



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
NÚCLEO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

MARCELO CARLOS DE OLIVEIRA SILVA

**ABORDAGEM MULTICRITÉRIO PARA ANÁLISE DE SISTEMAS DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO COM  
AUXÍLIO DE DADOS ESPACIAIS DE ALTA RESOLUÇÃO**

Caruaru

2021

MARCELO CARLOS DE OLIVEIRA SILVA

**ABORDAGEM MULTICRITÉRIO PARA ANÁLISE DE SISTEMAS DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO COM  
AUXÍLIO DE DADOS ESPACIAIS DE ALTA RESOLUÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental. Área de concentração: Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Almir Cirilo

Caruaru

2021

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 - 1223

S586a Silva, Marcelo Carlos de Oliveira.  
Abordagem multicritério para análise de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário com auxílio de dados espaciais de alta resolução. / Marcelo Carlos de Oliveira Silva. – 2021.  
127 f.; il.: 30 cm.

Orientador: José Almir Cirilo.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, 2021.  
Inclui Referências.

1. Software. 2. Clima de regiões áridas – Caruaru (PE). 3. Planejamento urbano – Fatores climáticos – Caruaru (PE). 4. Banco de dados. 5. Abastecimento de água – Caruaru (PE). 6. Saneamento – Caruaru (PE). I. Cirilo, José Almir (Orientador). II. Título.

CDD 620 (23. ed.)

UFPE (CAA 2021-085)

MARCELO CARLOS DE OLIVEIRA SILVA

**ABORDAGEM MULTICRITÉRIO PARA ANÁLISE DE SISTEMAS DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO COM  
AUXÍLIO DE DADOS ESPACIAIS DE ALTA RESOLUÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental. Área de concentração: Tecnologia Ambiental.

Aprovada em: 21/05/2021.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. José Almir Cirilo (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra (Examinador interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profª. Dra. Iana Alexandra Alves Rufino (Examinadora externa)  
Universidade Federal de Campina Grande

Dedico este trabalho aos meus queridos pais, seu José Francisco da Silva e dona Mariza Carlos de Oliveira (*in memoriam*), eles que me ensinaram o que é o amor, o respeito, a bondade, a honra, dedicação e trabalho duro, e não sabendo ler ou escrever fizeram o possível para que eu não faltasse um dia à escola.

## AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos iniciais vão para Aquele que permitiu que esse trabalho acontecesse, Deus, que em sua infinita bondade tem me dado a força de vontade, ânimo e a alegria necessárias para seguir em frente em meio as adversidades apresentadas no caminho e para recomeçar quando foi preciso.

Agradeço aos meus pais, seu José Francisco da Silva, homem batalhador e simples de coração, e dona Mariza Carlos de Oliveira (*in memoriam*), uma mulher forte e amorosa. Eles, apesar de não saberem ler e escrever, sempre me incentivaram a ir à escola. A cada um dos meus irmãos: Ednaldo; Edneide; Edmilson; Maria Cícera; Edvânia; Maria José; Erivan; Rejane; Silvânia e Maciel, seus cônjuges e filhos, que tanto me apoiaram das mais diversas formas, em todos os momentos e sempre me abraçam todos os fins de semana que volto para casa.

Agradecimentos também não podem faltar à minha namorada, Hellen Xavier, que cuida bem de mim todos os dias, por toda a compreensão, apoio, carinho e inspiração, e a sua família, que me acolheu desde o início. Aos meus amigos de infância, aos amigos que fiz na escola, a todos os meus professores da Escola Padre Zuzinha, onde estudei tantos anos, que, uns mais distantes, outros mais próximos, sempre me apoiaram e guardaram a amizade que foi construída ao longo dos anos. Aos amigos que fiz no curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste, especialmente a Thiago Ferreira e sua família, aos amigos do futsal no CAA toda quarta-feira, que compartilharam tantos momentos alegres e também difíceis no dia-a-dia da vida acadêmica. Aos amigos da Secretaria de Infraestrutura Urbana e Obras, da agência do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em Caruaru e do Laboratório de Geoprocessamento, que sempre estiveram à disposição para ajudar no meu aprendizado.

Agradeço ao meu orientador Professor Dr. José Almir Cirilo por, primeiramente, ter se disponibilizado, desde o primeiro momento, de me orientar nesta pesquisa, pelos seus ensinamentos dentro e fora da sala de aula e por compartilhar um pouco da sua experiência e atuação na área de Recursos Hídricos, e também as diversas histórias que fazem parte desta experiência. Aos professores e a equipe do PPGECAAM: Alessandro Antunes, Ana Cecília, Anderson Paiva, Artur Coutinho, Érika Marinho, Euclécia Arruda, Giuliana Bono, Gustavo Bono, Isabela Bello, José Marcelo, Kenia Barros, Maria Odete, Saulo de Tarso, Simone Machado e Sylvana Santos.

Agradeço solenemente ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, à Companhia Pernambucana de Saneamento e à Prefeitura de Caruaru pela disponibilidade, urbanidade e pelas informações fornecidas, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

“Lembre da minha ordem: ‘Seja forte e corajoso! Não fique desanimado, nem tenha medo, porque eu, o Senhor, seu Deus, estarei com você em qualquer lugar para onde você for!’”  
(BÍBLIA JOVEM, A.T. Josué 1:9, p. 257).

## RESUMO

Em meio ao desenvolvimento acelerado das cidades, o saneamento básico em termos de quantidade e qualidade é uma preocupação crescente da humanidade, devido à deterioração da qualidade dos mananciais e a escassez de água. Deve-se perceber a escassez como resultado de um processo desajustado de apropriação e uso dos recursos naturais. Essa percepção vem ganhando cada vez mais destaque em pesquisas no Brasil e também no mundo. Nesse contexto, este trabalho busca analisar as condições atuais dos sistemas urbanos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário de Caruaru-PE e pretende indicar diretrizes de maneira a maximizar os benefícios e minimizar os danos à população pela ineficiência dos sistemas existentes ou falta destes. Os dados secundários utilizados neste trabalho foram coletados do IBGE, COMPESA e da Prefeitura de Caruaru e foram processados através dos *softwares* QGIS 3.12 *Bucarești* e o ArcGIS® Pro da ESRI. Utilizou-se a base de dados do Pernambuco Tridimensional e o método *Analytical Hierarchy Process* para gerar mapas das áreas com maiores riscos de desabastecimento de água e com insuficiência de redes de esgotamento sanitário. Após a coleta e análise dos dados, tem-se que o volume médio consumido pela população de Caruaru é de 140 litros de água por habitante dia. Com relação ao volume anual de esgoto, são produzidos 14,8 milhões de m<sup>3</sup> de esgoto por ano. Viu-se que os bairros com maiores riscos de desabastecimento estão situados em zonas mais periféricas da cidade. Essas zonas estão mais distantes dos reservatórios de distribuição e da rede principal de abastecimento de água. Os bairros que apresentaram grau de insuficiência de esgotamento sanitário “Muito alto” estão todos distantes da rede principal de esgoto e das estações de tratamento de esgoto, sendo esta a principal razão para que esses bairros recebessem esse grau. Assim, é válido indicar, entre outras, a expansão das redes de abastecimento de água e de esgoto sanitário e também a educação ambiental, como forma de promover maior segurança hídrica para a cidade. A revisão da literatura e os resultados deste trabalho revelam que o gerenciamento dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário de Caruaru deve se fundamentar em infraestruturas que formam uma série de soluções que promova a transição da gestão das águas no meio urbano para uma gestão mais inteligente, sensível à água e resiliente.

Palavras-chave: GIS-MCDA. Semiárido. Cidades inteligentes. AHP. PE3D.

## ABSTRACT

Amid the accelerated development of cities, basic sanitation in terms of quantity and quality is a growing concern of humanity, owing to the deterioration of the quality of water sources and the scarcity of water. Scarcity must be realized as a result of an inadequate process of appropriation and use of natural resources. This perception is gaining more and more prominence in research in Brazil and also in the world. In this context, this paper seeks to analyze the current conditions of urban water supply systems and sewage systems in Caruaru-PE and intends to indicate guidelines in order to maximize benefits and minimize damage to the population due to the inefficiency of existing systems or lack thereof. The secondary data used in this work were collected from IBGE, COMPESA and the Municipality of Caruaru, and were processed using the software QGIS 3.12 București and ArcGIS® Pro from ESRI. The Pernambuco database three-dimensional and the Analytical Hierarchy Process method were used to generate maps of areas with the greatest risk of water shortages and insufficient sewage networks. After the collection and analysis of the data, the average volume consumed by the population of Caruaru is 140 liters of water per inhabitant per day. Regarding the annual volume of sewage, 14,8 m<sup>3</sup> of sewage are produced per year. It was seen that the neighborhoods with the greatest risk of shortages are located in more peripheral areas of the city. These zones are further away from the distribution reservoirs and the main water supply network. The districts that presented a degree of insufficient sanitary sewage "Very high" are all distant from the main sewage network and the sewage treatment plants, this being the main reason for these districts to receive this degree. Thus, it is valid to indicate, among others, the expansion of water supply and sanitary sewage networks and also environmental education, as a way of promoting greater water security for the city. The literature review and the results of this work reveal that the management of water supply and sewage services in Caruaru must be based on infrastructures that form a series of solutions that promote the transition of water management in the urban environment for smarter management, sensitive to water and resilient.

Keywords: GIS-MCDA. Semi-arid. Smart cities. AHP. PE3D.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                |                                                                       |    |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 -     | Porcentagem da população urbana e rural no Brasil, 1950-2050          | 21 |
| Figura 2 -     | Comparativo entre as ligações do sistema convencional e condominial   | 27 |
| Figura 3 -     | Projetos de Gestão da Informação Geográfica para cidades inteligentes | 35 |
| Mapa 1 -       | Divisão do território de PE em 5 blocos para o perfilamento a laser   | 37 |
| Figura 4 -     | Análise de decisão multicritério espacial                             | 38 |
| Mapa 2 -       | Decretos de calamidade pública em 2017 no Brasil devido à seca        | 40 |
| Mapa 3 -       | Localização do município de Caruaru                                   | 41 |
| Figura 5 -     | Perímetro urbano e bairros de Caruaru                                 | 43 |
| Figura 6 -     | Urbanização de Caruaru conforme períodos de políticas habitacionais   | 45 |
| Figura 7 -     | Expansão da mancha urbana de Caruaru, 2004/2070, sem escala           | 45 |
| Fotografia 1 - | Barragem de Jucazinho com 0,01% da capacidade máxima                  | 47 |
| Gráfico 1 -    | Simulação de volumes em Jucazinho no período de 1973 a 2016           | 48 |
| Fluxograma 1 - | Etapas para o desenvolvimento da metodologia                          | 49 |
| Figura 8 -     | Componentes do sistema de abastecimento de água de Caruaru            | 51 |
| Gráfico 2 -    | Divisão do serviço de esgotamento sanitário em Caruaru                | 52 |
| Figura 9 -     | Componentes do sistema de esgotamento sanitário de Caruaru            | 52 |
| Figura 10 -    | Critério 1: População residente                                       | 55 |
| Figura 11 -    | Critério 2: Altimetria                                                | 56 |
| Figura 12 -    | Critério 3: Distâncias aos reservatórios                              | 57 |
| Figura 13 -    | Critério 4: Distâncias às estações elevatórias de água tratada        | 58 |
| Figura 14 -    | Critério 5: Distâncias a rede principal                               | 58 |
| Figura 15 -    | Critério 6: Domicílios atendidos pela rede                            | 59 |
| Figura 16 -    | Critério 7: Renda                                                     | 60 |
| Figura 17 -    | Critério 8: Distâncias às estações de tratamento de água              | 60 |
| Figura 18 -    | Critério 3: Distâncias as estações de tratamento de esgoto            | 62 |
| Figura 19 -    | Critério 4: Distâncias às estações elevatórias de esgoto              | 62 |
| Figura 20 -    | Critério 5: Distâncias a rede principal de esgotamento sanitário      | 63 |
| Figura 21 -    | Critério 6: Domicílios atendidos pela rede de esgotamento             | 64 |
| Figura 22 -    | Normalização dos critérios para avaliar o RDA em uma escala de 1 a 5  | 66 |
| Figura 23 -    | Normalização dos critérios para avaliar o GIES em uma escala de 1 a 5 | 66 |
| Mapa 4 -       | Mapeamento do RDA para a zona urbana de Caruaru                       | 73 |
| Mapa 5 -       | Mapeamento do GIES para a zona urbana de Caruaru                      | 76 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - População residente em Caruaru, por bairro                                  | 42 |
| Tabela 2 - Total de bairros da cidade de Caruaru                                       | 43 |
| Tabela 3 - Bairros de Caruaru para os anos de 2010 e 2021 e população estimada         | 44 |
| Tabela 4 - Reservatórios do sistema de abastecimento de água de Caruaru                | 50 |
| Tabela 5 - Estações de tratamento de esgoto em Caruaru                                 | 53 |
| Tabela 6 - Estações elevatórias de esgoto de Caruaru                                   | 53 |
| Tabela 7 - Critérios para avaliar o risco de desabastecimento de água em zonas urbanas | 54 |
| Tabela 8 - Grau de importância dos critérios do método AHP                             | 67 |
| Tabela 9 - Matriz da importância relativa, CR e pesos obtidos para avaliar o RDA       | 71 |
| Tabela 10 - Matriz da importância relativa, CR e pesos obtidos para avaliar o GIES     | 71 |
| Tabela 11 - RDA e GIES associados a cada bairro de Caruaru                             | 74 |
| Tabela 12 - Economia de água, por mês, com dispositivos poupadores em 2015             | 85 |

## LISTA DE SIGLAS

|         |                                                  |
|---------|--------------------------------------------------|
| AAP     | Aproveitamento de Águas Pluviais                 |
| AHP     | <i>Analytical Hierarchy Process</i>              |
| ANA     | Agência Nacional de Água e Saneamento Básico     |
| ANP     | <i>Analytic Network Process</i>                  |
| APAC    | Agência Pernambucana de Águas e Clima            |
| BMP     | <i>Best Management Practices</i>                 |
| CNM     | Confederação Nacional de Municípios              |
| COMPESA | Companhia Pernambucana de Saneamento             |
| CR      | <i>Consistency Ratio</i>                         |
| EEAT    | Estação Elevatória de Água Tratada               |
| EEE     | Estação Elevatória de Esgoto                     |
| ETA     | Estação de Tratamento de Água                    |
| ETE     | Estação de Tratamento de Esgoto                  |
| Funasa  | Fundação Nacional de Saúde                       |
| GIS     | <i>Geographic Information System</i>             |
| IBGE    | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  |
| IDHM    | Índice de Desenvolvimento Humano Municipal       |
| IFPE    | Instituto Federal de Pernambuco                  |
| IUWM    | <i>Integrated Urban Water Management</i>         |
| IWA     | <i>International Water Association</i>           |
| LADWP   | <i>Los Angeles Department of Water and Power</i> |
| LiDAR   | <i>Light Detection And Ranging</i>               |
| MCDA    | <i>Multi-Criteria Decision Analysis</i>          |
| MDT     | Modelo Digital do Terreno                        |
| LID     | <i>Low Impact Development</i>                    |
| PE3D    | Programa Pernambuco Tridimensional               |
| PMC     | Prefeitura Municipal de Caruaru                  |
| PMSB    | Plano Municipal de Saneamento Básico             |
| RAC     | Reúso de Águas Cinzas                            |
| RDA     | Risco de Desabastecimento de Água                |
| SAA     | Sistema de Abastecimento de Água                 |

|         |                                                                         |
|---------|-------------------------------------------------------------------------|
| Sabesp  | Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo                   |
| SCE     | Sistema Condominial de Esgotos                                          |
| SEINFRA | Secretaria de infraestrutura de Pernambuco                              |
| SES     | Sistema de Esgotamento Sanitário                                        |
| SUAA    | Sistema Urbano de Abastecimento de Água                                 |
| UNESCO  | <i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i> |
| UNICEF  | <i>United Nations International Children's Emergency Fund</i>           |
| WHO     | <i>World Health Organization</i>                                        |
| WLC     | <i>Weighted Linear Combination</i>                                      |

## SUMÁRIO

|            |                                                                          |           |
|------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b>                                                        | <b>15</b> |
| <b>2</b>   | <b>OBJETIVOS</b>                                                         | <b>19</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Objetivos específicos</b>                                             | <b>19</b> |
| <b>3</b>   | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>                                             | <b>20</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Água no espaço urbano</b>                                             | <b>23</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Cidades inteligentes</b>                                              | <b>28</b> |
| <b>3.3</b> | <b>Cidades resilientes</b>                                               | <b>32</b> |
| <b>3.4</b> | <b>Cidades sensíveis à água</b>                                          | <b>33</b> |
| <b>3.5</b> | <b>Geoprocessamento</b>                                                  | <b>34</b> |
| 3.5.1      | Geoprocessamento no desenvolvimento de cidades inteligentes              | 35        |
| 3.5.2      | Programa Pernambuco Tridimensional                                       | 37        |
| 3.5.3      | Análise multicritério fundamentada em GIS                                | 38        |
| <b>4</b>   | <b>METODOLOGIA</b>                                                       | <b>40</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Área de estudo</b>                                                    | <b>40</b> |
| 4.1.1      | Água no meio urbano de Caruaru                                           | 46        |
| 4.1.2      | Caracterização dos SUAA e SES da zona urbana de Caruaru-PE               | 49        |
| 4.1.3      | Vulnerabilidades e pontos fortes do SUAA e do SES de Caruaru             | 50        |
| <b>4.2</b> | <b>Análise multicritério e GIS para o objetivo proposto</b>              | <b>54</b> |
| 4.2.1      | Critérios para análise do risco de desabastecimento de água              | 54        |
| 4.2.2      | Critérios para análise do grau de insuficiência de esgotamento sanitário | 61        |
| 4.2.3      | Processamento dos dados                                                  | 64        |
| 4.2.3.1    | <i>Normalização dos critérios</i>                                        | 65        |
| 4.2.3.2    | <i>Ponderação dos critérios</i>                                          | 67        |
| 4.2.3.3    | <i>Combinação dos critérios</i>                                          | 68        |
| <b>4.3</b> | <b>Indicação das diretrizes para o gerenciamento dos SUAA e SES</b>      | <b>68</b> |
| 4.3.1      | Estratégias mitigadoras                                                  | 69        |

|            |                                                                    |           |
|------------|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.2      | Inclusão dos stakeholders no desenvolvimento de políticas públicas | 70        |
| <b>5</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>                                      | <b>71</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Diretrizes para o gerenciamento dos SES e SUAA</b>              | <b>77</b> |
| 5.1.1      | Abastecimento de água                                              | 78        |
| 5.1.1.1    | <i>Gerenciamento dos mananciais</i>                                | 79        |
| 5.1.1.2    | <i>Expansão do sistema de abastecimento</i>                        | 80        |
| 5.1.1.3    | <i>Uso de águas pluviais e águas cinzas</i>                        | 81        |
| 5.1.1.4    | <i>Controle de perdas</i>                                          | 84        |
| 5.1.1.5    | <i>Equipamentos de economia de água</i>                            | 85        |
| 5.1.1.6    | <i>Práticas de uso racional</i>                                    | 86        |
| 5.1.2      | Esgotamento sanitário                                              | 88        |
| 5.1.2.1    | <i>Soluções coletivas para esgotamento sanitário</i>               | 88        |
| 5.1.2.2    | <i>Apoio financeiro aos projetos de esgotamento sanitário</i>      | 90        |
| 5.1.2.3    | <i>Educação para o meio ambiente e o saneamento</i>                | 91        |
| 5.1.3      | Inclusão dos stakeholders no desenvolvimento de políticas públicas | 92        |
| <b>6</b>   | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>                                        | <b>93</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS</b>                                                 | <b>95</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Há de se compreender que a inexistência de um planejamento que possibilite um desenvolvimento sustentável nas cidades tem se constituído um vazio nos programas públicos na área do saneamento no Brasil. Como destaca Righetto (2009), historicamente, as cidades se desenvolveram próximas aos cursos de água. Em meio a esse desenvolvimento, para a Fundação Nacional de Saúde (Funasa) (2006), o saneamento básico em termos de quantidade e qualidade é uma preocupação crescente da humanidade, devido à deterioração da qualidade dos mananciais e a escassez de água.

De acordo com o Programa Mundial de Avaliação dos Recursos Hídricos da UNESCO (WWAP, 2019), desde a década de 1980 o uso da água tem aumentado em todo o mundo a uma taxa de cerca de 1% por ano, em consequência de uma combinação de desenvolvimento socioeconômico, crescimento populacional e mudanças nos padrões de consumo. Essa demanda mundial por água deve aumentar a uma taxa parecida até 2050, o que vai representar um aumento de 20% a 30% em relação ao nível atual de consumo, principalmente devido à demanda crescente nos setores industrial e doméstico. Para Cirilo (2008), quando os recursos são mal utilizados a desertificação do solo avança, os mananciais hídricos tornam-se mais fragilizados e crescem a pobreza e o êxodo para as cidades maiores.

Além do aumento da demanda por água, vale salientar o aumento da população mundial que, segundo as Nações Unidas (UN, 2019), a população global deverá atingir 8,5 bilhões em 2030, 9,7 bilhões em 2050 e 10,9 bilhões em 2100. Sendo que em 1950 30% das pessoas do planeta viviam em áreas urbanas, em 2018 a população residente já era de 55% da e até 2050, a projeção é que 68% da população mundial seja urbana. Essas projeções têm colocado os sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário no seu limite. E quando se fala em regiões semiáridas, esse cenário se mostra mais preocupante, em razão principalmente das crises hídricas recorrentes em tais regiões e à falta de infraestrutura adequada em muitas localidades.

À medida que o mundo continua em seu processo de urbanização, estudiosos como, por exemplo, Santos (2016) evidenciam a importância do desenvolvimento sustentável, que depende cada vez mais de uma gestão bem sucedida de crescimento urbano, sobretudo em países em desenvolvimento, onde há uma urbanização acelerada e desorganizada. Assim, para Battaues e Oliveira (2016), são necessárias políticas integradas para melhorar a vida de moradores tanto das zonas urbanas quanto rurais, desenvolvendo seus laços econômicos, sociais e ambientais, propiciando um melhor bem-estar dos habitantes.

Nessas circunstâncias, surgem pesquisas sobre os efeitos do crescimento acelerado das cidades e seu impacto na infraestrutura urbana. Para Cordão *et al.* (2020), as infraestruturas convencionais de abastecimento de água são cada vez mais conhecidas pela pouca capacidade de adaptação, assim, esse modelo convencional dos serviços de água está passando e deve passar continuamente por transições ao longo dos anos, até que se encontre algo próximo a um ponto de equilíbrio entre demanda e oferta de água. Um sistema de abastecimento de água convencional se caracteriza por englobar apenas um caminho, desde a captação até à ligação domiciliar, atendendo demandas e condições invariáveis, não visualizando o espaço urbano como algo dinâmico. Por sua vez, um sistema resiliente de abastecimento de água considera esse dinamismo, atentando para as mudanças e o desenvolvimento da área urbana.

Tem-se, em contrapartida, exemplos de obras civis não convencionais, como a captação de água de fontes alternativas e sistemas de águas pluviais baseados na ideia de reproduzir o mais próximo possível a drenagem natural de um local, onde se pode citar: os sistemas sustentáveis de drenagem urbana (WANG; WANG, 2018; TEDOLDI *et al.*, 2016; HOANG; FENNER, 2015; RAMOS *et al.*, 2013), o desenvolvimento de baixo impacto (LID), termo comumente adotado na Nova Zelândia e Estados Unidos (NUNES; SILVA; FONSECA, 2017; TASSI *et al.*, 2014), o design urbano sensível à água, denominação que surgiu na Austrália e tem como objetivo gerenciar o balanço hídrico e, quando possível, melhorar a qualidade da água, incentivar atividade ambientais e recreativas em relação à preservação da água (FLETCHER *et al.*, 2015), e cidade esponja, expressão mais usada na China, que é uma abordagem eficaz para resolver ou amenizar problemas relacionados às águas urbanas, principalmente alagamentos (XIA *et al.*, 2017). Nesses estudos, tem-se que as fontes alternativas são as águas provenientes da chuva, águas cinzas e águas dessalinizadas.

É possível encontrar na literatura estudos (AKOLGO e AYENTIMI, 2019; CAPODAGLIO *et al.*, 2017; ELLIS e LUNDY, 2016) que mostram que os sistemas alternativos complementam de maneira significativa o gerenciamento dos Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água (SUAA). Nesse horizonte em progresso que se encontram as cidades, o intuito é reduzir a instabilidade dos sistemas convencionais, para isso é relevante o uso de simulações de cenários futuros para prever o aumento da capacidade hídrica. Para Carvalho (2019), a simulação de cenários futuros no auxílio ao planejamento urbano se caracteriza como um dos projetos essenciais no desenvolvimento de cidades mais humanas, eficientes, inteligentes e sustentáveis, pois permite ao tomador de decisões ratificar seu planejamento estratégico e simular com recursos computacionais a viabilidade econômica, social e ambiental de cada projeto.

De acordo com Maftuhah, Anityasari e Sholihah (2018), inúmeras circunstâncias como clima, densidade demográfica, problemas econômicos e ambientais têm conduzido as cidades a crises hídricas e racionamento. Em relação ao Nordeste brasileiro, desde 1559 até 2011, ocorreram 72 secas, o que resulta em média uma seca a cada 6,3 anos, ao longo de 452 anos de registros sobre esse fenômeno (BRASIL, 2012). Em vista disso, o Nordeste e suas áreas semiáridas têm sido objeto da ação de várias instituições como o DNOCS (criado em 1945), a CHESF (em 1948), o Banco do Nordeste do Brasil (em 1952) e a Sudene (em 1959), que dedicaram parte de seus esforços ao combate e à convivência com as secas.

