diretor de Campina Grande (Lei N. 003/2006) divide o município em duas macrozonas: a Macrozona Rural e a Macrozona Urbana. Esta última, por sua vez, está dividida em quatro zonas: Zona de Qualificação Urbana, Zona de Ocupação Dirigida, Zona de Recuperação Urbana e Zona de Expansão Urbana. A Macrozona Urbana de Campina Grande é abastecida pelo

denominado Sistema da Borborema, gerenciado pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA, organização comercial de abastecimento de água do setor público e tem como fonte, o açude Epitácio Pessoa.

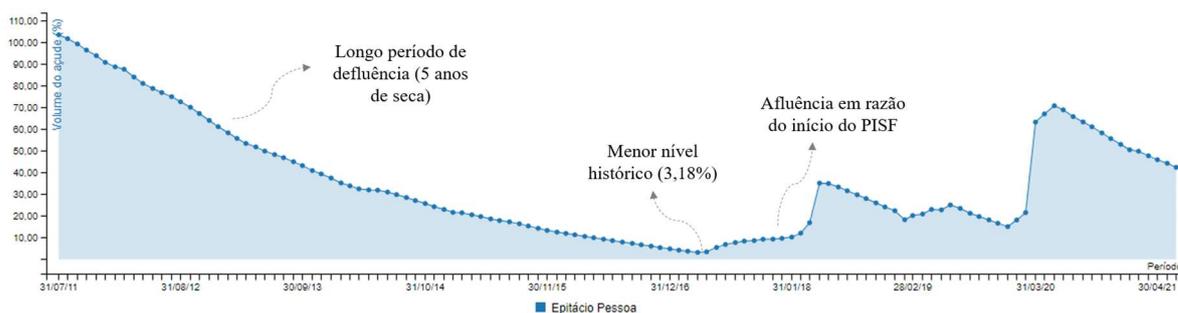
Este estudo considera o SUAA de Campina Grande dividido em duas zonas principais de operação, Zona 1 e Zona 2, embora no projeto original, o sistema seja dividido em quatro zonas, A, B, C e D. Esta alteração no zoneamento se deu durante a última crise hídrica, especificamente no momento mais crítico (2015-2017) para apoiar o processo de racionamento de água. A divisão da cidade em duas zonas principais permitiu a simplificação operacional da rede, e, por conseguinte, o atendimento de cada uma das zonas durante os cinco dias que as mesmas permaneceram sem o serviço de água durante o momento mais crítico do racionamento. Contudo, um zoneamento simplificado de um sistema de água é um obstáculo para a uniformização das pressões (pressões mínimas necessárias e máximas permitidas), bem como para oferecer um serviço socialmente equitativo.

A única fonte de abastecimento deste sistema, o reservatório Epitácio Pessoa possui capacidade máxima de 466,52 milhões de m³ e área do espelho d'água de 2.678 ha (AESAs, 2019). Este manancial exerce uma função primária nas economias local e estadual, sobretudo por abastecer Campina Grande, e outras 26 localidades circunvizinhas, atendendo a um total de aproximadamente 700 mil pessoas.

Segundo Grande *et al.* (2015), a bacia de contribuição deste reservatório situa-se na região mais seca do Brasil, no Semiárido Brasileiro, com alta variabilidade climática e hidrológica e altas taxas de evaporação (GALVÃO *et al.*, 2002), tornando o abastecimento de água intermitente e, por conseguinte, propiciando riscos de desabastecimento (CORDÃO *et al.*, 2020) que, por sua vez, são recorrentes, em virtude da cidade não possuir fontes alternativas de abastecimento. Lucena (2018) e Rêgo *et al.* (2015) ressaltam, ainda, que retiradas de vazão não outorgadas para atender áreas irrigáveis no entorno do reservatório implicam em conflitos de uso e distorções de gerenciamento da vazão regularizada, agravadas em épocas de crise hídrica.

Estas sucessões de eventos de escassez hídrica culminam nas ações de racionamento severo de água (LUCENA, 2018). Em abril de 2017, o reservatório atingiu o nível mais crítico de acumulação da sua história: 3,18% de sua capacidade máxima (Figura 12), fato que tornou mais urgente a transposição de vazões do rio São Francisco.

Figura 12 - Decaimento do volume do reservatório Epitácio Pessoa durante o período de seca entre os anos 2013-2017.



Fonte: AESA (2021).

O Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF) somam 477 quilômetros de extensão, 13 aquedutos, 9 estações de bombeamento, 27 reservatórios, 9 subestações, 270 quilômetros de linhas de transmissão e 4 túneis. O projeto pretende atender 12 milhões de pessoas inseridas nos 390 municípios dos estados da Paraíba, Pernambuco, Ceará e Rio Grande do Norte, com a finalidade de apoiar a segurança hídrica destes municípios (BRASIL, 2018).

O eixo leste do projeto, eixo de relevância para a região de Campina Grande, inicia com a captação na Barragem de Itaparica, no município de Floresta - PE, até o rio Paraíba, através de 217 km de canais (BRASIL, 2006). Esse eixo atende o sistema hídrico Rio Paraíba - Boqueirão que deságua no município de Monteiro e segue pelo rio Paraíba até o reservatório Epitácio Pessoa na cidade de Boqueirão.

Este sistema hídrico manteve-se ativo entre abril de 2017 até março de 2018, quando a operação do Eixo Leste do PISF foi paralisada para finalização de obras de recuperação nos reservatórios Poções e Camalaú situados no Rio Paraíba a jusante do PISF e montante do Boqueirão (BRASIL, 2018). Informações sobre monitoramento fluviométrico evidenciam que, durante este primeiro período de operação, uma vazão média mensal de 3,33 m³/s desaguou em Monteiro, aumentando para 42.330.000 m³ o volume do reservatório Epitácio Pessoa. Nos anos seguintes à transposição (2018-2020), o volume de afluência foi pouco expressivo, tendo em vista os baixos índices pluviométricos nas sub-bacias do rio Paraíba que atendem ao reservatório (Alto Curso do Rio Paraíba e sub-bacia Taperoá), bem como, a paralização das vazões recebidas pelo PISF. Contudo, em julho de 2021, as chuvas na região da bacia permitiram uma recuperação do índice de acumulação total em 40%.

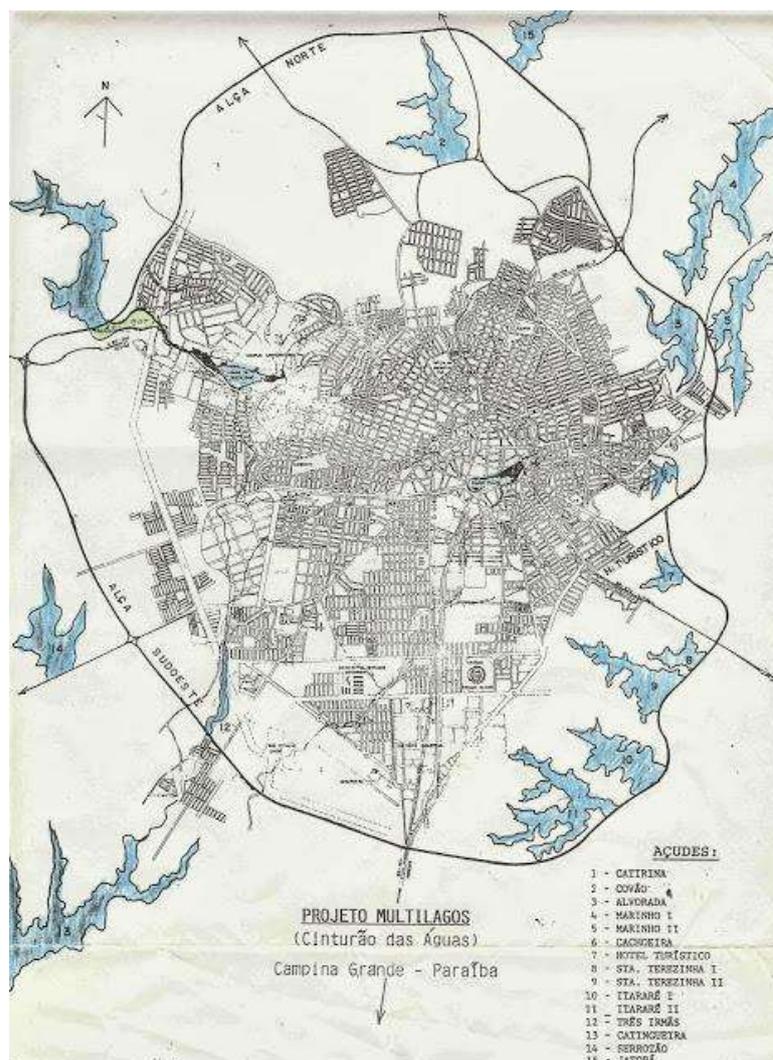
Dos montantes de vazão recebidos no referido reservatório, a CAGEPA poderá captar até 1,30 m³/s para atender os sistemas Cariri e Campina Grande, conforme regulamentado através da Portaria ANA/AESA 087/2018.

O rio São Francisco, historicamente, é um dos principais atores de combate à seca no Nordeste Brasileiro e sua transposição se caracteriza por ser uma das maiores obras hídricas do Brasil; no entanto, com diversas versões sobre sua viabilidade (EMPINOTTI *et al.*, 2018; SOBRAL *et al.*, 2018). O estado degradado do Rio São Francisco, as prováveis perdas que ocorrerão ao longo do caminho, bem como a gestão inadequada das potencialidades hídricas presentes no Nordeste Brasileiro são motivos para discursos contrários à transposição. Por outro lado, os debates a favor do projeto, valem-se das cronologias de seca e da possibilidade de desenvolvimento econômico para a região servida pela transposição.

Quanto às mudanças comportamentais, entende-se que a referida transposição pode reduzir a capacidade de resiliência do SUAA de Campina Grande e de seus usuários, pois posterga a implementação de uma gestão eficiente e restringe o aproveitamento das potencialidades hídricas no nível local para enfrentar e superar as recorrentes crises hídricas através de ações sustentadas pelo conceito de 'cidades sensíveis a água', como o aproveitamento de água de chuva (SOUZA, 2015); o uso de mecanismos poupadores de água (GUEDES *et al.*, 2014; BARROS *et al.*, 2016) e o potencial de reuso de água residuárias (MARINHO, 2018). No entanto, depreende-se da magnitude do projeto PISF, que para além de abastecer cidades em crises recorrentes, a exemplo de Campina Grande, prevalece-se por gerar possibilidades de alavancar as potencialidades socioeconômicas das áreas que poderão ser atendidas pela transposição.

Uma informação histórica relevante é apresentada na Figura 13. Trata-se de um croqui de um projeto, denominado multilagos, idealizado pela Prefeitura Municipal de Campina Grande (PMCG), em 1993, no qual se observa a propositura de construção de diversos lagos nas imediações do limite urbano para constituírem fontes alternativas nos momentos de crise hídrica. Esta proposta de projeto evidencia uma preocupação por parte dos gestores municipais com a alta vulnerabilidade à restrições hídricas que a cidade vivencia desde de décadas passadas. A proposta inicial contemplava 15 (quinze) reservatórios de pequeno porte, os quais somavam uma capacidade de acumulação de 100 milhões de m³ (RHCG, 2015).

Figura 13 - Projeto multilagos para Campina Grande proposto pela Prefeitura Municipal em 1993.



Fonte: RHCG (2015).

De acordo com a PMCG (www.campinagrande.pb.gov.br), uma discussão em torno do projeto Multilagos foi retomada desde fevereiro de 2021 em meio ao desenvolvimento de estudos que integram o Plano de Desenvolvimento Estratégico (PDE-Campina 2035). Um estudo preliminar foi aprovado e preconiza a formação de um cinturão hídrico no entorno da área urbana através de 16 reservatórios de pequeno e médio porte como estratégia alternativa para garantir a segurança hídrica da cidade, além de condicionar o seu microclima. O projeto pretende aproveitar oportunidades geradas pelo relevo e hidrografia para captar recursos de águas pluviais na escala global. A construção de um dos lagos que fará parte do projeto está em execução. O reservatório terá capacidade de 300 mil metros cúbicos, está situado na comunidade Açude de Dentro, entre as cidades de Campina Grande e Boa Vista; e abastecerá, predominantemente, áreas rurais. Argumenta-se que, em

razão do crescimento urbano, a versão originalmente proposta do projeto deverá passar por alterações.

Em relação ao SUAA, além dos eventos de escassez periódicos, observa-se ainda: ações de gestão remediativas, racionamentos tardios, larga expansão urbana com aumento da demanda, considerável índice de perdas para o ano de 2017 de 23,49% do total na rede de distribuição (SNIS, 2018), inclusive menor que anos anteriores, justificado pelas propositadas baixas pressões no sistema em virtude desta última crise hídrica; características topográficas desfavoráveis, implicando, muitas vezes, em pressões desproporcionais; em alguns lugares com rompimentos das tubulações que, por sua vez, geram mais perdas, em outros, com pressões abaixo da mínima adequada para atender os usuários.

Grande *et al.*, (2015) explicam que em determinadas áreas da cidade, a população vivencia um mecanismo de naturalização do subconsumo, inclusive em períodos de racionamento não formal. Uma estimativa da demanda *per capita* realizada por Oliveira (2019) para o ano de 2017 em uma área piloto da cidade obteve um consumo de 97,1 L/hab.dia em período de racionamento, fato que se configura um consumo abaixo dos aproximados 100 L/hab.dia estabelecido pela Organização Mundial de Saúde (OMS) para atender às necessidades básicas de consumo e higiene de um indivíduo. Além disso, os processos de urbanização descoordenados priorizam a expansão da infraestrutura secundária, gerando níveis menores de eficiência para atender os usuários. Essas questões, quando associadas a desastres de seca, culminam com a recorrência de crises hídricas na cidade.

Diante destas problemáticas, diversos estudos nacionais e locais podem corroborar para o desenvolvimento e implementação de tecnologias mais sustentáveis para aproveitar as potencialidades das águas produzidas no espaço urbano, os quais abordam captação de água de chuva, gerenciamento da demanda e gestão integrada das águas urbanas (BARROS *et al.*, 2016; DESTRO, 2016; GUEDES *et al.*, 2014, MARINHO, 2018; SANTOS e FARIAS, 2017; SILVA *et al.*, 2017). De acordo com Marinho (2018), a cidade de Campina Grande-PB recebe um aporte hídrico de água residuárias significativo, perfazendo 20,88 milhões de m³ por ano, equivalente a 68,8% dos 30,31 milhões de m³ do abastecimento centralizado. Esses valores demonstram fluxos com potencialidade para aumentar a suplementação do abastecimento tradicional. A cidade conta com potencialidade para captação de água de chuva (SOUSA, 2015) e ocorrências de alagamentos

(ALVES; DJORDJEVIĆ e JAVADI, 2019) que demonstram fluxos pluviais a serem estudados e quantificados para suplementar o abastecimento de água local.

O Plano Municipal de Saneamento Básico, publicado no ano de 2014 e aprovado apenas no ano de 2019 pela Política Municipal de Saneamento Básico (Lei 7.199/2019), ressalta que a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) é a companhia responsável pelos serviços de captação e abastecimento de água, bem como captação e tratamento dos esgotos da cidade. Por sua vez, o gerenciamento dos sistemas de drenagem que opera como separador absoluto e contempla micro e macrodrenagem, é de responsabilidade da Prefeitura Municipal (CAMPINA GRANDE, 2014).

O Plano Diretor revisado pela Lei Complementar nº 003/2006, a regulamentação de Zonas Especiais de Interesse Social - ZEIS (Lei nº 4.806/2009), a Política Municipal do Meio Ambiente (Lei Complementar nº 042/2009), o Código de Obras (Lei nº 5.410/2013) e o Plano de Saneamento fazem parte dos regulamentos para o planejamento urbano da cidade (CAMPINA GRANDE, 2014). Uma descrição desses aportes legais está descrita nas alíneas seguintes.

O Plano Diretor é o instrumento básico que orienta a atuação da administração pública e da iniciativa privada para desenvolvimento das funções sociais da cidade através do estabelecimento de ações para a estruturação do espaço urbano, e constitui instrumento fundamental para a implementação da política de desenvolvimento urbano municipal adequada às diretrizes orçamentárias do Município.

Ao tratar sobre o abastecimento de água, o Plano Diretor ressalta que este serviço público deverá assegurar a oferta domiciliar de água para consumo residencial regular, com qualidade compatível aos padrões estabelecidos, bem como deverá ser prestado com eficácia, eficiência e controle do uso, de modo a garantir a regularidade, continuidade, universalidade e qualidade dos serviços. Dentre as ações prioritárias definidas no Plano Diretor sobre os serviços de abastecimento de água são citadas: garantir o atendimento à totalidade da população das macrozonas urbana e rural do Município de forma permanente; definir metas para redução das perdas de água e de programa de reutilização da água servida de pia e chuveiro, bem como da utilização da água pluvial para uso doméstico não potável. Observa-se que este plano traz percepções sobre o reuso de águas cinzas e pluviais para usos não potáveis.

O Plano Diretor elenca as Zonas Especiais e suas destinações específicas para definição dos padrões de urbanização, parcelamento da terra, e uso e ocupação do solo. Dentre estas, as Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS), instituídas pela Lei Municipal 4.806/2009, são porções do território municipal que têm por objetivo assegurar à função social da cidade e da propriedade, sendo prioritariamente destinadas à regularização fundiária, à urbanização e à produção de habitação de interesse social, compreendendo: as ZEIS 1, áreas públicas ou particulares ocupadas por assentamentos precários de população de baixa renda, apropriadas para promoção e regularização fundiária e urbanística, com implantação de equipamentos públicos de lazer e serviços; e as ZEIS 2, áreas não edificadas, subutilizadas ou não utilizadas. Estas últimas são áreas prioritárias para implantação de programas habitacionais para a população de baixa renda. Nestas áreas é relevante avaliar a possibilidade de implantação de tecnologias de uso sustentável para o abastecimento de água, especialmente nas ZEIS tipo 2, devido a presença de áreas não ocupadas.

A Política Municipal do Meio Ambiente (Lei Complementar 042/2009) estabelece normas para a administração, proteção e controle dos recursos ambientais e para a qualidade do meio ambiente do Município de Campina Grande. Dentre seus objetivos, está mencionado a garantia do abastecimento de água potável para a população, em quantidade e qualidade satisfatórias. Esta Lei ressalta a importância da qualidade da água para consumo humano e elenca diversas ações para mitigar possíveis contaminações. No entanto, não dispõe de regulamentações sobre fontes descentralizadas de água.

Os disciplinamentos geral e específico dos projetos e execuções de obras na cidade são realizados através do Código de Obras (Lei 5.410/2013). Esta Lei norteia a execução de toda e qualquer obra do Município de Campina Grande, em consonância com a legislação de ordenamento e ocupação do solo urbano. Dentre seus princípios, é citada a incorporação de novas conquistas tecnológicas visando à constante atualização da referida Lei. Uma das obrigаторiedades desta Lei é a instalação de medidor individual de água potável em cada unidade habitacional para condomínios residenciais, verticais ou horizontais; esta ação pode ser considerada um pequeno avanço para o uso mais racional da água nestas edificações. No entanto, não são citadas nenhuma ação obrigatória quanto ao uso de aparelhos poupadores de água, sistemas de reuso de águas cinzas ou pluviais.

Um Plano Estratégico de Desenvolvimento de Campina Grande 2035 (PED-CG 2035) foi instituído pelo projeto de Lei Nº 213/2017. Trata-se de documento que norteia o desenvolvimento sustentável da cidade para as próximas duas décadas com metas para os campos: social, econômico, educacional, de saúde, de infraestrutura, de urbanismo, de mobilidade urbana e qualidade de vida. Dentre as metas estão: superar a vulnerabilidade hídrica e extinção do racionamento formal de água; alcançar níveis altos de cidade verde com um índice de área verde de 15m² por habitante; atingir um índice de 100% para o tratamento de esgotos.

Acrescenta-se ainda a Lei que cria o parque que abrange a área urbanizada que contorna a extensão do espelho d'água do Açude Velho, denominado Parque Vergniaud Wanderley (Lei nº 4.190/2004). A referida Lei é concisa e possui parágrafo único com o objetivo apenas de homenagear um gestor público que promoveu mudanças urbanísticas importantes em Campina Grande.

4 METODOLOGIA

4.1 Visão geral

Os caminhos metodológicos que direcionam para um Sistema Urbano de Abastecimento de Água Sustentável (SUAA-Sustentável) são envolvidos por um ciclo de natureza interativa, dinâmica e evolutiva e perpassam por múltiplas escalas. Uma visão geral de uma estrutura metodológica e seus caminhos em direção a um SUAA-Sustentável está apresentado na Figura 14. A ênfase na natureza interativa mencionada significa que a ordem de gestão dos SUAA é considerada um processo de aprendizagem contínuo em que as estratégias são propostas, decididas, implementadas e avaliadas em ciclos interativos.

Figura 14 - Estrutura metodológica em direção a um SUAA-Sustentável.



Fonte: elaboração própria (2021).

Essa estrutura apresenta diferentes níveis de gestão pelos quais o SUAA evolui quando busca mudanças em direção a futuros mais sustentáveis, atrelados a estruturas de gestão predominantes que, por sua vez, envolvem múltiplas escalas. Os três níveis de gestão integram um ciclo contínuo; portanto, as estruturas de gestão dos níveis anteriores do SUAA influenciam e moldam os caminhos subsequentes. Desta forma, as necessidades no nível elementar de gestão são atendidas, ao mesmo tempo, garantindo o movimento em direção aos resultados desejáveis no nível eficiente e sustentável.

Ressalta-se que a estrutura de gestão para o nível elementar possui baixa contribuição para um SUAA-Sustentável, pois neste nível é alcançada uma condição básica e evidente do serviço prestado pelas companhias de água,

sustentada pela prática de considerar apenas objetivos técnicos e não contabilizar objetivos ambientais. A busca para alcançar o nível elementar de gestão, presumivelmente, ainda se faz no presente. Cidades em todo o mundo, notadamente as cidades em países em desenvolvimento, ainda percorrem trajetórias em direção ao nível elementar de gestão, buscando estabelecer as condições básicas de projeto, tais como: ajustes de pressões mínima e máxima; identificação e quantificação da demanda; e coleta, armazenamento e gerenciamento de dados. Esses sistemas são marcados por uma operação baseada exclusivamente na experiência dos operadores, baixa ou nenhuma automação, pouca ou nenhuma coleta de dados. Um serviço de distribuição intermitente de água, em menor ou maior grau, normalmente estão presentes. Em razão da não conformidade com as condições de projeto, muitos usuários do sistema não são atendidos continuamente e ativam seus capitais sociais para buscar formas de adaptação. A construção de reservatórios domiciliares e a aquisição de água através de carros-pipa são exemplos deste tipo de prática. Em épocas de escassez hídrica de ordem hidroclimática, as medidas de abastecimento de água adaptativas são utilizadas com uma maior frequência.

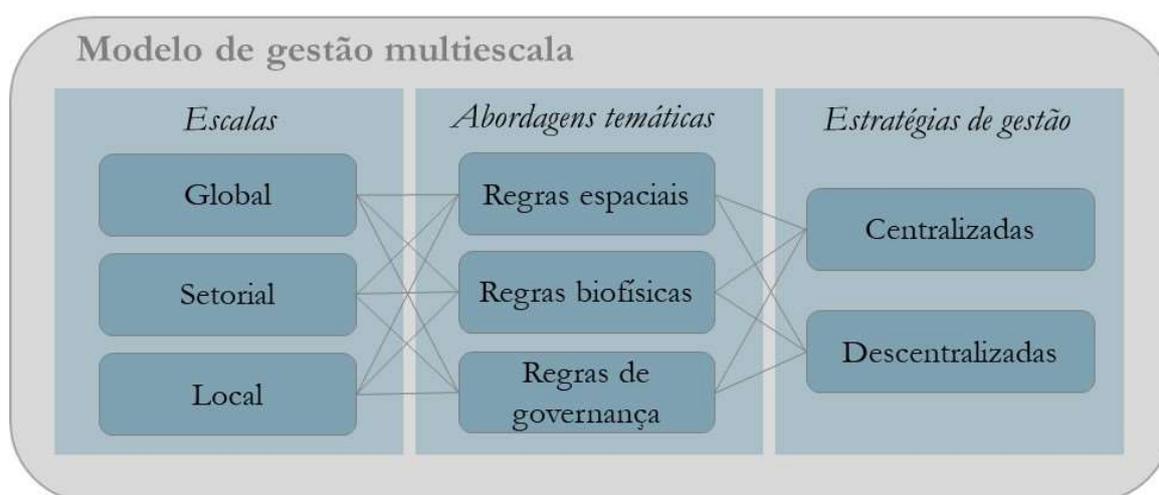
Outras cidades percorrem caminhos simultâneos, tentando ajustar as premissas básicas de projeto, ao mesmo tempo, seguindo em direção a um nível eficiente, com a implementação de práticas de gerenciamento de perdas e gestão da demanda. Neste nível de gestão, além dos objetivos técnicos, objetivos ambientais passam a ser contabilizados.

Em um número mais reduzido, algumas cidades avançaram para além das condições básicas de projeto e de gestão eficiente, embora corriqueiramente precisam retomar ao início destes caminhos para solucionar problemas. Elas estão alcançando níveis maiores de sustentabilidade para seus respectivos serviços de abastecimento de água, através de práticas sensíveis à água. Objetivos ambientais são fortemente considerados; pois, em geral, estas cidades aproveitam, dentro de suas possibilidades técnicas e econômicas, todos os capitais naturais disponíveis de água gerados na própria área urbana para suplementar o abastecimento de água e, ainda, promover cobenefícios ambientais e sociais. São práticas adotadas, aquelas que dizem respeito ao aproveitamento do potencial do ciclo urbano da água, tais como o *design* sensível à água, e incluem captação de água de chuva, reuso de águas cinzas e reuso de águas pluviais. Notadamente, as cidades que estão migrando para alcançar o nível sustentável possuem em comum motivações

relacionadas a eventos de seca. Acrescenta-se, ainda, o argumento de que existem cidades que transitam entre os três níveis, muito embora os caminhos para alcançar o nível de gestão elementar são pré-requisitos para avançar rumo ao nível eficiente.

Neste sentido, os caminhos metodológicos em busca de um SUAA-Sustentável são abrangentes e envolvem diversas linhas de estudo em múltiplas escalas. Um modelo de gestão baseado em múltiplas escalas que aponta para um SUAA-Sustentável foi desenvolvido. Argumenta-se que o modelo proposto contribui também para uma estrutura voltada para a gestão integrada das águas urbanas, pois considera as variáveis do ciclo da água nas diferentes escalas urbanas. A visão geral do fluxo de trabalho do modelo de gestão em multiescala está disposto na Figura 15.

Figura 15 - Fluxo de trabalho para o modelo de gestão em multiescala proposto para sistemas urbanos de abastecimento de água sustentáveis.



Fonte: elaboração própria (2021).

As múltiplas escalas, as abordagens temáticas e as estratégias de gestão apoiam a estrutura principal do modelo. As múltiplas escalas urbanas foram classificadas em três tipos: global, setorial e local. Notadamente, a escala global refere-se aos limites urbanos e é assim denominada por abranger a fronteira de toda a área urbana do caso de estudo. As abordagens temáticas possuem três componentes ou regras essenciais: espaciais, biofísicas e de governança. As regras espaciais, referem-se a estratégias espacialmente explícitas que possibilitem a análise espacial; as regras biofísicas referem-se à análise dos elementos visíveis e tangíveis da paisagem urbana que regem os fluxos de água, incluindo elementos naturais ou artificiais; e a adequação da governança refere-se a novas estratégias

de governança destinadas a apoiar, orientar e regular os usos atual e futuro da água nas cidades. Por sua vez, as medidas de gestão foram divididas em dois quadros: (i) centralizadas, que objetivam apoiar o SUAA centralizado para a gestão eficiente e, (ii) descentralizadas, que buscam complementar o SUAA e contribuir com as metas para um SUAA-Sustentável.

4.2 As múltiplas escalas de gestão

As múltiplas escalas urbanas referem-se a limites geográficos ou áreas de abrangência de diferentes dimensões, que possuem diferenças espaciais dada a hierarquia de suas fronteiras. Estudos que incorporam múltiplas escalas são úteis como recursos metodológicos por considerarem as diferenças espaciais envolvidas nos processos de gestão dos SUAA. Argumenta-se que existem fortes motivos para a dependência de várias escalas no gerenciamento dos SUAA em razão da heterogeneidade espacial dos principais fatores envolvidos. Neste sentido, as estratégias de gestão dos SUAA devem ser conduzidas em escalas compatíveis, significativas e proporcionais ao nível da tomada de decisão para aumentar a identificação espacial de oportunidades importantes. De modo geral, decisões de gestão para níveis espaciais diferentes podem ser mais eficientes para a identificação de pontos críticos, redução de riscos e promoção da sustentabilidade e resiliência.

De acordo com Marston *et al.*, (2017) no passado o conceito de escala era pré-determinado e fixo, referindo-se à hierarquia de espaços delimitados de tamanhos diferentes e tratada em diferentes níveis de análise, do local ao global, nos quais investigações de processos eram definidas. Contudo, após as últimas duas décadas, os geógrafos questionaram e problematizaram seriamente a escala. Eles estabeleceram que a escala não é pré-determinada, mas sim construída; e não é fixa, mas tem uma configuração temporal que é transformável (DELANEY e LEITNER, 1997; MAMADOUH *et al.*, 2004).

Neste contexto, as investigações desta tese consideram que a escala é um produto social (TAYLOR, 2008), ou seja, é uma hierarquia de espaços delimitados, dimensionados e construídos diferentemente. Apoiando-se nesta abordagem, as multiescalas envolvidas neste estudo, de maneira geral, possuem uma natureza analítica para apoiar a tomada de decisão na gestão sustentável dos SUAA e são

tratadas como categorias espaciais, de modo que as estratégias de gestão propostas são apresentadas em termos específicos de área.

Uma descrição das escalas urbanas abordadas neste estudo, a saber, escala global, setorial e local está apresentada logo a seguir. Acrescenta-se ainda que as fontes de abastecimento de água centralizadas, bem como os cursos d'água que as alimentam, estão situadas em limites que extrapolam o perímetro urbano e, portanto, os limites espaciais considerados neste estudo; porquanto, a gestão integrada dos recursos hídricos deverá ser realizada no nível espacial de bacia hidrográfica, de acordo com as políticas nacionais e estaduais de recursos hídricos.

4.2.1 *A escala global*

A escala global representa a fronteira da cidade através do perímetro urbano. Em geral, os conceitos sobre escala global extrapolam o limite urbano e incorporam escalas mais abrangentes (como a região, o país e o planeta). Contudo, neste estudo considerou-se um recorte espacial e o que se denomina “escala global” limita-se ao perímetro urbano da cidade. Argumenta-se que esta denominação é apoiada pelo alto nível de abstração da representação do espaço urbano, quando comparado com as demais escalas. A escala global nesta tese, é portanto, sinônimo de *escala urbana global*.

Configura-se como um escala geral de análise hierarquicamente menos detalhada, na qual os elementos urbanos são cartograficamente representados como pequenos e generalizados. Em outras palavras, as questões físico-espaciais são menos relevantes (ou hierarquicamente menos importantes) que nas demais escalas, por outro lado, nesta escala as questões políticas e socioeconômicas são mais hierarquicamente significantes que nas demais escalas. Os fenômenos e organizações espaciais são compreendidos de maneira macro espacial, ou seja, a estruturação do mundo real possui baixa resolução, baixa complexidade e menor nível de informação.

A fronteira de análise integra os limites urbanos da cidade. Os estudos envolvidos nesta escala são abrangentes e podem ser guias para os estudos envolvendo as demais escalas. São exemplos de estratégias de gestão: a identificação de áreas susceptíveis a riscos, áreas potenciais para reabilitação de

infraestrutura, zoneamentos eficiente, áreas potenciais para captação de água de chuva e para coleta de águas pluviais e sistemas híbridos.

