



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

ANA CAROLINA VASCONCELOS BARRETO

**PROJETOS URBANOS SENSÍVEIS À ÁGUA COMO ALTERNATIVA PARA A
SEGURANÇA HÍDRICA EM REGIÕES SEMIÁRIDAS: UM ESTUDO NA CIDADE
DE CAMPINA GRANDE - PB**

**CAMPINA GRANDE - PB
2023**

ANA CAROLINA VASCONCELOS BARRETO

**PROJETOS URBANOS SENSÍVEIS À ÁGUA COMO ALTERNATIVA PARA A
SEGURANÇA HÍDRICA EM REGIÕES SEMIÁRIDAS: UM ESTUDO NA CIDADE
DE CAMPINA GRANDE - PB**

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo) apresentado ao departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de bacharela em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientadora: Profa. Dra. Maria José De Sousa Cordão

Coorientadora: Profa. Dra. Ysa Helena Diniz Morais De Luna

**CAMPINA GRANDE - PB
2023**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

B273p Barreto, Ana Carolina Vasconcelos.

Projetos urbanos sensíveis à água como alternativa para a segurança hídrica em regiões semiáridas [manuscrito] : um estudo na cidade de Campina Grande - PB / Ana Carolina Vasconcelos Barreto. - 2023.

24 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2023.

"Orientação : Profa. Dra. Maria José de Sousa Cordão, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT. "

1. Gestão sustentável. 2. Águas urbanas. 3. Segurança hídrica. I. Título

21. ed. CDD 628

ANA CAROLINA VASCONCELOS BARRETO

PROJETOS URBANOS SENSÍVEIS À ÁGUA COMO ALTERNATIVA PARA A
SEGURANÇA HÍDRICA EM REGIÕES SEMIÁRIDAS: UM ESTUDO NA CIDADE DE
CAMPINA GRANDE - PB

Trabalho de Conclusão de Curso (Artigo)
apresentado ao departamento de
Engenharia Sanitária e Ambiental da
Universidade Estadual da Paraíba, como
requisito parcial à obtenção do título de
bacharela em Engenharia Sanitária e
Ambiental.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

Aprovada em: 29/11/2023.

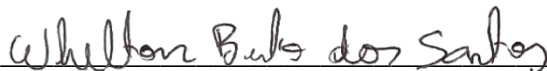
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Maria José De Sousa Cordão (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Ysa Helena Diniz Morais De Luna (Coorientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Whelton Brito Dos Santos
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Ruth Silveira Do Nascimento
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1	Urbanização e segurança hídrica.....	6
2.2	Infraestruturas urbanas de água	7
2.2.1	<i>Sistema centralizado</i>	7
2.2.2	<i>Sistema descentralizado</i>	7
2.3	Design Urbano Sensível à Água (WSUD)	9
3	ÁREA DE ESTUDO.....	11
4	METODOLOGIA.....	13
4.1	Modelo espacial do Risco de Escassez Hídrica (REH).....	14
4.2	Modelo espacial de Susceptibilidade a Inundações (SI).....	15
4.3	Modelagem do MapWSUD	16
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
6	CONCLUSÃO.....	19
	REFERÊNCIAS.....	20

PROJETOS URBANOS SENSÍVEIS À ÁGUA COMO ALTERNATIVA PARA A SEGURANÇA HÍDRICA EM REGIÕES SEMIÁRIDAS: UM ESTUDO NA CIDADE DE CAMPINA GRANDE - PB

SENSITIVELY WATER-SENSITIVE URBAN PROJECTS AS AN ALTERNATIVE FOR WATER SECURITY IN SEMI-ARID REGIONS: A STUDY IN THE CITY OF CAMPINA GRANDE - PB

Ana Carolina Vasconcelos Barreto¹

Profa. Dra. Maria José De Sousa Cordão²

Profa. Dra. Ysa Helena Diniz Moraes De Luna³

RESUMO

Em um contexto de intensas mudanças socioambientais e climáticas que desafiam a gestão das águas urbanas, torna-se mais reconhecida uma transição para adequação de infraestruturas que visam promover a resiliência das cidades. Essas infraestruturas integram os Projetos Urbanos Sensíveis à Água (WSUD), os quais oferecem uma abordagem alternativa para infraestruturas de água urbana, que visa apoiar a segurança hídrica. Este estudo envolveu um processo metodológico para a combinação de dois modelos espaciais de apoio à tomada de decisão relacionados com a segurança hídrica urbana na cidade de Campina Grande, Paraíba: o modelo de risco de escassez hídrica e o de susceptibilidade a inundações, desenvolvidos por estudos anteriores. A combinação dos modelos através de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) resultou no mapeamento de áreas potenciais para adequação espacial de WSUD. A abordagem proposta contribui com o mapeamento de áreas prioritárias em que a implementação de WSUD será mais eficaz para mitigação concomitante de escassez hídrica e inundações baseado em necessidades. Assim, o resultado do mapeamento das áreas prioritárias se constitui como um modelo espacial que visa o apoio à tomada de decisão de gestores públicos em novos projetos que incluem infraestruturas sustentáveis.

Palavras-Chave: WSUD; segurança hídrica; gestão sustentável; águas urbanas.

ABSTRACT

In a context of intense socio-environmental and climate changes that challenge the management of urban waters, a transition towards the adaptation of infrastructures aimed at promoting city resilience becomes more recognized. These infrastructures integrate Water-Sensitive Urban Design (WSUD) projects, which offer an alternative approach to urban water infrastructures to support water security. This study involved

¹ Estudante de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Estadual da Paraíba; Campina Grande, PB; e-mail: ana.barreto@aluno.uepb.edu.br

² Professora do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Estadual da Paraíba; Campina Grande, PB; mariacordao@servidor.uepb.edu.br

³ Professora do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Estadual da Paraíba; Campina Grande, PB; e-mail: ysaluna@servidor.uepb.edu.br

a methodological process for combining two spatial decision support models related to urban water security in Campina Grande - PB: the water scarcity risk model and the flood susceptibility model, developed in previous studies. The combination of these models through Geographic Information Systems (GIS) resulted in mapping potential areas for spatial adaptation of WSUD. The proposed approach contributes to mapping priority areas where the implementation of WSUD will be more effective for the simultaneous mitigation of water scarcity and floods based on needs. The result of mapping these priority areas is a spatial model to support the decision-making of public managers in new projects that include sustainable infrastructures.

Keywords: WSUD; water security; sustainable management; urban waters.

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso vital que afeta diretamente a saúde, a segurança alimentar, o desenvolvimento econômico, o meio ambiente e o bem-estar geral de uma população. Nesse sentido, os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), em sua maioria, dependem deste elemento fundamental (UNESCO, 2019), sendo a gestão da água um importante pilar para a sustentabilidade econômica e social das cidades.

Diante da importância da gestão sustentável da água e num contexto de intensas mudanças nas expectativas e vivências da sociedade, a quantidade e a qualidade da água disponível para as necessidades humanas básicas acabam sendo afetadas. Em muitas regiões do mundo, os recursos hídricos já estão sendo explorados acima do seu limite sustentável, o que gera escassez, conflitos e degradação da água (UNESCO, 2020).

Portanto, a gestão dos recursos hídricos passou a ser uma preocupação debatida em todos os eventos internacionais desde a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, ocorrida em Estocolmo, na Suécia, em 1972 (Malheiros; Prota; Rincón, 2013), refletindo em um cenário de preocupação com a segurança hídrica.

O conceito de segurança hídrica está associado ao princípio da universalização do acesso e efetiva prestação do serviço de saneamento básico, que inclui o abastecimento de água e a drenagem urbana. Esses serviços devem ser planejados e executados de forma a garantir um desempenho adequado para todos os usuários, conforme estabelecido pela Lei de diretrizes nacionais de saneamento básico (Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007) (Figueiredo, 2020). Partindo desse raciocínio, é possível concluir que as eventuais falhas nos sistemas de abastecimento de água e drenagem afetam negativamente a população, que resulta na insegurança hídrica do local (Marinho *et al.*, 2021) e, conseqüentemente, compromete a qualidade de vida.