Como destacam Rufino e Silva (2017), as condições climáticas e a elevada densidade populacional do semiárido brasileiro estabelecem limites ao potencial hídrico dessa região, sendo, conforme Cirilo, Montenegro e Campos (2010), pobre em volume de escoamento de água dos rios. Essa situação pode ser explicada em função da variabilidade temporal das precipitações e das características geológicas dominantes, onde há predominância de solos rasos sobre rochas. Dessa maneira, a gestão de águas nas bacias nordestinas tem uma sobrecarga em relação às demais bacias do país, em virtude da exigência de construção, operação e manutenção de infraestruturas hídricas que assegurem a disponibilidade de água.

O estado de Pernambuco tem grande parte de seu território inserido no semiárido, em áreas de significativa escassez hídrica, do qual Caruaru faz parte, revelando a complexidade da análise de alternativas para o abastecimento de água. Os diversos racionamentos na cidade de Caruaru-PE, motivados principalmente pela falta de chuva e deficiência na distribuição de água devem apontar novos pensamentos e ações sobre o gerenciamento das águas urbanas. O que se deseja em um futuro iminente é uma integração entre os sistemas convencionais e alternativos de abastecimento de água, onde as águas pluviais e águas cinzas – estas, segundo Santos (2016), são provenientes de lavatórios, chuveiro e máquinas de lavar roupas – terão papel relevante para exercer novas diretrizes nesse serviço.

Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2020), 2.319 municípios (41,8%) registraram racionamento no abastecimento de água nos últimos 12 meses que antecederam a Pesquisa de Informações Básicas Municipais (MUNIC) - 2017. Somados, esses municípios agrupavam 49,2% da população brasileira. Entre esses 2.319 municípios, em 540 (23,3%) o racionamento foi constante, independente da época do ano. A ocorrência de racionamento apresentou ampla variação regional, chegando a 65,7% no Nordeste e 21,9% no Sul. Além disso, em muitas cidades brasileiras percebe-se ruas com esgoto a céu aberto e frequentes inundações, devido, primordialmente, à ausência ou ineficiência de planejamento urbano e de infraestruturas de esgotamento sanitário e drenagem.

Para se ter uma ideia, segundo Brasil (2019), somente cinco municípios brasileiros têm rede coletora de esgoto em toda área urbana e rural. Em apenas 11 das 27 unidades da federação do Brasil, os municípios possuíam mais de 50% de rede coletora de esgoto. Em 2017 eram 34,1 milhões de domicílios sem serviço de esgotamento sanitário no país, sendo 13,6 milhões no Nordeste, região em que apenas 16,2% dos municípios contavam com esse serviço. Segundo o IBGE (2020), o percentual de municípios com abastecimento de água por rede chegou a 99,6% (5.548 municípios) em 2017, sendo que essa rede estava em funcionamento em 5.517, paralisada em 22 e em implantação em nove. Já a cobertura do esgotamento sanitário por rede coletora está presente em 3.359 municípios (60,3%), sendo que em 3.206 localidades o serviço estava em funcionamento e 153 em implantação. No entanto, em 2.211 municípios (39,7%), não havia oferta do serviço. O volume de esgoto tratado por dia, cerca de 11,0 milhões m<sup>3</sup>, equivale a 77,1% do volume de esgoto coletado, medido ou estimado.

Nesse panorama, este trabalho surge como uma extensão do Projeto Caruaru 3D – iniciado no segundo semestre de 2018 e em andamento em 2021 – realizado entre a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e a Prefeitura Municipal de Caruaru (PMC), sob a interveniência administrativa financeira da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da UFPE (Fade-UFPE). Os convenientes executores pela UFPE foram o Núcleo de Tecnologia do Centro Acadêmico do Agreste (NT/CAA) e o Departamento de Engenharia Cartográfica do Centro de Tecnologia e Geociências (DECART/CTG). O Caruaru 3D tem como objetivo oferecer informações relacionadas ao planejamento territorial da zona urbana e aos recursos naturais do município, mais precisamente informações sobre drenagem urbana, uso e ocupação do solo e cadastro técnico multifinalitário. Assim, seguindo o objetivo de fornecer informações, este trabalho soma indiretamente ao Projeto Caruaru 3D um estudo sobre mais dois aspectos da infraestrutura urbana: abastecimento de água e esgotamento sanitário.

A partir disso, a discussão desta pesquisa está inserida no âmbito da procura por cidades mais inteligentes, que promovam redes de abastecimento de água e de esgotamento sanitário adequados e tangíveis a toda população, por meio do gerenciamento e ações de planejamento urbano, tendo como fundamento o estudo de sistemas urbanos eficientes. Tal estudo se faz necessário devido às periódicas crises hídricas e a insuficiência da rede coletora de esgoto da área em estudo. A região semiárida brasileira experimenta uma situação de escassez hídrica devido à distribuição desuniforme das chuvas, que associada aos baixos investimentos em infraestruturas e à má gestão dos recursos hídricos, destaca a carência dos sistemas convencionais por outras fontes de abastecimento de água.

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo geral deste estudo é a análise multicritério dos Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário da zona urbana de Caruaru-PE, para indicar diretrizes em prol de um gerenciamento desses serviços pautados na oferta e demanda hídricas da região.

### **2.1 Objetivos específicos**

- Caracterizar os sistemas urbanos de abastecimento de água e de esgoto sanitário de Caruaru-PE, através de informações secundárias;
- Definir os critérios relevantes para avaliar o risco de desabastecimento de água (RDA) e o grau de insuficiência de esgotamento sanitário (GIES) em zonas urbanas;
- Gerar mapas com as áreas de risco de desabastecimento de água e do grau de insuficiência de esgotamento sanitário com uso de dados georreferenciados e informações secundárias.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

“O fenômeno da mobilidade populacional vem, desde as últimas décadas do Século XX, apresentando transformações significativas no seu comportamento, não só no Brasil como também em outras partes do mundo” (IBGE, 2011, p. 9). À medida que o desenvolvimento atinge cada vez mais de pessoas, a velocidade da migração das áreas rurais para as cidades aumenta. A menos que novas cidades sejam desenvolvidas para acomodar o número crescente de pessoas, as cidades existentes logo se tornarão inacessíveis do ponto de vista de habitação e infraestrutura adequadas à população. “As cidades são das maiores e mais complexas produções sociais, e transformam-se, com o tempo, agregando, modificando ou substituindo suas partes, para acompanhar a dinâmica social em evolução” (OLIVEIRA, 2016, p.17).

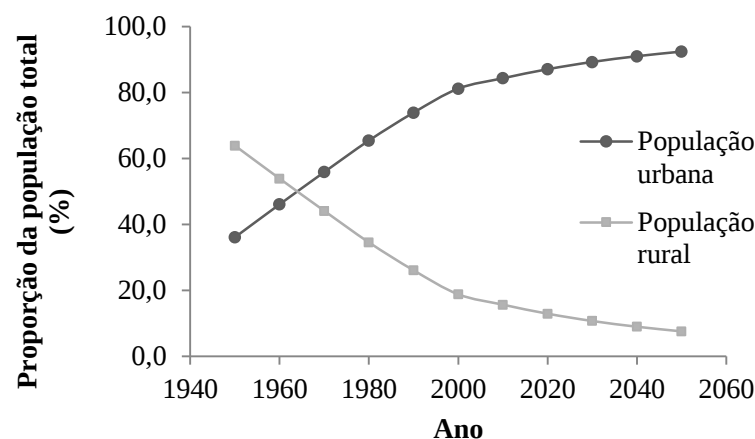
“Desde o início do século passado, o mundo experimentou uma rápida urbanização, a proporção da população que vive em áreas urbanas aumentou de 2,5% em 1800 para 40% em 1975” (LEDENT, 1982, p. 507). Para Moltz *et al.* (2020), o desenvolvimento habitacional convencional tem contribuído para a expansão urbana e desafia a capacidade dos gestores de minimizar a demanda por água, utilizando, por exemplo, águas pluviais, e a controlar os impactos na qualidade da água como, por exemplo, erosão e sedimentação. Há, portanto, uma preocupação que se torna cada vez mais urgente no meio acadêmico e na gestão pública em relação não só a quantidade de água disponível para a população, como também em relação a qualidade da água que abastece os domicílios.

Segundo Tucci (2006), no Brasil, o processo de urbanização acelerado aconteceu após a década de 60, gerando áreas urbanas com uma infraestrutura inadequada para a população. Os efeitos desse processo podem ser percebidos nos sistemas urbanos relativo a recursos hídricos: abastecimento de água, sistema de esgotos sanitários e drenagem de águas pluviais. De acordo com Mendes e Cirilo (2013), o impacto proveniente da alteração do uso do solo reflete-se em todos os componentes do ciclo hidrológico, como no escoamento superficial, recarga dos aquíferos, na qualidade da água e transporte dos sedimentos.

Quando o assunto é o uso da água em si, de acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2018), a demanda por uso de água no Brasil é crescente. A previsão é de que, até 2030, a retirada de água aumente 24%. O histórico da evolução dos usos da água está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país, no caso do Brasil, um país em desenvolvimento. Para Tucci (2008), os principais problemas quando se trata de infraestrutura e urbanização nos países em desenvolvimento, principalmente na América Latina, são:

- Alta concentração populacional em pequenas áreas, com deficiência de sistema de transporte, falta de abastecimento de água e esgotamento sanitário adequados, poluição da água e inundações constantes no período chuvoso. Esses aspectos ambientais inapropriados diminuem as condições de saúde e a qualidade de vida da população e aumentam os riscos de impactos ambientais. Na Figura 1 mostra-se a porcentagem da população urbana e rural no Brasil entre 1950 e 2050.

Figura 1 - Porcentagem da população urbana e rural no Brasil, 1950-2050



Fonte: United Nations, DESA (Department of Economic and Social Affairs), Population division. *World Urbanization Prospects*, 2018.

- Expansão das áreas periféricas das cidades de forma descontrolada, como consequência da migração de parte da população rural a procura de emprego nas cidades. De maneira geral, os bairros ocupados por essa população estão desprovidos de serviços como segurança, infraestrutura convencional de água e esgoto, drenagem, transporte e coleta de resíduos sólidos.
- O planejamento urbano, em sua maior parte, é realizado para as áreas onde mora a população de renda média e alta. Sem um planejamento adequado do espaço urbano, a ocupação ocorre sobre áreas de risco, como de inundações e de escorregamento. Assim, existe a cidade formal e a informal. Geralmente, somente a primeira é alcançada pela gestão urbana. Quanto à cidade informal, são analisadas apenas tendências de ocupação.

Nas últimas décadas, segundo Tucci (2005), os problemas da urbanização vêm acontecendo por um ou mais fatores, onde se pode destacar: migrantes de baixa renda e sem ou com pouquíssima capacidade de investimento. Essa população carente tende, então, a ocupar áreas públicas ou a adquirir áreas inseguras para construção de edificações. Formam-se, assim, as áreas de risco de inundação ou escorregamento; déficit de emprego, pouco poder aquisitivo para moradia; legislações defasadas de controle das áreas urbanas; incapacidade do município de planejar e antecipar a urbanização e investir no planejamento de espaços seguros e adequados como base do desenvolvimento urbano; crise econômica de maneira geral.

Conforme Ledent (1982), a urbanização é um processo finito experimentado por todas as nações em suas transições de uma sociedade agrária para uma sociedade industrial; assim, diferentes níveis de urbanização refletem diferentes graus de desenvolvimento econômico. Para Lopes e Mendonça (2010), tal processo pode ser observado nas últimas décadas em países em desenvolvimento, com destaque para a América Latina, onde esse processo emergiu, de forma intensa, concentrada e excludente, resultando em espaços urbanos com alto grau de precariedade de infraestrutura e com graves problemas socioambientais encontrados nas periferias das médias e grandes cidades.

Nesse cenário, segundo Silva, Santos e Galdino (2016), analisar impactos socioambientais no espaço urbano torna-se fundamental para o planejamento, desenvolvimento e ordenamento das cidades. A necessidade de crescimento da sociedade no ambiente urbano requer um modelo de apropriação do espaço geográfico através da utilização adequada de seus recursos naturais. Diante disso, a abordagem *Geographic Information System based Multi-Criteria Decision Analysis* (GIS-MCDA) é preferência em várias pesquisas, porque envolve múltiplos critérios de combinação de forma ponderada e também produzem resultados visuais, importantes para decisões no ambiente urbano, sendo utilizada para: (i) avaliar o risco de inundação urbana (ABDELKARIM *et al.*, 2020; FERNÁNDEZ; LUTZ, 2010); (ii) suporte de decisão multicritério para gestão da água (AMORIM *et al.*, 2020); (iii) propor um modelo de aplicação combinada com Sistemas de Informações Geográficas (VILELA, 2019; GHORBANZADEH; FEIZIZADEH; BLASCHKE, 2017); (iv) mapeamento de riscos de escassez de água (CORDÃO *et al.*, 2020); (v) identificação de pontos de distribuição de água (QASHQO, 2018); (vi) estabelecer prioridades gerenciais/comerciais para manutenção de sistemas de abastecimento com captação de água subterrânea (PEREIRA, 2017), (vii) identificação de pontos *Concentrated Solar Power* (CSP) e *Photovoltaics* (PV) para avaliar o potencial de energia solar (ALY; JENSEN; PEDERSEN, 2017); (viii) identificação de áreas potenciais para construção de marinas (GUMUSAY; KOSEOGLU; BAKIRMAN, 2016;

PORATH, 2014); (ix) seleção de local de aterro sanitário usando GIS-MCDA (OLIVEIRA *et al.*, 2020; MAGUIRI *et al.*, 2016); (x) avaliar o potencial de águas subterrâneas (SAHOO *et al.*, 2015; SHEKHAR; PANDEY, 2014); (xi) avaliar novos locais de geração de energia (ABUDEIF; MONEIM; FARRAG, 2015; OMITAOMU *et al.*, 2012); (xii) classificação de locais adequados para recarga de águas subterrâneas e irrigação com água de reúso (GDOURA; ANANE; JELLALI, 2015; NEJI; TURKI, 2015; ANANE *et al.*, 2012); (xiii) o planejamento de coleta de água da chuva usando técnicas geoespaciais (JHA *et al.*, 2014; NAPOLI *et al.*, 2014); (xiv) avaliar risco de avalanche (SELÇUK, 2013); (xv) priorização de locais para projetos em saneamento (CAMPOS, 2011); (xvi) geotecnologias aplicadas ao planejamento de sistemas de abastecimento de água urbanos (CORDÃO, RUFINO; ARAÚJO, 2013); (xvii) análise de aptidão do solo para sistemas de tratamento de águas residuais (ANAGNOSTOPOULOS *et al.*, 2009); (xviii) localização de usinas termoeletricas utilizando GIS (ZAMBON *et al.*, 2005), entre outras aplicações.

### 3.1 Água no espaço urbano

Segundo Wright (1997), nas últimas décadas foram desenvolvidas estratégias para fornecer serviços de saneamento em áreas urbanas de países em desenvolvimento. Está se tornando cada vez mais urgente que essas estratégias sejam postas em prática para preencher a crescente lacuna entre a oferta desses serviços e a demanda. Para Reymond, Renggli e Lüthi (2016), o saneamento urbano em países em desenvolvimento está em um ponto de inflexão. A população de baixa renda, que representa quase que a totalidade das pessoas sem serviços de saneamento, compõe mais da metade da população em muitas cidades desses países. As condições insalubres daqueles que não têm acesso ao serviço adequado não podem ser ignoradas, pois as doenças relacionadas à falta de saneamento e as fontes de água poluída geralmente têm efeitos sociais, econômicos e ambientais sentidos por todos os setores urbanos.

As ações voltadas para o saneamento são ações de saúde coletiva, visto que desempenham papel de prevenção como, por exemplo, no controle de vetores que transmitem doenças à população. Além do mais, é menos custoso para o Estado prevenir determinadas doenças do que tratá-las em uma unidade de saúde pública. De acordo com a *World Health Organization* (WHO) (2019), em 2016, as enfermidades atribuídas a insuficiência de abastecimento de água, saneamento e higiene foram causadoras de 1,9 milhões de mortes ao redor do mundo. Vale salientar que, para Angola (2013), mesmo depois de terem sido feitos investimentos em infraestruturas de saneamento, os comportamentos relacionados com a

higiene muitas vezes continuam colocando riscos elevados para a saúde da população. De toda forma, Heller (1997), através de uma extensa revisão de literatura, chegou à conclusão que as pesquisas já realizadas permitem afirmar que os indicadores de saúde pública melhoram em função de intervenções em abastecimento de água e esgotamento sanitário.

No Brasil, o saneamento básico é definido como o conjunto dos serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, drenagem urbana e manejo de águas pluviais (BRASIL, 2007). De maneira geral, os objetivos do saneamento são: promoção da salubridade ambiental e da saúde coletiva (SANTOS, 2016); proteção dos recursos hídricos e controle da poluição; abastecimento de água às populações e atividades econômicas; proteção contra situações hidrológicas extremas e acidentes de poluição e; valorização social e econômica dos recursos ambientais. Os principais sistemas relacionados com a água no espaço urbano são: mananciais de água; abastecimento de água; esgoto sanitário; drenagem urbana.

Sabe-se que as fontes de água podem ser superficiais ou subterrâneas. “Os estados que mais utilizam águas superficiais (75% dos municípios) são os estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro, Pernambuco e Paraíba” (COSTA, 2015, p. 42). Os mananciais subterrâneos são os aquíferos que armazenam água no subsolo e permitem a retirada da água por meio de bombeamento. De acordo com o IBGE (2020), no Brasil, em 2017, 44,7% dos 5.544 municípios com abastecimento de água por rede geral de distribuição tinha lei de proteção a mananciais.

Pereira (2017), em seu trabalho de abordagem multicritério em sistemas de abastecimento com captação de água subterrânea, destaca que um Sistema de Abastecimento de Água (SAA) baseado em fontes subterrâneas apresenta uma estrutura com apenas três etapas: captação, reservatório e distribuição. Essa simplificação decorre da qualidade da água dessas fontes, que em geral, requerem como tratamento somente a cloração, possível de ser realizada automaticamente por uma bomba dosadora de cloro.

Outros pontos que valem ser abordados são as inundações e a drenagem urbana. Conforme Viola (2008), os sistemas de drenagem devem ser parte integrante do planejamento urbano e do uso e ocupação do solo, preservando, assim, os corpos hídricos e até os recuperando, tanto na área interna da cidade, quanto na externa à jusante da zona urbana. Para Brazil (2016) os rios, nos períodos de chuva, naturalmente ocupam o seu leito maior, deixando a população suscetível aos impactos das inundações, pois, de forma irregular, a população, geralmente sem outras opções acessíveis, acaba ocupando o leito maior dos rios que perpassam pelo espaço urbano. De acordo com Tucci (2005), os principais problemas relacionados com a infraestrutura de água no ambiente urbano são:

- Falta de tratamento de esgoto. A maioria das cidades não possui tratamento de esgoto e despeja os efluentes na rede de drenagem pluvial, que escoam até os rios;
- Falta de drenagem urbana. Algumas cidades desenvolveram redes de esgotamento sanitário, porém não implementaram a rede de drenagem urbana, acarretando frequentes inundações com o aumento da impermeabilização;
- Ocupação do leito de inundação dos corpos hídricos, provocando inundações;
- Aumento da carga de resíduos sólidos sobre os rios próximos das áreas urbanas;
- Deterioração da qualidade da água por conta da falta de tratamento dos efluentes, criando potenciais riscos ao abastecimento da população;
- Ausência ou negligência de uma gestão organizacional que integre o solo urbano a sua infraestrutura.

Segundo Tucci e Bertoni (2003), a maior parte desses problemas foi gerada por um ou mais dos fatores destacados a seguir:

- Falta de informações: da população e dos profissionais de diferentes áreas que não possuem informações adequadas sobre a fonte dos problemas e suas causas. Assim, muitas vezes as decisões resultam em altos custos;
- Concepção inadequada dos profissionais de engenharia sobre planejamento e controle dos sistemas urbanos. Uma parte dos engenheiros que atuam no meio urbano está desatualizada quanto à visão ambiental e geralmente busca soluções apenas estruturais, que alteram o ambiente, criando um excesso de áreas impermeáveis e, conseqüentemente, elevação de temperatura, inundações e poluição;
- Visão setorializada do planejamento urbano. O planejamento e o desenvolvimento das áreas urbanas são realizados desprezando os aspectos relacionados com os diferentes componentes da infraestrutura de água. Uma parcela dos profissionais que atuam na área possui uma visão setorial limitada.
- Falta de capacidade gerencial. Os municípios, em sua grande maioria, não possuem estrutura física e de profissionais para o planejamento e o gerenciamento adequado dos diferentes aspectos da água no meio urbano.

Para a Confederação Nacional de Municípios (CNM) (2019), é fundamental o saneamento estar nas prioridades das Unidades da Federação, pois as condições de vida da população e preservação do meio ambiente necessitam de ações que estabeleçam o desenvolvimento do município através de serviços, infraestruturas e elementos operacionais que possam oferecer o efetivo esgotamento sanitário, abastecimento de água potável, drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos.

A construção de um sistema completo de abastecimento de água necessita de estudos aprofundados e mão-de-obra especializada. Esse tipo de sistema convencional exige elevados investimentos em infraestrutura e gerenciamento, geralmente públicos, para garantir água em quantidade e qualidade adequada. Conforme Tsutiya (2006), cerca de 50 a 75% do custo total de todas as obras de abastecimento é relativa à rede de distribuição. Sendo, portanto, o componente do sistema de abastecimento de água com custos mais elevados.

Conjuntamente a estas ações estruturais, ações de gestão sobre educação ambiental, sobre a oferta e demanda e redução de perdas são essenciais. Segundo Bezerra e Cheung (2013), as perdas do sistema de abastecimento de água são definidas por dois componentes: reais e aparentes. As perdas reais de água, sejam estas provenientes de vazamentos ou desperdício, representam perdas econômicas irreparáveis para a sociedade. No Brasil, em 2017, em média cerca de 40% da água foi desperdiçada da entrada no sistema de distribuição até a chegada ao usuário. Foram captados 52,4 milhões m<sup>3</sup>/dia, tratados 45 milhões m<sup>3</sup>/dia, 46,1 milhões m<sup>3</sup>/dia distribuídos e apenas 26,6 milhões de m<sup>3</sup>/dia consumidos (IBGE, 2020).

Outro ponto importante, conforme Santos (2016), diz respeito à quantidade de água por cada tipo de uso. No meio urbano, levando em consideração apenas os diferentes tipos de uso direto da água pela população, têm-se os volumes consumidos pelos consumidores individuais nas edificações, os volumes consumidos em áreas públicas, etc. Dessa forma, é relevante conhecer os volumes consumidos, numa dada escala de tempo e em cada uso, com a finalidade de entender como a água é utilizada. Esse entendimento pode contribuir para a conscientização dos usuários da água, sejam eles os gestores ou os consumidores finais.

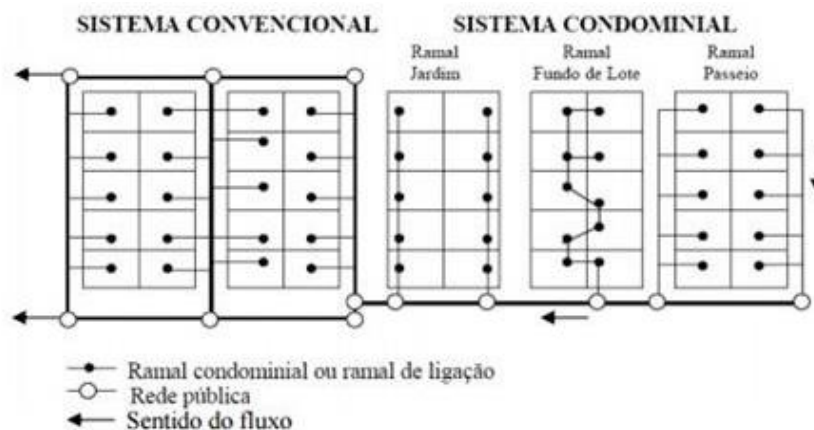
A água depois de consumida dá origem ao esgoto que, segundo Kobiyama, Mota e Corseuil (2008), pode ser classificado de três formas: doméstico, industrial e pluvial. Sendo que o uso da água nas residências, seja para preparar alimentos, higiene pessoal e limpeza em geral, origina ao esgoto doméstico. Nas indústrias, os processos produtivos ocasionam o esgoto industrial. E quando chove, a água escorre por telhados, ruas e calçadas, o que dá origem ao esgoto pluvial, que possui alta carga poluente, sendo que em muitos casos, não há como tratar o fluxo de esgoto pluvial. Como consequência, esse fluxo acaba poluindo os corpos hídricos.

Do ponto de vista sanitário, conforme Brasil (2006), a destinação correta dos esgotos visa o controle e à prevenção de doenças a eles relacionadas. Em termos socioeconômicos, segundo Costa (2015), o investimento em saneamento básico urbano proporciona um acréscimo na vida média da população, de maneira geral diminuindo a mortalidade, especialmente, a infantil, o que reflete em uma maior eficiência nas atividades econômicas, em razão da diminuição da quantidade de horas perdidas com as doenças.

Além do sistema convencional de esgotamento sanitário, há também o Sistema Condominial de Esgotos (SCE) que, segundo a Funasa (2015) e Mara e Alabaster (2005), é uma solução eficiente e econômica para esgotamento sanitário desenvolvida no Brasil na década de 1980. Este sistema se apoia na combinação da participação comunitária com a tecnologia apropriada e proporciona uma economia de até 65% em relação ao sistema convencional de esgotamento, graças às menores extensão e profundidade da rede coletora e à concepção de microssistemas descentralizados de tratamento.