4.2.2 *A escala setorial*

A escala setorial representa frações da escala global. Configura-se como uma escala de análise hierarquicamente intermediária e seus elementos urbanos são observados em mais detalhes que na escala anterior. Existe uma maior complexidade da representação do mundo real, em relação à escala global e pode-se dizer que o mundo real é representado através de uma média resolução.

Os recortes de análise incluem os limites político-administrativos de um bairro, um conjunto de quarteirões urbanos delineados por vias de tráfego, distritos industriais, parques comerciais, condomínios residenciais, parques para lazer, entre outros. As intervenções públicas ou privadas que formam condomínios com grupos de blocos residenciais e que possuem espaço livre compartilhado apresentam uma oportunidade para se enquadrarem na escala setorial. Neste sentido, a escala setorial, se difere das demais, em razão da flexibilidade dos seus limites de análise, por possibilitar áreas de diferentes dimensões. Além disso, estratégias de gestão em escala setorial podem oferecer maiores oportunidades de participação e responsabilidade da comunidade. O uso de aparelhos redutores de consumo de água, o reuso de águas residuais e pluviais de fontes e tratamento locais são exemplos de estratégias de gestão para a escala setorial, especialmente se incluídas nos projetos iniciais de novos desenvolvimentos.

4.2.3 *A escala local*

A escala local representa a menor fração urbana estudada. Configura-se como um escala de análise hierarquicamente mais detalhada e seus elementos urbanos são comumente representados em um alto nível de resolução espacial, por exemplo, *pixels* com até 10 (dez) metros de dimensão. Podem compreender residências, indústrias e comércios. Neste nível de análise, as estratégias de gestão possuem maior exequibilidade. As estratégias incluem reuso de água de pias e chuveiros, aparelho poupadores, captação de água de chuva. Tecnologias de uso local, tais como: reuso de águas residuais com baixa preocupação sobre a

potabilidade, no estilo *laundry to landscape* (reuso de água da máquina de lavar roupas para irrigar jardins) são consideradas como promissoras, pois os sistemas de águas cinzas oferecem um bom fornecimento de água, independentemente das condições climáticas.

Além de reuso para lavagem de bacias sanitárias, aparelhos poupadores, reuso industrial, sistema residencial de captação de água de chuva. São ações de rápida implementação e que exigem pouca preocupação com a potabilidade, em razão dos seus usos indiretos e das melhores práticas de gestão, como por exemplo, realizar irrigação subsuperficial, para evitar exposição direta com a água. Em geral, são ações que podem ser promovidas pela agência individual, mas com um suporte financeiro das autoridades e instituições públicas como forma de incentivo.

4.3 As abordagens temáticas

As abordagens temáticas são os componentes ou regras essenciais de análise que integram os temas ou áreas do conhecimento mais relevantes para um modelo que envolve a busca por serviços de águas sustentáveis. O levantamento exaustivo realizado por Kuller *et al.* (2017) sobre ferramentas para gerenciamento de águas urbanas apoiou essa abordagem. Neste estudo, um sistema tríplice de componentes essenciais integram as regras necessárias de análise para o modelo de gestão sustentável do SUAA em multiescala (Figura 16).

Figura 16 - Componentes ou regras essenciais que integram o modelo de gestão sustentável do SUAA em multiescala.



Fonte: elaboração própria (2021).

Uma descrição sobre cada uma das três abordagens temáticas utilizadas no modelo está colocada a seguir. Ressalta-se que existe uma alta comunicação entre as regras essenciais nas implementações de estratégias de gestão, uma vez que os conceitos sobre gestão integrada das águas urbanas considera, simultaneamente: análises espacialmente explícitas (regras espaciais); elementos que regem os fluxos de água (regras biofísicas) e novas abordagens de governança (regras de governança).

4.3.1 *As regras espaciais*

As regras espaciais (JIMÉNEZ ARIZA *et al.*, 2019; PANAGOPOULOS *et al.*, 2012) compõem a análise do espaço físico urbano como um meio de apoiar a tomada de decisão humana. Através dessa abordagem, as estratégias de gestão foram observadas através de um panorama espacial sobre perspectivas de necessidades e oportunidades e incorporam as ferramentas de planejamento espacial. A capacidade de representar descobertas no espaço, realizar avaliações espacialmente explícitas, produzir resultados visuais e intuitivamente interpretáveis, estudar as características do *layout* espacial urbano, acompanhar as dinâmicas urbanas, oferecer flexibilidade de escala e incluir múltiplos critérios de decisão são os valores críticos que apoiaram esta abordagem.

4.3.2 *As regras biofísicas*

As regras biofísicas (BRADSHAW *et al.*, 2019; LUTHY *et al.*, 2019) referem-se à dinâmica dos fluxos hídricos ao longo do tempo e envolvem elementos visíveis e tangíveis da paisagem urbana, tanto naturais como artificiais. Os aspectos biofísicos determinam o potencial hídrico das áreas urbanas. Eles incluem aspectos relacionados ao solo, topografia, hidrologia, clima, arranjo urbano e infraestrutura. São os componentes mais bem compreendidos e acordados na literatura. Os fatores biofísicos, normalmente, são os definidores iniciais de estratégias de gestão sustentável. Por exemplo, a escassez urbana de água pode incentivar a gestão de perdas e o desenvolvimento de tecnologias descentralizadas para suplementar o

abastecimento de água. Acrescenta-se, ainda, que os processos biofísicos são o cerne da análise do ciclo urbano integrado da água.

4.3.3 As regras de governança

As regras de governança (BARRON *et al.*, 2017; WOLFRAM *et al.*, 2019) referem-se a novas estratégias de governança que apoiam o processo de tomada de decisão através de mudanças nas regras tradicionais de gestão, regulamentos de planejamento, envolvimento das partes interessadas por processos participativos e mudanças de comportamentos em relação à água. Legislações - como leis, decretos, planos diretores municipais, planos diretores de saneamento, códigos de obra e planejamento, portarias - apoiam oportunidades e restrições para implementação de estratégias de gestão. Além disso, as regras de governança envolvem o engajamento das partes interessadas.

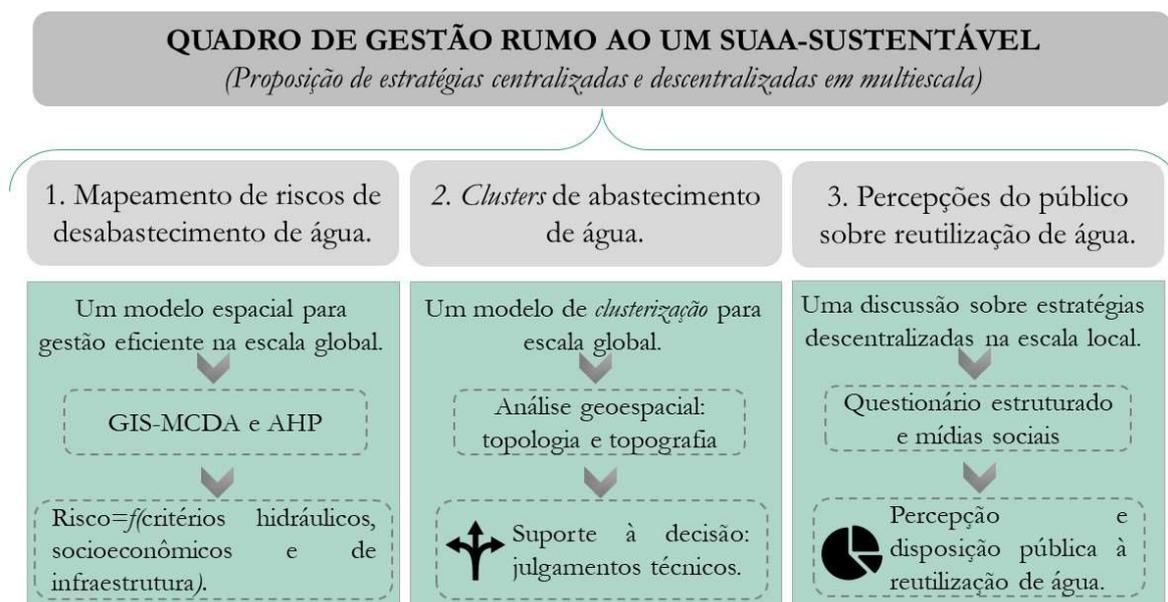
Mudanças institucionais, participação pública, respostas da comunidade, incentivos para a hidrocidadania (SCOTT-BOTTOMS e ROE, 2020) e percepções dos usuários são os *drivers* para a construção da governança sustentável da água e fazem parte da base fundamental da gestão integrada das águas urbanas.

4.4 As estratégias de gestão

As estratégias de gestão são esforços direcionados para atender às necessidades de recursos hídricos na área de estudo e, por conseguinte, são orientadas a promover caminhos em direção a um modelo de Sistema Urbano Sustentável de Abastecimento de Água. Um gama de estratégias podem apoiar o modelo proposto para um Sistema Urbano Sustentável de Abastecimento de Água em multiescala. Elas foram propostas considerando os pontos críticos do SUAA da área de estudo: escassez hídrica; altos índices de perdas; planejamento e gerenciamento com baixo nível de eficiência; alta expansão não prevista do sistema; e pobre consciência ambiental. Além disso, foram elencadas através de um quadro de gestão contemplando as três escalas urbanas, bem como as três abordagens temáticas. As estratégias estão vinculadas à gestão da demanda de água, bem como à gestão integrada das águas urbanas e foram categorizadas em centralizadas e descentralizadas, como descritas nos itens a seguir.

Para atender ao terceiro objetivo desta tese, foram desenvolvidas três estratégias estabelecidas no quadro de gestão como ações e contribuições metodológicas sustentadas pelo modelo de gestão proposto. A Figura 17 descreve graficamente as respectivas contribuições. Os detalhes metodológicos destas ações podem ser obtidos junto aos itens 5.2, 5.3 e 5.4 desta tese.

Figura 17 - Contribuições metodológicas específicas desenvolvidas como ações para o modelo de gestão proposto.



Fonte: elaboração própria (2021).

4.4.1 As estratégias centralizadas

São todas as estratégias de gestão que podem ser implementadas para o sistema de água centralizado. Para este estudo, o sistema centralizado é composto por toda a infraestrutura convencional do Sistema Urbano de Abastecimento de Água, e incluem as tubulações, os reservatórios de distribuição e as estações elevatórias. Este sistema é alimentado, por uma única fonte de água distante da cidade. Os níveis de gestão elementar e eficiente, abordados neste modelo de gestão, abrangem as estratégias centralizadas. A gestão das perdas e o abastecimento equitativo estão entre as principais ações para alcançar um nível de gestão eficiente.

4.4.2 As estratégias descentralizadas

São todas as estratégias que podem ser implementadas ao incorporar um sistema de água descentralizado para o desenvolvimento de novas opções de abastecimento de água para áreas urbanas. O nível de gestão sustentável envolve as estratégias descentralizadas. O cerne do sistema descentralizado para abastecimento de água está no aproveitamento dos potenciais hídricos alternativos gerados dentro da própria cidade para suplementar o sistema centralizado, justificado por escassez hídrica urbana e múltiplos cobenefícios sociais e ambientais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

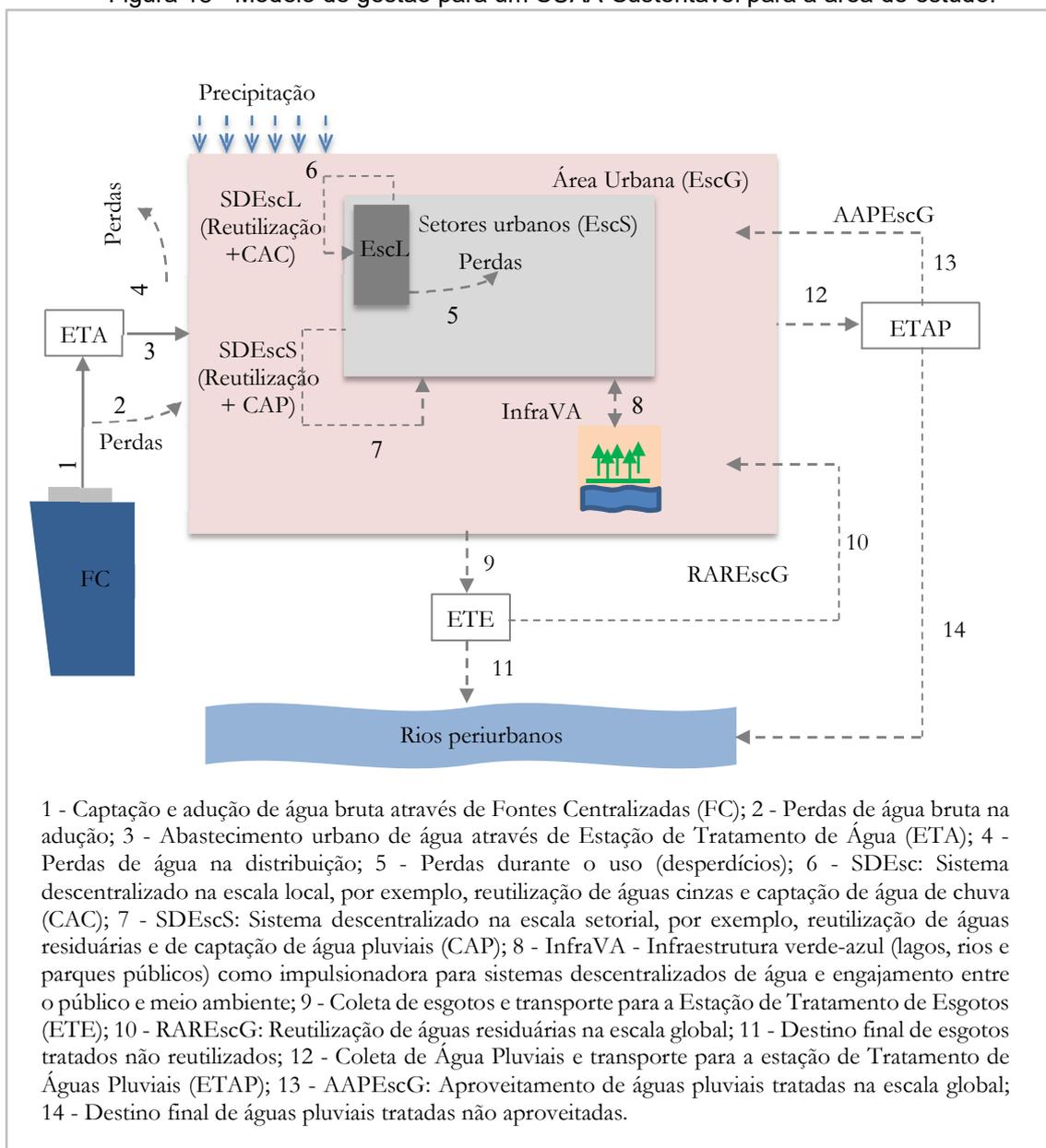
O objetivo principal deste estudo é traçar um plano de gestão em multiescala para o SUAA. Para isso foi considerado um modelo de gestão e um quadro de estratégias que contempla medidas centralizadas e descentralizadas, apoiadas por um sistema tríplice de regras. Para a metodologia proposta no Capítulo 4, alguns percursos metodológicos foram desenvolvidos. Três ações que estão inseridas nas estratégias de gestão para apoiar o modelo metodológico proposto foram desenvolvidas: (i) um modelo espacial do risco de desabastecimento de água; (ii) um modelo de setorização em *clusters* de abastecimento; e (iii) uma discussão rumo ao desenvolvimento de estratégias descentralizadas. Estas três abordagens serão descritas com maiores detalhes nos itens 5.2, 5.3 e 5.4 deste documento, respectivamente. Além disso, no item 5.5, é fornecida uma breve descrição sobre colaborações com outras pesquisas que apoiaram esta tese.

5.1 O modelo de gestão para um SUAA-Sustentável

O modelo proposto contempla Fontes Centralizadas (*FC*) e Fontes Descentralizadas (*FD*). As *FC* alimentam o sistema centralizado e contemplam as águas interestaduais e/ou inter-regionais. O sistema centralizado é constituído pela soma de todas as infraestruturas convencionais utilizadas para transportar, tratar e distribuir os fluxos de água com o objetivo de atender as demandas projetadas (Figura 18).

Destaca-se que, embora o modelo incorpore a escala global como os limites da área urbana, as fontes centralizadas estão situadas em uma escala de maior abrangência espacial, notadamente, a vários quilômetros de distância da área urbana, evidenciando que a gestão integrada das águas urbanas origina-se em escalas espaciais abrangentes, a saber, a escala da bacia hidrográfica. Portanto, como explicitado anteriormente, o termo escala global refere-se a escala de maior alcance espacial, neste estudo: a área urbana. Por sua vez, as *FD* são as fontes alternativas situadas no interior das fronteiras urbanas, tais como as águas residuárias, águas de chuva, águas pluviais, águas subterrâneas e dessalinização. Notadamente, estas duas últimas não fazem parte do escopo deste estudo, em razão da baixa aptidão deste recurso hídrico descentralizado para o caso de estudo.

Figura 18 - Modelo de gestão para um SUAA-Sustentável para a área de estudo.



Fonte: elaboração própria (2021).

As águas captadas na fonte centralizada são direcionadas para a Estação de Tratamento de Água (ETA), através das infraestruturas de distribuição, até as áreas de consumo. Da ETA até as infraestruturas de distribuição, ocorrem perdas que necessitam ser gerenciadas e minimizadas a fim de aumentar a eficiência do abastecimento de água urbano. A setorização do SUAA em Áreas Distritais de Medição (DMA) estão entre as técnicas mais utilizadas para gerenciamento de perdas na distribuição (MARTÍNEZ-SOLANO *et al.*, 2018).

As perdas locais são aquelas que ocorrem junto ao usuário por motivos de uso irracional da água ou ineficiência da infraestrutura no nível local. Estas perdas são geridas através de métodos de gestão da demanda.

De acordo com Butler e Memon (2005), os métodos amplamente utilizados para gerenciar a demanda de água são categorizados em: (i) instrumentos econômicos e financeiros, como a precificação das tarifas de água; (ii) políticas socioambientais, como as práticas de conscientização da população, restrição do uso e incentivos (tarifas sociais, por exemplo); e (iii) instrumentos tecnológicos, como os sistemas que reduzem o consumo através do aumento da eficiência no uso da água. O gerenciamento da demanda deverá ocorrer em períodos secos e chuvosos; contudo, nos períodos secos, a gestão da demanda deverá contemplar um maior número de métodos através de um programa dedicado de gestão da demanda para períodos críticos.

A água após ser utilizada é transformada em esgoto, que por sua vez, é captado, tratado, reciclado e poderá ser utilizado como recurso alternativo para fins não-potáveis nos três níveis de escala: reutilização de água cinza na escala local e setorial com tratamento no local e reutilização na escala global após tratamento na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE). Cabe aqui mencionar que as ETE comumente situam-se externamente aos limites urbanos e o pré-requisito para a sua localização não considera um ciclo de reutilização de água.

Para o caso de estudo, ETE nas proximidades de distritos industriais poderiam beneficiar a reutilização de água para fins industriais. A parcela não utilizada seguirá o caminho natural para os corpos hídricos. A regulamentação, os altos custos com tratamento e a aceitação pública poderão inibir a promoção de projetos de reutilização de esgotos na escala global. No entanto, para as escalas local e setorial, os menores índices de poluição das águas cinzas, em comparação com as águas negras, são fatores promissores para o reuso de esgoto no local. Por exemplo, em uma casa tradicional, as atividades que demandam maiores consumos de água são: banho, lavanderia, cozinhar, descarga de banheiros e irrigação de jardim, compreendendo aproximadamente 60% da utilização doméstica total de água (DENG *et al.*, 2020).

Um estudo recente de Zhou *et al.* (2021) avaliou a experiência de fracasso de reuso de esgotos para a escala global e concluiu que uma abordagem de reuso multinível possui maiores chances de sucesso. O referido estudo nomeou de 5R a nova abordagem para reuso de águas para áreas urbanas, incluindo também

captação de água de chuva: Recuperar (água pluvial), Reduzir (água de descarga do banheiro), Reciclar (água cinza), Recurso (água negra) e Reutilizar (água residual com tratamento avançado). O objetivo principal desta abordagem é reduzir, ao máximo possível, a quantidade de água no nível 'Reutilizar', pois é nesta etapa que reside alguns dos maiores desafios para o reuso urbano de água: as tecnologias de alto custo para tratamento e a aceitação pública.

Os novos desenvolvimentos devem ser redimensionados com esta nova abordagem de reuso local. Nas novas edificações, o sistema hidrossanitário é concebido de forma a coletar as águas residuárias segregadas em águas cinzas e negras. Assim, essas águas serão coletadas por tubulações distintas e conduzidas a tratamentos diferenciados para as escalas local e setorial. De igual modo, na escala global, a infraestrutura de esgoto deverá ser redimensionada para promover a reutilização de água.

O novo modelo propõe a implantação de sistemas de captação de água de chuva (CAC) nas escalas locais a partir de cisternas de armazenamento para usos não potáveis e águas pluviais (CAP) na escalas locais e/ou setoriais através de estruturais de drenagem descentralizadas que captam a água pluvial, realiza o tratamento e a distribuição no local. A captação de águas pluviais poderá também ser direcionada para espaços verdes públicos onde há maior área de captação de água, grandes áreas verdes irrigáveis e possibilidades de promover engajamento e participação pública para sistemas descentralizados de abastecimento de água.

Um número relevante de estruturas de drenagem descentralizadas, comumente conhecidas como estruturas compensatórias, estão associadas ao armazenamento, tratamento e consumo locais, tais como: cisternas, *wetlands*, lagoas pluviais, bacias de retenção, pavimentos permeáveis, telhados verdes, dentre outros. Estes sistemas foram pensados para promover a mitigação dos impactos das inundações e melhoria da paisagem urbana; no entanto, diversos estudos os apontam como recursos importantes para complementar o abastecimento urbano de água (BRITO *et al.*, 2020; DE MACEDO *et al.*, 2019).

Ressalta-se que as águas pluviais têm ocasionado impactos socioambientais na área de estudo, tais como os alagamentos (ALVES *et al.*, 2020). Os altos índices de impermeabilização do solo e a insuficiência da infraestrutura atual não absorvem os fluxos de água gerados pelos eventos pluviométricos. Paradoxalmente, os sistemas pluviais e de esgotos que foram dimensionados para operarem

individualmente, operam de maneira mista, acarretando saturação e o transbordamento das águas pluviais e a contaminação de rios e lagos à jusante.

Para a escala global, o reuso de águas pluviais será possível após o tratamento nas Estações de Tratamento de Águas Pluviais (ETAP) para uso que exigem baixos níveis de potabilidade, por exemplo, irrigação e alguns tipos de indústrias. O projeto de tratamento e reuso de águas será eficaz se forem elaborados os estudos adequados sobre os processos biofísicos envolvidos, ou seja, considerando a quantidade e a qualidade das águas pluviais como recursos potenciais. O grau de urbanização tem um impacto importante na qualidade das águas pluviais e, em algumas cidades em razão de atividades específicas e fontes difusas e desconhecidas de poluentes, apresentaram maiores índices de poluentes do que os esgotos (JOHNSON e HUNT, 2019; RODAK *et al.*, 2020).

Ademais, o reuso de águas pluviais e esgotos proposto neste modelo de gestão tem seus benefícios tanto para a gestão de escassez hídrica urbana, constituindo fontes alternativas de abastecimento para uso não potável, quanto para a gestão de inundações urbanas, por meio da redução das águas pluviais. A operacionalização de sistemas de reuso de esgotos e águas pluviais deve considerar os períodos de secas, embora o reuso de águas cinzas seja possível durante todo o ano. Contudo, deve-se considerar a queda no consumo de água em razão do racionamento, e conseqüente diminuição da produção de esgotos.

5.1.1 *As estratégias centralizadas*

Um quadro de estratégias de gestão centralizadas foi elaborado para o caso de estudo para mitigar as fragilidades do sistema e proporcionar capacidades adaptativas diante de crises (

Quadro 5). Para selecionar as melhores estratégias, foram levantados problemas críticos, através de dados disponíveis da rede de distribuição e pesquisas censitárias (IBGE, 2010) e de estudos anteriores.

Os principais problemas identificados foram: escassez hídrica, alto índice de perdas, gestão e controle operacional com baixa eficiência, alta expansão da infraestrutura secundária de água (diâmetros menores que 200mm) para áreas não previstas, ausência de programas de gestão da demanda, do lado do consumidor e do lado da concessionária.

Quadro 5 - Estratégias centralizadas para o modelo de gestão SUAA-Sustentável da área de estudo.

ESTRATÉGIAS DE GESTÃO CENTRALIZADAS				
Escalas	Estratégias de gestão	Regras espaciais	Regras biofísicas	Regras de governança
Global	<i>Identificar áreas susceptíveis a escassez hídrica urbana.</i>	Obtenção de modelo espacial de áreas de risco de desabastecimento de água.	Avaliação de fatores hidráulicos e de infraestrutura para o risco de desabastecimento.	Integração entre planejamento urbano e serviços de água
	<i>Realizar um zoneamento para manter requisitos de desempenho e gestão de perdas</i>	Proposição de um zoneamento em <i>clusters</i> de abastecimento.	Avaliação das características da rede para analisar a uniformidade das pressões e similaridade de demandas.	Implementação e regulação de um plano de gestão de perdas.
	<i>Implantar um sistema de coleta, armazenamento e gestão de dados para a automação do SUAA.</i>	Integração de sistemas de automação com sistemas de informações geográficas.	Avaliação dos níveis de reservatórios, vazões e pressões na rede e inserção micromedição inteligente.	Reestruturação administrativa e melhores práticas de gestão (habilitações e treinamentos de operadores).
	<i>Criar um sistema de monitoramento de vazamentos.</i>	Implementação de um mapeamento de pontos de vazamentos com ferramentas de geolocalização.	Mensuração dos fenômenos da rede que geram rompimentos.	Criação de um sistema de registro de ocorrência de vazamentos.
	<i>Identificar áreas da rede com necessidade de substituição de tubulações.</i>	Implementação de mapeamento de áreas da rede com necessidades de reabilitação e substituição de tubulações.	Identificação de materiais em desuso das tubulações, tubos danificados e com diâmetros inferiores a 50mm.	Proposição de um plano de reabilitação de redes.
	<i>Analisar o horizonte de planejamento das demandas do sistema.</i>	Proposição de uma modelagem da dinâmica espacial urbana para apoio ao gerenciamento da demanda.	Previsão da oferta disponível e da demanda atual e futura: saldo entre oferta-demanda. Estimar a demanda global de água com maior precisão	Reestruturação do plano para gerenciamento da demanda integrada como requisito regulatório para demandas atuais e futuras
Setorial	<i>Identificar regiões da cidade com necessidades e oportunidades específicas para receber políticas de economia de água.</i>	Avaliação geoespacial de áreas com potencial para instalação de equipamentos de baixo fluxo de água: novos desenvolvimentos condominiais,	Obtenção de um estudo sobre a economia de água em razão das substituições de aparelhos convencionais por aparelhos de baixo fluxo.	Reedição do Código de Obras para tornar obrigatório a instalação de aparelhos de baixo fluxo em novos desenvolvimentos de uso compartilhado, especialmente em

ESTRATÉGIAS DE GESTÃO CENTRALIZADAS				
Escalas	Estratégias de gestão	Regras espaciais	Regras biofísicas	Regras de governança
		bairros planejados.		zonas com restrições de infraestruturas.
Local	<i>Implementar um programa de economia de água em residências unifamiliares.</i>	Incorporação de torneiras, chuveiros e bacias sanitárias com baixo consumo de água, independentemente da sua localização no espaço urbano.	Identificação das inadequações habitacionais (assentamentos precários) e residências com ligações ilegais.	Regulação municipal para a instalação de equipamentos de baixo fluxo em banheiros existentes e novos, com incentivos financeiros.
	<i>Estabelecer um programa de economia de água para serviços específicos</i>	Obtenção de mapeamento da localização de serviços específicos que tenha sua operação baseada em uso significativo da água.	Realização do cálculo da economia de água com a utilização de aparelhos acessórios com eficiência hídrica.	Geração de incentivos financeiros para instalação de aparelhos poupadores específicos para serviços.

Fonte: elaboração própria (2020).

5.1.2 As estratégias descentralizadas

Um quadro de estratégias de gestão descentralizadas também foi proposto para a área de estudo, nas três escalas de análise, e compreendendo as abordagens temáticas do modelo proposto (Quadro 6).

Estas estratégias estão voltadas para a gestão integrada das águas urbanas, incluindo abastecimento de água, esgoto e águas pluviais. Estratégias relacionadas ao *Design Urbano Sensível à Água (WSUD)*, *Desenvolvimentos de Baixo Impacto (LID)*, *Sistemas de Drenagem Sustentáveis (SUD)* que embora possuem ênfase na gestão da drenagem urbana, possuem argumentos consolidados para potenciais como um recurso hídrico alternativo, para fins potáveis e não potáveis.

A reutilização de águas cinzas foi evidenciada como potencial hídrico durante todo o ano para a cidade (MARINHO, 2018) e é um recurso viável para ser explorada nas três escalas. Oportunidades de reutilização de água podem ser originadas na escala local residencial e industrial em substituição a outras fontes de água. Por exemplo, nas residências, 35% das águas cinzas se originam a partir dos sistemas da máquina de lavar roupa (17%) e do banho (18%) (ZHOU *et al.*, 2020).

Por outro lado, de acordo com o mesmo estudo, 30% do consumo de água potável são despendidos para limpeza de vasos sanitários.

Quadro 6 - Estratégias descentralizadas para o modelo de gestão SUAA-Sustentável de Campina Grande-PB.

ESTRATÉGIAS DE GESTÃO DESCENTRALIZADAS				
Escalas	Estratégias de gestão	Regras espaciais	Regras biofísicas	Regras de governança
Global	<i>Implementar programa de renaturalização dos cursos d'água da cidade.</i>	Proposição de mapeamento dos principais cursos d'água da cidade, e suas relações espaciais com a malha urbana.	Determinação de interações entre os cursos d'água e lagos, sistemas de água e a formação do espaço urbano.	Disseminação do debate na comunidade sobre medidas de gestão sócio naturais.
	<i>Implementar um sistema de coleta de água pluviais.</i>	Obtenção de uma análise espacial de áreas potenciais para captação de água pluvial (observar o projeto multilagos).	Estipulações sobre o potencial hídrico para captação de águas pluviais (estudos hidrológicos, pluviometria, índice de áreas impermeáveis e eficiência hidráulica dos caminhos de fluxo).	Regulação de coleta, captação, tratamento e distribuição de águas pluviais nos planos de saneamento e seus usos.
Setorial	<i>Implementar programa de coleta e uso local de águas pluviais em novos desenvolvimentos coletivos.</i>	Determinação de preferências espaciais baseada em áreas compatíveis com a necessidade de demanda para irrigação da paisagem ou outros usos em desenvolvimentos coletivos.	Avaliação de projetos de coleta, armazenamento e tratamento de água pluviais para uso no local.	Implementação de incentivos financeiros e engajamento da vizinhança aproveitamento de águas pluviais em novos desenvolvimentos.
	<i>Implementar programa de reuso de águas cinzas em novos desenvolvimentos condominiais horizontais para usos não potáveis.</i>	Incorporação em todos os novos desenvolvimentos condominiais independente de sua situação espacial.	Obtenção dos fluxos de águas cinzas das áreas de uso coletivo e usos apropriados.	Regulação da obrigatoriedade de reuso de água para irrigação em desenvolvimentos horizontais com incentivos financeiros e instrumentos de conscientização ambiental.
Local	<i>Avaliar a opinião pública para sistemas alternativos de água</i>	Identificação das áreas prioritárias para receber sistemas alternativos de água.	Avaliação da produção urbana alternativa de água.	Incorporação de políticas regulatórias para sistemas alternativos.
	<i>Implantar sistemas de reuso de águas cinzas em novos</i>	Incorporação de todos os novos desenvolvimentos independente de	Obtenção dos fluxos de água de banheiros e lava	Obrigações para implantação de sistemas de reuso em condomínios verticais.