De acordo com Marinho *et al.* (2021), os riscos relativos às infraestruturas de água baseiam-se em critérios da engenharia e, em geral, há um desequilíbrio na relação entre o crescimento urbano e a construção de novas infraestruturas nas cidades, além das deficiências de gestão e problemas no contexto histórico de construção do espaço urbano. De maneira geral, existem dois tipos principais de sistemas de infraestruturas de água: centralizado e descentralizado.

Os sistemas centralizados são definidos como sistemas tradicionais e lineares, com projetos em larga escala, baseados no gerenciamento de elites

técnicas que trabalham de acordo com uma estrutura regulatória rígida e centralizada (Franco-Torres *et al.*, 2020), caracterizando-se por um alto custo dos sistemas e complexidade das operações, as quais também requerem muitos recursos.

Por outro lado, os sistemas descentralizados são infraestruturas hídricas de pequena a média escala que são projetadas para utilizar diferentes fontes de água disponíveis a fim de facilitar o uso e a reutilização das águas residuais, além de contribuir para a gestão integrada das águas pluviais (Fracalanza; Rino, 2017). São uma peça fundamental para a gestão sustentável da água urbana.

Nesta perspectiva, alguns municípios apresentam falhas e ineficiências nos seus sistemas de abastecimento de água e de drenagem, como é o caso de Campina Grande, cidade paraibana situada no semiárido brasileiro. O seu sistema de abastecimento é majoritariamente centralizado e abastecido pelo Açude Epitácio Pessoa, o qual já foi alvo de numerosas crises de escassez de água.

Além das graves crises hídricas ao longo da sua história, o sistema de abastecimento de água de Campina Grande também apresenta outros pontos negativos, como uma distribuição desigual da água, além de condições discrepantes de acesso a esse recurso (Grande *et al.*, 2014; 2016) e uma desarmonia entre o planejamento ocupacional e a instalação de infraestruturas de abastecimento e distribuição no território (Marinho *et al.*, 2021).

Como alternativa para as problemáticas da má gestão dos recursos hídricos em cidades como Campina Grande, a maioria dos autores incentivam o uso de múltiplas fontes de abastecimento (descentralizado ou híbrido), reduzindo, assim, a vulnerabilidade dos centros urbanos sobre os recursos hídricos e que contribuem para a segurança hídrica da cidade.

Para isso, existem os Projetos Urbanos Sensíveis à Água (do inglês *Water Sensitive Urban Design – WSUD*), que envolvem alternativas como tratamento de esgoto e águas cinzas para fins de reuso, reaproveitamento das águas pluviais (captadas nas ruas) e o aproveitamento da água de chuva (captada nos telhados). Assim, este estudo tem como principal objetivo desenvolver um modelo de adequação espacial para WSUD no contexto da cidade de Campina Grande, através de uma análise multicritério com base em Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Urbanização e segurança hídrica

O crescente processo de urbanização em todo o mundo tem suscitado preocupações significativas em relação ao meio ambiente, com um impacto considerável na segurança hídrica, que de acordo com a UNESCO (2015) pode ser definida como a capacidade de garantir o acesso à água de qualidade e em quantidade suficiente para as diferentes demandas humanas e ambientais.

O rápido desenvolvimento dos núcleos urbanos frequentemente resulta na expansão desordenada e no aumento da impermeabilização do solo, devido, principalmente, à construção de vias, edifícios e outros tipos de infraestruturas que reduzem os espaços verdes, que são essenciais para a proteção da biodiversidade, o controle da temperatura e a recarga do lençol freático. Isso, por sua vez, prejudica a capacidade natural do solo de absorver e reter a água da chuva, aumentando o escoamento superficial e o risco de enchentes, agravando a insegurança hídrica nas cidades (Cordão, 2021).

Além disso, o aumento da demanda por água sobrecarrega os recursos hídricos disponíveis, comprometendo a qualidade e quantidade de água potável. Dessa forma, a relação entre o crescimento urbano e a segurança hídrica torna ainda mais enfática a importância da gestão da água para todos os setores nos quais uma sociedade está inserida, seja econômica, social ou ambientalmente. Por essa razão, a água se enquadra como um fator determinante para todos os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU (ONU, 2015), em especial o ODS 6 que visa assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todos, reconhecendo a água como um direito humano fundamental.

Nesse contexto, torna-se fundamental o planejamento urbano para uma adequada gestão da água, buscando garantir a qualidade de vida, a sustentabilidade e a equidade da população. Para Ghisleni (2022), o planejamento urbano pode ser entendido como “um processo de elaboração de soluções que visam tanto melhorar ou requalificar uma área urbana já existente, como também criar uma nova urbanização em determinada região”.

Entre os principais benefícios do planejamento urbano, destaca-se a sua integração com o planejamento dos recursos hídricos, podendo proporcionar benefícios como aumento da segurança hídrica e resiliência urbana (Marinho, 2018). Além disso, através do planejamento urbano também é possível adotar medidas de gestão integrada dos recursos hídricos envolvendo diferentes níveis da sociedade civil, do setor privado e das comunidades locais, buscando conciliar os interesses e demandas pelo uso da água.

A partir de um bom planejamento urbano e uma correta gestão dos recursos hídricos, é possível garantir a segurança hídrica de um município e, conseqüentemente, fornecer qualidade de vida para a população. No entanto, um dos fatores que prejudicam esses objetivos são as eventuais falhas nos sistemas de abastecimento de água, resultando na insegurança hídrica desses locais.

2.2 Infraestruturas urbanas de água

As infraestruturas urbanas de água compreendem sistemas importantes para o fornecimento, drenagem e tratamento de água em ambientes urbanos. Nesse contexto, existem dois tipos de sistemas: sistemas centralizados e descentralizados.

2.2.1 Sistema centralizado

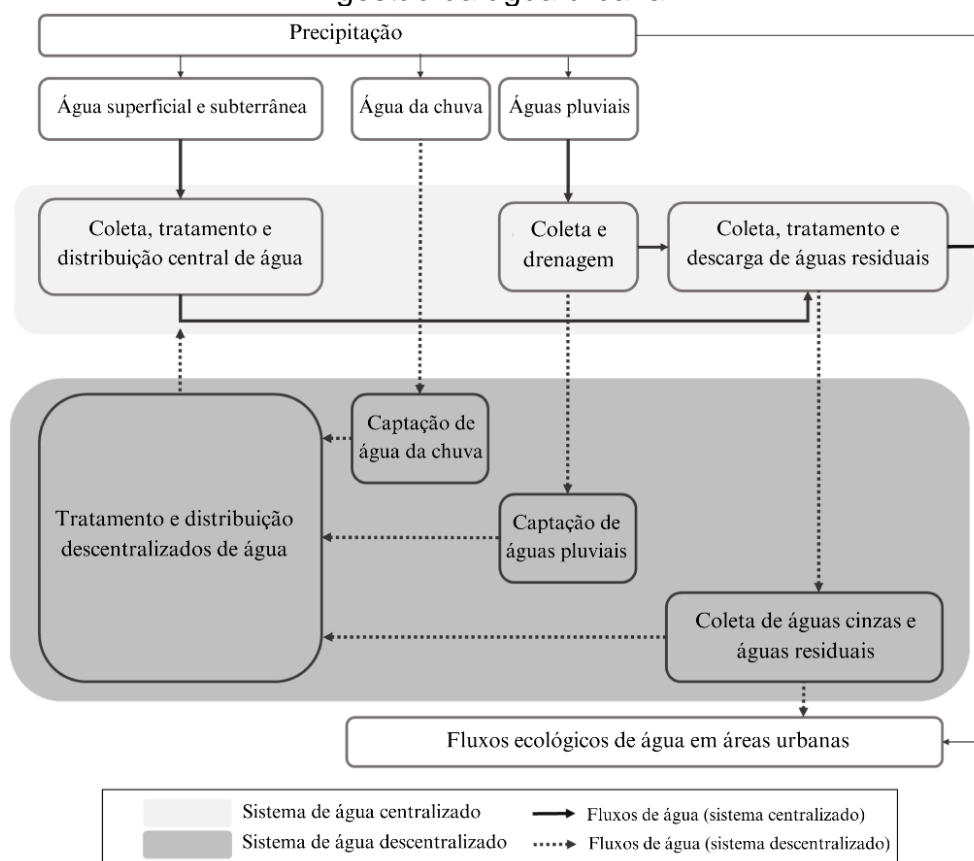
- *Abastecimento de água centralizado:* Nesse modelo, a água é coletada em grandes centrais de tratamento antes de ser distribuída extensivamente por uma rede de tubulações para os consumidores finais. Em geral, esse sistema proporciona um fornecimento confiável e tratamento centralizado para garantir os padrões de qualidade da água;
- *Drenagem urbana centralizada:* Este sistema abrange a gestão das águas pluviais e do esgoto, geralmente através de redes segregadas. As águas pluviais e os efluentes são coletados e conduzidos a grandes estações de tratamento antes de serem descarregados no meio ambiente.