O nome Sistema Condominial, segundo Scaramussa e Henkes (2014), é em função de se agregar o quarteirão urbano com a participação comunitária, formando o condomínio, similar ao que ocorre em um edifício de apartamentos (vertical); dele se diferencia, entretanto, por ser coloquial quanto à sua organização e por ser horizontal do ponto de vista físico. No SCE a rede coletora básica ou pública apenas tangencia o quarteirão do condomínio ao invés de circundá-lo como no sistema convencional. As edificações são conectadas a essa rede pública por meio do ramal condominial, cuja localização, manutenção e, às vezes, a execução são acordadas coletivamente, no âmbito de cada condomínio, a partir de um esquema de divisão de responsabilidade entre a comunidade interessada e o poder público. Apresenta-se na Figura 2 o comparativo entre as ligações dos sistemas convencionais e condominiais

Figura 2 - Comparativo entre as ligações do sistema convencional e condominial



Fonte: Tsutiya e Além Sobrinho, 1999.

De acordo com Rissoli, Neder e Martins (2011), as principais vantagens do Sistema Condominial são: minimização do volume de escavação para implantação dos ramais condominiais; simplificação das caixas de inspeção; fácil construção e menor custo de ligações residenciais; menor extensão de coletores públicas; unidades de tratamento mais simples; baixo custo de construção; menor custo de operação; maior participação da população. Em contrapartida, o principal problema encontrado é o lançamento inadequado de resíduos sólidos. Para Scaramussa e Henkes (2014), o Sistema Condominial, pelos seus menores custos, maiores facilidades de execução e indiscutível qualidade, é hoje o mais potente instrumento posto à disposição das cidades para enfrentar a sua gravíssima problemática de saneamento.

A *International Water Association* (IWA) (2018), ressalta que é primordial incentivar gestores, prestadores de serviços públicos e indústrias a proteger os recursos hídricos em conjunto com comitês de bacias hidrográficas, setor privado, sociedade civil e grupos ambientais. Pois, a forma como a água é gerenciada coletivamente e individualmente pode incentivar ou dificultar o crescimento de uma cidade. Além disso, de acordo com a ANA (2019), o investimento necessário para obras de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil é de R\$ 70 bilhões até 2025. Esse é o valor a ser investido para que o país não enfrente prováveis riscos no abastecimento urbano pelos próximos anos, de forma mais intensiva nas regiões metropolitanas e grandes conglomerados populacionais das regiões Nordeste e Sudeste.

### 3.2 Cidades inteligentes

De acordo com Carvalho (2019), as cidades são construídas por subsistemas individuais, porém se refletem no espaço urbano de forma coletiva. Ainda que tenham sua individualidade, os subsistemas (segurança, educação, saúde, transporte, meio ambiente) não devem ser estudados e trabalhados de forma singular, mas levando em consideração as inter-relações que fazem a soma dos subsistemas na composição de um sistema maior. As cidades estão crescendo – algumas em ritmo mais acelerado como Caruaru – assim como, a quantidade e qualidade das informações que podem ajudar a melhor entendê-las.

Para Batty *et al.* (2012), espera-se que cidades inteligentes tecnologicamente avançadas possam oferecer soluções eficazes para os problemas existentes de gestão e infraestrutura permitindo o desenvolvimento futuro do espaço urbano. Mas afinal, “o que é uma cidade inteligente e como ela é diferente da nossa tradicional noção de cidade? Não existe uma definição única para uma cidade inteligente” (BARLOW; LÉVY-BENCHETON, 2018, p. 5), para Grimaldi (2016) e Kunzmann (2014), a definição de cidade inteligente ainda é subjetiva.

Porém, como possíveis respostas, Lopes (2017), Sholl e Scholl (2014), definem uma cidade inteligente como uma cidade com desempenho eficiente nessas seis dimensões: economia, pessoas, governança, mobilidade, ambiente e vida inteligente. Já para Caragliu, Del Bo e Nijkamp (2009), uma cidade pode ser definida como inteligente quando há investimentos nas pessoas, em Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), em desenvolvimento econômico sustentável e alta qualidade de vida, com uma gestão eficiente dos recursos naturais, através de ação participativa e engajamento de políticas públicas.

Conforme Perera (2017), as cidades inteligentes evoluíram como uma visão de desenvolvimento urbano para integrar várias soluções de TIC em um modelo seguro para gerenciar os ativos de uma cidade - os ativos da cidade incluem, entre outros, sistemas de informação dos departamentos locais, escolas, bibliotecas, sistemas de transporte, hospitais, usinas, redes de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, gestão de resíduos sólidos e outros serviços comunitários. Nesse ambiente cheio de diferentes ativos, segundo Schaffers *et al.* (2011), as cidades enfrentam desafios complexos para atender aos objetivos socioeconômicos de desenvolvimento e de qualidade de vida da população. Para alcançar esses desafios Carvalho (2019) afirma que os gestores devem investir em cinco pilares que irão sustentar, especialmente em longo prazo, o projeto de cidades inteligentes. São os seguintes:

1. Plano de Metas: O Plano de Metas define a cidade que se tem, a cidade que se deseja ter e o caminho mais rápido e eficiente para alcançar o objetivo pretendido. É definido o quê, o porquê, como, onde, quando e o valor de custo de cada projeto, embasando o gestor com informações necessárias para desenvolver políticas públicas e acompanhar o desenvolvimento dos projetos.
2. Tecnologias: Para uma cidade ser considerada inteligente ela precisa saber antes que tipo de tecnologia deve ser aplicada em seu município para ajudá-la a alcançar o objetivo de garantir melhor qualidade de vida para sua população, e não simplesmente instalar a tecnologia por ser tecnologia. Dessa forma, as tecnologias são aplicadas com maior eficácia em impactos positivos na vida das pessoas.
3. Participação cidadã: Vale destacar que após a Constituição Federal de 1988 a população tem maior representatividade nas decisões que impactam na sua vida. Com o rápido desenvolvimento da informática, acima de tudo das redes sociais, a participação dos cidadãos está cada vez mais notória em relação a décadas atrás na tomada de decisões que envolvem a comunidade, dessa maneira o gestor deve ficar atento em como transformar essa participação em algo positivo para o município.

4. Desenvolvimento de pessoas: É importante que os gestores e a equipe de planejamento urbano sejam capacitados em termos de habilidades e atitudes de: liderança, comunicação e gestão. Principalmente, para se adaptarem a esse novo cenário de participação cidadã e desenvolvimento acelerado da tecnologia.
5. Processos e procedimentos: A análise dos processos e procedimentos dá aos servidores uma maior nitidez do que precisa ser feito e como fazer em cada situação, tornando as respostas mais ágeis e um maior controle dos setores que estão com baixa produtividade. Uma prefeitura com seus processos mapeados e procedimentos documentados aumenta a eficiência da comunicação interna, sua produtividade, economia de tempo, de pessoas e de dinheiro público.

Tendo em vista esses cinco pilares, Bach *et al.* (2018) afirmam que o modelo de saída dos projetos e serviços de uma cidade inteligente será rico em informações, levando em consideração a linguagem dos gestores urbanos e, portanto, adequado para aplicações em gestão integrada da água no ambiente urbano, dos meios de transporte, do gerenciamento dos resíduos sólidos e da infraestrutura da cidade.

Dirks e Keeling (2009) destacam que para as cidades se tornarem inteligentes, os administradores da cidade devem desenvolver um planejamento urbano integrado dos vários sistemas existentes (transporte, energia, educação, saúde, alimentos, água e segurança pública), pois, em um ambiente denso, como o das cidades, nenhum sistema opera isoladamente. “Mas infundir inteligência em cada subsistema de uma cidade não é o suficiente para se tornar uma cidade mais inteligente. Uma cidade mais inteligente deve ser vista como um todo, como uma rede, como um sistema vinculado” (KANTER; LITOW, 2009, p. 2). Apesar disso, alguns estudos (FERNANDEZ-ANEZ; VELAZQUEZ-ROMERA, 2015; LOMBARDI, 2012; GIFFINGER *et al.*, 2007), com o objetivo de esclarecer o que constitui uma cidade inteligente, separaram este conceito em dimensões. Na literatura a cidade inteligente é dividida em seis dimensões: Governança, Economia, Mobilidade, Meio Ambiente, Pessoas e Modo de Vida.

- Governança inteligente: Governo inteligente faz uso da tecnologia disponível para estar ciente e coordenar as atividades realizadas até por outros municípios, obter sinergias através de colaborações com outras partes interessadas e atender às necessidades dos cidadãos para melhorar ambos, serviços públicos e confiança nas instituições públicas.

- Economia inteligente: Uma economia urbana é considerada inteligente quando reúne inovação e produtividade para adaptar-se ao mercado e às necessidades dos trabalhadores, aprimorando modelos de negócios para competir local e globalmente.
- Mobilidade inteligente: A Mobilidade inteligente busca oferecer a mais eficiente e limpa rede de transporte, de bens e dados. Ela aproveita as tecnologias disponíveis para reunir e fornecer informações aos usuários, planejadores urbanos e gerentes de transporte, permitindo remodelação dos padrões de mobilidade urbana, mecanismos de planejamento e aprimoramento de multimodalidade, melhorando a coordenação e integração de diferentes modos transportes.
- Meio ambiente inteligente: O meio ambiente inteligente usa coleta de dados dos usuários, ar, água e outros recursos da cidade, a fim de estabelecer principais áreas de ação no planejamento de infraestrutura urbana, bem como informar os gestores de serviços públicos e, conseqüentemente, melhorar a qualidade de vida da população.
- Pessoas inteligentes: Uma cidade inteligente precisa do cidadão para participar das iniciativas e decisões em relação ao município em que vive. É necessária a existência de cidadãos capazes de participar na vida urbana inteligente, podendo fornecer soluções criativas, inovação e diversidade para suas comunidades. A educação aparece como a principal ferramenta para melhorar essa dimensão.
- Vida inteligente: E por fim, o *Smart Living* é considerado o gerenciamento inteligente das instalações, espaços e serviços públicos usando TIC para colocar o foco na melhoria contínua, acessibilidade, flexibilidade de usos e serviços que mais se aproximem das necessidades dos cidadãos.

Dentre as seis dimensões Lopes (2017), Scholl e Scholl (2014) destacam a governança inteligente como fator chave para o desenvolvimento de uma cidade inteligente, criativa e sustentável, promovendo eficácia, transparência e agilidade das instituições governamentais, bem como a participação e colaboração das partes interessadas em todos os níveis do processo de governo. Para Closas, Schuring e Rodriguez (2012), a mudança para um ambiente eficiente, limpo e resiliente de crescimento urbano irá garantir a provisão mais equitativa de serviços no futuro, resultando no uso eficiente dos recursos naturais.

### 3.3 Cidades resilientes

Apesar da discussão sobre resiliência ter começado no início da década de 70 (HOLLING, 1973), diante das perspectivas de crescimento das cidades, dos desafios do planejamento urbano e do aumento da população, na última década percebeu-se com mais ênfase a necessidade de estudar tais efeitos e diversos trabalhos têm abordado os espaços urbanos resilientes (PASTORELLI JÚNIOR, 2018; FERREIRA, 2016; GONÇALVES, 2014).

A resiliência é a capacidade de uma comunidade ou sistema de manter ou recuperar suas atividades em meio a situações adversas. Assim, para Strengari *et al.* (2015) e Marengo (2015), uma cidade resiliente é aquela que busca garantir a operação de suas funcionalidades para que as pessoas que vivem em seu território, sobretudo os mais vulneráveis, sobrevivam e prosperem independentemente da ocorrência de alterações extremas. A capacidade de resiliência e sustentabilidade de uma cidade demandam etapas essenciais como: o estudo de adaptação das infraestruturas em relação a eventos extremos; a criação de uma estrutura organizacional para a colaboração no planejamento urbano das partes interessadas.

Para Silva *et al.* (2019), uma diversidade de fontes de água tem o objetivo de reduzir de forma significativa os riscos da falta de abastecimento, reduzir a procura por água potável dos sistemas convencionais e aumentar a segurança hídrica da região, uma vez que sistemas convencionais dependem, muitas vezes, de reservatórios como única fonte de abastecimento, estando mais susceptíveis a crises hídricas. Uma das maneiras de aumentar a segurança hídrica é a utilização de águas cinzas e pluviais. Segundo Fendrich e Oliynik (2002), a tecnologia utilizada em um sistema de captação de águas pluviais deve integrar as seguintes técnicas: coleta das águas pluviais (telhados); armazenamento das águas pluviais (reservatórios); verificação da qualidade das águas pluviais; drenagem do excedente de água (chuvas intensas); e eliminação da água coletada no início da chuva.

Nesse cenário, Cavalcanti (1999) e Nogueira (2017) apontam que residências com sistemas de captação de água de chuva e/ou sistemas de armazenamento próprios amenizarão os impactos causados pela falta de água da rede de distribuição convencional. Em escala maior, cidades que implementarem sistemas de coletas de águas pluviais e reúso de água cinzas conseguirão diminuir a demanda de água para usos não potáveis e evitar possíveis alagamentos, contribuindo, assim, para um ambiente urbano mais limpo e sustentável. Fasola *et al.* (2011) destacam que alternativas vêm sendo utilizadas para diminuir a demanda e racionalizar o consumo de água. Entre essas tecnologias destacam-se o aproveitamento de água pluvial (AAP), o reúso de águas cinzas (RAC) e o emprego de equipamentos economizadores de água.

Para Santos (2016) pode-se destacar pela busca de sustentabilidade, a conservação da água, à drenagem urbana sustentável, ao saneamento ecológico e à eficiência hidroenergética. A conservação da água refere-se a um conjunto de ações que propiciam a economia da água, seja nos mananciais, nos sistemas de abastecimento, até mesmo nas habitações. São ações que favorecem tanto a conservação da quantidade quanto da qualidade da água. A conservação quantitativa, interesse deste trabalho, considera ações de economia de água, práticas de utilização de fontes alternativas como o reúso da água, bem como como práticas de uso racional da água. No que diz respeito ao uso racional, uma medida de combate ao desperdício é a utilização de dispositivos poupadores de água como, por exemplo, torneiras automáticas que podem reduzir até 20% o consumo em relação a torneira convencional. Pode-se citar também arejadores, bacias sanitárias com volume reduzido de descarga, etc.

### **3.4 Cidades sensíveis à água**

De acordo com Floyd *et al.* (2014), o conceito de cidades sensíveis à água está associado a um novo paradigma de governança urbana da água tendo em vista o uso de sistemas de água alternativos. Segundo Wong e Brown (2009), o conceito apareceu pela primeira vez em 2004, no documento da *National Water Initiative* (NWI) (AUSTRALIA, 2004), a principal política de gestão da água entre os governos estaduais e federais da Austrália. Para Brown, Keath e Wong (2009), Brown, Rogers e Werbeloff (2016), o conceito de cidade sensível à água surgiu como uma visão unificadora de uma abordagem urbana de gestão da água que não apenas atende às necessidades de água de uma cidade, mas também oferece uma gama de benefícios associados para melhorar a habitabilidade e resiliência.

Segundo Wong e Brown (2009), cidades sensíveis à água apresentam uma visão abrangente sobre o ciclo da água no ambiente urbano ao considerar inúmeros objetivos: proteção contra inundações, suplementação de abastecimento de água, saúde pública, economia de energia e sustentabilidade. Para Brown, Keath e Wong (2009), cidades sensíveis à água podem ser caracterizadas por três atributos (i) acesso a uma diversidade de fontes de água; (ii) prestação de serviços ecossistêmicos para ambiente construído e natural; e (iii) visão sócio-política para a sustentabilidade. Seguindo essa linha, Schuetze e Santiago-Fandiño (2014) afirmam que a gestão sustentável e o fornecimento de recursos vitais como água, energia e alimentos exigem soluções integradas baseadas em estratégias interdisciplinares, particularmente em áreas urbanas, onde as densidades populacionais e a inter-relação de diferentes setores de infraestrutura são mais complexas e desafiadoras do que nas áreas rurais.

Estudos dos anos 2010 a 2020 (NÓBREGA; ANDRADE; LEMOS, 2019; DOBBIE; BROWN; FARRELLY, 2016; FLOYD *et al.*, 2014; FERGUSON; FRANTZESKAKI; BROWN, 2013; ANDRADE; BLUMENSCHNEIN, 2013) demonstram que as pesquisas têm se voltado para uma abordagem mais sensível à água, em detrimento da abordagem convencional. Assim, conforme Arrial e Arrial (2017), as cidades, principalmente as que sofrem com crises hídricas frequentes, na busca por resiliência em seus sistemas urbanos de abastecimento de água e de esgotos sanitários têm agrupado ideias, estudos e esforços para aplicar formas de gestão dos recursos naturais nos centros urbanos de maneira sustentável. As mudanças na forma de pensar sobre o gerenciamento das águas urbanas são, muitas vezes, reveladas nas suas infraestruturas hídricas, por exemplo, infraestruturas integradas de poços, reservatórios e canais se percebe o intuito de promover manutenção do serviço prestado.

Ainda sobre infraestruturas hídricas, conforme Kim e Joo (2018), *Low Impact Development* (LID) referem-se às práticas de projetos locais que reduzem os impactos do escoamento das águas de chuva e têm como objetivo imitar a função hidrológica natural do ambiente, gerenciando o escoamento próximo ao local de origem. Segundo Fletcher *et al.* (2015), a ideia inicial do LID era alcançar uma hidrologia natural usando o layout do local e medidas de controle integradas. Desta forma, proporcionou o uso de dispositivos de menor porte localizados próximos às fontes de escoamento, como os telhados verdes.

Por fim, para Fletcher *et al.* (2015), as *Best Management Practices* (BMP) se caracterizam por práticas não estruturais, no sentido de operação, e estruturais, no sentido mais voltado para obras de engenharia, porém o foco principal das BMPs é nas medidas não-estruturais como treinamento do operador, manutenção frequente e procedimentos operacionais adequados. Salienta-se que neste estudo a ênfase é no gerenciamento e/ou infraestruturas para sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário.

### 3.5 Geoprocessamento

Sabe-se que a coleta e a interpretação satisfatória de informações são um instrumento importante para a tomada de decisão em qualquer área do conhecimento. Para Philippi Jr e Galvão Jr (2012), no tratamento de informações distribuídas no tempo e no espaço, a organização e utilização destas requerem um sistema que possa utilizar diversos tipos de dados e inter-relacioná-los. As ferramentas conhecidas como Sistema de Informações Geográficas (GIS, da sigla em Inglês) são eficientes nessa função quando bem implementadas.

De acordo com Câmara, Davis e Monteiro (2004), os primeiros GIS surgiram no Canadá, na década de 60, como parte de um programa governamental para criar um inventário de recursos naturais do país. Estes sistemas eram difíceis de manusear: os computadores eram muito caros, não existiam monitores gráficos de alta resolução, e era preciso mão de obra altamente especializada. Não existiam soluções comerciais prontas para uso, e cada interessado precisava desenvolver seus próprios programas, o que demandava muito tempo e muito dinheiro. Com o avanço da tecnologia, dos sistemas operacionais, *hardwares* e *softwares* de computador, na segunda década do século XXI os GIS são bem mais acessíveis.

A definição de geoprocessamento ainda parece um pouco complexa, pois existem discussões sobre o que se pode ou não se realizar. Porém, sabe-se que o geoprocessamento vai além das capacidades técnicas de processamento e armazenamento de dados geoespaciais. Desta forma, “pode-se definir conceitualmente o geoprocessamento como uma estruturação simplificada da realidade que supostamente apresenta, de forma generalizada, características e relações importantes, através de dados especializados” (MENDES; CIRILO, 2013, p. 55).

### 3.5.1 Geoprocessamento no desenvolvimento de cidades inteligentes

De acordo com Carvalho (2019), o geoprocessamento auxilia o desenvolvimento de uma cidade inteligente fornecendo a ela dados georreferenciados e com qualidade suficiente para fundamentar o processo de tomada de decisão dos gestores, também pode ser usado para modelar e estudar cenários futuros no ambiente urbano. Tem-se na Figura 3 oito projetos de gestão de informações geográficas no desenvolvimento de cidades inteligentes:

Figura 3 - Projetos de Gestão da Informação Geográfica para cidades inteligentes



Fonte: O Autor, 2021.

Nota: Adaptado de Carvalho, 2019.

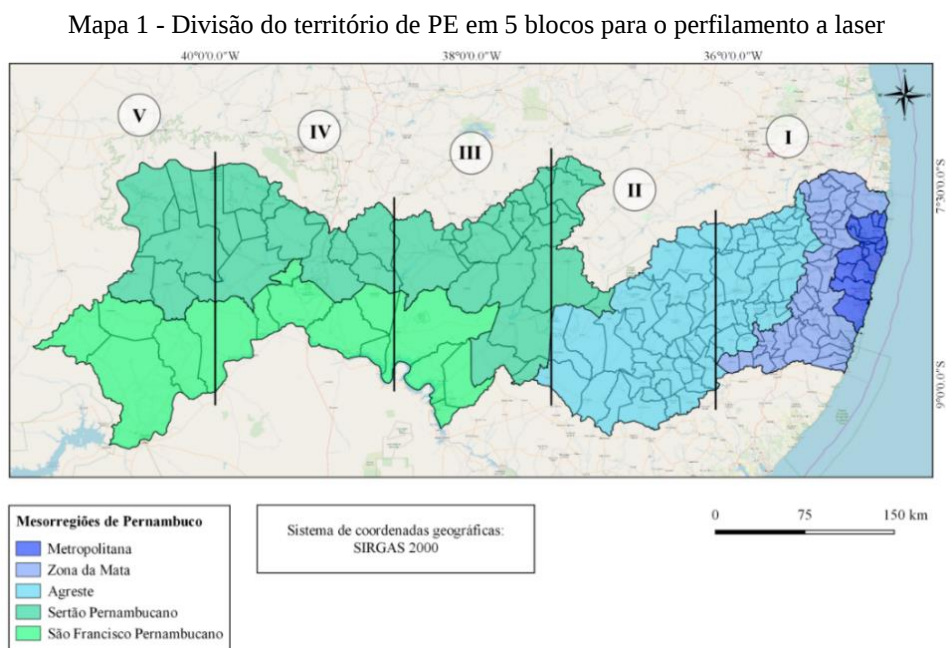
1. A organização interna dos dados e documentos da prefeitura através da integração de todos os sistemas internos com a infraestrutura de dados espaciais em detrimento do uso excessivo de papel;
2. A criação de uma rede geodésica municipal assegura a qualidade dos levantamentos topográficos realizados no município com o intuito de planejamento territorial, evitando erros de deslocamentos nas diversas bases cartográficas municipais;
3. A aquisição de imagens ortorretificadas em escala compatível com o cadastro urbano, em média com erro máximo permitido de 10 cm, esse tipo de imagem auxilia é essencial para vetorização das quadras e lotes de uma cidade de forma eficiente;
4. A criação da cidade digital, através da vetorização das camadas do cadastro multifinalitário;
5. A atualização do cadastro urbano e rural para fins de atualização de arrecadação fiscal, assim como o desenvolvimento de políticas públicas;
6. A vinculação das ações, políticas e projetos com as metas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (UN, 2015) ou outra que a substituir. Este estudo está associado ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, água potável e saneamento, que visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos;
7. A construção de cenários visando identificar a viabilidade econômica, social e ambiental dos projetos que configuram uma cidade inteligente;
8. A definição de um Plano de Metas voltado para resultado baseado na metodologia *SMART* (específico, mensurável, atingível, relevante e temporal) ou outra equivalente.

A partir desses oito projetos GIS acredita-se, segundo Carvalho (2019), que o caminho entre as cidades atuais e as cidades inteligentes torna-se mais concreto. O resultado do planejamento, construído de forma colaborativa, fundamentado em dados técnicos georreferenciados conduzirá de forma transparente o município a condição de Cidade Humana, Eficiente, Sustentável e Inteligente. Um dos pontos primordiais para se alcançar tais atributos é um conjunto conciso de informações que possam subsidiar projetos e ações práticas de desenvolvimento urbano.

### 3.5.2 Programa Pernambuco Tridimensional

De acordo com Cirilo *et al.* (2014), o Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), que foi iniciado em março de 2014 pela Secretaria de infraestrutura de Pernambuco (SEINFRA), realizou a varredura a laser e obteve ortoimagens de alta resolução de toda a superfície do estado, cuja área é de 98.148 km<sup>2</sup>. Utilizou-se a tecnologia LiDAR (*Light Detection And Ranging*), com captura de dados realizada por sensores e câmeras instalados em oito aviões, os quais foram operados pelas empresas contratadas para o serviço.

O PE3D é a continuação do trabalho concluído em 2011, proposto pela então Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos (SRHE), antecessora da SEINFRA, logo após as grandes inundações ocorridas em diversas regiões do estado, com consequências mais graves na Mata Sul Pernambucana (2010/2011) e no Agreste Meridional (2010). Tendo em vista, a qualidade e quantidade de informações georreferenciadas geradas por esse programa, é de fundamental importância o seu uso na abordagem de cidades inteligentes. Pois, ainda conforme Cirilo *et al.* (2014), considerando o caso do Brasil, há necessidade de ampliação da infraestrutura existente, sendo cada vez mais urgente a criação de dados e informações do território para compatibilizar as iniciativas de desenvolvimento urbano em tempo e qualidade compatíveis com as demandas e padrões ambientais exigidos. O trabalho foi realizado simultaneamente em cinco blocos, divididos como se apresenta no Mapa 1, cobrindo as 5 mesorregiões do estado de Pernambuco.



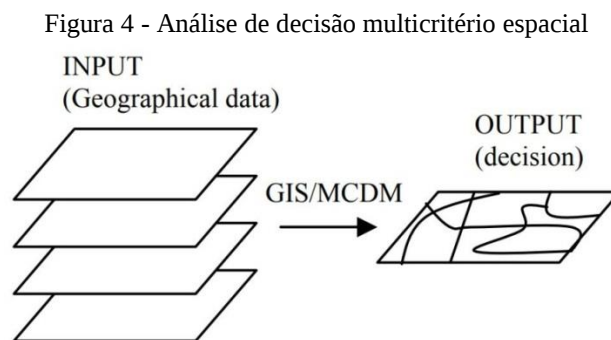
Fonte: O Autor, 2021.

