



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL

MARIA EDUARDA BARBOSA DA VEIGA

**ROBUSTEZ SOCIOECOLÓGICA DA DRENAGEM EM UMA BACIA DE
CONFIGURAÇÕES URBANAS HETEROGÊNEAS**

Campina Grande

Fevereiro, 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

MARIA EDUARDA BARBOSA DA VEIGA

**ROBUSTEZ SOCIOECOLÓGICA DA DRENAGEM EM UMA BACIA DE
CONFIGURAÇÕES URBANAS HETEROGÊNEAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental

Orientador: Carlos de Oliveira Galvão

Coorientadora: Márcia Maria Rios Ribeiro

Campina Grande

Fevereiro, 2022

V426r Veiga, Maria Eduarda Barbosa da.
Robustez socioecológica da drenagem em uma bacia de
configurações urbanas heterogêneas / Maria Eduarda Barbosa da Veiga.
– Campina Grande, 2022.
108 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) –
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e
Recursos Naturais, 2022.
“Orientação: Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão, Profa. Dra. Márcia
Maria Rios Ribeiro”.

Referências.

1. Drenagem – Robustez Socioecológica. 2. Drenagem Sustentável.
3. Sistema Socioecológico – Princípios Institucionais e Robustez.
4. Resiliência Urbana. 5. Planejamento Urbano – Segurança Hídrica e
Social. I. Galvão, Carlos de Oliveira. II. Ribeiro, Márcia Maria Rios.
III. Título.

CDU 624-1:626.86(043)

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECÁRIA SEVERINA SUELI DA SILVA OLIVEIRA CRB-15/225

MARIA EDUARDA BARBOSA DA VEIGA

**ROBUSTEZ SOCIOECOLÓGICA DA DRENAGEM EM UMA BACIA DE CONFIGURAÇÕES URBANAS
HETEROGÊNEAS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para a obtenção do título de mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Aprovada em 22/02/2022

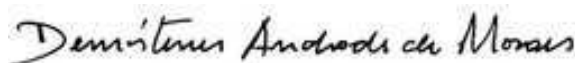
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Carlos de Oliveira Galvão
Orientador – Universidade Federal de Campina Grande



Profa. Márcia Maria Rios Ribeiro
Coorientadora – Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Demostenes Andrade de Moraes
Examinador – Universidade Federal de Campina Grande



Profa. Melissa Cristina Pereira Graciosa
Examinadora – Universidade Federal do ABC



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

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

1. **ATA DA DEFESA PARA CONCESSÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

2. **ALUNO(A): MARIA EDUARDA BARBOSA DA VEIGA / COMISSÃO EXAMINADORA: DR. CARLOS DE OLIVEIRA GALVÃO - PPGECA/UFCG (PRESIDENTE) - ORIENTADOR, DR.^a MÁRCIA MARIA RIOS RIBEIRO - PPGECA/UFCG - COORIENTADORA, DR. DEMÓSTENES ANDRADE DE MORAES - UAEC/UFCG - EXAMINADOR EXTERNO, DR.^a MELISSA CRISTINA PEREIRA GRACIOSA - UFABC - EXAMINADORA EXTERNA (PORTARIA 07/2022). / TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: “ROBUSTEZ SOCIOECOLÓGICA DA DRENAGEM EM UMA BACIA DE CONFIGURAÇÕES URBANAS HETEROGÊNEAS” / ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL / HORA DE INÍCIO: 09:00 HORAS / FORMA DA SESSÃO: POR VÍDEO CONFERÊNCIA.**

3. **EM SESSÃO REALIZADA POR VÍDEO CONFERÊNCIA, APÓS EXPOSIÇÃO DE CERCA DE 40 MINUTOS, O(A) CANDIDATO(A) FOI ARGUIDO(A) ORALMENTE PELOS MEMBROS DA COMISSÃO EXAMINADORA, TENDO DEMONSTRADO SUFICIÊNCIA DE CONHECIMENTO E CAPACIDADE DE SISTEMATIZAÇÃO NO TEMA DE SUA DISSERTAÇÃO, SENDO-LHE ATRIBUÍDA 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 DISSERTAÇÃO, 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, ALUNA E OS MEMBROS DA COMISSÃO EXAMINADORA PRESENTES.**

4. **CAMPINA GRANDE, 22 DE FEVEREIRO DE 2022**

5.

6.

7. **DEMÓSTENES ANDRADE DE MORAES - UAEC/UFCG - EXAMINADOR EXTERNO**

8.

9.

10. **MELISSA CRISTINA PEREIRA GRACIOSA - UFABC - EXAMINADORA EXTERNA**



Documento assinado eletronicamente por **CARLOS DE OLIVEIRA GALVAO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/02/2022, às 11:48, 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 **MARCIA MARIA RIOS RIBEIRO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/02/2022, às 12:05, 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 **WELLINGTON LAURENTINO DOS SANTOS, SECRETÁRIO (A)**, em 22/02/2022, às 12:15, 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 Eduarda Barbosa Da Veiga, Usuário Externo**, em 22/02/2022, às 12:29, 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 **DEMOSTENES ANDRADE DE MORAES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/02/2022, às 14:27, 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 **2125120** e o código CRC **EA770607**.

DEDICATÓRIA

À minha mãe e meu irmão, pelo apoio contínuo
e amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pelo apoio financeiro concedido. Aos docentes e técnicos administrativos do PPGECA – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental.

A todos os professores da pós-graduação em recursos hídricos e saneamento ambiental da UFCG, através dos meus orientadores Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão e Profa. Dra. Márcia Maria Rios Ribeiro. Que me motivaram com confiança e generosidade para compartilhar o irresistível caminho da docência, obrigado. Aos demais professores que tive contato a partir do projeto “A dimensão ambiental na urbanização de favelas”, que contribuíram muito com o trabalho a partir de seus ensinamentos e relatos. Obrigado à engenheira Luma Gabriela, pelas contribuições e colaborações nos trabalhos desenvolvidos e nas simulações hidrológicas desta dissertação.

É necessário ainda, um especial agradecimento aos meus orientadores, Carlos e Márcia. Com muita paciência e respeito às minhas ideias, conseguiram acreditar em meu potencial, quando nem eu mesma acreditava, e arrancar da minha mente ansiosa e dispersa alguns pensamentos interessantes. Pude entrar em contato com a prática da pesquisa e da extensão universitária e aprendi a admirá-la ainda mais como cidadã, engenheira e docente de uma universidade pública.

A minha professora da vida, Profa. Iolanda Barbosa, minha mãe, que me ajudou em todas as dificuldades da vida acadêmica, inclusive os com os reveses da pesquisa científica. Sem você eu não estaria aqui hoje e nem teria o anseio pelo estudo e trabalho. E ao meu irmão, Mateus, que alegra meus dias e me motiva para continuar.

Por último, mas principalmente, a Deus e Nossa Senhora, que nunca deixaram de proteger a mim e a minha casa.

RESUMO

O desenvolvimento das cidades afetou diretamente os recursos hídricos, influenciando no ciclo hidrológico urbano e proporcionando a ocorrência de eventos extremos. Sabendo que tendenciosamente esse crescimento urbano é contínuo, assim como suas consequências, necessita-se de uma gestão adequada que consiga mitigar esses eventos adversos, garantindo o direito social à vida na cidade com segurança hídrica e segurança social. Desta forma, reforça-se que as crises de água de chuva são sobretudo crises de governança e assim devem ser tratadas com prioridade. Nesse sentido, destaca-se uma nova abordagem de concepção dos projetos, denominada de drenagem sustentável (SUDS), que incorpora a infraestrutura verde ao planejamento. Esta abordagem vem sendo estudada e avaliada de acordo com sua eficácia em reduzir riscos e aumentar a resiliência urbana aos eventos de inundações, muito embora os aspectos de governança envolvidos em sua implementação tenham recebido menos atenção. Assim, propõe-se a interpretação da drenagem como um sistema socioecológico, posteriormente avaliado seguindo os princípios institucionais e sua robustez. Robustez socioecológica é a manutenção do desempenho do sistema face a perturbações, ou seja, a manutenção dos sistemas sociais e ambientais. Foi possível, então, realizar a interpretação da dinâmica do sistema e previsão dos caminhos potenciais à sustentabilidade, através da avaliação qualitativa a partir dos princípios institucionais e modelagens hidrológicas. Analisou-se o caso de uma bacia heterogênea marcada pela presença de assentamento denso e precário, sujeito a enchentes repentinas, a Bacia da Ramadinha, localizada em Campina Grande, Paraíba, Brasil. Conclui-se que o sistema em sua condição atual, além de apresentar falhas técnicas, também apresenta falhas de governança devido ao desacordo, ao nível de implementação e resultados em campo, com os princípios institucionais, como também a baixa robustez, derivada da análise qualitativa com os princípios. A implementação de técnicas SUDS poderia garantir que o sistema ganhasse uma maior robustez, sobretudo com técnicas baseadas na infiltração, a partir de mudanças nas percepções, aumento da confiança e incentivo ao monitoramento. Reforça-se o potencial de mudança que a aplicação de uma técnica mais verde pode produzir dentro de um sistema de águas pluviais e seu impacto positivo em assentamentos precários.

Palavras-chave: Sistema Socioecológico, Princípios Institucionais, Robustez Socioecológica.

ABSTRACT

City development has directly affected the water resources, influencing the urban hydrological cycle and resulting in the occurrence of extreme events. Considering that this urban growth is continuous, as well as its consequences, it is necessary to have an adequate management that can overcome these adverse events, guaranteeing the social right to life in the city with water security (social security). In this way, it is reinforced that rainwater crises are primarily governance crises and therefore should be treated as a priority. In this sense, a new approach to design projects, called sustainable drainage (SUDS), which incorporates green infrastructure into planning, is highlighted. This approach has been studied and evaluated for its effectiveness in risk reduction and increasing urban resilience to flood events, although the governance aspects involved in its implementation have received less attention. Thus, it is proposed to interpret the drainage as a social-ecological system, which will be subsequently measured following the design principles and evaluated according to its robustness. Social-ecological robustness is the maintenance of the system's performance in the face of disturbances, that is, the maintenance of social and environmental systems, which performs the interpretation of the system's dynamics and prediction of potential paths to sustainability. Qualitative evaluation is obtained from the design principles and hydrological modelling. The method was applied to analyze a case of a heterogeneous basin marked by the presence of dense and precarious settlement, subject to flash floods, the Ramadinha Basin, located in Campina Grande, State of Paraíba, Brazil. It is concluded that the system in its current state presents technical failures and governance problems due to the disagreement, at the level of implementation and results in the field, with the design principles, as well as weak robustness derived from the qualitative analysis with the principles. Furthermore, the implementation of SUDS techniques could ensure that the system becomes more robust, especially with infiltration-based techniques, through changes in perceptions, increased confidence, and encouragement of monitoring. The application of a greener technique can produce benefits to a stormwater system and positive impacts on precarious settlements.

Keywords: Socioecological System, Design Principles, Socioecological Robustness.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Introdução ao tema	1
1.2.	Justificativa.....	3
1.3.	Objetivos	5
1.3.1.	Objetivo geral.....	5
1.3.2.	Objetivos específicos	5
1.4.	Estrutura da dissertação.....	5
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1.	Urbanização e inundações.....	6
2.2.	Gestão da drenagem	8
2.3.	Sistemas de drenagem urbana sustentável (SUDS).....	12
2.4.	Vulnerabilidade e riscos	15
2.5.	Legislação e instituições.....	17
2.5.1.	Arcabouço legal sobre a drenagem urbana	17
2.5.2.	Estrutura institucional	19
2.6.	Sistemas socioecológicos	21
2.7.	Princípios institucionais	22
2.8.	Robustez nos sistemas socioecológicos	25
2.9.	Metabolismo urbano.....	30
2.10.	Governança adaptativa	33
2.11.	Síntese	34
3.	ÁREA DE ESTUDO	35
3.1.	Assentamentos precários	42
3.2.	Histórico legal e institucional local.....	44
4.	MÉTODOS.....	49
4.1.	Estrutura metodológica	49

4.2.	Análise multinível do sistema e institucional.....	50
4.3.	Análise da robustez	51
4.4.	Simulação hidrológica.....	52
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5.1.	Drenagem urbana como SSE.....	56
5.2.	Análise dos Princípios Institucionais de Ostrom.....	58
5.2.1.	Limites claramente definidos	60
5.2.2.	Congruência entre as regras e as condições locais.....	61
5.2.3.	Acordos de escolha coletiva.....	62
5.2.4.	Monitoramento	62
5.2.5.	Sanções graduadas	63
5.2.6.	Mecanismo de resolução de conflitos	63
5.2.7.	Reconhecimento das regras da comunidade	63
5.2.8.	Empreendimentos aninhados	64
5.3.	Robustez do sistema	65
5.4.	Governança com SUDS	69
5.4.1.	Escolha das técnicas	69
5.4.2.	Alocação das técnicas	69
5.4.3.	Análise de robustez	72
5.5.	Sintetização dos resultados.....	79
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

LISTA FIGURAS

Figura 1 - Tendência da ocupação e impacto	7
Figura 2- A relação entre cada nível de objetivos na estrutura de avaliação abrangente	11
Figura 3 - Relações entre os sistemas das águas urbanas	20
Figura 4 - Concepção estratégica da gestão integrada das águas urbanas.....	20
Figura 5- Framework dos sistemas socioecológicos	22
Figura 6- <i>Framework</i> de Robustez do Sistema Socioecológico.....	27
Figura 7 - Modelos de governança de um recurso de uso comum	28
Figura 8- Serviços ecossistêmicos das águas pluviais.....	31
Figura 9 - Conexão entre a quantificação dos serviços ecossistêmicos de infraestrutura verde de águas pluviais e as decisões de gestão.....	32
Figura 10 - Diagrama do Metabolismo Urbano	33
Figura 11 - Bacias de drenagem pluvial de Campina Grande - PB.....	36
Figura 12 - Áreas de risco de inundações na cidade de Campina Grande-PB	37
Figura 13 - Localização da área de estudo: Bacia da Ramadinha	38
Figura 14- Intervenções do PAC em Campina Grande	39
Figura 15 - Redução dos pontos de alagamento ao longo da bacia.....	40
Figura 16 - Configurações Urbanas da Bacia da Ramadinha.....	41
Figura 17 - Registros dos eventos de alagamento ao longo da bacia	42
Figura 18 - Delimitação das ZEIS em Campina Grande-PB.....	44
Figura 19 - Cronologia legal da drenagem urbana para cidade de Campina Grande-PB.....	44
Figura 20 - Linha do tempo de marcos municipais, federais e gestões	46
Figura 21- Estrutura metodológica geral da pesquisa	49
Figura 22- Esquema metodológico da aplicação de SUDS.....	50
Figura 23 - Esquema representativo do funcionamento das LIDs no SWMM	54
Figura 24 - Evento de chuva simulado	54
Figura 25 - Topologia da bacia da Ramadinha representada no SWMM	55
Figura 26 - Variáveis do sistema socioecológico em um sistema de águas pluviais urbanas ..	56
Figura 27 - Escalas de aplicação dos princípios institucionais.....	59
Figura 28 - Escalas de aplicação dos princípios institucionais modificados.....	60
Figura 29- Robustez do SSE da bacia da Ramadinha	65
Figura 30 - Sintetização da robustez do SSE da bacia da Ramadinha	66
Figura 31 - Alagamentos no cenário atual.....	68

Figura 32 - Alocação das técnicas SUDS	71
Figura 33 - Alagamentos no cenário com SUDS em locais públicos e privados	74
Figura 34- Robustez do SSE no cenário com inserção de SUDS generalizado	74
Figura 35 - Robustez do SSE para cada cenário de aplicação do SUDS.....	77
Figura 36 - Pontos de alagamento para cada cenário SUDS	77
Figura 37- Metabolismo Urbano para cada cenário	78
Figura 38 - Principais resultados para cada metodologia aplicada.....	79

LISTA DE QUADROS E TABELA

Quadro 1 - Definição dos tipos de desastres hidrológicos.....	7
Quadro 2 - Diferentes técnicas utilizadas pelos SUDS	13
Quadro 3 - Técnicas SUDS integráveis a diferentes componentes da paisagem urbana	14
Quadro 4 - Espaço de gestão das águas urbanas	19
Quadro 5 - Lista de princípios institucionais propostos e modificados.....	25
Quadro 6 - Caracterização das configurações urbanas	41
Quadro 7 - Cronologia da legislação sobre Drenagem Urbana no Brasil, Paraíba e Campina Grande	45
Quadro 8 - Caracterização do sistema socioecológico	57
Quadro 9 - Principais fatores desafiando a governança de drenagem na Bacia da Ramadinha	64
Quadro 10 - Critérios de adequabilidade de dispositivos SUDS em bacias urbanas	70
Quadro 11 - Variáveis de segundo nível do SSE	73
Tabela 1 - Escala Likert para pontuação de cada princípio.....	51

1. INTRODUÇÃO

1.1. Introdução ao tema

As cidades estão em constante desenvolvimento e sua expansão é realizada por intervenções antrópicas, que eliminam as características da paisagem natural, conduzindo ao uso e aproveitamento extensivo de materiais, à exploração dos recursos hídricos e à ocupação de solos férteis para outros fins (PARIZZI, 2014). Mundialmente o processo difere em sua ocorrência, porém possui um fator determinante que foi a revolução industrial. A revolução industrial, em conjunto com a revolução agrícola e dos transportes, criou as condições objetivas para que a urbanização passasse da escala local e ganhasse projeção global com um crescimento populacional generalizado, em ritmo acelerado e contraditório (UGEDA JR, 2014). No território brasileiro, o principal fator responsável por esse processo teve associação direta com o fenômeno do êxodo rural.

No que se supõe como a idealidade do processo da formação do espaço urbano, a urbanização deve acompanhar o crescimento populacional e assegurar que as influências sobre o meio ambiente não sejam prejudiciais aos habitantes. A realidade, entretanto, distingue-se do ideal, uma vez que, segundo Santos et al. (2017), seu ritmo acelerado acarreta uma gama de impactos ambientais, sociais, econômicos e culturais que influenciam diretamente no cotidiano da população. Ocorre em áreas ocupadas de forma desordenada e sem planejamento, com a formação de ambientes marcados por configurações heterogêneas, ambientalmente frágeis e de impermeabilização crescente do solo.

Nesse sentido, retrata-se a retirada da vegetação nativa — para o asfaltamento, calçamento e edificação — como uma das pressões ambientais promovidas pela urbanização, que resulta na impermeabilização do solo e alteração no ciclo hidrológico. Essas alterações das funções hidrológicas promovem o aumento do pico, da taxa de fluxo e das frequências de inundações, uma vez que o montante que percolava lentamente pela superfície do solo, agora escoava pelas bacias retificadas, exigindo maior capacidade de escoamento das seções (TUCCI, 2008).

Desta forma, destacam-se como as enchentes urbanas promovem impactos socioecológicos e econômicos adversos, podendo causar interrupções nos serviços ecossistêmicos da cidade e danos à infraestrutura urbana (WU et al., 2017; YIN et al., 2016). Os seus impactos vêm sendo investigados nas últimas décadas (AERTS et al., 2014; BLÖSCHL

et al., 2013; DANKERS et al., 2014; DI BALDASSARRE et al., 2010), sendo reconhecidos como uma das questões científicas que devem ser tratadas com prioridade (SARAUSKIENE et al., 2015; DENG; XU, 2018; BAI et al., 2019). Neste caso, se reforça a necessidade de sistemas de drenagem bem planejados, em que a água registrada seja drenada no sistema em tempo hábil (CUI; LONG; WANG, 2019), e assim tratados com uma gestão eficiente.

Para assegurar a eficiência desse sistema são necessários planejamento e gestão urbana, a partir dos quais é possível delimitar e direcionar a ocupação do solo com base em parâmetros urbanísticos e adicioná-los ao zoneamento urbano, integrando os dados urbanos ao ambiente natural para melhor compreender a cidade (SANTOS et al., 2017). Nesse contexto, para assegurar o tratamento apropriado desses desafios, se requer uma mudança de paradigma na gestão de água, em escala global, a partir de abordagens que distam do pensamento tecnocrático. As estruturas analíticas atuais não conseguem descrever a dinâmica emergente da relação entre os sistemas sociais e físicos (DI BALDASSARRE et al., 2015).

Nesse sentido, destacam-se as abordagens dos sistemas socioecológicos – SSE (em inglês, *Social Ecological Systems*), sistemas de drenagem urbana sustentável (em inglês, *Sustainable Urban Drainage Systems - SUDS*), gerenciamento de recursos hídricos integrados, gestão sustentável urbana, onexo água-energia-alimentos, as soluções baseadas na natureza, a sócio-hidrologia e cidades sensíveis à água (OSTROM, 1990; OSTROM, 2009; MITCHELL, 2005; PAHL-WOSTL et al., 2007; LARSEN; GUJER, 1997; DI BALDASSARRE et al., 2013; BENSON et al., 2015; COHEN-SHACHAM et al., 2016; BROWN et al., 2009).

Os responsáveis pelo planejamento urbano e ambiental enfrentam desafios ao integrar os dados urbanos e o ambiente natural para entender a cidade e planejar seu futuro (POLIDORI, 2005), sobretudo em localidades com excessivo adensamento demográfico e ausência de ordenamento urbanístico, como as comunidades periféricas. Todavia, a tendência de investigação sobre a gestão de riscos tem sido direcionada à sua mitigação a partir de medidas estruturais. Desta forma, reduz-se a atenção aos aspectos de governança envolvidos no sistema das águas pluviais urbanas, desafio ainda superior nas bacias brasileiras, marcadas pela heterogeneidade em suas formações.

Nesse sentido, a governança atual é centralizada e estruturada para os sistemas convencionais, divergindo da tendência da gestão distribuída multinível, envolvendo múltiplos interessados, incluindo proprietários, agências governamentais e organizações não-governamentais (DHAKAL; CHEVALIER, 2016). Isto representa uma dificuldade na

aplicação das novas tecnologias e de uma nova governança, que resulta no ritmo lento da implementação dos SUDS, uma vez que se requer uma mudança de paradigma na governança. Assim, esta implementação é influenciada principalmente por fatores de governança, mais do que por aspectos técnicos (BROWN; FARRELLY, 2009; MANKAD et al., 2015).

Na literatura, a implementação de infraestrutura verde vem sendo estudada e avaliada para a redução do risco e aumento da resiliência a eventos de inundação, áreas inundadas e custos de danos (NASCIMENTO et al., 2019; SILVA et al., 2019; ZANANDREA; SILVEIRA, 2019; FADEL et al., 2018; FERREIRA et al., 2017; SILVA et al., 2017). Apesar disso, também se tem dispensado menos atenção aos aspectos de governança envolvidos na implementação dessa tecnologia, embora esta requeira a participação da comunidade em seu projeto, execução, monitoramento e manutenção.

Assim, neste trabalho propõe-se uma avaliação da governança do sistema de águas pluviais urbanas e da eficácia de um cenário de aplicação da infraestrutura verde através da abordagem de robustez, no qual o ambiente urbano, mais especificamente o sistema de drenagem, é referido como um sistema socioecológico, seguindo a análise proveniente da interação entre as ciências sociais e biofísicas. O arcabouço de robustez é utilizado para compreender os sistemas complexos e prever os caminhos potenciais que levam a resultados adaptativos. A aplicação da metodologia é realizada em uma bacia parcialmente ocupada por assentamentos precários e ocupação heterogênea, a Bacia da Ramadinha, em Campina Grande, Paraíba, Brasil.

Destaca-se que esta pesquisa se inseriu no projeto nacional “A dimensão ambiental e as infraestruturas na urbanização de favelas: concepções de projeto, formas de produção das redes e especificidades dos assentamentos precários”, do INCT Observatório das Metrôpoles, e também na linha Segurança Hídrica do INCT Mudanças Climáticas.

1.2. Justificativa

A reflexão acerca dos desastres decorrentes dos recursos hídricos é de urgente e extrema importância. A Estratégia Internacional para a Redução de Desastres da Organização das Nações Unidas (EIRD/ONU) definiu desastre como “séria interrupção do funcionamento de uma comunidade ou sociedade, que causa perdas humanas e/ou importantes impactos ou perdas materiais, econômicas ou ambientais que excedem a capacidade da comunidade ou sociedade afetada de lidar com a situação utilizando seus próprios recursos” (UNISDR, 2009). Desta

maneira, eventos pontuais são denominados desastres naturais à medida em que ao serem deflagrados atingem locais habitados (LONDE et al., 2014; CIRELLA; IYALOMHE, 2018).

O processo de urbanização é uma das principais variáveis no delineamento do ambiente construído e dos fenômenos adversos associados, que variam desde a pobreza extrema, degradação ambiental e mudanças climáticas (UN-HABITAT, 2020); assim, a urbanização está ligada à sucessão dos desastres naturais. Porém, desde “Por uma outra globalização” (2003), o geógrafo Milton Santos destacava que a urbanização também poderia ser utilizada como oportunidade e ferramenta para alterar esse cenário, desde que seja planejada e bem administrada, para que não haja o agravamento dos problemas existentes (UN-HABITAT, 2016). Mesmo que o debate promovido pelo autor não esteja centrado na questão dos desastres, sua indagação permanece pertinente.

Nas cidades, a água representa tanto uma oportunidade para desempenhar funções econômicas e sociais, como uma ameaça quando as consequências de eventos desastrosos atingem as economias e os ecossistemas locais (ROMANO; AKHMOUCH, 2019). Estes eventos são gerados pelo excesso de água ou por sua escassez; afinal, segundo Ogura (2013), os desastres são causados pelos extremos. Ambas as situações causam impactos ao ambiente e à saúde pública e, para tanto, devem ser tratadas com uma gestão adequada, que contenha as ações e medidas que contemplem atividades para prevenção, mitigação e recuperação das áreas após a ocorrência dos desastres, para assim garantir a minimização dos riscos e de perdas humanas e materiais, sobretudo em ambientes vulneráveis e com pouca resiliência (LONDE et al., 2014).

De modo predominante, a gestão pública tem se equivocado ao desassociar a relação entre o planejamento urbano e regional com a gestão dos recursos hídricos e do saneamento, de forma que estes vêm sendo realizados separadamente e orientados por diferentes arranjos institucionais. Segundo Serrao-Neumann et al. (2017), a integração entre as políticas de águas e o planejamento de uso do solo é fundamental para assegurar o funcionamento dos sistemas urbanos. Além disto, no campo da gestão os atuais desafios interligados são inerentemente imprevisíveis e difíceis de controlar, uma vez que não há como realizar previsões futuras sobre a dinâmica dos sistemas hídricos sem compreender como as questões econômicas, a degradação ambiental e as problemáticas sociais são impostas, e como as percepções sociais sobre essas questões afetam as decisões de gestão (BLAIR; BUYTAERT, 2016; SRINIVASAN et al., 2017). Esse entendimento permanecerá incompleto até que sejam investigados os

indicadores culturais que incidem sobre as interpretações dos indivíduos, ou seja, valores, crenças e normas relacionadas aos usos da água (SIVAPALAN; BLÖSCHL, 2015).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

Analisar a governança da drenagem em uma bacia de ocupação heterogênea e com presença de assentamentos precários.

1.3.2. Objetivos específicos

- ❖ Elaborar o sistema socioecológico do sistema de drenagem urbana e avaliá-lo segundo os princípios institucionais;
- ❖ Investigar a robustez socioecológica do sistema, qualificando-a com base nos princípios institucionais e em simulações hidrológicas;
- ❖ Avaliar o sistema com a incorporação de Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS).

1.4. Estrutura da dissertação

Esta dissertação subdivide-se em seis capítulos. O Capítulo 2 contém um referencial teórico sobre a influência da urbanização nas inundações, drenagem urbana e sua gestão, sistemas de drenagem urbana sustentável, os diplomas legais e institucionais associados e conceitos básicos de vulnerabilidade e riscos. Além disso, é apresentada a conceituação dos métodos empregados nesta pesquisa: os sistemas socioecológicos, os princípios institucionais e a robustez nos sistemas socioecológicos. Ao fim, é introduzida a descrição sobre metabolismo urbano e governança adaptativa pertinentes às discussões posteriores. O Capítulo 3 possui breve histórico sobre a drenagem urbana e os assentamentos precários na cidade de Campina Grande, com descrição também da bacia da Ramadinha. No Capítulo 4 são descritas as etapas metodológicas da pesquisa, destacando-se a aplicação conjunta de diferentes métodos para realizar a avaliação da governança da drenagem da bacia, além do cenário de aplicação de técnicas SUDS. Por fim, nos Capítulos 5 e 6 são apresentados os resultados da pesquisa, discussões e considerações finais da autora.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Urbanização e inundações

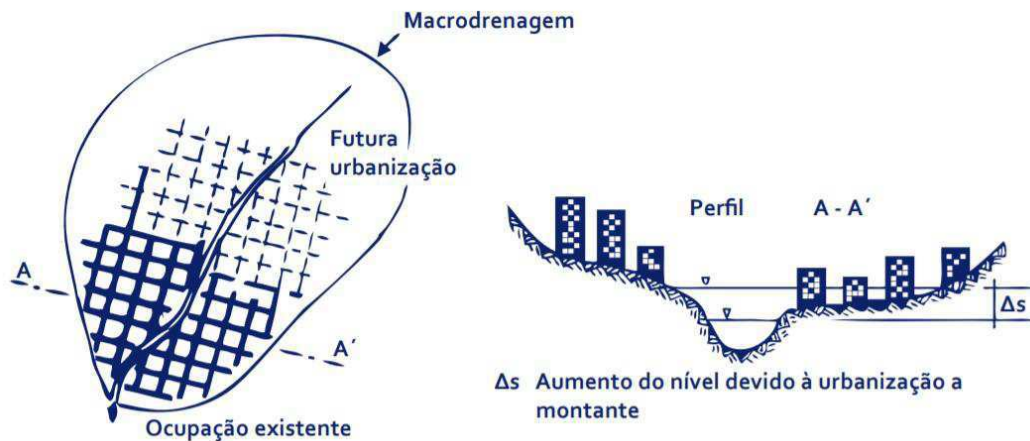
O intenso processo de urbanização, principalmente em cidades de países em desenvolvimento, como o Brasil, provoca uma expansão e um adensamento da ocupação do solo, inclusive em áreas ambientalmente frágeis, gerando impermeabilização crescente das áreas urbanas. Segundo Righetto et al. (2017), esta impermeabilização é especificada através da combinação entre o uso desordenado e a incapacidade de suporte do meio, sucedendo nos eventos de inundação. O montante que percolava lentamente pela superfície do solo, agora escoava pelas bacias retificadas exigindo maior capacidade de condução do sistema (TUCCI, 2008).

Nesse sentido, se destaca que, apesar das inundações serem influenciadas por diversos fatores, a urbanização se destaca como fator principal em estudos recentes (DENG; XU, 2018; NIGUSSIE; ALTUNKAYNAK, 2019; BAHRAWI et al., 2020; HANDAYANI et al., 2020). Segundo Bahrawi et al. (2020), a urbanização consiste na conversão do espaço em seu caráter primitivo para áreas urbanas, sobretudo em função da premissa de que o crescimento populacional demanda a necessidade do uso de mais terras. Segundo Deng e Xu (2018), a urbanização é um contribuinte significativo nas mudanças do sistema e estrutura da bacia, implicando em alterações no ciclo hidrológico.

Essas alterações promovem o aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies e à produção de resíduos sólidos; a deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, devido à lavagem das ruas, transporte de material sólido e às ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial; e a contaminação de aquíferos (TUCCI, 2002). Alguns dos principais impactos ambientais produzidos pela urbanização são o aumento da temperatura, aumento de sedimentos e material sólido, e deterioração da qualidade da água pluvial.

Em função das características do relevo, a ocupação na bacia tende a se suceder no sentido de jusante para montante (Figura 1). Em geral, no projeto de um novo loteamento é apenas exigida a drenagem interna do lote, sem considerar o impacto do aumento das vazões sobre o restante da bacia (TUCCI, 2007). A combinação desses aumentos resulta na intensidade da ocorrência de enchentes, com perdas sociais e econômicas, a jusante, processo derivado da sobrecarga da drenagem secundária (condutos) sobre a macrodrenagem (riachos e canais) que compõem o sistema municipal (TUCCI, 2012).

Figura 1 - Tendência da ocupação e impacto



Fonte: Tucci (2007)

Assim, constata-se que os desastres de cunho hidrológico são os mais recorrentes internacionalmente (EM-DAT, 2020, 2014; UNDRR, 2020a, 2020b) e a nível nacional (BRASIL, 2013; TASCA; POMPÊO; FINOTTI, 2017). Desta forma, torna-se vital o direcionamento a um regime de prevenção dos desastres, pautados em uma gestão capaz de reduzir a exposição de pessoas/propriedades e de promover a consonância dos diversos diplomas legais e organizações institucionais, sobretudo os que se referem às águas urbanas e ao planejamento urbano (GRANGEIRO et al., 2020).

Os desastres hidrológicos são subclassificados em inundações, enxurradas e alagamentos segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade), que descrevem a definição para cada classe (Quadro 1).

Quadro 1 - Definição dos tipos de desastres hidrológicos

Inundações	Enxurradas	Alagamentos
Submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície.	Escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado. Caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial. Apresenta grande poder destrutivo.	Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas.

Fonte: Brasil (2016).

2.2. Gestão da drenagem

É necessária uma gestão capaz de promover a consonância dos diversos diplomas legais e organizações institucionais, sobretudo os que se referem às águas urbanas e ao planejamento urbano (GRANGEIRO et al., 2020). Nesse contexto, destacam-se dois compromissos globais que reforçam a coordenação do uso do solo a partir de políticas para minimizar os riscos: A Estrutura de Ação de Hyogo 2005-2015 (ISDR, 2005) e *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030* (UNISFR, 2015). Ambos destacam que as políticas devem tratar de características físicas e ecológicas na alocação dos usos do solo.

Portanto, a gestão preditiva é vital ao ciclo de adaptação do sistema, fornecendo capacidade de transformação a longo prazo, na viabilidade de se atingir uma abordagem mais sustentável ao processo (HANDAYANI et al., 2020). Visa, principalmente, garantir o manejo adequado das águas em área urbana, sobretudo resgatando seu ciclo e fluxos naturais de maneira harmoniosa com a população e com o meio (MELO et al., 2016), proporcionando uma gestão urbana holística.

As medidas sustentáveis devem ser consideradas como instrumentos de gestão, como “fornecedores de recursos naturais ao tecido urbano” conforme definido por Hoang e Fenner (2016). Ainda segundo os autores, estas técnicas podem ser definidas como abordagens de planejamento estratégico centralizado (de cima para baixo) ou práticas de drenagem urbana localizada (de baixo para cima). Nas últimas décadas têm se tornado cada vez mais identificadas com a elaboração de políticas participativas, de baixo para cima, em rede ou com múltiplos participantes, e gradualmente desvinculadas de seu significado tradicional como responsabilidade e dever exclusivo do governo central (KOOIMAN, 2003; OSBORNE, 2010).

Segundo Scott (2014), é possível caracterizar a pesquisa institucional em três principais pilares: o pilar regulador, pelo qual as instituições restringem e regulam o comportamento dos atores através de regras; o pilar normativo, pelo qual as instituições produzem normas e valores que ajudam a definir os objetivos a atingir e a descrever como fazê-lo; e o pilar cognitivo-cultural, no qual as instituições são estruturas cognitivas-culturais que promovem o compartilhamento do significado e a internalização do comportamento dos atores.

Recentemente, o campo da gestão urbana da água ultrapassou suas bases tecnocráticas mediante as evidências crescentes da complexidade social e ambiental, entretanto, o que

significa governança no setor de água urbana ainda não está claro (BAKKER, 2010). Comumente, as crises hídricas são crises de governança, sobretudo se as funções e responsabilidades não forem claramente alocadas e as partes interessadas não estiverem envolvidas, as informações não forem compartilhadas e as capacidades não consigam prever e combater os riscos (OECD, 2011).

Nesse contexto, é necessário a correta caracterização entre governança e gestão, sendo a governança o processo e gestão a prática, a operacionalização. A governança tipicamente descreve regras para a tomada de decisões envolvendo muitas partes interessadas, incluindo indivíduos, organizações civis e instituições governamentais, no contexto de leis e políticas (PORSE, 2013). Assim, define-se a governança das águas pluviais como a autoridade organizacional que implementa, assim como implementa políticas e programas de águas pluviais. Como tal, o autor enfoca os mecanismos de liderança e jurisdição funcional de seus vários componentes, e não as políticas com regulamentos e programas.

Dentre os principais desafios relacionados à complexidade da governança das águas pluviais, pode-se destacar: inexistência ou falta de acesso de dados; contaminação do recurso com efluentes do esgotamento sanitário; integração dos novos elementos infraestruturais; concepção do sistema ligada à abordagem tradicional de condução imediata; financiamento restrito; incerteza dos aspectos hidrológicos; produção de políticas que não contemplam objetivos a longo prazo.