2.2.2 Sistema descentralizado

- *Abastecimento de água descentralizado*: Nesta abordagem, métodos como captação de água da chuva e tratamento local são utilizados para atender a pequenas comunidades ou edificações individuais. Essas soluções, muitas vezes mais sustentáveis, proporcionam autonomia local e reduzem a dependência de grandes redes de distribuição;
- *Drenagem urbana descentralizada*: Envolvendo práticas como pavimentos permeáveis e bacias de retenção locais, a drenagem descentralizada gerencia as águas pluviais mais próximo de sua fonte. Essas soluções reduzem a carga nas redes convencionais, minimizando inundações e melhorando a qualidade da água.

Embora os sistemas descentralizados representem a forte ideia de um futuro mais sustentável e eficiente, ainda existe uma série de incertezas a serem consideradas, devido, principalmente, ao fato de serem sistemas pouco difundidos, quando comparados com os sistemas centralizados tradicionais. Assim, o conhecimento disponível até então sobre essa temática levanta algumas dúvidas acerca da durabilidade a longo prazo, os custos envolvidos na operação e manutenção do sistema, interação com os sistemas centralizados, governança e diretrizes apropriadas para a sua gestão, dificultando a aceitação dos sistemas descentralizados no mundo todo (Sapkota *et al.*, 2014). Assim, a Figura 1 apresenta os principais componentes e caminhos referentes aos SAA centralizados e descentralizados.

Figura 1 – Componentes e caminhos centralizados e descentralizados na gestão da água urbana



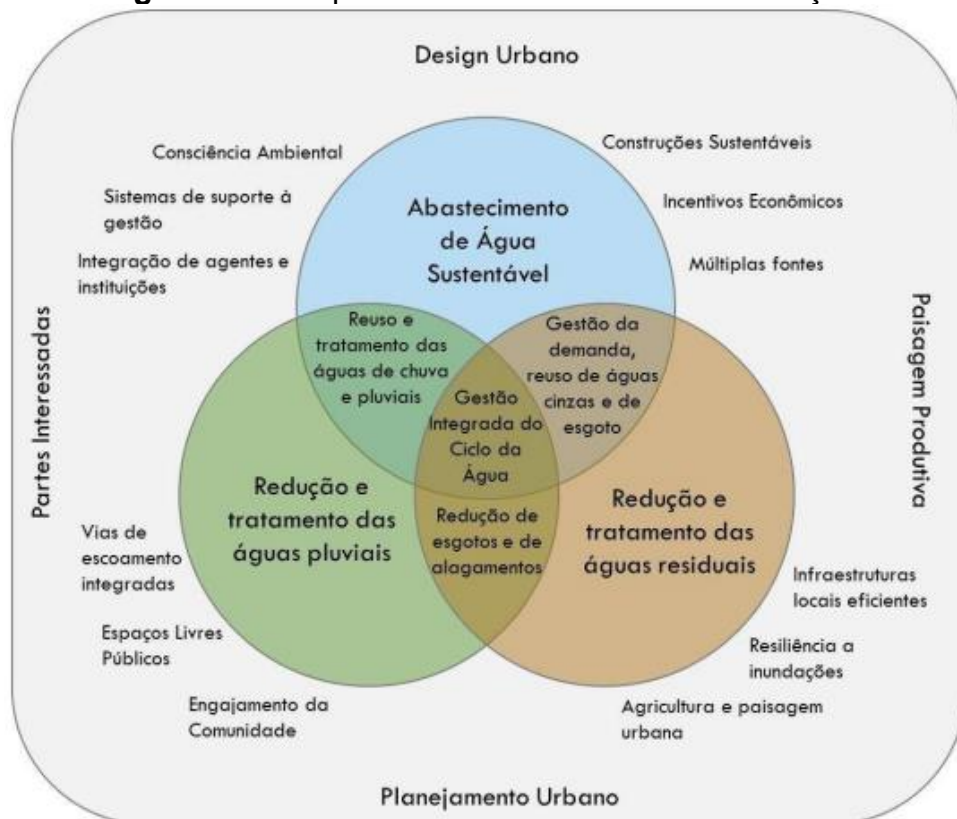
Fonte: Leigh e Lee (2019).

2.3 Design Urbano Sensível à Água (WSUD)

A partir dos anos 1990, o termo WSUD passou a ser utilizado na Austrália com sua primeira referência documentada em 1992 (Fletcher *et al.*, 2015). O Design Urbano Sensível à Água (do inglês *Water Sensitive Urban Design* – WSUD) é um termo utilizado para indicar um novo paradigma no planejamento e projeto de ambientes urbanos que tenham como proposta uma maior ‘sensibilidade’ às questões de sustentabilidade da água e proteção ambiental (Nunes *et al.*, 2011). Sendo assim, o WSUD funciona como um método integrado através de uma maior configuração e alinhamento das questões hídricas dentro do planejamento urbano, incluindo aplicações em escala local ou em escala de captação (Meng, 2022).

Nesse contexto, os projetos WSUD passam a assumir uma nova perspectiva baseada na abordagem dos 5R para o gerenciamento dos recursos hídricos no meio urbano: Recuperar (águas pluviais), Reduzir (águas de descarga), Reciclar (águas cinzas), Remediar (águas negras) e Reutilizar (águas residuais com tratamento avançado) (Zhou *et al.*, 2021). A Figura 2 apresenta os principais componentes do WSUD e suas interações.

Figura 2 – Componentes do WSUD e suas interações



Fonte: Cordão (2021), adaptado de Ashley (2013).

Os projetos WSUD podem apresentar uma grande variedade de acordo com a escala em que estão implementados. Em relação à edificação, tem-se algumas soluções como telhados verdes e sistemas de reuso de água, que promovem a eficiência hídrica local. À escala de bairro, tem-se como possibilidade a criação de parques de infiltração, que auxiliam na gestão de águas pluviais e melhoram a qualidade da água. Já na escala da captação, projetos WSUD frequentemente abrangem sistemas de biofiltros e bacias de retenção, visando mitigar os impactos

nos recursos hídricos locais. Em nível regional, a colaboração entre cidades pode levar a estratégias compartilhadas de WSUD, como a restauração de áreas úmidas e o monitoramento de bacias hidrográficas para preservar ecossistemas aquáticos (Borges, 2018). Nesse contexto, a Tabela 1 apresenta resumidamente as principais estratégias de WSUD de acordo com a escala e necessidade.

Tabela 1 – Projetos WSUD propostos para diferentes escalas

Projetos WSUD	Escala	Fonte
Captação de água de chuva	Local	Cordão (2021) Sousa (2015)
Cisternas coletivas	Setorial	Luthy <i>et al.</i> (2019)
Reuso de águas cinzas em edifícios	Setorial	Costa <i>et al.</i> (2022) Bajpai <i>et al.</i> (2020)
Pavimentos porosos	Local	Brito <i>et al.</i> (2020) Bouarafa <i>et al.</i> (2019)
Células de biorretenção	Setorial	Fletcher <i>et al.</i> (2015)
Telhado verde	Local	Imteaz <i>et al.</i> (2011)
Concreto de grama	Local	Huang <i>et al.</i> (2013)
Parques lineares	Local	Meng e Kenway (2018)

Fonte: Autoria própria, 2023.