ESTRATÉGIAS DE GESTÃO DESCENTRALIZADAS				
Escalas	Estratégias de gestão	Regras espaciais	Regras biofísicas	Regras de governança
Local	<i>desenvolvimentos verticais para usos não potáveis.</i>	sua situação espacial.	roupas para lavagem de bacias sanitárias.	
	<i>Implementar um sistema de aproveitamento de água de chuva para usos não potáveis.</i>	Obtenção do mapeamento de áreas potenciais para captação de água da chuva.	Avaliação das séries de precipitação e características das estruturas de captação e armazenamento.	Regulação de programas de incentivo financeiros para captação de água de chuva, principalmente nas áreas mais vulneráveis a abastecimento intermitente.

Fonte: elaboração própria (2020).

Um sistema de reutilização de água cinza no local para novos desenvolvimentos que contemple a integração destes três sistemas, resultaria em um projeto com compatibilidade de entrada e saída de fluxos. A reutilização de água residuária para fins recreativo e ecológico (por exemplo, manutenção do nível de água do Açude Velho durante todo o ano); e climático (melhorias do microclima da cidade) poderão ser incorporadas às práticas de desenvolvimento sustentável da cidade para a escala global.

A captação de água de chuva e pluvial também deve ser considerada. Campina Grande além de secas recorrentes, lida com eventos de inundações (ALVES *et al.*, 2020). As águas pluviais foram reconhecidas pela Lei Federal 13.501/2017 que alterou a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997) para incluir o incentivo, a promoção e o aproveitamento desse recurso como um de seus objetivos. O estudo de Sousa (2015) encontra evidências para a captação potencial de água de chuva na cidade.

Ressalta-se que esta tese fez a seguinte distinção: água de chuva é aquela captada nos telhados das construções e está disponível para tratamento e armazenamento no local; enquanto que as águas pluviais são aquelas captadas no nível das vias urbanas e conduzidas para as infraestruturas de drenagem. Esta diferenciação auxilia na compreensão de que estes recursos de água deverão ser explorados oportunamente nas múltiplas escalas urbanas.

Considerando as estratégias de gestão descritas nos Quadros 5 e 6, a seguir serão apresentadas contribuições metodológicas sustentadas pelo modelo de

gestão proposto utilizando o fluxo de trabalho, em direção a um Sistema Urbano de Abastecimento de Água Sustentável (SUAA-Sustentável).

5.2 Mapeamento do risco de desabastecimento de água: um modelo espacial de apoio à gestão eficiente¹

5.2.1 Base de dados

Foram adquiridos dados junto à CAGEPA, Prefeitura Municipal de Campina Grande (PMCG) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) do último Censo, realizado no ano de 2010. Ressalta-se que não há disponibilidade de uma base de dados digital que integra todas as informações utilizadas. Portanto, após digitalizada e espacializada para o propósito deste estudo (análise de risco de desabastecimento), esta base de dados também pode ser útil para outros estudos de planejamento dos recursos hídricos na cidade.

5.2.2 Definição dos critérios

Uma vez identificado o problema e o objetivo que se deseja alcançar, qual seja: a obtenção do mapa de risco de desabastecimento de água, a análise concentrou-se no conjunto de critérios a serem avaliados. Os critérios foram definidos como atributos mensuráveis das alternativas a serem consideradas e combinados na forma de uma regra de decisão.

Os critérios foram nomeados considerando presença, importância e influência dos mesmos nos estudos sobre SUAA, além da disponibilidade de informações fornecidas por instituições. Eles foram representados em planos de informações e organizados em um banco de dados. Todas as informações geradas em formato *raster* apresentam resolução espacial de 5 metros, considerada compatível para estudos em áreas urbanas.

O GIS escolhido pertence à família ESRI (Environmental Systems Research Institute) caracterizada pelo *software* ArcGIS® na sua versão 10.2. No Quadro 7

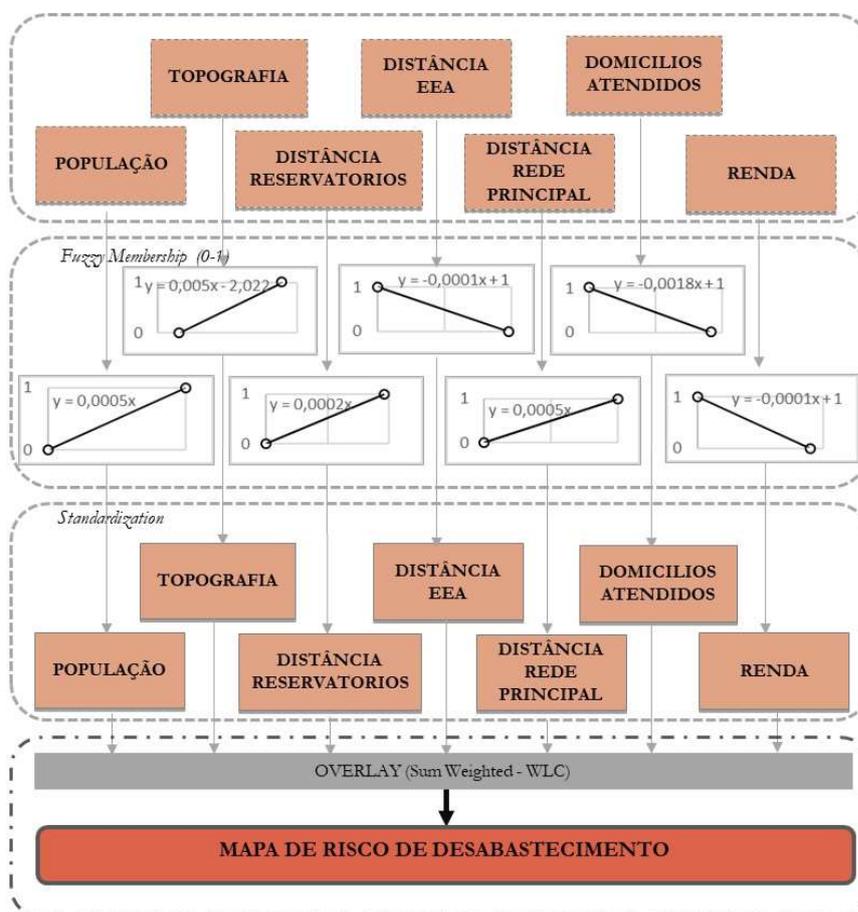
¹ Este resultado parcial da tese foi originalmente publicado na *Urban Water Journal* (<https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1804596>).

seguem considerações e discussões dos critérios utilizados, bem como são visualizadas sua espacialização para o perímetro urbano de Campina Grande.

5.2.3 Estruturação do modelo

Para o desenvolvimento do modelo foram criados diagramas esquemáticos que representam os planos de informação e as operações realizadas. O aplicativo *Model Builder*, presente na versão do ARGIS 10.1, é uma linguagem de programação visual para a criação de fluxos de trabalho que permite a modelagem em forma de diagrama do problema. A modelagem é considerada uma simulação da implementação no GIS, com todas as operações que foram efetuadas, bem como a representação dos planos de informação que correspondem aos resultados esperados. Um diagrama representativo do *Model Builder* pode ser visualizado na Figura 19.

Figura 19 - '*Model Builder*' para o mapeamento de risco de desabastecimento de água em Campina Grande-PB.



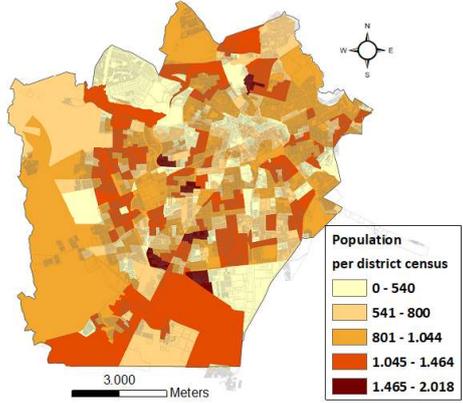
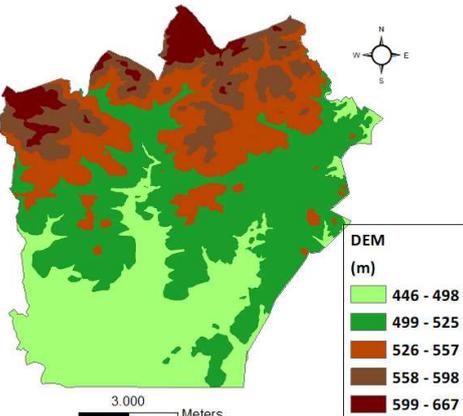
Fonte: elaboração própria (2019)

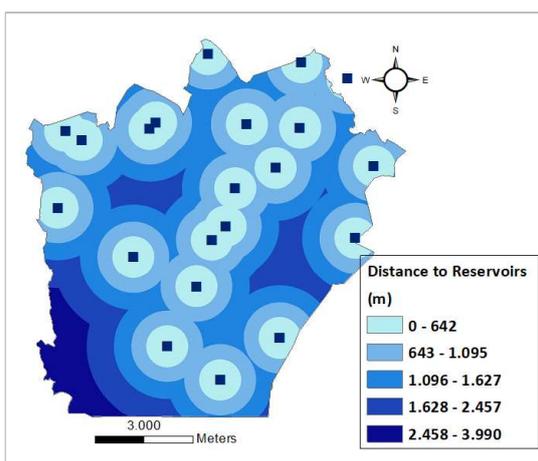
5.2.4 Análise multicritério

Definido o objetivo a ser alcançado, estruturado o modelo e elencado os critérios, foi possível utilizar os conceitos e técnicas de Análise Multicritério, utilizando o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), descrito adiante, para solução do problema. Os critérios foram normalizados para possibilitar a combinação entre eles, bem como a definição dos pesos de cada um deles através do conhecimento especializado.

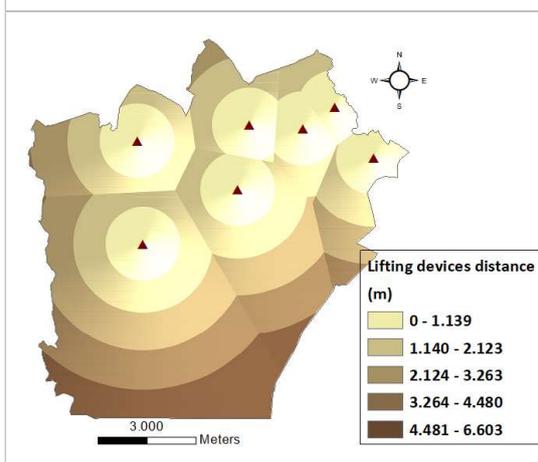
Desta forma, as etapas seguintes compreendem: normalização, ponderação e combinação dos critérios.

Quadro 7 - Critérios utilizados para o mapa de risco de desabastecimento de água.

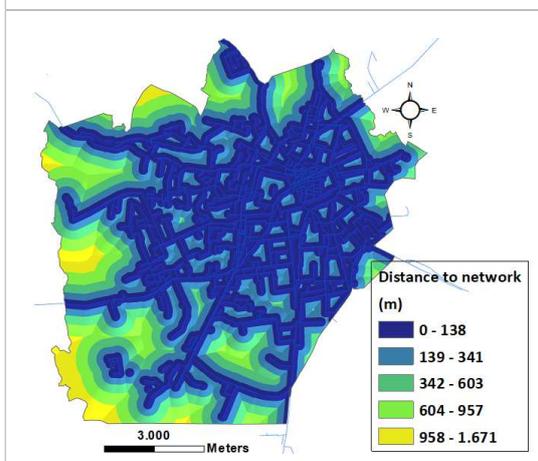
CRITÉRIOS	CONSIDERAÇÕES
 <p>Population per district census</p> <ul style="list-style-type: none"> 0 - 540 541 - 800 801 - 1.044 1.045 - 1.464 1.465 - 2.018 	<p>Critério 1: População residente - representa uma estimativa da demanda que utiliza os serviços de água. O dimensionamento dos diversos elementos que formam um SUAA está em função das demandas, as quais quando quantificadas, possibilitam a estimativa de volumes de água que devem ser aduzidos, armazenados e distribuídos. Na ausência de informações mais precisas, a população está representando a demanda de água e os lotes representam a sua localização no espaço urbano.</p>
 <p>DEM (m)</p> <ul style="list-style-type: none"> 446 - 498 499 - 525 526 - 557 558 - 598 599 - 667 	<p>Critério 2: Altimetria - é um fator determinante desde o projeto, a operação e o desempenho do SUAA. Em uma área onde a topografia é fortemente ondulada, como na cidade de Campina Grande, a altura piezométrica pode sofrer consideráveis flutuações e comprometer o desempenho hidráulico da rede. Desta forma, mesmo que ocorra oferta adequada de água, a topografia contribuir para sistemas desiguais de abastecimento de água, o que significa que muitos usuários, especialmente na periferia urbana podem sofrer de desabastecimento.</p>



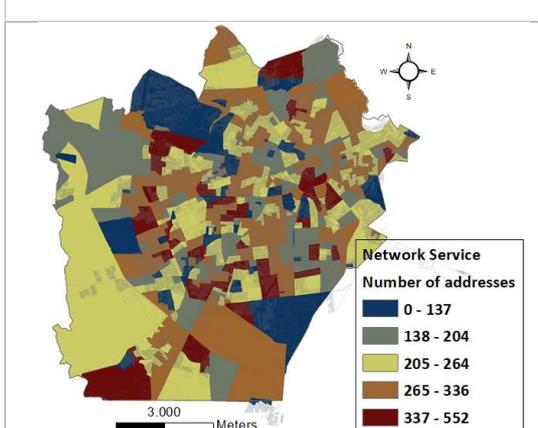
Critério 3: Distâncias aos reservatórios - possuem notável influência entre serviços oferecidos (oferta) e usuários que utilizam esses serviços (demanda). Entende-se que, quanto mais distante da zona de oferta, maior será o esforço em atender a demanda. As distâncias dos pontos de ofertas não podem ser excessivamente altas, pois as perdas de carga ao longo das tubulações poderão gerar pressões incompatíveis para atender à demanda. Nota-se também que, ao aumentar progressivamente o alcance do reservatório e manter as demais características, como a cota máxima de operação, os usuários mais distantes poderão estar mais vulneráveis.



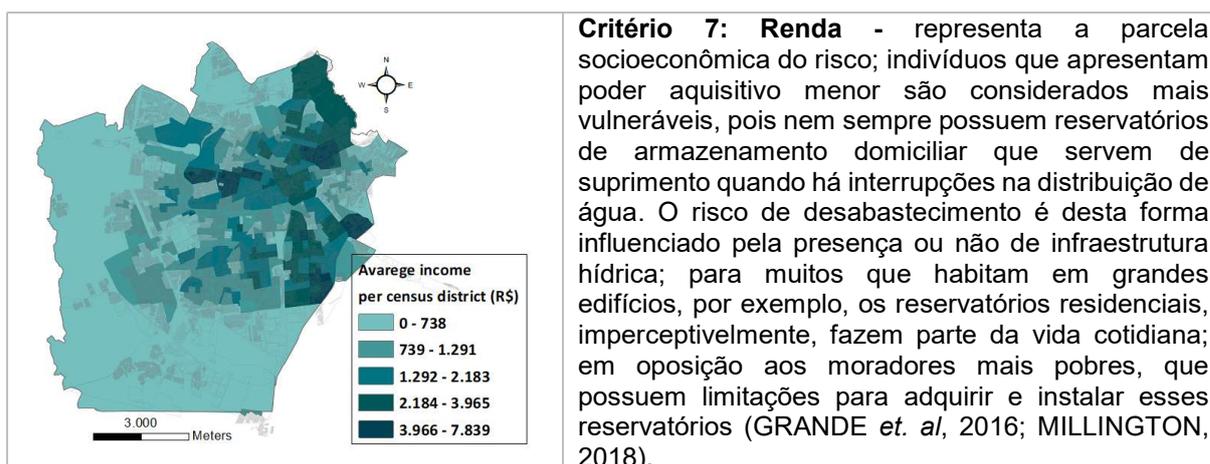
Critério 4: Distâncias às Estações Elevatórias - fator que influencia nas perdas físicas por vazamentos na rede. Os rompimentos das tubulações são, em geral, próximos destes equipamentos hidráulicos. Em Campina Grande, o índice de perdas de água tratada na distribuição são menores que 2013, mas aumentaram nos últimos anos: 40,32% (2013); 24,53% (2016); 23,49% (2017), 26,67 (2018), 27,27 (2019), de acordo com os relatórios do Instituto Trata Brasil (www.tratabrasil.org.br). Em razão do racionamento e as baixas pressões na rede, alcançou o menor índice em 2017. Estes altos índices prejudicam a gestão eficiente dos SUAA, especialmente em razão da restrição hídrica orgânica da região semiárida.



Critério 5: Distâncias à rede principal - fator que se relaciona com áreas de expansão urbana; usuário situado principalmente na periferia podem estar bem distantes da rede principal. Isto ocorre com frequência em Campina Grande e em outras cidades brasileiras em que o crescimento urbano não acompanha o crescimento dos serviços de distribuição de água. Ocorre também a expansão das áreas de atendimento da rede de distribuição que passará a atender uma área um pouco maior, gerando baixas pressões. Bairros periféricos geralmente estão localizados nos extremos da rede de distribuição de água, o que significa que possíveis reduções de pressão podem reduzir a capacidade de abastecimento.



Critério 6: Domicílios atendidos pela rede - Quantificar os domicílios que são atendidos através da rede de distribuição de água pode indicar sinais de áreas não atendidas por este serviço. As informações dos setores censitários do IBGE (2010) trazem aspectos relacionados às formas de abastecimento de água e apresentam situações de domicílios que são atendidos ou não pela rede. Muitas vezes, esses domicílios não atendidos estão localizados na periferia da cidade, um dos fatos que podem explicar os motivos pelos quais o serviço de água não consegue acompanhar a expansão urbana.



Fonte: elaboração própria (2020).

- Normalização dos critérios

Os diferentes critérios utilizados no processo de tomada de decisão para valorar uma alternativa podem estar expressos em diferentes unidades ou escalas. Portanto, antes de realizar as operações algébricas de mapas é necessária uma adequação, tornando possível a combinação desses critérios. Utilizou-se conjuntos difusos (ZADEH, 1965), os quais geram possibilidades de cada célula está associada a uma função de pertinência estabelecida. Se caracterizam por não possuírem limites definidos e a transição entre a pertinência ou não pertinência de uma posição é gradual. Geralmente, em Sistemas de Informação Geográfica, as seguintes funções de normalização são consideradas: a função sigmoïdal e a função linear. Uma descrição das respectivas relações para a normalização dos critérios utilizados está no Quadro 8, bem como o dado que deu origem a cada critério. Os mapas dos critérios normalizados estão dispostos na Figura 20.

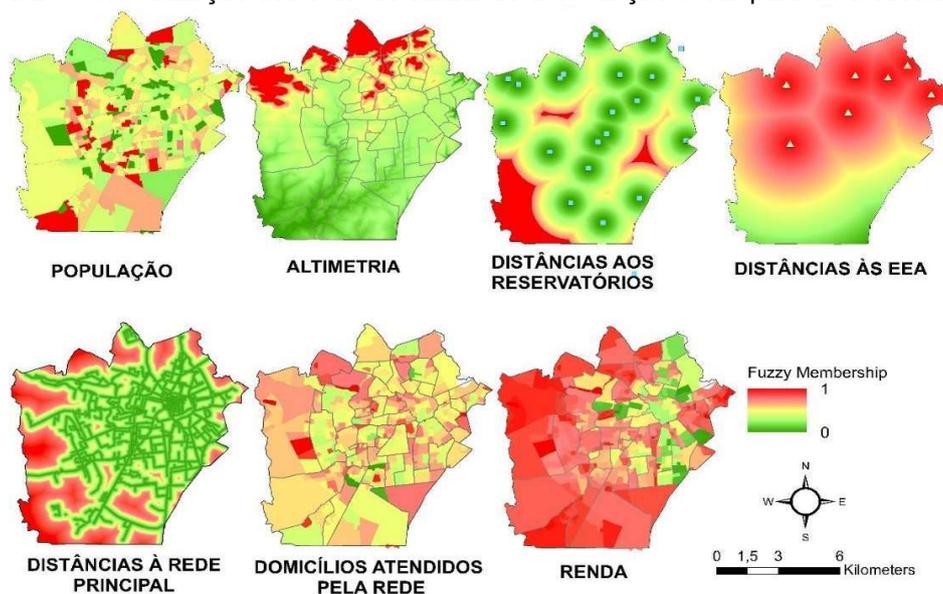
Quadro 8 - Critérios utilizados para determinar riscos de desabastecimento de água em uma área urbana.

CRITÉRIOS	DESCRIÇÃO	FONTE DE DADOS
Crítério 1: População residente	Considera-se que quanto maior a população, maior a demanda potencial de água; portanto, maior o risco de desabastecimento. Uma função linear crescente é utilizada.	Dados censitários (IBGE, 2010)
Crítério 2: Altimetria	Uma função linear crescente contínua é levada em consideração (quanto maior o valor da altitude, maior o risco de desabastecimento).	MNT (TSUYUGUCHI, 2015).

CRITÉRIOS	DESCRIÇÃO	FONTE DE DADOS
Critério 3: Distâncias aos reservatórios	Uma função linear crescente contínua (quanto mais distante do reservatório de distribuição, maior a possibilidade de risco de desabastecimento).	Cálculo das distâncias Euclidianas dos reservatórios (obtido a partir de dados da CAGEPA do ano de 2013)
Critério 4: Distâncias às EEA	Uma função linear decrescente contínua (quanto mais distante da estação Elevatório de Água -EEA, menor o risco de desabastecimento)	Cálculo das distâncias Euclidianas das EEA (obtido a partir de dados da CAGEPA do ano de 2013)
Critério 5: Distâncias à rede	Uma função linear crescente contínua (quanto mais distante da EEA, maior o risco de desabastecimento)	Cálculo das distâncias Euclidianas da rede principal (diâmetros ≥ 100 mm). (obtido a partir de dados da CAGEPA do ano de 2013)
Critério 6: Número de domicílios	Uma função linear decrescente contínua (quanto maior o número de domicílios atendidos pela rede, menor o risco de desabastecimento)	Dados censitários (IBGE, 2010)
Critério 7: Renda	Uma função linear decrescente contínua (quanto maior a renda, menor o risco de desabastecimento)	Dados censitários (IBGE, 2010)

Fonte: elaboração própria (2020).

Figura 20 - Normalização dos critérios utilizando uma função linear para uma escala de 0 a 1.



Fonte: elaboração própria (2019).

- Ponderação dos critérios

O método AHP (Analytic Hierarchy Process) baseia-se em estrutura matemática de matrizes $n \times n$; as linhas e colunas correspondem aos n critérios considerados para o problema em questão. O valor aij representa a importância relativa do critério da linha i face ao critério da coluna j . Como esta matriz é recíproca, apenas a metade triangular inferior necessita ser avaliada, já que a outra metade deriva desta e a diagonal principal assume valores iguais a 1.

Um grau de consistência (CR) deve ser avaliado, e deve possuir valor menor que 0,1 ($CR > 0,1$ indica uma alta probabilidade das pontuações matriciais terem sido geradas aleatoriamente). Portanto, o processo é iterativo e deve convergir para um conjunto consistente de pesos. No Quadro 9 é apresentada a escala de comparação dos critérios segundo o grau de importância par a par de Saaty (1980).

Opiniões de especialistas definiram o grau de importância relativa dos critérios de acordo com suas preferências individuais baseadas no seu conhecimento sobre o sistema de abastecimento aqui estudado. Foram consultados três especialistas em reuniões individuais durante os meses de novembro de 2018 e fevereiro de 2019. O perfil dos especialistas consultados foram escolhidos de forma que atendessem três características: (i) tivesse acompanhado as recorrentes crises hídricas pelas quais passaram o referido sistema de abastecimento com bom conhecimento local da situação; (ii) tivesse conhecimento profundo sobre as questões técnicas e operacionais do sistema; e (iii) que desenvolvesse diferentes funções no âmbito do tema Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água.

Quadro 9 - Grau de importância dos critérios do método AHP.

VALOR	DEFINIÇÃO	EXPLICAÇÃO
1	Igual importância	Os dois critérios contribuem igualmente para o objetivo.
3	Pouco mais importante	A experiência e o julgamento mostram que um critério é levemente mais importante que o outro.
5	Muito mais importante	A experiência e o julgamento mostram que um critério é fortemente mais importante que o outro.
7	Bastante mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é predominante sobre o outro e sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Extremamente mais importante	Com alto grau de certeza um critério é absolutamente predominante sobre o outro
2,4,6,8	Valores intermediários	Também podem ser utilizados quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Saaty (1980).

A matriz da importância relativa dos critérios obtida, após computada a média das notas segundo a opinião dos especialistas consultados, pode ser observada na Tabela 2. Após a aplicação do método e reavaliações necessárias, obteve-se um valor de 0,086 para o grau de consistência (CR). Os pesos obtidos através deste processo estão dispostos também na Tabela 2.

Tabela 2 - Matriz da importância relativa dos critérios, grau de consistência (CR) e pesos obtidos.

CRITÉRIOS	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	PESO OBTIDO
C1	1	2	3	4	7	5	5	0,334
C2	1/2	1	4	5	7	5	5	0,295
C3	1/3	1/4	1	2	3	2	3	0,075
C4	1/4	1/5	1/2	1	3	2	1/2	0,059
C5	1/7	1/7	1/3	1/3	1	1/3	1/3	0,121
C6	1/5	1/5	1/2	1/2	3	1	1/2	0,032
C7	1/5	1/5	1/3	2	3	2	1	0,084
Grau de Consistência (CR) =0,086							Total	1

Fonte: elaboração própria (2020)

Os critérios C1 e C2 são os que mais influenciam no risco de desabastecimento, somando 63% da ponderação total. Os fatores técnicos ainda possuem um peso importante no risco de desabastecimento de água na cidade de Campina Grande. A baixa pontuação em relação ao critério C5 evidencia que uma quantidade muito baixa de domicílios não é atendido pela rede de distribuição. As distâncias à rede principal (C3) obtiveram uma considerável pontuação, fato que pode identificar a forte relação entre expansão urbana e expansão da rede de abastecimento; o que se observa é uma desproporcionalidade entre o crescimento da infraestrutura e o crescimento urbano. Portanto, usuários das extremidades da rede estão mais sujeitos a riscos, influenciados pela característica do alcance do serviço de distribuição de água. O critério Renda (C7) obteve uma influência significativa, pois entende-se que a capacidade de reserva dos usuários é diretamente proporcional à condição socioeconômica e sustenta o abastecimento em momentos intermitentes. O critério C4 tem sua influência, principalmente no que diz respeito à linha piezométrica.

- Combinação dos critérios

Após a normalização dos critérios é possível combiná-los de acordo com as regras da decisão. Neste trabalho utilizou-se o método Combinação Linear Ponderada (Weighted Linear Combination - WLC), conforme Equação 1.

$$R = \sum_{i=1}^n (W_i C_i) = [(0,334 \cdot C1) + (0,295 \cdot C2) + (0,075 \cdot C3) + (0,059 \cdot C4) + (0,121 \cdot C5) + (0,032 \cdot C6) + (0,084 \cdot C7)] \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

R: Risco de desabastecimento de água

W_i: peso do critério i

C_i: critério i associado ao risco

n: número de critérios

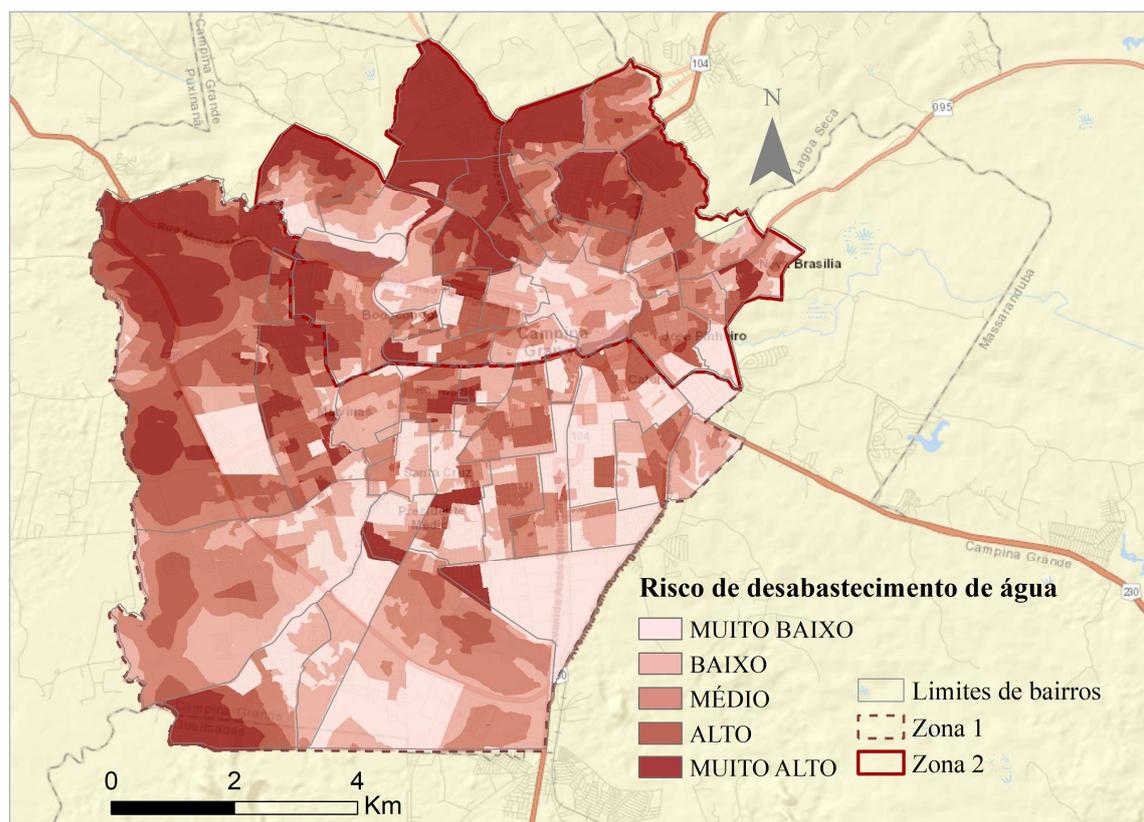
5.2.5 Riscos de desabastecimento de água e sua variabilidade no espaço urbano

Com o objetivo de definir áreas mais vulneráveis a riscos de desabastecimento de água e, por conseguinte, apoiar o processo de adequação espacial do planejamento dos SUAA-Sustentável, foi gerado um mapa com risco de desabastecimento de água para todo o limite geográfico da área de estudo. O valor crítico do resultado do mapa de desabastecimento de água reside na sua capacidade de realizar uma avaliação espacialmente explícita e produzir resultados visuais que são intuitivamente interpretados.

A despeito do resultado final do mapa que representa o risco de desabastecimento em Campina Grande, este é um bom indicador para fase de planejamento do SUAA, bem como representa uma metodologia de apoio à decisão que poderá ser utilizada como um primeiro passo pelos órgãos gestores da água no espaço urbano e pelo corpo técnico de engenheiros da companhia de água que atende à cidade. Por conseguinte, os resultados espacializados de riscos de

desabastecimento de água, segundo múltiplos critérios, tornam-se um interessante artifício no processo de tomada de decisão. Os resultados obtidos identificam áreas ocupadas submetidas à risco de desabastecimento de água, apresentadas segundo faixas que indicam, em ordem crescente, o risco avaliado, a saber: muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto (Figura 21).

Figura 21 - Mapeamento do risco de desabastecimento de água para a cidade de Campina Grande - PB.



Fonte: elaboração própria (2020).

O mapa de risco de desabastecimento de água pode se tornar uma ferramenta de suporte apropriada para as seguintes atividades: (i) planejamento - expansão da rede de abastecimento de água e projetos de modificação; (ii) manutenção - aconselhamento em caso de necessidade de manutenção e interrupções do serviço de abastecimento de curto, médio e longo prazo; (iii) operação - subsidiando manobras operacionais para garantir condições de acesso equitativas aos usuários do sistema.