Segundo Cousins (2017), existem duas principais vias na perspectiva da governança da drenagem urbana: a Intervencionista Infraestrutural e a Intervencionista Institucional. A primeira refere-se à intervenção ligada a projetos de lei e regulamentos mais restritos e rígidos, associados com abordagens ligadas a dados, como forma a se obter um gerenciamento sustentável; enquanto a segunda, assume que novas instituições e regras são necessárias para fomentar uma gestão integrada, assim como a atribuição de valor econômico ao recurso.

Nesse contexto, Porse (2013) discretiza as duas estruturas organizacionais básicas que mantêm as responsabilidades sobre o gerenciamento:

(1) Governo municipal, onde departamentos municipais separados lidam com funções de abastecimento de água, tratamento de águas residuais e gerenciamento de águas pluviais;

(2) Parcerias público-privadas, na qual a concessionária (pública ou privada) é

responsável pelo abastecimento e tratamento de água, enquanto uma agência municipal mantém a responsabilidade pela gestão das águas pluviais como parte de um programa ou departamento de qualidade ambiental maior.

O requerimento da incorporação de técnicas que promovam o aumento da infiltração de águas de chuva e da recarga de água subterrânea, além da redução das águas superficiais escoadas, é um desafio na gestão de águas pluviais (em inglês, *urban stormwater management-SWM*). Devido a essas necessidades, conforme supracitado, a abordagem tradicional de concepção dos projetos de drenagem se tornou inapropriada por não ser ambientalmente sustentável.

A abordagem alternativa e inovadora da gestão sustentável das águas pluviais (em inglês, *Sustainable Stormwater Management - SSWM*) é baseada na aplicação da infraestrutura verde com o objetivo de mitigar condições ambientais extremas, requerendo uma visão holística no planejamento. Segundo Fletcher et al. (2015), alguns conceitos de SSWM foram formulados recentemente, tais como sistemas de drenagem urbana sustentável (*Sustainable Urban Drainage Systems - SUDS*), melhores práticas de gerenciamento de águas pluviais (*Stormwater Best Management Practices - BMPs*), infraestrutura verde (*Green Infrastructure - GI*), medidas de desenvolvimento de baixo impacto (*Low Impact Development - LID*) e projeto urbano sensível à água (*Water Sensitive Urban Design - WSUD*).

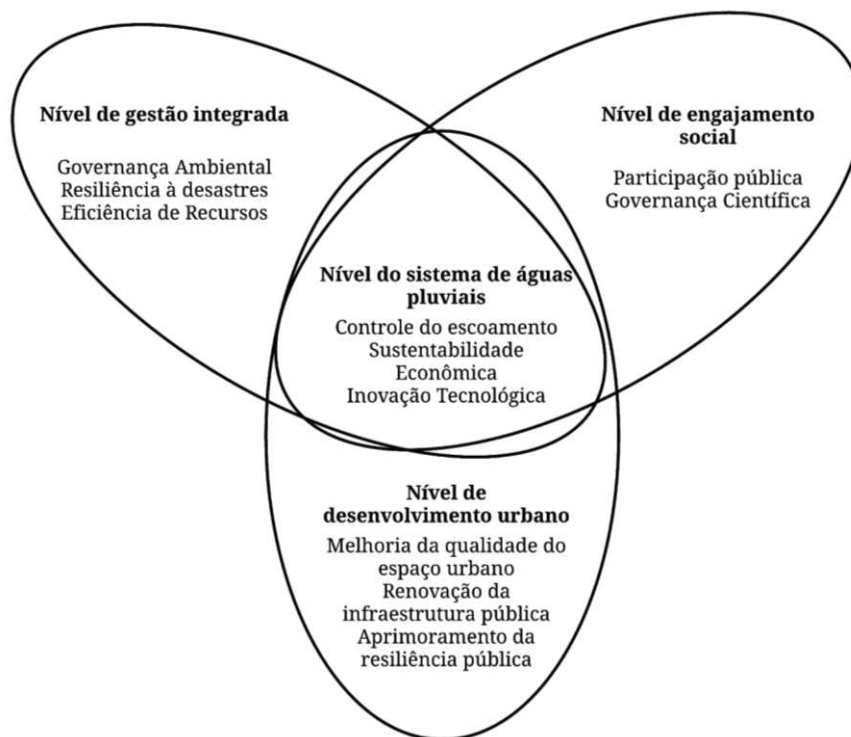
Segundo Ahmed (2019), na tentativa de combater a degradação ambiental, impactos incertos das mudanças climáticas e vulnerabilidade dos recursos destacam-se as abordagens da gestão integrada de recursos hídricos (MITCHELL, 2005), gestão sustentável da água urbana (LARSEN, 1997), cidades sensíveis à água (BROWN, 2009) e medidas de desenvolvimento de baixo impacto (DIETZ, 2007). Esse planejamento promovido pelo SSWM deve interagir com o meio ambiente, economia, sociedade e outros aspectos, muito embora a implementação em países em desenvolvimento torna-se mais árdua devido à complexidade na formação da abordagem sintética (GOULDEN et al., 2018).

A gestão de águas pluviais em países em desenvolvimento varia conforme os diplomas legais e os critérios de avaliação seguidos, considerando os diferentes contextos urbanos e seu histórico administrativo. Nesse contexto, Wu et al. (2020) produziram uma estrutura abrangente de desempenhos e benefícios para SSWM para os países em desenvolvimento, com base em

uma revisão das políticas e pesquisas relacionadas. Os autores classificaram a gestão em quatro níveis, descritos a seguir, que possuem inter-relações (Figura 2).

- Sistema de águas pluviais: resultados gerais da operação do sistema, incluindo controle e/ou redução do escoamento, sustentabilidade econômica, práticas sustentáveis e inovação técnica.
- Gestão integrada: enfatizando as relações entre o sistema de drenagem e a gestão das águas urbanas, bem como outros componentes, incluindo a governança ambiental, a resistência a desastres e a eficiência de recursos.
- Compromisso social: realçando as relações entre o sistema e os benefícios e valores sociais, incluindo a participação pública e a governança descentralizada.
- Desenvolvimento urbano: influências do sistema no desenvolvimento urbano, incluindo a melhoria da qualidade do espaço e sua habitabilidade, renovação da infraestrutura pública e aumento da resiliência da cidade, bem como os indicadores correspondentes.

Figura 2- A relação entre cada nível de objetivos na estrutura de avaliação abrangente



Fonte: Adaptado de Wu et al. (2020)

Na literatura é frequentemente afirmado que os fatores de governança são a principal razão para a implementação limitada da SSWM (BARBOSA et al., 2012; BROWN; FARRELLY, 2009; BROWN et al., 2013; CETTNER et al., 2014; DHAKAL; CHEVALIER,

2016; QIAO et al., 2018; ROY et al., 2008). A literatura sugere que o ritmo lento da implementação da SSWM é influenciado principalmente por fatores de governança, em vez de aspectos técnicos.

A governança existente das águas pluviais usualmente é centralizada e estruturada para apoiar os sistemas convencionais. Esta abordagem de governança não é adequada a uma gestão distribuída emergente, que envolve múltiplos interessados, incluindo proprietários privados, agências governamentais e organizações não-governamentais, assim necessitando uma mudança de paradigma na governança (DHAKAL; CHEVALIER, 2016). Conforme Di Baldassarre et al. (2019), não há como compreender os *feedbacks* dinâmicos entre o recurso, os comportamentos sociais e as mudanças no arranjo institucional quando a água e os sistemas humanos são tratados separadamente.

2.3. Sistemas de drenagem urbana sustentável (SUDS)

O planejamento em ambientes urbanos de países em desenvolvimento ainda tende a seguir uma abordagem de “*one-size-fits-all*”, de projetos únicos replicados às bacias, o que promove inconvenientes às bacias urbanas, sendo um deles, segundo Peixoto (2011), o aumento da velocidade escoamento nos elementos de drenagem, acarretando inundações e alagamentos nas áreas a jusante. Assim, grande parte das obras hidráulicas convencionais, como canais e galerias de concreto, não erradicam as enchentes de forma definitiva, devido ao desfasamento a longo prazo. Além disso, continuar aumentando a capacidade desses sistemas de forma a suprir cada vez mais altas demandas de água das chuvas é inviável financeiramente (WOODS-BALLARD et al., 2015).

Os sistemas compensatórios, alternativos ou sustentáveis de drenagem urbana se diferenciam do manejo tradicional das águas pluviais, por se basearem no processo de infiltração e retenção das águas o mais próximo possível do local no qual a precipitação incidiu no solo e não em seu escoamento rápido. Assumem assim, o formato de um meio técnico para se obter um manejo sustentável, ao propiciarem uma diminuição no volume e na velocidade do escoamento, na redução das vazões de pico e no aumento do tempo de concentração, e no rearranjo temporal das vazões, além de provocarem uma significativa melhoria na qualidade das águas pluviais (SLETTTO, 2019; FLETCHER, 2015).

No que diz respeito à tendência ambientalista representada nos SUDS, é possível citar como frentes de ação: i) racionalização do uso da água; ii) redução do seu consumo; iii)

tratamento de efluentes dos sistemas sanitários, abastecimento de água e manejo de águas pluviais; iv) retomada da condição natural dos cursos d'água degradados; v) controle dos potenciais geradores de escoamento superficial. Woods-Ballard et al. (2007) elucidam quais as técnicas recomendáveis para a restauração dos processos naturais (Quadro 2). Além disso, também é necessária a investigação da combinação das intervenções, para avaliar a eficácia conjunta em termos da mitigação dos danos.

Quadro 2 - Diferentes técnicas utilizadas pelos SUDS

Infiltração	Faixas de infiltração (<i>filter strips</i>)
	Trincheira preenchida com pedras (<i>trench</i>)
	Pavimentos permeáveis (<i>pervious pavements</i>)
	Sistemas geocelular / modular (<i>geocellular / modular systems</i>)
	Filtros de areia (<i>sand filters</i>)
	Bacia de infiltração (<i>infiltration basin</i>)
	Biorretenção (<i>bioretention / stormwater bump-out</i>)
	Jardim de chuva (<i>rain garden</i>)
Detenção / Atenuação	Telhado verde (<i>green roof</i>)
	Tonel de água (<i>water butts</i>)
	Aproveitamento de águas pluviais (<i>rainwater harvesting</i>)
	Depressões (<i>swales</i>)
	Sistema geocelular / modular (<i>geocellular / modular systems</i>)
	Filtros de areia (<i>sand filters</i>)
	Bacia de infiltração (<i>infiltration basin</i>)
	Bacia de detenção (<i>detention basin</i>)
	Lago ou Tanque (<i>pond</i>)
Transporte	Trincheira preenchida com pedras (<i>trench</i>)
	Depressões (<i>swales</i>)
	Pavimentos permeáveis (<i>pervious pavements</i>)

Fonte: Woods-Ballard et al. (2007); Digman et al. (2012)

De acordo com Woods-Ballard et al. (2015) há vários critérios que precisam ser levados em consideração no desenvolvimento e aplicação das técnicas de SUDS. Um desses critérios é gerenciar os riscos de alagamento através do recebimento da água superficial na superfície da bacia. Para isso, é importante que haja oportunidades para a água infiltrar no meio urbano, através de técnicas compensatórias de infiltração. Porém, se somente a infiltração não for capaz de reduzir suficientemente o volume de água superficial é recomendado o uso de sistemas de coleta e armazenamento dessa água. Além disso, é recomendado que o espaço disponível para os SUDS seja multifuncional e provedor de infraestrutura verde, prezando pela biodiversidade e criando oportunidades de integração comunitária que suportem o estilo de vida urbano (FLETCHER, 2015). As técnicas SUDS são integráveis a diferentes componentes da paisagem urbana, sendo possível discretizar e alocar as técnicas mais apropriadas para cada local (Quadro 3).

Quadro 3 - Técnicas SUDS integráveis a diferentes componentes da paisagem urbana

Técnicas SUDS	Componente aplicável da paisagem urbana
Superfícies permeáveis	Ruas, habitações de baixa densidade, praças, <i>greenways</i> e estacionamentos (forma de pavimentos permeáveis)
Sistemas de bioretenção	Ruas, habitações de baixa densidade e estacionamentos
Plantação de árvores	Ruas, habitações de baixa densidade, estacionamentos e parques urbanos
<i>Swales</i> vegetadas	Ruas e habitações de baixa densidade
Canais a céu aberto	Ruas
Aproveitamento de água de chuva	Habitações de baixa densidade, <i>greenways</i> , parques urbanos e habitações de média densidade
Jardins de chuva	Habitações de baixa densidade
Telhados verdes	Habitações de média densidade
Jardins de chuva	Habitações de média densidade
Trincheiras de infiltração	Praças
Bacias de detenção	Estacionamentos e parques urbanos

Fonte: WOODS-BALLARD et al. (2015), adaptado pela autora

Ademais, o engajamento da comunidade é essencial para o bom funcionamento dos SUDS no meio urbano, não só para a aceitação das intervenções provocadas por ela, como também para, em médio e longo prazos, serem apropriados pelos habitantes locais. Além disso, técnicas de SUDS que dão benefícios diretos para o local, como áreas de lazer e passeio, são mais bem aceitas e, conseqüentemente, mais rapidamente apropriadas (WOODS-BALLARD et al., 2015). A locação das infraestruturas deve priorizar localidades com maior potencial de atrair pessoas, requerendo assegurar a prestação de serviços integrados, como os serviços recreativos e educacionais. Enfatiza-se a estrita ligação com a acessibilidade aos recursos naturais.

A aplicação das técnicas visa incorporar os componentes estruturais e funcionais, superando a fragmentação dos sistemas urbanos, com diferentes tipologias e aplicações de acordo com a escala em que o planejamento de uso do solo é realizado: do nível local ao regional, nacional e transnacional (LAFORTEZZA et al., 2013). Neste sentido, se almeja a ampliação da aplicação dessa infraestrutura nas áreas da cidade que estão mais entrelaçadas com a infraestrutura cinza, sobretudo na escala local, uma vez que é nesta escala que há um imperativo para formalizar a resiliência do sistema através da funcionalidade da infraestrutura (CALDERÓN-CONTRERASA; QUIROZ-ROSAS, 2017).

2.4. Vulnerabilidade e riscos

Na gestão dos desastres relacionados a inundações é necessário conceituar os termos de suscetibilidade e vulnerabilidade, de forma a adequar a análise do risco. O primeiro corresponde a condições locais da comunidade ou do elemento exposto e sua correlação com a probabilidade de ocorrência temporal e espacial do evento, ou seja, os fatores de predisposição afetados negativamente por um evento. Reforça-se que os condicionantes locais podem ser de ordem artificiais e naturais (CUNHA; RAMOS, 2013; MAIA; COSTA, 2017). Já o segundo, conforme Sobral et al. (2010, p.390):

[...] a vulnerabilidade humana, resultante da pobreza e da desigualdade social, potencializa os riscos. Essa vulnerabilidade está relacionada à capacidade da comunidade suportar e responder adequadamente a determinado evento. Ou seja, a magnitude do evento desencadeador representa um fator importante na ocorrência do desastre, mas o grau de vulnerabilidade da área geográfica e/ou da comunidade afetada é um dos fatores preponderantes para a intensificação de suas conseqüências.

Assim como também se destaca a conceituação de vulnerabilidade social, que pressupõe um conjunto de características, recursos materiais e/ou simbólicos e habilidades de indivíduos ou grupos, que impede a participação igualitária social e afeta a qualidade de vida dos sujeitos (MONTEIRO, 2011).

O risco pode ser entendido como o impacto da incerteza no cumprimento das metas, e mudanças na incerteza também mudarão o risco (STATE OF VICTORIA, 2015). Assim, em qualquer ambiente administrativo ou institucional, a gestão de riscos é uma atividade essencial, pois, em uma proporção adequada, o risco afetará os resultados de qualquer atividade ou processo. Portanto, compreender, avaliar e tratar os riscos são essenciais para garantir o cumprimento das metas organizacionais.

A avaliação de risco recomenda sistematizar e qualificar o conhecimento e a incerteza sobre os fenômenos, processos, atividades e sistemas na análise, para estimar os perigos e ameaças potenciais, suas causas e consequências, e gerar condições para distinguir entre faixas toleráveis e aceitáveis, e comparar os cenários alternativos de medidas a serem tomadas (AVEN, 2011), constituindo, assim, uma importante ferramenta estratégica no cenário da globalização.

Já a gestão dos riscos – que inclui a avaliação de riscos – combina a cultura, sistemas e processos adotados pela organização para coordenar a identificação e gestão de riscos, e uma gestão de riscos bem gerenciada pode prevenir danos ou controlar seu impacto (STATE VICTORIA, 2015). Assim, uma gestão abrangente de riscos se baseia em um conjunto de processos projetados para aumentar as chances de sucesso do projeto, evitando e mitigando os riscos negativos (ameaças), enquanto os riscos positivos (oportunidades) são maximizados. O conceito de risco positivo é inapropriado no contexto ambiental e não poderia ser aplicado apenas a nível de impactos positivos, os quais também são relativizados.

Uma revisão das produções científicas evidencia mudanças no tratamento dos riscos resultantes da interação homem-ambiente. Segundo Hagenlocher et al. (2018), transitou de abordagens deterministas e centrados no risco, para perspectivas de economia política e ecologia política e, ao fim, para um direcionamento holístico que incorpora o risco a fatores sociais, econômicos, políticos, ambientais e de governança. Desta forma, a percepção orienta uma avaliação mais significativa de impactos e probabilidade.

Assim, seguindo conceitos de Wisner et al. (2004), dentro dos sistemas socioecológicos, o risco é tido como um potencial de consequências adversas da interação de ameaças sociais e naturais entre os elementos desses sistemas. Por sua vez, as ameaças são descritas como a ocorrência potencial de eventos, antropogênicos ou acoplados, que possam danificar a vida e as propriedades, assim como interromper os processos nos SSEs em vigor (IPCC, 2014).

2.5. Legislação e instituições

2.5.1. Arcabouço legal sobre a drenagem urbana

O primeiro documento legal a tratar sobre a proteção dos recursos hídricos no Brasil foi o Decreto nº 24.463, que instituiu o Código de Águas (BRASIL, 1934), todavia possuía classificações inadequadas, que não foram alteradas mesmo com suas modificações, como “águas públicas”, “águas comuns” e “águas particulares”. No entanto, com a Constituição Federal de 1988, a água passou a ser considerada efetivamente como um bem público. Reforça-se também, os direitos de vizinhança que abordam, principalmente, as obras feitas que contrapõem ou alteram o fluxo natural da água tratados pelo Código Civil (COSTA; PERIN, 2009).

Na Constituição Federal de 1988 foram instituídas as bases para parametrização da institucionalização das políticas públicas, os primeiros passos do planejamento urbano e conseqüentemente os conceitos para elaboração dos Planos de Drenagem Urbana. Posteriormente, foi reforçado através da Lei das Águas, do Estatuto das Cidades e da Lei de Saneamento (CARMO; MARCHI, 2013).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei nº 9.433 de 1997, foi criada pela demanda de instrumentos destinados ao controle e gestão das águas. A instituição da Política determinou a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) que favorece o debate das questões relacionadas à gestão por meio da criação de órgãos, como os Conselhos Nacional e Estaduais, a Agência Nacional de Águas (ANA), órgãos Estaduais e Comitês de bacia, bem como das agências estaduais e de bacias.

A Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) foi instituída pela Lei Federal 11.445/2007 e define o sistema de drenagem urbana como um “conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem de águas pluviais de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas

pluviais drenadas nas áreas urbanas” (BRASIL, 2007, p. 3). Sendo um instrumento definido a nível federal, a PNSB torna-se ampla, muito embora reforça-se que existe no Brasil uma estrutura complexa no contexto das águas pluviais. Posteriormente foi atualizada com o novo marco legal do saneamento, a Lei nº 14.026/20.

O Estatuto das Cidades (Lei Federal nº 10.257/01) determina os parâmetros gerais para elaboração de políticas que coordenam as atividades urbanas. Dentre seus instrumentos, destaca-se a instituição da obrigatoriedade de execução de um Plano Diretor para municípios com população superior a 20.000 habitantes, responsável pelo planejamento de regiões metropolitanas, ordenação territorial e desenvolvimento econômico. Assim, o plano possui diretrizes que tem influência direta na ocorrência de enchentes, como ordenação do solo e o controle de impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico.

Outro instrumento de gestão da temática derivado do Estatuto é o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU), que se define como o “conjunto de diretrizes que determinam a gestão do sistema de drenagem, minimizando o impacto ambiental devido ao escoamento das águas pluviais”. Para elaboração do PDDU deve ser mantida a sua coerência com as outras normas urbanísticas do município, com os instrumentos da Política Urbana, da Política Nacional de Recursos Hídricos e de Saneamento. Dentre os princípios para a elaboração do Plano, destacam-se: controle da vazão máxima a jusante produzida por novos desenvolvimentos; a consideração da bacia como um todo, de forma integrada; integração ao horizonte de planejamento do Plano Diretor Municipal; e o controle de esgoto sanitário e de resíduos sólidos.

Registra-se ainda a importância do mapeamento de zonas de risco, que proporciona o zoneamento de áreas inundáveis e a sua possível ocupação. O zoneamento consiste em conjunto completo de regras outorgadas para a ocupação das áreas de risco, com o objetivo de minimizar as perdas de vidas humanas e os danos às propriedades. Este zoneamento contribui para a legislação de usos e ocupação do solo, além do controle efetivo por parte de prefeituras de sua correta ocupação e uso (TUCCI, 2005). Uma vez que o Plano Diretor de Drenagem Urbana é um mecanismo que deve contemplar medidas sustentáveis relacionadas à drenagem urbana, deve conter elementos que minimizem os impactos negativos.

Mesmo com um arcabouço legal complexo, observam-se divergências entre o domínio e ou titularidade (Quadro 4), pois a cidade se assume como um dos usuários dos recursos

hídricos (retirada para abastecimento e lançamento de efluentes) e a interação com estes promovem impactos – como enchentes e contaminação dos efluentes a jusante nos corpos hídricos, por exemplo, rios, lagos e reservatórios – que são transferidos para bacia e propagados no próprio município, afligindo a população.

Quadro 4 - Espaço de gestão das águas urbanas

Espaço	Domínio ou titularidade	Gestores	Instrumento	Característica
Bacia hidrográfica	Estado ou governo federal	Comitê e agências	Plano de Bacia	Gestão da quantidade e qualidade da água nos rios da bacia hidrográfica, sem transferirem impactos
Município	Município	Município	Plano de Saneamento Básico	Gestão dos serviços de água dentro da cidade e controle dos impactos para jusante na bacia

Fonte: Adaptado de Tucci (2007)

Desta forma, se aponta para o destacado na Constituição de 1988, em que os assuntos de ação local devem ter seu gerenciamento realizado pelo município. Assim, a gestão desse controle deverá ser executada dentro das cidades através de legislação própria (municipal ou distrital) além de ações específicas. Porém, conforme mencionado, a bacia hidrográfica também é atingida no processo, mesmo que algumas abranjam mais de um município, devendo ser estabelecidos padrões, baseados na legislação ambiental e de recursos hídricos em nível federal ou estadual por parte dos comitês de bacia.

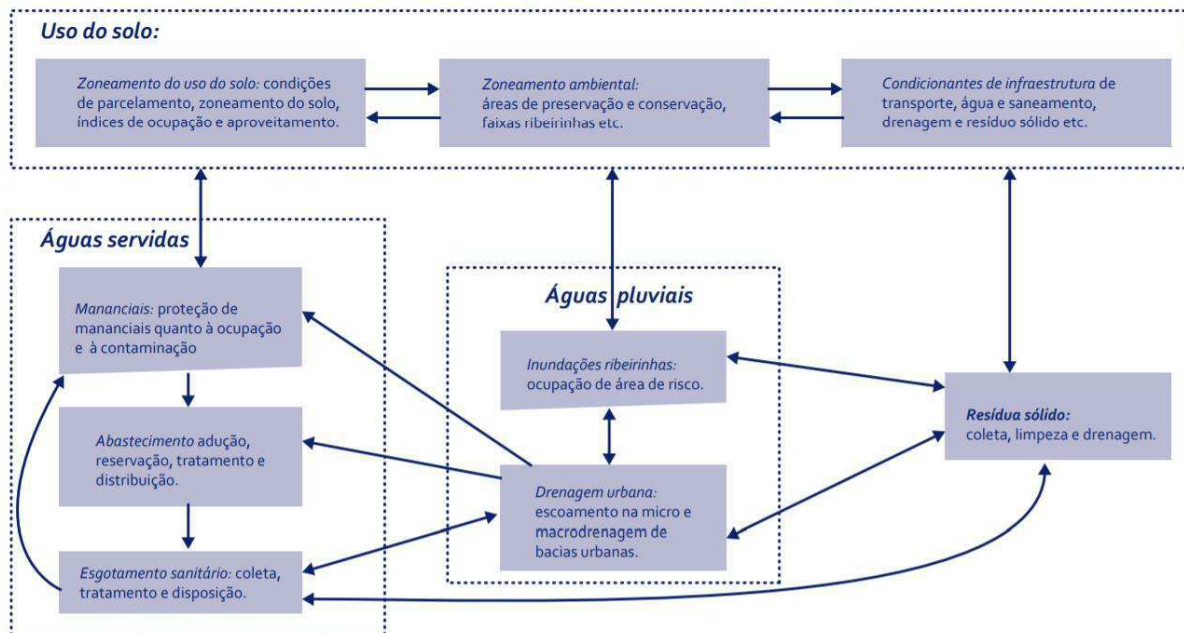
2.5.2. *Estrutura institucional*

A estrutura da gestão das águas urbanas, segundo Tucci (2012) é composta pelos seguintes componentes: planejamento urbano, que direciona os usos do solo e a infraestrutura requerida; serviços de saneamento, composto por abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos e drenagem urbana; metas dos serviços, relativos à conservação do meio ambiente urbano e qualidade de vida, abrangendo a redução das enchentes e doenças de veiculação hídrica; e institucional, que compõe serviços, aparato legal, qualificação e monitoramento via de regra.

Assim, o planejamento urbano torna-se sustentável quando os diversos planos contemplam as demais áreas da gestão (Figura 3), e institucionalmente envolva legislações e entidades que permitam fornecer os serviços adequados e atingir as metas (Figura 4),

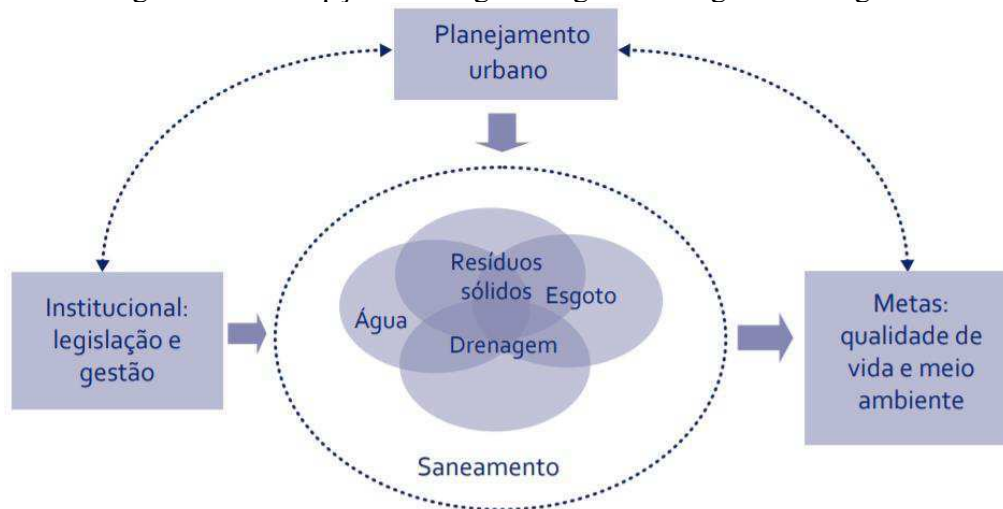
esquematisando um planejamento integrado capaz de assegurar as condições de qualidade de vida, abordagem sustentável e conservação ambiental (TUCCI, 2012).

Figura 3 - Relações entre os sistemas das águas urbanas



Fonte: Tucci (2005)

Figura 4 - Concepção estratégica da gestão integrada das águas urbanas



Fonte: Tucci (2012) adaptado de Tucci (2009)

Dessa forma, a política de recursos hídricos junto ao SINGREH, nos termos de prevenção e controle de inundações, não pode se opor à estrutura administrativa existente e sim potencializar sua atuação. Devem as instâncias nacionais – a Agência Nacional de Águas, o Ministério do Desenvolvimento Regional, a Secretaria de Obras deste ministério e o Sistema Nacional de Defesa Civil – articularem-se com os estados e municípios para assegurar a

descentralização da gestão e garantir o aporte da sociedade civil organizada, além do compartilhamento de recursos e do poder decisório entre os comitês de bacia e a gestão municipal (TUCCI, 2012).

A gestão de inundação urbana, a nível da experiência, se direciona por duas linhas: gestão na bacia e gestão na cidade. Segundo Tucci (2012) podem ser caracterizadas segundo:

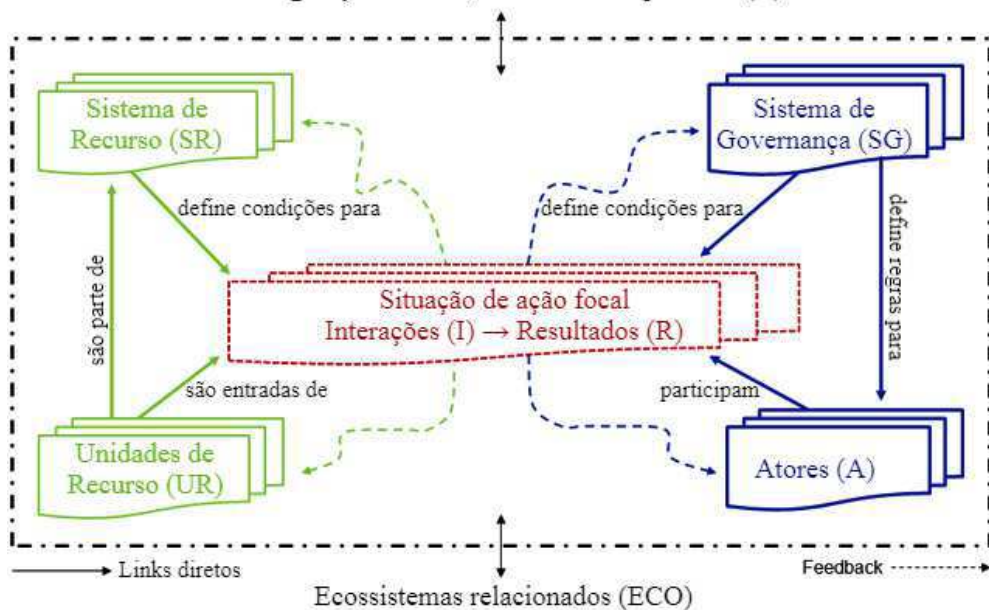
- Política de controle da gestão em nível de bacia hidrográfica: trata-se da gestão das inundações ribeirinhas dos rios e o direcionamento da gestão municipal, sendo realizada em âmbito nacional ou de estado.
- Política de gestão dentro da cidade: compõe os serviços de saneamento ambiental, sendo direcionado pelas políticas e planos de saneamento municipal e do Plano Diretor de Drenagem Urbana.

2.6. Sistemas socioecológicos

Dentre as diversas abordagens para analisar mudanças em sistemas humanos e ambientais em interação, o modelo de análise de Sistema Socioecológicos (SSE), elaborado por Ostrom (2009), se faz útil para escolher variáveis, descrever a dinâmica do sistema e ajustar a escala de análise de acordo com diferentes objetivos de análise. O sistema é constituído por atores, instituições e sistemas naturais – no caso da água, como água de nascente, águas subterrâneas, águas residuais e águas pluviais (BERKES et al., 1998; HOLLING; GUNDERSON, 2002). A interpretação e aplicabilidade dessa metodologia de análise de sistemas foi influenciada por Ostrom (2009) e McGinnis e Ostrom (2014).

No modelo de análise do SSE, o sistema é dividido em quatro subsistemas de primeira ordem: (i) sistema de recursos, (ii) unidades de recurso, (iii) sistema de governança e (iv) atores (Figura 5). Cada um é composto por múltiplas variáveis de segunda ordem que, por conseguinte, podem ser constituídas por variáveis de maiores ordens (OSTROM, 2009), se instituindo em uma análise multinível dos componentes do sistema. Além de focar em variáveis independentes, tais como configurações socioeconômica e políticas, ecossistemas relacionados e leis ecológicas, essas podem influenciar qualquer um dos subsistemas e alterar as dinâmicas da operação (MCGINNIS; OSTROM, 2014).

Figura 5- Framework dos sistemas socioecológicos
Configurações sociais, econômicas e políticas (C)



Fonte: Traduzido de McGinnis e Ostrom (2014)

Destaca-se a alteração realizada a partir da metodologia descrita por McGinnis e Ostrom (2014), com base na base elaborada por Ostrom (2009), em que a variável de primeiro grau “Usuário” é alterada para “Atores”, o que assegura uma abrangência em sua interpretação e aplicação. Além disto, em verde destacam-se as variáveis que representam o sistema ecológico; em azul, o social; enquanto em vermelho, as situações de ação, na qual todas as ações se assumem como entradas e se transformam devido a ação de múltiplos atores (MCGINNIS; OSTROM, 2014), sendo importante para avaliação e correta definição dos sistemas.

2.7. Princípios institucionais

Outra abordagem tratada por Ostrom (1990) são os recursos de uso comum (em inglês, *common-pool resource* – CPR), que se definem com base em sua subtratibilidade, ou seja, a utilização por um usuário inviabiliza ou reduz a quantidade de recursos disponíveis para outrem; segundo a autora, pode-se definir como:

O termo 'recurso de uso comum' (CPR) se refere a um sistema de recursos naturais ou artificiais suficientemente grande para torná-lo dispendioso (mas não impossível) para excluir beneficiários potenciais da obtenção de benefícios de seu uso. Para entender os processos de organização e governo dos CPRs, é essencial distinguir entre o sistema de recursos e o fluxo de unidades de recursos produzidos pelo sistema, ao mesmo tempo em que se reconhece a dependência de um em relação ao outro (Tradução de OSTROM, 1990).

Desta forma, Ostrom (2005) trata que, em face dos registros históricos das alternativas de enfrentamento tomadas pela sociedade ao encarar desafios, novas formas de gestão de recursos foram desenvolvidas e implementadas. Assim, foram delimitados alguns princípios institucionais sustentáveis para assegurar a governança dos CPR pelos indivíduos e comunidades, sendo estes interpretados como (OSTROM, 1990):

1) Demarcação clara das fronteiras dos recursos de bem comum e dos seus utilizadores: segundo Ostrom (1990), esse princípio define-se como "os indivíduos que têm direitos de retirar unidades de recursos do CPR devem ser claramente definidos, assim como os limites do próprio CPR".

2) As regras definidas têm de ser adequadas às condições locais: desta forma, as regras devem restringir o tempo, lugar, tecnologia e/ou quantidade de unidades de recursos das condições locais e das regras de provisão que necessitam de mão-de-obra, material e/ou dinheiro (OSTROM, 1990).

3) Os utilizadores participam na definição/adaptação das próprias regras – acordos coletivos: Ostrom (1990) tratou que "a maioria das pessoas afetadas pelas regras operacionais pode participar na modificação das regras operacionais".

4) Os fluxos de benefícios proporcionados pela gestão comum são proporcionais aos custos de utilização: segundo Ostrom (1990), "os monitores, que auditam ativamente as condições do CPR e o comportamento dos apropriadores, são responsáveis perante os apropriadores ou são apropriadores". Ainda conforme a autora, "o apropriador pode ser usado para se referir a qualquer pessoa que se apropria de unidades de recursos de algum tipo de sistema de recursos. Em muitos casos, os apropriadores usam ou consomem as unidades de recursos que eles retiram" (Ostrom 1990).

5) Há um reconhecimento das regras da comunidade pelas autoridades externas: este princípio é disposto por Ostrom (1990) como "os direitos dos apropriadores de criar suas próprias instituições não são contestados por autoridades governamentais externas".

6) É realizado o monitoramento e são respeitadas as regras por parte dos utilizadores, com penalizações para os transgressores: Ostrom (1990) afirma que "os apropriadores que violam as regras operacionais são susceptíveis de sofrerem sanções graduais (dependendo da gravidade e do contexto da ofensa) por outros apropriadores, por funcionários responsáveis perante estes apropriadores, ou por ambos".