Algumas estratégias WSUD possuem a característica de serem multifuncionais, que de acordo com Cordão (2021), consiste em proporcionar diversas funcionalidades a um sistema ambiental específico, por meio de processos de combinação e associação, resultando na geração de uma ampla variedade de respostas. De acordo com os estudos de Brito *et al.* (2020) e De Macedo *et al.* (2019), estratégias multifuncionais como, por exemplo: cisternas, wetlands, lagoas pluviais, bacias de detenção, pavimentos permeáveis e telhados verdes apresentam como objetivo proporcionar a mitigação dos impactos das inundações, melhoria da paisagem urbana e complementar o abastecimento urbano de água.

A combinação criteriosa dessas estratégias pode resultar em benefícios e resultados que atendam simultaneamente aos aspectos econômicos, sociais e ambientais de um município. Ao se considerar o contexto econômico, são válidas alternativas como: a captação e o armazenamento de águas pluviais para usos não potáveis e a utilização de pavimentos permeáveis. São estratégias de projetos WSUD que apresentam um baixo custo de instalação e manutenção, além de proporcionar benefícios financeiros diretos ou indiretos para a sociedade (Ashley *et al.*, 2013).

Já no contexto social, existem algumas alternativas WSUD que apresentam como principal objetivo atender às demandas e às expectativas da população, contribuindo para uma melhor qualidade de vida, saúde e segurança dos habitantes. Alguns exemplos são: a criação de áreas verdes e azuis, que proporcionam lazer, recreação, educação ambiental e bem-estar psicológico; a implantação de sistemas de tratamento descentralizado de águas residuais, que aumentam a cobertura do saneamento e reduzem os riscos de contaminação; e a adoção de medidas de controle de enchentes, que protegem as pessoas e os bens dos efeitos das inundações (Sharifian *et al.*, 2022).

Por outro lado, para o contexto ambiental, existem alternativas viáveis capazes de minimizar os impactos negativos do desenvolvimento urbano sobre o ciclo natural da água, promovendo também a restauração e conservação dos recursos hídricos. Algumas dessas alternativas são: técnicas de biorretenção, canteiros arborizados,

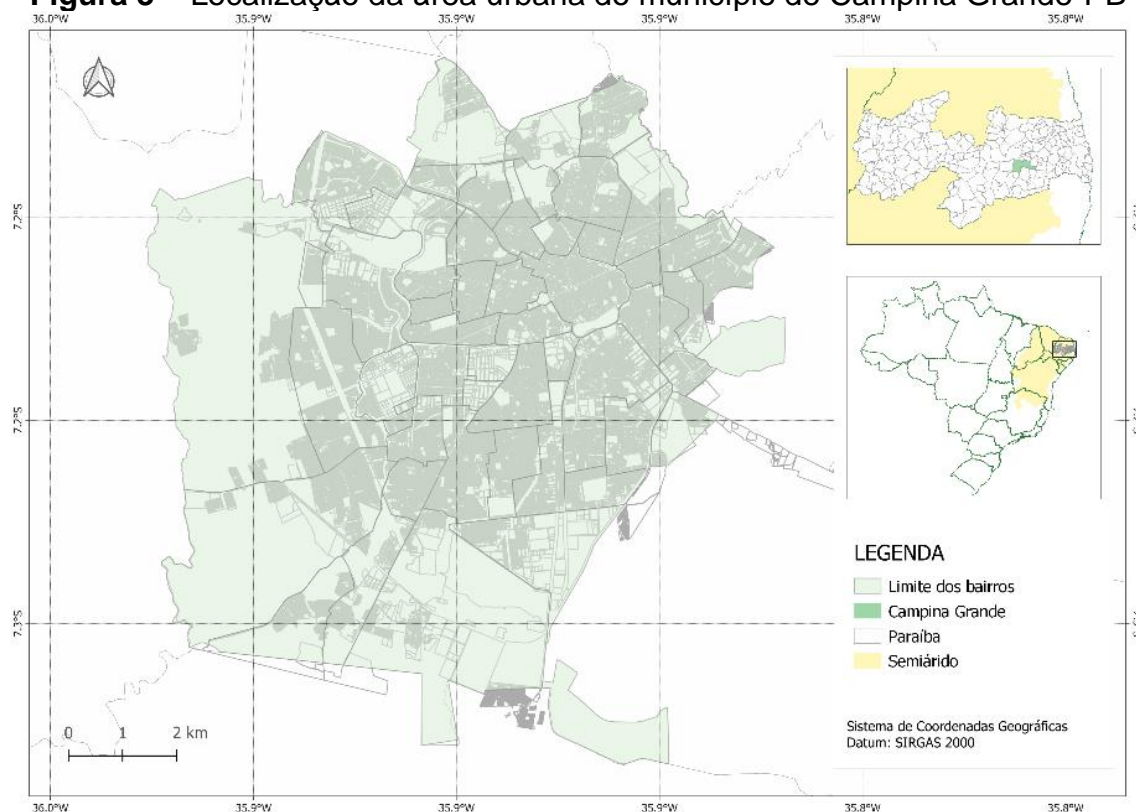
jardins de chuva, recuperação de áreas degradadas e coberturas verdes, que reduzem a temperatura e o efeito “ilha de calor”, aumentando a evapotranspiração e a biodiversidade (Andrade; Blumenschein, 2013).

Apesar de todos os benefícios que os projetos WSUD podem proporcionar para os âmbitos econômico, social e ambiental, ainda é recorrente uma série de obstáculos que dificultam a sua implementação, por motivos como, por exemplo: a resistência cultural e política em alterar o padrão de uso do solo urbano, a falta de planejamento integrado e participativo, a carência de incentivos financeiros e a falta de capacitação e conscientização da população acerca dessa temática que ainda é pouco conhecida (Borges, 2018).

3 ÁREA DE ESTUDO

Campina Grande é um município de médio porte do agreste paraibano, situado no semiárido brasileiro, com uma área de 591.658 km² e uma população estimada de 419.379 pessoas (IBGE, 2022). A sede municipal representa um importante centro econômico, educacional e tecnológico do Nordeste, o seu abastecimento de água advém da captação superficial do Açude Epitácio Pessoa, situado no município de Boqueirão - PB, a cerca de 40 km de distância do perímetro urbano de Campina Grande (Figura 3).

Figura 3 – Localização da área urbana do município de Campina Grande-PB

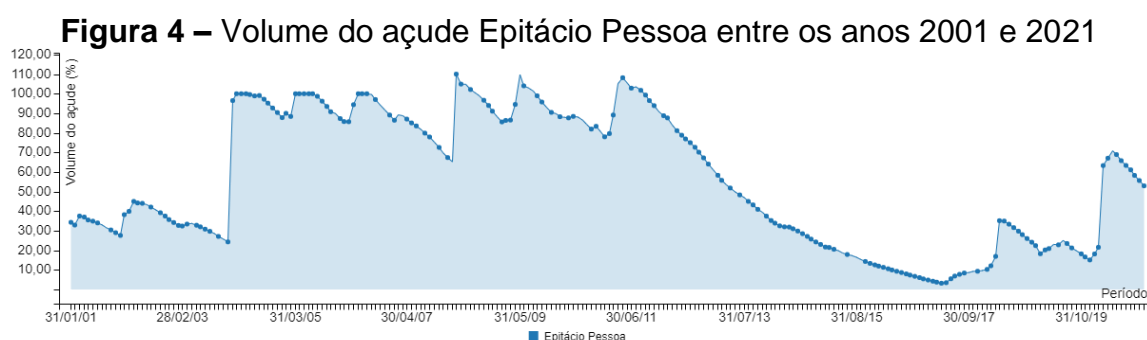


Fonte: Autoria própria (2023).

O município possui um clima tropical com estação seca e uma temperatura média anual de 23,3°C. A média anual de chuvas é de 503 mm (INMET, 2023). Na região do Açude Epitácio Pessoa, ocorre uma elevada variabilidade climática e hidrológica, com predominância de chuvas entre os meses de fevereiro e maio, além de elevadas taxas de evaporação. Assim, o município de Campina Grande

caracteriza-se por uma alta vulnerabilidade em relação aos recursos hídricos, resultando em frequentes períodos críticos de abastecimento de água (Marinho *et al.*, 2021).