Nota: Adaptado de Cirilo *et al.*, 2014.

O PE3D tem sido base para o desenvolvimento de diversas pesquisas como (i) nivelamento de poços para confecção de mapas potenciométricos (SILVA; DEMETRIO, 2020); (ii) potencialidades no uso do geoprocessamento para combater a escassez de água (SILVA *et al.*, 2020); (iii) identificação e levantamento do estado de conservação de nascentes (LEITE, 2019); (iv) utilização do GIS no projeto de barragens (ALCÂNTARA *et al.*, 2018); (v) implantação de infraestrutura e planejamento territorial (CIRILO *et al.*, 2014) e outros.

### 3.5.3 Análise multicritério fundamentada em GIS

Para Braga e Gobetti (1997), a gestão de um SAA busca decisões que envolvem uma variada gama de critérios que podem ser representados como planos de informações espaciais. Esta análise pode ser denominada de avaliação multicritério e ser compreendida como um conjunto de métodos onde é possível o tratamento em paralelo de questões econômicas, sociais, políticas e ambientais. De acordo com Vahidnia *et al.* (2008), a análise multicritério baseada em GIS é usada em uma ampla gama de situações de decisão e gerenciamento, como planejamento ambiental e gestão da ecologia, planejamento urbano, hidrologia e recursos hídricos, florestas, transportes, agricultura, gerenciamento de riscos naturais e alocação de recursos de assistência médica. Dessa forma, os GIS-MCDA são amplamente implementados em recursos hídricos, pois, propiciam a sintetização de eventos complexos com o uso de variáveis de múltiplos critérios (VAHIDNIA *et al.*, 2008; GHORBANZADEH; FEIZIZADEH; BLASCHKE, 2017). Apresenta-se na Figura 4 um esquema de decisão multicritério espacial.



Fonte: Vahidnia *et al.*, 2008.

De acordo com Campos (2011), a utilização de métodos de análise multicritério tem sido cada vez mais presentes em trabalhos científicos, de maneira que hoje é possível encontrar diversos métodos de comparação entre pares, onde podemos citar: ANP (*Analytic Network*

*Process*), MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*), AHP (*Analytical Hierarchy Process*), entre outros. Desses, o método utilizado neste trabalho foi o AHP, devido a sua consolidação, por ser um dos primeiros métodos de tomada de decisão com vários critérios, e por ser um dos mais usuais no meio acadêmico.

O método AHP, segundo Saaty (2008) e Okeola e Sule (2012), utiliza estruturas hierárquicas para representar um problema e depois desenvolver prioridades para os critérios baseadas no julgamento do usuário. A abordagem AHP, segundo Schmoldt *et al.* (2001), possui três características valiosas que auxiliam a tomada de uma decisão. Primeiro, o AHP permite que os tomadores de decisão estruturem um problema em uma hierarquia e decomposição de critérios. Em segundo lugar, as comparações de pares entre os elementos permitem uma ordenação preferencial dos elementos de decisão. E por fim, a álgebra da matriz utilizada no método sintetiza prioridades locais em globais para que o objetivo seja estudado holisticamente. “O procedimento AHP envolve seis etapas essenciais” (LEE; CHEN; CHANG, 2008, p. 98): definição o problema; desenvolvimento da hierarquia do AHP; comparação pareada; estimativa dos pesos relativos; verificação a consistência; obtenção da classificação geral.

Os cálculos da metodologia AHP são pautados pelo teorema de Perron-Frobenius que, de acordo com Keener (1993), diz que para uma matriz  $A$  real de tamanho  $n \times n$  com entradas não negativas, há apenas um autovalor máximo  $\lambda_{\max}$  de  $A$  que correspondente a um autovetor  $w$  com entradas estritamente positivas, este autovetor é denominado como vetor de prioridades (pesos) ou vetor de Eigen (CAMARGO *et al.*, 2017; TOLEDO; ENGLER; AHUMADA, 2011; GOMES, 2009; WOLFF, 2008). Os valores do vetor de prioridades resultam da sucessão de aplicações do teorema de Perron-Frobenius até a obtenção final dos pesos dos critérios analisados (GOMES, 2007).

Segundo a *National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine* (2016), para atender às demandas futuras de água e esgotamento sanitário, em meio aos desafios do envelhecimento da infraestrutura convencional, crescimento populacional e mudanças climáticas, uma série de possibilidades, novas estratégias e gestão inovadora serão necessárias. Nesse contexto, este trabalho busca analisar as condições atuais dos SUAA e SES e pretende indicar diretrizes de maneira a maximizar os benefícios e minimizar os danos à população pela falta ou ineficiência dos sistemas presentes. Contribuindo, assim, para melhoria da qualidade de vida do público atendido e também para o desenvolvimento do meio ambiente e do meio urbano, tendo em mente o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos embasados em questões sociais e ambientais. Diante do referencial teórico exposto, tem-se a seguir uma metodologia baseada em GIS-MCDA no contexto de cidades inteligentes.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Área de estudo

Segundo Brasil (2012), o semiárido brasileiro é um dos mais chuvosos, quando comparado a outras regiões semiáridas do planeta, possui precipitação média anual de 750 mm. Em contrapartida, possui um potencial médio de evapotranspiração de cerca de 2500 mm/ano, além de apresentar um solo pouco profundo, com baixa capacidade de infiltração e de armazenamento, gerando escassez hídrica. Nesta última década, a região semiárida brasileira enfrenta uma situação de escassez, o que ocasionou um acréscimo de decretos de calamidade pública entre os anos de 2013 e 2017 em decorrência da seca, como apresenta-se no Mapa 2.

Mapa 2 - Decretos de calamidade pública em 2017 no Brasil devido à seca

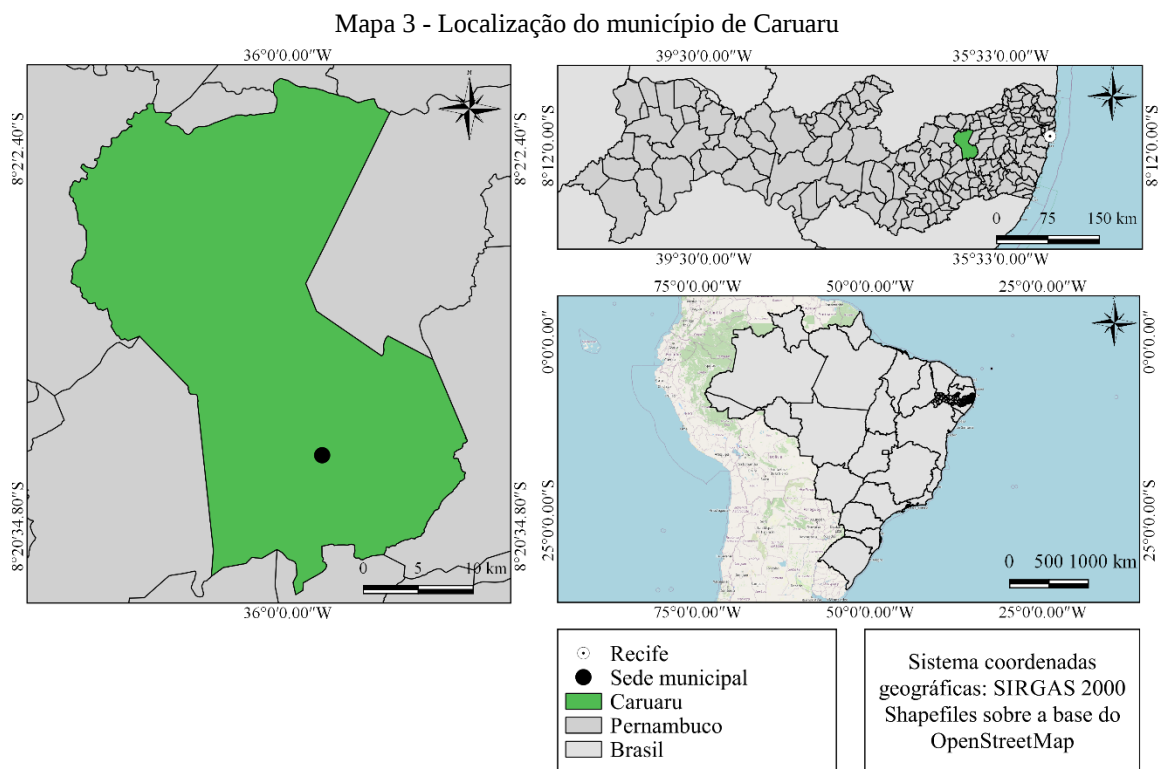


Fonte: Ministério da Integração Nacional. Elaborado pela CNM, 2018.

O município de Caruaru, emancipado em 18 de maio de 1857, de acordo com o IBGE (2017), está localizado na microrregião do Vale do Ipojuca, mesorregião Agreste, está inserido nesse semiárido, distanciado 130,07 km da capital do estado, Recife. A sede do município tem altitude de 533,5 m e coordenadas geográficas de 08°28' S latitude e 35°96' W de longitude. Segundo Pinheiro (2019), o município, com seus 933 km<sup>2</sup>, corresponde a 11,31% da área da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca. A região hídrica do Ipojuca é Unidade de Planejamento (UP3), conforme o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) de Pernambuco (1998).

Caruaru, segundo Calado e Miranda (2019), é conhecida por seu conjunto de feiras livres reconhecidas como Patrimônio Cultural Imaterial Brasileiro pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). O município é cortado por duas rodovias federais, as BR 232 e 104, que atuam com principais eixos de ligação entre as cidades circunvizinhas e

contribuem para fazer de Caruaru forte centro atrativo para os comerciantes e turistas. Segundo Alvares *et al.* (2013), o clima de Caruaru, pela classificação de Köppen, é do tipo semiárido (BSh), apresentando verões quentes e secos e invernos amenos e chuvosos. Conforme França *et al.* (2018), o período chuvoso se inicia em fevereiro, com chuvas de pré-estação, e dura até final do mês de agosto, podendo chegar até a primeira quinzena de setembro. Vale destacar que os meses mais chuvosos são maio, junho e julho e os meses mais secos são outubro, novembro e dezembro. Apresenta-se no Mapa 3 a localização do município de Caruaru e sua sede.



Fonte: O Autor, 2021.

Caruaru possui uma população estimada para o ano de 2020 de 365.278 pessoas (IBGE, 2020), o PIB *per capita* em 2016 de R\$17.880,19, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) em 2010 de 0,677 e em 2017, o salário médio mensal era de 1,7 salários mínimos. Como destaca Oliveira (2016), é a maior cidade do interior de Pernambuco, destaca-se na região Agreste com elevados índices de crescimento populacional e econômico. A rápida urbanização transforma o território da cidade de forma acelerada em relação a outras cidades do interior pernambucano, dessa maneira já apresenta significativos problemas sociais, muitos advindos da própria configuração espacial, como a segregação social, redução da mobilidade, deterioração física e funcional do espaço público, dentre outros. A cidade possui, de acordo com o IBGE (2012), vinte e três bairros, Tabela 1.

Tabela 1 - População residente em Caruaru, por bairro.

| <b>Bairro</b>           | <b>Total</b> | <b>Homens</b> | <b>Mulheres</b> |
|-------------------------|--------------|---------------|-----------------|
| Agamenon Magalhães      | 5.921        | 2.930         | 2.991           |
| Alto do Moura           | 9.315        | 4.544         | 4.771           |
| Boa Vista               | 34.722       | 16.458        | 18.264          |
| Caiucá                  | 5.868        | 2.688         | 3.180           |
| Cedro                   | 1.713        | 827           | 886             |
| Centenário              | 4.208        | 1.974         | 2.234           |
| Cidade Alta             | 5.842        | 2.848         | 2.994           |
| Divinópolis             | 6.713        | 2.949         | 3.764           |
| Indianópolis            | 20.015       | 9.645         | 10.370          |
| João Mota               | 4.606        | 2.193         | 2.413           |
| Kennedy                 | 12.047       | 5.587         | 6.460           |
| Maurício de Nassau      | 15.536       | 6.822         | 8.714           |
| Morro do Bom Jesus      | 5.481        | 2.614         | 2.867           |
| Nossa Senhora das Dores | 8.229        | 3.593         | 4.636           |
| Nova Caruaru            | 7.243        | 3.508         | 3.735           |
| Petrópolis              | 14.258       | 6.602         | 7.656           |
| Rendeiras               | 13.697       | 6.469         | 7.228           |
| Riachão                 | 6.272        | 2.974         | 3.298           |
| Salgado                 | 51.503       | 24.354        | 27.149          |
| Santa Rosa              | 11.739       | 5.569         | 6.170           |
| São Francisco           | 9.750        | 4.420         | 5.330           |
| Universitário           | 5.711        | 2.754         | 2.957           |
| Vassoural               | 17.603       | 8.214         | 9.389           |

Fonte: IBGE, 2010.

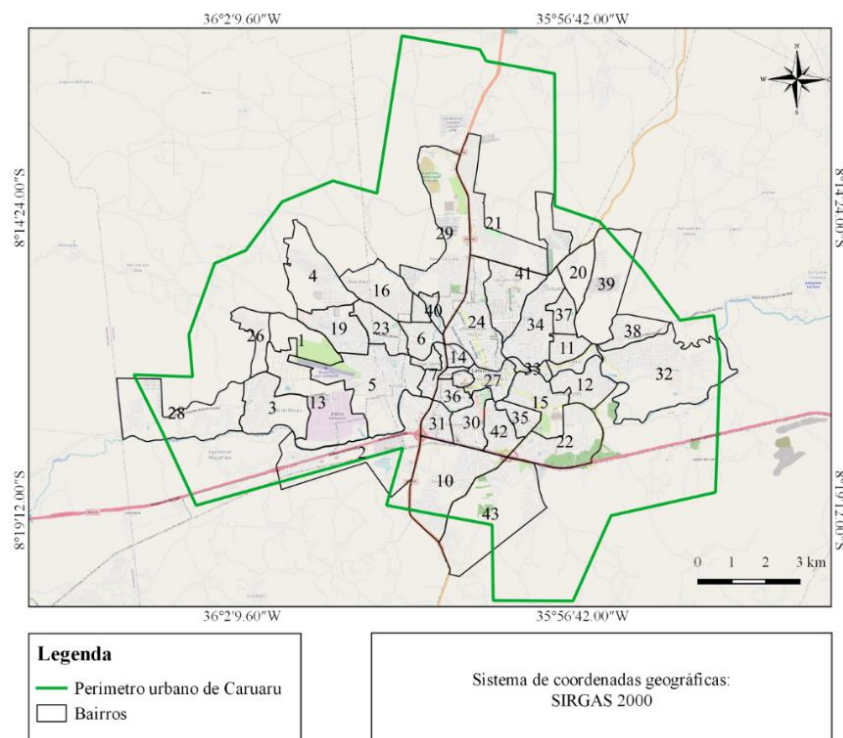
Porém, de acordo com a base de dados de Caruaru (2019), a cidade possui 43 bairros, Figura 5 e Tabela 2. Neste estudo considera-se esta base de dados para análise dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Apresenta-se na Tabela 3 a configuração atual da divisão dos bairros de Caruaru, bem como a população urbana estimada para o ano de 2021. Encontrou-se a população por bairro utilizando os dados dos setores censitários que compõem cada bairro e a metodologia de projeção da população do IBGE (2013). Entre os anos de 2010 e 2021, os bairros Boa Vista, Indianópolis, Nova Caruaru, Petrópolis, Rendeiras, Salgado e Universitário foram subdivididos, essa subdivisão gerou 12 novos bairros. Além destes, surgiram mais oito no mesmo período não provenientes de bairros já existentes, passando de 23 em 2010 para 43 em 2021, evidenciando a acelerada expansão da zona urbana de Caruaru, onde, em muitos casos, o poder público não consegue acompanhá-la e prover sistemas de infraestrutura urbana que supram as necessidades da população.

Tabela 2 - Total de bairros da cidade de Caruaru.

| Índice | Nome                       | Índice | Nome                     |
|--------|----------------------------|--------|--------------------------|
| 1      | Aeroporto                  | 23     | Maria Auxiliadora        |
| 2      | Agamenon Magalhães         | 24     | Maurício de Nassau       |
| 3      | Alto do Moura              | 25     | Morro do Bom Jesus       |
| 4      | Andorinha                  | 26     | Nina Liberato            |
| 5      | Kennedy                    | 27     | Nossa Senhora das Dores  |
| 6      | Boa Vista                  | 28     | Nossa Senhora das Graças |
| 7      | Caiucá                     | 29     | Nova Caruaru             |
| 8      | Cedro                      | 30     | Petrópolis               |
| 9      | Centenário                 | 31     | Pinheirópolis            |
| 10     | Cidade Alta                | 32     | Rendeiras                |
| 11     | Cidade Jardim              | 33     | Riachão                  |
| 12     | Dep. José Antônio Liberato | 34     | Salgado                  |
| 13     | Distrito Industrial        | 35     | Santa Rosa               |
| 14     | Divinópolis                | 36     | São Francisco            |
| 15     | Indianópolis               | 37     | São João da Escócia      |
| 16     | Jardim Boa Vista           | 38     | São José                 |
| 17     | Jardim Panorama            | 39     | Serras do Vale           |
| 18     | João Mota                  | 40     | Severino Afonso          |
| 19     | José Carlos de Oliveira    | 41     | Universitário            |
| 20     | Lagoa do Algodão           | 42     | Vassoural                |
| 21     | Luiz Gonzaga               | 43     | Verde                    |
| 22     | Manoel Bezerra Lopes       |        |                          |

Fonte: Prefeitura Municipal de Caruaru, 2019.

Figura 5 - Perímetro urbano e bairros de Caruaru



Fonte: Prefeitura Municipal de Caruaru, 2019.

Tabela 3 - Bairros de Caruaru para os anos de 2010 e 2021 e população estimada.

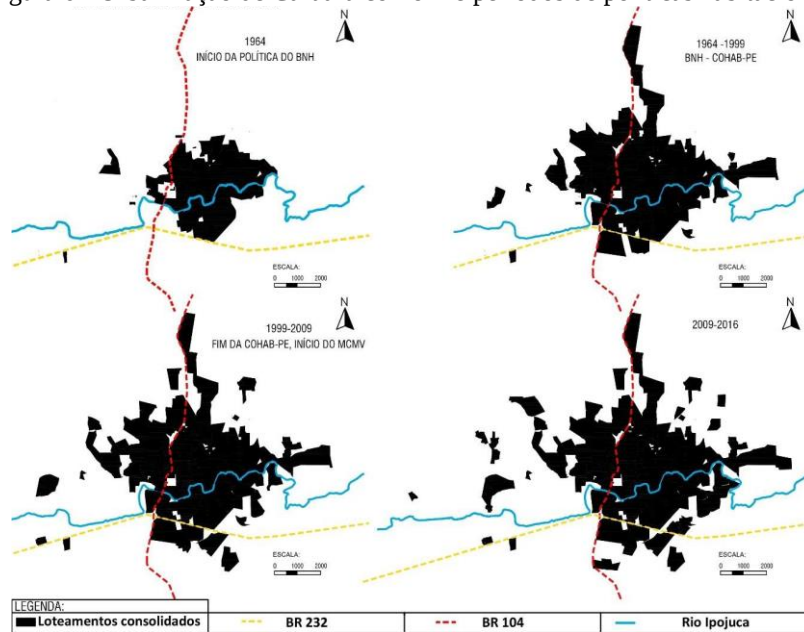
| <b>Bairros 2010</b>       | <b>Bairros 2021</b>        | <b>Pop. est. 2021 (hab.)</b> |
|---------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Aeroporto                 | Aeroporto                  | -                            |
| Agamenon Magalhães        | Agamenon Magalhães         | 7516                         |
| Alto do Moura             | Alto do Moura              | 3250                         |
| Boa Vista                 | Boa Vista                  | 12263                        |
|                           | Jardim Boa Vista           | 1388                         |
|                           | Jardim Panorama            | 5124                         |
|                           | Maria Auxiliadora          | 6699                         |
| Caiucá                    | Caiucá                     | 6810                         |
| Cedro                     | Cedro                      | 1988                         |
| Centenário                | Centenário                 | 4884                         |
| Cidade Alta               | Cidade Alta                | 6780                         |
| Distrito Industrial       | Distrito Industrial        | -                            |
| Divinópolis               | Divinópolis                | 7791                         |
| Indianópolis              | Indianópolis               | 9992                         |
|                           | Dep. José Antônio Liberato | 11913                        |
|                           | Manoel Bezerra Lopes       | 1604                         |
| João Mota                 | João Mota                  | 5345                         |
| José Carlos de Oliveira   | José Carlos de Oliveira    | 10353                        |
| Kennedy                   | Kennedy                    | 24979                        |
| Maurício de Nassau        | Maurício de Nassau         | 18030                        |
| Morro do Bom Jesus        | Morro do Bom Jesus         | 6361                         |
| Nossa Senhora das Dores   | Nossa Senhora das Dores    | 9550                         |
| Nossa Senhoras das Graças | Nossa Senhoras das Graças  | 1974                         |
| Nova Caruaru              | Nova Caruaru               | 5595                         |
|                           | Severino Afonso            | 3978                         |
| Nina Liberato             | Nina Liberato              | 1031                         |
| Petrópolis                | Petrópolis                 | 8037                         |
|                           | Pinheirópolis              | 8510                         |
| Rendeiras                 | Rendeiras                  | 14634                        |
|                           | São José                   | 2508                         |
| Riachão                   | Riachão                    | 7279                         |
| Salgado                   | Cidade Jardim              | 6831                         |
|                           | Lagoa do Algodão           | 2402                         |
|                           | Salgado                    | 47378                        |
|                           | São João da Escócia        | 5886                         |
| Santa Rosa                | Santa Rosa                 | 13624                        |
| São Francisco             | São Francisco              | 11315                        |
| Serras do Vale            | Serras do Vale             | 803                          |
| Universitário             | Luiz Gonzaga               | 1447                         |
|                           | Universitário              | 5667                         |
| Vassoural                 | Vassoural                  | 20429                        |
| Vila Andorinha            | Vila Andorinha             | 1032                         |
| Verde                     | Verde                      | 865                          |
| <b>Total</b>              |                            | <b>333.845</b>               |

Fonte: O Autor, 2021.

Nota: Baseada em dados da Prefeitura Municipal de Caruaru e do IBGE.

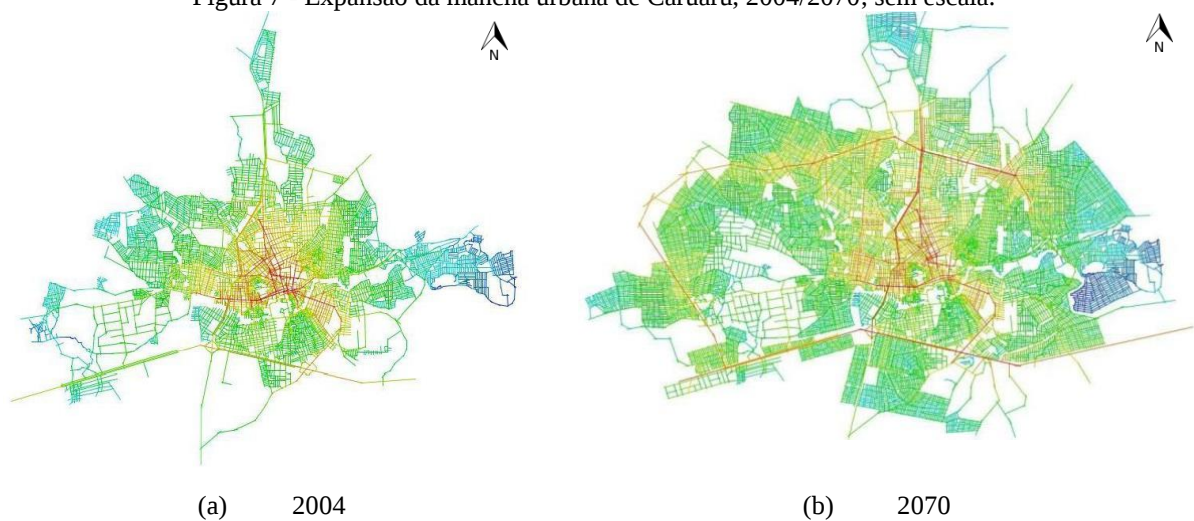
Ressalta Oliveira (2016), que a população de Caruaru apresenta taxas de crescimento mais elevadas que a média do estado e do país. Entre outros critérios, a localização geográfica privilegiada lhe permitiu o alto crescimento populacional. Além do comércio, destacam-se os serviços públicos e privados voltados às áreas de saúde e educação, os quais aumentam constantemente, expandindo o alcance de atendimento às cidades circunvizinhas. Na Figura 6 mostra-se o crescimento urbano de Caruaru entre 1964 e 2016, na Figura 7 apresenta-se a expansão da mancha urbana da cidade, estimada por Oliveira e Amorim (2017).

Figura 6 - Urbanização de Caruaru conforme períodos de políticas habitacionais



Fonte: Calado *et al.*, 2017.

Figura 7 - Expansão da mancha urbana de Caruaru, 2004/2070, sem escala.



Fonte: O Autor, 2021.

Nota: Adaptado de Oliveira e Amorim, 2017.

#### 4.1.1 Água no meio urbano de Caruaru

Segundo a ANA (2015), o ano de 2014 se sobressaiu como de seca extrema no Nordeste, chegando a registrar índices com tempo de retorno de 100 anos. Para conviver de forma mais resiliente com os impactos gerados pela forte estiagem dos últimos anos no Semiárido, adotaram-se diversas ações regulatórias emergenciais com o objetivo de atender ao disposto na Lei nº 9.433/97, que prioriza o abastecimento humano e a dessedentação animal em situações de escassez hídrica.