Nos limites urbanos de uma cidade, há regiões que demarcam peculiaridades. Algumas apresentam uma maior densidade populacional, outras uma maior variação em suas características altimétricas; algumas estão mais distantes do

reservatório responsável pela distribuição de água, outras estão abrigadas em regiões de expansão urbana. Portanto, no momento de escolha dos pesos de cada critério, cada área poderá receber pesos diferentes, dependendo de suas características mais acentuadas. No entanto, neste estudo, considerou as características de forma generalizada.

As áreas com maiores riscos de desabastecimento estão situadas mais ao Norte e Oeste - a exemplo dos bairros de Serrotão, Cuités, Jardim Continental e Palmeira - caracterizadas com índices de risco alto e muito alto, especialmente nas regiões mais periféricas, mais distantes da rede principal, dos reservatórios de distribuição de água e em alguns bairros que abrigam domicílios com renda baixa. Essa informação, de fato, é registrada no cotidiano das pessoas que residem nessas regiões. É comum usuários fazerem críticas relacionadas à falta de água, mesmo em épocas de racionamento não formal. Embora esta informação não tenha sido constatada por levantamento *in loco* neste trabalho, o abastecimento intermitente em alguns locais é tão comum que já faz parte do cotidiano da cidade e é do conhecimento geral. Grande *et al.* (2015) constataram, através de entrevistas, esta realidade, quando avaliaram a relação entre capacidade de reservação de usuários e a renda, utilizando uma amostra representativa em toda a cidade. Foi observada a influência do fator *renda* no risco de desabastecimento em certos bairros onde residem pessoas mais ricas e que possuem grande suporte de reservação de água, o que faz o risco de desabastecimento diminuir consideravelmente. No entanto, bairros mais pobres seriam influenciados negativamente por este fator. São exceções deste fator renda, os bairros como o Alto Branco; neste caso, embora os usuários tenham renda alta, o risco constatado se enquadra nas faixas muito alto e alto, majorado pelo fator altimetria.

Áreas em expansão urbana como aquelas do bairro Serrotão se enquadram como alto risco, justificado pela desproporcionalidade entre o crescimento da rede de abastecimento e o crescimento urbano. Ao contrário das regiões mais centrais, as quais possuem adequadas pressões na rede, influenciadas pela proximidade da rede principal e dos reservatórios de distribuição, das baixas cotas altimétricas, bem como da renda alta. Notadamente, a ocorrência do fenômeno do espraiamento urbano (*urban sprawl*) sugere que os maiores índices de risco de desabastecimento ocorram nas áreas periféricas da cidade. Neste sentido, observa-se o crescimento da rede sem um devido planejamento, pois ocorrem aumentos progressivos da área de atendimento dos reservatórios de distribuição, bem como da rede secundária.

Em outras palavras, a infraestrutura de distribuição de água que fora projetada para atender uma zona de projeto passa a atender uma zona maior, e por conseguinte, demandas maiores, com pressões menores. Portanto, é muito provável que essa nova zona que fora ampliada seja consolidada com abastecimento intermitente. Em bairros periféricos, como o Serrotão e Novo Bodocongó, é comum a população fazer crítica da falta de água. Evidências revelam que há uma carência nestes bairros de reservatórios domiciliares (caixas d'água) para mitigar o efeito das baixas pressões (GRANDE *et al.*, 2015).

Observa-se também nesta região, além de problemas técnicos como baixas pressões na rede, por se situar na periferia da cidade, problemas sociais, como a baixa renda, influenciando na capacidade de reservação do usuário. É comum as pessoas armazenarem água em pequenos reservatórios de uso doméstico, os quais não são suficientes em volume para armazenagem, muito menos adequados para manter a qualidade de água para consumo. Portanto, a capacidade de reservação dos usuários se mostra fator importante para amortecer os riscos de desabastecimento, especialmente em épocas de crise hídrica em que as pressões na rede são menores e tradicionalmente se utiliza o racionamento, alternando entre zonas a disponibilidade de água.

A região central e mais ao Sul - a exemplo dos bairros Catolé, Sandra Cavalcante - sofrem menos com riscos de desabastecimento. São áreas onde moram pessoas mais abastadas; são áreas baixas; próximas de reservatórios de distribuição, bem como da rede principal, fatores que somados diminuem ou extinguem prováveis riscos de desabastecimento. Na maioria destas áreas, se observa riscos com índices de médio a baixo ou muito baixo. Acrescenta-se ainda que são áreas onde se concentra grande parte da verticalização da cidade e, por consequência, dotadas de alta capacidade de reservação, a ponto de que seus usuários podem não perceber a falta de água mesmo em dias de tradicionais racionamentos, em épocas de crise hídrica. No entanto, embora estas áreas possuam critérios hidráulicos favoráveis, há ilhas de baixa renda e uma superpopulação que aumenta o consumo, sobrecarregando o sistema.

Acrescenta-se ainda que determinados usuários praticam informalmente a exploração de fontes alternativas de água, como captação de água de chuva, água subterrânea e reuso. No entanto, não há um levantamento consolidado destas informações, nem da demanda que estes atendem. Ainda sobre fontes alternativas, ressalta-se que a cidade de Campina Grande possui dois lagos (açudes),

denominados Açude de Bodogongó e Açude Velho, que no passado já foram fontes de abastecimento local; atualmente fazem parte da paisagem urbana da cidade e são utilizados para usos, tais como irrigação de parques e jardins, além de integrarem áreas de lazer. Considerar esses lagos como elementos urbanos para apoiar e explorar estratégias descentralizadas de abastecimento urbano de água é um argumento relevante, a despeito do tratamento local para irrigação de áreas verdes e para a recuperação e manutenção da comunidade biótica dos lagos.

A minimização do risco deve ser avaliada sob um sofisticado sistema com diversas estratégias atuando em conjunto, englobados no conceito de Cidades Sensíveis à Água, com exploração do uso de fontes descentralizadas, tais como: aquíferos naturais ou artificiais; dessalinização, reutilização e reciclagem de água; redução de demanda; subsídios e legislação sobre dispositivos de economia de água; campanhas de conscientização que agindo em conjunto reduzem significativamente a probabilidade de risco de desabastecimento. Conscientes desta enorme complexidade em unir esse sofisticado sistema de estratégias, especialmente nas cidades de países em desenvolvimento, como é o caso de Campina Grande, acredita-se que este estudo possa ajudar nos primeiros passos.

Os próximos passos certamente devem convergir para a cidade pensar sobre sustentabilidade dos sistemas urbanos de distribuição de água, resiliência e fontes alternativas de abastecimento que englobam conceitos relacionados às Cidades Sensíveis a Água.

5.3 Setorização em *clusters* de abastecimento

A setorização é uma técnica eficaz para reduzir as complexidades de análise e gerenciamento de sistemas de água (BIANCHOTTI; DENARDI; CASTRO-GAMA, 2021), além de uma nova abordagem para incorporar sistemas descentralizados (VEGAS NIÑO; MARTÍNEZ ALZAMORA; TZATCHKOV, 2021). No entanto, para aplicar este método a redes reais, várias propriedades do sistema devem ser levadas em consideração para garantir o abastecimento adequado (SALOMONS; SKULOVICH; OSTFELD, 2017).

Esta etapa do estudo desenvolve uma solução para a setorização em *clusters* de abastecimento de redes urbanas de distribuição de água reais e de grande porte que possuem baixo nível de automação e um sistema de controle de supervisão e aquisição de dados em desenvolvimento. No contexto da proposta de

um plano de gestão em multiescala de um SUAA, esta abordagem integra uma estratégia para o sistema centralizado para a escala global.

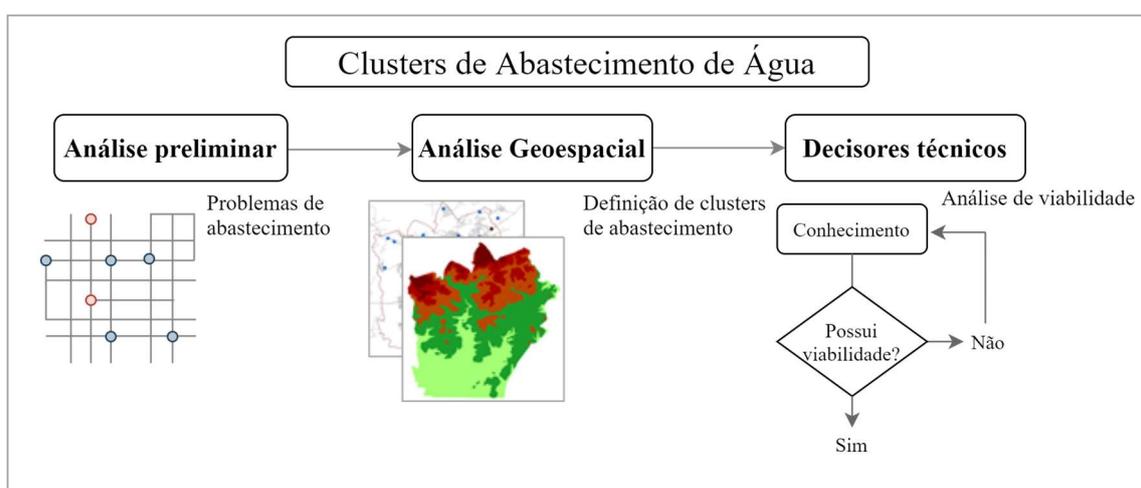
A divisão do sistema em *clusters* de abastecimento origina-se nos conceitos e métodos envolvendo as Áreas de Medição Distrital (*District Metering Áreas - DMA*), as quais têm sido preconizadas como uma técnica útil para atender múltiplos objetivos e alcançar níveis maiores de eficiência para os SUAA (MARTÍNEZ-SOLANO *et al.*, 2018; PESANTEZ; BERGLUND e MAHINTHAKUMAR, 2020). No entanto, ressalta-se que o processo de tomada de decisão entre o *design* de redes setorizadas e redes em *looping* (TODINI, 2000) é um processo desafiador, especialmente para redes que possuem uma fonte exclusiva de abastecimento de água. Contudo, as redes setorizadas, mesmo aquelas com níveis de interdependências, possuem benefícios importantes de eficiência, pois é possível sustentar com maior eficácia as restrições mínima e máxima de pressão, além de proporcionar pressões baixas e uniformes, necessárias para atender às capacidades de produção sazonal das fontes de abastecimento. Estes objetivos de eficiência, podem corroborar, sistematicamente, para a redução de perdas e intermitência do abastecimento de água, incluindo o caso de estudo.

Muitos SUAA expandiram suas infraestruturas desordenadamente e perderam a visão global de sua produção e distribuição, assim como carecem de ferramentas adequadas para controlar e operar seus sistemas. Como resultado, um número crescente de projetos que examinam métodos adequados para dividir as redes de distribuição em *clusters* de abastecimento estão em andamento em muitas cidades do mundo, por exemplo (BUI; MARLIM e KANG, 2020). A análise das partes interessadas fornece uma visão detalhada do planejamento da infraestrutura de água (LIENERT; SCHNETZER; INGOLD, 2013), além disso, a cocriação de ferramentas de particionamento de redes podem apoiar a transição futura de sistemas centralizados para descentralizados (VEGAS NIÑO; MARTÍNEZ ALZAMORA; TZATCHKOV, 2021).

Neste contexto, utilizando análise espacial e decisões técnicas, um cenário de clusterização do SUAA é desenvolvido. A metodologia proposta é utilizada para a identificação de setores potenciais, denominados de *clusters* de abastecimento, como uma etapa para apoiar a tomada de decisão em caso de divisão futura da rede em setores. Ressalta-se, portanto, que para a clusterização final devem ser considerados os custos de instalação de acessórios, bem como a realização de ajustes finos através de métodos de otimização hidráulica.

Primeiro, uma análise preliminar foi realizada para identificar problemas de abastecimento de água do caso de estudo, complementando a descrição do Capítulo 3. Em seguida, ferramentas presentes em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) foram aplicadas para realizar análises geoespaciais, selecionar os dutos principais do sistema, as zonas conectadas a estes e os gradientes topográficos presentes nestas zonas. O julgamento ou conhecimento de engenharia foi aplicado para realizar ajustes complementares. As etapas para a obtenção da setorização em *clusters* de abastecimento podem ser observadas na Figura 22 e descritas a seguir.

Figura 22 - Metodologia para definição de *clusters* de abastecimento de água



Fonte: elaboração própria (2020).

5.3.1 Análise preliminar: identificando os problemas de abastecimento

Uma análise preliminar foi realizada a fim de descrever problemas de abastecimento de água. Embora uma contextualização sobre os problemas de abastecimento de água em Campina Grande já tenha sido realizada no Capítulo 3, este item pretende abordar os problemas específicos para apoiar a setorização em *clusters* de abastecimento da área de estudo.

Nesta etapa, discutiu-se, especialmente, questões relacionadas à gestão operacional, bem como a abordagem sobre o espectro climático e sua relação com a escassez de água urbana.

O sistema de água de Campina Grande-PB atualmente opera de forma centralizada a partir da captação de 1.250 L/s do reservatório Epitácio Pessoa para a estação de tratamento de água, adução e distribuição no período chuvoso e

também no período seco. A fonte de abastecimento opera em plena capacidade, mesmo diante de cenário de seca iminente. As regras operacionais são modificadas a partir do período de seca severa (VELDKAMP *et al.*, 2017), delimitado pelo nível de alerta de 100 milhões de metros cúbicos da fonte de abastecimento, equivalente a 24,30% da sua capacidade total. Este é o único critério adotado para iniciar mudanças operacionais e de gestão específicas para o período de escassez hídrica gerada por eventos hidroclimáticos. Comumente, essas medidas se resumem a contingenciamentos no abastecimento de água, notadamente, um esquema de racionamento de água formal é implementado. No campo da tomada de decisões, questões de ordem política possuem alta relevância e interesses políticos e econômicos, geralmente, contribuem para o retardo no início do período de racionamento de água.

As mudanças operacionais para o período de racionamento são estipuladas pela definição de áreas de abrangência da cidade que receberão os serviços de água de forma intercalada. Outras medidas de uso racional da água não são consideradas no modelo de gestão atual. Altos níveis de evapotranspiração, característicos da região semiárida, oferecem um maior declínio nos níveis de água da fonte de abastecimento.

Em razão do menor fluxo de água em períodos de racionamento, ocorre um declínio da pressão no sistema, o que também contribui, naturalmente, para diminuir índices de perdas; por outro lado, a equidade do serviço é comprometida (GRANDE *et al.*, 2016). Duas zonas principais foram consideradas para o último período de seca severa: uma zona baixa (Zona 1) que opera por gravidade e uma zona alta (Zona 2), que por sua vez, opera, em sua maior parte, por sistemas elevatórios. Observa-se a inexistência de um sistema de controle de supervisão e aquisição de dados para suportar a gestão do sistema. Constata-se uma imprevisibilidade nos comandos operacionais e, comumente, as ações de gestão são tomadas sem um planejamento prévio e contam, exclusivamente, com a experiência dos operadores, que, por sua vez, são auxiliados por um sistema de controle operacional não-automatizado. As ações de gestão nos períodos seco e de seca severa são retardados devido à pouca integração política e institucional entre companhia de água, autoridades municipais e instituições que conduzem a gestão a nível de bacia hidrográfica.

Uma larga expansão das zonas de abastecimento através de infraestruturas secundárias foi constatada; contudo, dados atualizados serão necessários para

observar os níveis de expansão do sistema atual (Tabela 3). A análise do traçado da rede revelou que a infraestrutura principal é pouco desenvolvida e há uma alta expansão da rede secundária nos últimos anos (diâmetros menores que 200mm).

Tabela 3 - Expansão da infraestrutura secundária da rede de distribuição.

Diâmetro Nominal (DN)	Extensão (m)			
	2002	2006	2010	2013
50	582.649	765.978	920.151	941.424
75	51.994	64.684	78.868	83.026
100	71.230	80.704	85.821	93.361

Fonte: CAGEPA (2013).

A análise quantitativa das tubulações permitiu inferir uma porcentagem de 90,32% de tubulações de até 200mm de diâmetro, dentre as quais, 85,61% possuem diâmetros inferiores a 100mm. Também foram observadas tubulações com diâmetros inferiores a 50mm, comumente inábeis para redes urbanas, de acordo a NBR 12.218/1994. Na infraestrutura secundária da rede, observa-se ainda a presença de tubulações cujos materiais e diâmetros nominais estão em desuso, como as tubulações em cimento amianto e ferro fundido cinzento, as quais se encontram com seções úteis reduzidas em razão dos processos de incrustação e tuberculização. Um índice de perdas acima de 38,4% (SNIS, 2016) revela elevados valores de perdas de água na distribuição, gerados principalmente por vazamentos na rede. A ausência de controle operacional automatizado e a baixa manutenção preventiva podem corroborar com estes dados.

A topografia é um fator relevante para o SUAA do caso de estudo. Os divisores hidrográficos separam a cidade de forma abrupta e quase que simetricamente no sentido norte-sul, em duas regiões topográficas. A zona norte apresenta gradientes topográficos acima de 100 metros, com cotas que variam entre 540 m e 670 m. De mesmo modo, porém menos acentuada, o relevo da zona sul, apresenta cotas que variam entre 446 m a 540 m. As diferenças topográficas foram analisadas para identificar *clusters* com diferenças consideráveis de elevação que podem produzir distribuição de pressão indesejável e requerer a instalação de válvulas redutoras de pressão para mitigar altas pressões. As principais dificuldades na definição de *clusters* de abastecimento são as restrições de pressão mínima e máxima. Manter as restrições de pressão dinâmica mínima de 10 m em zonas com baixos gradientes hidráulicos, e máxima estática de 50 m em altos gradientes hidráulicos pode se

tornar desafiador em determinadas áreas da rede, reduzindo o número de soluções viáveis para incorporar configurações de *clusters* de abastecimento. Ressalta-se que estes valores de restrições de pressão mencionados são estabelecidos pela norma NBR 12.2018/1994 (ABNT, 1994).

Argumenta-se, ainda, que existem complexidades para a integração dos diferentes níveis institucionais responsáveis pela gestão do sistema: o gestor federal, que decide sobre as retiradas de água da fonte de abastecimento; o gestor estadual, que gerencia a bacia hidrográfica que abriga a fonte de abastecimento e executa as decisões do gestor federal; o gestor municipal, que exerce a titularidade dos serviços de distribuição de água (Lei nº 14.026/2020); e, por fim, a companhia de água, que, através de concessões e permissões de serviços públicos, gerencia o sistema de abastecimento de água. Portanto, a gestão da demanda do SUAA do caso de estudo é vista ainda, principalmente, como uma resposta de emergência ou crise para inadequações da infraestrutura.

5.3.2 Análise espacial

A análise espacial foi aplicada para dividir a rede em *clusters* de abastecimento usando um Sistema de Informação Geográfica (ArcGIS versão 10.4). O desenho gráfico da rede foi utilizado como dado de entrada para representar seu traçado real. Tubulações com diâmetros maiores que 200 mm foram consideradas no gráfico da rede do caso de estudo como as tubulações principais, em razão da baixa proporção entre tubulações principais ($D \geq 300$ mm) e secundárias ($D < 300$ mm). As definições da análise quantitativa das tubulações principais (infraestrutura principal) podem ser observadas no estudo de Diao *et al.* (2016).

Primeiro, a complexidade da rede foi simplificada ao utilizar as duas zonas operacionais existentes (Zona 1 e Zona 2) como ponto de partida para a setorização. A topografia e a topologia da rede (tubulações principais) foram as principais informações utilizadas para desenhar o *layout* de cada *cluster*, além de limites urbanos, como a infraestrutura viária e os limites de bairros. O modelo de risco de desabastecimento de água, descrito anteriormente, foi utilizado como ferramenta para identificar *clusters* obrigatórios. A ferramenta geoespacial de edição de feições de polígono foi aplicada para dividir os limites da rede em vários *clusters*. Esta ferramenta presente no SIG utilizado habilita as tarefas de adicionar, excluir, alterar atributos e geometrias de feições poligonais. O atributo 'diâmetro

nominal' foi utilizado para definir as possíveis entradas de cada *cluster* e as tubulações de ponta. O número de divisões foi obtido a partir da topologia da rede e da minimização de seccionamento das tubulações. Pesquisas anteriores, comumente utilizam um número máximo de 5.000 economias de água para definir um *cluster* de abastecimento para redes artificiais (SALOMONS; SKULOVICH e OSTFELD, 2017). Contudo, argumenta-se que para redes reais de grande porte - constituídas por milhares de nós de consumo, interligados também por milhares de tubos e seus respectivos reservatórios de alimentação - o número de economias pode não ser uma solução viável para uma primeira aproximação de *clusters* de abastecimento, em razão do alto número de divisões necessárias para atender esse critério.

5.3.3 Decisões baseadas em conhecimento de engenharia

Uma abordagem baseada em conhecimento de engenharia (PASMAN e ROGERS, 2020) foi usada para avaliar a viabilidade da setorização e reavaliar a definição de *clusters* de abastecimento usando a análise geoespacial. A escassez de dados é a principal justificativa para a abordagem adotada. Argumenta-se que para sistemas de abastecimento de água que contam apenas com a experiência de operadores e possuem baixo índice de automação é útil utilizar a perícia e expertise dos engenheiros para tomar decisões. No entanto, a opinião dos especialistas não substitui a etapa de otimização hidráulica para definir, sistematicamente, os clusters de abastecimento.

A setorização em *clusters* de abastecimento foi apresentada a engenheiros da companhia de água com vasto tempo de experiência na operação do sistema. Os participantes foram requisitados para usar seu melhor conhecimento de engenharia e inserir alterações na setorização proposta e, se for o caso, entregar suas respectivas justificativas. Um documento com uma estrutura de indagações foi reportada por ofício à gerência do setor operacional da companhia de água da área de estudo (Quadro 10). A síntese metodológica incorporou as etapas metodológicas, as ferramentas utilizadas e os resultados obtidos para a setorização para uma correta compreensão da clusterização pelo corpo técnico de julgadores, e elegeu os principais pontos a serem debatidos:

- A rede é dividida em clusters naturais de oferta e demanda. De preferência, cada *cluster* de demanda será atendido por um ou mais reservatório dedicados;
- A setorização partiu da divisão da rede em duas zonas de pressão utilizadas no último racionamento de água;
- A setorização considerou o período seco como o mais restritivo;
- Como as principais tubulações partem de reservatórios para alimentar certa área de demanda, a topologia da rede (tubulações principais acima de 200mm de diâmetro) foi analisada para determinar a setorização;
- A topografia foi utilizada como meio de restrição de pressão dentro de cada *cluster*;
- Pontos com grandes diferenças de elevação não podem pertencer ao mesmo *cluster*. Com isso, para uma primeira aproximação, pontos com uma diferença de elevação maior que 60 m devem pertencer a *clusters* diferentes;
- O modelo de desabastecimento de água apoiou a definição de *clusters* obrigatórios.

Quadro 10 - Estrutura de indagações reportada à companhia de água sobre viabilidade técnica de clusterização da rede de abastecimento de água.

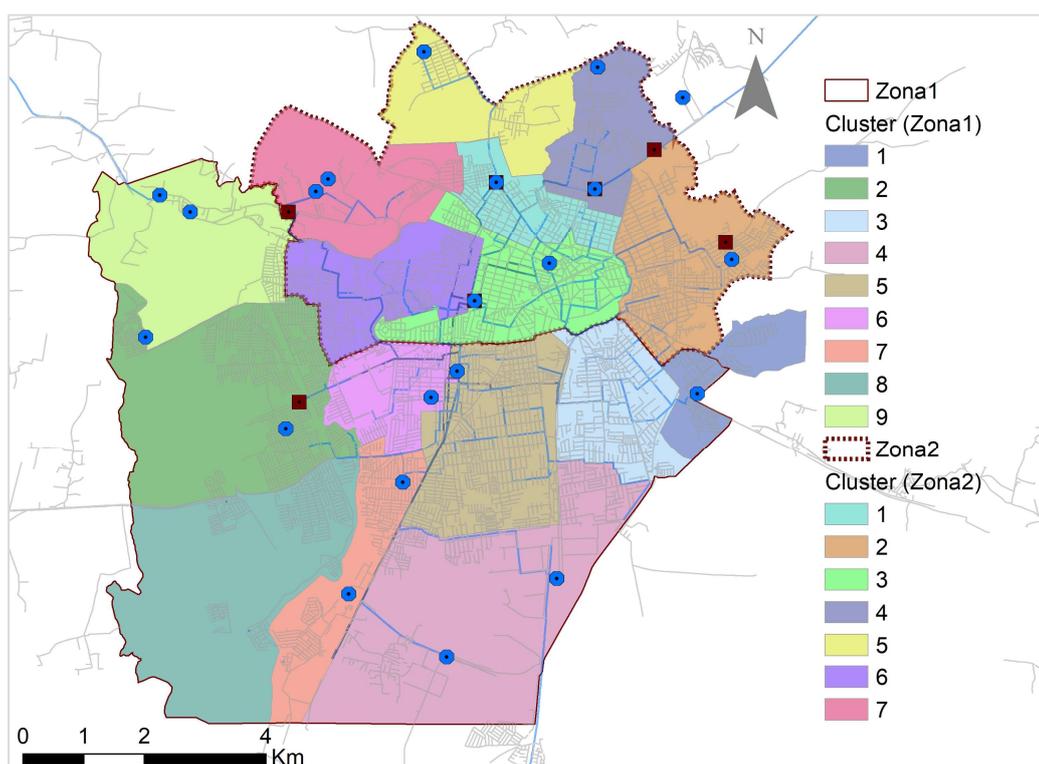
Indagações reportadas	Tipo de resposta solicitada
1. Informações preliminares: formação acadêmica, profissão, cargo, anos de experiência na instituição	Discursiva
2. Opinião sobre a importância do zoneamento em <i>clusters</i> .	Objetiva com cinco opções: muito baixa importância, baixa importância, média importância, alta importância, muito alta importância
3. Citação de pelo menos três critérios a serem utilizados para o zoneamento em <i>clusters</i> .	Discursiva
4. Opinião sobre a hipótese de zoneamento evitaria o surgimento de altas pressões (acima de 50 m.c.a), e por conseguinte, o surgimento de rompimentos na rede por altas pressões.	Objetiva com duas opções: sim ou não, com justificativa.
5. Opinião sobre a hipótese de zoneamento evitaria o surgimento de baixas pressões (abaixo de 10 m.c.a.) e, por conseguinte, o atendimento aos usuários seria mais equitativo.	Objetiva com duas opções: sim ou não, com justificativa.
6. Opinião sobre o zoneamento resultante do presente estudo de clusterização.	Objetiva com cinco opções: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta viabilidade e discussão apontado os pontos crítico que tornam a setorização viável ou inviável tecnicamente.

Fonte: elaboração própria (2021).

5.3.4 Mapeamento de clusters potenciais de abastecimento e julgamento da engenharia

Utilizando a metodologia descrita na seção anterior, uma solução potencial de *clusters* de abastecimento foi proposta. Os critérios utilizados permitiram definir sete divisões para a Zona 2 e nove divisões para a Zona 1 (Figura 23). Na medida em que o nível de gestão do SUAA caminhe rumo a um nível mais eficiente, estas divisões podem ser exploradas em subdivisões, as quais exigirão ajustes operacionais mais finos através de otimização hidráulica. A solução final da configuração em *clusters* de abastecimento deve considerar a similaridade de demanda entre os *clusters* e uniformidade da pressão.

Figura 23 - Setorização da infraestrutura de abastecimento de água do caso de estudo em *clusters* potenciais de abastecimento.



Fonte: elaboração própria (2021).

As experiências de engenheiros e suas decisões deverão inferir uma validação na setorização em *clusters* de abastecimento. A validade e a consistência dos resultados obtidos deverão ser confirmadas através de otimização hidráulica. Critérios como uniformidade de pressão e a homogeneidade da demanda são definidores de *clusters* de abastecimento. Os investimentos necessários, o

levantamento de infraestrutura e os acessórios não fazem parte do escopo deste estudo.

O projeto geral da rede define duas zonas de fornecimento principais. A Zona 1 é alimentada pelo reservatório R-09 e a Zona 2 é alimentada pelos reservatórios R-05 e R-04. Ambas são atendidas pela única fonte centralizada, o reservatório Epitácio Pessoa. Este resultado poderá servir para a delimitação de estratégias descentralizadas. Os *clusters* de abastecimento que possuem maiores desequilíbrios hidráulicos e falta de equidade poderão ser um indicador para implementar medidas descentralizadas.

Mesmo nos caso de redes com medições sistemáticas automatizadas e um sistema eficiente de obtenção e gerenciamento de dados, a setorização é um processo complexo em redes reais de grande porte, devido à complexidade intrínseca dos sistemas não lineares. Trabalhos anteriores abordaram redes pequenas, menores que 1.000 tubos, comumente hipotéticas, por exemplo, Galdiero *et al.* (2016).

As decisões técnicas de engenharia foram recepcionados através de memorando enviado pelo grupo de engenharia da concessionária de água. Eles tinham formação em Engenharia Civil com até 20 anos de experiência. Consideraram 'alta importância' como resposta à opinião sobre a importância do zoneamento em *clusters*. Foram citados dez pontos representativos como resposta aos critérios a serem adotados para a setorização do SUAA em *clusters* de abastecimento:

- *“Análise do arranjo dos anéis de distribuição em operação”;*
- *“Avaliação da topografia das zonas de influência (áreas de abastecimento)”;*
- *“Monitoramento das pressões por área de abastecimento”;*
- *“Planejamento das áreas de abastecimento ou subzonas de forma mais tecnicamente e economicamente viável”;*
- *“Avaliação do tipo de reservatório, capacidade e metodologia do controle operacional”;*
- *“Planejamento das áreas de abastecimento de forma a condicionar as novas tecnologias de controle de perdas (macro e micro medições de*

vazão) e fechamento de menores áreas possíveis para a tomada de vazamentos”;

- *“Zoneamento seguro e eficaz do sistema”;*
- *“Definição de tecnologias para válvulas usadas no seccionamento e níveis de reservatório”;*
- *“Análise de custo na implantação”.*

A topografia e a topologia da rede foram utilizadas como critérios para a clusterização; no entanto, as pressões nos nós, níveis operacionais dos reservatórios e macro e micro dados medidos de vazões não estavam disponíveis para a definição final a partir dos *clusters* potenciais obtidos. Os custos necessários para as modificações, tais como: alteração ou duplicação de tubulações, fechamento de tubulações, adição de novas bombas, implantação de novos reservatórios, ajustes dos níveis de controle de reservatórios e adição de Válvulas Redutoras de Pressão (PRV) também deverão fazer parte do escopo para a viabilidade técnica da setorização.

Em resposta à indagação sobre a hipótese do zoneamento evitar o surgimento de altas pressões, e por conseguinte, o surgimento de rompimentos na rede por altas pressões, o grupo de engenheiros, reportaram resposta positiva e justificaram que:

“A prática do cotidiano tem demonstrado que níveis de pressão abaixo de 50 m.c.a. reduz vazamentos e gera economia e redução de perdas de água”.

Igualmente, quando indagados sobre a hipótese do zoneamento evitar baixas pressões, a resposta positiva foi justificada através de uma condição:

“Desde que não haja interferência no controle operacional, fora da área de abrangência, bem como expansão do abastecimento fora da área de abrangência”.

A setorização da rede em *cluster* é uma ferramenta que possibilita a uniformidade de pressão e, por conseguinte, suporta a gestão eficiente de perdas. A uniformidade de pressão é o fator técnico mais citado na literatura para definir uma divisão da rede viável (por exemplo, Bianchotti, Denerdi e Castro-Gama, 2021). As pressões dinâmicas máxima e mínima são requisitos de projeto, no entanto em

razão das mudanças do *design* da rede ao longo do tempo, resultado da expansão urbana, surgem dificuldades operacionais para manter requisitos de projeto. As principais dificuldades na definição de *clusters* de abastecimento são as restrições de pressão mínima e máxima.