Conforme apontado por Grande *et al.* (2015), a área de contribuição do seu reservatório está localizada na região mais árida do Brasil, no Semiárido Brasileiro, caracterizada por uma intensa variabilidade climática e hidrológica, além de taxas elevadas de evaporação. Essas condições tornam o fornecimento de água intermitente, que aumenta, assim, os riscos de desabastecimento (Cordão *et al.*, 2020), que são frequentes devido à ausência de fontes alternativas de abastecimento na cidade. O nível mais crítico de seca registrado na história do açude Epitácio Pessoa foi datado em 31 de março de 2017, com apenas 3,18% da sua capacidade máxima (Figura 4). As sucessivas crises de escassez hídrica resultaram em medidas rigorosas de racionamento de água.



Fonte: AESA (2023).

Além de enfrentar uma grave escassez hídrica, Campina Grande também apresenta problemas que envolvem alagamentos e inundações em períodos chuvosos, principalmente pela frequência de chuvas em períodos concentrados durante o ano. Algumas das causas responsáveis por essa realidade são a falta de investimentos do poder público, irregularidades no sistema de drenagem urbana, os altos índices de urbanização e a impermeabilização do solo. Nesse contexto, é comum a ocorrência de inundações em vários bairros do município em diferentes épocas do ano (Figura 5).

Figura 5 – Alagamentos na cidade de Campina Grande entre 2015 e 2023

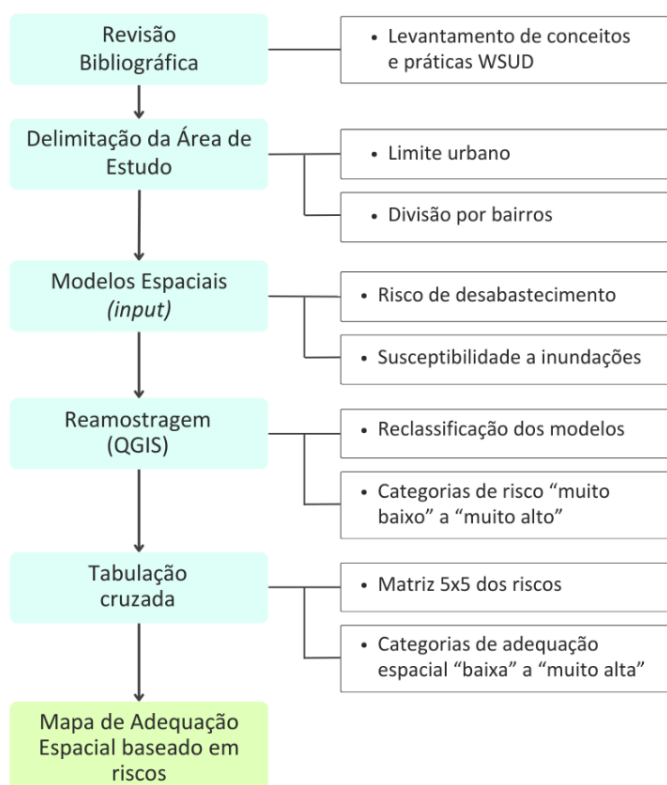


Fonte: Mídia local (2015/2017/2020/2021/2022/2023).

4 METODOLOGIA

O processo metodológico deste estudo para o desenvolvimento de um modelo de adequação espacial para projetos urbanos sensíveis à água, o qual foi denominado de MapWSUD, no contexto da cidade de Campina Grande está descrito na Figura 6.

Figura 6 – Processo metodológico para obtenção de áreas prioritárias para projetos urbanos sensíveis à água



Fonte: Autoria própria (2023).

A base teórica desta metodologia partiu de uma revisão bibliográfica aprofundada para definir os principais conceitos da temática abordada, compreendendo os princípios e as diferentes práticas relacionadas ao WSUD, assim como todo o contexto histórico que levou ao surgimento de projetos de gestão mais inteligentes dos recursos hídricos. A partir desse embasamento teórico, foi feita a delimitação da área de estudo, definindo-se o limite urbano e a divisão dos bairros para uma análise espacial mais detalhada, tomando como base dados do IBGE.

O mapa de adequação espacial evidencia as áreas prioritárias para projetos urbanos sensíveis à água (MapWSUD) e o seu desenvolvimento apoiou-se na abordagem SIG-MCA (Sistema de Informação Geográfica e Métodos de Decisão Multicritério (MCA)). Dessa forma, dois modelos espaciais de planejamento e gestão das águas urbanas foram utilizados como dados de entrada, conforme descrito a seguir.

4.1 Modelo espacial do Risco de Escassez Hídrica (REH)

O modelo espacial desenvolvido por Cordão *et al.* (2020) é útil para atividades de planejamento urbano e foi elaborado com base em SIG-MCA e em critérios demográficos, hidráulicos e socioeconômicos, compreendendo dados relacionados à população residente (C1), altimetria (C2), distâncias aos reservatórios (C3), distâncias às estações elevatórias de água (C4), distâncias à rede (C5), número de domicílios abastecidos (C6) e renda mensal (C7). O modelo definiu áreas mais vulneráveis à escassez hídrica no perímetro urbano de Campina Grande e, por conseguinte, é uma ferramenta espacial de suporte para apoiar o processo de adequação espacial de projetos urbanos sensíveis à água.

Após a definição dos critérios, os autores fizeram a sua ponderação através do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) a partir de uma matriz $n \times n$. Em seguida, esses critérios foram combinados a partir do método Combinação Linear Ponderada (*Weighted Linear Combination - WLC*), conforme Equação 1.

$$R = \sum_{i=1}^n (W_i C_i) = [(0,334 \times C_1) + (0,295 \times C_2) + (0,075 \times C_3) + (0,059 \times C_4) + (0,121 \times C_5) + (0,032 \times C_6) + (0,084 \times C_7)] \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

R: Risco de desabastecimento de água

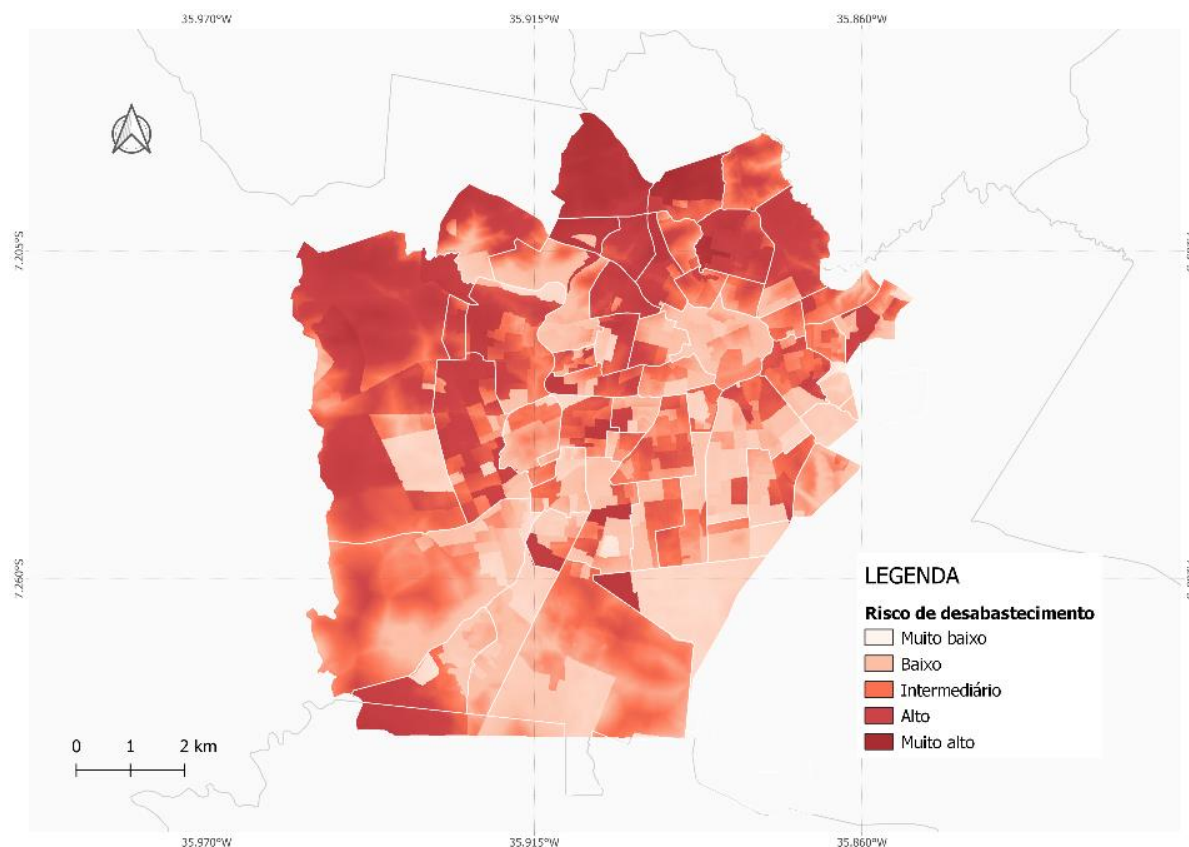
W_i: Peso do critério i

C_i: Critério i associado ao risco

n: Número de critérios

O mapa resultante do estudo de Cordão *et al.* (2020) identifica áreas ocupadas submetidas ao risco de desabastecimento de água, dispostas em faixas que indicam o risco avaliado em ordem crescente, variando de muito baixo a muito alto (Figura 7).