7) É garantido o fácil acesso a meios de resolução de conflitos bem como a custos reduzidos: delimitado como "os apropriadores e seus funcionários têm acesso rápido a

instâncias de baixo custo para resolver conflitos entre os apropriadores ou entre os apropriadores e os funcionários" (OSTROM, 1990).

8) Há uma ligação na gestão de recursos de menor escala com os de maior escala, partindo do particular para o geral: para os recursos constituintes de sistemas maiores, Ostrom (1990) trata com outro princípio: "Empreendimentos aninhados: apropriação, provisão, monitoramento, aplicação, resolução de conflitos e atividades de governança são organizadas em várias camadas de empreendimentos aninhados".

Nesse contexto, destaca-se o conceito de "recurso comum urbano", que vem sendo utilizado em estudos interdisciplinares (PETRESCU et al., 2017; SOANES et al., 2019; MURPHY et al., 2019; PERROTTI; HYDE; PENA, 2020), que analisam as dinâmicas ecológicas e sociais dos espaços urbanos. Segundo Petrescu et al. (2017), os termos "ações comuns" ou "práticas comuns" representam as organizações institucionais e práticas sociais necessárias para administração de recursos coletivos (por exemplo, água, alimentos ou parcelamento do solo), com base em sistemas de governança de baixo para cima (dinâmicas da autogestão).

Desde a proposta dos princípios institucionais por Ostrom, no ano de 1990, diversas publicações científicas demonstram a avaliação, explícita ou implicitamente, desses princípios. Neste sentido, Cox et al. (2010) elaboraram um estudo no qual analisaram 91 estudos para promover uma compatibilização das questões teóricas surgidas na caracterização de instituições robustas no gerenciamento do CPR. A partir dos seus resultados, os autores propuseram a reformulação dos princípios.

Assim, os princípios reformulados foram o 1, 2 e 4, de forma que os dois primeiros princípios foram subdivididos em dois componentes para análise, seguindo proposições dos casos e conclusões obtidos de aplicações anteriores (GUILLET, 1992; PINKERTON; WEINSTEIN, 1995; POMEROY et al., 2001; AGRAWAL, 2002;). Já o princípio 4 foi dividido, também, em dois componentes, seguindo a delimitação de Cox et al. (2010) em: um princípio associado aos usuários que monitoram os comportamentos dos demais (monitoramento social) e aqueles que aferem a condição do recurso (monitoramento ambiental). Todos são considerados essenciais no sucesso da gestão do sistema investigado. Desta forma, delimita-se o conjunto dos princípios institucionais modificados (Quadro 5).

Quadro 5 - Lista de princípios institucionais propostos e modificados

Princípio	Descrição
1A	Limites do usuário: limites entre usuários legítimos e não usuários devem ser claramente definidos.
1B	Limites dos recursos: estão presentes limites claros que definem um sistema de recursos e o separam do ambiente biofísico maior.
2A	Congruência com as condições locais: as regras de apropriação e provisão são congruentes com as condições sociais e ambientais locais.
2B	Apropriação e provisão: os benefícios obtidos pelos usuários a partir de um recurso comum (CPR), conforme determinado pelas regras de apropriação, são proporcionais à quantidade de insumos necessários na forma de mão-de-obra, material ou dinheiro, conforme determinado pelas regras de provisão.
4A	Monitoramento dos usuários: os monitores que são responsáveis perante os usuários monitoram os níveis de apropriação e provisão dos usuários.
4B	Monitoramento do recurso: os monitores que são responsáveis perante os usuários monitoram a condição do recurso.

Fonte: Cox et al. (2010)

2.8. Robustez nos sistemas socioecológicos

Os conceitos de "robustez" e "sistemas socioecológicos" vêm do diálogo entre as ciências políticas e econômicas e as ciências ambientais (OSTROM, 1990; OSTROM, 2007). Robustez refere-se à condição de um sistema que “apesar das flutuações no comportamento de seus componentes ou no ambiente, certas características exigidas devem ser mantidas (no sistema)” (CARLSON; DOYLE, 2002 apud ANDERIES; JANSEN; OSTROM, 2004). Portanto, a robustez indica se as instituições podem sobreviver a longo prazo, seja a sustentabilidade dos recursos ou a sustentabilidade das próprias instituições sociais (OSTROM et al., 1999; OSTROM, 2009).

A robustez refere-se a uma propriedade do sistema e não o sistema como um todo, sobretudo a respeito do conjunto de perturbações (ALDERSON; DOYLE, 2010) e à capacidade de manter o funcionamento adequado na presença de desvios (VIALATTE; LEDUC-PRIMEAU, 2017; BASSO, 2017). Assim, está relacionada à manutenção tanto das funções institucionais ou processuais quanto da capacidade das iniciativas políticas para atingir os objetivos (OSTROM, 1990). Desta forma, a ênfase não consiste na manutenção da estrutura institucional ou integridade processual, mas na capacidade de manter a prestação de serviços públicos, assim como de atingir um conjunto pré-determinado de metas e resultados destas políticas.

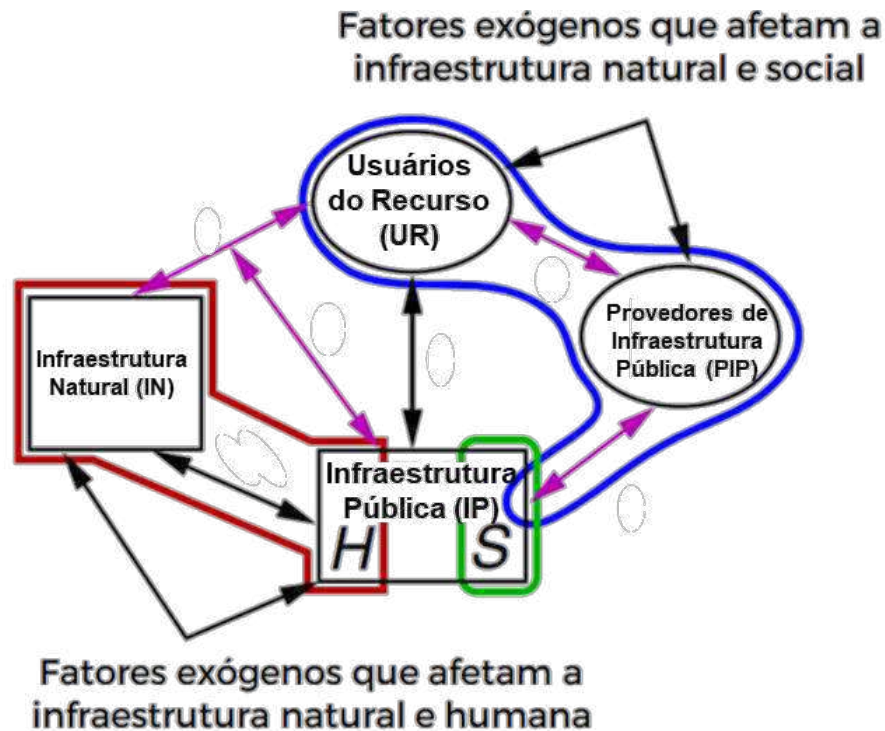
Segundo Anderies, Barreteau e Brady (2019), a utilização desta metodologia baseia-se na fundamentação relativa à imprecisão da interpretação obtida do SSE, que fornece

ferramentas escassas para o entendimento das dinâmicas, da resiliência e da robustez do sistema. Munepeerakul e Anderies (2017) reforçam que o SSE desconsidera as infraestruturas, sobretudo em seu papel condicionante na interação entre os componentes sociais e ecológicos, por ser invisível até a presença de uma falha. Assim, a metodologia da Robustez do SSE (ANDERIES et al., 2004) torna mais explícita as interações entre os diferentes elementos do SSE, focando nas estruturas dos *feedbacks* e suas consequentes dinâmicas.

Neste sentido, trata-se que a principal divergência do SSE consiste em que esta enfatiza a relação entre as variáveis através de substantivos, em uma estrutura hierárquica, enquanto o *Robustness Framework* utiliza setas e as conexões são descritas a partir de processos dinâmicos (verbos) e mudanças. Para isso, incorporam-se diferentes variáveis do *Institutional Analysis and Development Framework*, de Ostrom (2011), sendo a estrutura da Robustez e suas respectivas ligações (Figura 6), descritos como: as variáveis de contexto biofísico – infraestrutura natural (IN) e infraestrutura pública ‘*hard*’ (H na IP); os atributos das variáveis comunitárias – utilizadores de recursos (UR), provedores de infraestrutura pública (PIP), e parte da infraestrutura pública (IP); e as variáveis de regras em uso (RIU, verde) – infraestruturas públicas ‘*soft*’ (S na IP).

O papel da IP é destacado como um incentivo para a contribuição dos usuários no sistema e recurso para otimizar suas capacidades de utilização dos recursos. Munepeerakul e Anderies (2017) evidenciam que, de igual forma, deve-se estabelecer acordos destinados a assegurar o desempenho sistêmico e o uso da infraestrutura compartilhada (OSTROM, 1990). Esta, por sua vez, inclui associações, sindicatos, regimes políticos, governos locais, estados nacionais etc.

Figura 6- *Framework* de Robustez do Sistema Socioecológico

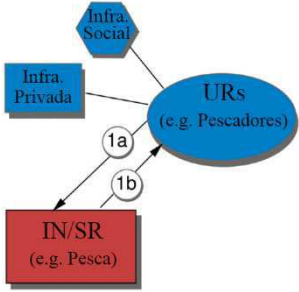
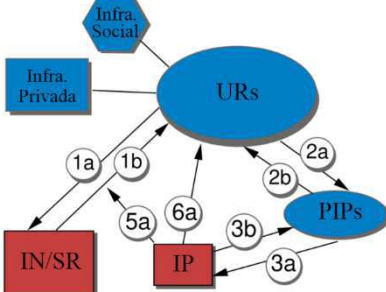
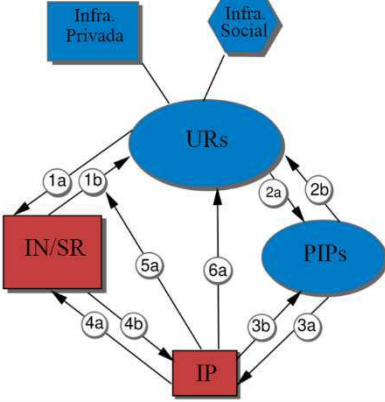
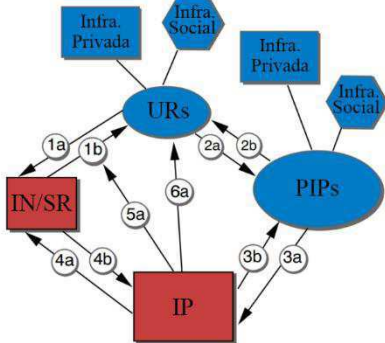
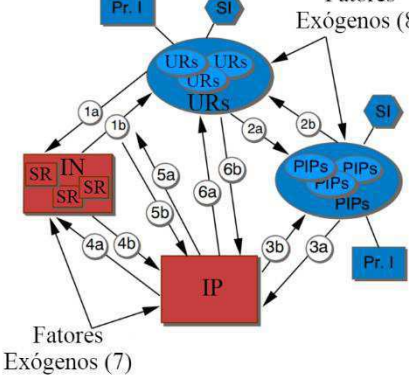


Fonte: Adaptado de Anderies, Barreteau e Brady (2019)

Desta forma, o grau de funcionamento do sistema é avaliado com base na sua capacidade de assegurar o bem-estar comunitário em face a conflitos provenientes da cooperação entre os elementos em função da disponibilidade e utilização do recurso e infraestruturas (seja *hard* – canais, estrutura viária, pontes etc. – ou *soft* – instituições, regras, normas etc.), assim como a perturbações externas ao sistema (MUNEEPEERAKUL; ANDERIES, 2017).

Mesmo que os SSE avaliem com precisão as ligações entre os sistemas sociais e ecológicos, por vezes desconsideram os aspectos projetados. Em sistemas urbanos, os componentes projetados se sobressaem, assim a terminologia é alterada para "sistemas de infraestrutura acoplada" (CIS) para contemplar esse ponto (ARMITAGE, 2008; BARRETEAU et al., 2016 apud ANDERIES et al., 2019). Como medida a melhor compatibilizar as diversas interações entre os elementos, Anderies, Barreteau e Brady (2019) apresentam os modelos alternativos (arquétipos) como o CIS pode ser representado e quais cenários de aplicação (Figura 7).

Figura 7 - Modelos de governança de um recurso de uso comum

Arquétipo I	Arquétipo II	Arquétipo III
		
<ul style="list-style-type: none"> - Ações de usuários de recursos dominadas pelas infraestruturas privada e social - A dinâmica estruturada por feedbacks endógenos entre a infraestrutura natural e social, além dos fatores exógenos 	<ul style="list-style-type: none"> - Presença da infraestrutura formal compartilhada - Ações dominadas fortemente pelas infraestruturas privada e social, bem como pela infraestrutura compartilhada na forma de normas, práticas e algumas regras formais - Feedbacks fortemente condicionados pela infraestrutura pública "soft", apesar da comunicação entre URs e PIPs ao longo do link 2 ser informal e o link 4 ser fraco ou inexistente 	<ul style="list-style-type: none"> - Similar ao Arquétipo II, mas o papel dos PIPs é mais proeminente e formalizado - O link 4 é mais proeminente e pode envolver medição formal e manutenção de registros - Maior capacidade de ação coletiva em grupos maiores e depende menos da confiança de menores grupos - Embora os PIPs tenham mais controle sobre os principais feedbacks do sistema, seus objetivos ainda estão sujeitos à lógica interna da IN
Arquétipo IV		Arquétipo V
		
<ul style="list-style-type: none"> - IP e PIP dominam os processos de feedback e a dinâmica do sistema - A IP é mais complexa do que no Arquétipo III envolvendo infraestrutura urbana de grande escala, estruturas jurídicas e de governança complexas, e infraestrutura financeira - A manutenção da IP começa a exercer uma pressão significativa sobre o sistema de recursos - Os PIPs podem mobilizar suas infraestruturas privadas e sociais para atingir seus objetivos 		<ul style="list-style-type: none"> - Extensão do Arquétipo IV com grupos heterogêneos de URs com diferentes objetivos e interações com IN, múltiplos sistemas de recursos inter-relacionados e múltiplos grupos de PIPs operando em diferentes níveis organizacionais - Diferentes objetivos e usos da IN causam conflito entre os grupos de UR - Os PIPs enfrentam problemas nas escalas local, regional, nacional e global.
<p>UR= Usuários do recurso, IN/SR= Infraestrutura Natural/Sistemas de Recurso, PIP= Provedores de Infraestrutura Pública e IP= Infraestrutura Pública</p>		

Fonte: Adaptado de Anderies, Barreteau e Brady (2019)

Neste sentido, se resume que um SSE é considerado robusto se, quando exposto a variáveis externas, as instituições e as ligações humanas conseguirem se manter sem alterações bruscas que inviabilizem o funcionamento do sistema. Muito embora essa redução da sensibilidade em saídas mediante eventos abruptos, que garante a funcionalidade sistêmica, não vem sem um dispêndio, tendendo ao trade-off entre robustez e desempenho (ZHOU; DOYLE, 1998).

No entanto, em se tratando ao nível da estrutura da governança, a robustez não obrigatoriamente garante estabilidade e rigidez institucional/procedimental, uma vez que, segundo Capano (2018), é inerente que os PIP adaptem ou ajustem as configurações das instituições, políticas ou processos, desde que essas alterações não interfiram no objetivo último da política ou de uma determinada combinação de políticas. Ainda conforme o autor, a robustez na esfera política enfatiza a capacidade de manter um conjunto de resultados em uma espera contínua, assegurando a efetividade dos diplomas com previsões em meio à incerteza.

Comumente os termos de robustez e sustentabilidade são confundíveis quanto a sua definição, porém a sustentabilidade envolve a geração de conhecimento sobre a dinâmica dos sistemas socioecológicos e a projeção da infraestrutura física e de governança (ANDERIES et al., 2013). Segundo Anderies et al. (2013), devido às complexidades e incertezas na caracterização do processo de tomadas de decisão inerente da sustentabilidade, recorre-se a um conjunto de ferramentas científicas, das quais resiliência e robustez são exemplo, para operacionalizar a concepção de políticas de sustentabilidade.

Assim como é importante dissociar dois termos usualmente confundíveis com a robustez: a resiliência e a estabilidade. O primeiro é definido como "uma medida da capacidade dos sistemas em absorver alterações das suas variáveis de estado, das suas variáveis determinantes e dos seus parâmetros, continuando a perdurar no tempo" (HOLLING, 1973), ou seja, a adaptabilidade em face às condições externas; já o segundo é a capacidade do sistema em manter seu estado atual. A robustez não determina a competência de alteração do sistema e sim a manutenção de suas funções.

A robustez difere da resiliência, em pelo menos quatro aspectos: (1) a análise começa com uma definição precisa de uma medida de desempenho; (2) a natureza da incerteza no sistema e, portanto, o limite do sistema é definido com precisão; e a análise se preocupa explicitamente com os *trade-offs* (3) entre desempenho e robustez e (4) entre robustez a diferentes tipos de choques (ZHOU; DOYLE, 1998). Robustez se concentra em projetar

sistemas a prova de falhas dentro de um limite definido de incerteza, enquanto a resiliência enfatiza a capacidade de aprender, auto-organizar, e se adaptar às mudanças (ANDERIES et al., 2013).

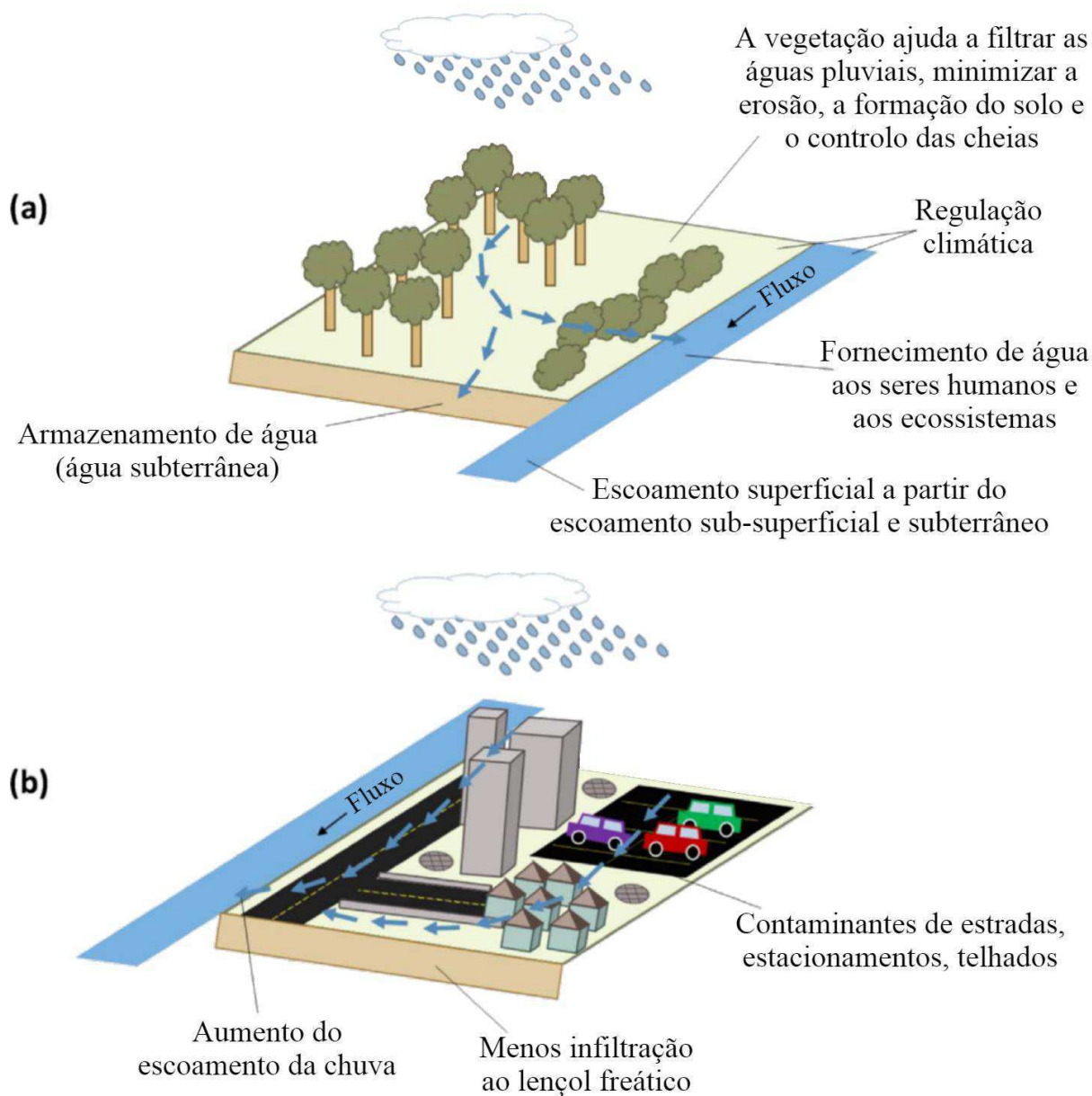
2.9. Metabolismo urbano

Algumas metodologias vêm sendo utilizadas para mensurar e direcionar os impactos socioecológicos derivados do fluxo de materiais e energia (ELLIOT, 2019), as quais podem ser adaptadas para interpretação dentro da escala urbana. Nesse sentido, um termo surge em algumas pesquisas na década de 70, desaparecendo na década seguinte e voltando ao debate nos últimos 10 anos (KENNEDY et al., 2011), o Metabolismo Urbano (MU). O termo foi inicialmente elaborado por Karl Marx (WACHSMUTH, 2012) e popularizado (WOLMAN, 1965) nos diversos campos da engenharia, economia e ecologia.

Dentro do MU, a cidade é compreendida como uma metáfora do estoque e fluxo de recursos socioecológicos que circulam através dos sistemas urbanos (ELLIOT, 2019), de forma que o ecossistema urbano se conduz em um equilíbrio dinâmico, ou seja, um sistema com entradas (inputs), estoques e saídas (outputs). Wolman (1965) sugere que as entradas são água, energia e alimentos e como outputs esgoto sanitário, resíduos sólidos e poluentes atmosféricos. Já o estoque restringe o que fica retido no processo e é transformado nos processos metabólicos urbanos para produção de serviços e produtos.

Nesse sentido, o MU conduz para uma possibilidade de julgamento dos serviços ecossistêmicos, a nível de avaliação e valorização, sendo os serviços ecossistêmicos ou de ecossistema (SE) os bens fornecidos pelo sistema para beneficiamento dos usuários (HAINES-YOUNG, 2018), demonstrados a partir da Figura 8. Existem poucos estudos conduzidos na quantificação dos SE, a nível de magnitude e fluxos (SCHRÖTER et al., 2018).

Figura 8- Serviços ecossistêmicos das águas pluviais



Sendo: (a) serviços de ecossistemas relacionados com águas pluviais em ambientes naturais e (b) impactos ambientais da infraestrutura de águas pluviais cinza, urbanização e mudança climática

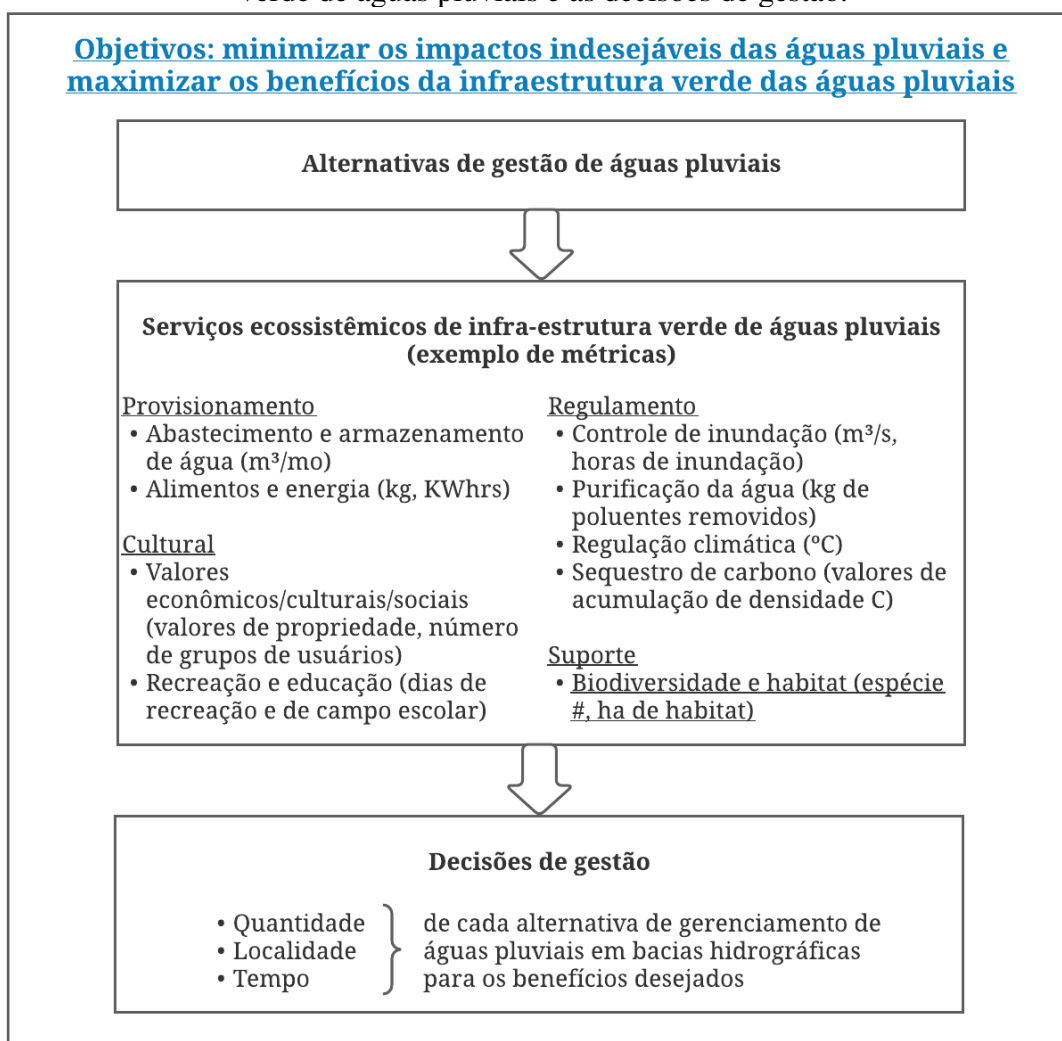
Fonte: Prudencio e Null (2018)

Muito embora a quantificação dos serviços ecossistêmicos não seja amplamente realizada, é fundamental para adequar a gestão das águas pluviais. Essa ausência parte da premissa que mesmo que esses serviços sejam, por vezes, monetizados, não são suficientemente valorizados economicamente para serem medidos (COSTANZA et al., 1997). Com a definição

de métricas para essa medição seria possível prever alguns impactos das águas pluviais, tais como erosão e a degradação da qualidade da água.

Assim como, conforme o abordado por Prudencio e Null (2018), a quantificação também pode ser utilizada para avaliar a aplicação de técnicas sustentáveis baseadas na infraestrutura verde, auxiliando tomadas de decisão em diferentes climas, regiões, e para diferentes projetos objetivos. Na Figura 9 os autores elaboraram a contribuição da quantificação dos serviços ecossistêmicos a partir da infraestrutura verde às decisões gerenciais.

Figura 9 - Conexão entre a quantificação dos serviços ecossistêmicos de infraestrutura verde de águas pluviais e as decisões de gestão.

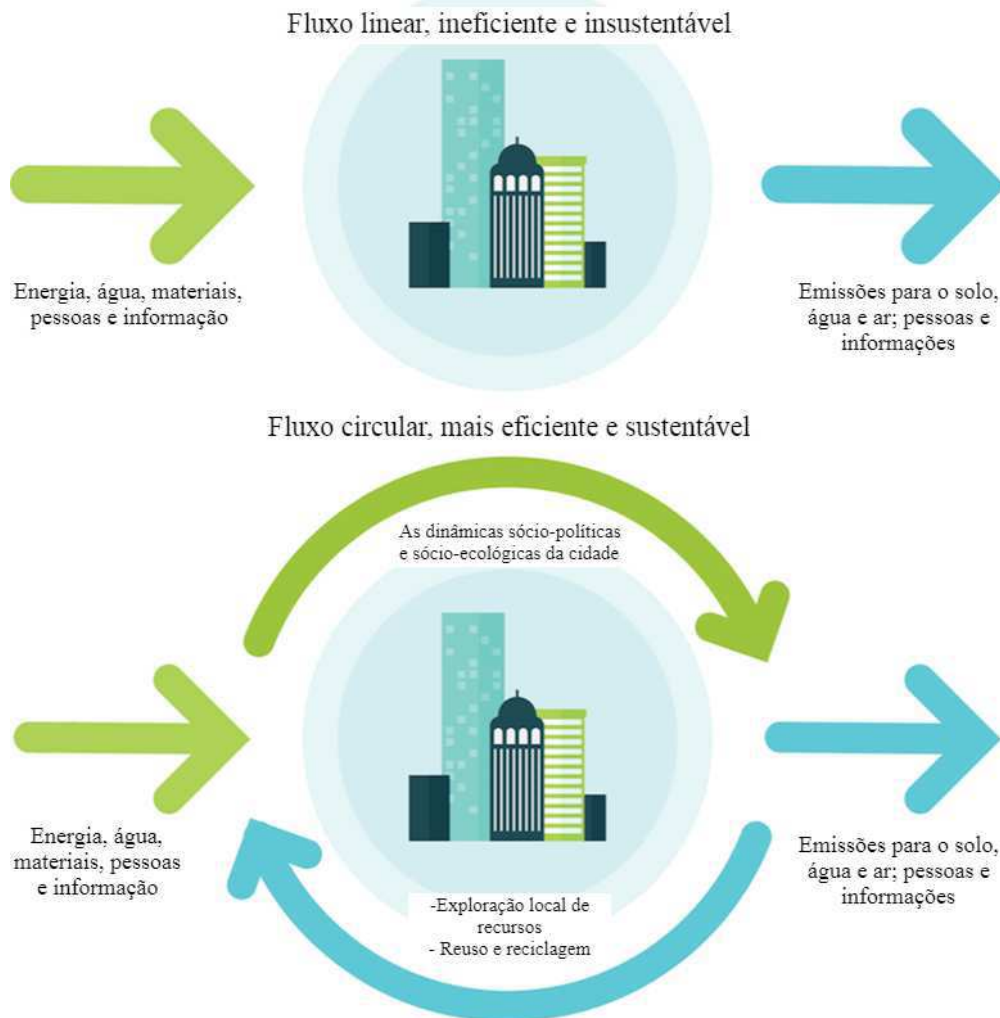


Fonte: Prudencio e Null (2018)

Neste, a avaliação do metabolismo pode guiar a gestão dos sistemas urbanos no sentido de maior eficiência metabólica. Uma área urbana eficiente metabolicamente em relação à água emularia os sistemas naturais pré-urbanização, fazendo ótimo uso das fontes hídricas internas,

reduzindo a produção de efluentes, reciclando água e os nutrientes e energia associados. O metabolismo ideal, aquele de uma cidade sensível à água, é o chamado metabolismo circular, onde grande parte dos recursos hídricos, incluindo os provenientes da própria bacia, ao invés de serem descartados, são reutilizados na própria bacia (Figura 10).

Figura 10 - Diagrama do Metabolismo Urbano



Fonte: Adaptado de Thorpe (2018)

2.10. Governança adaptativa

A interpretação da governança como um sistema socioecológico, assim como o cumprimento dos princípios institucionais, assegura a adaptação desse. O fato de estar interligada ao processo de inovação de uma estrutura institucional pode proporcionar flexibilidade suficiente para a gestão adaptativa dos recursos naturais, aumentando assim a sua capacidade de resiliência a futuras crises, mudanças e situações de incerteza. (ROCKSTRÖM et al., 2014; PAHL-WOSTL et al., 2007; LEMOS; AGRAWAL, 2006).

Desta forma, a resiliência trata da capacidade do sistema em se adequar face a perturbações e situações de estresse, assim como descrito por Holling (1973): "Uma medida da capacidade dos sistemas em absorver alterações das suas variáveis de estado, das suas variáveis determinantes e dos seus parâmetros, continuando a perdurar no tempo". O autor foi o primeiro a tratar da resiliência com um conceito adverso a "estabilidade". Inclusive, sobre a teoria proposta pelo mesmo autor, a Teoria da Resiliência, trata que um sistema que dispense um longo período em estabilidade acumula vulnerabilidades por não ter gatilhos para sua adaptação.

A governança adaptativa é uma temática atual e emergente, sendo o objeto de interesse em diversas áreas e sua gênese parte de diferentes escolas de pensamento e teorias. A priori, é importante tratar que o termo de governança abrange além da participação governamental, mas a não-governamental em escolhas e na ação coletiva (COSENS, 2018). Assim sendo, pode ser interpretada como diversas interações entre atores, redes, organizações e instituições emergentes visando um estado preferível aos sistemas socioecológicos (CHAFFIN; GOSNELL; COSENS, 2014).

Desta forma, a governança adaptativa pode ser utilizada como estratégia para mediar conflitos sociais envolvidos com a resiliência que afligem ecossistemas complexos (HUGHES et al., 2005), como também, antecipar a ocorrência destes. Além disso, Chaffin et al. (2014) associam a governança adaptativa em duas questões chaves: (1) a procura por novos modelos de governança ambiental para lidar com a natureza dinâmica e em grande escala da crise ambiental mais urgente; (2) o interesse das pessoas na governança adaptativa como um modelo potencial está crescendo.

2.11. Síntese

O referencial teórico forneceu base para análise sobre a governança do sistema de drenagem na bacia eleita para área de estudo desta dissertação (Capítulo 3), assim como da caracterização adequada para aplicação das etapas metodológicas (Capítulo 4). Igualmente, foi pertinente para as discussões sobre os resultados obtidos (Capítulo 5).

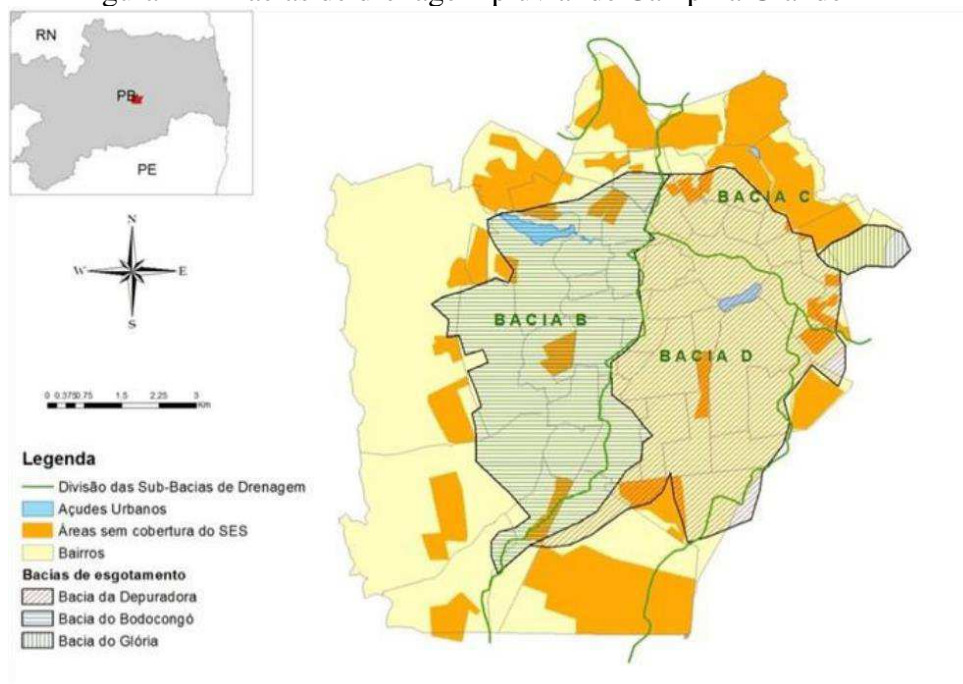
3. ÁREA DE ESTUDO

A presente pesquisa foi realizada na cidade de Campina Grande, sede do município homônimo. A cidade está localizada no agreste do estado da Paraíba, entre as regiões do baixo e médio curso do Rio Paraíba, um polo educacional, tecnológico e econômico. O município se localiza a 7°13'50'' Sul e 35°52'52'' Oeste de Greenwich, a 550 m acima do nível do mar e a uma distância de 120 km da capital do estado, João Pessoa; possui uma área territorial de 594,182 km² e população estimada em 402.912 habitantes (IBGE, 2014). Apresenta clima semiárido quente e precipitação média anual variando entre 700 mm e 800 mm, com predomínio de chuvas intensas.