Manter as restrições de pressão dinâmica mínima de 10 m.c.a. em zonas com baixos gradientes hidráulicos e máxima estática de 50 m.c.a. em altos gradientes hidráulicos, pode se tornar desafiador em determinadas áreas da rede, reduzindo o número de soluções viáveis para incorporar configurações de *clusters* de abastecimento. Ressalta-se que estes valores de restrições de pressão mencionados são estabelecidos pela norma NBR 12.2018/1994 (ABNT, 1994). Portanto, os principais desafios quanto às restrições de pressão são: (i) garantir pressões mínimas nos nós mais elevados nos horários de alta demanda (horários de pico); e (ii) combater pressões excessivas nos nós baixos na hora de menor demanda. Para o período de seca severa em que há redução considerável do fluxo, manter as restrições de pressão na rede torna-se ainda mais desafiador.

Argumenta-se que o período seco é o cenário mais desfavorável para manter a uniformidade de pressão na rede; por esta razão, deverá ser incluído na definição de *cluster* de abastecimento. Além disso, o zoneamento obtido deverá operar nos dois períodos climáticos com poucos ajustes. O período seco é marcado por racionamento de água que muitas vezes exige mudanças operacionais substanciais. Na última seca, a cidade foi dividida em duas zonas principais de atendimento. A água era disponibilizada aos residentes alternadamente entre essas duas zonas, a cada 5 dias no período mais restritivo do racionamento. Nesse período, prevaleceu um fornecimento intermitente de água (KUMPEL e NELSON, 2016), para o qual o SUAA não foi intencionalmente projetado. Além dos desequilíbrios hidráulicos gerados na reinicialização do fluxo (por exemplo, baixas pressões, escoamento livre e redução da capacidade da tubulação), a perda regular de pressão na rede está associada a riscos de contaminação por intrusão que poderão afetar a qualidade da água em razão de gradientes de pressões negativas.

Por último, nas respostas sobre a viabilidade técnica da presente proposta de setorização da rede em *clusters* de abastecimento, os engenheiros reportaram “*média a alta viabilidade técnica*”. Adicionalmente, os pontos críticos citados foram:

“A topografia das áreas de abastecimento, a localização dos reservatórios de distribuição, o arranjo dos anéis principais deverão ser os principais

critérios utilizados e deve-se incluir as áreas rurais. Além disso, o seccionamento da rede de abastecimento deve atender à otimização operacional, à manutenção e ao controle de perdas, e ao menor índice de interferências possível, conservando níveis de pressão máximo e mínimo desejados e otimização da operação de forma a interromper o menor número de áreas possível para manutenção”.

As decisões técnicas foram úteis para obter a opinião prática sobre *cluster* de abastecimento de água. O grupo de engenheiros julgaram como ‘alta importância’ o zoneamento em clusters de abastecimento, além disso elencaram dez critérios para a setorização, bem como consideraram que a uniformidade de pressão é o principal motivo para evitar vazamentos e fornecer um serviço equitativo. Em resposta à indagação sobre a viabilidade técnica da clusterização, eles julgaram como “média a alta viabilidade”, em uma escala que variou de muito baixa a muito alta viabilidade, considerando dois objetivos divergentes: (i) otimização operacional; e (ii) menor índice de interferências possível. Portanto, uma solução da viabilidade técnica exige a análise de multicritérios para soluções ótimas de clusterização de redes de abastecimento (GALDIERO *et al.*, 2016).

Neste sentido, o auxílio do julgamento de especialistas com conhecimento prático em redes de abastecimento de água possibilitou a eleição de cinco critérios para a viabilidade técnica na hipótese de clusterização da rede de estudo: (i) Número de *Clusters* (NC); (ii) Uniformidade de Pressão no período Chuvoso (UPC); (iii) Uniformidade de Pressão no período de Seca (UPS); (iv) Custos de Implantação (CI); e (v) Número de Intervenções (NI). Neste sentido, uma matriz conceitual de interação entre os critérios foi obtida (Figura 24).

A matriz proposta apresenta uma solução conceitual como um sistema de suporte à decisão para soluções ótimas de clusterização. A viabilidade técnica é atingida quando as cinco funções objetivo, resultantes das interações mútuas a seguir, são minimizadas:

- Número de *clusters* reduzido é desproporcional à uniformidade de pressão nos períodos chuvoso e seco; por outro lado, é proporcional ao custo de implantação e ao número de intervenções. Em outras palavras, *um menor número de clusters prejudica o controle de pressão e é favorável à redução de custos e ao número de intervenções;*

- Uniformidade de pressão no período chuvoso é proporcional pela uniformidade de pressão no período seco e desproporcional ao custo de implantação e ao número de intervenções. Ou seja, *espera-se que os custos e o número de intervenções sejam maiores para ajustes de pressão mais refinados*. As mesmas regras são válidas para a uniformidade de pressão no período seco;
- Custos de implantação são proporcionais ao número de intervenções. Quanto menor o número de *clusters*, *maior a conectividade entre as tubulações e menores serão as intervenções necessárias, tais como: substituição de tubulações, adição de bombas, aumento de reservatórios, entre outros, e por conseguinte, menores serão os custos*.

Figura 24 - Matriz conceitual de interação mútua entre multicritérios para a viabilidade técnica de *clusters* de abastecimento.

Multicritérios	NC	UPC	UPS	CI	NI
Número de Clusters (NC)	■	▨	▨	▨	▨
Uniformidade de pressão chuvoso (UPC)	▨	■	▨	▨	▨
Uniformidade de pressão seco (UPS)	▨	▨	■	▨	▨
Custos de implantação (CI)	▨	▨	▨	■	▨
Número de intervenções (NI)	▨	▨	▨	▨	■

Fonte: elaboração própria (2021).

A implementação final da clusterização, bem como o estudo da sua viabilidade exigem um conhecimento profundo da rede de distribuição e um banco de dados com características físicas da rede, pressões nos nós e vazões macro e micro medidas.

Este estudo contribui para uma discussão sobre o *design* de *clusters* de abastecimento de água. A setorização do abastecimento de água é uma técnica eficaz para reduzir as complexidades para gerenciamento de sistemas de água reais. Espera-se que a obtenção de *clusters* de abastecimento atendam a alguns requisitos e critérios de desempenho, como uniformidade de pressão e número mínimo de intervenções. Uma metodologia eficiente para atender ao conjunto de requisitos e a escolha adequada de um critério que rege a setorização é uma questão complexa. O julgamento de experientes engenheiros com seus conhecimentos práticos pode ajudar a complementar a ausência de informações para sistemas com escassez de dados e minimizar as incertezas envolvidas na obtenção de modelos de clusterização de rede. Contudo, é necessário promover uma relação mais profunda entre pesquisa e prática.

O principal obstáculo para lidar com o problema de setorização em *clusters* de abastecimento é o número de variáveis de decisão potenciais (BUI, MARLIM e KANG, 2020), portanto, é uma análise que exige decisão envolvendo multicritérios. Por exemplo, a definição final da setorização compreende a otimização hidráulica. Mas, como as condições hidráulicas devem ser satisfeitas, é possível que surjam obstáculos para atender as condições econômicas.

Acrescenta-se ainda que, comumente, as redes mais complexas de distribuição de água das médias e grandes cidades são produtos de múltiplos processos de *design* e resultantes de anos de desenvolvimento que respondem continuamente às demandas crescentes por água, à expansão urbana e a infraestrutura antiga. Notadamente, incrementos da infraestrutura pouco planejados ao longo dos anos geram desequilíbrios hidráulicos e atendimento desigual do serviço de água. O caso de estudo se enquadra neste contexto de desproporcionalidade entre infraestrutura de água e desenvolvimento urbano, (por exemplo, aumento da rede secundária em relação à rede principal). Desta forma, a utilização de *clusters* de abastecimento não deve ser considerada uma solução rápida, mas um compromisso de longo prazo entre pesquisadores, tomadores de decisão e concessionárias de água.

5.4 Sistemas de Reutilização de Água: uma discussão rumo ao desenvolvimento de estratégias descentralizadas na escala local

Os Sistemas de Reutilização de Água (SRA) são definidos neste estudo como estratégias alternativas de água para a suplementação dos Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água nas múltiplas escalas urbanas. Reutilização de água se refere a água de reuso (reutilização para uma aplicação de qualidade inferior) e água reciclada (reutilização da água para a mesma aplicação) (REYNAERT *et al.*, 2020). Portanto, reutilização de água se refere a águas residuais tratadas em diferentes níveis. O tratamento depende do tipo de uso e vários processos de tratamento estão disponíveis para remoção de qualquer constituinte (ANGELAKIS *et al.*, 2018).

A água reutilizada é uma estratégia sustentável, confiável e promissora para aliviar a escassez de água e a poluição dos recursos ambientais (CHEN; NGO; GUO, 2013). Além disso, atingiu alto grau de desenvolvimento tecnológico (REYNAERT *et al.*, 2020) e resulta em economia de água potável durante todo o ano; contudo, sua efetiva implantação exige análises específicas das condições locais, das estruturas regulatórias e legais, e das limitações econômicas e institucionais.

Neste contexto, este item abordará um caminho metodológico para introduzir uma discussão sobre a implementação de estratégias de reutilização de água em escala local como uma contribuição às estratégias descentralizadas de água elencadas nesta tese. Uma discussão para introduzir os novos paradigmas dos sistemas descentralizados de água como um meio de suplementar o sistema de abastecimento de água é o escopo principal deste item.

A contribuição deste estudo apoia-se em três eixos principais: (i) uma síntese da literatura atual da pesquisa sobre reutilização de água, avanços e barreiras; (ii) um contexto local; e (iii) uma apresentação da aceitação pública, resultado da análise de percepções e da disposição do público em reutilização de água como fonte alternativa.

5.4.1 Evidências para a reutilização de água: barreiras e oportunidades

Estudos sobre Sistemas de Reutilização de Água (SRA) estão sendo desenvolvidos amplamente em diferentes locais em todo o mundo (CHEN; NGO e GUO, 2013; FOUNTOULAKIS *et al.*, 2016; MELO *et al.*, 2020; REYNAERT; HESS e MORGENROTH, 2021; SANTASMASAS *et al.*, 2013; ZHOU *et al.*, 2021). Apesar da extensa pesquisa, existem lacunas de conhecimento, dificultando uma compreensão completa das condições que moldam a efetiva implantação dos SRA e sua aceitação pública.

Além disso, há um reconhecimento global que as águas residuais são recursos pouco explorados para aliviar o estresse hídrico (UNESCO, 2017; UE, 2016). Do total de águas reutilizadas globais, produzidas a partir de tratamento terciário, a maior parte ainda é utilizada para irrigação agrícola (52%), enquanto que a indústria e as aplicações urbanas não potáveis utilizam 19,3% e 8,3%, respectivamente; e apenas 2,3% são utilizadas para fins potáveis (IWMI, 2014).

A água reciclada é uma fonte alternativa de água viável e segura (REYNAERT *et al.*, 2020; ZIEMBA *et al.*, 2019). Em muitas regiões, a reutilização de água pode ser usada como uma fonte alternativa de água (JUSSAH *et al.*, 2020), pois é menos sensível às condições de seca e fornece quantidades confiáveis de água, ao mesmo tempo que alivia o estresse sobre os recursos de água doce (IWA, 2015).

As tecnologias para tratamento de águas residuárias atingiram níveis de prontidão (HOFFMANN *et al.*, 2020; SANTASMASAS *et al.*, 2013; SHARAF e LIU, 2021); no entanto, as condições identificadas, muitas vezes, são baseadas em conceitos, considerações teóricas e projetos pilotos que exigem testes de validação em campo (LEEUWEN, 2021), que, por sua vez, estão preocupados em demonstrar aspectos bem-sucedidos das tecnologias em vez de avaliar criticamente a qualidade da água produzida (REYNAERT, HESS e MORGENROTH, 2021).

Desenvolvimentos tecnológicos recentes (por exemplo, tecnologias de membranas que envolvem microfiltração, ultrafiltração, osmose reversa, uso de ozônio e desinfecção UV) aumentaram o interesse nas aplicações de reutilização de água para além do uso na irrigação agrícola (ANGELAKIS *et al.*, 2018). Os sistemas em pequena escala oferecem benefícios como a capacidade de recuperação e reutilização de recursos no local, e, por conseguinte, redução de custos de distribuição e energia (DIAZ-ELSAYED *et al.*, 2019). Além disso, as

tecnologias envolvendo sistemas descentralizados para pequenas escalas, estão alcançando relevância (HOFFMANN *et al.*, 2020), notadamente a reciclagem de águas cinzas. As águas cinzas são uma fonte abundante de água urbana (50% a 70% do total doméstico produzido, equivalente a aproximadamente 90 a 120 litros/pessoa/dia) e possuem, relativamente, menores índices de poluição (30% de matéria orgânica e 9% a 20% de nutrientes do total doméstico) (ZHOU *et al.*, 2021).

Este estudo considera sistema centralizado aquele de propriedade pública que coleta, transporta, trata e descarta grandes volumes de águas residuárias na escala global, longe do ponto de geração. Por sua vez, sistemas descentralizados são aqueles desenvolvidos por entes públicos ou privados nas escalas local e setorial que coleta, transporta, trata e reutiliza água residuária no local de geração ou próximo dele. A maioria dos sistemas na escala local utilizam tratamentos baseados em membranas, biologicamente ativadas ou não (SANTASMASAS *et al.*, 2013; SHAIKH e AHAMMED, 2020; ZIEMBA *et al.*, 2019), adicionados com etapas de desinfecção e processos de oxidação avançados (YANG *et al.*, 2020). Esses sistemas foram capazes de cumprir os critérios de qualidade para o tratamento descentralizado de águas cinzas em testes reais; contudo, barreiras sociais, ambientais, institucionais e regulatórias são pontos críticos que precisam de mais pesquisa e desenvolvimento.

As barreiras regulatórias para reutilização de água são um dos maiores obstáculos, em razão de que o uso doméstico é quem define o padrão de qualidade da água produzida para a ampla gama de usos em toda a cidade, os quais podem exigir padrão de qualidade inferior ao potável.

Muitos países ainda não emitiram parâmetros nacionais através de mecanismos legais e regulatórios para a qualidade da água reutilizada para usos pretendidos nas multiescalas urbanas. Desta maneira, muitos SRA utilizam as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS), que por sua vez foram obtidos para o uso seguro de águas residuais e águas cinzas apenas para a agricultura e aquicultura (OMS, 2006). Por outro lado, para usos residenciais, a Organização Internacional de Padronização desenvolveu parâmetros de qualidade exclusivamente para sistemas de saneamento sem esgoto, incluindo reutilização urbana irrestrita (ISO 30500, ISO 2018). A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos explica em seu guia sobre reuso de água (US EPA, 2012) que atualmente, não há regulamentos federais que regem práticas de reutilização de água. Na ausência de regulamentos federais, cada estado poderá adotar suas

regras e desenvolver programas de reuso de água para atender usos específicos. Por exemplo, o estado da Califórnia atualmente restringe o uso de água reutilizada apenas para irrigação e vasos sanitários, e a fragmentação institucional é um obstáculo à água reutilizada (SOKOLOW, GODWIN e COLE, 2019).

Por sua vez, o governo espanhol estabeleceu em seu regime jurídico a reutilização da água (ESPANHA, 2007). Foram regulamentadas as condições básicas e específicas para a qualidade exigida da água de acordo com os usos pretendidos, quais sejam: usos residenciais (irrigação de jardins privados e descarga de dispositivos sanitários) e usos públicos (irrigação de áreas verdes urbanas, parques, quadras esportivas e similares, lavagem de ruas, sistemas de combate a incêndio e lavagem de veículos industriais). Os governos australianos e canadenses também apresentaram regulamentos de parâmetros para reutilização da água em descarga de vasos sanitários e lavagem das mãos (SANTASMASAS *et al.*, 2013).

Por conseguinte, para dirimir as barreiras regulatórias, estudos tem sugerido especificações de reutilização de águas residuais baseadas em riscos (REYNAERT *et al.*, 2020). Em outras palavras, os parâmetros de qualidade da água e, por conseguinte, o nível necessário de tratamento devem estar vinculados ao uso pretendido, pois os riscos à saúde associados à reutilização de águas residuais dependem de prováveis vias de contato.

Esta discussão evidencia que as maiores barreiras para a viabilidade da efetiva implantação de SRA nas multiescalas urbanas não são em razão de fatores tecnológicos. Além das barreiras regulatórias, discutidas anteriormente, barreiras institucionais, alocação financeira e percepção pública foram declarados como questões que tendem a restringir a viabilidade dos SRA. Por sua vez, a viabilidade dos SRA é nitidamente diferenciada pelas condições locais e mediada pela escala espacial em que as opções de reutilização da água são avaliadas.

Portanto, a adoção de novas tecnologias de saneamento não depende apenas de funcionalidade técnica, mas envolve interdependências mútuas entre as estruturas técnicas e sociais (HOFFMANN *et al.*, 2020). A aceitação pública das fontes descentralizadas de água por indivíduos e grupos sociais é moldada por fatores socioeconômicos, políticos, culturais e geográficos (HURLIMANN; DOLNICAR, 2016). Esses fatores precisam ser considerados no desenvolvimento de novos projetos de SRA para garantir a promoção de sistemas exequíveis, sustentáveis e que atendam às necessidades dos indivíduos. A percepção dos

usuários de sistemas alternativos de água é necessária e muitas análises sociais têm sido dedicadas ao estudo das percepções do público sobre a água reutilizada (ETALE *et al.*, 2020; HURLIMANN e DOLNICAR, 2016; LI, LIU e ZHANG, 2021).

Neste contexto, a percepção pública é um método das ciências sociais para compreender a aceitação declarada do público à adoção de água reutilizada, com o objetivo de sugerir aos formuladores da gestão, caminhos para aumentar a aceitação de reutilização de água e encontrar soluções que sejam mais aceitáveis para a comunidade (DOLNICAR; HURLIMANN e GRÜN, 2011). Uma ampla gama de fatores explicativos que influenciam a aceitação pública de água reutilizada foram abordados por estudos anteriores, tais como (ETALE *et al.*, 2020):

- **Confiança:** é um fator que determina a percepção do público na crença sobre as intenções das autoridades, na confiabilidade de informação disponibilizada pelas instituições, na ciência e tecnologia em relação à reutilização de água;
- **Conhecimento e informação:** é um elemento que mensura o nível de instrução do público em relação aos conceitos sobre água reutilizada;
- **Percepção de risco:** é um componente que indica os julgamentos do público sobre os diferentes níveis de risco em relação à água reutilizada a partir das influências ideológicas particulares de cada indivíduo.

As respostas são avaliadas nas dimensões cognitivas, emocionais e comportamentais (LI; LIU e ZHANG, 2021) e podem incluir uma diversidade de pensamentos positivos ou negativos através de associações expressas declaradas pelo público sobre água reutilizada, tais como: experiência anterior, conhecimento, experiência com escassez de água, benefícios percebidos, confiança institucional, riscos à saúde, insegurança, desconfiança, preocupação ambiental, confiança na ciência e tecnologia, entre outros. A análise das respostas fornece uma compreensão necessária a partir de uma visão geral para abordar as percepções públicas sobre reutilização de água e é uma primeira aproximação para o desenvolvimento de projetos futuros de SRA.

5.4.2 Contexto local

O debate sobre água reciclada vem ocorrendo em diversas cidades do mundo, especialmente como uma estratégia para enfrentar a escassez hídrica e poluição de recursos ambientais.

Em Campina Grande-PB, a escassez hídrica é um ponto crítico para sistemas alternativos de águas e há poucas evidências sobre a reutilização de água nas múltiplas escalas urbanas. As águas residuárias originárias dos diferentes usos urbanos seguem para a rede que compõem o sistema centralizado de esgotos; uma parte recebe tratamento primário e em seguida o fluxo integral de esgotos produzidos são lançados nos corpos hídricos. Portanto, a reutilização dos recursos de águas residuárias no abastecimento municipal é inexistente, tanto para a escala global, como para as escalas intermediárias (setorial e local).

Contudo, em épocas de crise hídrica, a reutilização de água contingente na escala local (por exemplo, reutilização da água do banho para higienização de vasos sanitários e da máquina de lavar para limpeza de pisos e irrigar jardins), é mencionada pelos residentes da cidade (GRANDE *et al.*, 2016). Não há evidências de reutilização contingente em outras circunstâncias. Também não foram relatadas orientações das autoridades aos residentes sobre riscos à saúde e outros possíveis impactos. Reutilização contingente de água neste estudo é um sistema sem rede de distribuição, sem tecnologia de tratamento, realizado na escala local residencial de forma manual, com contato indireto e para usos não potáveis. Contudo, projetos bem sucedidos de água reutilizada envolvem, primordialmente, tratamento adequado, independente de usos potáveis ou não potáveis. Argumenta-se ainda, que a prática contingente de reutilização de água é uma realidade para populações socioeconomicamente vulneráveis em cidades de países em desenvolvimento. Os principais motivos que motivam esta prática são: a economia na tarifa dos serviços de água e o abastecimento intermitente. Este último, em razão de baixos índices de atendimento e seca. Neste contexto, as falhas no sistema centralizado de água provocam a utilização de fontes alternativas de água sem mecanismos regulatórios.

Na escala setorial pública, o Programa Minha Árvore (COSTA, SANTOS e FARIAS, 2019) da prefeitura municipal da cidade realiza irrigação de áreas verdes e de árvores em setores da cidade. O programa utiliza caminhões pipas para captar água de canais de drenagem. Os fluxos de água dos canais, por sua vez, são também formados por águas residuais em razão das falhas nas redes de esgoto.

Na escala urbana, um plano de reutilização de água está em desenvolvimento para uma indústria têxtil da cidade (CNI, 2019). Um projeto de adução pretende captar águas reutilizadas da Estação de Tratamento de Esgotos Catingueira-Caiçara para ser utilizada para fins de resfriamento de maquinário na referida indústria. A infraestrutura será construída com recursos próprios e administrada pela companhia de água através de uma cooperação entre a CAGEPA e a indústria denominada COTEMINAS. Contudo, até o momento não há informações sobre os mecanismos legais e tarifários para operacionalizar a adutora e seus equipamentos.

Esses relatos são evidências de que a reutilização de água na cidade é considerada pelo público e pelas autoridades. No entanto, é ainda negligenciada em planos de gestão das águas urbanas em razão de barreiras institucionais, regulatórias e econômicas. No Brasil não há mecanismos legais para a regulação dos padrões de qualidade para a água reutilizada; no entanto, em sete estados brasileiros foram observadas legislações e normas sobre o tema (MOURA *et al.*, 2020). Por outro lado, desenvolvimentos de pesquisas ainda focam suas discussões para irrigação agrícola (por exemplo, Melo *et al.*, 2020).

Neste contexto, a próxima seção deste estudo, desenvolveu uma abordagem metodológica como uma contribuição introdutória para a aceitação pública da água reutilizada em Campina Grande-PB.

5.4.3 Percepções públicas sobre a reutilização de água em Campina Grande-PB

Este estudo conduziu uma pesquisa de opinião pública, apoiando-se na contribuição de 393 participantes, usuários de redes sociais e residentes na área urbana de Campina Grande-PB, através de um questionário estruturado, entre os meses de maio a junho do ano de 2021. Avaliar as percepções sobre reutilização de água e compreender os fatores para a disposição em utilizar são os principais objetivos deste estudo.

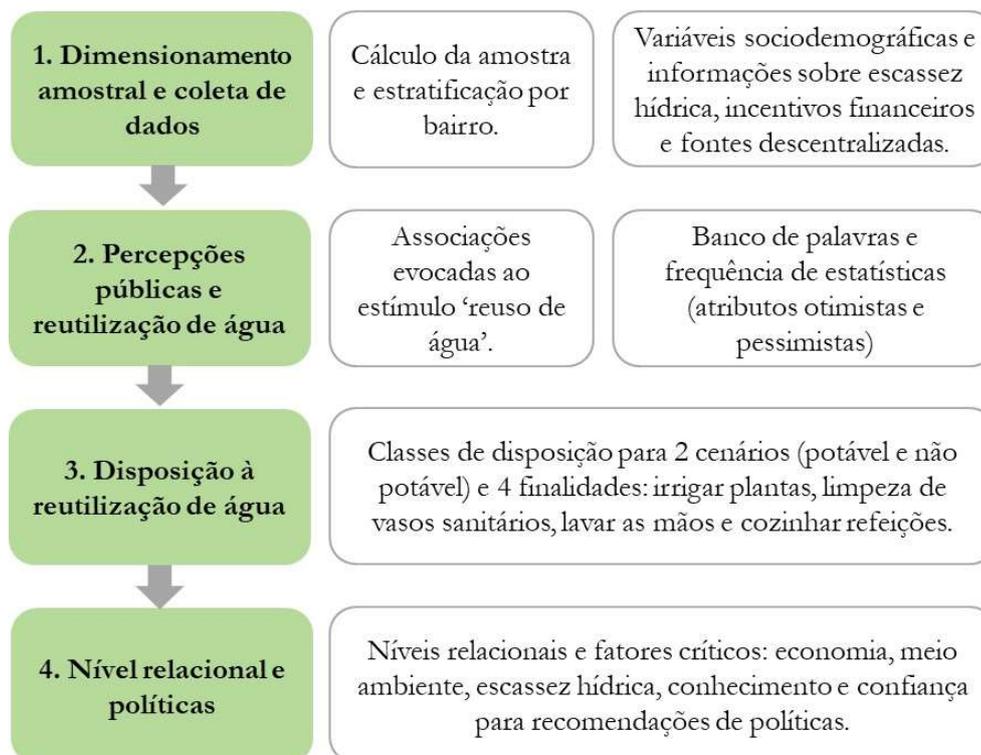
As etapas metodológicas principais do estudo foram: (i) dimensionamento amostral e coleta de dados; (ii) percepções públicas sobre água reutilizada e associações espontâneas; (iii) disposição do público em praticar reutilização de água, conforme Figura 25. Ao final, uma discussão foi estabelecida, apoiando-se em uma estrutura de nível relacional para apoiar as recomendações de políticas envolvendo reutilização de água para a área de estudo.

- Dimensionamento amostral e coleta de dados

O dimensionamento amostral baseou-se na população urbana residente nos bairros da sede municipal de Campina Grande-PB (N=352.465) de acordo com os dados censitários do ano de 2010 (IBGE, 2010). O pressuposto que cada indivíduo na área de estudo é um possível usuário de redes sociais foi considerado. O tamanho da amostra (n=272) foi obtido através de uma estimativa de proporção populacional por meio da fórmula de Cochran (1963) com grau de confiança de 90% (Z=1,65) e margem de erro (E) de 5%, conforme Equação 2. O valor de p é a proporção estimada de um atributo que está presente na população, e q é igual a (1 – p). Foram assumidos p =0,5, pois a variabilidade proporcional de conhecedores e não conhecedores sobre reutilização de água (máxima variabilidade) não estava disponível para a área de estudo.

$$n = \left(\frac{Z^2}{E^2} \right) \cdot p \cdot q \quad \text{(Equação 2)}$$

Figura 25 - Fases metodológicas para a percepção pública sobre reutilização de água.



Fonte: elaboração própria (2020).

A amostra foi estratificada por bairro para atingir um maior nível de representatividade. Um critério de cota mínima de participantes foi utilizado para os bairros com população acima de 10.000 residentes. A população residente de cada bairro foi obtida apoiando-se na coincidência espacial entre os limites geográficos dos setores censitários e dos bairros. Uma proporção entre a população amostral e a população de cada bairro permitiu obter uma amostra para cada bairro (Tabela 4). O tamanho da amostra foi relativamente reduzido, pois uma adequação foi necessária entre o tempo para projeção da pesquisa e a margem de erro. Foi estabelecido que uma margem de erro (E) de 5% para o pior cenário de uma proporção estimada de 50% (p) da população era aceitável.

Tabela 4 - Dimensionamento amostral para pesquisa de opinião sobre reutilização de água.

Ordem	Localização	População residente (IBGE, 2010)	Tamanho da Amostra (N)	Quantidade de participantes
	<i>Área urbana de Campina Grande-PB</i>	352.465	272	393
1	Serrotão	13.965	11	23
2	Ramadinha	2.170	2	13
3	Três Irmãs	12.209	9	21
4	Cidades	5.190	4	1
5	Acácio Figueiredo	6.360	5	2
6	Velame	6.036	5	9
7	Distrito Industrial	2.518	2	0
8	Presidente Médice	7.667	6	4
9	Cruzeiro	13.144	10	18
10	Jardim Paulistano	8.027	6	10
11	Tambor	6.247	5	2
12	Itararé	3.093	2	4
13	Vila Cabral	4.805	4	0
14	Sandra Cavalcante	6.517	5	2
15	Católé	21.084	16	31
16	Estação Velha	3.313	3	2
17	Liberdade	15.836	12	14
18	Quarenta	4.996	4	3
19	Santa Cruz	9.415	7	10
20	Jardim Quarenta	2.787	2	6
21	Santa Rosa	12.301	9	10
22	Dinamérica	5.479	4	11
23	Malvinas	30.827	24	34
24	Bodogongó	13.533	10	29
25	Universitário	3.872	3	3
26	Novo Bodocongó	886	1	4
27	Pedregal	9.083	7	5
28	Centenário	7.662	6	4
29	Bela Vista	4.777	4	3
30	Monte Santo	7.600	6	4
31	Prata	3.573	3	5
32	São José	3.950	3	3

Ordem	Localização	População residente (IBGE, 2010)	Tamanho da Amostra (N)	Quantidade de participantes
33	Centro	7.527	6	16
34	José Pinheiro	15.458	12	13
35	Monte Castelo	9.694	7	8
36	Mirante	516	0	3
37	Nova Brasília	10.047	8	8
38	Castelo Branco	2.895	2	2
39	Santo Antonio	3.932	3	8
40	Jardim Tavares	3.489	3	2
41	Lauritzen	2.713	2	2
42	Conceição	3.439	3	2
43	Alto Branco	8.850	7	12
44	Nações	1.406	1	1
45	Jardim Continental	2.268	2	1
46	Loureiro	1.315	1	0
47	Palmeira	5.690	4	7
48	Jeremias	10.629	8	13
49	Araxá	1.751	1	1
50	Cuités	1.924	1	1
51	Aluizio Campos	[sem informação]	3	3

Fonte: elaboração própria com dados do IBGE (2010).

Um questionário estruturado foi projetado em quatro seções para coletar opiniões sobre reutilização de água na escala local residencial. O questionário supracitado poderá ser obtido através do Apêndice A.

- i) Informações sociodemográficas: bairro, sexo, idade, renda e grau de educação.
- ii) Informações adicionais: experiência sobre escassez hídrica, disposição em prática de reutilização de água com incentivos financeiros, preferência entre fontes descentralizadas de água e confiança na ciência e tecnologia.
- iii) Associações espontâneas dos participantes sobre 'reuso de água': os participantes foram solicitados a descreverem três palavras espontâneas que viessem às suas memórias sobre reutilização de água.
- iv) Nível de disposição em reutilizar água: os participantes foram solicitados a optarem por um nível de disposição para reutilizar água para quatro finalidades.

A seguinte declaração sobre o conceito de reutilização de água foi fornecida no início da pesquisa, com o objetivo de garantir um entendimento comum entre os participantes: "O reuso de água é considerado uma fonte alternativa viável de água,

e seu uso é de grande importância para lidar com a escassez de recursos hídricos, portanto, usaremos o termo “reuso de água” para descrever “águas residuais tratadas cientificamente consideradas como segura para consumo humano”.

A pesquisa foi enviada em um formulário eletrônico e propagada através de uma rede social. Atualmente, as pesquisas de opinião através de redes sociais são válidas e são consideradas uma nova abordagem (LI; LIU e ZHANG, 2021). A tecnologia das mídias sociais tem apoiado a aquisição de informações para facilitar o desenvolvimento da pesquisa científica e tem sido aplicada em diferentes campos (WANG; LI e WU, 2019). Portanto, a coleta de dados sobre opinião pública através de mídias sociais é útil pela facilidade de coletar uma opinião disponibilizada espontaneamente ou propagada por outros participantes. Contudo, o potencial de análise oferecido pelas tecnologias associadas à mídias sociais, para este estudo, possuem vieses inerentes, pois podem não representar toda a população sociodemográfica. Para reduzir o efeito de vieses sobre os resultados, este estudo sugere, para pesquisas futuras, incluir também entrevistas face a face, pois residentes podem se preocupar com a reutilização de água, mas não possuem acesso a tecnologia das redes sociais.