Figura 7 – Mapeamento do risco de desabastecimento de água para a cidade de Campina Grande - PB



Fonte: Adaptado de Cordão *et al.* (2020).

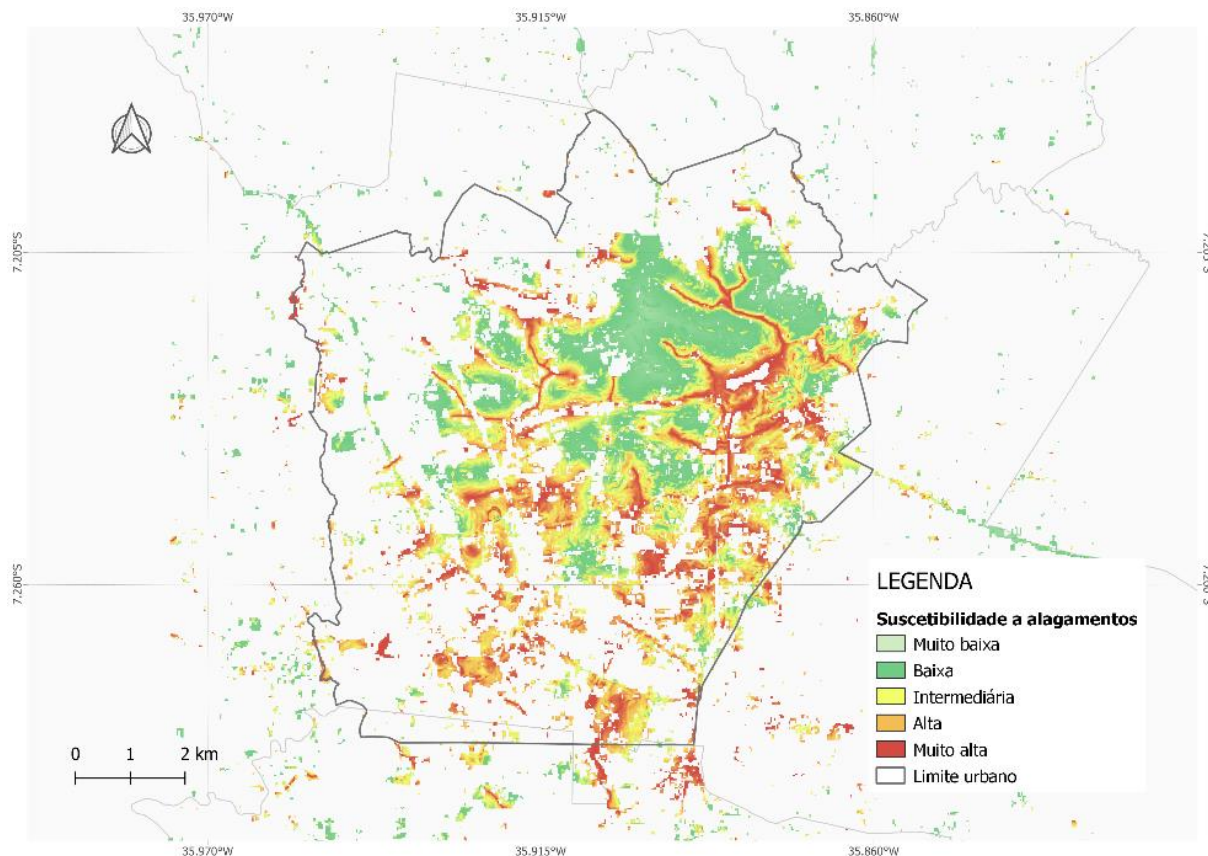
4.2 Modelo espacial de Suscetibilidade a Inundações (SI)

O segundo modelo espacial utilizado como dado de entrada é referente ao estudo de Alves *et al.* (2018), o qual também foi elaborado a partir da abordagem SIG-MCA a fim de mapear as regiões mais propensas a alagamentos na zona urbana de Campina Grande. Na formulação do modelo, foram levados em consideração critérios quantitativos, tais como declividade, altitude, presença de vias com sistema de drenagem, distância em relação a corpos hídricos e padrões de uso do solo. Nele, as áreas com declividade média, altitudes mais baixas, proximidade a corpos hídricos e solos impermeáveis possuem maior susceptibilidade a inundações, e nas áreas próximas a vias com drenagem esse risco é menor. Assim, esse modelo se configura como uma ferramenta eficaz de gestão urbana, que propicia a priorização de áreas para intervenções em drenagem urbana.

Nesse estudo, a modelagem foi conduzida por meio do "construtor de modelos" (*Model Builder*) no ArcGIS. Para cada um dos critérios escolhidos, foi aplicada uma ponderação específica: 30% para a declividade média, 30% para a distância em relação a elementos de drenagem e 40% para a impermeabilização do solo. Ao término do processo, realizou-se uma análise pixel a pixel com sobreposição (*overlay*) para considerar os critérios padronizados, incorporando os princípios da lógica *Fuzzy*⁴. Por fim, obteve-se o mapa de suscetibilidade a inundações (Figura 8).

Figura 8 – Mapa de suscetibilidade a inundações gerado com o modelo

⁴ Metodologia desenvolvida por Zadeh (1960) para lidar com a imprecisão e subjetividade envolvidas no processo de tomada de decisão.



Fonte: Adaptado de Alves *et al.* (2018).

4.3 Modelagem do MapWSUD

O MapWSUD foi desenvolvido através de uma combinação entre os dois modelos espaciais utilizados como dados de entrada. Para isso, foi feita inicialmente uma reamostragem dos dois mapas no *software* QGIS, onde ambos foram manipulados a fim de se trabalhar com modelos de mesma área, projeção e tamanho de pixels. Em seguida, realizou-se uma reclassificação de ambos os modelos, definindo-os em classes de 1 a 5, sendo o “1” referente à categoria de risco “muito baixo” e o “5” referente ao risco “muito alto” para cada modelo. Definidas as categorias, foi feita uma tabulação cruzada que resultou em uma matriz 5x5 dos dados, conforme a Figura 9, a qual foram estabelecidas 4 (quatro) novas categorias de adequação espacial: baixa, média, alta e muito alta.