A prestação de serviços referentes à drenagem urbana é de responsabilidade da Prefeitura Municipal, enquanto os demais serviços do saneamento básico são prestados por empresas públicas e por empresas terceirizadas: serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA); e os serviços de coleta e disposição final de resíduos sólidos urbanos e de resíduos de serviços de saúde por empresas terceirizadas.

Avaliando sob o aspecto das águas pluviais, a cidade é dividida em três macro bacias de drenagem (a Bacia do Riacho do Bodocongó – Bacia B, a Bacia do Riacho das Piabas – Bacia C e a Bacia do Riacho do Prado – Bacia D), que por sua vez estão divididas em trinta e nove sub-bacias (RAMALHO et al., 2014), como representado na Figura 11. Contempla um amplo sistema de drenagem, de micro (composto por bocas de lobo, sarjetas, poços de visitas, tubos de ligação e galerias) e macrodrenagem (compreende canais trapezoidais e retangulares, em sua maioria abertos, dos quais destaca-se o canal das Piabas, do Prado, de Bodocongó, da Ramadinha, das Malvinas e de Santa Rosa).

Figura 11 - Bacias de drenagem pluvial de Campina Grande - PB

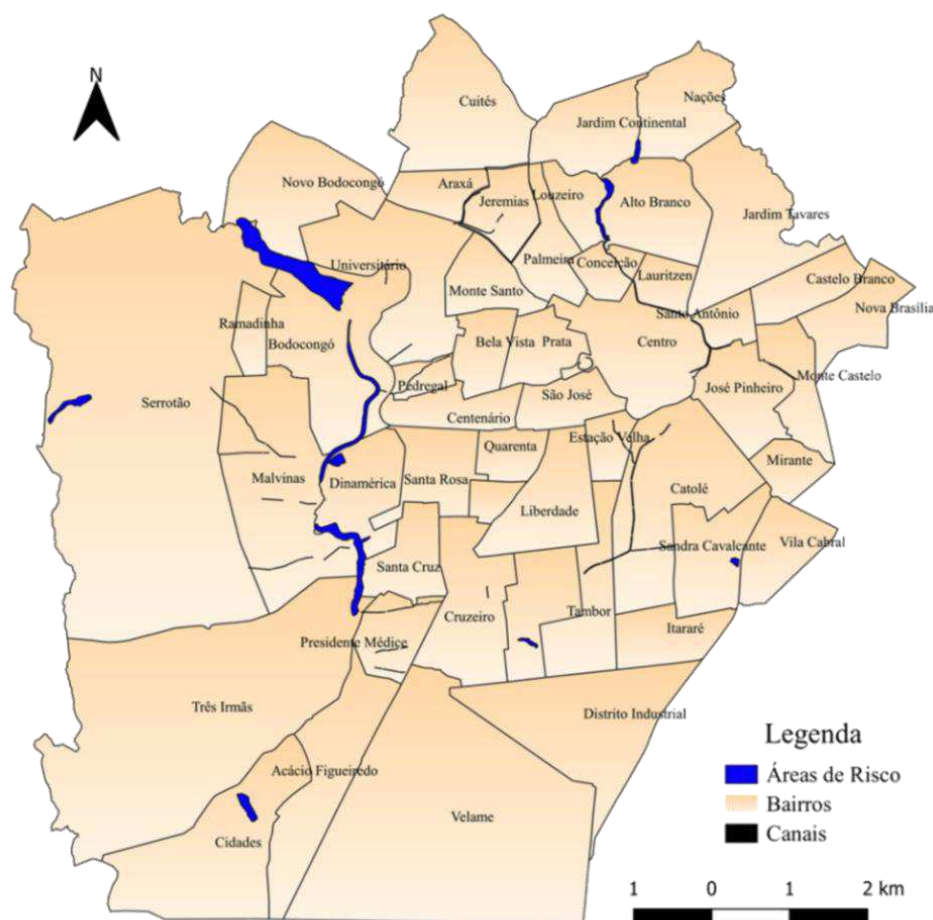


Fonte: Rocha (2018)

Mesmo possuindo um amplo sistema de drenagem, a cidade está sujeita a diferentes eventos de inundação. Segundo confirmado pela PMCG (2015), os problemas no sistema são datados desde 1985 e, até os dias atuais, pode ser considerado como deficitário, consequência de processos de assoreamento, falhas na execução de projetos e acúmulo de lixo e sedimentos. Ocorrem inclusive em regiões periféricas, atingindo populações que já são submetidas a demais vulnerabilidades, com riscos associados à disseminação de doenças e perdas.

A Defesa Civil da cidade é responsável por monitorar os canais e áreas de risco de inundações (Figura 12), além de orientar os moradores em ações públicas para reduzir os alagamentos em canais. Segundo as últimas informações da Defesa Civil de Campina Grande, datadas do ano de 2020, o município conta com 22 áreas de risco. A elaboração de mapas de risco de áreas inundáveis está a cargo do Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

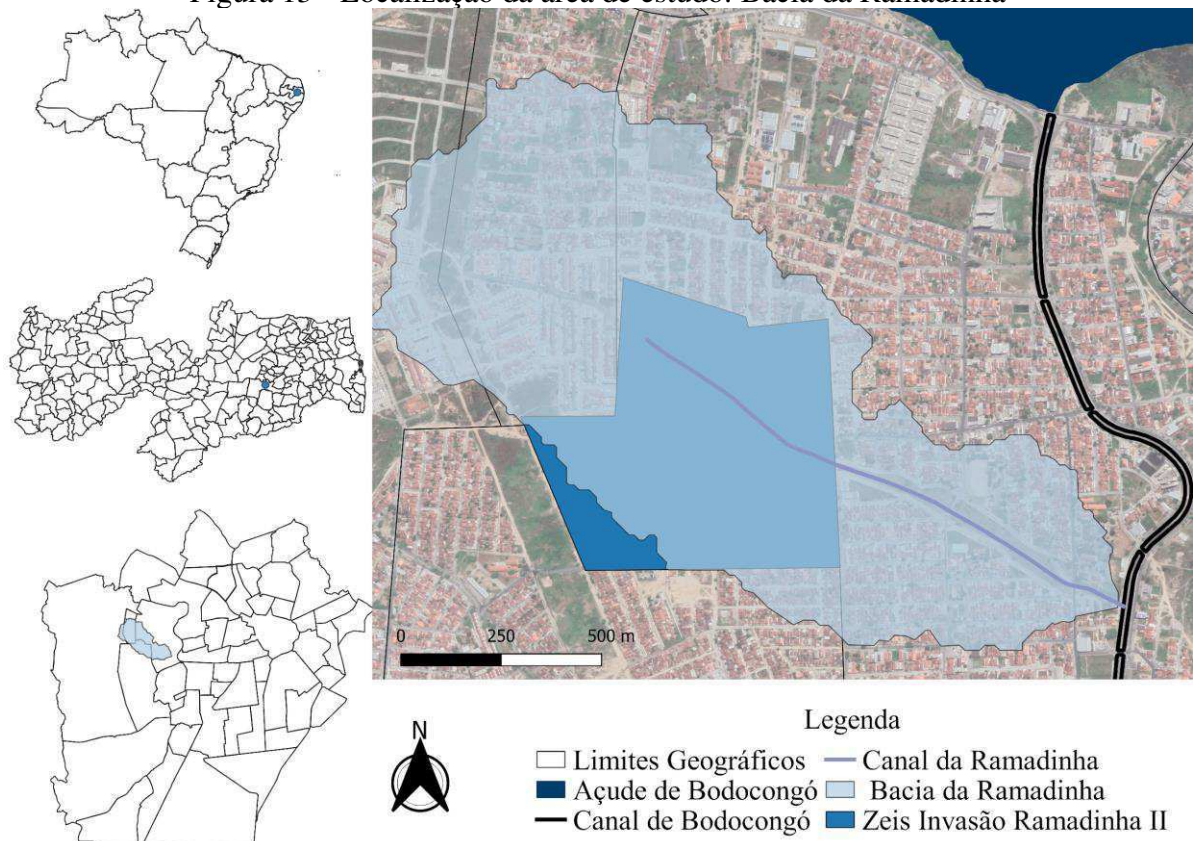
Figura 12 - Áreas de risco de inundações na cidade de Campina Grande-PB



Fonte: Adaptado de CPRM (2013)

A sub-bacia escolhida para esta pesquisa é a da Ramadinha (Figura 13), pertencente aos bairros de Bodocongó e Ramadinha, com 129 hectares, dois quais cerca de 30% são compostos por uma das Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS) do município, a ZEIS Invasão Ramadinha II. Apresenta carência de infraestrutura e equipamentos públicos, além da ocorrência de lotes irregulares. A localidade foi beneficiada com intervenções do PAC-UAP com ações e obras de terraplanagem; regularização fundiária; produção/aquisição de unidades habitacionais; abastecimento de água; esgotamento sanitário; energia elétrica e iluminação; pavimentação e obras viárias, drenagem superficial e calçadas; micro e macrodrenagem pluvial; construção de praças e criação de área verde; e Projeto de Trabalho Técnico Social (MORAES et al., 2021).

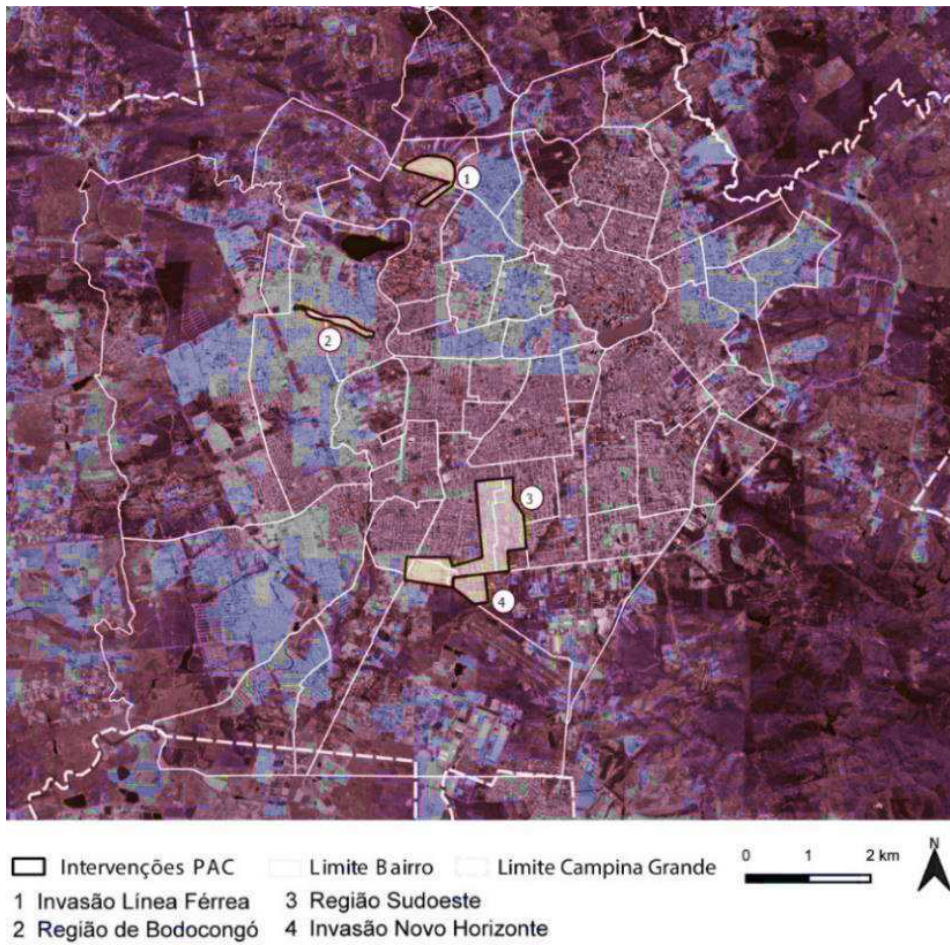
Figura 13 - Localização da área de estudo: Bacia da Ramadinha



Fonte: Veiga et al. (2021)

O município de Campina Grande recebeu investimentos do PAC, na modalidade Urbanização de Assentamentos Precários (UAP), para a implantação de quatro projetos de urbanização e regularização fundiária. A partir do programa foram realizadas diversas intervenções no município (Figura 14), das quais destacam-se a Línea Férrea do Araxá, Urbanização do Jardim Europa e Urbanização da Invasão Novo Horizonte, Urbanização do Bodocongó (MORAES et al., 2021). Esta última se discretiza em duas áreas de intervenção: a área da Comunidade de São Januário e o canal da Ramadinha.

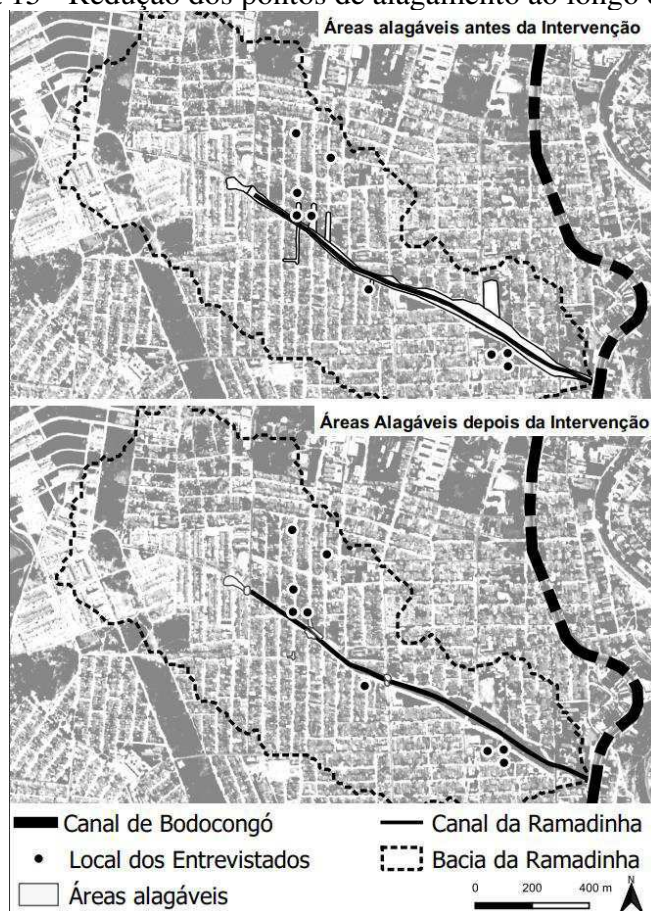
Figura 14- Intervenções do PAC em Campina Grande



Fonte: Machado et al. (2021)

A delimitação das áreas partiu da precariedade e situações de risco relacionados a ocupações em margens de cursos d'água. Desta forma, as intervenções foram majoritariamente realizadas por obras de macrodrenagem, a partir da canalização dos cursos d'água e reassentamentos. Estas intervenções promoveram impactos significativos sobre as bacias, sobretudo em sua capacidade hidráulica, ao reduzir o montante percolado superficialmente, registrado na redução dos pontos de alagamento (Figura 15).

Figura 15 - Redução dos pontos de alagamento ao longo da bacia

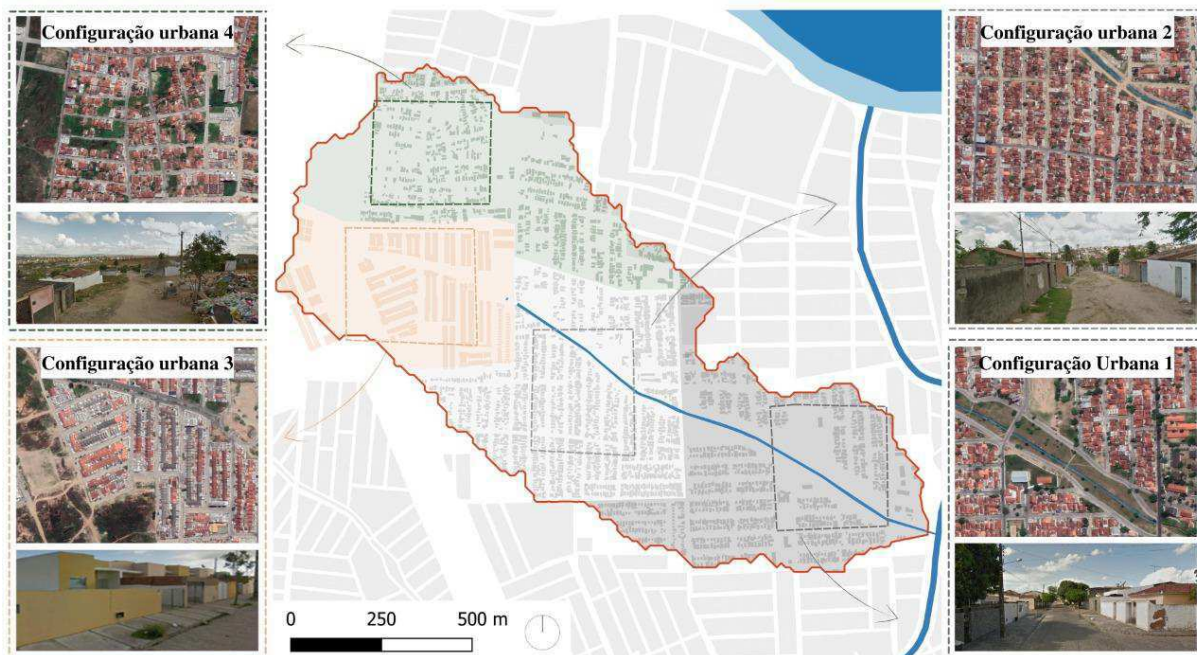


Fonte: Machado et al. (2021)

Todavia, apesar das intervenções realizadas na bacia, sobretudo no âmbito das águas pluviais, ainda foram observados problemas em seu sistema de drenagem. Em campo, observou-se depósito de lixo e resíduos em áreas adjacentes ao canal e nele, além do fluxo constante de esgoto sanitário de ligações clandestinas (SANTOS, 2021).

A área da bacia da Ramadinha pode ser dividida quatro áreas menores, com base na localização e nas semelhanças dessas áreas próximas considerando-se as questões físicas e ambientais; o parcelamento, ocupação e uso do solo; a forma urbana e tipologias das edificações; bem como as infraestruturas viárias e a mobilidade urbana. Estas áreas são determinadas em Configurações Urbanas (CUrb), demonstradas na Figura 16 e descritas no Quadro 6.

Figura 16 - Configurações Urbanas da Bacia da Ramadinha



Fonte: Galvão et al. (2022)

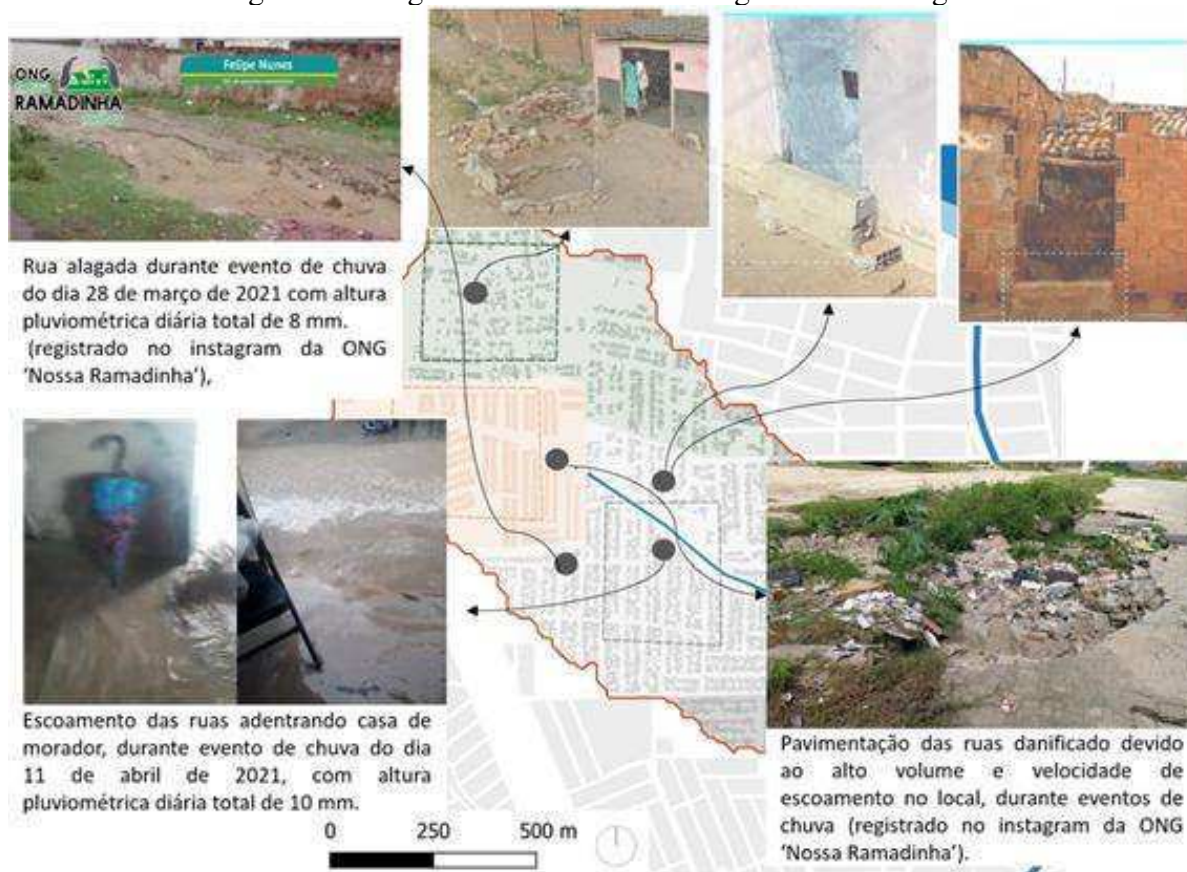
Quadro 6 - Caracterização das configurações urbanas

Curb	Traçado lotes	Declividade	Vias
1	Regular, embora as quadras apresentem tamanhos diferentes (maiores frentes de quarteirão variando de 40 a 150m)	Variando entre plano e suave ondulado, com poucos pontos ondulados e fortemente ondulada	No sentido da declividade, facilitando o escoamento das águas pluviais
2	Regular, quadras com tamanhos variados (maiores frentes de quarteirão variam de 60 a 280m) e formato parecidos	Média e com as mesmas variações da Curb 1	Em direção ao canal, e se dispõem diagonalmente às curvas de nível, a velocidade de escoamento é diminuída
3	Regular, mas com quadras de tamanhos variados (maiores frentes de quarteirão variam de 55 a 200m) ou com direção em perpendicular às outras	Variando entre plano, suave ondulado, ondulados e forte ondulada	No sentido da declividade, a velocidade das águas pluviais fica diminuída pelas trocas de direção devido às diferentes configurações das quadras
4	Padrão diferente comparado às demais e quadras com tamanhos e formatos muito variados (maiores frentes de quarteirão de cada quadra com variação de 53 a 210m)	Forte ondulada	No sentido da declividade, mas a velocidade de escoamento pode ficar diminuída em alguns pontos pelas trocas de direção devido às diferentes configurações das quadras

Fonte: Adaptado de Galvão et al. (2022)

Conforme demonstrado na Figura 15, as intervenções realizadas na bacia conseguiram reduzir as áreas alagáveis adjacentes ao canal. Muito embora, comparando-se os pontos de alagamentos mapeados pelos autores com os relatos de moradores, ainda estão presentes condições insalubres e alagamentos nas ruas que não receberam infraestrutura urbana, segundo demonstrado na Figura 17.

Figura 17 - Registros dos eventos de alagamento ao longo da bacia



Fonte: Alves (2021)

3.1. Assentamentos precários

A terminologia de “assentamentos precários” foi abordada pela Política Nacional de Habitação (PNH) para caracterizar o conjunto de assentamentos urbanos inadequados ocupados por moradores de baixa renda (BRASIL, 2010). Os assentamentos precários apresentam várias configurações, como: cortiços, loteamentos irregulares de periferia, favelas e assemelhados, além dos conjuntos habitacionais degradados. Apesar de possuírem dimensões e tipologias variados, os assentamentos possuem algumas características em comum, segundo Brasil (2010):

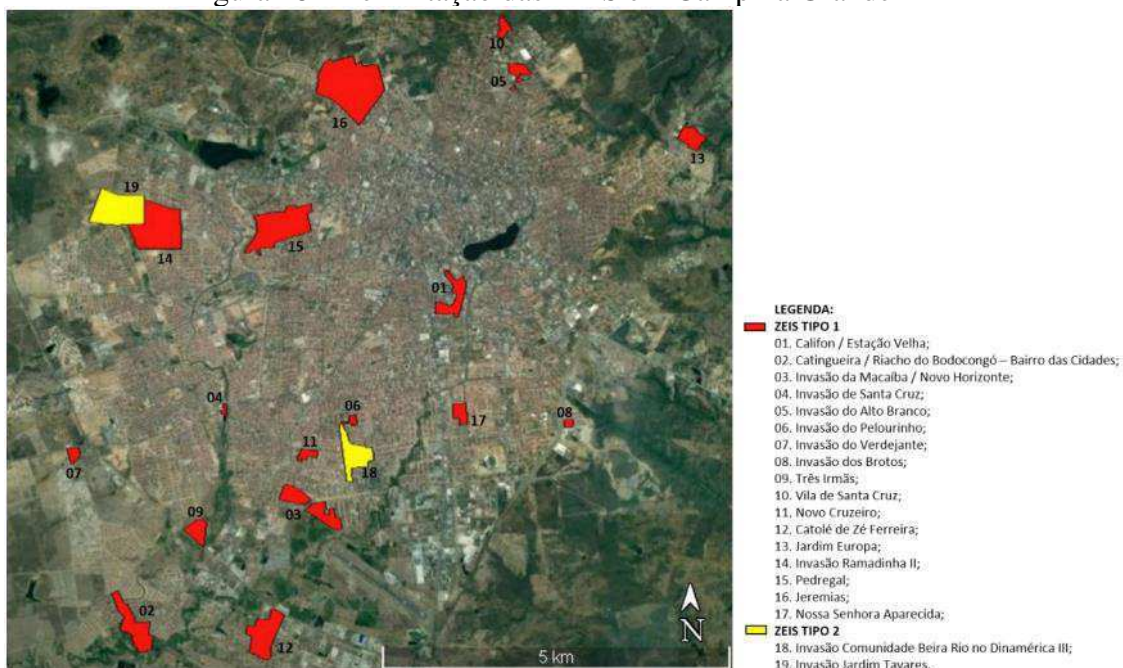
- Áreas predominantemente residenciais, habitadas por famílias de baixa renda.

- Precariedade das condições de moradia, marcadas por determinadas carências e inadequações, tais como: irregularidade fundiária; ausência de infraestrutura de saneamento ambiental; localização em áreas mal servidas por sistema de transporte e equipamentos sociais; terrenos alagadiços e sujeitos a riscos geotécnicos; adensamento.

Os conjuntos irregulares e degradados, também caracterizados como assentamentos precários, existem em várias cidades populosas (no Brasil temos 200 cidades populosas, acima de 100 mil habitantes) e demandam um trabalho de mensuração. Em Campina Grande (cidade populosa com mais de 400 mil hab), os assentamentos precários são reconhecidos como Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS), cujas formas urbanas bastante irregulares não atendem aos parâmetros mínimos exigidos pelo Código de Obras do Município (Lei Municipal 5.410 de 2013), gerando espaços livres pequenos, dispersos e irregulares. Atualmente, a cidade tem dezenove Zonas de Interesse Social, regulamentadas pela Lei Municipal Nº. 4.806/2009 e categorizadas por duas tipologias (Figura 18). O tipo 1 refere-se às áreas regulamentadas pelo poder público, enquanto tipo 2 trata das áreas não edificadas, subutilizadas ou não ocupadas, consideradas prioritárias pelo Poder Público para implantação de habitações de interesse social (BARROS FILHO et al., 2019).

Conforme segue na Figura 18, são estas: ZEIS Califon/Estação Velha; ZEIS Catingueira/Riacho do Bodocongó/Bairro das Cidades; ZEIS Invasão da Macaíba/Novo Horizonte; ZEIS Invasão de Santa Cruz; ZEIS Invasão do Alto Branco; ZEIS Invasão do Pelourinho; ZEIS Invasão do Verdejante; ZEIS Invasão dos Brotos; ZEIS Três Irmãs; ZEIS Vila de Santa Cruz; ZEIS Novo Cruzeiro; ZEIS Catolé de Zé Ferreira; ZEIS Jardim Europa; ZEIS Invasão Ramadinha II; ZEIS Pedregal; ZEIS Jeremias; ZEIS Nossa Senhora Aparecida; ZEIS Invasão Comunidade Beira Rio no Dinamerica III; e ZEIS Invasão Jardim Tavares.

Figura 18 - Delimitação das ZEIS em Campina Grande-PB



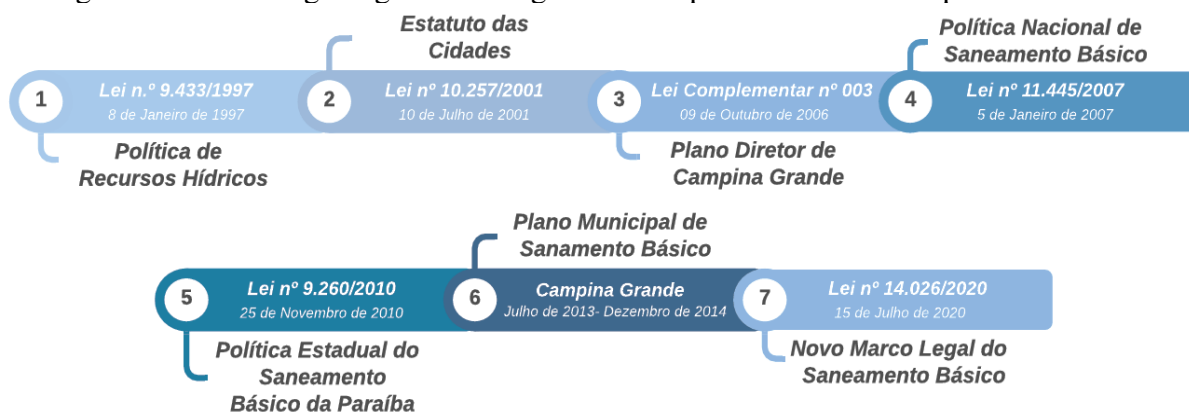
Fonte: Barros Filho et al. (2019)

A Lei municipal 4.806/2009 ainda prevê a integração destas áreas à cidade formal, visando a garantia do direito à moradia, implantação de infraestrutura básica, serviços e equipamentos comunitários e controle efetivo do uso do solo urbano. Além disso, se almeja incentivar a participação social da comunidade no processo de urbanização (CAMPINA GRANDE, 2009).

3.2. Histórico legal e institucional local

A cronologia das regulamentações sobre a drenagem urbana a nível federal, estadual e municipal está disposta no Quadro 7 e Figura 19, além de marcos relevantes.

Figura 19 - Cronologia legal da drenagem urbana para cidade de Campina Grande-PB



Fonte: Autora (2022)

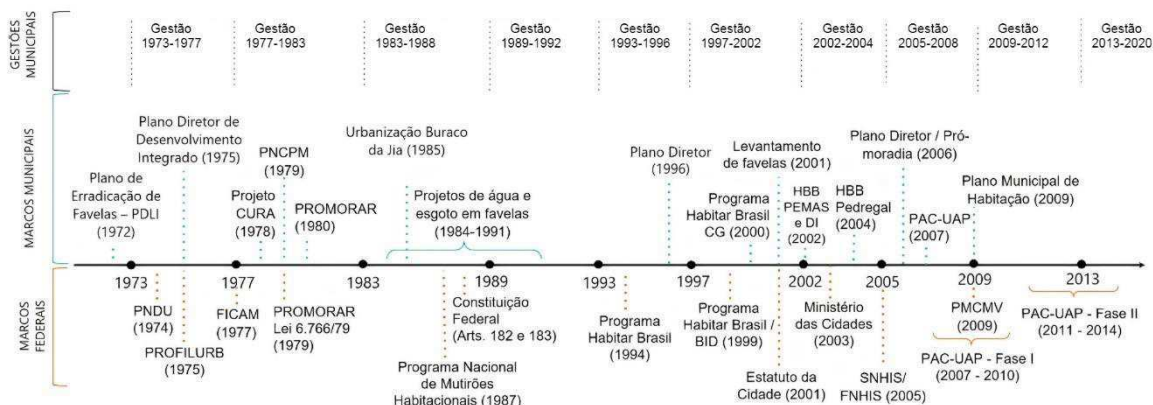
Quadro 7 - Cronologia da legislação sobre Drenagem Urbana no Brasil, Paraíba e Campina Grande

Unidade Administrativa	Ano	Assunto
Federação	1997	Lei n. ° 9.433/1997. Política Nacional de Recursos Hídricos
Federação	2001	Lei nº 10.257/2001. Estatuto das Cidades (EC). Estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental.
Campina Grande - PB	2006	Lei Complementar nº 003/2006. Promove a revisão do Plano Diretor do Município de Campina Grande (PD-CG), delimitando a política de gestão urbana do Município.
Federação	2007	Lei nº 11.445/2007. Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB). Dispõe sobre a Política e Plano de Saneamento Básico (água, esgoto, resíduos e drenagem).
Paraíba	2010	Lei nº 9.260/2010. Política Estadual do Saneamento Básico da Paraíba (PESB-PB). Institui princípios e estabelece diretrizes da política estadual de saneamento básico, autoriza e disciplina a gestão associada de serviços públicos de saneamento básico, estabelece os direitos e deveres dos usuários dos serviços de saneamento básico e dos seus prestadores, e dá outras providências.
Federação	2012	Lei nº 12.608/2012. Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC. Autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres.
Campina Grande- PB	2014	Plano Municipal de Saneamento Básico de Campina Grande-PB (PMSB-CG). Instrumento norteador do planejamento das ações de saneamento básico no município, atendendo ao PNSB. Cujos principais objetivos consistem na melhoria da salubridade ambiental, a proteção dos recursos hídricos, a promoção da saúde pública, e a universalização dos serviços.
Federação	2020	Lei nº 14.026/2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento.

Fonte: Adaptado de Carmo e Marchi (2014)

A partir da análise histórica institucional do município de Campina Grande, promovida por Moraes et al. (2021) na faixa temporal de 1973 a 2020, observam-se mudanças bruscas na concepção e gestão de programas, projetos e ações públicas (Figura 20), em função das disputas políticas entre famílias tradicionais, grupos de poder e arranjos políticos local e antagônicos, que se revezam no poder, tanto na gestão municipal quanto na gestão estadual. Isso implicou em alterações e possíveis interrupções de ações em curso e nas concepções que davam ênfase às políticas de urbanização e nos arranjos de governança nas secretarias que operacionalizam as ações, impactados por acordos motivados por práticas clientelistas dos partidos que compunham o governo, interrompendo o fluxo orgânico da condução dos planos sanitários e urbanísticos.

Figura 20 - Linha do tempo de marcos municipais, federais e gestões



Fonte: Adaptado de Moraes et al. (2021)

Dentro do contexto histórico, se destacam marcos como a execução do Programa de Saneamento Ambiental, dentro da gestão 1973-1977, que proporcionou a reabilitação de áreas alegáveis, construção de galerias de águas pluviais e restauração de conjuntos habitacionais populares e vias de acesso (OLIVEIRA, 2005). Nesse período, ainda, foi aprovada a Lei nº176/1975 que instituiu o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado do Município de Campina Grande (PDDI), com o intuito de ordenar o desenvolvimento físico, econômico e social, abrangendo diversos aspectos da administração municipal como saneamento ambiental, habitação, transporte e mobilidade urbana, reabilitação de áreas centrais etc.

Na gestão seguinte, 1977-1983, não houve conflitos políticos na transição do mandato e as resoluções anteriores foram mantidas. Assim, as diretrizes do PDLI encontraram bases para serem postas em prática, por meio de programas federais (OLIVEIRA, 2005; LIMA, 2012). Dentre os programas, destaca-se o Programa de Erradicação de Sub-habitação (PROMORAR), lançado pelo Governo Federal em 1979 e aprovado no município em 1981, com intervenções nas favelas Pedreira do Catolé e Jeremias por meio deste. A intervenção falhou por assentar as construções em um terreno instável “aterrado” com lixo; desta forma as casas eram frequentemente inundadas por água contaminada. Esta situação sucedeu com a exigência da população ao poder público sobre construção de um sistema de drenagem eficiente. Conseqüentemente, o programa focou em investimentos em drenagem, implantação de rede de água, esgoto e energia, entre outras reivindicações (SILVA, 1986). Apesar dos problemas, o PROMORAR marcou as intervenções urbanísticas, sobretudo em áreas de assentamentos precários por priorizar a permanência da comunidade em sua área de origem. Segundo o programa:

Procura-se atuar no próprio espaço das favelas, recuperando o meio ambiente, de forma a evitar os transtornos sociais das remoções das famílias para pontos afastados do local de origem, através da legalização da propriedade. Deste modo, são preservados os vínculos comunitários (CAMPINA GRANDE, 1983, p.193).