No âmbito nacional, segundo o IBGE (2020), a “Pesquisa nacional de saneamento básico: 2017” mostrou que entre os 5.544 municípios onde as prefeituras informaram a existência do serviço de abastecimento de água por rede geral de distribuição, a própria prefeitura executava o serviço em 2.432 (43,9%) – desses, em 1.326 municípios a prefeitura era a única executora e em outros 1.106 a prefeitura compartilhava a execução com outras entidades. Nos outros 3.112 (56,1%), a execução ficava sob a responsabilidade de outras entidades, sem nenhuma participação direta da prefeitura.

A prefeitura, em muitos casos, também é o ente titular do serviço de esgotamento sanitário, podendo o serviço ser compartilhado ou delegado a outra entidade. Entre os 3.299 municípios onde havia serviço de esgotamento sanitário, a prefeitura era a única executora do serviço em 1.748 (53%), compartilhava a execução com outras entidades em 156 (4,7%) e, em 1.395 (42,3%), a execução ficava sob a responsabilidade de outras entidades. Nos municípios com até 20 mil habitantes e nas regiões Nordeste e Sudeste, a maior proporção foi de municípios onde a execução do serviço era feita de forma exclusiva pela prefeitura. (IBGE, 2020).

No que se refere a Caruaru, em relação aos titulares pelos serviços de água, a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) é a responsável pelos serviços de captação, transporte e abastecimento de água, bem como a coleta e tratamento de esgotos gerados na cidade, sendo que a Prefeitura Municipal de Caruaru (PMC) também realiza este serviço através da Secretaria de Infraestrutura Urbana e Obras. O gerenciamento dos sistemas de micro e macrodrenagem, por sua vez, considerando é de responsabilidade da prefeitura.

Segundo Pedrosa (2015), o sistema de abastecimento de Caruaru conta com 90.258 ligações, atendendo 105.182 economias e 41.688 ligações de esgoto. Em 2020 a cidade recebe água da Barragem do Prata, construída em 1998, localizada na cidade de Bonito, o manancial tem capacidade para armazenar 42 milhões m<sup>3</sup> de água e, além de Caruaru, abastece Agrestina, Altinho, Ibirajuba e Cachoeirinha. Ainda em 2019, recebeu complemento do Rio Pirangi, com

captação localizada em Catende. A construção do Sistema Pirangi tem o intuito de aumentar a oferta de água para os municípios abastecidos pelo manancial do Prata, além de distritos desses municípios. “O incremento será de 300 litros por segundo para Caruaru, o que possibilitará a saída do rodízio e a segurança do manancial do Prata” (COMPESA, 2016). Ainda segundo a COMPESA (2020), também abastecem o município de Caruaru as barragens Guilherme Azevedo, Jaime Nejaim e Serra dos Cavalos. Em relação ao consumo de água, de acordo com o SNIS (2019), o consumo médio *per capita* em 2018 foi de 83,04 L/hab/dia, valor considerado baixo em relação ao consumo de outras cidades com características semelhantes como Campina Grande/PB, Mossoró/RN e Patos/PB, como destacam Rufino *et al.* (2021).

De acordo com Ramos (2017), o sistema Pirangi trata-se de uma alternativa projetada para reforçar a produção de água do Sistema do Prata, com 26.948 m de extensão de adução, dos quais 5.620 m em tubos DN 700 mm e 21.328 m em tubos DN 600 mm e duas estações elevatórias para vazões de 300 a 500 L/s. Este começou a atender Caruaru desde que o reservatório de Jucazinho, que era o principal manancial que abastecia a cidade, atingiu o volume morto no final de 2015, Fotografia 1, estabelecendo um sistema de rodízio a várias cidades do Agreste Pernambucano.

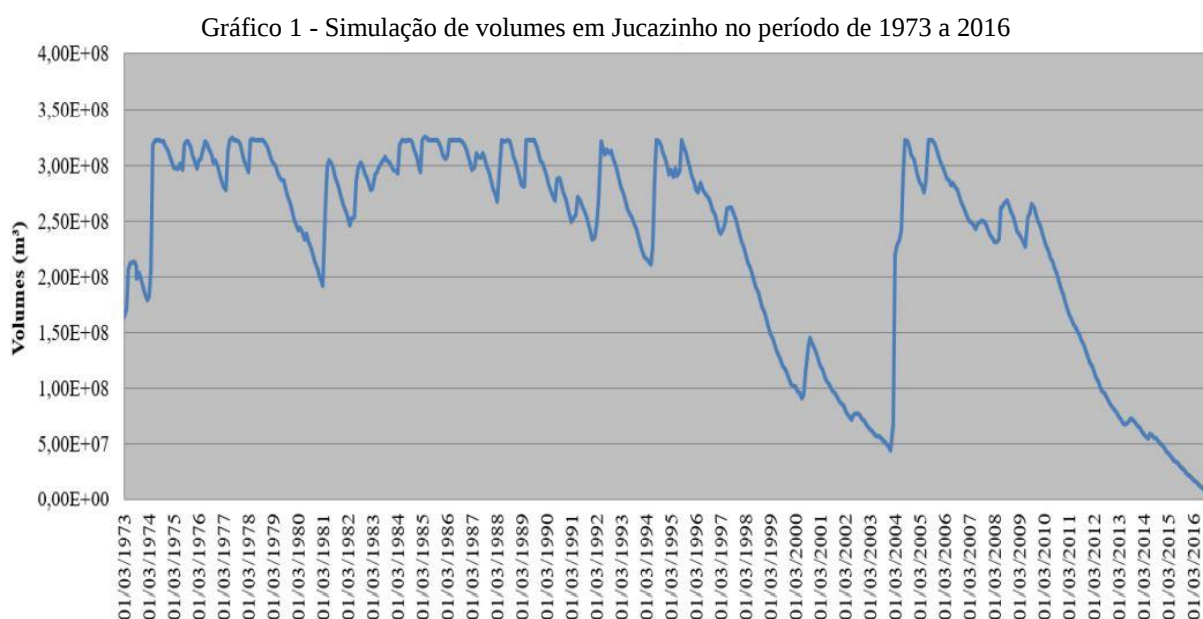
Fotografia 1 - Barragem de Jucazinho com 0,01% da capacidade máxima



Fonte: COMPESA, 2016.

Já o Sistema de Jucazinho compreende as unidades de captação, tratamento e adução por recalque e por gravidade com captação na barragem de Jucazinho em Surubim, Pernambuco. A barragem possui a maior reservação do Agreste, com capacidade total, segundo

a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) (2020), de 204 milhões de metros cúbicos, sendo responsável pelo suprimento de água de quinze localidades que são Caruaru, Bezerros, Gravatá, Toritama, Santa Cruz do Capibaribe, Cumaru, Ameixas, Passira, Riacho das Almas, Salgadinho, Vertentes, Vertente do Lério, Surubim, Santa Maria do Cambucá e Frei Miguelinho (RAMOS, 2017). No Gráfico 1 tem-se a simulação do histórico de volumes da Barragem de Jucazinho que mostra o comportamento do reservatório até chegar próximo ao colapso de sua capacidade no final do ano de 2015, início de 2016.

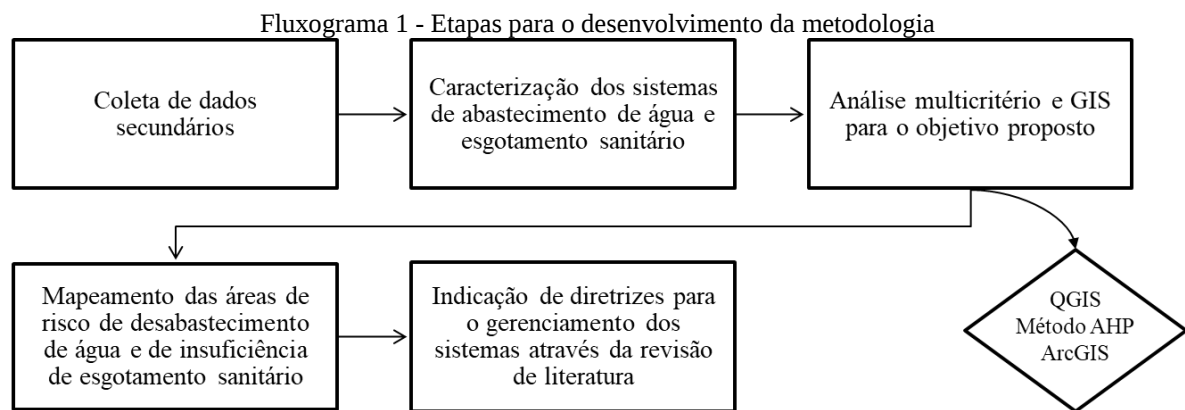


Fonte: Ramos, 2017.

De acordo com Gomes (2010), um problema considerável nos sistemas Prata e Jucazinho é a alta necessidade de água demandada pela cidade de Caruaru. O autor destaca que, segundo a COMPESA, a cidade demandava, para o ano de 2010, aos sistemas Prata e Jucazinho, uma vazão média contínua de 1000 L/s. Considerando a população urbana daquele ano, segundo o IBGE (2010), de cerca de 279.000 habitantes, para uma vazão média contínua de 1000 L/s, o consumo per capita bruto, distribuído para a população da cidade era de aproximadamente 300 L/hab/dia. Valor considerado muito alto, o que aponta que as perdas de água existentes na cidade em 2010 eram muito elevadas.

Apesar do reforço do Sistema Pirangi, de acordo com a COMPESA (2019), a cidade de Caruaru em 2019 possui abastecimento em regime de rodízio de 05 por 15 (até 05 dias com água e 15 dias sem), regime adotado desde 2017, quando o rodízio era de 05 por 20, como destaca a matéria do Diário de Pernambuco (2017), pois a oferta de água para essa cidade é

inferior à demanda solicitada pelos consumidores, ou seja, ainda não foi possível sair do sistema de rodízio, no entanto, a barragem do Prata está com 83,59% da sua capacidade máxima (PERNAMBUCO, 2019). Considerando esse cenário de abastecimento, o levantamento de informações referentes ao sistema atual se mostra essencial para o planejamento e desenvolvimento da cidade no que se refere ao manejo e gerenciamento de águas urbanas. Para uma ampla visualização das etapas da metodologia para o desenvolvimento deste trabalho, apresenta-se o Fluxograma 1.



Fonte: O Autor, 2021.

#### 4.1.2 Caracterização dos SUAA e SES da zona urbana de Caruaru-PE

Segundo Magalhães Filho e Paulo (2017), para um adequado gerenciamento dos serviços de saneamento é fundamental que se realize inicialmente um diagnóstico da situação, com objetivo de conhecer quais são os pontos fortes e fracos dos serviços que são ofertados à população, principalmente em ambientes urbanos em crescimento acelerado e desordenado onde o poder público, muitas vezes, não consegue acompanhar a velocidade de transformação desses espaços. É necessário compreender as características do abastecimento e do esgotamento, onde, às vezes, os dados dos indicadores são escassos, para proposição de metas, programas, projetos e ações efetivas na busca da universalização do acesso à água e a coleta e tratamento dos esgotos, princípio fundamental da Lei 11.445/2007: diretrizes nacionais para o saneamento básico, atuando na prevenção de doenças e no desenvolvimento da qualidade de vida. Sendo assim, busca-se produzir um diagnóstico dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário da cidade de Caruaru, através da coleta e análise de dados secundários, para subsidiar com informações pertinentes as próximas etapas deste trabalho.

Os dados secundários utilizados neste trabalho foram coletados do IBGE, COMPESA, do PE 3D (item 3.5.2) e da Prefeitura Municipal de Caruaru. A coleta de dados foi realizada através da Lei de Acesso à Informação (Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011), indo diretamente aos órgãos ou pela internet. No item 4.2 serão abordados os meios metodológicos para a obtenção dos mapas do risco de desabastecimento de água e do grau de insuficiência de esgotamento sanitário, já no item 4.3 apresenta-se a metodologia para o apontamento de diretrizes a partir dos mapas obtidos.

#### 4.1.3 Vulnerabilidades e pontos fortes do SUAA e do SES de Caruaru

Através dos dados obtidos, tem-se que o volume distribuído e macromedido para a população da zona urbana do município no ano de 2018 foi de 18.465.240 m<sup>3</sup>, equivalente a uma média de 140,09 litros de água por habitante dia, valor maior 68,7% que o valor divulgado pelo SNIS (2019), onde este último deve refletir os racionamentos pelo qual a população de Caruaru passa desde o ano de 2015. O volume macromedido de água é tratado pelas estações de tratamento de água situadas nos bairros Salgado e Petrópolis e distribuído para a rede abastecimento através de 15 reservatórios localizados na malha urbana como apresenta-se na Tabela 4 e na Figura 8.

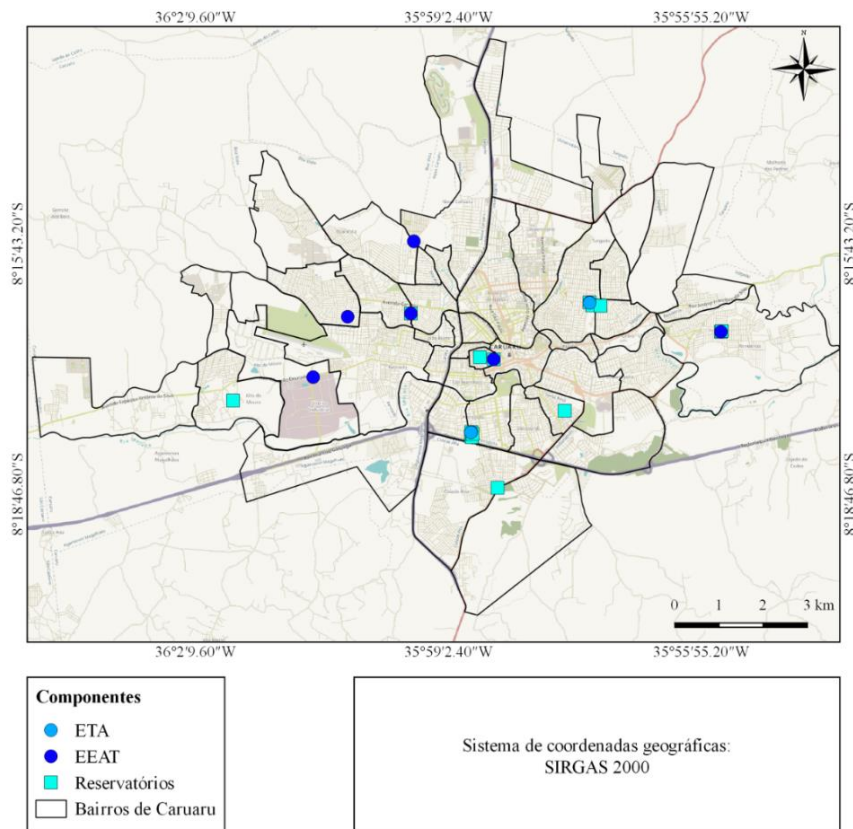
Tabela 4 - Reservatórios do sistema de abastecimento de água de Caruaru.

| <b>Logradouro</b>                      | <b>Bairro</b>    | <b>Volume (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Tipo</b> |
|----------------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------|
| Rua Alto São José                      | Alto do Moura    | 400                           | RAP*        |
| Rua Gov. Francisco de Moura Cavalcante | Cidade Alta      | 5000                          | RAP         |
| Rua Bartolomeu de Anacleto             | Salgado          | 5000                          | RAP         |
| Rua Bartolomeu de Anacleto             | Salgado          | 250                           | REL**       |
| Rua Bartolomeu de Anacleto             | Salgado          | 30                            | REL         |
| Rua Boa Viagem                         | Petrópolis       | 600                           | REL         |
| Rua Boa Viagem                         | Petrópolis       | 100                           | REL         |
| Rua Boa Viagem                         | Petrópolis       | 2500                          | RAP         |
| Rua Boa Viagem                         | Petrópolis       | 2500                          | RAP         |
| Rua Cristóvão Colombo                  | Centro           | 4000                          | RAP         |
| Avenida Bélgica                        | Morro Bom Jesus  | 125                           | REL         |
| Rua Alcides Arquedas                   | Santa Rosa       | 200                           | RAP         |
| Rua Santa Maria da Boa Vista           | Boa Vista I e II | 150                           | REL         |
| Rua COHAB III                          | Rendeiras        | 30                            | REL         |
| Rua COHAB III                          | Rendeiras        | 450                           | RAP         |

Fonte: COMPESA, 2019.

\*Reservatório apoiado \*\*Reservatório elevado

Figura 8 - Componentes do sistema de abastecimento de água de Caruaru

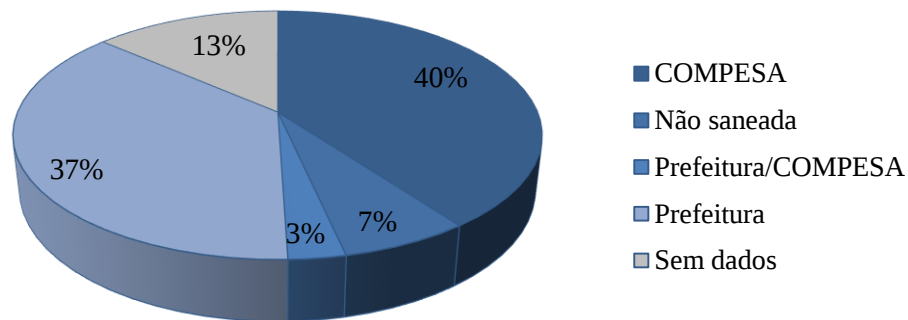


Fonte: COMPESA, 2019.

Ainda compõem o sistema de abastecimento de água de Caruaru oito (8) EEATs (Estações elevatórias de água tratada), são elas: EEAT Petrópolis (Rua Boa Viagem, Petrópolis); EEAT Salgado (Rua Bartolomeu de Anacleto, Salgado); EEAT Morro Bom Jesus (Rua Cristóvão Colombo, Centro); EEAT Boa Vista (Rua Santa Maria da Boa Vista, Boa Vista I e II); EEAT Rendeiras (Rua COHAB III, Rendeiras); EEAT Mutirão (José Carlos de Oliveira); EEAT Xique-Xique (Jardim Panorama); EEAT Alto do Moura (Avenida Leão Dourado, Alto do Moura); como apresentado na Figura 8. Observa-se que as áreas mais ao Norte e Oeste da cidade têm maior carência de elementos que constituem o sistema de abastecimento, o que pode aumentar os riscos de desabastecimento dessas áreas.

Em relação a rede de esgotamento sanitário, de acordo com o IBGE (2017), a cidade de Caruaru apresenta 81,3% de domicílios com esgotamento sanitário adequado. Quando comparado com os outros municípios do Estado, fica na 5ª posição de 185, em relação a outras cidades do Brasil, sua posição é 896º de 5570 municípios. Porém, segundo o SNIS (2019), apenas 60,95% da população é atendida pela rede esgoto. No Gráfico 2 apresenta-se um valor condizente com o valor do IBGE em relação ao esgotamento sanitário adequado, levantado pela PMC entre os anos de 2017 e 2019, sendo continuamente atualizado.

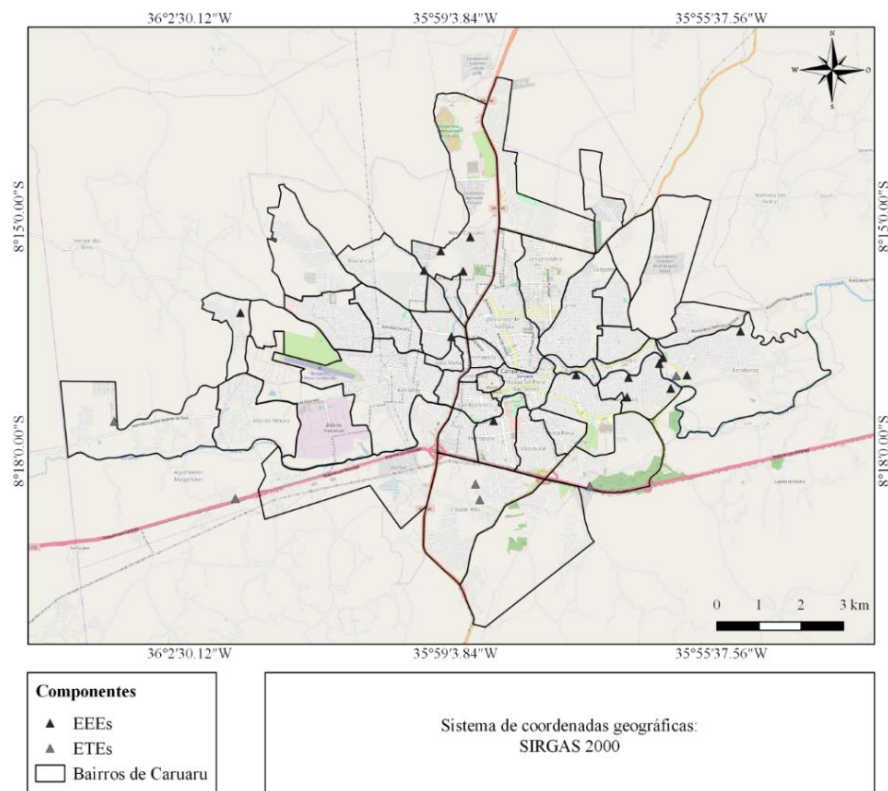
Gráfico 2 - Divisão do serviço de esgotamento sanitário em Caruaru



Fonte: Prefeitura Municipal de Caruaru, 2019.

Com relação ao volume anual de esgoto produzido, considera-se 80% do volume de água consumido, ou seja, são produzidos 14.772.132 m<sup>3</sup> de esgoto por ano em Caruaru, sendo que o percentual de coleta é de aproximadamente 45% do total de ligações de água. O esgoto coletado é transportado e tratado em seis (6) ETES em operação, que receberão o reforço de mais quatro (4) que estão em construção/pré-operação. Apresenta-se na Tabela 5 e Figura 9 a localização das ETES em Caruaru.

Figura 9 - Componentes do sistema de esgotamento sanitário de Caruaru



Fonte: COMPESA, 2019.

Tabela 5 - Estações de tratamento de esgoto em Caruaru.

| <b>Logradouro</b>     | <b>Bairro</b>  | <b>Nome</b>             | <b>Tratamento</b> |
|-----------------------|----------------|-------------------------|-------------------|
| Rua Bariloche         | Adalgisa Nunes | Adalgisa Nunes I        | Tanque Imhoff     |
| Rua Bariloche         | Adalgisa Nunes | Adalgisa Nunes II       | Tanque Imhoff     |
| Rua Julia Lopes       | Rendeiras      | ETE Rendeiras           | -                 |
| Rua Luar do Calopsyta | Indianópolis   | ETE Sumaré              | -                 |
| Rua Cipó              | Alto do Moura  | ETE Alto do Moura       | -                 |
| Rua Açucena           | Alto do Moura  | ETE Luiz Bezerra Torres | -                 |

Fonte: COMPESA, 2019.

Constitui também o sistema de esgotamento sanitário de Caruaru 15 estações elevatórias de esgoto (EEE) em operação e 13 EEEs em fase de construção/pré-operação, Tabela 6 e Figura 9. Observa-se que áreas situadas ao Norte, Nordeste e Centro-oeste da cidade estão mais desprovidas das componentes do sistema de esgotamento sanitário, assim, em uma primeira análise visual infere-se que essas áreas estão mais suscetíveis a insuficiência de esgotamento sanitário adequado, sendo áreas propícias a receber programas e projetos que visem a mitigação dos possíveis problemas urbanos devido à ausência de elementos que compõem as redes de coleta e tratamento de esgotos.

Tabela 6 - Estações elevatórias de esgoto de Caruaru.

| <b>Logradouro</b>                 | <b>Número</b> | <b>Bairro</b>      | <b>Nome</b>            |
|-----------------------------------|---------------|--------------------|------------------------|
| Rua Quinze                        | -             | Rendeiras          | EEE2 Rendeiras         |
| Rua Mizael Alves Florencio        | -             | Rendeiras          | EEE3 Rendeiras         |
| Rua Macaparana                    | -             | Boa Vista          | EEE1 COHAB             |
| Rua da Vila                       | 68            | Indianópolis       | EEE1 Inocoop           |
| Rua L                             | -             | Indianópolis       | EEE2 Inocoop           |
| Rua Boa Ventura                   | 755           | Petrópolis         | EEE Boa Ventura        |
| Rua Barão de Itamaracá            | 261           | Indianópolis       | EEE Barão de Itamaracá |
| Av. Abolição da América           | 500           | Nova Caruaru       | EEE Nova Caruaru I     |
| 5ª Travessa Panamericana          | -             | Nova Caruaru       | EEE Nova Caruaru II    |
| Rua Cumbe                         | -             | Nova Caruaru       | EEE Mandacaru          |
| Rua do Comandante                 | -             | Dep. José Liberato | EEE José Liberato I    |
| Rua do Comandante                 | -             | Dep. José Liberato | EEE José Liberato II   |
| Rua Espiridião Albuquerque Leitão | -             | Dep. José Liberato | EEE José Liberato III  |
| Rua Itabaianinha                  | -             | Nova Caruaru       | EEE Caruá              |
| Rua Micimere Alves                | -             | Lagoa de Pedra     | EEE Lagoa de Pedra     |

Fonte: COMPESA, 2019.