Figura 9 – Tabulação cruzada para a elaboração do MapWSUD

		Susceptibilidade a inundação					
		Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito alto	
		1	2	3	4	5	
Risco de desabastecimento	Muito baixo	1	1;1	1;2	1;3	1;4	1;5
	Baixo	2	2;1	2;2	2;3	2;4	2;5
	Médio	3	3;1	3;2	3;3	3;4	3;5
	Alto	4	4;1	4;2	4;3	4;4	4;5
	Muito alto	5	5;1	5;2	5;3	5;4	5;5

Adequa�o espacial
Baixa
Média
Alta
Muito alta

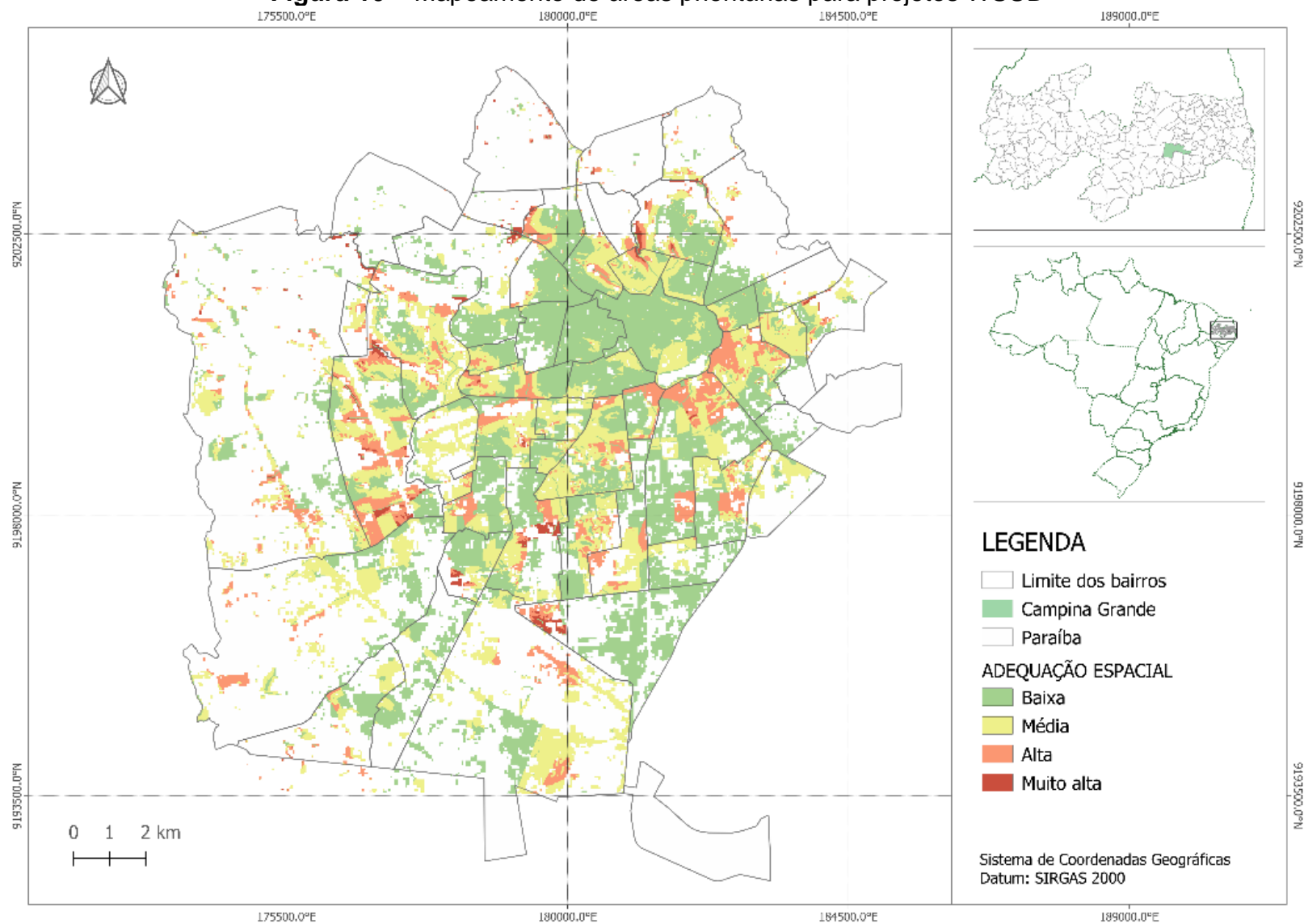
Fonte: Autoria própria (2023).

Nessa tabula o cruzada, o número inteiro indica o risco de desabastecimento, enquanto a parte decimal indica a susceptibilidade   inunda o, por exemplo: o valor 4;3 indica um alto risco de desabastecimento e uma média susceptibilidade   inunda o. Dessa forma,   possível analisar o MapWSUD de maneira mais detalhada, observando os diferentes tipos de cenário de risco e, assim, definir as áreas prioritárias com maior precisão.

Nesse estudo, as categorias de risco "muito baixo" e "baixo" foram enquadradas na categoria de adequa o espacial "baixa", a fim de que o principal foco do mapa seja as áreas de maior risco e adequa o. Para a realiza o da tabula o cruzada dos dois modelos espaciais de dados de entrada, foi utilizado Sistema de Informa o Geográfica através da ferramenta *r.cross* presente no software QGIS versão 3.28.5.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A combina o dos dois modelos espaciais utilizados como dados de entrada tornou possível obter o mapa de adequa o espacial para WSUD (MapWSUD) através da tabula o cruzada dos respectivos riscos (Figura 10).

Figura 10 – Mapeamento de áreas prioritárias para projetos WSUD

Fonte: Autoria própria (2023).

A modelagem deste estudo resultou em um mapa com quatro categorias de adequação espacial: baixa, média, alta e muito alta. Nesse sentido, as áreas classificadas com “baixa” adequação representam as localidades em que pelo menos um dos riscos (de desabastecimento ou inundação) é baixo ou muito baixo. Já as áreas de “média” adequação espacial caracterizam as localidades em que ambos os riscos são médios, ou apenas um é médio e o outro é alto ou muito alto. Além disso, as áreas de “alta” adequação espacial representam aquelas em que ambos os riscos são altos, ou apenas um é alto e o outro é muito alto. E, por fim, as áreas de “muito alta” adequação definem as localidades em que ambos os riscos (de desabastecimento e inundação) são muito altos, que indica as áreas com mais prioridade na implantação de estratégias WSUD multifuncionais.

A partir da análise realizada, foi possível observar a presença de áreas categorizadas como “muito alta adequação espacial” em 21 bairros da zona urbana de Campina Grande, sendo eles: Cuités, Jardim Continental, Jeremias, Palmeira, Alto Branco, Jardim Tavares, Conceição, Nova Brasília, Catolé, Cruzeiro, Distrito Industrial, Bairro das Cidades, Presidente Médici, Santa Rosa, Centenário, Bairro Universitário, Bodocongó, Malvinas, Serrotão e Ramadilha.

As observações feitas a partir do MapWSUD tornam este estudo útil para o apoio à tomada de decisão rumo à transição para cidades sensíveis à água. Sabendo quais são as áreas com mais necessidades, é possível avaliá-las para identificar quais destas possuem mais oportunidades para a implantação dessas estratégias. Estudos anteriores, como o de Oliveira (2017), observaram quais espaços livres públicos de Campina Grande são adequados para estratégias WSUD. Juntos, estes estudos tornam-se um apoio para o desenvolvimento do município.

Ao analisar espacialmente cada área através de imagens remotas do *Google Earth*, pôde-se constatar a presença de áreas não desenvolvidas, incluindo áreas verdes que, nesse caso, oferecem uma oportunidade para a implantação de estratégias WSUD multifuncionais, que trazem benefícios como: mitigação do risco de inundação e desabastecimento, maior qualidade de vida e melhoria da paisagem urbana. Algumas estratégias possíveis nas áreas analisadas são:

- Piso permeável (ou poroso) em calçadas e áreas de passeio, praças, áreas residenciais e estacionamentos, que promovem o escoamento das águas pluviais e reduzindo os poluentes que alcançariam o lençol freático;
- Grelhas de infiltração ou grelhas arvoreiras nas áreas verdes, que permitem a infiltração da água e a aeração do solo sem diminuir a área útil do local;
- Jardins de chuva, principalmente nos locais entre o meio fio e a calçada, que promovem a infiltração da água, abrindo espaço para a biodiversidade;
- Coletor de águas pluviais *Stand-alone*, que é pouco conhecido e utilizado em alguns países como, por exemplo, os Estados Unidos. É uma estrutura de baixo custo que pode ser construída pelos próprios moradores, que possuem uma lona para a captação de água e uma tubulação que a direciona para o reservatório.

Além dessas estratégias, podem ser analisados para a área de estudo, projetos relacionados a telhados verdes, jardins verticais, células de biorretenção e cisternas coletivas. São alternativas multifuncionais para projetos WSUD com baixo custo e cobenefícios para a população afetada por extremos climáticos que geram perigos de seca e alagamentos na área urbana de Campina Grande-PB.