Em sequência, inicia-se a gestão 1983-1988 que inova por investir no sistema viário e, assim, interliga mais bairros. Desta forma, se iniciaram intervenções nas periferias urbanas e nas favelas, áreas que coincidem com os pontos de descontinuidade da rede de abastecimento de água (CARVALHO, 2020). Assim, torna-se assertiva a justificativa que o planejamento urbano, até então, excluía essas áreas e sucede a elaboração dos projetos de saneamento. Porém, as intervenções foram executadas paulatinamente e assim não supriram as demandas locais, mesmo melhorando a qualidade de vida da população (ARAÚJO, 2014).

A gestão 1989-1992 é caracterizada pela ampliação do índice de saneamento básico do município e inauguração do Canal do Prado, importante obra de macrodrenagem da cidade (RODRIGUES; MELO, 2014). Nesse período a tendência de expansão e adensamento dos aglomerados subnormais requereu uma maior atenção do poder público, sucedendo em artigos sobre projetos de urbanização de favelas no Plano Diretor do Município de Campina Grande (Lei nº3236/1996), no qual os loteamentos deveriam priorizar “I – A implantação de abastecimento de água, eletrificação, esgotamento sanitário e pavimentação; II – Tratamento das vias e execução da drenagem pluvial; III – Implantação de equipamentos comunitários [...]” (CAMPINA GRANDE, 1996).

Em sequência, no ano de 2010 foi implantado o Plano Municipal de Habitação de Interesse Social (PMHIS) que traz importantes referências aos assentamentos precários e às aptidões institucionais, sobretudo no quesito de redução de riscos, preservação ambiental e garantia da segurança, salubridade e habitabilidade da população. Já em 2007 ocorreu o lançamento do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), que visou o impulsionamento do desenvolvimento econômico do país a partir da implantação de infraestruturas, ampliando os investimentos em intervenções de assentamentos precários, com uma abordagem integrada das dimensões social, urbana-ambiental e fundiária.

Nessas intervenções, os programas responsáveis pelo financiamento dos projetos também subsidiaram a ampliação da estrutura institucional, mesmo que a administração pública municipal não possuísse uma capacidade de atuação combinada entre suas esferas, devido à desarticulação entre os setores, mudança dos quadros de funcionários e principalmente dos

cargos de comando. Relativo ao arranjo institucional, destaca-se que a Secretaria de Planejamento (SEPLAN) designou a contratação do Trabalho Social e a Secretaria de Obras a execução dos projetos arquitetônicos, urbanísticos e de infraestrutura (MORAES et al., 2021).

Nesse contexto, destaca-se que a responsabilidade dos projetos de drenagem do município de Campina Grande é da Secretaria de Planejamento Municipal (SEPLAN) e sua execução e fiscalização fica à cargo da Secretaria de Obra Municipal (SECOB), muito embora também há algumas obras que processos licitatórios foram envolvidos, transferindo a responsabilização a terceiros. Todavia, torna-se necessário descrever detalhadamente a organização dessas secretarias.

A SEPLAN é integrada, atualmente, pelos seguintes setores: Protocolo-Geração de taxas (PRO-TAXA); Assessoria Técnica (ATEC); Gerência Administrativa (GAD); Coordenadoria de Habitação de Interesse Social (CHIS), composta pela - Gerência de Desenvolvimento Comunitário e Trabalhos Sociais (GDCTS) e Gerência de Planejamento e Programas Habitacionais (GPPH); e Coordenadoria de Planejamento Urbano (CPU), integrada pela Diretoria de Controle Urbano (DCU), composta pela Gerência de Controle de Cadastro (GCC) e pela Gerência de Controle e Parcelamento do Solo (GCPS), e pela Diretoria de Planejamento Urbano e Regional (DPUR), integrada pela Gerência de Desenvolvimento e Informação (GDI), Gerência de Projetos Arquitetônicos e Desenhos Urbano (GPADU) e Gerência de Sistemas Urbanos (GSU). Desses setores, os mais diretamente envolvidos com a urbanização e regularização de favelas foram a Coordenadoria de Habitação de Interesse Social, com o Trabalho Técnico Social e a Diretoria de Planejamento Urbano e Regional, responsável pela elaboração de projetos urbanísticos e arquitetônicos.

A SECOB, é composta pelos setores seguintes: Assessoria Jurídica (AJUR); Coordenação de Contrato e Convênio do OGU (COGU); Coordenadoria de Obras (COOBRAS), integrada por Empenho (EMP), Gerência de Iluminação Pública (GEIL) e Gerência de Manutenção de Áreas Urbanas (GMAU); Defesa Civil (DC); Departamento de Normas e Regulamentações (DNR); Gabinete da Secretaria (GAB); Gerência Administrativa (GEAD); e Suporte Técnico (TI). Desses setores, os mais envolvidos com as intervenções em favelas foram a Coordenação de Contrato e Convênio do OGU e a Coordenadoria de Obras.

4. MÉTODOS

4.1. Estrutura metodológica

A estrutura metodológica utilizada nesta pesquisa, representada na Figura 21, foi desenvolvida visando investigar a governança da drenagem urbana no município de Campina Grande – PB, a partir do arcabouço socioecológico. São promovidas análises combinadas multinível do sistema e institucional, que fornecem limites para análise e *feedback* estruturado para a análise da robustez institucional, acrescida de simulações hidrológicas através do Storm Water Management Model (SWMM), para quantificar os eventos de inundação a longo da bacia.

Figura 21- Estrutura metodológica geral da pesquisa

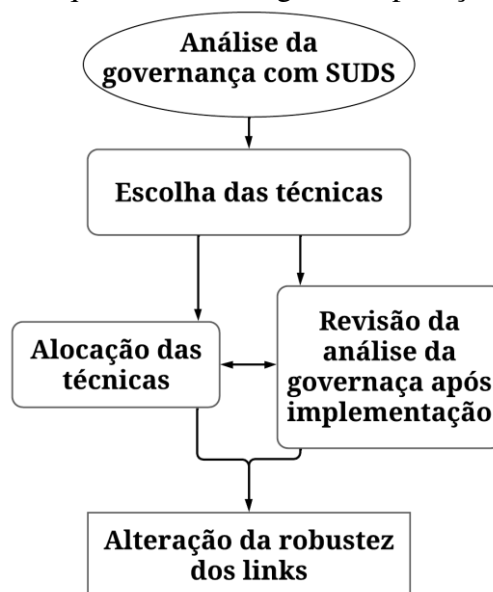


Fonte: Autora (2022)

Em sequência, foi investigada a aplicação de técnicas SUDS ao longo da bacia (Figura 22), no qual se objetiva, além aferir a capacidade hidráulica dos dispositivos, sua capacidade de influenciar na governança do sistema. A escolha da proposta de técnicas SUDS está relacionada com a priorização de medidas estruturais convencionais na área objeto do estudo. Inicialmente foram elencadas quais as técnicas oportunas e aplicáveis de acordo com as condições infraestruturais e sociais da bacia. Em seguida, estas foram alocadas de acordo as

condições previamente aferidas em consonância com os resultados obtidos da governança da bacia em seu estado quo. Por fim, no processo comparativo foi possível determinar a alteração da robustez do sistema. Deste modo, após a identificação dos locais aptos ao recebimento das técnicas SUDS selecionadas, com os cartogramas de adequabilidade, foram quantificadas as áreas de cada técnica sustentável em cada sub-bacia discretizada, de modo a dar entrada destes dados no modelo de simulação. Parte deste trabalho foi realizada pela equipe do projeto de pesquisa, cujos resultados foram aqui utilizados, conforme descrito nos tópicos a seguir.

Figura 22- Esquema metodológico da aplicação de SUDS



Fonte: Autora (2022)

4.2. Análise multinível do sistema e institucional

A análise institucional foi realizada com o objetivo de compreender o sistema de drenagem urbana no município em face às falhas evidenciadas em eventos antecedentes. Assim se procede com a interpretação do sistema de águas pluviais como um SSE, segundo a estrutura proposta por McGinnis e Ostrom (2014). O sistema socioecológico é identificado e caracterizado de acordo com seus cenários social, econômico e político; sistema de recursos; unidades de recursos; usuários; e governança. Todos os componentes integrantes do SSE foram delimitados (Anexo A), com suas respectivas variáveis em multiníveis.

Uma vez caracterizado o SSE, a análise da consistência entre os princípios de projeto institucional de Ostrom pode ser realizada. Desta forma, se analisa a aderência das instituições aos princípios institucionais em dois parâmetros analíticos: o conteúdo das políticas e a estruturação dos sistemas de gestão. Para interpretação quantitativa da análise dos princípios

institucionais, foi utilizada uma escala Likert de 1 a 5 (Tabela 1), e os descritores para elaboração da escala estão detalhados no Anexo C (Adaptado de NETO et al., 2017).

Ademais cada princípio foi avaliado segundo critérios de adequação e inadequação (Anexo B), de forma a avaliar como o sistema se alinha com os princípios e que oportunidades existem para tornar a gestão mais sustentável. Este trabalho reforça estudos anteriores e aumenta o grande corpo de investigação empírica destes princípios para alcançar uma melhor governança.

Tabela 1 - Escala Likert para pontuação de cada princípio

Pontuação	Associação	Implementação	Resultados em campo	Impacto na política
1	Sem associação	Nenhuma Implementação	Nenhuma evidência de mudança	Sem impacto
2	Fraco	Fraco	Fraco	Fraco
3	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
4	Forte	Forte	Forte	Forte
5	Associação total	Implementação total	Grandes evidências de mudança	Impacto muito forte

Fonte: Adaptado de Neto et al. (2017)

4.3. Análise da robustez

A interpretação da robustez do sistema seguiu a proposição da metodologia elaborada por Anderies, Jansen e Ostrom (2004), adaptada por Anderies, Barreteau e Brady (2019), da Figura 11, que utiliza as variáveis da IAD *Framework* com as conexões do sistema sendo representadas através de ligações, com verbos de representação da ação e dinâmica. A delegação se o sistema é robusto ou não fica a cargo do nível de complexidade apresentada, avaliado ao grau de conexões, assim como da própria robustez das conexões. Aqui, tal abordagem é usada para entender as relações entre as instituições municipais, população, infraestruturas de abastecimento de água, de drenagem de águas pluviais e de equipamentos públicos, e ambientes natural e construído.

Nesse sentido, na tentativa de qualificar a robustez do sistema, utilizam-se os resultados aferidos a partir da investigação dos princípios institucionais, de forma que: o primeiro princípio implica que caso os limites não sejam bem delimitados os atores tendem a não confiar nos demais; o segundo princípio trata que quando as decisões são adequadas existem menos hipóteses que os utilizadores do recurso tendem a desafiar ou confrontar as políticas do

fornecedor da infraestrutura pública; o terceiro resulta que as regras elaboradas pelos próprios utilizadores tendem a ser mais compreendidas e aceitas (ANDERIES et al., 2003).

Os três primeiros princípios possuem interpretação clara da dinâmica social, todavia não representam, em completude, a robustez do sistema. Assim, o monitoramento (Princípio 4), as sanções graduadas (Princípio 5), os mecanismos de resolução de conflitos (Princípio 6) e o reconhecimento dos direitos formais dos usuários (Princípio 7) assumem a interpretação da infraestrutura pública, a partir do controle em *feedbacks* para o uso de recursos. Se os usuários não possuem informações básicas sobre o estado do sistema e dos demais agentes, o SSE se fragiliza mediante à conflitos de interpretação (ANDERIES et al., 2003).

Além disso, agrupar instituições locais em uma rede mais ampla de instituições de médio a grande porte pode ajudar a garantir que problemas maiores, bem como problemas menores, sejam resolvidos. As organizações que não conseguem manter os recursos são frequentemente caracterizadas por poucos desses princípios de *design*, enquanto as organizações que são caracterizadas por alguns, mas não a maioria, são frágeis (ANDERIES et al., 2003).

4.4. Simulação hidrológica

O modelo utilizado na pesquisa foi o Storm Water Management Model (SWMM), também para os cenários atual e alternativo, que consiste em um modelo dinâmico chuva-vazão de simulação do escoamento superficial em bacias urbanas, nos seus aspectos de quantidade ou qualidade. As simulações foram produções do grupo de pesquisa a qual esse trabalho está inserido (MACHADO et al., 2021). Alves (2021) descreve a parametrização e simulações para a bacia.

Um dos produtos da modelagem consiste no hidrograma de escoamento superficial, a partir da consideração das áreas de simulação como um conjunto de sub-bacias hidrográficas que recebem vazões de entrada – precipitação ou contribuições a montante – e gera vazões de saída – infiltração, evaporação, armazenamento e escoamento superficial, caso ocorra o extravasamento da sub-bacia (SWMM USER’S MANUAL, 2015). Neste modelo, as sub-bacias podem ser subdivididas em: áreas permeáveis sem armazenamento, áreas permeáveis com armazenamento e áreas impermeáveis com armazenamento. O cálculo da infiltração pode ser realizado seguindo três métodos:

- i) a equação de Horton;
- ii) o método de Green-Ampt,
- iii) e o método SCS que considera a curva número da sub-bacia para avaliar a capacidade de infiltração.

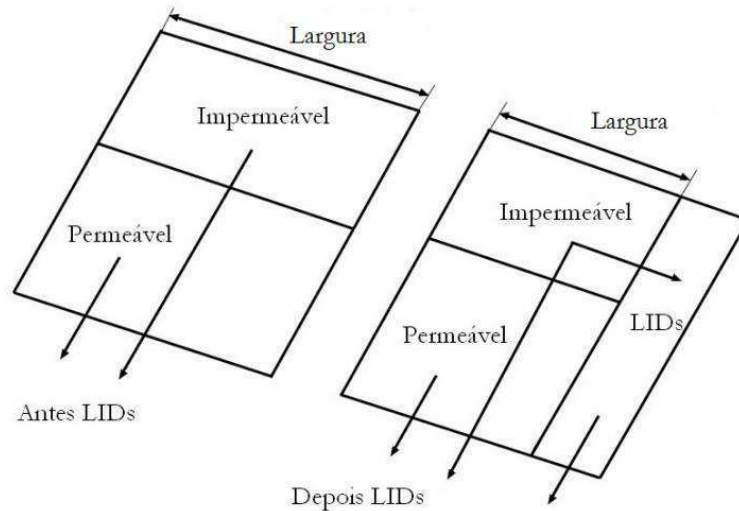
Enquanto o fluxo em uma sub-bacia pode ser modelado através dos:

- i) método do fluxo em regime uniforme;
- ii) método da onda cinemática
- iii) ou método da onda dinâmica.

Os utilizados na simulação foram o método SCS e a onda cinemática. Para entrada no modelo são necessários a inserção dos dados de precipitação, em séries temporais tipo IDF ou hietograma do evento, e as características fisiográficas e geomorfológicas da bacia, tais como: a área e declividade das sub-bacias, o coeficiente de rugosidade de Manning, os parâmetros de infiltração e a altura do armazenamento em depressões.

Além disso, o modelo também é utilizado avaliar o efeito integrado das técnicas de drenagem compensatórias e de baixo impacto em bacias urbanas. No modelo eles são aplicados de forma a subtrair uma parcela do escoamento superficial por meio de processos de retenção, infiltração e evaporação. Segundo o SWMM User's Manual (2015), a forma de inserir estas técnicas de baixo impacto, denominadas no modelo como LIDs, nas sub-bacias é alocar diversos tipos de controle a uma determinada sub-bacia ou criar uma sub-bacia apenas para estes dispositivos. Neste primeiro, os objetos não podem trabalhar em série e, portanto, a saída de um controle não pode servir de entrada para o outro, havendo ainda necessidade de ajuste na porcentagem de área impermeável da sub-bacia e na largura de escoamento, como mostra a Figura 23.

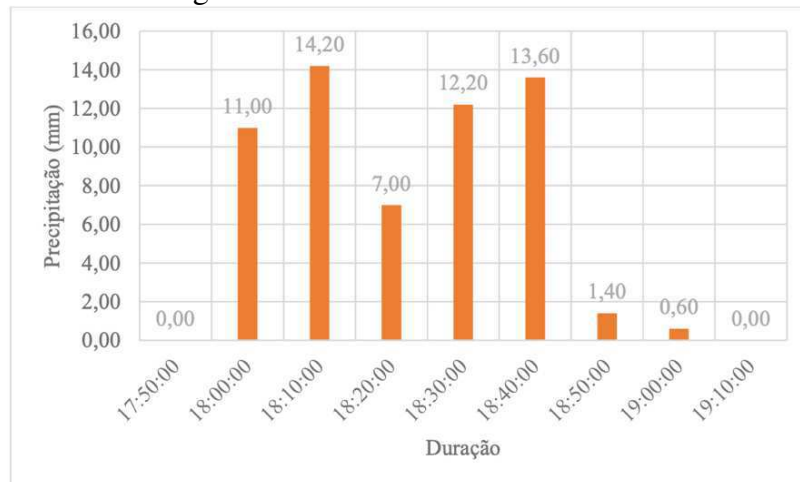
Figura 23 - Esquema representativo do funcionamento das LIDs no SWMM



Fonte: SWMM User's Manual (2015)

Utilizou-se um evento pluviométrico real capaz de produzir inundações repentinas como entrada no modelo (Figura 24). O SWMM foi parametrizado de forma a reproduzir as configurações espaciais que ocasionam a geração e a propagação do escoamento, estimando, para cada cenário, a distribuição dos pontos de alagamento em toda a bacia hidrográfica (Figura 25).

Figura 24 - Evento de chuva simulado

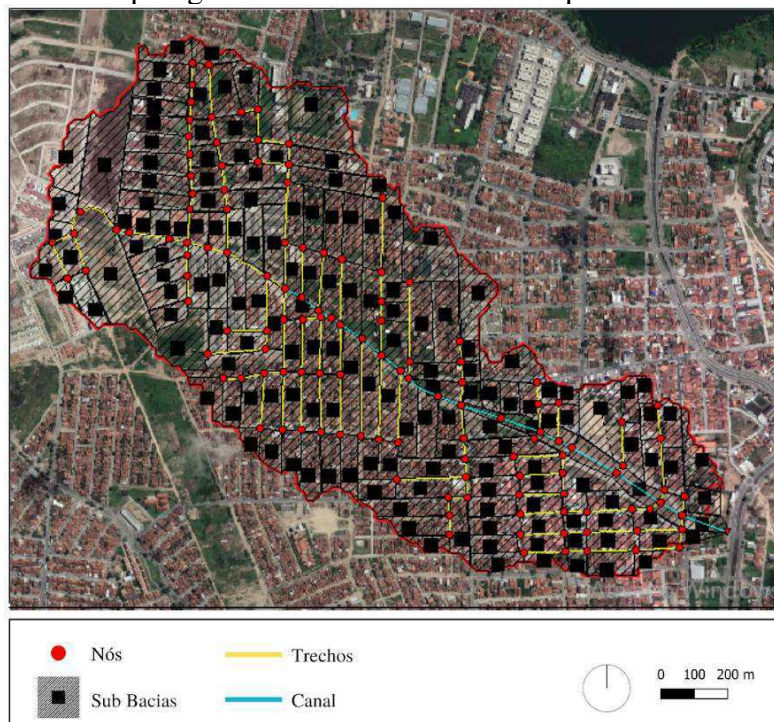


Fonte: CEMADEN (2020)

O transporte ou armazenamento do escoamento superficial são representados pelos objetos de nós, condutos e unidades de armazenamento. Para a formação da topologia da sub-bacia da Ramadinha no SWMM, os nós e trechos foram distribuídos na extensão do canal, nas bocas de lobo existentes e ao longo das vias. Para obter um maior nível de detalhe durante a

simulação, as sub-bacias discretizadas foram delimitadas através dos limites das quadras de contribuição para cada nó. Conforme Alves (2021), ao todo, foram cadastradas 199 sub-bacias, 209 nós e 239 trechos no modelo (Figura 25).

Figura 25 - Topologia da bacia da Ramadinha representada no SWMM



Fonte: Alves (2021)

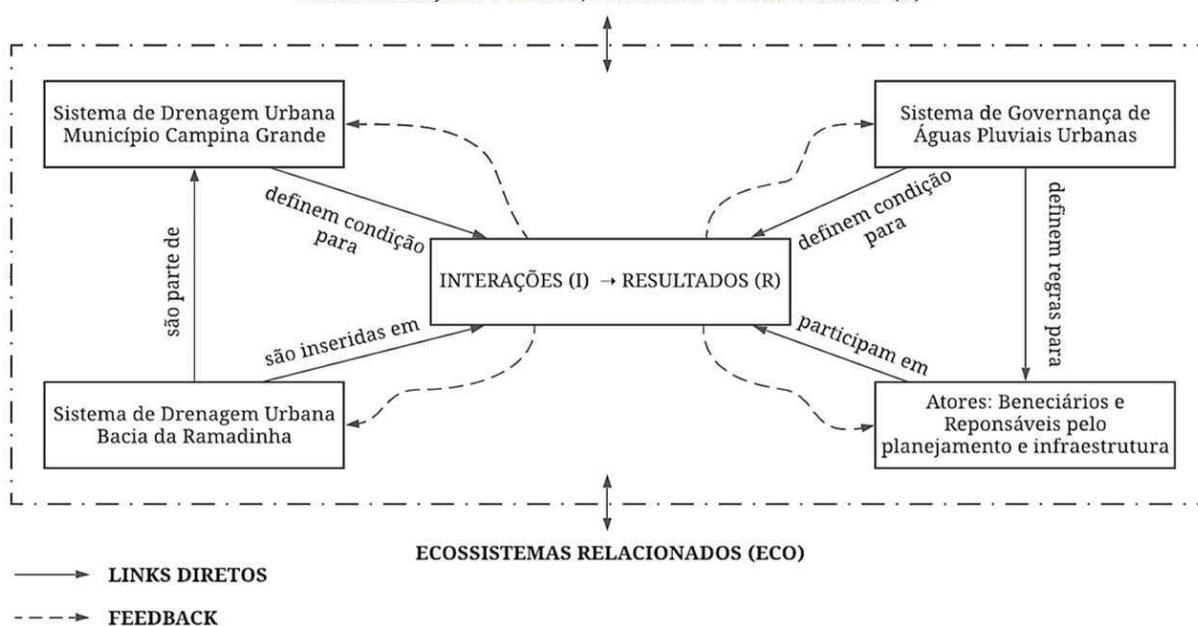
Neste contexto, destaca-se que os relatos dos moradores, resultado do projeto da pesquisa, foram utilizados para validar os resultados obtidos, uma vez que não foi possível realizar visitas em campo e não há dados observados para calibração e validação do modelo da bacia estudada. As entrevistas realizadas no âmbito do projeto, conduzidas à distância, através de chamadas de voz e vídeo, junto a uma amostra de moradores das diferentes configurações urbanas (SANTOS, 2021; MACHADO et al., 2021), foram oportunas à compreensão e explicação do modelo de governança investigado na gestão da localidade. Elas foram complementadas com aferição dos documentos legais existentes e registros de veículos de imprensa e redes sociais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Drenagem urbana como SSE

A interpretação do sistema do município como um SSE está representada na Figura 26 e a seguir estão descritas cada variável do sistema.

Figura 26 - Variáveis do sistema socioecológico em um sistema de águas pluviais urbanas CONFIGURAÇÕES SOCIAIS, POLÍTICAS E ECONÔMICAS (C)



Fonte: Autora adaptado McGinnis e Ostrom (2014)

As variáveis são:

- Sistema de Governança: as políticas nacional e estadual do saneamento, o plano municipal de saneamento, plano diretor municipal e código de obras e as relações de governança, que contemplam as autoridades governamentais e a comunidade.
- Sistema de Recursos: segundo as delimitações da política, a unidade de gestão consiste no próprio espaço geográfico da cidade.
- Unidades de Recursos: as unidades de recurso do SSE são compostas pelas bacias urbanas, sendo a unidade mínima de intervenção por parte do poder público. Assim, a drenagem na bacia da Ramadinha é a unidade do recurso.
- Atores: os atores do SSE são tanto os beneficiários quanto os responsáveis pelo planejamento e projetos de infraestrutura em macro e microdrenagem.
- Ecossistemas relacionados: os principais ecossistemas que influenciam fortemente no escoamento das águas pluviais são a variabilidade climática (regime de

precipitação e eventos climáticos extremos), os ecossistemas terrestres e a cobertura e uso do solo (vegetação e área impermeabilizada).

- Configurações sociais, econômicas e políticas: os cenários social, econômico e político influenciam a governança e direcionam suas ações, em alguns casos. Neste sentido, uma intervenção para o manejo é projetada segundo seu atendimento e a vulnerabilidade da população.

A caracterização do SSE, de acordo com a variáveis de primeira e segunda ordens (ANEXO A), é apresentada no Quadro 8. Estas características são sintetizadas em quatro aspectos: aspectos das águas pluviais, aspectos técnicos, aspectos de governança e ecossistemas relacionados.

Quadro 8 - Caracterização do sistema socioecológico

Aspectos das águas pluviais	Aspectos de governança	Aspectos técnicos	Ecossistemas relacionados
Variabilidade pluviométrica Permeabilidade da superfície Limites hidrológicos Energia cinética da água de escoamento	Limites da administração delegada à autoridade municipal Ausência do Plano Diretor de Drenagem Urbana do local Políticas de Saneamento Ambiental (nacional e estadual) estimulam a formação de grupos representativos da sociedade não organizada Sem limites para apropriação do recurso	Elementos de micro e macrodrenagem Erros factuais na concepção e execução de projetos Implementação ausente das técnicas SUDS	Variabilidade Climática Aproveitamento de água da chuva Uso e ocupação

Fonte: Autora (2022)

Os aspectos das águas pluviais referem-se à unidade de recurso, devido à restrição de análise da drenagem na bacia. Os aspectos de governança combinam os sistemas de governança em seus aspectos legais e institucionais. Os aspectos técnicos poderiam ser incluídos dentro das camadas anteriores, porém são separados para destacar parâmetros operacionais e físicos. Os ecossistemas relacionados alinham-se diretamente aos fatores exógenos relevantes para o SSE.

Os aspectos das águas pluviais referem-se a um conjunto de características biofísicas e sociais que são particulares do sistema de drenagem urbana da bacia da Ramadinha. Nele se relacionam as condições de variabilidade pluviométrica características da localidade, sobretudo em função das chuvas intensas e concentradas; a permeabilidade da superfície, que condiciona

a infiltração e conseqüentemente o escoamento superficial; os limites hidrológicos, responsáveis pela delimitação geográfica da bacia; e a energia cinética da água em escoamento, relativa à capacidade dos impactos negativos sobre propriedades e pessoas.

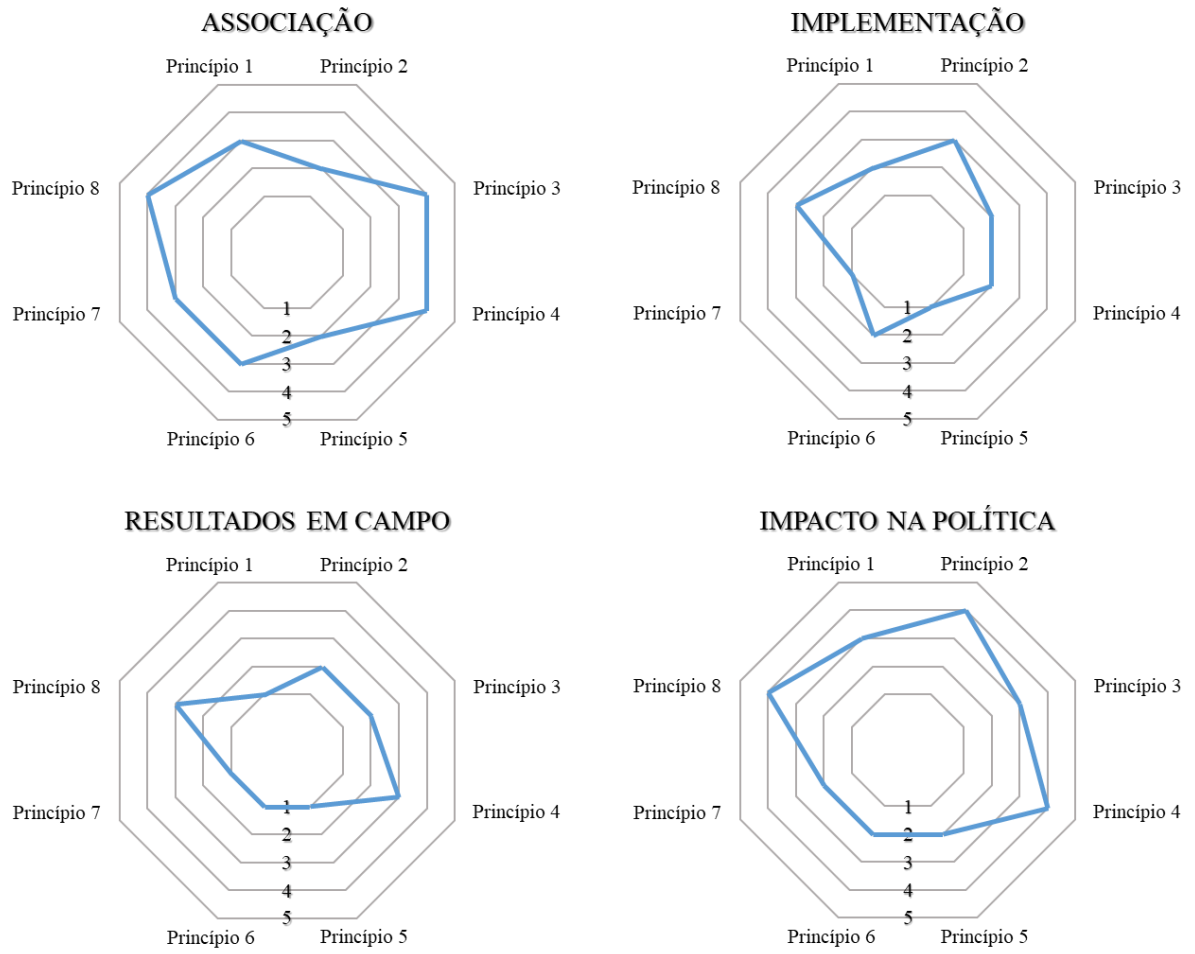
O arranjo institucional do sistema segue a dinâmica “*top-down*”, na qual a delegação dos limites de administração recai sobre a autoridade municipal, em suas secretarias municipais, muito embora os diplomas legais estimulam a formação de grupos representativos da sociedade não organizada, na garantia de uma governança participativa e adaptativa. Estes diplomas são amplos e abrangem as políticas e planos de saneamento, de recursos hídricos, de planejamento e uso do solo. Todavia, no que tange o caso de estudo, refere-se que a bacia estudada não possui um Plano Diretor de Drenagem Urbana e nem a cidade na qual está inserida. De igual forma, o arranjo carece de limites definidos para apropriação do recurso, uma vez que não é declarado legalmente.

Os aspectos técnicos afetam direta e indiretamente a eficiência da condução das águas pluviais na bacia. A disposição e locação dos elementos de micro e macrodrenagem tem correlação direta/física sobre a ocorrência dos eventos de alagamento. Porém, devido aos erros factuais na concepção e execução dos projetos (SANTOS, 2021), que promoveram o superdimensionamento do canal, o funcionamento do sistema está comprometido. Além disto, em decorrência da ausência de técnicas que visam a redução do escoamento na fonte, o problema é transferido a jusante ao canal de Bodocongó. Os fatores exógenos que afetam o SSE podem ser caracterizados através de seus ecossistemas relacionados.

5.2. Análise dos Princípios Institucionais de Ostrom

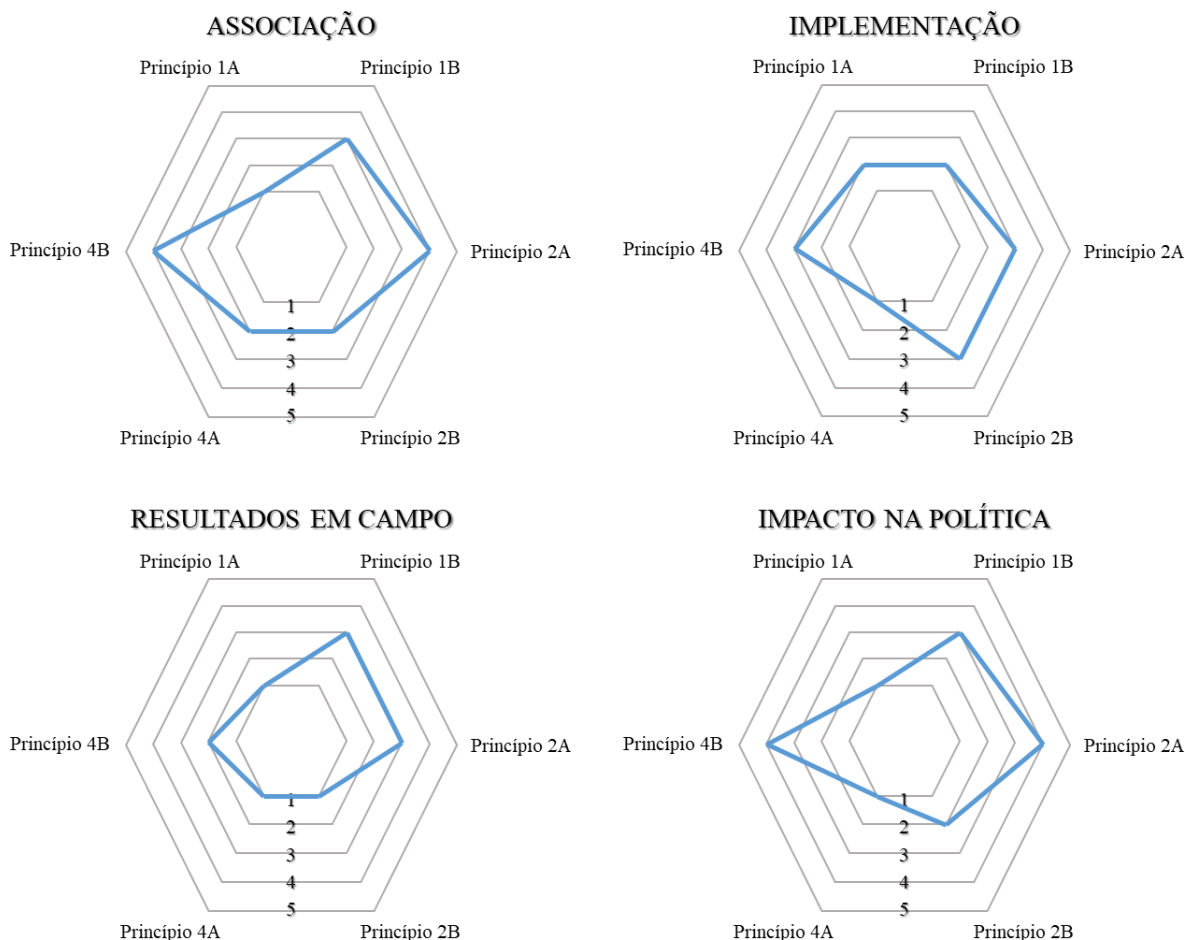
Após a elaboração do SSE, procedeu-se a análise do sistema político e da gestão das águas pluviais com base nos princípios de projeto institucional de Ostrom, detalhados anteriormente. No Anexo B estão descritos os resultados da análise do projeto de instituições, junto à análise para os princípios modificados por Cox et al. (2010), onde são avaliados os aspectos de coerência, ou não, de cada princípio compatibilizados com a situação investigada. Desta forma, foram construídas as referências de aplicação dos princípios com base na descrição da escala de Likert (Figuras 27 e 28).

Figura 27 - Escalas de aplicação dos princípios institucionais



Fonte: Autora (2022)

Figura 28 - Escalas de aplicação dos princípios institucionais modificados



Fonte: Autora (2022)

No geral, observam-se resultados melhores para escala de associação e impacto na política, representando que, mesmo que parte dos princípios sejam incorporados nas políticas e sejam contemplados dentro da gestão, não são efetivamente realizados ao nível da localidade avaliada.

5.2.1. Limites claramente definidos

As normativas delimitam quais atores são responsáveis pela gestão, esclarecidos entre secretaria técnica municipal e a população, sendo o segundo o foco das ações e os usuários últimos dos recursos de infraestrutura, realizada através da gestão associada, consórcios e convênios. Nesse contexto, determinadas incompatibilidades podem ser destacadas: não existem limites de retirada específicos para as águas pluviais urbanas; não há monitoramento para as águas drenadas em ambiente urbano para área de estudo; não há valoração do recurso pela comunidade; e não há reconhecimento de função pelas autoridades.