## 4.2 Análise multicritério e GIS para o objetivo proposto

Uma vez definido objetivo que se pretende atingir, a análise deve se voltar para o conjunto de critérios a serem avaliados. “As decisões serão baseadas em um ou mais critérios mensuráveis, que podem ser combinados e avaliados na forma de uma regra de decisão” (EASTMAN, 1999, p. 493). Neste trabalho, os critérios devem levar em consideração condições sociais e econômicas da população, infraestrutura dos SUAA e SES, bem como a oferta e demanda por estes serviços. Assim, foi consultada a literatura referente ao tema para identificação das principais considerações sobre critérios de maior relevância para o estudo.

### 4.2.1 Critérios para análise do risco de desabastecimento de água

Os critérios considerados para o mapeamento das áreas com risco de desabastecimento de água, Tabela 7, são oriundos de Cordão *et al.* (2020), com o acréscimo de mais um critério (distância às estações de tratamento de água), são eles: população; altimetria; distâncias aos reservatórios; distância as estações elevatórias de água tratada; distância a rede principal; domicílios atendidos; renda média mensal e distância às estações de tratamento de água.

Tabela 7 - Critérios para avaliar o risco de desabastecimento de água em zonas urbanas.

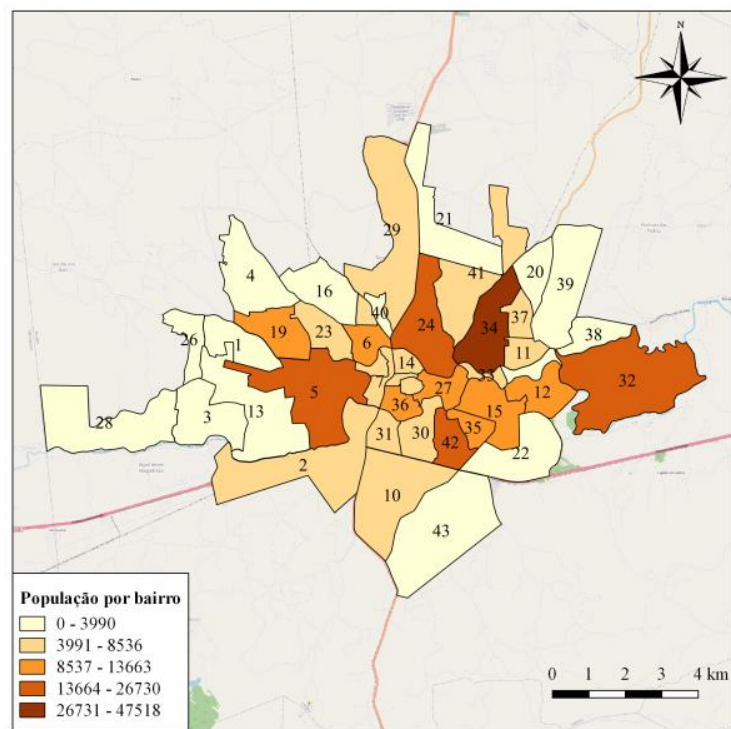
| <b>Critérios</b>                                                 | <b>Descrição</b>                                                                                          | <b>Fonte do dado</b>                                                                            |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Critério 1: População residente                                  | Quanto maior a população, maior a demanda potencial de água, portanto, maior o risco de desabastecimento. | Dados censitários (IBGE, 2010). Estimativa 2021 pela taxa geométrica de crescimento do IBGE.    |
| Critério 2: Altimetria                                           | Quanto maior o valor da altitude, maior o risco de desabastecimento.                                      | MDT do projeto PE3D                                                                             |
| Critério 3: Distâncias aos reservatórios                         | Quanto mais distante do reservatório, maior o risco de desabastecimento.                                  | Cálculo das distâncias Euclidianas (COMPESA, 2019).                                             |
| Critério 4: Distâncias às EEATs                                  | Quanto mais distante da EEAT, maior o risco de desabastecimento.                                          | Cálculo das distâncias Euclidianas das EEATs (COMPESA, 2019)                                    |
| Critério 5: Distâncias à rede principal de abastecimento de água | Quanto mais distante da rede principal, maior o risco de desabastecimento.                                | Cálculo das distâncias Euclidianas da rede principal (diâmetros $\geq 150$ mm) (COMPESA, 2019). |
| Critério 6: Número de domicílios atendidos pela rede             | Quanto maior o número de domicílios atendidos pela rede, maior demanda, maior risco de desabastecimento.  | Dados censitários (IBGE, 2010).                                                                 |

| Conclusão                      |                                                                 |                                                             |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Critérios                      | Descrição                                                       | Fonte do dado                                               |
| Critério 7: Renda              | Quanto maior a renda, menor o risco de desabastecimento.        | Dados censitários (IBGE, 2010).                             |
| Critério 8: Distâncias às ETAs | Quanto mais distante da ETA, maior o risco de desabastecimento. | Cálculo das distâncias Euclidianas das ETAs (COMPESA, 2019) |

Fonte: O Autor, 2021.

O Critério 1 (Figura 10) define uma estimativa da população que pode utilizar o serviço de abastecimento de água do sistema convencional. Segundo Brentan *et al.* (2019), o dimensionamento de redes de distribuição de água é feito para que as restrições operacionais de velocidade, pressão e demanda se mantenham dentro de limites que garantam a eficiência e oferta operacionais. Assim, o atendimento da demanda é um dos itens que requer atenção especial de projetistas e gestores (PINNTO *et al.*, 2016). Como destaca Cordão *et al.* (2020), locais com maior densidade populacional estão mais suscetíveis à escassez de água, devido à alta demanda em uma área mais concentrada.

Figura 10 - Critério 1: População residente

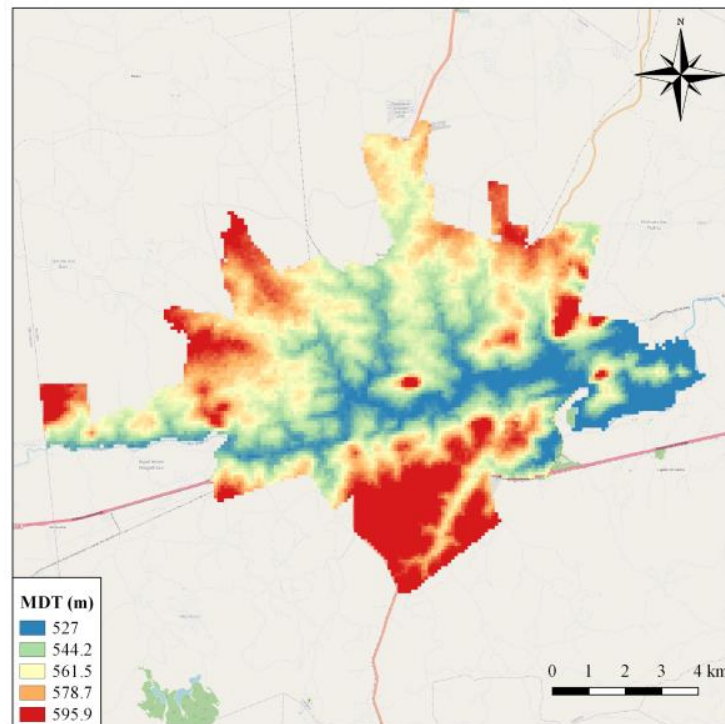


Fonte: O Autor, 2021.

Nota: Baseado em dados do IBGE, 2010.

Sabe-se que a altimetria, Figura 11, é condição relevante para o projeto, operação e desempenho do SUAA. Em uma área onde a topografia é fortemente irregular, o desempenho hidráulico da rede pode ser comprometido. Conforme Tsutiya (2006), a compreensão de um SAA é variável, pois depende, entre outros, da localidade e sua topografia. Dessa maneira, ainda que o sistema de abastecimento de água possua uma oferta adequada de água, a topografia pode dificultar a implantação e operação do sistema.

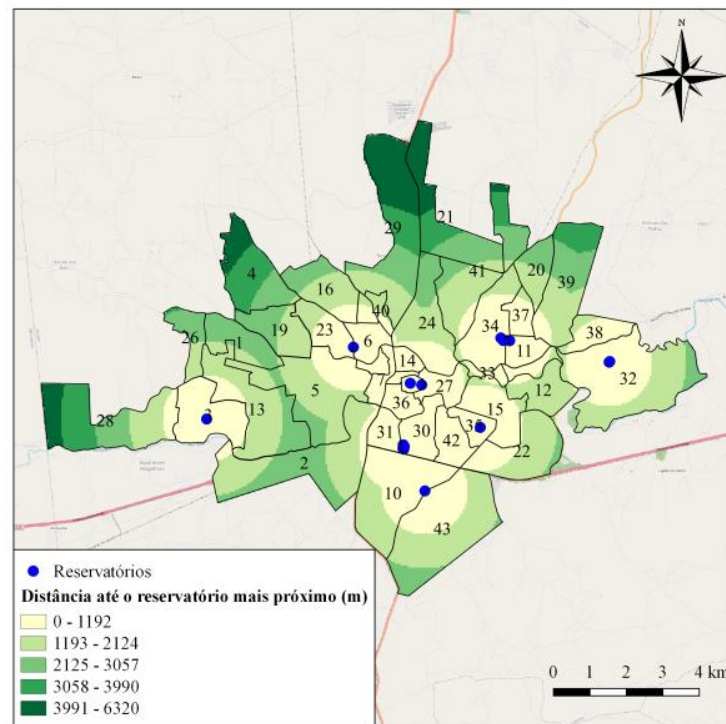
Figura 11 - Critério 2: Altimetria



Fonte: PE3D, 2016.

Como destacam Kraft e Barkdoll (2020), quanto mais distantes os reservatórios de água estiverem dos usuários, maior será o esforço e energia necessários para atender a demanda. Da Figura 12 percebe-se que as áreas mais a Oeste e ao Norte da malha urbana estão mais distantes dos reservatórios. É preferível que as distâncias entre os reservatórios e o ponto de utilização não sejam demasiadamente grandes, para, assim, minimizar as perdas de carga. Dessa maneira, percebe-se que os usuários mais distantes dos reservatórios estarão em situação de maior vulnerabilidade em relação ao abastecimento de água pela rede convencional.

Figura 12 - Critério 3: Distâncias aos reservatórios

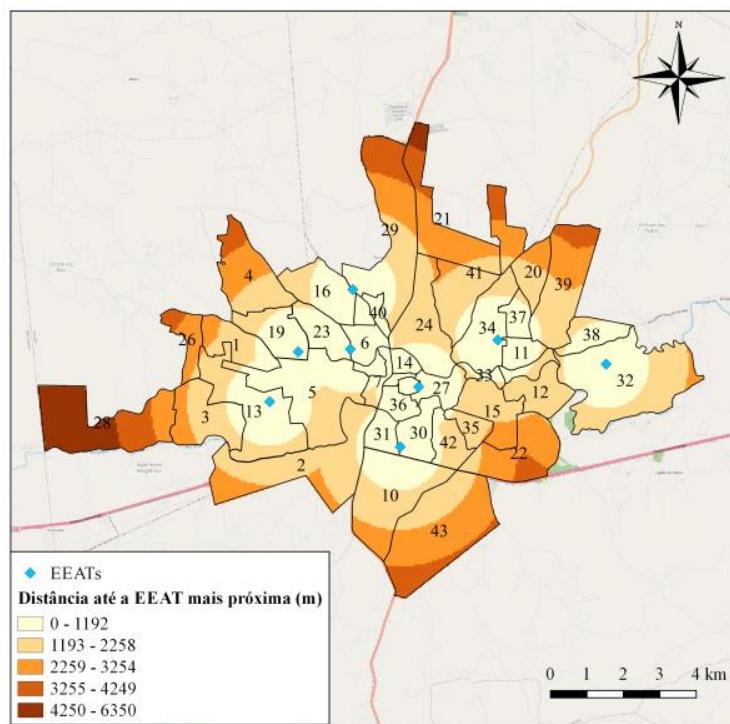


Fonte: COMPESA, 2019.

O Critério 4 (Figura 13) leva em consideração as perdas físicas por vazamentos na rede. Segundo Cordão *et al.* (2020), os rompimentos das tubulações são, geralmente, próximos destes dispositivos hidráulicos devido a valores altos de pressão. Por conta disso, os usuários atendidos pelas EEAT podem ter seu abastecimento suspenso ou prejudicado. Um alto índice de perdas pode ser considerado um obstáculo para uma gestão eficiente dos SUAA, principalmente na região semiárida que apresenta dificuldades no que se refere à oferta de água. Além disso, áreas em cotas mais altas da zona urbana podem estar mais suscetíveis a falta de abastecimento, caso estejam muito distantes das EEATs.

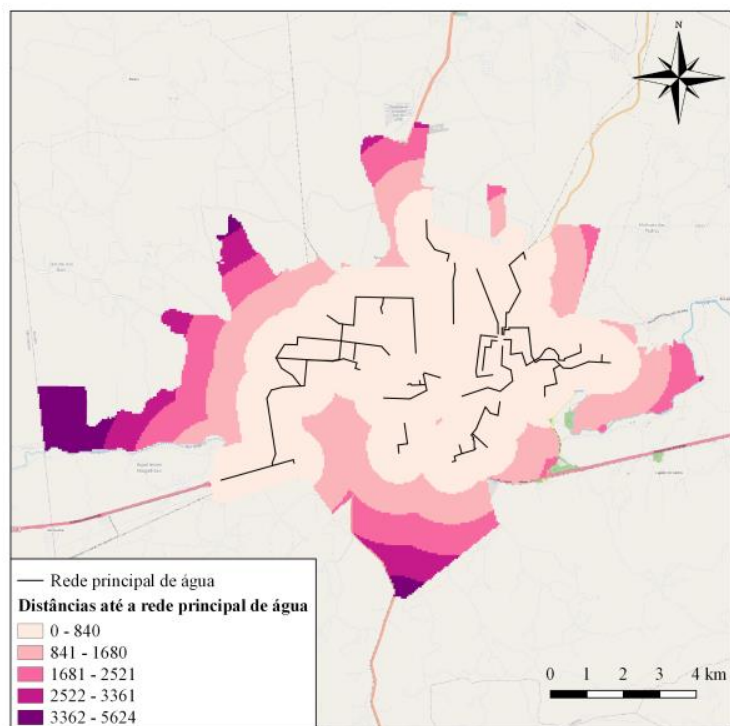
Com a expansão urbana, é natural que ocorra uma certa expansão no atendimento da rede de distribuição, que passará a atender uma área um pouco maior, gerando baixas pressões. Bairros periféricos, de forma geral, estão situados distantes da rede de distribuição de água, assim, possíveis reduções de pressão podem diminuir a capacidade de abastecimento dessas áreas. Da Figura 14 tem-se que as zonas mais ao sul, oeste e norte da malha urbana de Caruaru encontram-se mais distantes da rede principal, rede considerada principal com tubulações de diâmetro de 150 mm ou mais, de abastecimento de água.

Figura 13 - Critério 4: Distâncias às estações elevatórias de água tratada



Fonte: COMPESA, 2019.

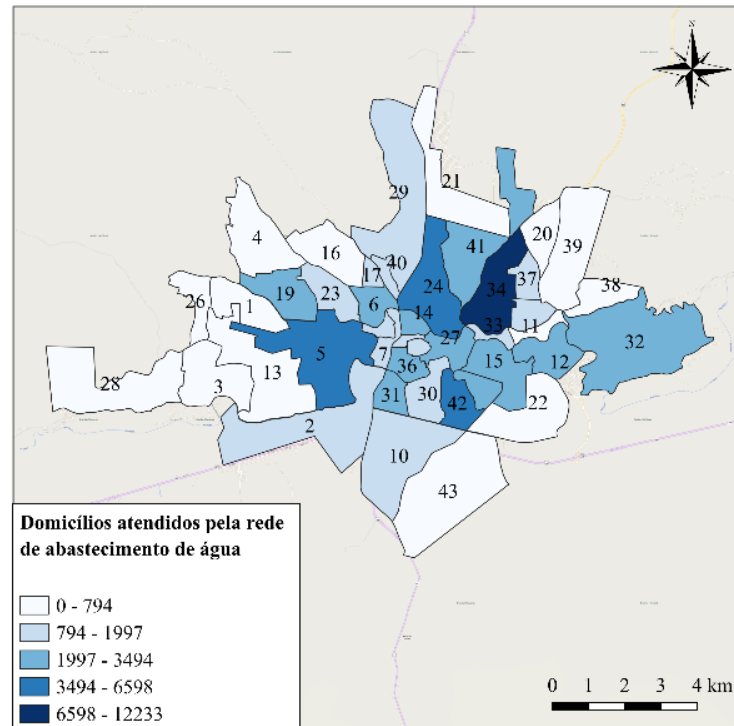
Figura 14 - Critério 5: Distâncias a rede principal



Fonte: COMPESA, 2019.

Os setores censitários do IBGE (2012) possuem informações relacionadas às formas de abastecimento de água e apresentam as condições de domicílios que são atendidos (Figura 15) ou não pela rede. Para Cordão *et al.* (2020) regularmente, esses domicílios não atendidos são localizados na periferia da zona urbana, a quantidade de domicílios que são atendidos pela rede de distribuição de água pode indicar áreas desprovidas deste serviço.

Figura 15 - Critério 6: Domicílios atendidos pela rede

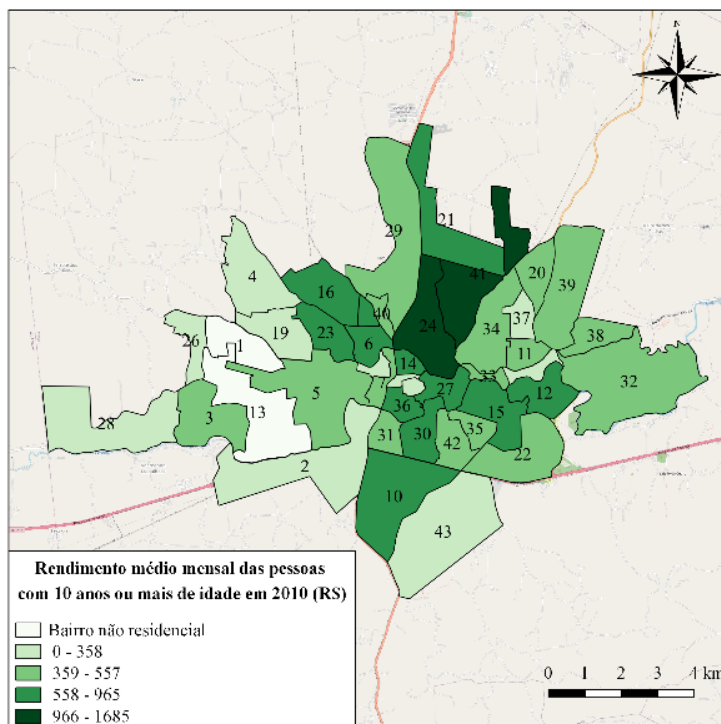


Fonte: IBGE, 2010.

O Critério 7 (Figura 16) retrata o fator socioeconômico do risco. De acordo com Almeida (2012), a partir da evolução das desigualdades sociais, da pobreza e discriminação socioespacial, na década de 1980 emergiu uma abordagem teórico-metodológica que não considerava somente os aspectos físicos do risco, mas também o fator social, chamado de vulnerabilidade. Dessa maneira, é provável que a população com poder aquisitivo menor seja mais vulnerável, pois, segundo Cordão *et al.* (2020) nem sempre possuem reservatórios de armazenamento domiciliar que servem de suprimento quando há interrupções no SUAA.

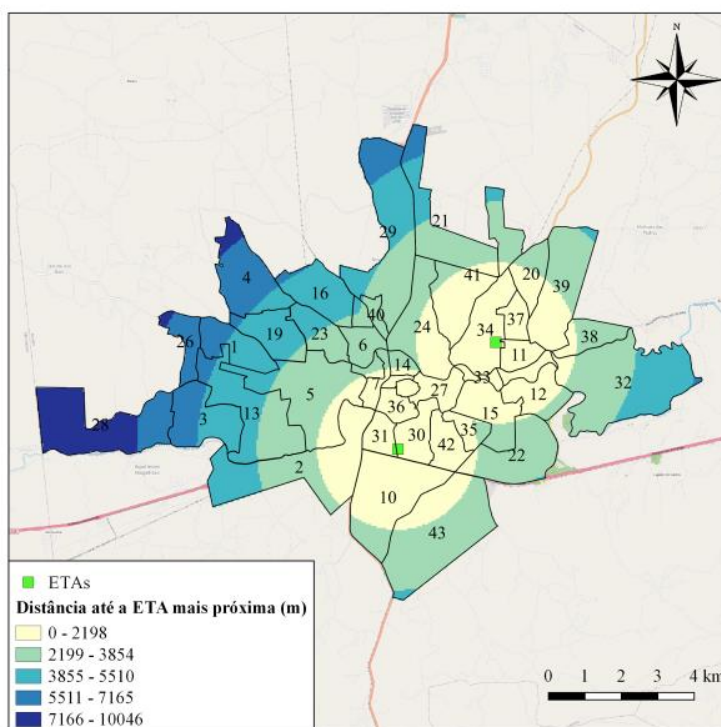
Analogamente a distâncias aos reservatórios (Figura 12), quanto mais distante das ETAs (Figura 17), maior será o esforço em atender a demanda e usuários mais distantes estarão em situação de maior vulnerabilidade. Vê-se que áreas mais a Oeste e Norte na malha urbana de Caruaru estão mais distantes das ETAs existentes na cidade.

Figura 16 - Critério 7: Renda



Fonte: IBGE, 2010.

Figura 17 - Critério 8: Distâncias às estações de tratamento de água



Fonte: COMPESA, 2019.

#### 4.2.2 Critérios para análise do grau de insuficiência de esgotamento sanitário

Já os critérios considerados para o mapeamento das áreas com risco de insuficiência de esgotamento sanitário foram: população; altimetria; distância às estações de tratamento de esgoto; distâncias às estações elevatórias de esgoto; distância a rede principal; domicílios atendidos pela rede de esgotamento e renda. Tais critérios foram selecionados a partir da expertise de especialistas da área de saneamento.

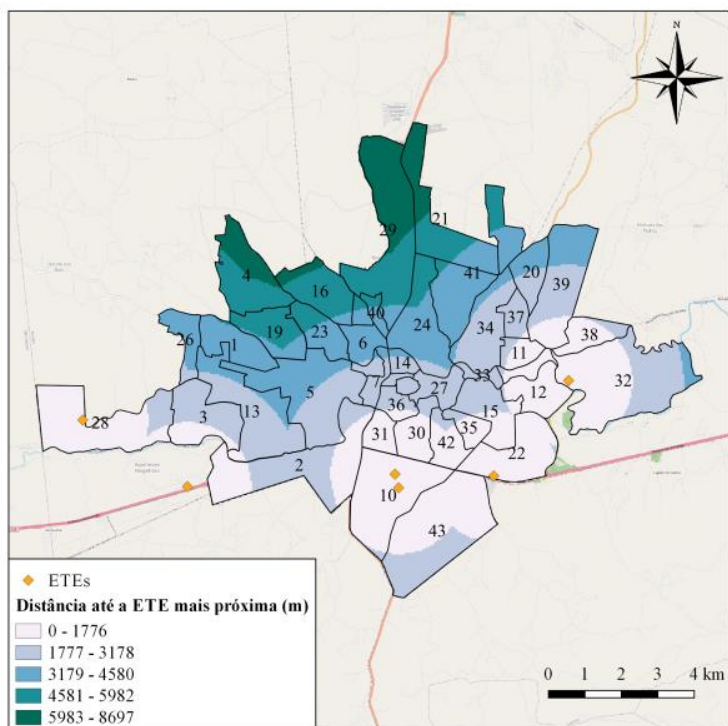
Critério 1: População residente (Figura 10) – este critério define uma estimativa da demanda que pode utilizar os serviços de água. O dimensionamento dos diversos elementos que formam um SES está em função das demandas, as quais possibilitam a estimativa de volumes de água que devem ser aduzidos, armazenados e distribuídos.

Critério 2: Altimetria (Figura 11) – fator decisivo desde o projeto, operação e desempenho do SES. Em uma área onde a topografia é fortemente irregular, o desempenho hidráulico da rede pode ser comprometido, uma vez que primordialmente o sistema deve trabalhar por gravidade. Dessa maneira, mesmo que exista a oferta adequada de coleta de esgoto, a topografia pode dificultar a implantação e operação destes sistemas.

A finalidade de uma ETE é, basicamente, remover os poluentes dos esgotos, os quais ocasionam uma deterioração da qualidade dos corpos hídricos receptores. “Um sistema de esgotamento sanitário só pode ser considerado completo se incluir a etapa de tratamento” (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008). Assim, a inexistência de uma ETE no sistema pode ocasionar inexistência de rede coletora, uma vez que não haverá tratamento. Apresenta-se na Figura 18 que as áreas mais ao Norte da malha urbana de Caruaru estão mais distantes das ETEs, assim, em relação a este critério, tecnicamente estão em condições mais desfavoráveis.