6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- O mapa de adequação espacial obtido é um importante instrumento de apoio à tomada de decisão na transição para cidades sensíveis à água;
- O mapeamento inclui infraestruturas de abastecimento de água e drenagem, portanto, este estudo incentiva a integração de multicritérios e multiescalas, necessária à proposição de projetos WSUD.
- Este estudo é uma etapa inicial para adequar espacialmente Projetos Urbanos Sensíveis à água na cidade de Campina Grande, a partir de necessidades e oportunidades.

Como sugestão para estudos futuros, recomenda-se pesquisas que explorem os aspectos socioeconômicos e culturais que influenciam a aceitação e a eficácia desses projetos na comunidade local, além da integração efetiva dos projetos WSUD com políticas urbanas existentes, analisando como essas iniciativas podem ser melhor alinhadas com estratégias municipais para otimizar os resultados na gestão hídrica. Por fim, sugere-se promover estudos comparativos entre diferentes cidades do semiárido brasileiro, permitindo a identificação de melhores práticas e a adaptação de estratégias específicas para contextos variados. Essas sugestões visam enriquecer o campo de estudos de projetos WSUD, e contribuir para soluções mais robustas e sustentáveis na gestão hídrica urbana.

REFERÊNCIAS

ALVES, P. B. R. *et al.* Mapping of flood susceptibility in Campina Grande county - PB: a spatial multicriteria approach. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 24, n. 1, p. 28-43, 2018.

ANDRADE, L.; BLUMENSCHNEIN, R. Cidades sensíveis à água: cidades verdes ou cidades compactas, eis a questão?. **Paranoá**, n. 10, p. 59-76, 2013.

ARTHUR, S. *et al.* 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.

ASHLEY, R. *et al.* Water-sensitive urban design: opportunities for the UK. In **Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Municipal Engineer**, v. 166, n. 2, p. 65-76, 2013.

BORGES, M. I. A. **Desenho urbano sensível à água: padrões e exemplos de aplicação para áreas vulneráveis às mudanças climáticas em Belo Horizonte, Brasil**. 2018. 35 f. Monografia (Especialização) – Curso de Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído, Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

CORDÃO, M. J. S. *et al.* Water shortage risk mapping: A GIS-MCDA approach for a medium-sized city in the Brazilian semi-arid region. **Urban Water**, v. 17, n. 7, p. 642–655, 2020.

CORDÃO, M. J. S. **Gestão multiescala para sistemas urbanos sustentáveis de abastecimento de água**. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2021.

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

FIGUEIREDO, L. M. M. **O papel do plano nacional de segurança hídrica: a universalização do acesso a água no país, principalmente no nordeste e Ceará**. 2020. 78 f. Dissertação (Mestrado em Administração Pública), Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getulio Vargas, São Paulo, 2020.

FLETCHER, T. D. *et al.* Sistemas descentralizados de saneamento: uma alternativa para o desenvolvimento sustentável. **Revista Ambiente & Sociedade**, v. 20, n. 4, p. 23-42, 2017.

FRANCO-TORRES, M.; ROGERS, B. C.; HARDER, R. Articulating the new urban water paradigm, **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 51, p. 2777-2823, 2020.

GHISLENI, C. O que é planejamento urbano?. ArchDaily Brasil. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/982184/o-que-e-planejamento-urbano>. Acesso em: 26 nov. 2023.

GRANDE, M. *et al.* Environmental equity as a criterion for water management. **Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences**, v. 364, p. 519-525, 2014.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/campina-grande/panorama>. Acesso em: 28 ago. 2023.

INMET - **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 10 mai. 2023.

LEEUWEN, C. J. V. *et al.* City blueprints: 24 indicators to assess the sustainability of the urban water cycle. **Water resources management**, v. 26, p. 2177–2197, 2012.

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

MALHEIROS, T. F.; PROTA, M. G.; RINCÓN, M. A. P. Participação comunitária e implementação dos instrumentos de gestão da água em bacias hidrográficas. **Revista Ambiente e Água**, v. 8, n. 1, p. 99-118, 2013.

MARINHO, S. D. A. M. **Planejamento urbano sensível aos recursos hídricos: análise a partir do metabolismo urbano e da produção do espaço em Campina**

Grande-PB. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

MARINHO, S. D. A. M. *et al.* Interfaces entre a produção do espaço urbano e o risco de desabastecimento de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 417–427, 2021.

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

MENG, X. Understanding the effects of site-scale water-sensitive urban design (WSUD) in the urban water cycle: a review. **Blue-Green Systems**, v. 4, n. 1, p. 45–57, 2022.

NUNES, R. T. S. *et al.* Incorporating water sensitive urban design (WSUD) practices into the planning context: The conceptual case for lot-scale developments. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 167, p. 341-352, 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Água**. Disponível em: <https://unric.org/pt/agua/>. Acesso em: 06 abr. 2023.

PAHL-WOSTL, C. *et al.* Maturing the New Water Management Paradigm: Progressing from Aspiration to Practice. **Water Resources Management**, v. 25, p. 837–856, 2011.

SAPKOTA, M. *et al.* An overview of hybrid water supply systems in the context of urban water management: Challenges and opportunities. **Water**, v. 7, n. 1, p. 153-174, 2015.

SHARIFIAN, H. *et al.* Water sensitive urban design (WSUD) approach for mitigating groundwater depletion in urban geography; through the lens of stakeholder and social network analysis. **Water Supply**, v. 22, n. 6, p. 5833–5852, 2022.

SHARMA, A. *et al.* Role of decentralised systems in the transition of urban water systems. **Water Supply**, v. 10, n. 4, p. 577–583, 2010.

UNESCO. Water security and the sustainable development goals. *In*: UNESCO. **Global water security issues series**. 3. ed. França, 2019. 210 p.

UNESCO. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2020: água e mudança climática, resumo executivo. *In*: UNESCO. **UNESCO World Water Assessment Programme**. Paris, 2020, 11 p.

UNESCO. Relatório mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos 2015: água para um mundo sustentável. *In*: UNESCO. **UN Water**. Paris, 2015.

ZHOU, L. *et al.* Novel perspective for urban water resource management: 5R generation. **Frontiers of Environmental Science & Engineering**, v. 15, n. 16, 2021.

AGRADECIMENTOS

Aos meus amigos de curso que começaram essa trajetória junto comigo: Ilka, Rebeca, Ronny, João Pedro e Maria Clara, e aos que eu conheci ao longo da graduação. Vocês foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. Dividir essa experiência com vocês foi um privilégio, sou muito grata pela amizade e companheirismo que construímos.

À minha orientadora, Maria Cordão, por ter me acompanhado desde as pesquisas de iniciação científica e participação em congressos, até o meu trabalho de conclusão de curso. Mais do que uma professora, eu enxergo na senhora um exemplo de mulher e profissional. Obrigada por toda a paciência e disposição em me ajudar até aqui.

À minha coorientadora, Ysa, por toda a disponibilidade e interesse em participar deste trabalho, contribuindo de forma valiosa nos mínimos detalhes. Foi um privilégio ter recebido a sua orientação. Das minhas decisões mais acertadas dentro da universidade, uma das maiores foi a escolha das minhas orientadoras maravilhosas.

Aos meus demais professores, por todos os ensinamentos transmitidos ao longo desses anos, em especial ao professor Whelton e à professora Ruth por terem aceitado participar desta banca. Obrigada por todas as contribuições ao longo da minha formação.

À coordenação do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, por toda a prontidão em colaborar na resolução das questões acadêmicas. Desejo que o curso cresça e evolua cada vez mais, para que mais profissionais da área possam contribuir para um futuro mais sustentável e próspero.

À minha família, em especial à minha mãe Edilane e a minha irmã Maria Eduarda, que são os meus maiores exemplos. Vocês foram essenciais para que eu chegasse até aqui. A minha formação é consequência de tudo o que eu aprendi com vocês.

Aos meus amigos que fazem parte da minha vida desde o tempo de escola, em especial: Flávia, Fernanda, Rebeca, Duda, Bia, Ruth e Isaías. Crescer com vocês foi um presente, sou grata pela nossa amizade.

A todos que, direta ou indiretamente, me incentivaram ao longo do curso: guardo vocês no meu coração. Obrigada!