Neste sentido, os participantes, todos *não identificáveis*, foram convidados a selecionar voluntariamente a opção ‘aceito’ ou ‘não aceito’ para contribuir com a pesquisa de opinião. A pesquisa foi encerrada ao atingir a cota de participantes por bairro (exclusivamente para bairros com número de residentes maior que 10.000 habitantes). As características sociodemográficas dos participantes, bem como as informações adicionais coletadas estão disponíveis na Tabela 5.

Tabela 5 - Informações descritivas dos participantes.

Tamanho da amostra [N]	272
Quantidade de participantes	393
Feminino [%]	63,6
Masculino [%]	36,4
Nível Educacional [%]	
Não alfabetizado	0,3
Até o fundamental	5,9
Até o ensino médio	23,2
Superior incompleto	14,5
Superior	21,6
Pós graduação incompleto	4,6
Pós graduação	30,0
Idade (anos) [%]	
18-30	22,9
31-40	31,3
41-50	20,6
51-60	19,8

Acima de 60	5,3
Renda (salário mínimo atual) [%]	
Até 1	28,2
1-2	25,4
2-4	24,1
4-6	9,8
6-8	6,7
Acima de 8	5,7
Vivenciou escassez de água [%]	90,8
Considerou realizar reuso de água em tempos de crise hídrica [%]	89,9
Disposição em realizar reuso de água com incentivos financeiros [%]	96,7
Preferência de fonte descentralizada de água [%]	
Reutilização de água	53,4
Captação de água de chuva	46,6
Crença na ciência para promover reuso de água com segurança [%]	96,2

Fonte: elaboração própria (2021).

Foram obtidas 408 respostas, das quais 393 foram consideradas válidas. O número de participantes consistiu em 250 mulheres (63,3%) e 143 homens (36,4%). Os níveis de educação dos participantes evidenciam que mais de 50% tinham algum nível de instrução superior. Contudo, 29,4% somavam todos os participantes com formação educacional até o nível médio. Além disso, somente 0,30% dos participantes integram o nível educacional “não alfabetizado”. Esta informação dificultou a compreensão do comportamento à reutilização de água de pessoas com menos acesso à educação.

A faixa etária entre 18 e 40 anos foi responsável por pelos menos metade dos participantes, por outro lado, o número de participantes com idade acima de 60 anos era de apenas 6,3%. As informações sobre renda revelam que mais de 50% dos participantes recebem até 2 salários mínimos mensais. Este dado evidencia que o público de baixa renda está mais preocupado com a reutilização de água devido aos custos relacionados ao serviço de água potável.

As perguntas adicionais para compreender a relação entre escassez hídrica e reutilização de água foram realizadas. A maioria dos participantes (90,8%) relatou ter passado por períodos de restrições de água no passado e 89,9% considerou realizar a prática de reutilização de água durante o período de restrição. Em razão da faixa etária, pode-se presumir que, pelo menos, metade dos participantes experimentaram as duas últimas crises hídricas, as quais ocorreram entre os períodos de 1992-2002 e 2012-2017, respectivamente, em Campina Grande-PB. Durante esses períodos de restrição hídrica, todos os residentes que consideraram a prática do reuso de água, realizaram a reutilização contingente de água, por exemplo, águas cinzas do banho para higienizar vasos sanitários, águas cinzas da

máquina de lavar roupas para higienizar pisos, exceto 1% realizou reuso com alguma tecnologia para tratamento. Observa-se também um aumento na disposição em praticar reutilização de água na presença de incentivos financeiros.

Argumenta-se que a reutilização contingente de água pode ter sido despertada pelo público em razão das experiências de escassez hídrica do passado, notadamente nas épocas de racionamento severo. Estudos descritos por Lee e Jepson (2020) confirmaram maior aceitação da reutilização de água reciclada em áreas com restrições hídricas. Contudo, findado o período de restrição hídrica, comumente caracterizado por uma percepção de maior segurança hídrica, a prática de reutilização de água torna-se inexpressiva.

As respostas dos participantes evidenciam preferências semelhantes entre reutilização de água e captação de água de chuva. Estudos anteriores relataram maior preferência pública para a água de chuva à água reutilizada tratada e livre de patógenos (HURLIMANN e DOLNICAR, 2016).

A porcentagem de preferência ligeiramente maior para reutilização de água no contexto local da área de estudo pode ser atribuída a maneira como os participantes enxergam a reutilização de água como uma prática contingente, livre de investimentos financeiros, costumeiramente realizada em suas residências, especialmente em épocas de crise hídrica e racionamentos de água para usos não potáveis. Conjectura-se uma menor preferência pela reutilização de água quando comparado a captação de água de chuva em casos de implantação de um SRA residencial com tecnologia para tratamento, associada a algum nível de investimento financeiro em tubulações e mudanças construtivas.

Por último, a opinião dos participante sobre a confiança na ciência evidenciam que ações de desenvolvimento de tecnologia para promover SRA seguros podem exercer grande influência na atenção pública para a reutilização de água na escala local residencial.

- Percepções públicas sobre água reutilizada e associações espontâneas

Dados das associações espontâneas sobre à reutilização de água manifestadas pelos participantes foram obtidos na segunda seção da pesquisa, compilados em um banco de palavras e analisados através de estatísticas de

frequência. O objetivo principal foi avaliar quais as percepções, otimistas ou pessimistas, que os participantes possuíam em relação à reutilização de água.

Estudos anteriores argumentam que a promoção bem-sucedida dos SRA depende da aceitação pública (ETALE *et al.*, 2020). As percepções, preferências e preocupações moldam as intenções comportamentais (DOLNICAR *et al.*, 2014) e impactam a aceitação pública de projetos de SRA.

Neste contexto, os participantes foram primeiro solicitados a relatarem associações espontâneas transmitidas sobre reutilização de água. O termo “reuso de água” foi utilizado na pesquisa para facilitar o entendimento dos participantes. Eles foram incentivados a descreverem três palavras que surgiriam espontaneamente à mente em resposta ao estímulo ‘reuso de água’. Em seguida, os participantes foram solicitados a avaliar cada uma das três palavras mencionadas, utilizando a seguinte escala de classificação: muito positiva, positiva, neutra, negativa e muito negativa.

Um total de 1.179 associações foram manifestadas pelos participantes e categorizadas de acordo com a escala de classificação. Um banco de palavras das associações espontâneas manifestadas foi obtido em resposta aos questionamentos e está disponível no

Quadro 11.

Quadro 11 - Banco de palavras manifestadas pelo público sobre para o termo ‘reuso de água’.

Muito positivas [697]	Positivas [388]	Negativas e muito negativas [49]
Economia, economizar, temos que economizar [179]	Economia, racionar, não desperdício, otimização, controle, economizar para não faltar [94]	Esgoto [9]
Necessário, importante, vida, ótimo, eficiente, progresso, sabedoria, riqueza, avanço [110]	Vida, inteligente, precioso, útil, criativo, fundamental, empatia, valorização, melhoria, eficiente, viável [49]	Sujeira, suja, escura [7]
Sustentável, sociedade sustentável, sustentabilidade [67]	Reutilizar, utilizar, reutilizar, banho, água usada, máquina de lavar, água do tanque, reuso [30]	Desperdício [4]
Reaproveitamento, aproveitar, reaproveitar [39]	Reaproveitar, aproveitar, abastecimento [24]	Escassez [3]
Meio ambiente, proteção ambiental, menos agressão ao meio ambiente [28]	Meio ambiente, consciência ambiental, ambientalismo, proteção ambiental, melhoria do meio ambiente, cuidar [21]	Saúde pública, adoecimento [3]

Natureza [24]	Calçada, jardim, lavar a casa, carro, banheiros, garagem, vaso sanitário, doméstico, irrigação, descarga [17]	Contaminação, poluição [2]
Reutilizar [23]	Sustentabilidade, sobrevivência, sustentabilidade hídrica [14]	Racionamento [1]
Preservação, preservar [18]	Estação de tratamento, tratamento, segurança [10]	Ruim [1]
Saúde [13]	Consciência ambiental, conscientização [9]	Canal [1]
Consciência, consciência ecológica, consciência para todos [12]	Limpa, limpeza, higiene [8]	Pesada [1]
Tratamento [11]	Não desperdício [8]	Perigo [1]
Limpeza, é limpa? [11]	Preservação [8]	Urgência [1]
Planeta, terra [9]	Saúde [6]	Desabastecimento[1]
Desperdício [9]	Qualidade, pura, purificação, cristalina, saneamento) [5]	Faltar [1]
Irigar, plantas, plantação [9]	Reciclagem [5]	Sem confiança [1]
Potabilidade, potável [8]	Distribuir água, redistribuir [4]	Pouca qualidade [1]
Futuro [8]	Planeta [4]	Lixo [1]
Reuso, retorno de água, reciclagem [7]	Cuidado, cuidar [4]	Canal [1]
Diminuição do consumo [7]	Desenvolvimento, tecnologia, evolução, progresso, educação, políticas públicas [4]	Responsabilidade [1]
Responsabilidade, responsável [7]	Natureza [4]	Coliformes fecais [1]
Sobrevivência [7]	Racionamento [4]	Sustentabilidade [1]
Lavar, roupa, quintal, carro, piso [6]	Ecologia, ecológico [4]	Vital [1], Conscientização [1], acabar [1], não serve para consumir [1], preocupação [1], desconfio [1].
Gastos, investimentos, finanças [6]	Chuva, de onde vem a água? [3]	Neutras [45]
Descarga [5], educação [5], racionamento, racionar [5] abastecimento, abastecer [5], tecnologia [4] conservação [4], saudável [4], cuidar [3], escassez [3], políticas ambientais, planejamento [3], vaso [2], jardim [2], ecologia [2] saneamento [2] escassez [2], participação pública [2], recurso [2] segura [2], prevenção da falta de água [2], acessibilidade à água [2], banheiro [1], muitas pessoas não possui água encanada em casa [1], desenvolvimento [1], redução [1], semiárido [1], segurança hídrica [1], geração de energia [1], estratégia	Disponibilidade (oferta de água) [3], água não é barato [3], potabilidade, potável [3], educação, reeducação [3], políticas públicas [3], futuro [3], captar água [2], armazenamento [2], segurança [2], saneamento [2], consumo [2], escassez [2], de onde vem a água? [1], filtragem [1], pesquisa [1], conter [1], otimização [1], preservação [1], coletivo [1], guardar [1], controle [1], sobrevivência [1], conservação [1], progresso [1], melhor uso [1], sertão [1], viabilidade [1], sobrevivencialismo [1], ajudaria	Cor [1], cheiro [1], reutilizar, reaproveitar [5], meio ambiente [8], reciclagem [1], água potável [1], regular [1], qualidade para todos [1], vida [1], falta de água [1], chuva [3], recurso [2], economia [2], saneamento [2], gasto [2], abastecimento [2], limpeza [1], cristalina [1], escassez [1], desconhecimento [1], quintal [1], confiável [1], futuro [1], cuidado [1],

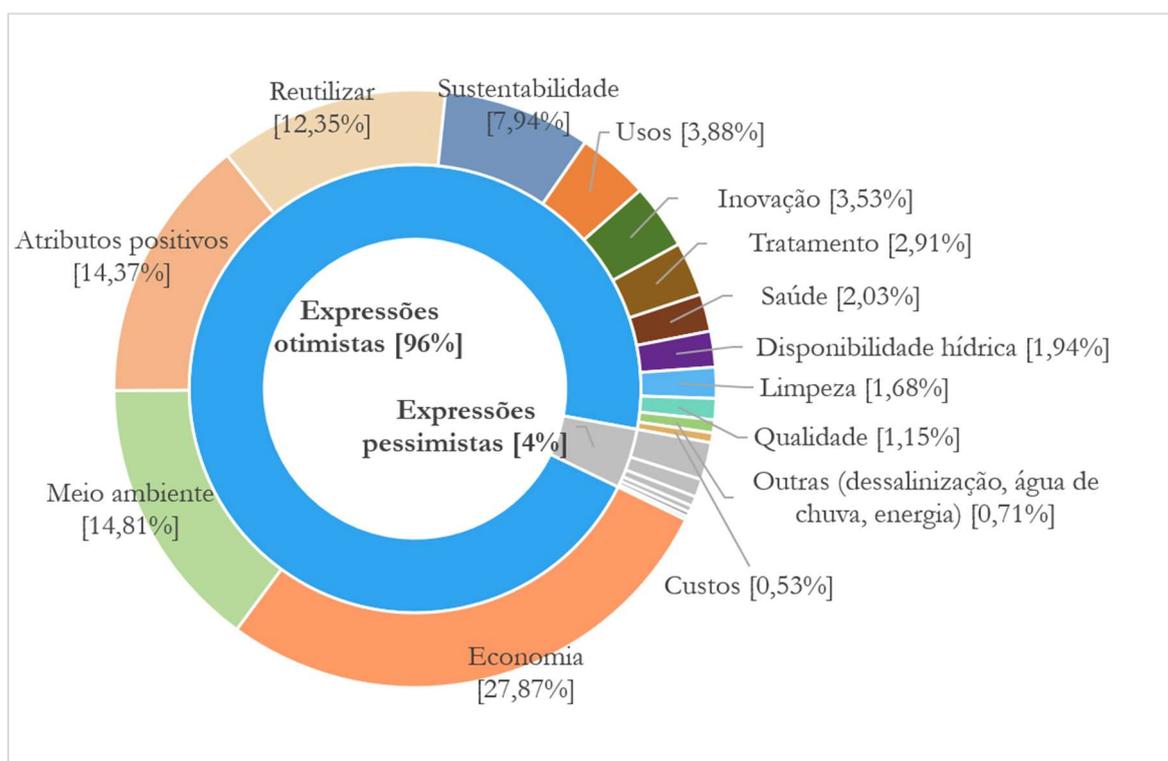
[1], faltar [1], dessalinização [1], combate à incêndios [1], Estados Unidos já faz [1], residência [1].	bastante [1], reaproveitável [1], falta [1],	hábito [1], sustentável [1], preservação [1].
--	--	---

Fonte: elaboração própria (2021).

As expressões reportadas foram assim organizadas: expressões muito positivas e positivas eram muito semelhantes e por isso foram inseridas em um classe maior de expressões otimistas; de mesmo modo, as expressões negativas e muito negativas foram inseridas em uma classe de expressões pessimistas; por outro lado, as expressões neutras reportadas foram consideradas indefinidas e imparciais para a aceitação pública da reutilização de água.

Em seguida, 1.134 associações foram compiladas em categorias de atributos e empregada as estatísticas de frequência para obter as associações do público em relação à reutilização de água. A classe de expressões otimistas foram compiladas em 14 categorias de atributos (Figura 26), enquanto que as expressões pessimistas em 6 categorias.

Figura 26 - Frequência de atitudes otimistas à reutilização de água.



Fonte: elaboração própria (2021).

A Figura 26 demonstra que o público detém 96% de associações espontâneas otimistas em relação à reutilização de água. Estes resultados evidenciam que a

aceitação pública em relação à reutilização de água possui um menor nível de austeridade quando comparado com estudos anteriores (HOU *et al.*, 2021; MOYA-FERNÁNDEZ *et al.*, 2021). Argumenta-se que as experiências passadas com restrição hídrica contribuíram para o alto número de respostas otimistas. Pessoas que residem em regiões áridas e semi-áridas e que possuem poucos recursos hídricos subterrâneos estão mais empenhadas com a reutilização de água (DOLNICAR; HURLIMANN e GRÜN, 2011). O desenvolvimento socioeconômico também reflete a reutilização de água (ZHANG *et al.*, 2017). Portanto, a alta frequência de associações positivas para a reutilização de água são também explicadas pelo nível educacional da população de participantes (30% tinham pós-graduação).

Da mesma forma, contribuem para a alta frequência de associações otimistas, a maneira como os participantes refletiam no seu cotidiano a prática de reutilização de água. Os usos não potáveis de água cinzas, com contato indireto, são, frequentemente, os mais aceitáveis (HURLIMANN e DOLNICAR, 2016). A alta frequência de associações relacionadas à economia e ao meio ambiente refletem o principal motivo para atitudes otimistas em relação à reutilização de água. O público acredita que a reutilização de água contribui para a redução do consumo de água, além de ser relevante para a proteção ambiental. Contudo, os dados revelam que a reutilização de água em países em desenvolvimento está mais fortemente associada a questões econômicas do que a questões ambientais.

As respostas mais frequentemente manifestadas incluem: “economizar”, “racionar”, “não desperdício”, “controle”, “otimização”, “diminuição do consumo”, “temos que economizar”, “proteção ao meio ambiente”, “menos agressão ao meio ambiente”, “conservação”, “ecologia”, “planeta”, “equilíbrio ambiental”. Portanto, a promoção da aceitação pública para a reutilização de água está relacionada a divulgação das vantagens econômicas e dos impactos gerados na conservação do meio ambiente e dos recursos hídricos.

Acrescenta-se ainda que as associações envolvendo economia foram vinculadas à redução do consumo. Primeiro, porque é uma prática que resulta em incentivos, em razão da redução das tarifas do serviço de abastecimento de água; e segundo, porque a reutilização de água, embora praticada em um nível contingente, é inevitavelmente percebida como uma solução para a escassez de água em épocas de racionamento em Campina Grande-PB.

Embora, ainda não haja reconhecimento sobre os impactos do reuso contingente de água na escala local em épocas de racionamento formal, nem tão pouco, orientações emitidas por autoridades e instituições responsáveis pela gestão da água urbana.

Os dados apontam que era comum os participantes associarem reutilização de água com atributos positivos, tais como: “necessário”, “importante”, “vida”, “ótimo”, “eficiente”, “progresso”, “sabedoria”, “riqueza”, “avanço” e “viável”. Esses dados refletem que os participantes demonstram expectativas de entusiasmo na hipótese de praticarem reutilização de água em suas residências.

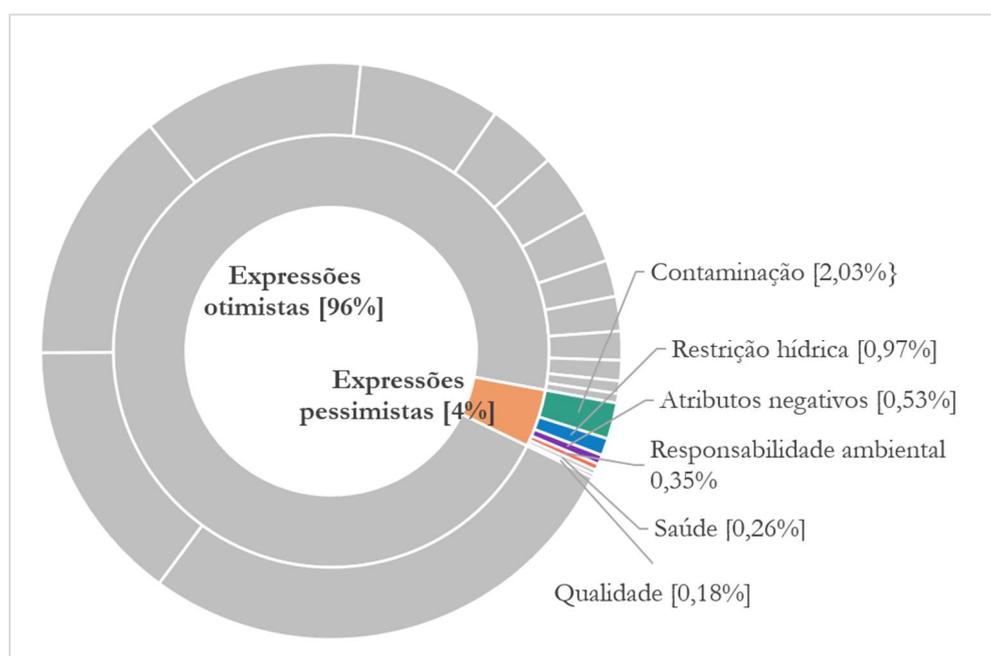
Outras expressões otimistas declaradas foram relacionadas diretamente ao tema: “reutilizar”, “reusar”, “reciclar” e “reaproveitar”. Os dados também fornecem uma compreensão de que o público se preocupa com a sustentabilidade dos sistemas hídricos e com as fontes descentralizadas de água.

Outras associações espontâneas otimistas sobre reutilização de água refletem nos seguintes pontos: (i) quais os usos mais aceitáveis para reutilização de água, por exemplo: lavagem de vasos sanitários, lavagem de pisos, irrigação, lavagem de carro e combate à incêndios; (ii) que a reutilização de água é um mecanismo inovador, tecnológico, relacionado a políticas públicas, pesquisas científicas e a países desenvolvidos, como Estados Unidos; (iii) quanto a prática de reutilização de água deverá estar associada a mecanismos regulatórios para assegurar tratamento e qualidade da água adequados em razão da preocupação com a saúde; (v) quanto a reutilização de água poderá contribuir para aumentar a disponibilidade hídrica; (vi) quais outras fontes descentralizadas de água deverão ser reconhecidas, além do reuso de água residuárias, como a dessalinização e água da chuva; e, por fim, (vii) que existe uma percepção dos participantes sobre custos e investimentos envolvendo SRA.

A porcentagem do público que expressou associações negativas à reutilização de água foi de apenas 4% (Figura 27). Os dados mais significativos foram atribuídos à categoria contaminação. As expressões mencionadas incluíram: “esgoto” “sujeira”, “suja”, “escura”, “coliformes fecais”, “lixo” e “canal”. Estes dados revelam que a contaminação é uma percepção dos participantes de que a prática de reutilização de água se origina a partir de águas residuárias. Portanto, uma parcela de participantes não acredita que os SRA possam produzir água totalmente livre de riscos de contaminação e agentes patogênicos, mesmo com tratamento.

A segunda maior frequência foi incluída na categoria restrição hídrica, associada aos seguintes termos: “racionamento”, “escassez”, “desperdício”, “desabastecimento”, “faltar” e “acabar”. As associações sobre restrição hídrica revelam que a reutilização de água é uma prática imposta diante do risco de desabastecimento de água. Em virtude da falta de água em suas torneiras, resultado de cinco dias de racionamento (dado da última crise hídrica) e baixa capacidade de reserva, uma alternativa estabelecida pelos residentes é reaproveitar contingencialmente a água (como as águas do banho e da máquina de lavar) para aumentar a disponibilidade hídrica doméstica.

Figura 27 - Frequência de associações pessimistas à reutilização de água.



Fonte: elaboração própria (2021).

A próxima categoria de associações negativas foram atributos negativos. Foram mencionadas palavras como: “ruim,” “perigoso”, “desconfiança” e “preocupação”. Por conseguinte, os participantes presumiram um baixo nível de confiança em relação à segurança da água reciclada. De modo equivalente, outras associações negativas revelam preocupação com a baixa qualidade das águas residuárias e com o seu impacto na saúde.

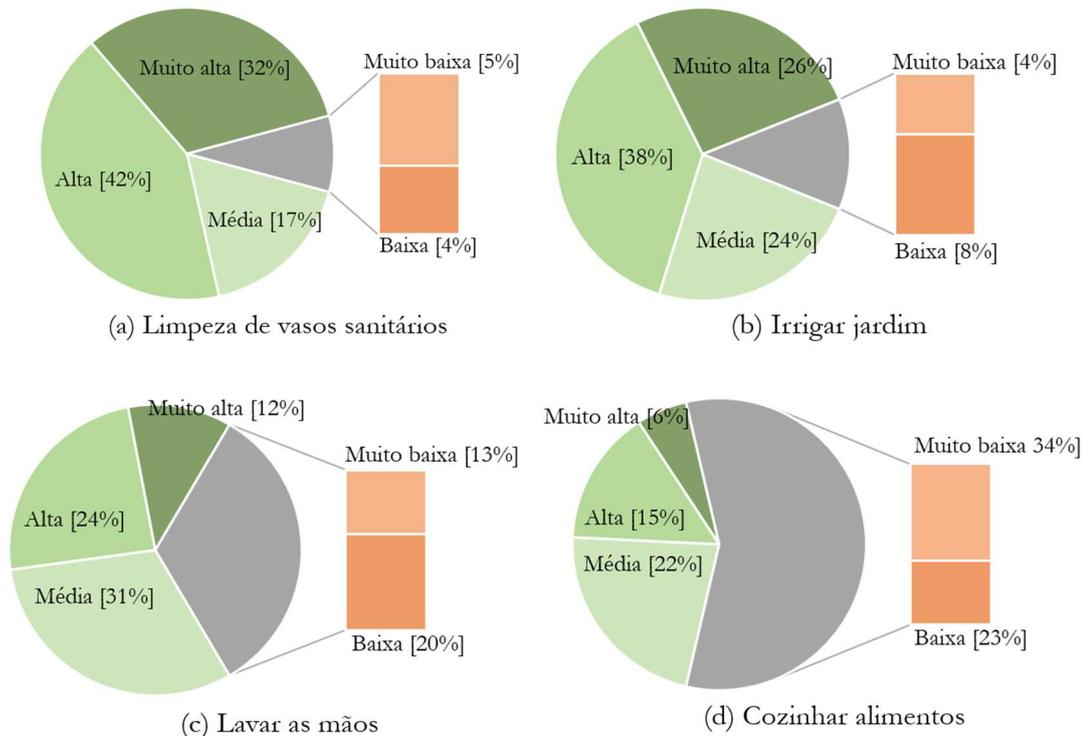
A ausência de informações para SRA em residências torna compreensível que o público participante desta pesquisa, embora em menor frequência, acredite que a reutilização de água não é uma prática viável e segura. Assim, aumentar a credibilidade da pesquisa e tecnologia, bem como a propagação de informações

devem ser objetivos para os formuladores da gestão da água na hipótese de aumentar a aceitação pública em projetos de água reutilizadas.

- Disposição pública para praticar reutilização de água na escala local residencial

A terceira seção da pesquisa investigou a disposição declarada dos participantes em reutilizar água em suas residências. Eles foram solicitados para avaliar sua disposição em reutilizar água em uma escala de cinco classes: muito alta, alta, média, baixa e muito baixa disposição. Foram selecionadas quatro finalidades de usos, as quais exigem distintos requisitos de qualidade: (i) limpeza (descarga) de vasos sanitários, (ii) irrigar plantas, (iii) lavar as mãos e (iv) cozinhar refeições. As finalidades (i) e (ii) representam cenários de reutilização de água para usos não potáveis, por sua vez, as finalidades (iii) e (iv) representam cenários para usos potáveis. Os dados obtidos estão disponíveis na Figura 28 (a), (b), (c) e (d).

Figura 28 - Nível de disposição do público à reutilização de água para cenários de uso.



Fonte: elaboração própria (2021).

Os resultados indicam que 64% dos participantes apontou muito alta e alta disposição para a finalidade do cenário (ii), conforme Figura 28 (b),

semelhantemente aos dados revelados pelo cenário (i), contudo, para este último, os dados indicam uma maior disposição. Dentre os quatro cenários, reutilizar água para higienizar vasos sanitários atingiu o maior índice de disposição (74%), conforme Figura 28 (a).

O nível de disposição decresce a medida que as finalidades tendem a exigir mais proximidade das vias de contato com a água reutilizada, de acordo com a Figura 28 (c) e Figura 28 (d). O estudo descobriu que 36% dos participantes possuem interesse em água reutilizada para lavar as mãos, enquanto que apenas 21% indicou que usariam para cozinhar alimentos. Essas descobertas revelam que os participantes diferenciaram claramente as finalidades com contato direto e indireto. Destaca-se ainda, que os desafios globais em relação à atual pandemia COVID-19 eleva as preocupações em torno do setor da água e dos esforços para promover processos de desinfecção seguros. Desta maneira, os riscos percebidos para a finalidade de lavagem das mãos tornaram o público menos disposto à água reutilizada.

Portanto, as respostas fornecidas pelos participantes conduziram para o entendimento de que a disposição pública da reutilização de água é maior para as finalidades não potáveis com contato indireto. Outros estudos encontraram evidências semelhantes (MOYA-FERNÁNDEZ *et al.*, 2021). Residentes estão muito mais abertos à água reutilizada para finalidades de baixo contato e resistem em adotar para usos que exigem maior segurança da qualidade da água. Este resultado pode ter sido influenciado pelo pouco nível de conhecimento sobre os tratamentos envolvendo SRA, bem como ausência de políticas regulatórias que delimitam requisitos de qualidade.

- Discussão

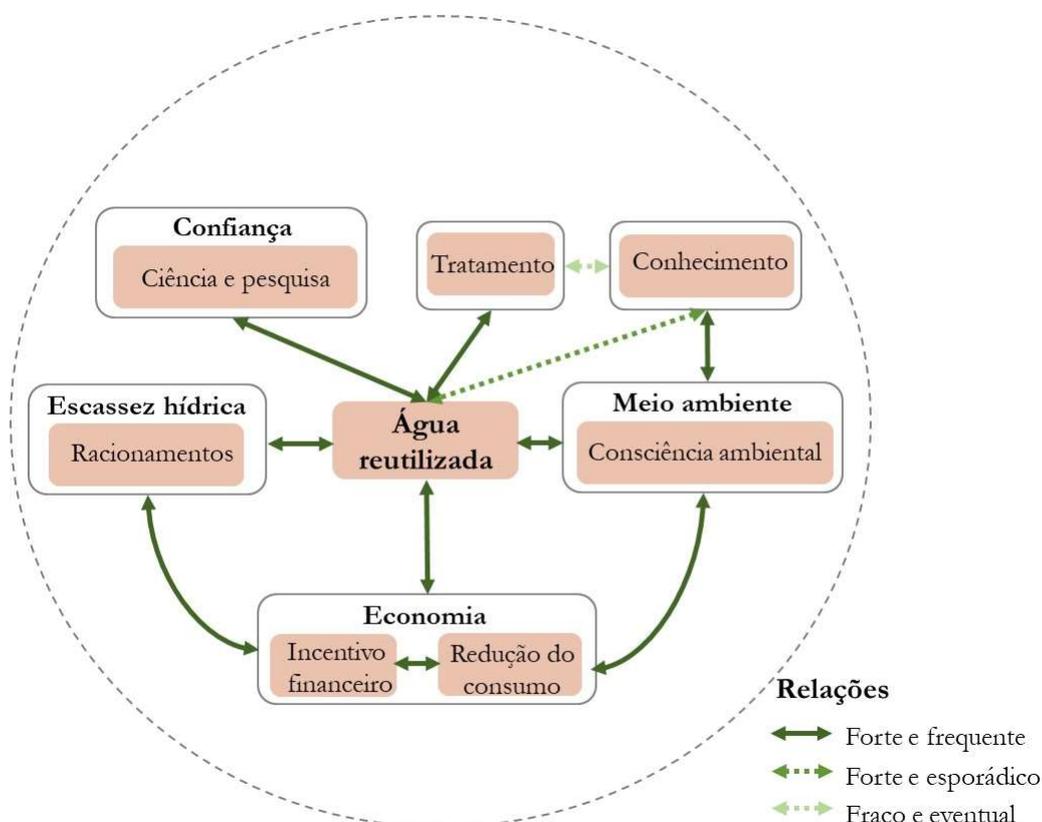
Este levantamento introduziu uma análise sobre os fatores que influenciam as respostas públicas à hipótese de reutilização de água com usuários de tecnologia de mídia social. Em particular, foram investigadas associações espontâneas em relação à água reutilizada, bem como a disposição em usar. Além disso, foram obtidas informações sobre as relações entre água reciclada, restrição hídrica, outras fontes descentralizadas de água, incentivos financeiros e confiança na ciência.

A maioria dos participantes era de mulheres na faixa etária entre 31 a 40 anos com nível de instrução superior ou maior. As associações mais declaradas

relacionaram água reutilizada com economia e meio ambiente. A finalidade com contato indireto de higienização de vasos sanitários recebeu o maior índice de disposição para praticar reutilização de água. Os participantes mencionaram que vivenciaram escassez hídrica e consideraram reutilizar água. Além disso, estão mais dispostos em reutilizar água com incentivos financeiros. A reutilização de água é igualmente preferida pelos participantes quanto captação de água de chuva.