Além disso, o Diagnóstico das Capacidades Institucionais do PEMAS/HBB, realizado em 2001, demonstra que a estrutura institucional possui demandas operacionais e administrativas relacionadas ao processo de planejamento e gerenciamento. São destacados no documento: escassez dos dados cadastrais de redes e georreferenciados; quadro funcional não era apropriadamente dimensionado, ou tecnicamente qualificado; e políticas públicas de planejamento territorial e urbano para a gestão desarticuladas. Estas são questões fundamentais nas falhas de funcionamento até os dias atuais.

5.2.2. Congruência entre as regras e as condições locais

O Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) delimita que as normas de regulação devem possibilitar a adoção de métodos, técnicas e processos adequados às peculiaridades locais e regionais. Além disso, que os serviços públicos de saneamento básico terão a sustentabilidade econômico-financeira assegurada por meio de remuneração pela cobrança dos serviços na forma de tributos, inclusive taxas, ou tarifas e outros preços públicos, em conformidade com o regime de prestação do serviço ou das suas atividades.

Já a Política Estadual de Saneamento Básico da Paraíba (PESB-PB) reforça a universalização contemplando especialmente para populações e localidades de baixa renda, através de subsídios (Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB). O Plano Municipal de Saneamento Básico de Campina Grande (PMSB-CG) requer a realização do estudo de caracterização do município, para os aspectos fisiográficos, recursos hídricos, demografia, socioeconômica, aspectos políticos administrativos e culturais, serviços públicos, planejamentos municipais, zoneamento urbano, uso do solo, infraestrutura urbana existente e avaliação da legislação ambiental. O Plano Diretor de Campina Grande (PD-CG) determina que o planejamento deve indicar as intervenções estruturais definindo critérios para o uso do solo compatível com os serviços de drenagem, considerando as bacias hidrográficas do Município de Campina Grande e dos municípios limítrofes.

Muito embora o atendimento não é universalizado, especialmente nas regiões de maior vulnerabilidade social e na zona rural (especificidade não tratada no novo Marco Legal), de igual forma são observadas carências no referente ao Plano Estadual, que não descreve de forma específica quesitos tarifais para a drenagem urbana, sobretudo por não possuir um prestador de serviço exclusivo para o manejo de águas pluviais.

A respeito da execução do Canal da Ramadinha, destacam-se erros projetuais inadequados às condições geomorfológicas locais, que implicaram em aditivos financeiros e de prazo, além de acionarem outros problemas de drenagem da bacia devido ao acúmulo de águas nas margens. Também não foram considerados em projeto a expansão da rede de esgotamento sanitário e consequente sobrecarga do sistema de drenagem em função das ligações clandestinas (MORAES et al., 2021), demonstrando falhas nas intervenções, pois mesmo que tenham sido realizadas modificações pontuais, ainda há áreas de risco.

5.2.3. Acordos de escolha coletiva

O PNSB assegura o controle social, contemplando um conjunto de mecanismos e procedimentos que garantem à sociedade informações e participação nos processos de formulação de políticas, de planejamento e de avaliação relacionados aos serviços públicos de saneamento básico.

Enquanto o PESB-PB reforça o estabelecido na política nacional, o PMSB-CG visa estimular, de forma democrática e efetiva, todos os segmentos sociais, para que a comunidade participe em todas as etapas do processo de elaboração do plano, como a criação de grupos representativos da sociedade não organizada com conhecimentos mínimos de saneamento ambiental para acompanhar e fiscalizar a execução do PMSB.

Porém, as disposições não são consolidadas na realidade, sendo retratada pela inexistência de um instrumento administrativo. Os comitês técnicos utilizados para elaboração dos planos municipais não obrigatoriamente contemplam a participação popular pós-execução, sendo um aspecto negativo, uma vez que a população do município, sobretudo as assentadas nas áreas de maior vulnerabilidade social e econômica, não possuem percepções sociais, conhecimentos e anseios plenos a respeito do saneamento.

5.2.4. Monitoramento

O PNSB determina que a normas também devem estabelecer parâmetros e periodicidade mínimos para medição do cumprimento das metas de cobertura dos serviços. O PESB-PB dita que planos estaduais e municipais devem conter programas, projetos e ações necessárias para atingir os objetivos e as metas, de modo compatível com os respectivos planos plurianuais. E o PD-CG descreve que o planejamento deve indicar as técnicas de controle e monitoramento dos serviços de drenagem.

O PMSB-CG contribui para o princípio ao: estabelecer indicadores de eficiência, de eficácia e de impacto a serem cumpridos pelos prestadores dos serviços; sistematizar os sistemas para coleta de informações, associando os indicadores; delimitar os recursos humanos, tecnológicos, materiais e administrativos fundamentais à execução, avaliação, fiscalização e monitoramento do Plano; definir mecanismos de representação da sociedade para o monitoramento.

A manutenção dos sistemas de manejo de águas pluviais não seja executada de forma regular, sendo realizada apenas após eventos midiáticos em função de beneficiamentos políticos e em debates com o foco sobre o saneamento.

5.2.5. Sanções graduadas

Não são aplicadas penalidades ao nível das políticas tratadas para infração no sistema de manejos de águas pluviais, mas apenas descreve de forma exclusiva aos referentes à avaliação dos indicadores propostos pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento no Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto.

5.2.6. Mecanismo de resolução de conflitos

O único diploma que trata deste princípio consiste no PNSB, o qual refere a responsabilidade sobre a ANA - em caráter voluntário e com sujeição à concordância entre as partes - a ação mediadora ou arbitral nos conflitos que envolvam titulares, agências reguladoras ou prestadores de serviços públicos de saneamento básico. Todavia, os conflitos não são verdadeiramente acordados através de debates entre as partes responsáveis pelo manejo. Além disso, os problemas na execução das obras, nas desapropriações e quanto à ocupação de imóveis nas áreas de intervenções tendem a impactar negativamente nas relações estabelecidas entre integrantes da prefeitura, empresas executoras e moradores e lideranças das áreas sob intervenção.

5.2.7. Reconhecimento das regras da comunidade

Não existem normativas produzidas de forma independente pelos atores beneficiados, havendo prevalência dos agentes governamentais na definição de metas e objetivos.

5.2.8. Empreendimentos aninhados

Dentre os diferentes níveis de operacionalização do sistema podem ser destacadas as seguintes instituições: Conselho Nacional da Saúde (CNS); Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH); e Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), junto com o Conselho Municipal da Cidade e/ou do Desenvolvimento Urbano- Conselho Municipal da Cidade (CONCIDADE/CG); Conselho Municipal de Saúde; Conselho Municipal de Meio Ambiente; Coordenadoria de Obras (COOBRAS); Coordenadoria Municipal de Habitação (CMH). A inexistência do Conselho Municipal de Saneamento, assim como a não delimitação do órgão prestador do serviço de drenagem urbana dificultam as ações combinadas direcionadas dos conselhos.

O Quadro 9 mostra as principais inconsistências encontradas na análise e os princípios a que se referem. A fragilidade dos acordos de escolha coletiva, da relação dos atores e o subjugamento dos comitês de moradores, a insuficiência do corpo técnico, a desarticulação das políticas, centralização do poder e monitoramento irregular são os fatores mais influentes que desafiam a governança. O Quadro também mostra esses fatores como razões associadas para o fracasso da governança. Esses tipos de agrupamento podem ajudar a identificar os problemas mais importantes a serem tratados para melhorar a governança do sistema de gestão.

Quadro 9 - Principais fatores desafiando a governança de drenagem na Bacia da Ramadinha

Fator	Princípio Institucional
Fragilidade na relação entre os atores e subjugamento dos comitês de moradores	1, 2, 3, 6, 7, 8
Insuficiência no corpo técnico	1, 3, 6, 8
Desarticulação entre as políticas (domínio e/ou titularidade)	1, 2A, 4B, 5, 8
Centralização dos processos decisórios e de implementação	3, 5, 7
Monitoramento não incentivado	1, 2B, 4

Fonte: Autora (2022)

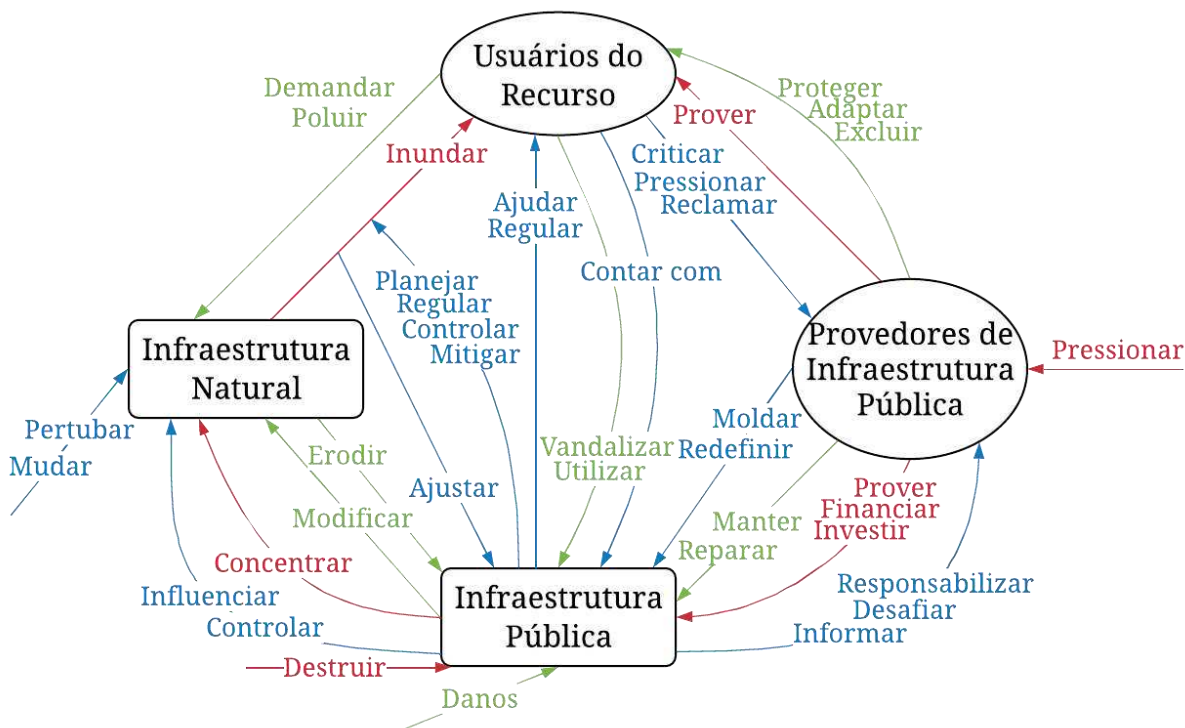
Tal situação resulta em um sistema que, mesmo assegurando os limites institucionais, peca em: limites de recurso não definidos, em função de falhas em gerenciamento e monitoramento de dados (geomorfológicos e climáticos); percepções negativas dos usuários sobre o recurso, devidas aos eventos de inundação não solucionados e não há valoração econômica; conflitos latentes nas relações estabelecidas entre integrantes da prefeitura, empresas executoras, moradores e lideranças das áreas sob intervenção; falhas institucionais,

em função das equipes que carecem da insuficiência de técnicos, com poucos muito qualificados, e mudanças bruscas nas equipes das secretarias e na concepção e gestão de programas, além de não proporcionar um ambiente adequado para resolução de conflito e diálogo entre as partes; e monitoramentos irregulares, com tendência de ações corretivas.

5.3. Robustez do sistema

A aplicação do arcabouço de robustez do Sistema Socioecológico, segundo o proposto por Anderies, Barreteau e Brady (2019), está demonstrada na Figura 29, cujas ligações estão descritas a seguir. Todavia, conforme os autores, a generalização dos verbos no diagrama requer a sintetização da robustez a partir de uma análise cautelosa, em que se é distinguida a natureza do que se é transmitido através destas iterações, neste caso realizada com base nos princípios institucionais, como está demonstrada na Figura 30.

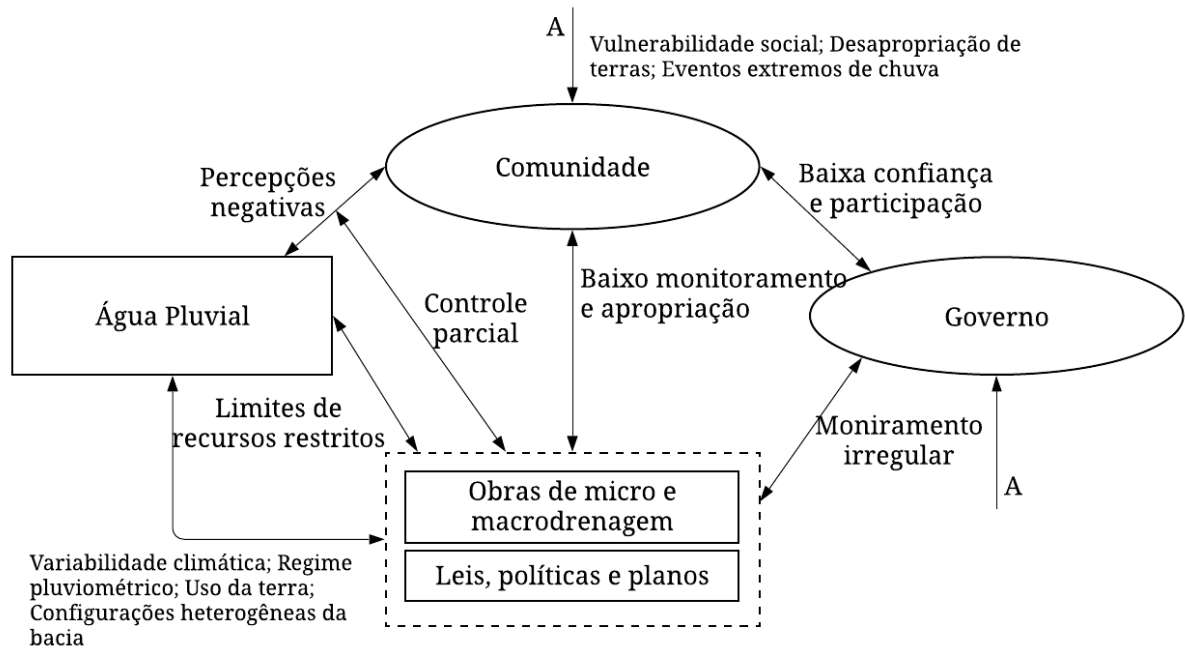
Figura 29- Robustez do SSE da bacia da Ramadinha



Setas vermelhas são para transformação quantitativa, setas verdes são para transformações qualitativas e setas azuis são para mudanças na capacidade de modificação.

Fonte: Autora (2022)

Figura 30 - Sintetização da robustez do SSE da bacia da Ramadinha



Fonte: Autora (2022)

As ligações podem ser descritas como:

- **UR ⇌ IN:** Percepções negativas, derivadas dos eventos de inundação, além da poluição do recurso.
 - UR → IN: Os usuários do recurso das águas pluviais os demandam para o ciclo hidrológico urbano e amenidades térmicas nas cidades; os usuários também poluem o recurso a partir da poluição atmosférica e despejamento de resíduos no canal.
 - IN → UR: Recursos promovem inundações que afligem os usuários do recurso, proporcionando danos materiais e riscos à saúde.
- **PIP ⇌ UR:** Baixa confiança e participação, a partir da exclusão do processo de tomada de decisão.
 - UR → PIP: Os usuários cobram, criticam, pressionam e reclamam com os provedores, sobretudo pois o diálogo não é assegurado entre as partes.
 - PIP → UR: Primordialmente, os provedores de infraestrutura designam-se a assegurar proteção para usuários aos impactos negativos do recurso, ao passo que adaptam o sistema com base nas condições para provisão da infraestrutura. Além disto, também ocorre uma exclusão dos usuários na

elaboração de políticas e regras de previsão, associada à governança centralizada.

- **PIP ⇌ IP:** Limites institucionais definidos pelos diplomas legais e monitoramento irregular.
 - PIP → IP: Os provedores moldam, definem, mantêm, reparam, financiam e investem na infraestrutura pública. Muito embora, destacam-se os erros e inconsistências na execução das obras de engenharia, assim como a ineficiência na coordenação no momento pós-execução, sobretudo quando referido à manutenção. Além dos extensos debates sobre a atualização das políticas vigentes.
 - IP → PIP: A infraestrutura pública responsabiliza os provedores em seu papel executivo e transformador; desafia mediante a execução e eventos extremos; e informa o atendimento do sistema.
- **IP ⇌ IN:** Limites de recurso restrito a abordagem da drenagem urbana tradicional, com a intenção de condução imediata à jusante.
 - IP → IN: Os elementos da infraestrutura pública modificam cursos naturais das águas pluviais, assim influenciando, concentrando e controlando o recurso.
 - IN → IP: A infraestrutura natural erode os canais e tubulações de manejos das águas pluviais.
- **IP ⇌ (UR ⇌ IN):** O objetivo principal da infraestrutura consiste em regular os fluxos do recurso e a forma como afetam os usuários, desta forma proporciona o planejamento, regulação, controle e mitigação de eventos adversos. O fluxo do recurso reflete a delimitação da infraestrutura necessária para controlá-lo.
- **UR ⇌ IP:** Baixo monitoramento e apropriação, além do uso inexistente de espaços públicos.
 - IP → UR: A infraestrutura pública ajuda e regula as relações entre os usuários e a infraestrutura natural.
 - UR → IP: Os usuários contam com e utilizam a infraestrutura pública na garantia da segurança hídrica; porém depreciam as obras de engenharia, como por exemplo pelo depósito de resíduos sólidos nos canais.
- **Fatores exógenos (IN e IP):** Os impactos na infraestrutura natural são tidos por perturbações e mudanças ligadas a eventos climáticos; já a infraestrutura pública

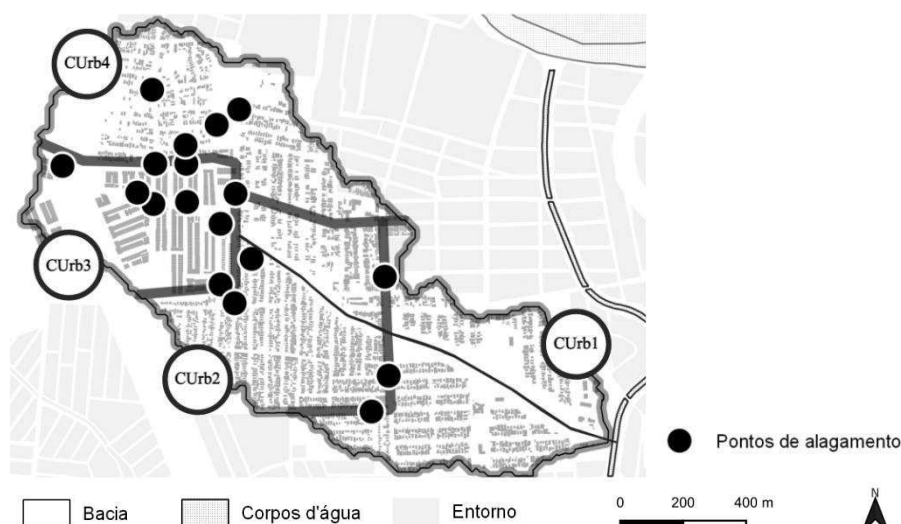
está ligada a ações de dano e destruição dos elementos construídos, tais como vulnerabilidade social, desapropriação de terras e eventos extremos de chuva.

- **Fatores exógenos (UR e PIP):** Os impactos nos provedores de infraestrutura pública são representados por pressões externas, como variabilidade climática, regime pluviométrico, uso da terra e configurações heterogêneas da bacia.

Portanto, o sistema em sua concepção atual apresenta falhas funcionais, uma vez que são registrados pontos de alagamento ao longo da bacia através dos resultados obtidos das simulações (Figura 31). Além disso, em função da associação com os princípios institucionais, conclui-se que o sistema pode ser considerado ao nível de uma baixa robustez, uma vez que ocorre o atendimento moderadamente fraco dos princípios, demonstrando ligações mais fragilizadas ao nível da dinâmica social do sistema. Desta forma, as alterações negativas e influências externas tendem a repercutir negativamente na variável dos usuários.

Ademais, a baixa robustez se afere mediante a ausência da participação e confiança entre os usuários de recurso e os provedores de infraestrutura pública. Assim, a comunidade não se assume como um agente ativo na gestão, impossibilitando uma governança participativa. Há também baixa percepção apresentada pelos usuários ao recurso, enxergado como ameaça em função dos eventos de inundação.

Figura 31 - Alagamentos no cenário atual



Fonte: Machado et al. (2021)

5.4. Governança com SUDS

5.4.1. Escolha das técnicas

Os dispositivos utilizados nos cenários investigados nesta pesquisa foram selecionados em função o nível de complexidade da instalação e manutenção, possibilidade de integração em espaços urbanos já consolidados e da disponibilidade de inserção no programa. Nesse sentido, dentre as técnicas SUDS existentes, foram escolhidas as técnicas de infiltração representadas pelas trincheiras de infiltração (TI), sistemas de Biorretenção (SB) e pavimentos permeáveis (PP) e as de armazenamento representada pelos Tanques de aproveitamento e captação de água de chuva (SCAC). Destaca-se que, considerando as peculiaridades da bacia, visando a facilidade na implementação, os tanques de armazenamento de água pluvial escolhidos foram limitados a uma capacidade total de 200 litros.

A aplicação destas técnicas já foi plenamente considerada na literatura (WU et al., 2020; VAN DER JAGT et al., 2019; CALDERÓN-CONTRERAS; CALDERÓN-CONTRERAS, 2017; GOULDEN et al., 2018; MARTIN-MIKLE et al., 2015; LAFORTEZZA et al., 2013; ARIZA et al., 2019).

Considera-se também, que estas técnicas SUDS podem ser mais bem integradas ao espaço urbano já consolidado da área de estudo. Podem, portanto, serem desenvolvidas em conjunto com espaços de interação social e alocadas nos espaços ainda disponíveis na bacia, sejam eles públicos ou privados, oferecendo benefícios diretos a comunidade, o que as tornam mais rapidamente apropriadas. (WOODS-BALLARD et al., 2015).

5.4.2. Alocação das técnicas

Além da importância de identificar critérios físicos e urbanos que representem os locais aptos de implantação dos sistemas SUDS, também é necessária a consideração dos aspectos sociais que moldam a bacia e que influenciarão na implementação e consequente modelagem das técnicas SUDS. Para tanto, devem ser analisadas características principais da bacia a serem levadas em consideração na alocação de cada SUDS escolhida. O Quadro 10 apresenta um exemplo de enquadramento dos dispositivos SUDS em bacias urbanas, levando em consideração os seus possíveis critérios físicos, urbanos e sociais.

Quadro 10 - Critérios de adequabilidade de dispositivos SUDS em bacias urbanas

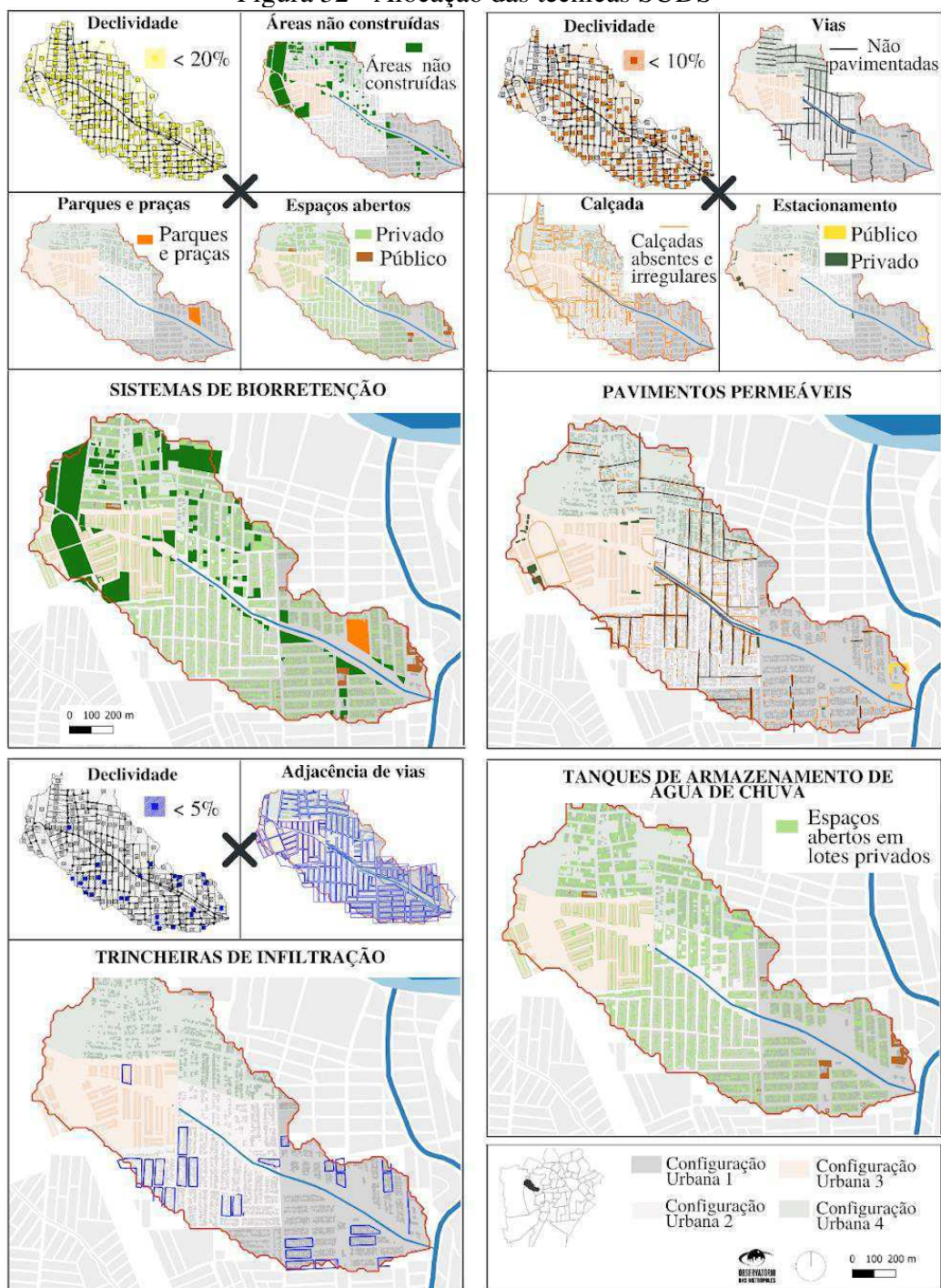
	Critérios	PP	TI	SB	SCAC
Critérios Físicos	Declividade (< 5%)	X	X		
	Declividade (< 10%)	X			
	Declividade (< 20%)	X	X	X	
Critérios Urbanos (Público)	Estacionamentos	X			
	Calçadas absentes e irregulares	X			
	Vias não pavimentadas	X			
	Áreas adjacentes à vias e calçadas		X	X	
	Parques e Praças		X	X	
	Vazios urbanos e terrenos não construídos com potencial para serem convertidos em áreas de interação social			X	
	Espaços livres (e permeáveis para o S.B) dentro de lotes públicos (escolas, hospitais e usos comunitários)			X	X
	Telhados de edificações públicas				X
Critérios Urbanos (Privado)	Estacionamentos	X			
	Espaços livres (e permeáveis para o S.B) dentro de lotes privados (residenciais e comerciais)			X	X
	Telhados de edificações privadas				X
Critérios Sociais	Necessidade de indivíduos capazes de manter o sistema com frequência				X
	Aceitabilidade (por se integrar a espaços de lazer que serão usufruídos pela comunidade)	X	X	X	
	Participação popular no processo de gerenciamento		X	X	X
	Percepção dos usuários (Valoração econômica das águas pluviais)				X

PP = Pavimentos Permeáveis, TI = Trincheiras de Infiltração, SB = Sistemas de Biorretenção, SCAC = Sistemas de Captação de Água de Chuva

Fonte: Adaptado de Alves (2021); os critérios sociais foram produzidos nesta dissertação

Os cartogramas de adequabilidade das técnicas SUDS, elaborados por Alves (2021), a partir da sobreposição de cada critério de adequabilidade, visando a identificação das áreas oportunas para alocação das técnicas mesmas ao longo da bacia (Figura 32), foram complementados com a análise da performance de robustez. Como as distintas Configurações Urbanas da área de estudo apresentam diferentes disponibilidades das variáveis e componentes analisadas, fica evidente o fato de que tais configurações possuirão diferentes adequabilidades à implementação de cada uma dos SUDS avaliados.

Figura 32 - Alocação das técnicas SUDS



Fonte: Galvão et al. (2022), Alves (2021)

O potencial de aplicação de cada medida varia ao longo da bacia. Com exemplo, apesar da aplicação dos pavimentos permeáveis em locais públicos ser oportuna ao longo das 4 configurações urbanas, é mais adequada a CURb2 devido a prevalência de ruas não pavimentadas, bem como lugares com ausência de calçadas. Igualmente, existem demais restrições para as outras configurações, como as CURb3 e CURb4 que apresentam declividades

maiores que 10%, o que restringe o uso desta técnica nesses locais, e as CUrb1 e CUrb3 que possuem de forma majoritária vias pavimentadas tradicionalmente e calçadas regulares na delimitação das quadras construídas. A aplicação em locais privados é apta de forma restrita à CUrb3, devido à presença de áreas de estacionamento. Na sua análise social, esta técnica se assume como de fácil adequabilidade, requerendo menor intervenção e instrução dos usuários, além do fácil acesso, sendo assim oportuna à CUrb2.

A aplicação das trincheiras de infiltração não apresenta restrições urbanísticas, todavia restringe-se a localidades com declividades inferiores a 5%. Desta forma a maior adequabilidade a esta técnica está presente nas configurações 1 e 2. Já a aplicação dos sistemas de bioretenção não é submetida a esta mesma restrição em relação à variável física analisada, uma vez que podem ser aplicados em áreas de até 20% de declividade, assim dependente das características do espaço urbano. Nesse sentido, são mais adequadas às configurações 3 e 4, devido à presença de grandes espaços abertos e permeáveis. Ambas as técnicas, além de se integrarem a espaços de lazer que serão usufruídos pela comunidade, também fomentam a participação comunitária no sistema de governança através da potencialização da paisagem urbana com os ambientes multifuncionais, requeridos por estas configurações.

Dentro dos espaços privados, os tanques de captação de água da chuva (restringidos aqui a tanques com capacidade de 200 litros) foi a técnica SUDS com maior adequação, uma vez que não apresenta restrições aos aspectos físicos ou urbanísticos, já que todos os lotes da bacia apresentam áreas livres em seu interior. Isto torna os tanques de armazenamento de água de chuva viáveis principalmente nas configurações urbanas mais adensadas da bacia, como a configuração 2, devido ao aumento da densidade de lotes habitados e construídos na localidade.

5.4.3. Análise de robustez

A adoção das técnicas SUDS, além de reduzir expressivamente os alagamentos ao longo da bacia (Figura 33), também possui potencial de alterar a dinâmica do sistema socioecológico. No Quadro 11 estão contidas todas as variáveis de segundo nível relativas ao sistema e, em itálico, destacadas as específicas voltadas dentro da rede de águas pluviais urbanas à implantação da infraestrutura verde.

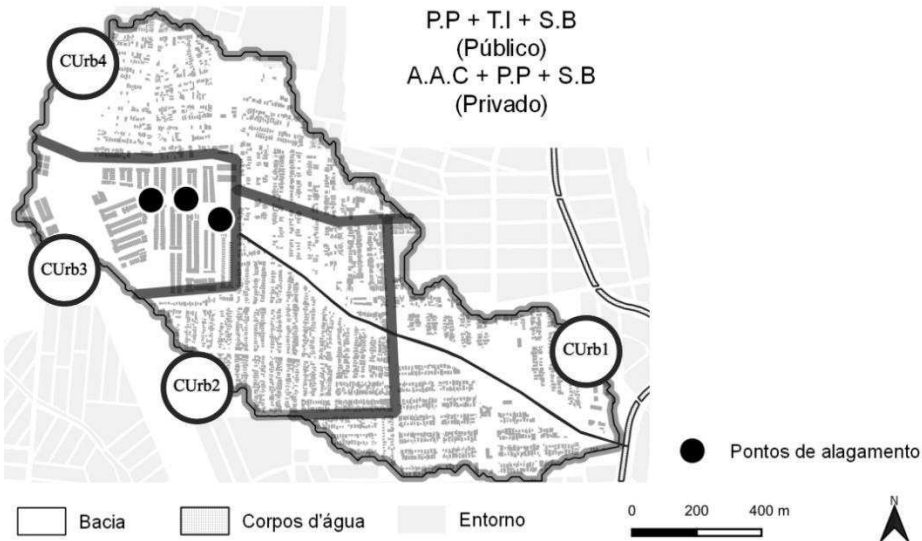
Quadro 11 - Variáveis de segundo nível do SSE

Sistemas de Governança de Águas Pluviais Urbanas (SG)	Atores (A)	Sistemas de Recurso Águas Pluviais (SR)	Unidades de Águas Pluviais Urbanas (UR)
<p>SG1- Organizações governamentais</p> <p>SG2- Organizações não-governamentais</p> <p>SG3- Estrutura da rede</p> <p><u>SG4- Sistemas de direitos sobre a propriedade</u></p> <p>SG5- Regras de escolha operacional</p> <p><u>SG6- Regras de escolha coletiva</u></p> <p>SG7- Regras de escolha institucional</p> <p><u>SG8- Regras de monitoramento e sanções</u></p>	<p>A1- Número de atores relevantes</p> <p><u>A2- Atributos socioeconômicos</u></p> <p><u>A3- Históricos de experiências anteriores</u></p> <p>A4- Localização</p> <p><u>A5- Liderança/ Empreendedorismo</u></p> <p><u>A6- Normas (confiança-reciprocidade) / Capital social</u></p> <p><u>A7- Conhecimento sobre o SSE</u></p> <p><u>A8- Importância do recurso</u></p> <p><u>A9- Tecnologia disponível</u></p>	<p>SR1- Setor</p> <p>SR2- Definição nos limites do sistema</p> <p><u>SR3- Tamanho do sistema de recurso</u></p> <p><u>SR4- Facilidades construídas pelo homem</u></p> <p>SR5- Produtividade do sistema</p> <p><u>SR6- Propriedade de equilíbrio</u></p> <p><u>SR7- Previsibilidade da dinâmica do sistema</u></p> <p><u>SR8- Característica de armazenamento</u></p> <p>SR9- Localização</p>	<p>UR1- Mobilidade da unidade de recursos</p> <p>UR2- Taxa de crescimento ou substituição</p> <p>UR3- Interação entre unidades de recursos</p> <p><u>UR4- Valor econômico</u></p> <p><u>UR5- Número de unidades</u></p> <p><u>UR6- Características Distintas</u></p> <p>UR7- Distribuição espacial e temporal</p>
Configurações sócio, político e econômicas (C)	Situações de ação: Interações (I) → Resultados (R)		Leis Ecológicas (LE)
<p>C1- Desenvolvimento econômico</p> <p>C2- Tendências demográficas</p> <p>C3- Estabilidade política</p> <p>C4- Outros sistemas de governança</p> <p>C5- Mercados</p> <p>C6- Organizações midiáticas</p> <p><u>C7- Tecnologia</u></p>	<p><u>I1- Captação</u></p> <p>I2- Compartilhamento de informações</p> <p>I3- Processos de deliberação</p> <p><u>I4- Conflitos</u></p> <p><u>I5- Atividades de investimento</u></p> <p><u>I6- Atividades de lobbying</u></p> <p><u>I7- Atividades auto-organizadas</u></p> <p>I8- Atividades de rede</p> <p><u>I9- Atividades de monitoramento</u></p> <p><u>I10- Atividades de avaliação</u></p> <p><u>R1- Medidas de desempenho social</u></p> <p><u>R2- Medidas de desempenho ecológico</u></p> <p><u>R3- Externalidades para outros SSE</u></p>		<p>LE1- Leis físicas</p> <p>LE2- Leis químicas</p> <p>LE3- Leis biológicas</p> <p>Ecosistemas Relacionados (ECO)</p> <p>ECO1- Padrões climáticas</p> <p>ECO2- Padrões de poluição</p> <p>ECO3- Transações pelo foco da SSE</p>

Fonte: Autora (2022)

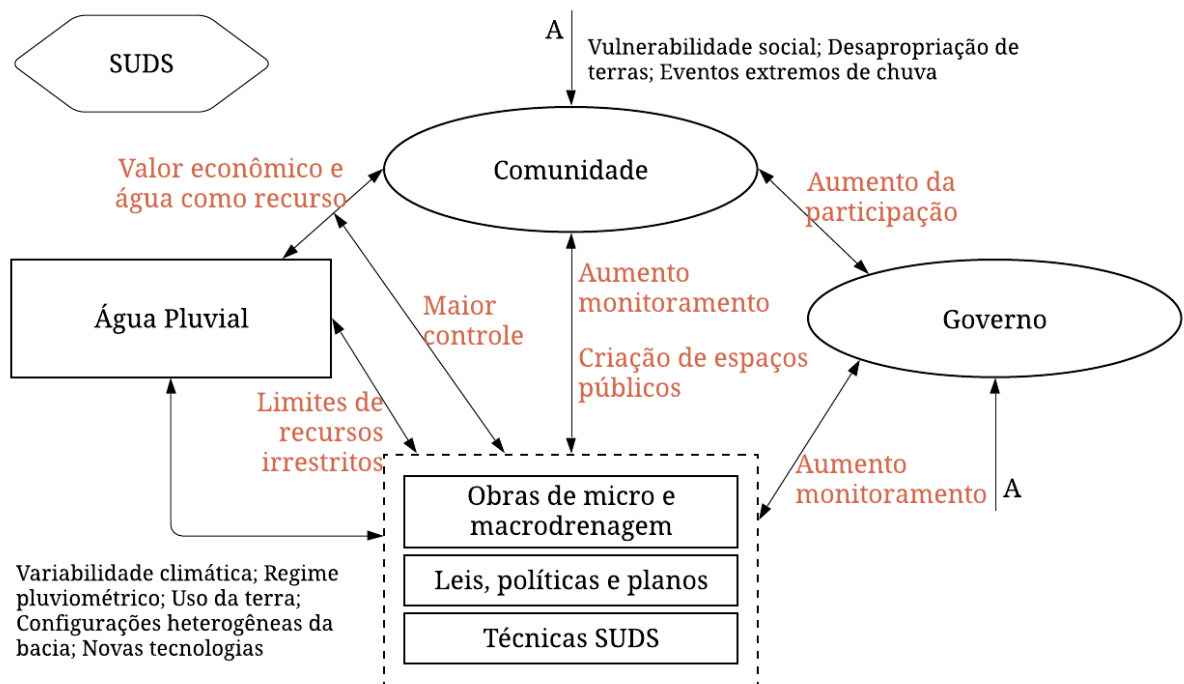
O sistema poderia, então, adquirir robustez ao propiciar uma valorização econômica do recurso, limites do recurso que ultrapassam o sistema tradicional de drenagem urbano, maior controle sobre a dinâmica existente da influência entre a água pluvial e a comunidade, aumento do monitoramento com incentivo a manutenção, alteração da governança centralizada e criação de espaços públicos multifuncionais (Figura 34).