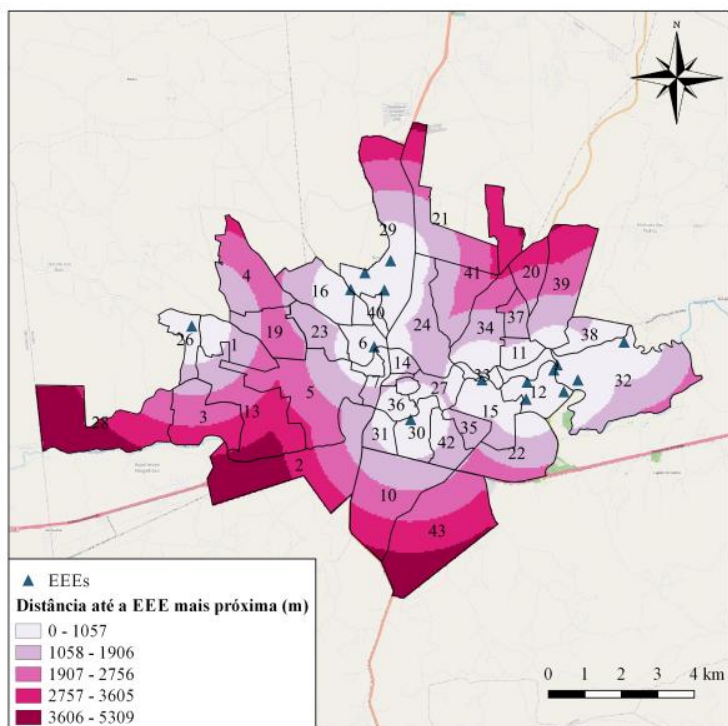
É de conhecimento geral no meio acadêmico e profissional que quando as profundidades das tubulações são muito elevadas, é preciso bombear os esgotos para um nível mais elevado, por conta da necessidade de se transpor uma elevação. A partir desse ponto, os esgotos podem voltar a fluir por gravidade. Áreas com cotas mais baixas e distantes das ETEs podem apresentar problemas relacionados ao transporte do esgoto e este ser lançado diretamente no curso d'água mais próximo. Da Figura 19 tem-se que as áreas mais distantes das ETEs encontra-se ao Sul e Oeste na malha urbana de Caruaru.

Figura 18 - Critério 3: Distâncias as estações de tratamento de esgoto



Fonte: COMPESA, 2019.

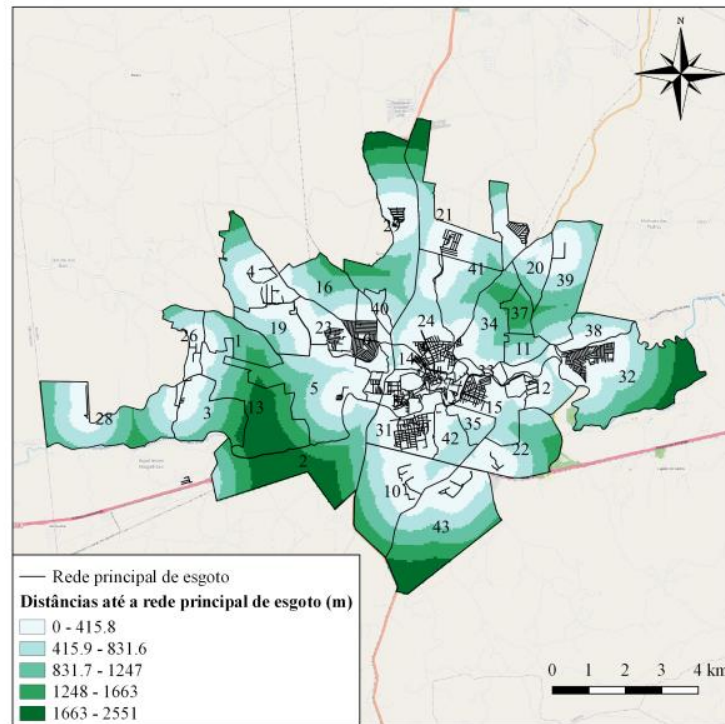
Figura 19 - Critério 4: Distâncias às estações elevatórias de esgoto



Fonte: COMPESA, 2019.

Com a expansão urbana, espera-se que ocorra uma expansão no atendimento da rede de esgoto. Bairros periféricos, de forma geral, estão situados distantes da rede de coleta, sendo assim, nessas áreas adotam-se sistemas individuais de esgotamento ou os esgotos são lançados diretamente na via pública ou no curso d'água mais próximo. Da Figura 20 tem-se que quase que a totalidade área periférica da zona urbana de Caruaru encontra-se desprovida de redes coletoras de esgoto sanitário.

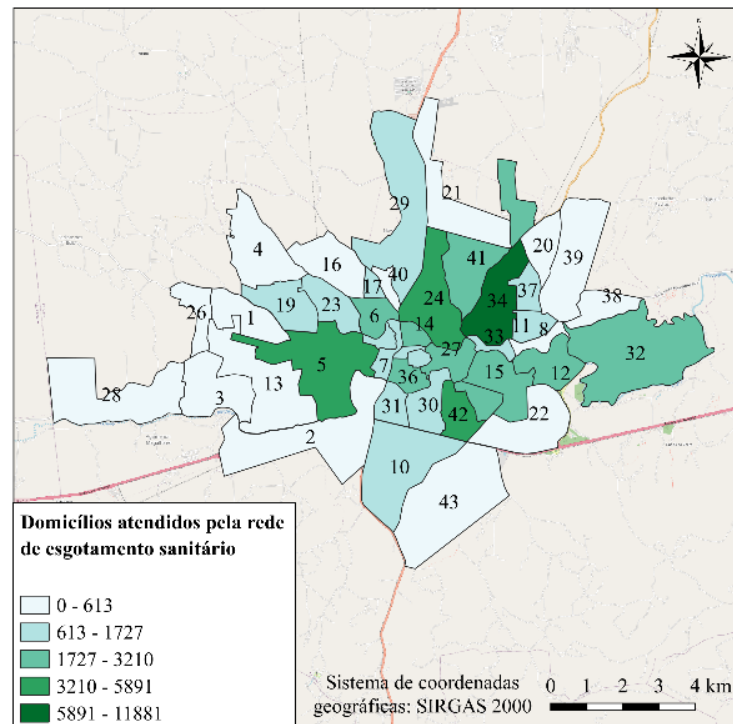
Figura 20 - Critério 5: Distâncias a rede principal de esgotamento sanitário



Fonte: COMPESA, 2019.

Os setores censitários do IBGE (2012) trazem informações relacionadas às formas de esgotamento sanitário e apresentam situações de domicílios que são atendidos ou não pela rede. Regularmente, os domicílios não atendidos estão na periferia da zona urbana, a quantidade de domicílios que são atendidos pela rede de esgotamento sanitário pode indicar áreas desprovidas deste serviço, como na Figura 21, onde tem-se que os bairros periféricos apresentam um número bem abaixo de domicílios atendidos quando comparado com bairros mais centralizados. Vale mencionar que há uma imprecisão inerente aos dados de domicílios atendidos pela rede de esgoto, uma vez que a informação é passada ao IBGE pelo próprio morador do domicílio.

Figura 21 - Critério 6: Domicílios atendidos pela rede de esgotamento



Fonte: IBGE, 2010.

Critério 7: Renda – Assim como o Critério 7 para o risco de desabastecimento de água (Figura 16), este critério retrata o fator socioeconômico do risco; a população com poder aquisitivo menor é mais vulnerável, pois muitas vezes ocupam áreas onde não há redes de infraestrutura urbana, inclusive sistema de esgotamento sanitário. “Esses aspectos colaboram e amplificam a ocorrência de doenças, como dengue, chikungunya e diarreia, que apresentaram maior incidência no bairro do Salgado” (VILA NOVA; TENÓRIO, 2019).

#### 4.2.3 Processamento dos dados

Os *shapefiles* e *raster* utilizados neste estudo e as operações realizadas foram processadas através do QGIS 3.12 *Bucarești*, que é um *software* livre, projeto oficial da OSGeo (*Open Source Geospatial Foundation*), uma organização sem fins lucrativos fundada em 2006, e o ArcGIS® Pro da ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), conjunto de aplicativos computacionais de GIS para a análise espacial, manipulação de dados e cartografia. Em 2020 a ESRI, em virtude da pandemia de COVID-19 e como forma de apresentar o novo produto aos usuários, liberou a licença do ArcGIS® Pro por tempo determinado.

Vale destacar que *shapefile* deve ser entendido como um arquivo com representação vetorial. É um tipo de arquivo que possui um par de coordenadas associado, uma tabela de atributos e uma feição visível que pode ser ponto, linha ou polígono (FONSECA, 2020; SILVA, 2010; CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2004). O *raster*, por sua vez, ainda segundo Câmara, Davis e Monteiro (2004), é uma representação matricial que consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói, célula a célula, o elemento que está sendo representado. A cada célula, atribui-se um código referente ao atributo estudado, de tal forma que o computador saiba a que elemento pertence determinada célula.

Dado o objetivo a ser atingido e determinado os critérios, é possível aplicar a Análise Multicritério para solução do problema da pesquisa. Os critérios deverão ser normalizados para possibilitar a combinação entre eles e deverão ter seus pesos definidos. Desta forma, as etapas seguintes abrangem: normalização, ponderação e combinação dos critérios.

#### 4.2.3.1 Normalização dos critérios

Como destaca Cordão (2009), os diversos critérios adotados no processo de tomada de decisão para mensurar uma alternativa podem estar expostos em diferentes escalas ou unidades. Assim, antes de efetuar as operações algébricas de mapas é necessária uma adaptação, tornando possível a compatibilidade para combinação dos critérios utilizados. De acordo com Gomes (2009), a escala normalizada é essencial em qualquer método multicritério que necessite integrar medidas de comparação em escalas inicialmente distintas.

Os dados de população, altimetria, distâncias, domicílios atendidos pela rede e renda foram divididos em cinco classes e, conforme Calijuri, Melo e Lorentz (2002), normalizados de forma escalar por uma transição gradual variando de 1 a 5, ao contrário da forma booleana ou binária, onde a condição é uma transição brusca, existindo somente duas possibilidades, 0 ou 1. Para a normalização utilizou-se a ferramenta *r.reclass*, que é aplicada para reclassificar os valores de um raster a partir de um documento de texto e está presente no GRASS, módulo encontrado no QGIS 3.12 *Bucarești* (e em outras versões também), usado para a gestão e análise de dados geoespaciais, processamento e visualização de imagens, modelagem espacial, entre outras funções. Tem-se, então, nas Figuras 22 e 23 os critérios normalizados para análise do risco de desabastecimento de água e do grau de insuficiência de esgotamento sanitário, respectivamente.

Figura 22 - Normalização dos critérios para avaliar o RDA em uma escala de 1 a 5

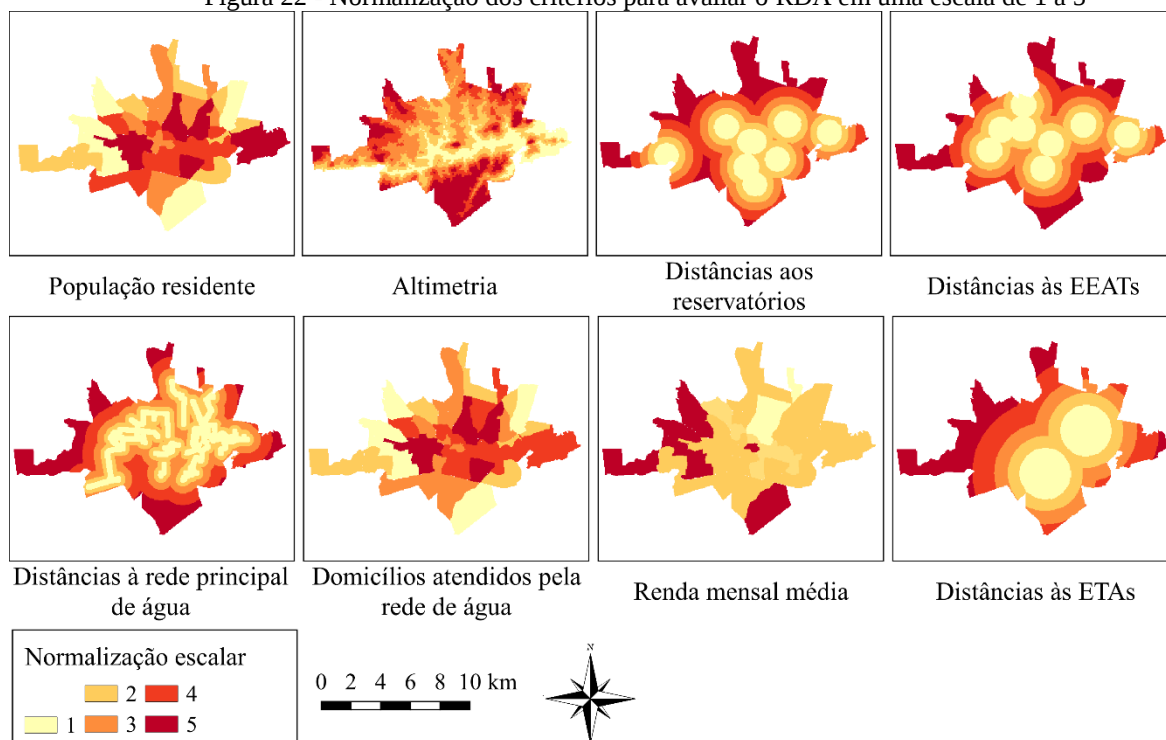
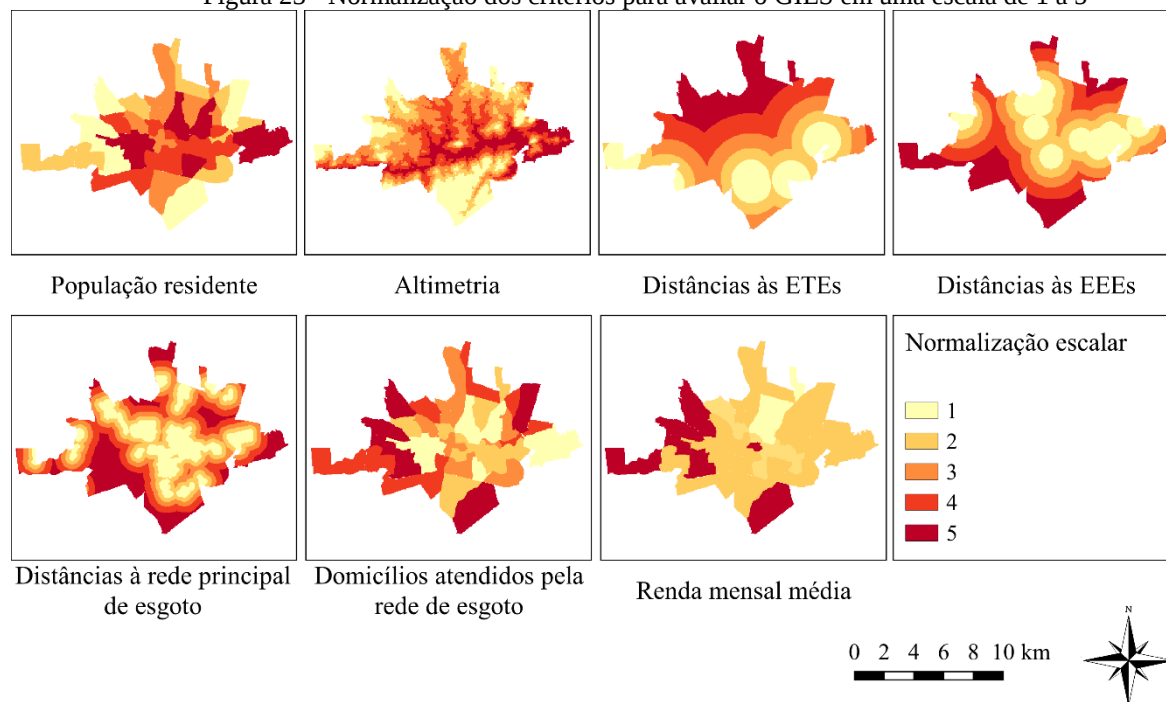


Figura 23 - Normalização dos critérios para avaliar o GIES em uma escala de 1 a 5



#### 4.2.3.2 Ponderação dos critérios

O AHP baseia-se em estrutura matemática de matrizes  $n \times n$ , as linhas e colunas correspondem aos  $n$  critérios considerados para o problema. O valor  $a_{ij}$  representa a importância relativa do critério da linha  $i$  face ao critério da coluna  $j$ . O grau de consistência CR (*Consistency Ratio*) precisa ser avaliado e, conforme Vahidnia (2008), deve possuir valor menor que 0,1, sendo assim, os valores são consistentes e os pesos podem ser usados. Desta forma, para Godoi (2014), as matrizes de comparação serão construídas pela atribuição de julgamentos confrontando, par a par, cada elemento e formando os pesos. Apresenta-se na Tabela 8 a escala de comparação dos critérios segundo o grau de importância par a par.

Tabela 8 - Grau de importância dos critérios do método AHP.

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

Fonte: Saaty, 2008.

O grau de importância relativa dos critérios foi definido pelo julgamento de especialistas, baseado no conhecimento de cada um sobre o sistema de abastecimento da área desta pesquisa. Analogamente a Cordão *et al.* (2020), o perfil dos especialistas consultados foi escolhido de maneira que atendessem três aspectos: o acompanhamento das crises hídricas periódicas pelas quais passaram a área em estudo; conhecimento aprofundado sobre as questões técnicas e operacionais do sistema; e que desenvolvessem diferentes funções nos Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água.

#### 4.2.3.3 Combinação dos critérios

Quando normalizados os critérios podem ser combinados para a elaboração dos mapas finais de risco de desabastecimento de água e do grau de insuficiência de esgotamento sanitário. Nesta pesquisa utilizou-se o modelo *Weighted Linear Combination* (WLC), Equações 1 e 2, onde o resultado final será o somatório do valor de todos os critérios multiplicados pelos seus respectivos pesos (EASTMAN *et al.*, 1995; BARREDO; BOSQUE-SENDRA, 2004), uma vez que “o modelo WLC é o mais frequentemente utilizado em processos GIS” (MALCZEWSKI; RINNER, 2015, p. 81). Utilizando os pesos obtidos no item 4.3.1.2 *Ponderação dos critérios*, tem-se:

$$RDA = \sum_{k=1}^n W_k C_k = 0,270.C1 + 0,081.C2 + 0,109.C3 + 0,033.C4 + 0,291.C5 + 0,110.C6 + 0,049.C7 + 0,058.C8 \quad \text{Eq. 1}$$

$$GIES = \sum_{k=1}^n W_k C_k = 0,137.C1 + 0,052.C2 + 0,194.C3 + 0,077.C4 + 0,318.C5 + 0,084.C6 + 0,137.C7 \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

RDA = Risco de desabastecimento de água

GIES = Grau de insuficiência de esgotamento sanitário

$W_k$  = Peso do critério k

$C_k$  = Critério k

n = Número de critérios

### 4.3 Indicação das diretrizes para o gerenciamento dos SUAA e SES

Esta etapa tem a intenção de englobar as capacidades de resiliência e de cidade sensível à água da área em estudo, com a finalidade de estruturar um SUAA e um SES que garanta o fornecimento de água para a população de maneira uniforme ao longo do tempo e na distribuição espacial área urbana, bem como a coleta, transporte e tratamento do esgoto gerado. Para tanto, buscou-se informações e resultados pertinentes aos objetivos deste trabalho por meio de pesquisas em bibliografias especializadas e artigos publicados sobre o tema em questão.

Ainda, segundo Cordão *et al.* (2020), é plausível nesta etapa um levantamento das tecnologias mais convenientes para a área de estudo levando em consideração parâmetros de planejamento urbano, aspectos climáticos e também sociais. Tem-se como exemplo em

Caruaru, de maneira geral, uma baixa capacidade de infiltração de água no solo. Dessa maneira, a princípio, projetos de jardins de chuva não seriam os mais indicados para permitir a drenagem de águas pluviais. Em contrapartida, semelhante a cidade de Campina Grande, pode ser favorável para Caruaru a captação, o tratamento e a utilização de águas pluviais para usos não potáveis, sendo uma medida que pode amenizar os déficits de abastecimento de água. Assim, percebe-se que para a área de estudo as ações devem levar em consideração a captação e armazenamento de águas pluviais, sobretudo no período chuvoso, e também a utilização de águas cinzas, quando elaborado um plano de tratamento adequado. Dessa forma, as diretrizes apontadas se baseiam na revisão de literatura relacionada ao tema.

#### 4.3.1 Estratégias mitigadoras

As estratégias a serem usadas são relevantes para os gestores municipais, principalmente na alocação de recursos no momento de decisão da implementação dos projetos. Levando em conta as informações necessárias para alcançar um gerenciamento satisfatório do saneamento urbano, considerando, nesse caso, os componentes de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, esta etapa busca examinar os processos hidrológicos, a adaptação espacial das tecnologias e como as instituições públicas e privadas e a comunidade em geral terão sua parte nesta conjuntura de mudança em busca de uma cidade mais inteligente.

Fatores que devem ter destaque são a capacidade dos projetos de suprir as demandas e sua vida útil. Projetos que utilizam águas pluviais, por exemplo, estão atrelados a frequência da pluviometria e, dessa forma, a capacidades desses projetos. Para estes projetos podem ser utilizados reservatórios de pequeno porte distribuídos na malha urbana, principalmente nas áreas com maior risco de desabastecimento, com tratamento no local a depender de cada uso, localizados em pontos estratégicos pode ser uma boa técnica para suplementar os sistemas urbanos de abastecimento de água. Tal estratégia vem sendo utilizada por Israel desde a década de 60, no projeto *The National Water Carrier of Israel*, que construiu mais de dois mil reservatórios de pequeno porte (0,2 a 8 mil metros cúbicos), eles são usados como fontes adicionais de água ou como recipientes em estruturas facilmente permeáveis para a infiltração de água em aquíferos subterrâneos, destacam Oziransky, Kalmakova e Margolina (2014). Em todo e qualquer projeto urbano se faz necessária à avaliação dos custos gerais. Pois, estes, muitas vezes, limitam a prática de ideias e planejamentos. Porém, embora fundamentais, não farão parte deste trabalho o levantamento de custos ou orçamentos detalhados.

Compreender a quantidade e a qualidade da água da região para atender os usos planejados é um processo necessário no gerenciamento dos sistemas. O valor da quantidade de águas cinzas e pluviais das mais diversas fontes deve ser levado em consideração, prontamente com sua variabilidade ao longo do ano. As indagações principais são: Qual capacidade de armazenamento é suficiente para garantir uma disponibilidade uniforme de água? Há áreas propícias no ambiente urbano para construção de reservatórios para atender a demanda? Por onde começar a implementação do saneamento básico? Qual sistema de esgotamento sanitário utilizar?

Na realização de adequações em sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário deve-se considerar os aspectos mais favoráveis às infraestruturas e procedimentos adotados, como também as condições locais suficientes para receber a infraestrutura de forma que esta possa ter eficiência admissível. Ter informações sobre uso e ocupação do solo e do cadastro técnico multifinalitário da área de estudo são aspectos que também merecem ser analisados pelos tomadores de decisão. No caso de Caruaru, uma série de informações desses aspectos passaram a ser levantadas, a partir de 2018, pelo projeto Caruaru 3D.

#### 4.3.2 Inclusão dos stakeholders no desenvolvimento de políticas públicas

Para Cordão *et al.* (2020), os processos urbanos e os projetos em todas as escalas devem considerar a aceitação e envolver todas as partes interessadas em um processo de tomada de decisão. A participação dos *stakeholders* nas decisões integra os princípios das cidades sensíveis à água e adequações institucionais podem ser inevitáveis para atingir os objetivos requeridos. Para tanto, análises de cenários das situações que envolvem a água no espaço urbano deverão ser estudadas nos processos de planejamento das cidades. Como, por exemplo, a discussão do plano diretor de Caruaru, que envolveu, além das reuniões técnicas, 10 reuniões públicas envolvendo gestores públicos, profissionais e diversos representantes da sociedade civil entre os anos de 2015 e 2019.

Dessa maneira, Bediako *et al.* (2018) destacam que a adoção e análise de inovações tecnológicas por profissionais da área, que fazem parte do grupo de principais interessados no desenvolvimento da infraestrutura urbana, é supostamente uma pré-condição para melhorar os sistemas urbanos de abastecimento de água. O interesse desses profissionais pode contribuir para que o planejamento e implementação de inovações tecnológicas sejam absorvidas e adaptadas às necessidades dos usuários. Além disso, profissionais cada vez mais capacitados podem trazer soluções e projetos que consideram condições sociais e ambientais.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a coleta, processamento e análise dos dados obtidos, tem-se que as matrizes obtidas de importância relativa dos critérios, depois de definida a média das notas segundo o julgamento de cada especialista consultado, podem ser observadas nas Tabelas 9 e 10 para as análises do RDA e do GIES, respectivamente. Durante a aplicação do método AHP e realizadas novas considerações, chegou-se em um valor de 0,0883 para o CR da análise do RDA e 0,0718 para o CR da análise do GIES. Logo, os pesos obtidos de cada critério podem ser utilizados, uma vez que o  $CR < 10\%$ .

Tabela 9 - Matriz da importância relativa, CR e pesos obtidos para avaliar o RDA.

| Critério                           | C1  | C2  | C3  | C4 | C5  | C6  | C7  | C8    | Peso obtido |
|------------------------------------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-------|-------------|
| C1                                 | 1   | 2   | 2   | 4  | 1/5 | 1/3 | 1   | 2     | 0,270       |
| C2                                 | 1/2 | 1   | 1/2 | 3  | 1/8 | 1/6 | 1/2 | 1/2   | 0,081       |
| C3                                 | 1/2 | 2   | 1   | 4  | 1/6 | 1/6 | 2   | 2     | 0,109       |
| C4                                 | 1/4 | 1/3 | 1/4 | 1  | 1/7 | 1/7 | 1/5 | 1     | 0,033       |
| C5                                 | 5   | 8   | 6   | 7  | 1   | 2   | 5   | 4     | 0,291       |
| C6                                 | 3   | 6   | 6   | 7  | 1/2 | 1   | 1   | 5     | 0,110       |
| C7                                 | 1   | 2   | 1/2 | 5  | 1/5 | 1   | 1   | 2     | 0,049       |
| C8                                 | 1/2 | 2   | 1/2 | 1  | 1/4 | 1/5 | 1/2 | 1     | 0,058       |
| Grau de consistência (CR) = 0,0883 |     |     |     |    |     |     |     | Total | 1,000       |

Fonte: O Autor, 2021.