Os resultados manifestados para a água reutilizada forneceram informações úteis sobre percepções que sustentam as atitudes em relação à hipótese dos participantes praticarem reutilização de água em suas residências. A partir destes resultados e das evidências sobre reutilização de água, uma estrutura de nível relacional foi estabelecida para apoiar a discussão entre os principais pontos críticos e recomendações de políticas para a área de estudo (Figura 29). Foram empregados três níveis relacionais: (i) forte e frequente; (ii) forte e esporádico; e (iii) fraco e eventual, para estabelecer uma relação entre reutilização de água e opinião pública. Cinco pontos críticos foram selecionados: economia, meio ambiente, escassez hídrica, conhecimento e confiança.

Figura 29 - Níveis de relacionamento entre reutilização de água e o público.



Fonte: elaboração própria (2021).

Os níveis relacionais denotam uma forte e frequente relação entre economia de água, escassez hídrica e reutilização de água. Primeiro, os participantes manifestaram interesses econômicos em relação à reutilização de água, em virtude de incentivos financeiros, os quais, contribuíram para uma maior atenção sobre reutilização de água. Subsídios financeiros contribuem para a integração de reutilização de água em sistemas urbanos e podem estimular investimentos privados (BICHAJ; KAJENTHIRA GRINDLE e MURTHY, 2018). Em economias desenvolvidas, a disposição do governo em indenizar residentes que investiram em sistemas prediais de tubulações duplas é maior para enfrentar restrições hídricas severas durante eventos de seca (DIAZ-ELSAYED *et al.*, 2019).

Segundo, o público que reside em áreas com escassez hídrica está mais preocupado com a reutilização de água (HURLIMANN e DOLNICAR, 2016), além disso, a escassez hídrica associada ao aumento da demanda de água, seca e desastres naturais aumentaram as preocupações em torno da segurança da água urbana e é o principal motivo na busca por fontes alternativas de água (LEE e JEPSON, 2020), pois a água reutilizada é percebida como um recurso para enfrentamento e adaptação às crises hídricas.

Em resposta a estes fatos, na última crise hídrica, os residentes de Campina Grande-PB e, presumivelmente, de outras cidades do semiárido brasileiro, praticaram reutilização contingente de água, sem deliberações de autoridades. Este cenário indica uma atitude impreterível em relação a fontes descentralizadas de água e evidencia que a resiliência urbana durante um desastre de seca aumentou à reutilização da água. As crises hídricas estão cada vez mais intensas e a demanda por água potável aumentará (HOFFMANN *et al.*, 2020). Portanto, soluções baseadas em sistemas de abastecimento de água descentralizados devem fazer parte da política para o futuro sustentável das cidades.

As relações entre conhecimento, meio ambiente e reutilização de água foram fortes e frequentes. Um público bem informado com maior consciência ambiental e responsabilidade ambiental manifesta opiniões positivas sobre água potável e não potável (ETALE *et al.*, 2020; LI; LIU; ZHANG, 2021). Enfrentar a degradação ambiental é um fator chave relacionado à reutilização de água (LEE e JEPSON, 2020) e o conhecimento e consciência ambiental do público manifestada são fatores oportunos para a discussão da reutilização da água na área de educação ambiental e na propagação do conhecimento. Além disso, a paisagem urbana também oferece

oportunidades de educação ambiental e reutilização de água (SANTOS; ENOKIBARA e FONTES, 2020). Os espaços verdes públicos são infraestruturas urbanas que impulsionam uma alta porcentagem de reutilização de águas residuais, ao mesmo tempo que promove engajamento entre o público e o meio ambiente.

O desenvolvimento socioeconômico gera maior preocupação com a água reutilizada (MOYA-FERNÁNDEZ *et al.*, 2021) e, por conseguinte, o nível de conhecimento do público se relaciona com o meio ambiente de maneira forte e frequente. Por outro lado, o conhecimento relaciona-se de maneira forte e esporádica com a água reutilizada, enquanto que, conhecimento e tratamento são fatores com relacionamento fraco e eventual, em razão da insegurança em torno da água reutilizada. O conhecimento dos SRA é um ponto crítico para a adesão pública à reutilização de água e mudanças comportamentais (MOYA-FERNÁNDEZ *et al.*, 2021). Contudo, especialmente os processos envolvendo o tratamento terciário da água reutilizada ainda não foram amplamente difundidos. Essas informações refletem na disposição em reutilizar água para finalidades de contato direto; por isso uma parcela do público ainda resiste à hipótese de reutilizar água para, por exemplo, cozinhar alimentos.

O monitoramento rigoroso, incluindo alarmes de contaminação e vazamento, reforça a confiança pública na água reutilizada e contribui para o adoção de SRA (DIAZ-ELSAYED *et al.*, 2019) e a abordagem baseada em riscos e usos pretendidos aumentam a disposição pública em relação às fontes descentralizadas de água de contato direto (REYNAERT; HESS e MORGENROTH, 2021). Embora haja pouca compreensão objetiva em torno da segurança, o público demonstra confiança na ciência e tecnologia à reutilização de água (relações forte e esporádica). A confiança em pesquisas acadêmicas e em concessionárias de água foram maiores do que no governo local em alguns estudos de caso (LEE e JEPSON, 2020).

Por fim, com base nas relações discutidas foi possível estabelecer linhas de entendimento sobre como o público percebe a água reutilizada para o caso de estudo. Neste sentido, as seguintes recomendações de políticas são propostas para introduzir discussões futuras: (i) introduzir políticas sobre água reutilizada nos planos que envolvem a gestão da água urbana; (ii) promover incentivos para o desenvolvimento científico em reutilização de água; (iii) formular mecanismos regulatórios de reutilização de água; (iv) formular políticas de água reutilizada orientadas ao grau de escassez hídrica; (v) enfatizar a consciência ambiental sobre

reaproveitamento de água e outras fontes descentralizadas de água; e, vi) promover uma melhor compreensão sobre as tecnologias envolvidas no tratamento de água.

Os SRA desenvolvidos atualmente não são adequados para todos os casos e há necessidade de uma discussão crítica das finalidades e metas de qualidade. O escopo da reutilização de água se expandiu muito nos últimos anos, nas cidades de economias desenvolvidas (REYNAERT *et al.*, 2020). Contudo, a reutilização contingente de água sem deliberações das autoridades é uma prática presente na área de estudo. O contexto de cada cidade definirá a seleção das medidas mais adequadas a serem implementadas para a gestão das águas urbanas. Por exemplo, por meio de uma perspectiva estrita e às vezes necessária, a reutilização de água na escala local ou demais escalas urbanas, não poderá substituir regras de racionamento formal ou outras medidas de economia de água em períodos de restrição hídrica.

Embora, os sistemas urbanos descentralizados de água tenham sido desenvolvidos nas últimas décadas, suas aplicações práticas ainda permanecem limitadas a alguns lugares em todo o mundo. A reutilização de água ultrapassa a fronteira técnica, a medida que compreende estruturas sociais e políticas (HOFFMANN *et al.*, 2020). Portanto, os fatores técnicos e sociais integram-se para avançar sobre a compreensão fundamental dos desafios atuais e futuros para gestão da água urbana.

5.5 Desenvolvimentos colaborativos e investigações com outras pesquisas

Durante as investigações desta tese foram desenvolvidas colaborações com outras pesquisas. Estes resultados, foram apreciados por pares em periódicos especializados e seguem descritos a seguir.

Primeiro, um estudo junto ao projeto Planejeee (Planeje Eventos Extremos - www.planejeee.com), intitulado “*Place-based citizen science for assessing risk perception and coping capacity of households affected by multiple hazards*”² foi desenvolvido. O referido projeto propõe uma abordagem multi-desastres para o enfrentamento de secas e alagamentos na área de estudo. A colaboração com o projeto Planejeee gerou debates e conhecimentos importantes para a eleição das

² O estudo completo está disponível através do *link*, <https://doi.org/10.3390/su13010302>.

estratégias que fazem parte da estrutura metodológica desta tese. Além disso, o projeto apoiou a validação do modelo de mapeamento do risco de desabastecimento de água, citado anteriormente. Os resultados do estudo destacam a necessidade de combinar uma tríade de desafios sociais, nomeadamente informação, confiança e incentivos, para melhorar a capacidade de enfrentamento no futuro e aumentar a sustentabilidade urbana.

Segundo, uma colaboração junto à pesquisas em andamento realizadas no âmbito deste Programa de Pós-graduação permitiu uma discussão em torno do modelo de risco de desabastecimento de água em uma escala setorial (bairro). Uma perspectiva de planejamento urbano para apoiar a compreensão da construção do ambiente urbano e suas relações com as infraestruturas de água foi debatida. O estudo intitula-se “Interfaces entre a produção do espaço urbano e o risco de desabastecimento de água”³ e integra os resultados da referida discussão. O estudo realiza um recorte da escala global e analisa especificamente o bairro Catolé, sendo este representativo de uma acelerada urbanização nas últimas três décadas, decorrente de ações de diferentes agentes produtores do espaço urbano. Os resultados apontam a importância de elevar profundidade nas discussões a respeito da forma como as cidades são construídas, considerando não apenas os critérios técnicos e avançando na compreensão de como diferentes interesses envolvidos no processo de produção do espaço urbano condicionam a cidade a diferentes níveis de risco de desabastecimento de água.

³ O estudo completo está disponível através do *link*, <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190369>.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As crescentes lacunas entre demanda e oferta de água exigem caminhos sistêmicos para a segurança hídrica urbana e sustentabilidade das cidades. Esta tese é uma inquirição para incluir um novo modelo para a gestão dos Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água (SUAA). O estudo revelou que o modelo de gestão proposto é uma estrutura de transição para um SUAA-Sustentável com a inserção de estratégias centralizadas e descentralizadas em múltiplas escalas urbanas buscando arranjos de benefícios para a segurança hídrica.

As recorrentes crises hídricas aliadas à crescente demanda por água; os desafios a serem vencidos para a universalização do saneamento; a busca por soluções ambientalmente sustentáveis; e a necessidade de inserção de novas tecnologias e novos comportamentos para aproveitar recursos de água disponíveis nas cidades fundamentaram as justificativas da presente tese. As hipóteses formuladas foram investigadas e produziram as seguintes evidências: (i) o modelo de gestão proposto é uma estrutura para apoiar a segurança hídrica da área de estudo; (ii) o sistema de abastecimento de água de Campina Grande é centralizado e seu nível de eficiência está ainda em desenvolvimento; (iii) os recursos hídricos descentralizados, notadamente, a reutilização de água e captação de água da chuva são considerados como suporte ao SUAA.

A literatura existente foi revisada e classificada através da lente de cinco tópicos principais: (i) uma discussão sobre os componentes conceituais para sistemas hídricos urbanos sustentáveis e os novos modelos de gestão em investigação, por exemplo, o modelo da 'cidade sensível à água', para a gestão integrada do ciclo urbano da água em razão do debate sobre a convocação da comunidade internacional através da Agenda 2030 para abordar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e universalizar o acesso efetivo aos serviços de saneamento; (ii) uma apresentação das experiências internacionais que referencia os planos de gestão de cidades globais como Los Angeles, Adelaide e Singapura, que dentre outros, utilizam diversas tecnologias WSUD para apoiar a segurança hídrica urbana inseridos na perspectiva de novos serviços e produtos que envolvem a gestão eficiente do sistema centralizado e a inserção de inovações tecnológicas para suplementar o abastecimento de água, ao mesmo tempo que melhora as condições ambientais e a paisagem urbana. Os estudos mostraram que

a gestão das águas urbanas consideram as necessidades mais proeminentes, por exemplo, em Singapura, em razão da alta demanda, toda água é um recurso aproveitado para alguma finalidade, por isso, a cidade possui estruturas de tratamento robustas para viabilizar o aproveitamento de águas pluviais e residuais; (iii) um contexto nacional que evidencia que as cidades brasileiras estão em processo de desenvolvimento da gestão integrada das águas urbanas, e por conseguinte, dos SUAA, contudo, enfrentam impasses relativos aos contratos hidrossociais que necessitam passar por mudanças sócio-técnicas, incluindo perspectivas socioculturais sobre a água urbana e inclusão de investimentos dedicados para o setor; (iv) um debate sobre os sistemas urbanos sustentáveis de abastecimento de água e suas características, as quais abrangem fatores técnicos, sociais e políticos para superar as barreiras e obstáculos à sustentabilidade; e por fim, v) uma apresentação dos principais sistemas de apoio à gestão categorizados segundo os planos temáticos: biofísicos, espaciais e da governança, notadamente, foram enfatizados a combinação GIS-MCDA (Sistemas de Informações Geográficas baseado em Análise de Decisão Multicritério) e seus domínios para possibilitar soluções de diferentes tipos de problemas que envolvem dados espaciais, tais como, gerenciamento e visualização das informações, inferências e técnicas de análises espaciais. Neste sentido, esta pesquisa se apropriou das experiências de projetos nacionais e internacionais, em diferentes contextos socioeconômicos, para identificar seus potenciais e limitações e compartilhar seus sucessos na transformação dos sistemas urbanos de água.

A área de estudo é a cidade de Campina Grande que integra o bloco de cidades médias da região semiárida do Brasil e possui alta representativa econômica. O estudo revelou que a cidade está submetida à contínua expansão urbana, infraestruturas de águas em processo de envelhecimento e obstrução e secas recorrentes. O sistema de abastecimento de água é centralizado com uma única fonte, o reservatório Epitácio Pessoa, o qual exerce uma função primária nas economias local e estadual e atende a um total de aproximadamente 700 mil pessoas. O sistema está interligado ao projeto de integração das águas do rio São Francisco desde 2017, contudo, por motivos operacionais está desativado desde de 2020. As tubulações são predominantemente em *looping* com quatro zonas principais de operação no período chuvoso e duas zonas no período seco; a infraestrutura secundária foi ampliada desproporcionalmente à principal nas últimas duas décadas em razão da fragmentação dos planos de expansão urbana; além

disso, existem pontos da cidade com baixa uniformidade de pressão, causando rompimentos e atendimento desigual aos usuários. O índice de perdas é considerado alto, contudo houve uma redução de 32,4% entre os anos de 2013 (40,32%) e 2019 (27,27%), alcançando o menor índice em 2017 (23,49%) em razão do racionamento e dos baixos fluxos na rede que promoveram baixas pressões. O racionamento formal de água em épocas de escassez hídrica é um fenômeno naturalizado pelos residentes da cidade e é o único mecanismo para a gestão da demanda em épocas de restrição hídrica. O modelo de gestão hídrica para a cidade é dominado pela ampliação da oferta de água, em detrimento ao incentivo de práticas de demandas hídricas mais sustentáveis.

A metodologia principal desenvolveu um plano em direção a um SUAA-Sustentável através de uma estrutura com três níveis de análise: as escalas urbanas, as abordagens temáticas e as estratégias de gestão. Essa estrutura metodológica é um modelo de gestão sustentável para os SUAA e suas implicações resultaram em 17 (dezessete) estratégias de gestão centralizadas e descentralizadas para as três escalas urbanas: local, setorial e global. As estratégias de gestão deverão ser estudadas considerando as abordagens espacial, biofísica e da governança. Essas abordagens constituem uma espécie de tripé para à sustentabilidade dos SUAA, cujo objetivo é o gerenciamento a partir de uma visão ampla e integrada do ciclo urbano da água para atender às demandas atuais e futuras em um campo operacional exequível. Dentre as estratégias de gestão propostas, três foram eleitas para implementação através de contribuições metodológicas específicas, sustentadas pelo modelo de gestão proposto.

O mapeamento de riscos de desabastecimento de água utilizou GIS-MCDA com objetivo de definir áreas mais vulneráveis a escassez hídrica e, por conseguinte, apoiar o processo de adequação espacial do planejamento dos SUAA-Sustentável. A escassez hídrica recorrente gera riscos de desabastecimento de água na área de estudo e outras cidades do mundo, e é, ao mesmo tempo, de natureza hidroclimática, técnica e social. Além das incertezas do clima, os desequilíbrios hidráulicos e sociais revelam que o sistema centralizado da área de estudo precisa avançar para a eficiência, promovendo a redução de perdas e um serviço equitativo para a integral universalização dos serviços de água. O valor crítico do resultado do mapa de desabastecimento de água reside na sua capacidade de realizar uma avaliação espacialmente explícita e produzir resultados visuais que são intuitivamente interpretados.

A setorização em *clusters* de abastecimento empregou análises espaciais e decisões técnicas de engenharia para gerar uma ferramenta de apoio à gestão do sistema centralizado, incluindo gerenciamento de perdas. A metodologia empregada é útil para atender critérios de otimização hidráulica, como uniformidade de pressão, contudo, o obstáculo do método é lidar com o número de variáveis de decisão para satisfazer, ao mesmo tempo, condições hidráulicas e econômicas. A diversidade de métodos científicos, a exemplo da setorização em *clusters* de abastecimento resulta em benefícios para aumentar a eficiência dos SUAA. Contudo, altos requisitos de disponibilidade de dados limitaram a aplicação de todas as fases metodológicas para responder sobre a viabilidade técnica da setorização. Neste sentido, a clusterização da rede de abastecimento precisa de mais pesquisas, incluindo análise multicriterial para definição final da viabilidade técnica, incluindo otimização hidráulica e custos envolvidos.

O estudo sobre percepção pública estreou uma análise sobre os fatores que influenciam as respostas públicas à hipótese de reutilização de água na área de estudo. A pesquisa de opinião pública foi conduzida através de mídias sociais e revelou que a água reutilizada é uma fonte descentralizada reconhecida positivamente pelo público. O alto número de percepções positivas foram favorecidas pelo caso de estudo, especialmente em razão da adaptação a períodos de restrição hídrica. Contudo, a ausência de regulação e deliberações limitam à reutilização de água para usos indiretos na escala local e irrigação na escala setorial. O estudo evidenciou a necessidade de iniciar um debate para desenvolver políticas para promover a reutilização de água, especialmente mecanismos regulatórios, por exemplo, políticas orientadas ao grau de escassez hídrica. A discussão em torno das fontes descentralizadas permitiu compreender que o *design* atual do SUAA deverá ser redimensionado para atender múltiplas demandas de água contemplando requisitos de qualidade específicos, em oposição à demanda de água potável que exige requisitos máximos de qualidade da água para usos que dispensam a potabilidade. O projeto de reutilização de água para uma indústria de Campina Grande indica que, embora pontualmente, novos modelos de abastecimento de água estão em desenvolvimento para a cidade.

Argumenta-se que os mecanismos de transição para cidades sustentáveis são diversos, e para isso, são necessárias definições sistemáticas que abrangem todos os elementos de um processo integrado. Isso desafia as abordagens tradicionais de resolução de problemas e exige maneiras mais sistêmicas de abordar as transições

através de novos paradigmas. As três dimensões propostas para um SUAA-Sustentável: espacial, biofísico e de governança implicam no envolvimento de um sistema integrado que engloba fatores técnicos, sociais e políticos, concomitantemente. A abordagem que aplica a gestão dos sistemas urbanos de água em multiescala é um novo modelo de projeto sociotécnico que impulsiona para a inovação dos SUAA.

O desafio em integrar essas diferentes perspectivas nesta tese fornece *insights* sobre questões que outras pesquisas deverão abordar. Constata-se que é crucial estabelecer o propósito intrínseco de integração, embora os diversos desafios para equilibrar expectativas, interesses e necessidades concorrentes. Escrever esta tese foi um processo interativo e dinâmico que durou pelo menos três anos. O resultado pode ser classificado como um "plano para o futuro sustentável dos SUAA". Além disso, pode-se considerar como um trabalho em andamento que está sujeito a revisão contínua. Desta forma, estudos futuros poderão incluir:

- Obtenção do mapa de risco de desabastecimento para o novo censo 2020;
- Realização de um prognóstico do SUAA pós-integração ao PISF;
- Avaliação de prazos para implementação das estratégias centralizadas e descentralizadas (curto, médio e longo prazos);
- Análise dos requisitos de qualidade da água considerando os diferentes usos urbanos da água;
- Obtenção de uma análise espacial em relação às áreas potenciais para captação de água pluvial para o projeto Multilagos;
- Obtenção de evidências quantitativas sobre aceitação pública para a reutilização de água;
- Avaliação dos recursos urbanos de águas pluviais para a área de estudo, conforme a Lei 13.501/2017;
- Análise das regras de governança propostas no quadro de estratégias de gestão;
- Avaliação do modelo proposto considerando uma nova escala espacial de planejamento com a regionalização do saneamento;
- Construção de um modelo para projetos sustentáveis de SUAA considerando cofatores: técnicos, sociais e políticos;

- Estudos sobre a nova abordagem de pesquisa transdisciplinar para gerar evidências sobre projetos sociotécnicos inovadores que aplicam sistemas alternativos de água em múltipla escala para as cidades;
- Avaliação de abordagens voltadas para projetos de economia circular e águas urbanas.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público, p. 1-4, 1994.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Nota Técnica 001/2019. Atualização das curvas Cota x Área x Volume (CAV) de reservatórios da Paraíba. Campina Grande, 2019.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Boletins – Volumes dos açudes, 2021. Disponível em <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/>>. Acesso em 05 de abril de 2021.
- AHERN, J. From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. **Landscape and Urban Planning**, v. 100, n. 4, p. 341–343, 2011.
- AKSHA, S. K. *et al.* A geospatial analysis of multi-hazard risk in Dharan, Nepal. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 11, n. 1, p. 88–111, 2020.
- ALVARADO, A. ESTELLER, M. V., QUENTIN, E., EXPÓSITO, J. L. Multi-Criteria Decision Analysis and GIS Approach for Prioritization of Drinking Water Utilities Protection Based on their Vulnerability to Contamination. **Water Resources Management**, v. 30, n. 4, p. 1549-1566, 2016.
- ALVES, P. B. R., RUFINO, I. A. A, HERMÍNIO C. F. P., DJORDJEVIĆ, S., JAVADI, A. Land-use and legislation-based methodology for the implementation of sustainable drainage systems in the semi-arid region of Brazil. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 2, 2020.
- ALVES, P. B. R.; DJORDJEVIĆ, S.; JAVADI, A. Addressing flooding mitigation with a vulnerability perspective. 2019.
- ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: Informe anual. Agência Nac. Águas 2018, 1, 72.
- ANELLI, R. L. S. Uma nova cidade para as águas urbanas. **Estudos Avancados**, v. 29, n. 84, p. 69–84, 2015.
- ANGELAKIS, A. N. *et al.* Water reuse: From ancient to modern times and the future. **Frontiers in Environmental Science**, v. 6, n. May, 2018.
- ANGELAKIS, A. N. VOUDOURIS, K. S.; TCHOBANOGLIOUS, G. Evolution of water supplies in the Hellenic world focusing on water treatment and modern parallels. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 20, n. 3, p. 773–786, 2020.
- AROUA, N. Urban vulnerability and resiliency over water-related risks: A case study from Algiers. **Water Science and Technology**, v. 73, n. 5, p. 1145–1154, 2016.
- ASHLEY, R., LUNDY, L., WARD, S., SHAFFER, P., WALKER, A. L., MORGAN, C., MOORE, S. Water-sensitive urban design: opportunities for the UK. In **Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Municipal Engineer**, Vol. 166, pp. 65-76, 2013.
- BACH, P. M.; MCCARTHY, D. T.; DELETIC, A. Can we model the implementation of water sensitive urban design in evolving cities? **Water Science and Technology**, v. 71, n. 1, p. 149–156, 2015.
- BAI, Y., ZHAO, N., ZHANG, R., ZENG, X. Storm water management of low impact development in urban areas based on SWMM. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 1, 2018.

BARRON, N. J., KULLER, M., YASMIN, T., CASTONGUAY, A. C., COPA, V., DUNCAN-HORNER, E., DELETIC, A. Towards water sensitive cities in Asia: An interdisciplinary journey. **Water Science and Technology**, v. 76, n. 5, p. 1150–1157, 2017.

BARROS, M. B., RUFINO, I. A. A., MIRANDA, L. I. B. Mecanismos poupadores de água como suporte ao planejamento urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.21, no 1. 251-262. 2016.

BEHZADIAN, K.; KAPELAN, Z. Advantages of integrated and sustainability based assessment for metabolism based strategic planning of urban water systems. **Science of the Total Environment**, v. 527–528, p. 220–231, 2015.

BIANCHOTTI, J. D.; DENARDI, M.; CASTRO-GAMA, M. Sectorization for Water Distribution Systems with Multiple Sources : A Performance Indices Comparison. p. 1–17, 2021.

BICHAI, F.; KAJENTHIRA GRINDLE, A.; MURTHY, S. L. **Addressing barriers in the water-recycling innovation system to reach water security in arid countries**. [s.l.] Elsevier Ltd, 2018. v. 171

BOELEN, R. HOOGESTEGER, J., SWYNGEDOUW, E., VOS, J., & WESTER, P. Hydrosocial territories: a political ecology perspective. **Water International**, v. 41, n. 1, p. 1–14, 2016.

BONZI, R. S. A dimensão infraestrutural da paisagem: uma estratégia para a “crise hídrica” da Grande São Paulo. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo. 227f. 2019.

BORELLI, E. Uma análise da gestão da água e saneamento no Brasil sob a perspectiva da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. **III SINGEP**, 2020.

BOUARAF, S. LASSABATERE, L., LIPEME-KOUYI, G., & ANGULO-JARAMILLO, R. Hydrodynamic Characterization of Sustainable Urban Drainage Systems (SuDS) by Using Beerkan Infiltration Experiments. **Water**, v. 11, n. 4, p. 660, 2019.

BRADSHAW, J. L. OSORIO, M., SCHMITT, T. G., LUTHY, R. G. System modeling, optimization, and analysis of recycled water and dynamic stormwater deliveries to spreading basins for urban groundwater recharge. **Water Resources Research**, p. 2446–2463, 2019.

BRASIL. Atlas Nordeste - Abastecimento Urbano de Água. Ministério da Integração Nacional, 2006. Disponível em <https://arquivos.ana.gov.br/institucional>. Acesso em: junho de 2021.

BRASIL. Manual para a apresentação de propostas para sistemas de drenagem urbana sustentável e manejo de águas pluviais. Ministério da Cidades. 2012. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF.

BRASIL. Paralisação da operação do Eixo Leste do PISF para finalização das obras de recuperação nos reservatórios Poções e Camalaú. Nota Técnica nº 06/2018/CGAOH/DPE/SIH. Ministério da Integração Nacional, Brasília, 2018, 3 p.

BRITO, L. K. S.; COSTA, M. E. L.; KOIDE, S. Assessment of the impact of residential urban patterns of different hillslopes on urban drainage systems and ecosystem services in the Federal District, Brazil. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 14, 2020.

BRITTO, A. L. N. P. LIMA, S. C. R. B., HELLER, L., SOUZA CORDEIRO, B. Da

fragmentação à articulação: a política nacional de saneamento e seu legado histórico. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 14, n. 1, p. 65, 2012.

BROWN, R. R.; KEATH, N.; WONG, T. H. F. Urban water management in cities: historical, current and future regimes. **Water Science and Technology**, 2009.

BROWN, R. R.; KEATH, N.; WONG, T. H. F. Urban water management in cities: historical, current and future regimes. **Water Science and Technology**, 2009.

BUI, X. K.; MARLIM, M. S.; KANG, D. Water network partitioning into district metered areas: A state-of-the-art review. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 4, 2020.

BURROUGH, P. A., MCDONNELL, R., MCDONNELL, R. A., LLOYD, C. D. Princípios dos sistemas de informação geográfica. Oxford University Press 2015.

BURSZTA-ADAMIAK, E.; SPYCHALSKI, P. Water Savings and Reduction of Costs Through the Use of a Dual Water Supply System in a Sports Facility. **Sustainable Cities and Society**, p. 102620, 2020.

BUTLER, D., MEMON, FA. *Gestão da demanda de água*. IWA. 2005.

BUURMAN, J.; MENS, M. J. P.; DAHM, R. J. Strategies for urban drought risk management: a comparison of 10 large cities. **International Journal of Water Resources Development**, v. 33, n. 1, p. 31–50, 2017.

CABRERA, R. I.; ALTLAND, J. E.; NIU, G. Assessing the Potential of Nontraditional Water Sources for Landscape Irrigation. **HortTechnology**, p. 436–444, 17 set. 2018.

CAMPINA GRANDE. Plano Municipal de Saneamento Básico de Campina Grande. Secretaria de Planejamento. Prefeitura Municipal de Campina Grande, 2014.

CEARÁ. Plano de Segurança Hídrica da Região Metropolitana de Fortaleza. Governo do Estado do Ceará. 2016. Disponível em: <https://www.arce.ce.gov.br/download/plano-de-seguranca-hidrica-da-regiao-metropolitana-de-fortaleza/>.

CETRULO, T. B.; FERREIRA, D. F.; MARQUES, R. C.; MALHEIROS, T. F. Water utilities performance analysis in developing countries: On an adequate model for universal access. **Journal of Environmental Management**, v. 268, n. May, p. 110662, 2020.

CHEN, Z.; NGO, H. H.; GUO, W. A critical review on the end uses of recycled water. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 43, n. 14, p. 1446–1516, 2013.

CHESTERFIELD, C. ROGERS, B. C., BECK, L., BROWN, R. R., DUNN, G., de HAAN, F., WONG, T. A Water Sensitive Cities Index to support transitions to more liveable, sustainable, resilient and productive cities. **Proceedings for Singapore International Water Week, Singapore**, p. 11–14, 2016.

CIRIA. Construction Industry Research and Information Association. Manual do SuDS. 2015. Disponível em: https://www.ciria.org/Resources/Free_publications/SuDS_manual_C753.aspx. Acessado em 24 de maio de 2019.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. Reúso de efluentes para abastecimento industrial: avaliação da oferta e da demanda no estado da Paraíba. Brasília, 2019. 93 p. Disponível em: <https://static.portaldaindustria.com.br/>. Acesso em junho de 2021.

COCHRAN, W. G. 1963. *Sampling Techniques*, 2nd Ed., New York: John Wiley and Sons, Inc.

COOLEY, H.; PHURISAMBAN, R.; GLEICK, P. The cost of alternative urban water supply and efficiency options in California. **Environmental Research Communications**, v. 1, n. 4, p. 042001, 2019.

CORDÃO, M. J. S., RUFINO, I. A. A., ALVES, P. B. R., BARROS, M. N. M. Water shortage risk mapping: A GIS-MCDA approach for a medium-sized city in the Brazilian semi-arid region. **Urban Water**, v. 17, n. 7, p. 642–655, 2020.

COYNE, T., ZURITA, M. D. L. M., REID, D., PRODANOVIC, V. Culturally inclusive water urban design: a critical history of hydrosocial infrastructures in Southern Sydney, Australia. **Blue-Green Systems**, v. 2, n. 1, p. 364–382, 2020.

DAVIS, A. P. TRAVER, R. G., HUNT, W. F., LEE, R., BROWN, R. A., OLSZEWSKI, J. M. Hydrologic Performance of Bioretention Storm-Water Control Measures. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 17, n. 5, p. 604-614, 2012.

DE MACEDO, M. B.; DO LAGO, C. A. F.; MENDIONDO, E. M. Stormwater volume reduction and water quality improvement by bioretention: Potentials and challenges for water security in a subtropical catchment. **Science of the Total Environment**, v. 647, p. 923–931, 2019.

DELANEY, D.; LEITNER, H. The political construction of scale. **Political Geography**, v. 16, n. 2, p. 93–97, 1997.

DESTRO, C. A. M. The urban water use model as a tool to support the evaluation of sustainable drainage measures in Brazilian cities. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Curitiba, 2016.

DIAO, K. et al. Global resilience analysis of water distribution systems. **Water Research**, 2016.

DIAZ-BALTEIRO, L.; GONZÁLEZ-PACHÓN, J.; ROMERO, C. Measuring systems sustainability with multi-criteria methods: A critical review. **European Journal of Operational Research**, v. 258, n. 2, p. 607–616, 2017.

DIAZ-ELSAIED, N. et al. Wastewater-based resource recovery technologies across scale: A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 145, n. December 2018, p. 94–112, 2019.