Figura 33 - Alagamentos no cenário com SUDS em locais públicos e privados



Fonte: Machado et al. (2021)

Figura 34- Robustez do SSE no cenário com inserção de SUDS generalizado



Fonte: Autora (2022)

Em tratando-se de um sistema heterogêneo, é acrescida uma camada adicional de complexidade, com potencial adicional de instabilidade que implica diretamente ao seu funcionamento, uma vez que os moradores de cada configuração possuem diferentes percepções e relações com o sistema.

Nesse contexto, destacam-se algumas particularidades, como a configuração urbana 2 apresentar maior resistência na relação dos usuários com os provedores de infraestrutura pública, associado ao sentimento de abandono atrelado ao poder público, ligado à manutenção das condições socioeconômicas que engendram a pobreza e a produção destes espaços informais. Assim, se requer a aplicação das técnicas que possam se converter em beneficiamentos a essa população, enquanto a configuração 4 requer a criação de espaços públicos multifuncionais, uma vez que novas áreas verdes e de lazer ainda são demandadas pelos moradores.

Reforça-se a fundamentalidade da receptividade e aceitação dessas técnicas, uma vez que é exigida a elucidação desses novos dispositivos por parte dos usuários, por não serem tecnologias corriqueiras na realidade brasileira. Assim, requer-se um programa educação ambiental da comunidade com conteúdo específico relacionado a estas técnicas, tratando-se de sua importância e elencando os benefícios a bacia. Estes aspectos estão conectados com a necessidade de manutenções mais frequentes no sistema SUDS, cuja responsabilidade pode recair sobre a comunidade. Desta forma, procede-se com a análise individualizada de dois cenários:

- i. O atual somado com a implementação dos sistemas de aproveitamento de águas de chuva, com baixa capacidade de armazenamento (cisternas de 200 litros), em todas as residências dentro da bacia hidrográfica; e
- ii. Sistema com implementação de três tecnologias de infraestrutura verde baseados em infiltração (pavimentos permeáveis, sistemas de bioretenção, e trincheiras de infiltração) em toda a bacia, não apenas em áreas públicas, mas também dentro de lotes.

A adoção da técnica de Aproveitamento de Água de Chuva reduziria em 26% os eventos de inundação (Figura 36), como também alteraria a dinâmica do sistema socioecológico (Figura 35). O sistema poderia, então, adquirir robustez ao propiciar:

- Participação popular no processo de gerenciamento, ao adotar a técnica em suas residências;

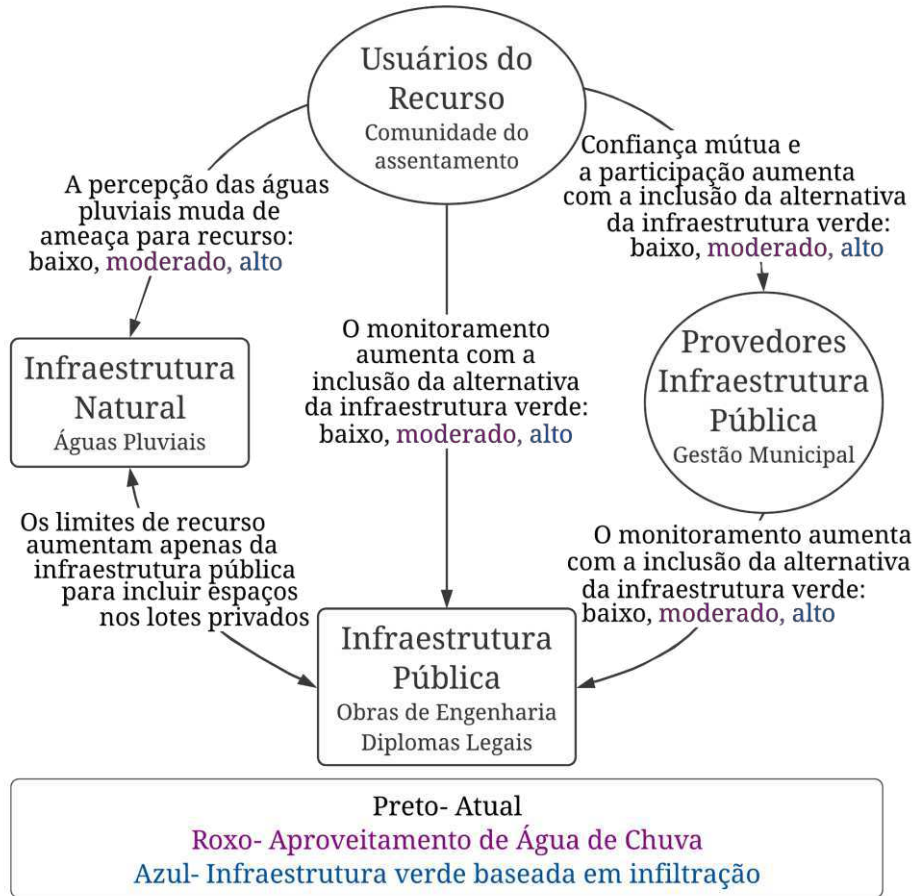
- Valoração econômica das águas pluviais, pela nova percepção dos usuários de que essas águas, apesar de serem ameaças em certas situações, também podem ser apropriadas como recurso, reduzindo os custos com o serviço de abastecimento de água convencional;
- Limites de apropriação para as águas pluviais, associado ao armazenamento do recurso.

Nesse cenário, mesmo que seja criado um ambiente propício ao diálogo entre os usuários e os provedores de infraestrutura, o sistema não atinge seu estado ótimo hipotético, pois os eventos adversos não são completamente mitigados.

A aplicação de técnicas compensatórias de infiltração totalizaria uma redução de 83% dos pontos de inundação (Figura 36), além de alterar o sistema socioecológico, modificando os limites do sistema de recurso (Figura 35). O sistema poderia adquirir robustez ao propiciar:

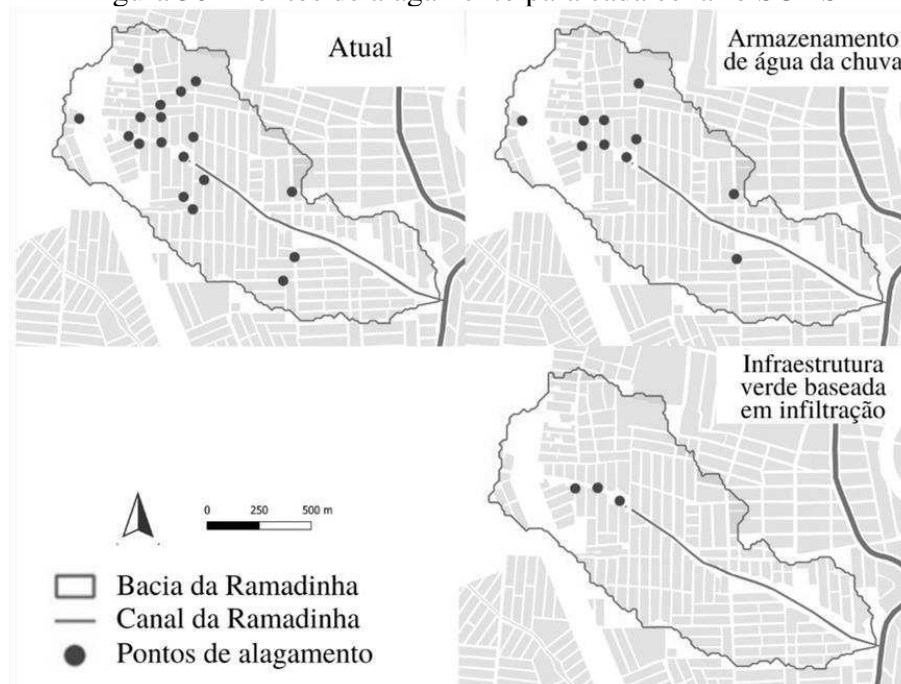
- Confiança nas relações e interesse no processo, porque a implantação da infraestrutura verde, tanto nas áreas públicas como nos lotes privados, requer necessariamente a participação dos moradores (UR) em estreita colaboração com as instituições municipais (PIP);
- Melhoria na percepção dos usuários em relação à infraestrutura natural, devido à presença dos ambientes multifuncionais que promovem a valorização do espaço urbano;
- Monitoramento das ações sobre a infraestrutura pública, partindo dos usuários do recurso e dos provedores de infraestrutura pública, em função da participação comunitária que reforça a manutenção e preservação dos espaços públicos;
- Resolução de conflitos, relativos à atenuação nos eventos de inundação e ambientes oportunos à resolução dos conflitos, com maior incentivo ao debate entre UR e PIPs.

Figura 35 - Robustez do SSE para cada cenário de aplicação do SUDS



Fonte: Autora (2022)

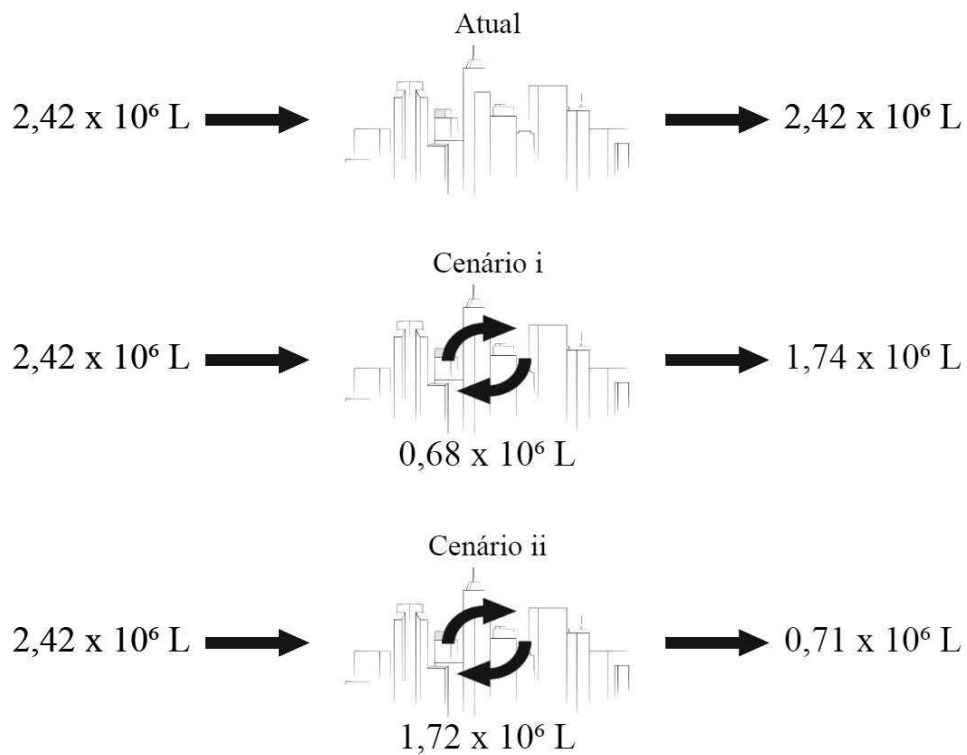
Figura 36 - Pontos de alagamento para cada cenário SUDS



Fonte: Veiga et al. (2021)

Em relação aos fluxos aferidos na modelagem, é possível observar que a implantação de SUDS também é oportuna para redução metabólica dos fluxos de escoamento ao longo da bacia e para jusante dela. Em termos de fluxos de massa, no cenário atual toda a bacia geraria um volume de 2,42 milhões de litros de escoamento superficial, enquanto a implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva reduziria este volume a 1,74 milhões de litros, ou seja, uma redução de cerca de 28% (Figura 37), enquanto a aplicação do segundo cenário o reduziria a 0,714 milhões de litros, desta forma promovendo uma redução de 71% nos volumes de saída (Figura 37).

Figura 37- Metabolismo Urbano para cada cenário



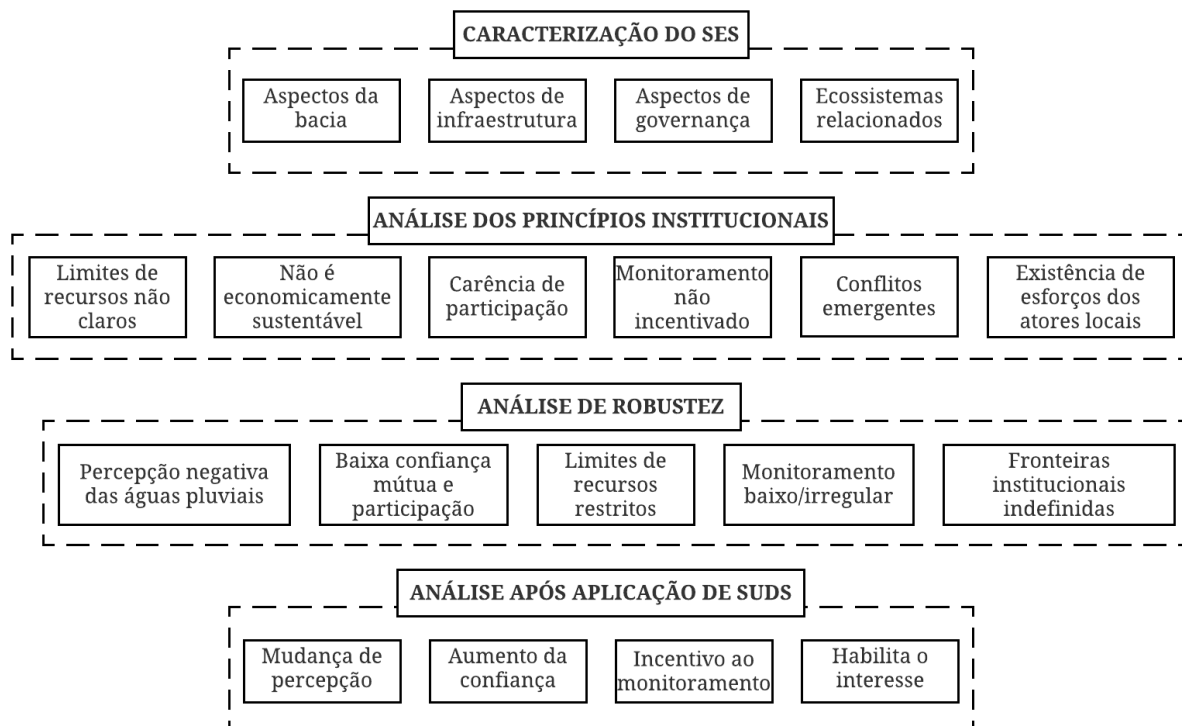
Cenário i- Armazenamento de água de chuva
 Cenário ii- Infraestrutura verde baseada em infiltração
 Fonte: Autora (2022)

Desta forma, afirma-se a capacidade de modificação, enquanto ao metabolismo urbano, que a aplicação destas técnicas pode promover. Assegurando o uso mais ecológico do recurso no sistema, em um fluxo mais circular.

5.5. Sintetização dos resultados

Diversas metodologias foram aplicadas para investigar a governança de drenagem na área de estudo. Desta forma, elaborou-se um esquema que sintetiza os principais resultados obtidos a partir de cada metodologia ao longo deste trabalho (Figura 38).

Figura 38 - Principais resultados para cada metodologia aplicada



Fonte: Autora (2022)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento urbano não tem sido acompanhado de ações e políticas que garantam o uso efetivo e sustentável dos recursos hídricos, desencadeando as percepções negativas atreladas à água da chuva. Todas as alterações promovidas no ambiente natural causam impactos, todavia cabe ao planejador a investigação e a busca de alternativas para a redução da probabilidade dos impactos negativos. As cidades crescem sem um acompanhamento, de forma espontânea, sendo socialmente construídas sem a percepção dos agentes responsáveis, desde os provedores aos usuários do recurso. Desta forma, foi oportuna a utilização de um arcabouço derivado de debates entre as ciências políticas e econômicas, que extrapolasse a análise técnica, para promover um diagnóstico do sistema de drenagem da bacia da Ramadinha.

Primordialmente, reforça-se a tendência corretiva ainda existente no gerenciamento do sistema, em que a intervenção é acionada apenas após a ocorrência dos desastres. É um processo atrelado à concepção e operacionalização atual da gestão na cidade, em que ainda não há um conselho específico voltado ao setor, prestador de serviço exclusivo ou representação junto aos comitês da cidade. Também não se pensa no planejamento de uma forma participativa ou com a utilização do plano diretor para a projetar o uso e ocupação da terra, ou sequer a concepção de um plano diretor de drenagem urbana.

Nesse contexto, o desenvolvimento do SSE permitiu compreender as associações das variáveis que influenciam nas tomadas de decisão sobre a governança de águas pluviais urbanas, sobretudo no que diz respeito à aplicação das tecnologias verdes. O modelo final encontrado, todavia, não pode ser interpretado como um modelo definitivo para SSEs de drenagem urbana, uma vez que ainda há a necessidade da construção de um conhecimento mais sofisticado sobre a influência dos aspectos legais, sociais, econômicos, culturais e comportamentais sobre o sistema e sobre a aplicação de tecnologias verdes, a partir de dados de campo. Mesmo assim, ainda é possível realizar uma análise por meio do sistema estabelecido, entendendo que o SSE da bacia da Ramadinha define-se como um sistema complexo e dinâmico.

Também se recomenda a mudança no regime, sobretudo porque o sistema em sua situação atual, com a utilização de infraestrutura cinza, não é capaz de suportar os desastres atuais de enchentes e inundações. As modificações realizadas no modelo utilizado demonstraram a capacidade de modificação que essa nova tecnologia proporcionaria ao sistema nas variáveis de primeiro e segundo nível, garantindo a atual identificação dos aspectos físicos,

infraestruturais, de governança e os ecossistemas relacionados que caracterizam o caso de estudo.

Além disso, atualmente o sistema demonstrou uma baixa efetividade de aplicação dos princípios institucionais, pois apesar de, em larga medida, as leis e políticas estarem alinhados aos princípios de Ostrom, a implementação falha, tornando insustentável a gestão da drenagem na bacia. A análise sugere que o aumento do nível de participação comunitária na governança pode contribuir para aumentar a capacidade de sustentabilidade do recurso, melhorar seu monitoramento e aumentar a conscientização sobre os sistemas, promovendo e oportunizando a atuação das organizações de moradores já existentes.

Apesar de existentes, os diplomas estão desassociados e, assim, promovem incertezas quanto à titularidade e domínio da prestação dos serviços, gerando outro desafio à gestão. Desta forma, a peça-chave para a garantia de um modelo mais sustentável se associa com a gestão integrada, muito embora a integração não se refira apenas aos sistemas físicos, mas também aos sistemas humanos e legais que fazem parte do processo. Como exemplo, destaca-se o código de obras de Campina Grande, que não possui menções sobre a utilização de tecnologias sustentáveis. Outra necessidade seria a atualização das políticas, como inserir no código de obras a obrigatoriedade de utilização de elementos poupadores.

Nesse contexto, a aplicação de tecnologia mais verde poderia proporcionar mais clareza aos limites do recurso, como os que restringem os papéis institucionais, caso dos atores, garantiria maior sustentabilidade econômica ao sistema, a partir do atrelamento de valor ao recurso, e reduziria os conflitos emergentes sobre os eventos de inundação.

O sistema se provou frágil às interferências externas, segundo a análise qualitativa da robustez do sistema. É marcado por percepções negativas do recurso, sendo visto como ameaça, por baixa confiança mútua e participação, relativas aos conflitos latentes e centralização do processo de tomada de decisão, por apresentar limites do recurso restritos às abordagens convencionais, e por baixo monitoramento, não incentivado pelos provedores de infraestrutura.

Nesse sentido, a incorporação de técnicas SUDS possui um potencial de alterar a dinâmica do sistema e as relações entre suas variáveis, dentre as quais destacam-se a valorização econômica do recurso, a modificação dos limites do recurso, o aumento do monitoramento com incentivo à manutenção, a descentralização da governança e a criação de espaços públicos multifuncionais. Na concepção de dois cenários – primeiro com técnicas de

infraestrutura verde baseada em infiltração e a segunda com a aplicação dos SCAC –, o primeiro expressou uma maior capacidade hidráulica, bem como um maior potencial para otimizar a robustez do sistema socioecológico, assim como asseguraria um metabolismo mais circular ao sistema, aplicado nesse sentido como intervenções de ampliação das potencialidades e redução das vulnerabilidades.

Portanto, assume-se que há a necessidade da realização de uma avaliação multissetorial para a aplicação da infraestrutura verde, uma vez que a incorporação de uma tecnologia mais ecológica possui um potencial de mudança em todas as variáveis que compõem o sistema socioecológico de águas pluviais e de sua robustez, visando reduzir as fragilidades às interferências externas e as incertezas de parâmetros internos. Isto é válido sobretudo em locais já afetados por outras vulnerabilidades, como as áreas caracterizadas pela presença de assentamentos precários.

Acredita-se que esta mediação entre o conhecimento técnico científico e os saberes cotidianos deve ser feita junto às políticas públicas, de modo que as forças da produção do espaço participem efetivamente da sua concepção e transformação, seja pela urbanização ou pelas práticas cotidianas. Assim, requer-se a atualização de uma abordagem não somente focada na construção de obras estruturais (canais, galerias...) mas, associadas a elas, incorporar ações estruturantes como, por exemplo, o uso de pavimentos permeáveis, manutenção de áreas verdes, estímulo à captação de água de chuva, voltadas para a redução do volume de água dos sistemas de drenagem. Desta forma, a gestão poderia proporcionar benefícios à população através de redução de tarifas ou de aplicação de multas no caso de infrações, conforme exemplos aplicados em outras localidades ou setores.

A incorporação desses sistemas mais sustentáveis é retardada mediante a presença das desigualdades dentro do ambiente urbano, que só serão extintas a partir da inserção da população dessa camada social mais vulnerável dentro do planejamento. Assim, esta pesquisa reforça a importância de uma governança das águas pluviais urbanas que assegure a descentralização na tomada de decisões, clareza no processo, mudanças na percepção do recurso e atualização das abordagens convencionais de concepção dos projetos de drenagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AERTS, J. C., BOTZEN, W. J., CLARKE, K. C., CUTTER, S. L., HALL, J. W., MERZ, B.; KUNREUTHER, H. Integrating human behaviour dynamics into flood disaster risk assessment. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 3, p. 193-199, 2018.

AGRAWAL, A. Common resources and institutional sustainability. **The Drama of the Commons**, p. 41-85, 2002.

AHMED, S.; MEENAR, M.; ALAM, A. Designing a Blue-Green Infrastructure (BGI) network: Toward water-sensitive urban growth planning in Dhaka, Bangladesh. **Land**, v. 8, n. 9, p. 138, 2019.

ALDERSON, D.L.; DOYLE, J.C. Contrasting views of complexity and their implications for network-centric infrastructures. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans**, v. 40, n. 4, p. 839-852, 2010.

ALVES, L.G.F. **Adequabilidade e modelagem de sistemas de drenagem urbana sustentável na perspectiva do assentamento precário**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2021.

ANDERIES, J. M.; JANSSEN, M. A.; OSTROM, E. Design principles for robustness of institutions in social-ecological systems. **Joining the Northern Commons: Lessons for the World, Lessons from the World**, p. 17-21, 2003.

ANDERIES, J. M.; JANSSEN, M. A.; OSTROM, E. A framework to analyze the robustness of social-ecological systems from an institutional perspective. **Ecology and Society**, v. 9, n. 1, 2004.

ANDERIES, J. M.; BARRETEAU, O.; BRADY, U. Refining the Robustness of Social-Ecological Systems Framework for comparative analysis of coastal system adaptation to global change. **Regional Environmental Change**, v. 19, n. 7, p. 1891-1908, 2019.

ARAÚJO, C. M. **O papel do Estado e dos moradores no processo de consolidação da Comunidade da Rosa Mística**, Campina Grande/PB. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

ARAÚJO, C.M. “Áreas de risco” e problemáticas socioambientais: uma reflexão sobre a produção e apropriação do espaço urbano em Campina Grande (PB). Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019

ARMITAGE, D. Governance and the commons in a multi-level world. **International Journal of the Commons**, v. 2, n. 1, p. 7-32, 2008.

AUTHORITY, Victorian Managed Insurance. **The Victorian Government Risk Management Framework Practice Guide**. Victorian Managed Insurance Authority: Melbourne, Australia, 2016.

AVEN, T. Selective critique of risk assessments with recommendations for improving methodology and practise. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 96, n. 5, p. 509-514, 2011.

BAHRAWI, J.; EWEA, H.; KAMIS, A.; ELHAG, M. Potential flood risk due to urbanization expansion in arid environments, Saudi Arabia. **Natural Hazards**, v. 104, n. 1, p. 795-809, 2020.

BAI, Y.; ZHAO, N.; ZHANG, R.; ZENG, X. Storm Water Management of Low Impact Development in Urban Areas Based on SWMM. **Water**, v. 11, ed. 33, 2019.

BAKKER, Karen. **Privatizing water: governance failure and the world's urban water crisis**. Cornell University Press, 2010.

BARBOSA, A. E.; FERNANDES, J. N.; DAVID, L. M. Key issues for sustainable urban stormwater management. **Water Research**, v. 46, n. 20, p. 6787-6798, 2012.

BARRETEAU, O.; GIBAND, D.; SCHOON, M.; CERCEAU, J.; DECLERCK, F.; GHIOTTI, S.; THERVILLE, C. Bringing together social-ecological system and territoire concepts to explore nature-society dynamics. **Ecology and Society**, v. 21, n. 4, 2016.

BARROS FILHO, M.N.M.; SILVA, Y.S.A.; MADRUGA, C.P.G. Densidade e forma urbana: o caso das ZEIS em Campina Grande. In: **Anais do XVIII ENANPUR**, 2019.

BASSO, A. The appeal to robustness in measurement practice. **Studies in History and Philosophy of Science Part A**, v. 65, p. 57-66, 2017.

BENSON, D.; GAIN, A. K.; ROUILLARD, J. J. Water governance in a comparative perspective: From IWRM to a 'nexus' approach? **Water Alternatives**, v. 8, n. 1, p. 756-773, 2015.

BERKES, F.; FOLKE, C.; COLDING, J. **Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience**. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1998.

BLAIR, P.; BUYTAERT, W. Socio-hydrological modelling: a review asking " why, what and how?". **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 20, n. 1, p. 443-478, 2016.

BLÖSCHL, G., NESTER, T., KOMMA, J., PARAJKA, J., & PERDIGÃO, R. A. The June 2013 flood in the Upper Danube Basin, and comparisons with the 2002, 1954 and 1899 floods. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 17, n. 12, p. 5197-5212, 2013.

BRASIL. **Decreto nº 24.643**, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. **Lex: Coletânea de Legislação e Jurisprudência**, São Paulo, v. 1, 1934.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997.

BRASIL. **Lei Federal nº 10.257**, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, 2001.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2002.

BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Plano Águas do Vale: Plano Operativo**. Brasília: ANA, 2001.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo Demográfico 2000**. Brasília, IBGE, 2002.

BRASIL. Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente (SRH/MMA) / Agência Nacional de Águas (ANA). **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Documento Base de Referência, Minuta, Revisão 01, abril/2003.

BRASIL. **Lei Federal nº 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis

nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília, 2007.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES, Secretaria Nacional de Habitação. **Guia para o Mapeamento e Caracterização de Assentamentos Precários**. Brasília: MCidades, 2010.

BRASIL. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012**: volume Brasil. CEPED UFSC: Autor. 2013.

BRASIL. **Lei Federal nº 14.026**, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília, 2020.

BROWN, R. R.; FARRELLY, M. A. Delivering sustainable urban water management: a review of the hurdles we face. **Water science and technology**, v. 59, n. 5, p. 839-846, 2009.

BROWN, R. R.; KEATH, N.; WONG, T. H. F. Urban water management in cities: historical, current and future regimes. **Water Science and Technology**, v. 59, n. 5, p. 847-855, 2009.

CALDERÓN-CONTRERAS, R.; QUIROZ-ROSAS, L. Ecald. Analysing scale, quality and diversity of green infrastructure and the provision of Urban Ecosystem Services: A case from Mexico City. **Ecosystem Services**, v. 23, p. 127-137, 2017.

CAMPINA GRANDE. **Diretrizes para Campina Grande** (diagnóstico e proposições). Campina Grande, 1983.

CAMPINA GRANDE. **Lei Complementar nº 15**, de 26 de dezembro de 2002. Estabelece a estrutura administrativa do Poder Executivo Municipal de acordo com o que dispõe o artigo 54, parágrafo único, X, da Lei Orgânica do Município, e dá outras providências. Câmara Municipal Campina Grande, dezembro de 2002.

CAMPINA GRANDE. **Lei Complementar Nº 003**, de 09 de outubro de 2006. Promove a revisão do Plano Diretor do Município de Campina Grande. Câmara Municipal Campina Grande, outubro de 2006.

CAMPINA GRANDE. **Lei Nº 4.787**, de 02 de setembro de 2009. Dispõe sobre a Política Municipal de Habitação – PMH, cria o Fundo Municipal de Habitação de Interesse Social – FMHIS, institui o Conselho-Gestor do FMHIS, e dá outras providências. Câmara Municipal Campina Grande, setembro de 2009.

CAMPINA GRANDE. **Lei Nº 4.806**, de 23 de setembro de 2009. Regulamenta as Zonas Especiais de Interesse Social de Campina Grande e dá outras providências. Câmara Municipal Campina Grande, setembro de 2009.

CAMPINA GRANDE. **Lei nº 5.410**, de 23 de dezembro de 2013. Código de Obras – dispõe sobre o disciplinamento geral e específico dos projetos e execuções de obras e instalações de natureza técnica, estrutural e funcional do município de campina grande, alterando a lei de nº 4130/03, e dá outras providências. Campina Grande, 2013.

CAMPINA GRANDE. Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de Campina Grande. **Plano Estratégico Municipal de Assentamentos Subnormais**. Campina Grande: Prefeitura Municipal de Campina Grande/ SEPLAN, 2000.

CAMPINA GRANDE. Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de Campina Grande. **Plano Municipal de Habitação de Interesse Social**. Campina Grande: Prefeitura Municipal de Campina Grande/ SEPLAN, 2010.

CAPANO, G.; WOO, J. J. Designing policy robustness: Outputs and processes. **Policy and Society**, v. 37, n. 4, p. 422-440, 2018.

CARDOSO, A. L.; DENALDI, R. **Urbanização de Favelas no Brasil**. Um balanço preliminar do PAC. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2018.

CARLSON, J. M.; DOYLE, J. Complexity and robustness. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 99, n. suppl 1, p. 2538-2545, 2002.

CARMO, W. J. E.; MARCHI, L. F. Uma visão holística do plano diretor de drenagem urbana. **Revista Jus Navigandi**, ISSN 1518-4862, Teresina, ano 18, n. 3796, 22 nov. 2013. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/25944>. Acesso em: 28 fev. 2021.

CARMO, W.J.E.; MARCHI, L.F. Uma visão holística do plano diretor de drenagem urbana. **Revista Jus Navigandi**, Teresina, v. 22, 2013.

CARVALHO, Myrian Batista de. **A estrutura e a infraestrutura: análise da relação entre o desenvolvimento do sistema de abastecimento de água e a estrutura intraurbana de Campina Grande – PB**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

- CETTNER, A.; ASHLEY, R.; HEDSTRÖM, A.; VIKLANDER, M. Assessing receptivity for change in urban stormwater management and contexts for action. **Journal of Environmental Management**, v. 146, p. 29-41, 2014.
- CHAFFIN, B. C.; CRAIG, R. K.; GOSNELL, H. Resilience, adaptation, and transformation in the Klamath River Basin social-ecological system. **Idaho L. Rev.**, v. 51, p. 157, 2014.
- CHAFFIN, B. C.; GOSNELL, H.; COSENS, B. A. A decade of adaptive governance scholarship: synthesis and future directions. **Ecology and Society**, v. 19, n. 3, 2014.
- CIRELLA, G. T.; IYALOMHE, F. O. Flooding conceptual review: Sustainability-focalized best practices in Nigeria. **Applied Sciences**, v. 8, n. 9, p. 1558, 2018.
- COHEN-SHACHAM, E.; WALTERS, G.; JANZEN, C.; MAGINNIS, S. **Nature-based solutions to address global societal challenges**. IUCN: Gland, Switzerland, v. 97, 2016.
- COSENS, B. Introduction to the Special Feature Practicing Panarchy: Assessing legal flexibility, ecological resilience, and adaptive governance in regional water systems experiencing rapid environmental change. **Ecology and Society**, v. 23, n. 1, 2018.
- COSENS, B.; GUNDERSON, L. An introduction to practical panarchy: linking law, resilience, and adaptive water governance of regional scale social-ecological systems. In: **Practical Panarchy for Adaptive Water Governance**. Springer, Cham, 2018. p. 1-16.
- COSTA, T.P.; PERIN, A.C.M. A gestão dos recursos hídricos no Brasil. **Revista do Curso de Direito**, v. 1, n. 1, p. 344-380, 2009.
- COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; O'NEILL, S.N.R.V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, n. 6630, p. 253-260, 1997.
- COUSINS, J. J. Infrastructure and institutions: Stakeholder perspectives of stormwater governance in Chicago. **Cities**, v. 66, p. 44-52, 2017.
- COX, M.; ARNOLD, G.; TOMÁS, S. V. A review of design principles for community-based natural resource management. **Ecology and Society**, v. 15, n. 4, 2010.

CUI, T.; LONG, Y.; WANG, Y. Choosing the LID for urban storm management in the south of Taiyuan Basin by comparing the storm water reduction efficiency. **Water**, v. 11, n. 2583, ed. 12, 7 dez. 2019.

CUNHA, L.; RAMOS, A. M. Riscos naturais em Portugal: alguns problemas, perspectivas e tendências no estudo dos riscos geomorfológicos. In: **Riscos e vulnerabilidade: teoria e prática no contexto luso-brasileiro**. São Paulo: Cultura Acadêmica, p. 19-44, 2013.

DHAKAL, K. P.; CHEVALIER, L. R. Urban stormwater governance: the need for a paradigm shift. **Environmental Management**, v. 57, n. 5, p. 1112-1124, 2016.