DIJK, A. I. J. M. VAN et al. **The Millennium Drought in southeast Australia (2001 – 2009): Natural and human causes and implications for water resources , ecosystems , economy , and society**. 2013

DOLNICAR, S.; HURLIMANN, A.; GRÜN, B. What affects public acceptance of recycled and desalinated water? **Water Research**, v. 45, n. 2, p. 933–943, 2011.

DRUMOND, P. DE P. BALL, J. E., MOURA, P., PINTO COELHO, M. M. L. Are the current On-site Stormwater Detention (OSD) policies the best solution for source control stormwater management? A case study of Australian and Brazilian cities. **Urban Water Journal**, v. 17, n. 3, p. 273–281, 2020.

EMPINOTTI, V. L.; GONTIJO, W. C.; DE OLIVEIRA, V. E. Federalism, water, and (de)centralization in Brazil: the case of the São Francisco River water diversion. **Regional Environmental Change**, V. 18, N. 6, P. 1655–1666, 2018.

ESPANHA. Governo da Espanha. (2007). Real Decreto 1.620/2007, de 7 de

diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. Disponível em: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-21092>. Acesso em: junho de 2021.

ETALE, A. et al. Recycled and desalinated water: Consumers' associations, and the influence of affect and disgust on willingness to use. **Journal of Environmental Management**, v. 261, n. August 2019, 2020.

EVERETT, G.; LAMOND, J. E.; MORZILLO, A. T.; MATSLER, A. M.; CHAN, F. K. S. Delivering Green Streets: an exploration of changing perceptions and behaviours over time around bioswales in Portland, Oregon. **Journal of Flood Risk Management**, v. 11, n. 2015, p. S973–S985, 2018.

FERGUSON, B. C.; BROWN, R. R.; DELETIC, A. A Diagnostic Procedure for Transformative Change Based on Transitions, Resilience and Institutional Thinking. v. 18, n. 4, 2013.

FLETCHER, T. D., SHUSTER, W., HUNT, W. F., ASHLEY, R., BUTLER, D., ARTHUR, S., VIKLANDER, M. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 7, p. 525–542, 2015.

FLUHRER, T.; CHAPA, F.; HACK, J. A Methodology for Assessing the Implementation Potential for Retrofitted and Multifunctional Urban Green Infrastructure in Public Areas of the Global South. **Sustainability**, v. 13, n. 1, p. 384, 2021.

FOLKE, C., CARPENTER, S. R., WALKER, B., SCHEFFER, M., CHAPIN, T., ROCKSTROM, J. Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. **Ecology and Society**, v. 15, n. 4, 2010.

FORTALEZA. Plano Municipal de Saneamento Básico. Prefeitura de Fortaleza. 2014. Disponível em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/infocidade/364-plano-municipal-de-saneamento-basico>.

FOUNTOULAKIS, M. S. et al. Single house on-site grey water treatment using a submerged membrane bioreactor for toilet flushing. **Science of the Total Environment**, v. 551–552, p. 706–711, 2016.

FURLONG, C. JEGATHEESAN, J., CURRELL, M., IYER-RANIGA, U., KHAN, T., BALL, A. S. Is the global public willing to drink recycled water? A review for researchers and practitioners. **Utilities Policy**, v. 56, n. November 2018, p. 53–61, 2019.

GALAITSI, S. E. RUSSELL, R., BISHARA, A., DURANT, JL, BOGLE, J., HUBER-LEE, A. Intermittent domestic water supply: A critical review and analysis of causal-consequential pathways. **Water (Switzerland)**, v. 8, n. 7, 2016.

GALDIERO, E., F. DE PAOLA, N. FONTANA, M. GIUGNI, AND D. SAVIC. Decision support system for the optimal design of district metered areas. **J. Hydroinf.** 18 (1): 49–61.2016.

GALVÃO, C. O., RÊGO, J. C., RIBEIRO, M. M. R., ALBUQUERQUE, J. Sustentabilidade da Oferta de Água para Abastecimento Urbano no Semi-Árido Brasileiro: O caso de Campina Grande. **Anais do Seminário Planejamento, Projeto e Operação de Redes de Abastecimento de Água: O Estado da Arte e Questões Avançadas**, João Pessoa, 2002.

GIGOVIĆ, L. PAMUČAR, D., BAJIĆ, Z., DROBNJAK, S. Application of GIS-interval rough AHP methodology for flood hazard mapping in Urban areas. **Water (Switzerland)**, 2017.

GIMENEZ-MARANGES, M.; BREUSTE, J.; HOF, A. Sustainable Drainage Systems for transitioning to sustainable urban flood management in the European Union: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 255, p. 120191, 2020.

GOMES CALIXTO, K.; WENDLAND, E. C.; MELO, D. DE C. D. Hydrologic performance assessment of regulated and alternative strategies for flood mitigation: a case study in São Paulo, Brazil. **Urban Water Journal**, v. 17, n. 5, p. 481–489, 2020.

GRANDE, M. H., GALVÃO, C. D. O., DE MIRANDA, L. I. B., SOBRINHO, L. D. G. A percepção dos usuários sobre os impactos do racionamento de água em suas rotinas domiciliares. **Ambiente & Sociedade**, v. XIX, p. 165–184, 2016.

GRANDE, M. H., GALVÃO, C. O., MIRANDA, L., RUFINO, I. A. A. Environmental equity as a criterion for water management. **Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences**, v. 364, n. June, p. 519–525, 2015.

GRAYSON, R. B. B.; LADSON, A. R. R.; MOORE, I. D. Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. **Hydrological Processes**, v. 5, n. 1, p. 3–30, 1991.

GREENE, R. DEVILLERS, R., LUTHER, JE, EDDY, B. G. GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis. **Geography Compass**, 2011.

GUEDES, M. J. F., RIBEIRO, M. M. R., VIEIRA, Z. M. C. L. Alternativas de Gerenciamento da Demanda de Água na Escala de uma Cidade. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, no 3. 51-62. 2014.

HASHIMOTO, T.; STEDINGER, J. R.; LOUCKS, D.P. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. **Water resources research**, v. 18, n. 1, p. 14-20, 1982.

HOEKSTRA, A. Y.; BUURMAN, J.; VAN GINKEL, K. C. H. Urban water security: A review. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 5, 2018.

HOFFMANN, S. *et al.* A Research Agenda for the Future of Urban Water Management: Exploring the Potential of Nongrid, Small-Grid, and Hybrid Solutions. **Environmental Science and Technology**, v. 54, n. 9, p. 5312–5322, 2020.

HOU, C. *et al.* Impacts of regional water shortage information disclosure on public acceptance of recycled water — evidences from China's urban residents. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, p. 123965, 2021.

HUANG, Y. CHEN, J., ZENG, S., SUN, F., DONG, X. A stochastic optimization approach for integrated urban water resource planning. **Water Science and Technology**, v. 67, n. 7, p. 1634–1641, 2013.

HURLIMANN, A.; DOLNICAR, S. Public acceptance and perceptions of alternative water sources: A comparative study in nine locations. **International Journal of Water Resources Development**, v. 32, n. 4, p. 650–673, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dados censitários, 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estatísticas: cidades e estados, 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html>

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for policymakers. In: *Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1-32, 2014.

ISHAQ, S., HEWAGE, K., FAROOQ, S., SADIQ, R. State of provincial regulations and guidelines to promote low impact development (LID) alternatives across Canada: Content analysis and comparative assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 235, n. October 2018, p. 389–402, 2019.

IWA. Alternative Water Resources Cluster. 2015.

JIMÉNEZ ARIZA, S L., MARTÍNEZ, J. A., MUÑOZ, A. F., QUIJANO, J. P., RODRÍGUEZ, J. P., CAMACHO, L. A., & DÍAZ-GRANADOS, M. A Multicriteria Planning Framework to Locate and Select Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) in Consolidated Urban Areas. **Sustainability**, v. 11, n. 8, p. 2312, 2019.

JOHNS, C. M. Understanding barriers to green infrastructure policy and stormwater management in the City of Toronto: a shift from grey to green or policy layering and conversion? **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 0, n. 0, p. 1–25, 2019.

JOHNSON, J. P.; HUNT, W. F. A Retrospective Comparison of Water Quality Treatment in a Bioretention Cell 16 Years Following Initial Analysis. **Sustainability**, v. 11, n. 7, p. 1945, 2019.

JUSSAH, O. et al. Assessment of the potential contribution of alternative water supply systems in two contrasting locations: Lilongwe, Malawi and Sharm El-Sheikh, Egypt. **Journal of Water and Climate Change**, v. 11, n. 1, p. 130–149, 2020.

KENNEDY, C.; PINCETL, S.; BUNJE, P. The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. **Environmental Pollution**, v. 159, n. 8–9, p. 1965–1973, 2011.

KHANAL, G. THAPA, A., DEVKOTA, N., PAUDEL, U. R. A review on harvesting and harnessing rainwater: an alternative strategy to cope with drinking water scarcity. **Water Supply**, v. 20, n. 8, p. 2951-2963, 2020.

KIPARSKY, M. SEDLAK, DL, THOMPSON JR, BH, TRUFFER, B. The Innovation Deficit in Urban Water: The Need for an Integrated Perspective on Institutions, Organizations, and Technology. **Environmental Engineering Science**, v. 30, n. 8, p. 395–408, 2013.

KRUEGER, E.; RAO, P. S. C.; BORCHARDT, D. Quantifying urban water supply security under global change. **Global Environmental Change**, v. 56, n. April, p. 66–74, 2019.

KULLER, M., BACH, P. M., RAMIREZ-LOVERING, D., DELETIC, A. Framing water sensitive urban design as part of the urban form: A critical review of tools for best planning practice. **Environmental Modelling and Software**, v. 96, p. 265–282, 2017.

KUMPEL, E.; NELSON, K. L. Intermittent Water Supply: Prevalence, Practice, and Microbial Water Quality. **Environmental Science and Technology**, v. 50, n. 2, p. 542–553, 2016.

KUWAJIMA, J. I.; SANTOS, G. R.; FECHINE, V. M. R.; SANTANA, A. S. Saneamento no Brasil: proposta de priorização do investimento público. Texto para

discussão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). 2020.

LÄHDE, E. KHADKA, A., TAHVONEN, O., KOKKONEN, T. Can we really have it all?-Designing multifunctionality with sustainable urban drainage system elements. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 7, 2019.

LEE, K.; JEPSON, W. Drivers and barriers to urban water reuse: A systematic review. **Water Security**, v. 11, n. September, p. 100073, 2020.

LEIGH, N. G.; LEE, H. Sustainable and resilient urban water systems: The role of decentralization and planning. **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 3, 2019.

LI, L.; LIU, X.; ZHANG, X. Public attention and sentiment of recycled water: Evidence from social media text mining in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 303, 2021.

LIENERT, J.; SCHNETZER, F.; INGOLD, K. Stakeholder analysis combined with social network analysis provides fine-grained insights into water infrastructure planning processes. **Journal of Environmental Management**, v. 125, p. 134–148, 2013.

LIU, J. SAMPLE, D. J., BELL, C., GUAN, Y. Review and Research Needs of Bioretention Used for the Treatment of Urban Stormwater. p. 1069–1099, 2014.

LUCENA, D. P. M. M., Simulações da implantação de ações de gestão no açude Epitácio Pessoa e seus impactos na crise hídrica em Campina Grande – PB e Região. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba. 2018.

LUTHY, R. G.; SHARVELLE, S.; DILLON, P. Urban Stormwater to Enhance Water Supply. **Environmental Science Technology**, v. 53, n. 10, 5534-5542, 2019.

MALA-JETMAROVA, H.; SULTANOVA, N.; SAVIC, D. Lost in optimisation of water distribution systems? A literature review of system operation. **Environmental Modelling and Software**, v. 93, p. 209–254, 2017.

MAMADOUH, V.; KRAMSCH, O.; VAN DER VELDE, M. Articulating local and global scales. **Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie**, v. 95, n. 5, p. 455–466, 2004.

MARINHO, S. D. A. M. Planejamento urbano sensível aos recursos hídricos: análise a partir do metabolismo urbano e da produção do espaço em Campina Grande - PB. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba. 2018.

MARLOW, D. R. et al. Towards sustainable urban water management: A critical reassessment. **Water Research**, v. 47, n. 20, p. 7150–7161, 2013.

MARQUES, R. C.; DA CRUZ, N. F.; PIRES, J. Measuring the sustainability of urban water services. **Environmental Science and Policy**, v. 54, p. 142–151, 2015.

MARSTON, S. A.; JONES, J. P.; WOODWARD, K. Human geography without scale. **Theory and Methods: Critical Essays in Human Geography**, p. 337–353, 2017.

MARTÍNEZ-SOLANO, J. F. et al. Combining Skeletonization, Setpoint Curves, and Heuristic Algorithms to Define District Metering Areas in the Battle of Water Networks District Metering Areas. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 144, n. 6, p. 04018023, 2018.

MATTOS, E. PINTO, C., TEIXEIRA, L. Sanitation and Health: Empirical evidence for Brazilian Municipalities. **Brazilian Review of Econometrics**, v. 39, n. 2, p. 269,

2020.

MCDONALD, R.I.; WEBER, K., PADOWSKI, J., FLÖRKE, M., SCHNEIDER, C., GREEN, P. A.; MONTGOMERY, M. Water on an urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure. **Global Environmental Change**, v. 27, p. 96-105, 2014.

MELO, M. R. DE S. et al. Strategies for applying gray water effluent on ornamental sunflower crops. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 31, p. 38537–38544, 2020.

MILLINGTON, N. Producing water scarcity in São Paulo, Brazil: The 2014-2015 water crisis and the binding politics of infrastructure. **Political Geography**, v. 65, p. 26-34, 2018.

MISHRA, G. ACHARYA, G., IYER, M., DOSHI, S. Deconstructing water sensitivity: Experiences from global cities. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 592, n. 1, 2020.

MO, W. LU, Z., DILKINA, B., GARDNER, K. H., HUANG, J. C., FOREMAN, M. C. Sustainable and Resilient Design of Interdependent Water and Energy Systems: A Conceptual Modeling Framework for Tackling Complexities at the Infrastructure-Human-Resource Nexus. **Sustainability**, v. 10, n. 6, p. 1–10, 2018.

MOURA, P. G. *et al.* Water reuse: A sustainable alternative for Brazil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, n. 6, p. 791–808, 2020.

MOYA-FERNÁNDEZ, P. J. et al. Determinants of the acceptance of domestic use of recycled water by use type. **Sustainable Production and Consumption**, v. 27, p. 575–586, 2021.

NARZETTI, D. A.; MARQUES, R. C. Models of subsidies for water and sanitation services for vulnerable people in South American countries: Lessons for Brazil. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 7, 2020.

NASCIMENTO, A. T. P.; CAVALCANTI, N. H. M.; CASTRO, B. P. L. D.; MEDEIROS, P. H. A. Decentralized water supply by reservoir network reduces power demand for water distribution in a semi-arid basin. **Hydrological Sciences Journal**, v. 64, n. 1, p. 80–91, 2019.

NASEM - National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Consensus Study Report: Using Graywater and Stormwater to Enhance Local Water Supplies. An Assessment of Risks, Costs, and Benefits. 2019. Disponível em <https://www.nap.edu/read/21866/chapter/11#156>. Acessado em Abril de 2019.

NEWELL, J. P.; SEYMOUR, M.; YEE, T.; RENTERIA, J.; LONGCORE, T.; WOLCH, J. R.; SHISHKOVSKY, A. L. Green Alley Programs: Planning for a sustainable urban infrastructure? **Cities**, v. 31, p. 144–155, 2013.

NGUYEN, K. A. STEWART, R. A., ZHANG, H., SAHIN, O., SIRIWARDENE, N. Re-engineering traditional urban water management practices with smart metering and informatics. **Environmental Modelling and Software**, v. 101, p. 256–267, 2018.

NICKEL, D.; SCHOENFELDER, W.; MEDEARIS, D.; DOLOWITZ, D. P.; KEELEY, M.; SHUSTER, W. German experience in managing stormwater with green infrastructure. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 57, n. 3, p. 403–423, 2014.

NUNES CARVALHO, T. M.; DE SOUZA FILHO, F. D. A.; MEDEIROS DE SABÓIA, M. A. Performance of rainwater tanks for runoff reduction under climate change

scenarios: a case study in Brazil. **Urban Water Journal**, v. 17, n. 10, p. 912–922, 2020.

OKAWA, C. M. P., GASQUES, A. C. F., POMPEU, C. R., POLASTRI, P., PEREIRA, P. P., JULIANI, B. H. T., VIEIRA, J. V. Performance and scientific contributions of the Research Group “Integrated Urban Water Management” of the State University of Maringá, Paraná State, **BrazilCiência e Natura**, 2020.

OLIVEIRA L. M. Modelagem dinâmica e cenários urbanos de demanda de água: simulações em Campina Grande – PB. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, 2019.

ONU. Organização das Nações Unidas. Perspectivas Mundiais de Urbanização. 2018. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>. Acesso em Dezembro de 2020.

OPPETTHEIMER, J. DA SILVA, A., YU, Z. L., HANNA, M., & SUSILO, K. Total Water Solutions - Capturing alternative water sources to supplement drinking water supply. **Journal - American Water Works Association**, v. 109, n. 1, p. 18–25, 2017.

PANAGOPOULOS, G. P. BATHRELLOS, G. D., SKILODIMOU, H. D., MARTSOUKA, F. A. Mapping Urban Water Demands Using Multi-Criteria Analysis and GIS. **Water Resources Management**, 2012.

PASMAN, H. J.; ROGERS, W. J. How to treat expert judgment? With certainty it contains uncertainty! **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 66, n. March, p. 104200, 2020.

PESANTEZ, J. E.; BERGLUND, E. Z.; MAHINTHAKUMAR, G. Geospatial and Hydraulic Simulation to Design District Metered Areas for Large Water Distribution Networks. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 146, n. 7, p. 06020010, 2020.

PINCETL, S. PORSE, E., MIKA, K. B., LITVAK, E., MANAGO, K. F., HOGUE, T. S., GOLD, M. Adapting Urban Water Systems to Manage Scarcity in the 21st Century: The Case of Los Angeles. **Environmental Management**, v. 63, n. 3, p. 293–308, 2019.

PORTO ALEGRE. O Plano Municipal de Saneamento Básico. Prefeitura de Porto Alegre. 2015. Disponível em: https://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php?p_secao=352.

PUB. ABC waters design guidelines. Singapore: Public Utilities Board, 2014.

PUB. Managing stormwater for our future. Singapore: Public Utilities Board. 2014.

PUB. Our water, our future. Singapore: Public Utilities Board. 2018. Disponível em <https://www.pub.gov.sg/Documents/PUBOurWaterOurFuture.pdf>.

RÊGO, J. C. *et al.* A crise do abastecimento de Campina Grande: atuações dos gestores, usuários, poder público, imprensa e população. Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vol. 21. Brasília, 2015.

REYNAERT, E. et al. Practical implementation of true on-site water recycling systems for hand washing and toilet flushing. **Water Research X**, v. 7, p. 100051, 2020.

REYNAERT, E.; HESS, A.; MORGENROTH, E. Making Waves: Why water reuse frameworks need to co-evolve with emerging small-scale technologies. **Water**

Research X, v. 11, p. 100094, 2021.

RHCG. Blog Retalhos Históricos de Campina Grande. Projeto Multilagos. Disponível em <http://cgretalhos.blogspot.com>. Acesso em 08.06.19. 2019.

RICHARDS, D. R.; THOMPSON, B. S. Urban ecosystems: A new frontier for payments for ecosystem services. n. June 2018, p. 1–13, 2019.

RODAK, C. M., JAYAKARAN, A. D., MOORE, T. L., DAVID, R., RHODES, E. R., VOGEL, J. R. Urban stormwater characterization, control, and treatment. **Water Environment Research**, v. 92, n. 10, p. 1552–1586, 2020.

RODINA, L. Defining “water resilience”: Debates, concepts, approaches, and gaps. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 6, n. 2, p. e 1334, 2018.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. v. 1, n. 1, 2008.

SAATY, T.L. (1980). Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill, New York, NY, USA.

SALOMONS, E.; SKULOVICH, O.; OSTFELD, A. Battle of Water Networks DMAs: Multistage Design Approach. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 143, n. 10, p. 04017059, 2017.

SANTASMASAS, C. et al. Grey water reclamation by decentralized MBR prototype. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 72, p. 102–107, 2013.

SANTOS, M. DOS; ENOKIBARA, M.; FONTES, M. DE C. Tendências de estudos em Infraestrutura Verde no Brasil. **Eventoanap.Org.Br**, v. 08, p. 88–107, 2020.

SANTOS, S. M. DOS; DE FARIAS, M. M. M. W. E. C. Potential for rainwater harvesting in a dry climate: Assessments in a semiarid region in northeast Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 164, p. 1007–1015, 2017.

SANTOS, S. M.; DE FARIAS, M. M. Potential for rainwater harvesting in a dry climate: Assessments in a semiarid region in northeast Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 164, p. 1007–1015, 15 out. 2017.

SAPKOTA, M. ARORA, M., MALANO, H., MOGLIA, M., SHARMA, A., GEORGE, B., PAMMINGER, F. An Overview of Hybrid Water Supply Systems in the Context of Urban Water Management: Challenges and Opportunities. **Water**, v. 7, n. 1, p. 153-174, 2015.

SCOTT-BOTTOMS, S.; ROE, M. Who is a hydrocitizen? The use of dialogic arts methods as a research tool with water professionals in West Yorkshire, UK. **Local Environment**, v. 25, n. 4, p. 273–289, 2020.

SERRAO-NEUMANN, S.; RENOUF, M.; KENWAY, S. J.; CHOY, D. L. Connecting land-use and water planning: Prospects for an urban water metabolism approach. **Cities**, v. 60, p. 13–27, 2017.

SHAIKH, I. N.; AHAMMED, M. M. Quantity and quality characteristics of greywater: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 261, n. January, p. 110266, 2020.

SHARAF, A.; LIU, Y. Mechanisms and kinetics of greywater treatment using biologically active granular activated carbon. **Chemosphere**, v. 263, p. 128113, 2021.

SILVA, J. K., NUNES, L. G. C. F., SOARES, A. E. P., SILVA, S. R. D. Assessment of water-saving equipment to support the urban management of water. **RBRH**, v. 22,

n. 0, 2017.

SILVA, S. M. O.; SOUZA FILHO, F. D. A.; CAMELO CID, D. A., SILVA DE AQUINO, S. H.; PEIXOTO XAVIER, L. C. Proposal of integrated urban waters management as a strategy to promote water security: The fortaleza case. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 239–250, 2019.

SITZENFREI, R.; MÖDERL, M.; RAUCH, W. Assessing the impact of transitions from centralised to decentralised water solutions on existing infrastructures - Integrated city-scale analysis with VIBe. **Water Research**, v. 47, n. 20, p. 7251–7263, 2013.

SITZENFREI, R.; RAUCH, W. Integrated hydraulic modelling of water supply and urban drainage networks for assessment of decentralized options. **Water Science and Technology**, v. 70, n. 11, p. 1817–1824, 2014.

SMITH, B.; RODRIGUEZ, S. Spatial analysis of high-resolution radar rainfall and citizen-reported flash flood data in ultra-urban New York City. **Water (Switzerland)**, v. 9, n. 10, p. 1–17, 2017.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - Base 2019, Ministério das Cidades, 2020. Disponível em <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2019>. Acesso em 25.8.2021.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - Base 2017, Ministério das Cidades, 2019. Disponível em <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017>. Acesso em 03.09.2019.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - Base 2015, Ministério das Cidades, 2016. Disponível em <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017>. Acesso em 14.10.2018.

SOBRAL, M. C. OLIVEIRA DE ASSIS, J., RICARDO DE OLIVEIRA, C., NOGUEIRA DA SILVA, G., MORAIS, M., CAMINHA-CARVALHO, R. Impacto das Mudanças Climáticas nos Recursos Hídricos no submédio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – Brasil. **Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 12, n. 3, p. 95–106, 2018.

SOKOLOW, S.; GODWIN, H.; COLE, B. L. Perspectives on the future of recycled water in California: results from interviews with water management professionals. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 62, n. 11, p. 1908–1928, 2019.

SOUZA, C.; CRUZ, M.; TUCCI, C. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 2, p. 9–18, 2012.

SOUZA, T. J., Potencial de aproveitamento de água de chuva no meio urbano: Caso de Campina Grande-PB, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, 2015.

TAYLOR, P. J. Is There a Europe of Cities? World Cities and the Limitations of Geographical Scale Analyses. **Scale and Geographic Inquiry: Nature, Society, and Method**, p. 213–235, 2008.

TODINI, E. Looped water distribution networks design using a resilience index based heuristic approach. **Urban Water**, v. 2, n. 2, p. 115–122, 2000.

- TYLER, S.; MOENCH, M. A framework for urban climate resilience. v. 5529, 2012.
- VEGAS NIÑO, O. T.; MARTÍNEZ ALZAMORA, F.; TZATCHKOV, V. G. A decision support tool for water supply system decentralization via distribution network sectorization. **Processes**, v. 9, n. 4, p. 1–15, 2021.
- VELDKAMP, T. I. E., WADA, Y., AERTS, J. C. J. H., DÖLL, P., GOSLING, S. N., LIU, J., ... & WARD, P. J. Water scarcity hotspots travel downstream due to human interventions in the 20th and 21st century. **Nature communications**, 8(1), 1-12, 2017.
- WANG, M. *et al.* Conventional and holistic urban stormwater management in coastal cities: a case study of the practice in Hong Kong and Singapore. **International Journal of Water Resources Development**, v. 34, n. 2, p. 192–212, 2018.
- WATER FOR GOOD. A plan to ensure our water future to 2050. Summary plan. Government South Australia. 2010. Disponível em: D:/Documents/Downloads/water-for-good-summary-plan.pdf
- WEF. The World Economic Forum. Insight Report. Edição 15. 2020. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf. Acessado em Dezembro de 2020.
- WHITNEY, C. K. *et al.* Adaptive capacity: From assessment to action in coastal social-ecological systems. **Ecology and Society**, v. 22, n. 2, 2017.
- WOLFRAM, M.; BORGSTRÖM, S.; FARRELLY, M. Urban transformative capacity: From concept to practice. **Ambio**, v. 48, n. 5, p. 437–448, 2019.
- WONG, T. H. F.; BROWN, R. R. The water sensitive city: Principles for practice. **Water Science and Technology**, v. 60, n. 3, p. 673–682, 2009.
- YANG, J. *et al.* Membrane-based processes used in municipal wastewater treatment for water reuse: State-of-the-art and performance analysis. **Membranes**, v. 10, n. 6, p. 1–56, 2020.
- ZHANG, C.; HE, M.; ZHANG, Y. Urban Sustainable Development Based on the Framework of Sponge City: 71 Case Studies in China. p. 1–21, 2019.
- ZHOU, L. *et al.* Novel perspective for urban water resource management: 5R generation. **Frontiers of Environmental Science and Engineering**, v. 15, n. 1, p. 1–13, 2021.
- ZIEMBA, C. *et al.* Comparing the anti-bacterial performance of chlorination and electrolysis post-treatments in a hand washing water recycling system. **Water Research X**, v. 2, 2019.
- ZISCHG, J.; RAUCH, W.; SITZENFREI, R. Morphogenesis of Urban Water Distribution Networks: A Spatiotemporal Planning Approach for Cost-Efficient and Reliable Supply. **Entropy**, v. 20, n. 9, p. 708, 2018.
- ZODROW, K. R. LI, Q., BUONO, R. M., CHEN, W., DAIGGER, G., DUEÑAS-OSORIO, L., ALVAREZ, P. J. Advanced Materials, Technologies, and Complex Systems Analyses: Emerging Opportunities to Enhance Urban Water Security. **Environmental Science and Technology**, v. 51, n. 18, p. 10274–10281, 2017.

APÊNDICE A

O perfil do apoiador do reuso de água em Campina Grande-PB

Gostaríamos de convidá-lo para participar de uma pesquisa conduzida por pesquisadores da Universidade Federal de Campina Grande.

Esta pesquisa integra parte de uma tese de doutorado intitulada 'Gestão Multiescala para Sistemas Sustentáveis de Abastecimento de Água' e tem como objetivo compreender a disposição de indivíduos em apoiar práticas de reuso de água.

O reuso de água é considerado uma fonte alternativa viável de água, e seu uso é de grande importância para lidar com a escassez de recursos hídricos. Portanto: Usaremos o termo "reuso de água" para descrever "águas residuais tratadas consideradas por cientistas como segura para consumo humano".

*Obrigatório

*Obrigatório

1. Você aceita participar desta pesquisa? *

Marcar apenas uma oval.

- Aceito
 Não aceito

2. Informações preliminares (Sexo): *

Marcar apenas uma oval.

- Feminino
 Masculino

3. Informações preliminares (Bairro da cidade de Campina Grade que reside) *

4. Informações preliminares (Educação) *

Marcar apenas uma oval.

- Não alfabetizado
- Até o fundamental
- Até o ensino médio
- Superior incompleto
- Superior
- Pós graduação incompleto
- Pós graduação

5. Informações preliminares (Idade): *

Marcar apenas uma oval.

- 18 a 30
- 31-40
- 41-50
- 51-60
- Acima de 60

6. Informações preliminares (Renda):

Marcar apenas uma oval.

- Até 1 salário
- 1 a 2 salários
- 2 a 4 salários
- 4 a 6 salários
- 6 a 8 salários
- Acima de 8 salários

7. Por gentileza, descreva três palavras que vem espontaneamente à sua mente quando você pensa sobre 'reuso de água'. *

8. Como você avalia a associação que você fez da primeira palavra mencionada na resposta à questão 2 com o reuso de água? *

Marcar apenas uma oval.

- Muito positiva
- Positiva
- Neutra
- Negativa
- Muito Negativa

9. Como você avalia a associação que você fez da segunda palavra mencionada na resposta à questão 2 com o reuso de água? *

Marcar apenas uma oval.

- Muito positiva
- Positiva
- Neutra
- Negativa
- Muito negativa

10. Como você avalia a associação que você fez da terceira palavra mencionada na resposta à questão 2 com o reuso de água? *

Marcar apenas uma oval.

- Muito positiva
- Positiva
- Neutro
- Negativa
- Muito negativa

11. Na escala abaixo, o quanto você está disposto a realizar a prática do reuso de água para irrigar plantas na sua residência? *

Marcar apenas uma oval.

- Muito baixa disposição
- Baixa disposição
- Média disposição
- Alta disposição
- Muito alta disposição

12. Na escala abaixo, o quanto você está disposto a realizar a prática do reuso de água para limpeza (descarga) de vasos sanitários na sua residência? *

Marcar apenas uma oval.

- Muito baixa disposição
- Baixa disposição
- Média disposição
- Alta disposição
- Muito alta disposição

13. Na escala abaixo, o quanto você está disposto a realizar a prática do reuso de água para lavar as mãos na sua residência? *

Marcar apenas uma oval.

- Muito baixa disposição
- Baixa disposição
- Média disposição
- Alta disposição
- Muito alta disposição

14. Na escala abaixo, o quanto você está disposto a realizar a prática do reuso de água para cozinhar refeições? *

Marcar apenas uma oval.

- Muito baixa disposição
- Baixa disposição
- Média disposição
- Alta disposição
- Muito alta disposição

15. Você já vivenciou escassez de água na sua residência? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não

16. No período em que você vivenciou escassez de água, você considerou realizar reuso de água? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não

17. Que tipo de reuso de água você realizou quando vivenciou escassez de água? *

Marcar apenas uma oval.

- Reuso contingente (por exemplo, água do banho para limpeza de vaso sanitário de forma manual)
- Reuso com tecnologia para tratamento (por exemplo, sistema de reuso com tratamento de água no local)
- Nenhum tipo

18. Caso houvesse algum tipo de incentivo financeiro (por exemplo, desconto no IPTU ou na tarifa de água) você estaria mais disposto a realizar reuso de água? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não

19. Na hipótese de decidir entre reuso de água e captação de água de chuva na sua residência, qual seria sua escolha? *

Marcar apenas uma oval.

- Reuso de água
- Captação de água de chuva

20. Você confia que o desenvolvimento da ciência poderá produzir tecnologia para tornar o reuso de água possível para todos os seus usos da água: por exemplo, lavar mãos, tomar banho, cozinhar alimentos, entre outros? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não