DANKERS, R.; ARNELL, N. W.; CLARK, D. B.; FALLOON, P. D.; FEKETE, B. M.; GOSLING, S. N.; WISSER, D. First look at changes in flood hazard in the Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project ensemble. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 9, p. 3257-3261, 2014.

DENALDI, R. Assentamentos precários do tipo favela e loteamento: identificação, dimensionamento e tipologias de intervenção. In: DENALDI, R. (Org) **Planejamento Habitacional: Notas sobre a precariedade e terra nos planos locais de habitação**. São Paulo: Annablume, 2013, p. 96-126.

DENG, X.; XU, Y. Degrading flood regulation function of river systems in the urbanization process. **Science of the Total Environment**, v. 622, p. 1379-1390, 2018.

DI BALDASSARRE, G.; MONTANARI, A.; LINS, H.; KOUTSOYIANNIS, D.; BRANDIMARTE, L.; BLÖSCHL, G. Flood fatalities in Africa: from diagnosis to mitigation. **Geophysical Research Letters**, v. 37, n. 22, 2010.

DI BALDASSARRE, G.; VIGLIONE, A.; CARR, G.; KUIL, L.; SALINAS, J. L.; BLÖSCHL, G. Socio-hydrology: conceptualising human-flood interactions. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 17, n. 8, p. 3295-3303, 2013.

DI BALDASSARRE, G.; VIGLIONE, A.; CARR, G.; KUIL, L.; YAN, K.; BRANDIMARTE, L.; BLÖSCHL, G. Debates—Perspectives on socio-hydrology: Capturing feedbacks between physical and social processes. **Water Resources Research**, v. 51, n. 6, p. 4770-4781, 2015.

DI BALDASSARRE, G.; MARTINEZ, F.; KALANTARI, Z.; VIGLIONE, A. Drought and flood in the Anthropocene: feedback mechanisms in reservoir operation. **Earth System Dynamics**, v. 8, n. 1, p. 225-233, 2017.

DIETZ, M. E. Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 186, n. 1, p. 351-363, 2007.

ELLIOT, T.; BABÍ ALMENAR, J.; NIZA, S.; PROENÇA, V.; RUGANI, B. Pathways to modelling ecosystem services within an urban metabolism framework. **Sustainability**, v. 11, n. 10, p. 2766, 2019.

EM-DAT. **The OFDA/CRED International Disaster Database**. UN REPORT: DRAMATIC RISE IN CLIMATE DISASTERS OVER LAST TWENTY YEARS. UNDRR, ago, 2020.

FADEL, A. W.; MARQUES, G. F.; GOLDENFUM, J. A.; MEDELLÍN-AZUARA, J.; TILMANT, A. Full flood cost: insights from a risk analysis perspective. **Journal of Environmental Engineering**, v. 144, n. 9, p. 04018071, 2018.

FERREIRA, L. T.L.M.; BRAGA, R.M.B.; MENEZES, M.C.; MOURA, M.P.; SILVA, L.H.O.; NEVES, M.G.F.P.; SOUZA, V.C.B. Perspectiva da biorretenção como solução de manejo de águas pluviais para regiões urbanizadas. In: **Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, nov. 2017.

FIELD, C. B.; BARROS, V. R. (Ed.). **Climate change 2014–Impacts, adaptation and vulnerability: Regional aspects**. Cambridge University Press, 2014.

FLETCHER, T.D.; SHUSTER, W.; HUNT, W.F.; ASHLEY, R.; BUTLER, D.; ARTHUR, S.; TROWSDALE, S.; BARRAUD, S.; SEMADENI-DAVIES, A.; BERTRAND-KRAJEWSKI, J. 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.

GALVÃO, C.O.; MORAES, D.A.; MACHADO, E.C.M.; SANTOS, B.L.F.; SANTOS, C. S.; ALVES, L.G.F.; VEIGA, M.E.B. **A dimensão ambiental e as infraestruturas na urbanização de favelas**: Concepções de projeto, formas de produção das redes e especificidades dos assentamentos precários. Relatório Final. Campina Grande, 2022, pp. 72.

GOULDEN, S.; PORTMAN, M.E.; CARMON, N.; ALON-MOZES, T. From conventional drainage to sustainable stormwater management: Beyond the technical challenges. **Journal of Environmental Management**, v. 219, p. 37-45, 2018.

GRANGEIRO, E. L. A.; PINHEIRO, M. M. R.; MIRANDA, L. I. B. Integração de políticas públicas no Brasil: o caso dos setores de recursos hídricos, urbano e saneamento. **Cadernos Metrópole**, São Paulo, v. 22, n. 48, p. 417-434, 2020.

GUILLET, D.W. **Covering ground: communal water management and the state in the Peruvian highlands**. University of Michigan Press, 1992.

HAGENLOCHER, M.; RENAUD, F. G.; HAAS, S.; SEBESVARI, Z. Vulnerability and risk of deltaic social-ecological systems exposed to multiple hazards. **Science of the Total Environment**, v. 631, p. 71-80, 2018.

HAINES-YOUNG, R.; POTSCHIN-YOUNG, M. Revision of the common international classification for ecosystem services (CICES V5. 1): a policy brief. **One Ecosystem**, v. 3, p. e27108, 2018.

HANDAYANI, W.; CHIGBU, U.E.; RUDIARTO, I.; PUTRI, I.H.S. Urbanization and Increasing Flood Risk in the Northern Coast of Central Java—Indonesia: An Assessment towards Better Land Use Policy and Flood Management. **Land**, v. 9, n. 10, p. 343, 2020.

HOANG, L.; FENNER, R. a A. System interactions of stormwater management using sustainable urban drainage systems and green infrastructure. **Urban Water Journal**, v. 13, n. 7, p. 739-758, 2016.

HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual Review of Ecology and Systematics** 4: 1-23, 1973.

HOLLING, C. S.; GUNDERSON, L. H. Resilience and adaptive cycles. In: **Panarchy: understanding transformations in human and natural systems**, p. 25-62. Washington: Island Press, 2002.

HUGHES, T.P.; BELLWOOD, D.R.; FOLKE, C.; STENECK, R.S.; WILSON, J. New paradigms for supporting the resilience of marine ecosystems. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 20, n. 7, p. 380-386, 2005.

ISDR, U. Hyogo framework for action 2005-2015: building the resilience of nations and communities to disasters. In: **Extract from the final report of the World Conference on Disaster Reduction (A/CONF. 206/6)**. Geneva: The United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2005.

- 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.
- KOOIMAN, J. Exploring the concept of governability. **Journal of Comparative Policy Analysis: Research and Practice**, v. 10, n. 2, p. 171-190, 2008.
- LAFORTEZZA, R.; DAVIES, C.; SANESI, G.; KONIJNENDIJK, C. C. Green Infrastructure as a tool to support spatial planning in European urban regions. **iForest-Biogeosciences and Forestry**, v. 6, n. 3, p. 102, 2013.
- LARSEN, T. A.; GUJER, W. The concept of sustainable urban water management. **Water Science and Technology**, v. 35, n. 9, p. 3-10, 1997.
- LEMOS, M.C.; AGRAWAL, A. Environmental governance. **Annu. Rev. Environ. Resour.**, v. 31, p. 297-325, 2006.
- LEMOS, M. C.; BELL, A. R.; ENGLE, N. L.; FORMIGA-JOHNSON, R. M.; NELSON, D. R. Technical knowledge and water resources management: A comparative study of river basin councils, Brazil. **Water Resources Research**, v. 46, n. 6, 2010.
- LIMA, D. **Campina Grande sob intervenção: a ditadura de 1964 e o fim do sonho regional/desenvolvimentista**. João Pessoa: Editora da UFPB, 2012.
- LIMA, Y.S. **A política habitacional em Campina Grande – PB (1988-2009)**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.
- LIMA-SILVA, F. **Prioridade política e capacidade burocrática: a implementação do PAC Urbanização de Assentamentos Precários**. Tese (Doutorado em Administração Pública e Governo) – Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Faculdade Getúlio Vargas, São Paulo, 2019.
- LONDE, L. D. R.; COUTINHO, M. P.; GREGÓRIO, D.; TORRES, L.; SANTOS, L. B. L.; SORIANO, É. Desastres relacionados à água no Brasil: perspectivas e recomendações. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, p. 133-152, 2014.
- MACHADO, E.C.M.; SANTOS, B.L.F.; SANTOS, C.S.; ALVES, L.G.F.; VEIGA, M.E.B.; MORAES, D.A.; GALVÃO, C.O. Urbanização de assentamentos precários e o desafio da abordagem integrada a partir da drenagem urbana: o caso da bacia da Ramadinha. *In: A*

DIMENSÃO ambiental na urbanização de favelas: olhares críticos a partir da drenagem urbana nos projetos do PAC. São Paulo: Letra Capital Editora, 2021. p. 117- 156.

MAIA, B. M. A.; COSTA, C. A. SUSCEPTIBILIDADE À INUNDAÇÃO DA ÁREA URBANA NO MUNICÍPIO DE IRACEMA, CEARÁ, BRASIL. **Revista GeoInterações**, v. 1, n. 2, p. 51-67, 2017.

MANKAD, A.; WALTON, A.; ALEXANDER, K. Key dimensions of public acceptance for managed aquifer recharge of urban stormwater. **Journal of Cleaner Production**, v. 89, p. 214-223, 2015.

MCGINNIS, M. D.; OSTROM, E. Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. **Ecology and Society**, v. 19, n. 2, 2014.

MELO, T. A. T.; COUTINHO, A. P.; SANTOS, J. B. F.; CABRAL, J. J. S. P.; ANTONINO, A. C. D.; LASSABATERE, L. Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 3, p. 53-72, 2016.

MELO, L.G. **Habitação popular em Campina Grande**. Dissertação (Mestrado em Sociologia) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1985.

MITCHELL, B. Integrated water resource management, institutional arrangements, and land-use planning. **Environment and Planning A**, v. 37, n. 8, p. 1335-1352, 2005.

MONTEIRO, S. R. R. P. O marco conceitual da vulnerabilidade social. **Sociedade em Debate**, 17 (2): 29- 40. Pelotas, 2011.

MORAES, D; MIRANDA, L.; CARVALHO, M.; ALMEIDA, A.; LACERDA, J. **Direito à Cidade e Habitação**: condicionantes institucionais e normativas para a implementação de políticas de urbanização de favelas – avaliação do ciclo recente. Relatório Final. Campina Grande, 2021, pp. 101.

MUNEEPEERAKUL, R.; ANDERIES, J. M. Strategic behaviors and governance challenges in social-ecological systems. **Earth's Future**, v. 5, n. 8, p. 865-876, 2017.

MURPHY, A.; ENQVIST, J.P.; TENGÖ, M. Place-making to transform urban social-ecological systems: insights from the stewardship of urban lakes in Bangalore, India. **Sustainability Science**, v. 14, n. 3, p. 607-623, 2019.

NASCIMENTO, N.; ELEUTÉRIO, J.; COSTA, H.; VINÇON-LEITE, B.; MOURÃO, A.; FARIA, D.; MONTE-MOR, R. Sustainable urban development through a blue and green network approach focusing the protection of water resources: the case of the Belo Horizonte Metropolitan Region, in Brazil. **International Journal of Water**, v. 13, n. 4, p. 311-332, 2019.

NETO, S.; CAMKIN, J.; FENEMOR, A.; TAN, P.; BAPTISTA, J. M.; RIBEIRO, M. M. R.; SCHULZE, R.; STUART-HILL, S.; SPRAY, C.; ELFITHRI, R. OECD principles on water governance in practice: an assessment of existing frameworks in Europe, Asia-Pacific, Africa and South America. **Water International**, v. 43, n. 1, p. 60-89, 2017.

NIGUSSIE, T. A.; ALTUNKAYNAK, A. Modeling the effect of urbanization on flood risk in Ayamama Watershed, Istanbul, Turkey, using the MIKE 21 FM model. **Natural Hazards**, v. 99, n. 2, p. 1031-1047, 2019.

OGURA, A. T. Desastres Naturais. **Plenária da Conferência Brasileira de Desastres Naturais – CBDNat**. São José dos Campos, 22 de março de 2013.

OLIVEIRA, E. F. **Capacidade – panorama do PAC-UAP em Campina Grande-PB**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

OSBORNE, S. P. Introduction The (New) Public Governance: a suitable case for treatment? In: **The new public governance**. Routledge, 2010. p. 17-32.

OSTROM, E. **Governing the commons: The evolution of institutions for collective action**. Cambridge University Press, 1990.

OSTROM, E. **Understanding institutional diversity**. Princeton University Press, 2005.

OSTROM, E. A diagnostic approach for going beyond panaceas. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 39, p. 15181-15187, 2007.

OSTROM, E. Background on the Institutional Analysis and Development Framework. **Policy Studies Journal**, v. 39, n. 1, p. 7–27, 2011.

PAHL-WOSTL, C.; SENDZIMIR J.; JEFFREY, P.; AERTS, J.; BERKAMP, G.; CROSS, K. Managing change toward adaptive water management through social learning. **Ecology and Society**, v. 12, n. 2, 2007.

PARIZZI, M. G. Desastres naturais e induzidos e o risco urbano. **Geonomos**, v. 22, n.1, pp. 1-9, 2014.

PEIXOTO, V. C. **Análise paramétrica e dimensionamento de poços de infiltração para fins de drenagem urbana**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PERROTTI, D.; HYDE, K.; PEÑA, D.O. Can water systems foster commoning practices? Analysing leverages for self-organization in urban water commons as social–ecological systems. **Sustainability Science**, v. 15, n. 3, p. 781-795, 2020.

PETRESCU, D.; PETCOU, C.; SAFRI, M.; GIBSON, K. Calculating the value of the commons: Generating resilient urban futures. **Environmental Policy and Governance**, v. 31, n. 3, p. 159-174, 2021.

PINKERTON, E.; WEINSTEIN, M. **Fisheries that work sustainability through community-based management**. A Report to the David Suzuki Foundation. Vancouver. 1995.

POLIDORI, M. C. **Crescimento urbano e ambiente: um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade**. Tese Doutorado UFRGS PPGECCO. 352p. 2005.

POMEROY, R.S.; KATON, B.M.; HARKES, I. Conditions affecting the success of fisheries co-management: lessons from Asia. **Marine Policy**, v. 25, n. 3, p. 197-208, 2001.

PORSE, E. C. Stormwater governance and future cities. **Water**, v. 5, n. 1, p. 29-52, 2013.

PRUDENCIO, L.; NULL, S. E. Stormwater management and ecosystem services: a review. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 3, p. 033002, 2018.

QIAO, X.; KRISTOFFERSSON, A.; RANDRUP, T. B. Challenges to implementing urban sustainable stormwater management from a governance perspective: A literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 196, p. 943-952, 2018.

RAMALHO, P. B.; SILVA, J. F.; MELO FILHO, H.; FEITOSA, P. H. C.; LIMA, R. L. S. M. Diagnóstico do Sistema de Drenagem Urbano do Município de Campina Grande- PB. In: **Anais do XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, nov. 2014, Natal. Anais [...]. 2014.

RIGHETTO, A. M.; GOMES, K. M.; FREITAS, F. R. S. Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana. **Eng Sanit Ambient**, v. 22, n. 6, p. 1109-1120, 2017.

ROCKSTRÖM, J.; FALKENMARK, M.; ALLAN, T.; FOLKE, C.; GORDON, L.; JÄGERSKOG, A.; VARIS, O. The unfolding water drama in the Anthropocene: towards a

resilience-based perspective on water for global sustainability. **Ecohydrology**, v. 7, n. 5, p. 1249-1261, 2014.

ROMANO, O.; AKHMOUCH, A. Water governance in cities: Current trends and future challenges. **Water**, v. 11, n. 3, p. 500, 2019.

ROY, A. H.; WENGER, S. J.; FLETCHER, T. D.; WALSH, C. J.; LADSON, A. R.; SHUSTER, W. D.; BROWN, R. R. Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: lessons from Australia and the United States. **Environmental Management**, v. 42, n. 2, p. 344-359, 2008.

SANTOS, M. **Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal**. 30. ed. São Paulo: Record, 2003. 176 p.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande-PB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 943-952, 2017.

SANTOS, B. L. F. **Avaliação integrada de intervenções em drenagem urbana em assentamentos precários: o caso da Bacia da Ramadinha em Campina Grande/PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2021.

SARAUSKIENE, D.; KRIAUCIUNIENE, J.; REIHAN, A.; KLAVINS, M. Flood pattern changes in the rivers of the Baltic countries. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, v. 23, n. 1, p. 28-38, 2015.

SCHRÖTER, M.; KOELLNER, T.; ALKEMADE, R.; ARNHOLD, S.; BAGSTAD, K.J.; ERB, K.-H.; FRANK, K.; KASTNER, T.; KISSINGER, M.; LIU, J.; et al. Interregional flows of ecosystem services: Concepts, typology and four cases. **Ecosyst. Serv.**, v. 31, p. 231–241, 2018.

SCOTT, W. R. **Institutions and organisations: Ideas, interests and identities**. London: Sage. 2014.

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.

SILVA, I. A. **A política habitacional para as classes de baixa renda de Campina Grande - PB**. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1986.

SILVA, H.X. **A invenção de um lugar: vivências e memórias (n)da Favela da Cachoeira (Campina Grande 1959 - 2006)**. Dissertação (Mestrado em História) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

SILVA, E. C. B.; COSTA, M. E. L.; SILVA, C. C.; KOIDE, S. Analysis of the urbanization evolution effect on runoff using SWMM and ABC models. In: **Proceedings of the 14th IWA/IAHR International Conference on Urban Drainage (ICUD 2017)**, Prague, Czech Republic. 2017. p. 10-15.

SILVA, A. C. S.; GALVÃO, C. O.; RIBEIRO, M. M. R.; ANDRADE, T. S. Adaptation to Climate Change: Institutional Analysis. In: **Sustainable Water Resources Planning and Management Under Climate Change**. Springer, Singapore, 2017. p. 261-280.

SILVA, A.P.H.; TASSI, R.; GRAEPIN, C.; BRACHER, G.H.; MACHADO, A.A. Avaliação de impacto ambiental e proposta de mitigação com emprego de técnicas de LID. In: **Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Foz do Iguaçu, nov. 2019.

SLETTTO, B.; TABORY, S.; STRICKLER, K. Sustainable urban water management and integrated development in informal settlements: The contested politics of co-production in Santo Domingo, Dominican Republic. **Global Environmental Change**, v. 54, p. 195–202, 2019.

SOANES, K.; SIEVERS, M.; CHEE, Y. E.; WILLIAMS, N. S.; BHARDWAJ, M.; MARSHALL, A. J.; PARRIS, K. M. Correcting common misconceptions to inspire conservation action in urban environments. **Conservation Biology**, v. 33, n. 2, p. 300-306, 2019.

SOBRAL, A.; FREITAS, C. M.; ANDRADE, E. V.; LYRA, G. F. D.; MASCARENHAS, M. S.; ALENCAR, M. R. F.; CASTRO, R. A. L.; FRANÇA, R. F. Desastres naturais—sistemas de informação e vigilância: uma revisão da literatura. **Epidemiol. Serv. Saúde**, v. 19, n. 4, p. 389-402, 2010.

SØRUP, H. J. D.; FRYD, O.; LIU, L.; ARNBJERG-NIELSEN, K.; JENSEN, M. B. An SDG-based framework for assessing urban stormwater management systems. **Blue-Green Systems**, v. 1, n. 1, p. 102-118, 2019.

SOUZA, M. L. **Mudar a cidade: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbana**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2009.

SRINIVASAN, V.; SANDERSON, M.; GARCIA, M.; KONAR, M.; BLÖSCHL, G.; SIVAPALAN, M. Prediction in a socio-hydrological world. **Hydrological Sciences Journal**, v. 62, n. 3, p. 338-345, 2017.

TASCA, F. A.; POMPÊO, C. A.; FINOTTI, A. R. Evolução da Gestão da Drenagem Urbana na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-Açu. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 2, p. 264-283, 2018.

THORPE, D. Urban metabolism: viewing cities like bodies can help reduce environmental impact. **The Fifth State**, 2018. Disponível em: <https://thefifthstate.com.au/urbanism/planning/urban-metabolism-viewing-cities-like-bodies-can-help-reduce-environmental-impact/>. Acesso em: 10, dezembro e 2021.

TUCCI, C.E.M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Programa de Modernização do Setor Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades, 2005.

TUCCI, C.E.M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, v. 11, 2007.

TUCCI, C. E.M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, p. 97-112, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília: CEPAL/IPEA, 2012.

UGEDA JR, J. C. PLANEJAMENTO DA PAISAGEM E PLANEJAMENTO URBANO: REFLEXÕES SOBRE A URBANIZAÇÃO BRASILEIRA. **Revista Mato-Grossense de Geografia**, Cuiabá, v. 17, n. 1, p. 101 - 116, jan/jun 2014.

UN-HABITAT. **World Cities Report 2016: Urbanization and Development: Emerging Futures**. UN-HABITAT, 2016. 262 p. ISBN 978-92-1-132708-3.

UN-HABITAT. **World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization: Key Findings and Messages**. UN-HABITAT, 2020. 418 p. ISBN 978-92-1-132872-1.

UNDRR. **Human Cost of Disasters: An Overview of the Last 20 Years 2000-2019**. 2020a.

- UNDRR. **Dramatic Rise In Climate Disasters Over Last Twenty Years**. 2020b.
- UNISDR. **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030: United Nations International Strategy for Disaster Reduction**; UNISDR: Geneva, Switzerland, 2015.
- VEIGA, M.E.B.; RIBEIRO, M.M.R.; ALVES, L.G.F.; GALVÃO, C.O. Robustez socioecológica e avaliação da eficácia da infraestrutura verde em uma bacia urbana com assentamento precário. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XXIV.*, 2021, Belo Horizonte. **Anais do XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: ABRH, 2021.
- VIALATTE, Jean-Charles; LEDUC-PRIMEAU, François. A study of deep learning robustness against computation failures. 2017.
- WACHSMUTH, D. Three ecologies: Urban metabolism and the society-nature opposition. **The Sociological Quarterly**, v. 53, n. 4, p. 506-523, 2012
- WISNER, B.; BLAIKIE, P.; BLAIKIE, P.M.; CANNON, T.; DAVIS, I. **At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters**. Psychology Press, 2004.
- WOLMAN, A. **The metabolism of cities**. Scientific American 213(3):179-190, 1965.
- WOODS-BALLARD, B.; KELLAGHER, R.; JEFFERIES, C.; BRAY, R.; SHAFFER, P. **The SuDS Manual**. Londres: CIRIA, 2007. 984 p.
- WOODS-BALLARD, B.; KELLAGHER, R.; JEFFERIES, C.; BRAY, R.; SHAFFER, P. **The SuDS manual**. v. 01, Londres: CIRIA, 2015. 984 p.
- WU, X.; WANG, Z.; GUO, S.; LIAO, W.; ZENG, Z.; CHEN, X. Scenario-based projections of future urban inundation within a coupled hydrodynamic model framework: a case study in Dongguan City, China. **Journal of Hydrology**, v. 547, p. 428-442, 2017.
- WU, T.; SONG H.; WANG, J.; FRIEDLER, E. Framework, procedure, and tools for comprehensive evaluation of sustainable stormwater management: a review. **Water**, v. 12, n. 5, p. 1231, 2020.
- YIN, J.; YU, D.; YIN, Z.; LIU, M.; HE, Q. Evaluating the impact and risk of pluvial flash flood on intra-urban road network: A case study in the city center of Shanghai, China. **Journal of hydrology**, v. 537, p. 138-145, 2016.

ZANANDREA, F.; SILVEIRA, A. L. L. Uso de técnicas de low impact development no controle de impactos hidrológicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, p. 1195-1208, 2019.

ZHOU, K.; D., John Comstock. **Essentials of robust control**. Upper Saddle River, NJ: Prentice hall, 1998.

ANEXO A

Variáveis de primeira ordem	Variáveis de segunda ordem	Caso de estudo
Sistemas de Governança (SG)	SG1 – Organizações governamentais	Governo Municipal (Secretarias Municipais). Defesa Civil.
	SG2 – Organizações Não-governamentais	Comissões de Vizinhança.
	SG3 – Estrutura da rede	Bacias hidrográficas urbanas. Canais de drenagem. Sistemas de microdrenagem. Sistemas de captação de águas pluviais.
	SG4 – Sistemas de direitos de propriedade	As águas pluviais não têm restrições quanto aos limites de apropriação.
	SG5 – Regras de escolha operacional	Desempenho do sistema avaliado por projetos de drenagem.
	SG6 – Regras de escolha coletiva	Inexistente.
	SG7 – Regras de escolha institucional	Legislação de Saneamento Ambiental, Gestão de Recursos Hídricos, Planejamento Urbano e Código de Obras.
	SG8 – Regras de monitoramento e sanções	A Defesa Civil e os usuários dos recursos são responsáveis pelo monitoramento. Não há regras entre os usuários.
Atores (A)	A1 – Número de atores relevantes	Amplo grupo de atores composto pelos responsáveis pelo governo municipal.
	A2 – Atributos socioeconômicos	Bacia caracterizada por diferentes padrões econômicos e sociais. Áreas vulneráveis ao longo do canal.
	A3 – Históricos de experiências anteriores	Planos e projetos baseados na abordagem tradicional da infraestrutura cinza provaram ser ineficazes para o gerenciamento de águas pluviais.
	A4 – Localização	Tendência de urbanização ao longo de rios urbanos, onde os serviços dos ecossistemas estão reduzidos.
	A5 – Liderança/ Empreendedorismo	Secretarias Municipais

	A6 – Normas (confiança-reciprocidade) / Capital social	Evidência limitada de confiança-reciprocidade na gestão de recursos entre usuários e provedores.
	A7 – Conhecimento de modelos SSE/mentais	A falta de conhecimento específico na aplicação dos recursos e a infraestrutura só é incluída na análise após a ocorrência de desastres.
	A8 – Importância do Recurso	Não há importância atribuída ao recurso, percebido como uma ameaça.
	A9 – Tecnologia disponível	As técnicas sustentáveis (como os SUDS) quase não são implementadas em espaços públicos e privados.
Resource systems (SR)	SR1 – Setor	Águas pluviais urbanas.
	SR2 – Definição nos limites do sistema	Limites definidos por divisores topográficos da bacia hidrográfica.
	SR3 – Tamanho do sistema de recurso	Perímetro urbano.
	SR4 – Facilidades construídas pelo homem	Elementos de micro e macrodrenagem (bocas de lobo, sarjetas de rua e de estrada, valas de beira de estrada, canais e fossas, e sistema de tubulação subterrânea)
	SR5 – Produtividade do sistema	Conectividade alta, pelo projeto do sistema.
	SR6 – Propriedade de equilíbrio	Eventos de chuvas intensas afetam o funcionamento do sistema.
	SR7 – Previsibilidade da dinâmica do sistema	Clima bem caracterizado, com eventos de chuvas previsíveis.
	SR8 – Característica de armazenamento	Não é comumente aplicado, mas tem um tamanho razoável para edifícios.
	SR9 – Localização	Limites da cidade.
Resource units (UR)	UR1 – Mobilidade da unidade de recursos	O recurso é altamente móvel e depende da inclinação e da permeabilidade da superfície.

	UR2 – Taxa de crescimento ou substituição	Cada evento pluviométrico.
	UR3 – Interação entre unidades de recursos	Unidades de recursos majoritariamente dependentes das vazões afluentes a montante.
	UR4 – Valor econômico	O valor econômico da água é inexistente, pois não é aplicada nenhuma taxa pelo seu uso. De igual forma, não possui compensações econômicas.
	UR5 – Número de unidades	Apenas uma (água pluvial).
	UR6 – Características distintas	Diferentes projetos de sistemas, variando na eficácia da aplicação da tecnologia.
	UR7 – Distribuição espacial e temporal	Distribuição espacial e temporal proporcional.
Situações de ação: Interações (I) → Resultados (R)	I1 – Captação	A aplicação da captação de água da chuva foi simulada através de modelagem.
	I2 – Compartilhamento de informações	Partilha insuficiente de conhecimentos (a secretaria municipal tem um número insuficiente de profissionais com habilidades político-relacionais para se comunicar com a comunidade).
	I3 – Processos de deliberação	O processo de deliberação prossegue em um modelo de cima para baixo.
	I4 – Conflitos	A própria comunidade se sente excluída do processo de tomada de decisão e ameaçada por eventos de cheia.
	I5 – Atividades de investimento	Investimentos de programas governamentais e federais (PAC-UAP).
	I6 – Atividades de <i>lobbying</i>	A comunidade solicitou intervenções governamentais através de jornais locais e mídias sociais.
	I7 – Atividades auto-organizadas	A ONG "Nossa Ramadinha" é uma iniciativa comunitária.
	I8 – Atividades de rede	A comunidade se reúne regularmente (registros nas redes sociais).

	I9 – Atividades de monitoramento	Baixo monitoramento dos usuários e provedores de infraestrutura pública.
	I10 – Evaluative activities	Os resultados da modelagem do escoamento de águas pluviais mostraram a falta de uma infraestrutura de microdrenagem.
	R1 – Medidas de desempenho social	Baixo monitoramento entre as variáveis sociais.
	R2 – Medidas de desempenho ecológico	Nenhuma medida foi executada.
	R3 – Externalidades para outros SSE	Conexões com outros sistemas socioecológicos urbanos.
Social, economic, and political settings (S)	S1 – Desenvolvimento Econômico	A consistência na operação do sistema reduz as perdas econômicas envolvidas.
	S2 – Tendências Demográficas	Diminuição da população rural nos municípios.
	S3 – Estabilidade Política	Sistema político estável funcionando com instituições governamentais consolidadas.
	S4 – Outros sistemas de governança	Alguns sistemas de governança relacionados, por exemplo, abastecimento de água.
	S5 – Mercados	Os mercados de água não são permitidos no país.
	S6 – Organizações midiáticas	Mídia local, regional e nacional acessível no estudo de caso. Há liberdade de expressão.
	S7 – Tecnologia	Tecnologias tradicionais e de alto custo.
Related ecosystems (ECO)	ECO1 – Padrões Climáticas	Clima semi-árido.
	ECO2 – Padrões de Poluição	Influencia a qualidade dos corpos d'água, a partir do transporte de poluentes.
	ECO3 – Transações pelo foco da SSE	O fluxo do ciclo da água em bacias hidrográficas urbanas.

ANEXO B

Princípio Institucional	Drenagem Bacia da Ramadinha	
1A. Limites dos usuários	Consistência	- Limites de gestão delegados ao órgão municipal, com a gerência realizada pelas secretarias municipais e a defesa civil.
	Inconsistência	- Apesar da delegação dos responsáveis, as secretarias carecem de técnicos, com poucos muito qualificados. Além de falhas a partir das mudanças bruscas nas equipes das secretarias e na concepção e gestão de programas, em função das disputas políticas entre famílias tradicionais antagônicas, que revezam o poder, nos governos municipal e estadual. - O município carece de legislação específica para gestão da drenagem, não possuindo o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU) ou planos diretores para as sub-bacias que compõem o sistema. - Não existe delimitação dos usuários que podem apropriar-se do recurso. De igual forma, a contaminação do efluente também não é considerada.
1B. Limites do recurso	Consistência	- Limites hidrológicos determinam a configuração espacial da bacia.
	Inconsistência	- Incongruência na elaboração dos limites dos sistemas de recurso em função dos dados existentes e da abordagem de concepção dos projetos. O Diagnóstico das Capacidades Institucionais do PEMAS / HBB, realizado em 2001, demonstra que a estrutura institucional possui demandas operacionais e administrativas, sendo destacado a escassez dos dados cadastrais de redes e georreferenciados. Reforça-se a desarticulação entre as políticas públicas de planejamento territorial e urbano para a gestão das águas urbanas.
2A. Congruência com as condições locais	Consistência	- Normativas elaboradas conforme as condições locais, com um histórico de revisões dos critérios utilizados para a delimitação do sistema.
	Inconsistência	- Sistema de drenagem não foi efetivamente realizado, uma vez que a obra de macrodrenagem foi executada com erros projetuais inadequados às condições geomorfológicas locais. Levantamentos e estudos realizados na primeira década dos anos 2000.

2B. Apropriação e provisão	Consistência	- Insumos e mão-de-obra requeridos ao tamanho do atendimento do sistema.
	Inconsistência	- Devido aos erros projetuais, além do superdimensionamento, normalmente, são necessários aditivos financeiros e de prazo, além de acionarem outros problemas de drenagem da bacia devido ao acúmulo de águas nas margens. - Não existem tarifas para a drenagem urbana, sobretudo por não possuir um prestador de serviço exclusivo para o manejo de águas pluviais.
3. Acordos de escolha coletiva	Consistência	- As normativas estimulam a criação de grupos representativos da sociedade não organizada com conhecimentos mínimos de saneamento ambiental para acompanhar e fiscalizar a execução dos planos. Como exemplo as comissões de moradores, com o intuito de suscitar liderança em alguns representantes.
	Inconsistência	- Mesmo que criadas, as comissões de moradores apresentaram funcionamento instável. Ademais, a equipe técnica das secretarias não dispõe de uma quantidade suficiente de profissionais com habilidade político-relacional ou poder decisório. Dificultando a articulação entre o poder público e as comunidades, observado em queixas às mídias jornalísticas e críticas em redes sociais.
4A. Monitoramento do Usuário	Consistência	- Não há.
	Inconsistência	- Os usuários não são controlados mediante sua apropriação do recurso.
4B. Monitoramento do recurso	Consistência	- Normativas delimitam a revisão regular do recurso aos diversos níveis, assim como das obras de contenção. - A Defesa Civil Municipal monitora as áreas de risco já identificadas.
	Inconsistência	- Os usuários não são controlados mediante a preservação do recurso.
5. Sanções graduadas	Consistência	- Não há.

	Inconsistência	- Não são aplicadas penalidades ao nível das políticas tratadas para infração no sistema de manejos de águas pluviais, apenas descreve de forma exclusiva aos referentes a avaliação dos indicadores propostos pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento no Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto.
6. Mecanismo de resolução de conflitos	Consistência	- A responsabilidade recai sobre a ANA - em caráter voluntário e com sujeição à concordância entre as partes - a ação mediadora ou arbitral nos conflitos que envolvam titulares, agências reguladoras ou prestadores de serviços públicos de saneamento básico.
	Inconsistência	- Conflitos não são verdadeiramente acordados através de debates entre as partes responsáveis pelo manejo de águas pluviais.
7. Reconhecimento mínimo dos direitos de organização	Consistência	- Não há.
	Inconsistência	- Não existem normativas produzidas de forma independente pelos atores beneficiados. Havendo prevalência dos agentes governamentais na definição de metas e objetivos.
8. Empresas agrupadas	Consistência	- Conselho Nacional da Saúde (CNS); Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH); Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA); Conselho das Cidades (CONCIDADES). Junto com o Conselho Municipal da Cidade e/ou do Desenvolvimento Urbano; Conselho Municipal de Saúde; Conselho Municipal De Meio Ambiente. - Coordenadoria de Obras (COBRAS); Coordenadoria Municipal de Habitação (CMH)
	Inconsistência	- A inexistência do Conselho Municipal de Saneamento assim como a não delimitação do órgão prestador do serviço de drenagem urbana dificultam as ações combinadas direcionadas dos conselhos. - Políticas setorizadas com diferentes escalas de espaço, domínio ou titularidade, gestores, instrumentos e modelos de governança.

ANEXO C

Associação

- 1) Sem associação
- 2) Fraco = alguns objetivos comuns
- 3) Moderado = objetivos e medidas comuns da política proposta
- 4) Forte = experiência anterior e política bem associada em curso
- 5) Associação total = estrutura política que corresponde a todos os objetivos do princípio institucional

Implementação

- 1) Nenhuma implementação
- 2) Fraco = tratados de forma superficial
- 3) Moderado = consistentemente incluído, com algumas medidas propostas
- 4) Forte = em implementação através de medidas em vigor
- 5) Implementação total = implementado com resultados avaliados/boa prática

Resultados em campo

- 1) Nenhuma evidência de mudança
- 2) Fraco = envolvendo um agente de mudança
- 3) Moderado = envolvendo diferentes agências e partes interessadas
- 4) Forte = envolvendo plataformas de participação e tomada de decisão em vários níveis
- 5) Grandes mudanças evidentes = implementadas com resultados avaliados/boa prática

Impacto na política

- 1) Sem impacto
- 2) Fraco = considerado e sendo implementado na política de saneamento em andamento
- 3) Moderado = considerado para implementação em outras políticas (impacto transversal)
- 4) Forte = impactar diferentes níveis institucionais de governança (impacto vertical, de baixo para cima e de cima para baixo)
- 5) Impacto muito forte = produzir mudanças políticas após avaliação (por exemplo, nova legislação, medidas regulatórias, reestruturação institucional ou arranjos institucionais inovadores)