Tabela 10 - Matriz da importância relativa, CR e pesos obtidos para avaliar o GIES.

| Critério                           | C1  | C2  | C3  | C4  | C5  | C6  | C7    | Peso obtido |
|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------------|
| C1                                 | 1   | 2   | 1/3 | 1/2 | 1/4 | 2   | 1     | 0,137       |
| C2                                 | 1/2 | 1   | 1/2 | 1/2 | 1/3 | 2   | 1/2   | 0,052       |
| C3                                 | 3   | 2   | 1   | 1   | 1/2 | 3   | 2     | 0,194       |
| C4                                 | 2   | 2   | 1   | 1   | 1   | 1/2 | 1     | 0,077       |
| C5                                 | 4   | 3   | 2   | 1   | 1   | 3   | 3     | 0,318       |
| C6                                 | 1   | 1/2 | 1/3 | 2   | 1/3 | 1   | 1/3   | 0,084       |
| C7                                 | 1   | 2   | 1/2 | 1   | 1/3 | 3   | 1     | 0,137       |
| Grau de consistência (CR) = 0,0718 |     |     |     |     |     |     | Total | 1,000       |

Fonte: O Autor, 2021.

De acordo com os especialistas, quando o assunto é abastecimento de água, os critérios que maior influência no risco de desabastecimento são os C5 (distâncias à rede principal) e C1 (população residente), somando 56,1% de toda ponderação. A ponderação das distâncias à rede principal pode apontar a relação entre as expansões da mancha urbana e da rede de abastecimento, onde moradores das extremidades da rede estão mais suscetíveis à falta de água.

Os critérios que aparecem em terceiro lugar são o C6 (domicílios atendidos pela rede) e C3 (distâncias aos reservatórios), percebe-se que áreas com maior quantitativo de domicílios ligados à rede de abastecimento, maior a demanda daquela área e consequentemente com a diminuição da oferta os domicílios logo sentirão os efeitos do desabastecimento. Além disso, entende-se que domicílios muito distantes dos reservatórios terão uma maior dificuldade de abastecimento, uma vez que, em alguns casos, não há infraestrutura que leve a água até esses domicílios, além do consumo ao longo do caminho da rede que, eventualmente, pode diminuir a oferta de água em pontos muito distantes dos reservatórios.

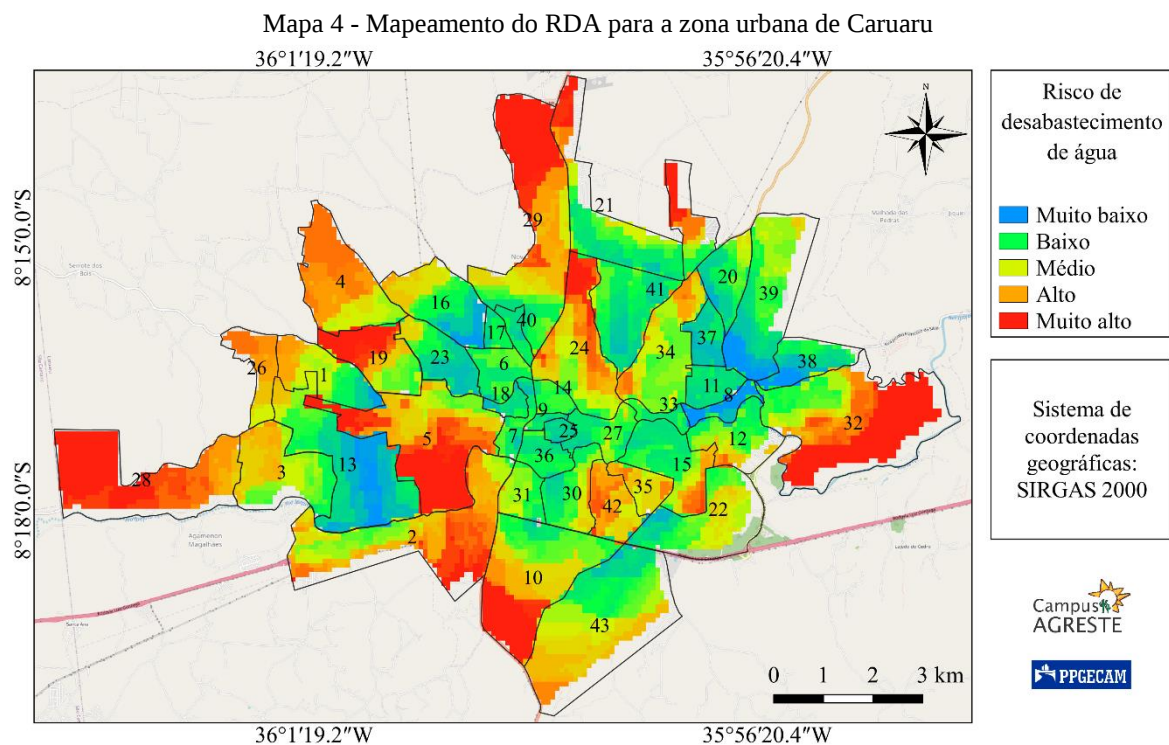
Os critérios que aparecem com menor relevância em relação ao demais são o C7 (renda), ao contrário de Cordão *et al.* (2020), onde a renda teve uma influência mais significativa, e C4 (distâncias às estações elevatórias de água tratada), apesar da situação socioeconômica proporcionar maior capacidade de reservar água ao morador, infere-se que, devido a proposta de universalização da cobertura dos serviços públicos de saneamento, em destaque no novo Marco Legal do Saneamento Básico no Brasil, Lei 14.026 (BRASIL, 2020), onde “os contratos de prestação dos serviços públicos de saneamento básico deverão definir metas de universalização que garantam o atendimento de 99% (noventa e nove por cento) da população com água potável e de 90% (noventa por cento) da população com coleta e tratamento de esgotos até 31 de dezembro de 2033”, independente da renda da população e qualquer outra característica socioeconômica ou demográfica. Em relação as EEATs, cujo objetivo é transpor líquidos de pontos mais baixos para pontos mais elevados, entende-se que, embora tenham uma importante função, atendem uma população específica, aquela que mora em locais mais altos, sendo assim menos relevante em relação aos critérios analisados.

Por sua vez, quando o assunto é esgotamento sanitário, os critérios que mais influenciam áreas suscetíveis à falta ou insuficiência de esgotamento sanitário são os C5 (distâncias a rede principal de esgotamento sanitário) e C3 (distâncias as estações de tratamento de esgoto), somando 51,2% de toda ponderação. As distâncias à rede principal identificam a dificuldade de infraestrutura para a ligação adequada do esgotamento sanitário do referente domicílio, onde, em muitos casos, o esgoto é lançado diretamente na rua ou no corpo hídrico mais próximo. Da mesma maneira sem uma infraestrutura dotada de estações de tratamento do esgoto coletado,

se torna impraticável a coleta do esgoto, uma vez que não há tratamento, o esgoto não pode ser lançado no seu destino final. Os critérios que aparecem no terceiro lugar como mais importantes são o C1 (população residente) e C7 (renda),

Os critérios que aparecem com menor influência são o C4 (distâncias às estações elevatórias de esgoto) e C2 (altimetria). As EEs fazem parte do sistema de transporte do esgoto coletado. Analogamente às EEATs, elevam o esgoto coletado de pontos mais baixos para pontos mais altos, são utilizadas em regiões que não se pode usar a gravidade ao favor do transporte do esgoto. Como esse é um fator que depende do relevo de cada região, assim como o critério altimetria, considera-se que tais critérios tem relevância menor, em relação aos critérios adotados, para avaliar o GIES em uma determinada área.

Observado as vulnerabilidades e pontos fortes dos SUAA e SES, em um segundo momento este trabalho se propôs a gerar um mapeamento das áreas com riscos de desabastecimento de água e das áreas com grau de insuficiência de esgotamento sanitário. Assim, para avaliar as áreas mais suscetíveis foram produzidos mapas desses dois aspectos para toda área de estudo, onde é possível realizar uma avaliação espacial e gerar saídas visuais que auxiliam na compreensão do estudo e na tomada de decisão pelos gestores urbanos. Apresentam-se nos Mapas 4 e 5 o mapeamento do RDA e do GIES na zona urbana de Caruaru, respectivamente. E na tabela 11 um suporte para análise do RDA e GIES.



Fonte: O Autor, 2021.

Tabela 11 - RDA e GIES associados a cada bairro de Caruaru.

| <b>Índice</b> | <b>Bairro</b>              | <b>RDA</b>  | <b>GIES</b> |
|---------------|----------------------------|-------------|-------------|
| 1             | Aeroporto                  | Médio       | Médio       |
| 2             | Agamenon Magalhães         | Muito alto  | Muito alto  |
| 3             | Alto do Moura              | Médio       | Médio       |
| 4             | Andorinha                  | Alto        | Alto        |
| 5             | Kennedy                    | Muito alto  | Muito alto  |
| 6             | Boa Vista                  | Médio       | Baixo       |
| 7             | Caiucá                     | Médio       | Baixo       |
| 8             | Cedro                      | Muito baixo | Baixo       |
| 9             | Centenário                 | Médio       | Médio       |
| 10            | Cidade Alta                | Muito alto  | Muito baixo |
| 11            | Cidade Jardim              | Baixo       | Médio       |
| 12            | Dep. José Antônio Liberato | Médio       | Muito baixo |
| 13            | Distrito Industrial        | Muito baixo | Médio       |
| 14            | Divinópolis                | Baixo       | Médio       |
| 15            | Indianópolis               | Baixo       | Muito baixo |
| 16            | Jardim Boa Vista           | Muito baixo | Alto        |
| 17            | Jardim Panorama            | Médio       | Médio       |
| 18            | João Mota                  | Médio       | Baixo       |
| 19            | José Carlos de Oliveira    | Médio       | Médio       |
| 20            | Lagoa do Algodão           | Médio       | Médio       |
| 21            | Luiz Gonzaga               | Médio       | Médio       |
| 22            | Manoel Bezerra Lopes       | Médio       | Médio       |
| 23            | Maria Auxiliadora          | Muito baixo | Médio       |
| 24            | Maurício de Nassau         | Alto        | Baixo       |
| 25            | Morro do Bom Jesus         | Baixo       | Médio       |
| 26            | Nina Liberato              | Alto        | Médio       |
| 27            | Nossa Senhora das Dores    | Médio       | Baixo       |
| 28            | Nossa Senhora das Graças   | Muito alto  | Médio       |
| 29            | Nova Caruaru               | Muito alto  | Muito alto  |
| 30            | Petrópolis                 | Baixo       | Muito baixo |
| 31            | Pinheirópolis              | Médio       | Médio       |
| 32            | Rendeiras                  | Muito Alto  | Alto        |
| 33            | Riachão                    | Baixo       | Médio       |
| 34            | Salgado                    | Médio       | Alto        |
| 35            | Santa Rosa                 | Médio       | Médio       |
| 36            | São Francisco              | Baixo       | Médio       |
| 37            | São João da Escócia        | Baixo       | Alto        |
| 38            | São José                   | Muito baixo | Médio       |
| 39            | Serras do Vale             | Muito baixo | Médio       |
| 40            | Severino Afonso            | Médio       | Médio       |
| 41            | Universitário              | Muito baixo | Baixo       |
| 42            | Vassoural                  | Alto        | Médio       |
| 43            | Verde                      | Médio       | Médio       |

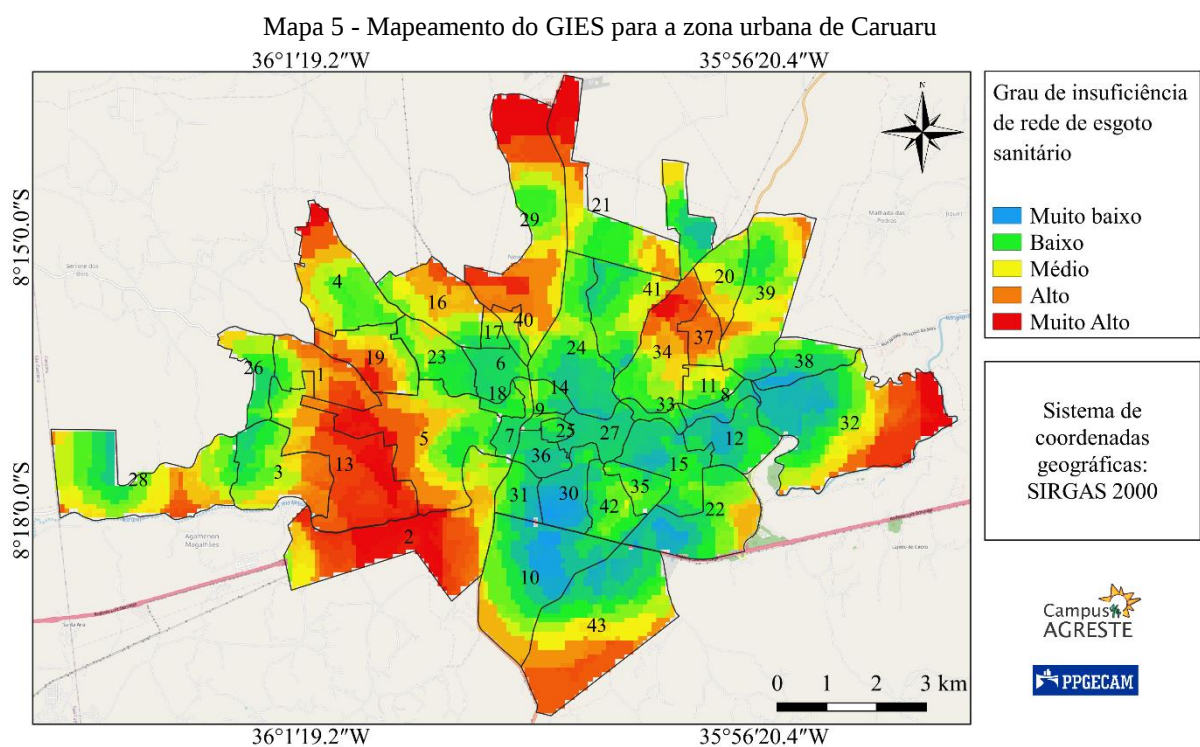
Fonte: O Autor, 2021.

Tem-se, do Mapa 4, que as áreas com risco “Muito alto” de desabastecimento foram os bairros: Nossa Senhora das Graças (28); Cidade Alta (10); Agamenon Magalhães (2); Nova Caruaru (29); Kennedy (5); Rendeiras (32); e José Carlos de Oliveira (19). E as áreas com risco “Alto” são os bairros: Nina Liberato (26); Maurício de Nassau (24); Vassoural (42) e; Andorinha (4). Percebe-se que os bairros com maiores riscos de desabastecimento estão situados em zonas mais periféricas da cidade (com exceção do Maurício de Nassau), resultado semelhante foi encontrado por Cordão *et al.* (2020) para a cidade de Campina Grande-PB. Essas zonas estão mais distantes dos reservatórios de distribuição, da rede principal de abastecimento de água. Entre os critérios analisados, as distâncias às infraestruturas de abastecimento de água e altimetria tiveram maior influência nos bairros Cidade Alta, Agamenon Magalhães e Nina Liberato. As distâncias às infraestruturas, dessa vez em conjunto com o critério renda, foram predominantes nos bairros Andorinha, Nossa Senhora das Graças e José Carlos de Oliveira. Já nos bairros Kennedy, Rendeiras, Maurício de Nassau, Vassoural e Santa Rosa os critérios preponderantes para classificar esses bairros com risco Alto ou Muito Alto de desabastecimento foram população residente e a quantidade de domicílios atendidos pela rede.

É habitual moradores destes bairros reclamarem sobre a falta de abastecimento de água, ainda que em períodos onde não há sistema de rodízio oficial pela companhia de abastecimento. É habitual também que moradores desses bairros com risco “Muito alto” e “Alto” supracitados armazenem água em reservatórios de pequeno porte que, de maneira geral, não suprem a necessidade dos usuários em volume e em qualidade de água dentro dos padrões de potabilidade. Pois, como destaca Fonseca (2012), mesmo com a existência de recomendações para o manejo adequado das águas armazenadas nas residências e para a manutenção da qualidade da água, observa-se que, na prática, nem sempre as recomendações estão sendo aplicadas. Apesar disso, a predisposição de acumular água dos usuários aparece como condição relevante para atenuar os riscos de desabastecimento, principalmente em longos períodos de crise hídrica.

Em contrapartida as áreas com risco “Baixo” foram os bairros: São João da Escócia (37); Cidade Jardim (11); Petrópolis (30); Indianópolis (15); Divinópolis (14); Morro Bom Jesus (25); São Francisco (36) e; Riachão (33). E as áreas com risco “Muito baixo” foram os bairros: Jardim Boa Vista (16); Distrito Industrial (13); Maria Auxiliadora (23); Universitário (41); Serras do Vale (39); São José (38) e; Cedro (8). Em quase sua totalidade estas áreas estão situadas próximas aos reservatórios, à rede principal de abastecimento de água, às estações de tratamento de água (mais especificamente os bairros São João da Escócia, Cidade Jardim e Petrópolis) e alguns bairros ainda possuem uma população relativamente baixa (porém, com

constantes construções de casas populares), como Jardim Boa Vista, Serras do Vale, Cedro, São José e o Distrito Industrial, que tecnicamente não há nenhum morador, apesar de existir a demanda das indústrias instaladas não foi adotado neste estudo um equivalente populacional. Todos os bairros com risco “Baixo” e “Muito baixo” estão localizados em cotas altimétricas mais baixas, com exceção apenas do bairro Morro Bom Jesus. Contudo, mesmo que estas áreas apresentem critérios favoráveis, há um crescimento populacional acelerado que aumenta o consumo e deve ser levado em consideração, pois eventualmente sobrecarregará ainda mais o sistema de abastecimento de água.



Fonte: O Autor, 2021.

A partir do Mapa 5 pode-se inferir que as áreas com grau “Muito alto” de insuficiência de esgotamento sanitário são: Agamenon Magalhães; Kennedy; José Carlos de Oliveira e; Nova Caruaru. E as áreas com grau “Alto” são: Andorinha; Jardim Boa Vista; Salgado (34); São João da Escócia e; Rendeiras. Os bairros que apresentaram grau “Muito alto” estão todos distantes da rede principal de esgoto e das ETEs, tais critérios apresentaram os maiores pesos de acordo com os especialistas consultados, sendo a principal razão para que esses bairros recebam esse grau de insuficiência de esgotamento sanitário. No caso dos bairros que receberam grau “Alto”, percebe-se que outras características atuam de maneira mais significativa, como a baixa quantidade de domicílios atendidos pela rede de esgoto, renda e, nos casos dos bairros

Rendeiras, Kennedy e Salgado, a grande população residente. Semelhante ao serviço de abastecimento de água, é comum moradores destes bairros criticarem sobre a falta de um esgotamento adequado, relatando situações de esgotos sendo despejados diretamente nas ruas, nos canais e em muitos casos tubulações estouradas.

Não fez parte do escopo deste trabalho uma verificação sistemática *in situ* das informações sobre as críticas e reclamações em relação ao abastecimento de água e ao esgotamento sanitário, porém a falta de água e os esgotos à céu aberto no dia a dia de uma parcela da população já são de conhecimento comum, além disso, há algumas matérias de emissoras de rádio e TV que evidenciam a carência desses serviços como “Moradores reclamam de esgoto estourado em bairro de Caruaru” (GLOBO, 2019), o Diário de Pernambuco (2020) destaca “Moradores de Caruaru fecham rodovia federal para protestar contra falta de água”, outras matérias podem ser vistas no Jornal do Comércio (2020), Rádio Liberdade FM (2020) e Globo (2021), ainda mais, segundo Salles Filho (2020), o racionamento de água prejudica o combate à Covid-19, primordialmente em áreas de rendas mais baixas.

Por outro lado, as áreas com grau Baixo de insuficiência de esgotamento sanitário: Boa Vista (6); João Mota (18); Caiucá (7); Maurício de Nassau; Nossa Senhora das Dores (27); Cedro e; Universitário. E as áreas com grau “Muito baixo” são: Cidade Alta; Petrópolis; Indianópolis e; Deputado José Antônio Liberato (12). Apesar de constarem elementos do sistema de esgotamento nesses bairros, vale salientar que a falta de manutenção da rede de coleta propicia agravos ao sistema como um todo. As áreas com riscos mais altos poderão ser áreas sugestivas para a adoção de políticas públicas referentes à água no meio urbano.

## 5.1 Diretrizes para o gerenciamento dos SES e SUAA

Conhecendo as áreas com maiores vulnerabilidades no espaço urbano de Caruaru em relação as infraestruturas hídricas, é oportuno indicar diretrizes para o gerenciamento dos sistemas urbanos de abastecimento de água que tenha como características principais a segurança hídrica e a universalização da oferta, assim como para os sistemas de esgotamento sanitário adequados e uniformemente distribuídos. Nesse caso, ponderar a implementação de infraestruturas alternativas, além ampliação e/ou reabilitação das redes convencionais, aperfeiçoa o sistema, o deixando com maior resiliência, apoiando-se na adequação espacial das tecnologias utilizadas, na investigação dos processos sociais e hidrológicos da região e na participação dos *stakeholders*.

Cinco princípios presentes na Lei nº 11.445/2007 guiaram o empenho deste trabalho para contribuir para a realização de planejamentos e projetos que propiciem o direito à água e ao esgotamento sanitário, são eles: universalização do acesso com integralidade das ações, segurança, qualidade e regularidade na prestação dos serviços; articulação com as políticas de desenvolvimento urbano, saúde, proteção ambiental e interesse social; adoção de tecnologias apropriadas às peculiaridades locais e regionais; uso de soluções graduais e progressivas, e integração com a gestão eficiente de recursos hídricos; promoção da eficiência e sustentabilidade econômica, considerando a capacidade de pagamento dos usuários (BRASIL, 2014).

#### 5.1.1 Abastecimento de água

Com o crescimento da população e consequentemente o aumento da demanda por água na cidade de Caruaru, cresce também a importância do gerenciamento dessa demanda, seja através do controle e redução das perdas, seja pela economia e uso racional da água pelos consumidores. Deve-se levar em consideração que soluções locais para problemas locais podem ser o ponto de partida para a mudança. Porém, os atores principais são os gestores públicos, assim, cabe aos governos criarem as condições para se solucionarem problemas, onde os mercados possam oferecer tecnologias apropriadas a um preço acessível (ANGOLA, 2013).

É necessário em toda rede de abastecimento de Caruaru organização, monitoramento e avaliação da operação, e manutenção dos sistemas existentes, de modo a evitar a perda de patrimônio público e o desempenho inadequado da infraestrutura já instalada. Espera-se também a ampliação progressiva da infraestrutura, de modo a otimizar os recursos disponíveis e evitar dispersões, conferindo prioridade às obras para as demandas mais urgentes e para a viabilização dos benefícios esperados pelo Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB). Para permitir o atendimento da população de forma ininterrupta e com qualidade, será necessária a complementação e manutenção preventiva periódica do sistema, o que pode possibilitar uma maior flexibilidade operacional e evitará interrupções no abastecimento.

Uma gestão eficiente possibilitará a avaliação periódica do SUAA. O aumento das demandas deve ser gerenciado juntamente com os empreendedores responsáveis pelos novos loteamentos, muitos deles em construção em 2021 nos bairros Andorinha, Cidade Alta, Nova Caruaru, Nina Liberato, Serras do Vale, Verde (43) e Universitário, ficando a cargo do prestador de serviço do município e outros interessados a definição de como será partilhada a responsabilidade para melhor atendimento da população.

Para Brasil (2012), as condições técnicas e financeiras verificadas em muitos municípios do Semiárido são fatores que comprometem a implantação, a melhoria ou a operação dos sistemas produtores de água, elevando a importância da atuação integrada da União, dos estados e dos próprios municípios para a viabilização dos investimentos. Além disso, a incerteza e a irregularidade das chuvas, o baixo potencial em águas subterrâneas e a intermitência dos rios levaram à criação de uma infraestrutura hídrica baseada na construção de inúmeros açudes, como forma de garantir, no tempo e no espaço, o atendimento às demandas hídricas. A operação, manutenção e recuperação desses açudes é, portanto, fundamental para proporcionar maior segurança hídrica para os estados do Nordeste. Dessa maneira, evidencia-se a importância do monitoramento do volume e manutenção da infraestrutura dos mananciais do Prata e Jucazinho que abastecem Caruaru.

#### *5.1.1.1 Gerenciamento dos mananciais*

De acordo com Ramos (2017), considerando o período de 2008 a 2016, apenas a partir de 2013, a barragem do Prata passou a ter percentuais de acumulação de água abaixo de 40%, sendo um dos poucos do Agreste que não entrou em colapso. Esta barragem manteve-se de 2008 a 2011 com volumes próximos a capacidade total e a partir do ano de 2012 identifica-se quedas significativas no volume até 2016, evidenciando a estiagem prolongada na região. Para alívio do manancial, em junho de 2020 a barragem do Prata atingiu 100% da capacidade. Em contrapartida, no dia 17 do mesmo mês o abastecimento de água foi suspenso em Caruaru, Agrestina, Altinho, Ibirajuba e Cachoeirinha. A medida foi tomada para realização de serviços no Sistema do Prata, onde foi realizada uma manutenção elétrica e hidráulica na Estação Elevatória de Água Bruta por causa das fortes chuvas, apontando a fragilidade do sistema em situações adversas, comprometendo o abastecimento de água da população atendida.

Segundo a APAC (2020), a outra barragem que abastece Caruaru, Jucazinho, no final de outubro de 2020 estava com 36,1% do seu volume. Conforme Ramos (2017), em 2008 observou-se que a barragem estava com volumes superiores a 60% da sua capacidade máxima. Já em 2016, os dados mostravam uma situação completamente diferente, onde constatou-se percentuais da barragem praticamente na situação de colapso total. Os resultados obtidos por Ramos (2017) mostraram que os déficits de abastecimento de água na mesorregião Agreste passaram de uma média de 567 L/s em 2008 para valores próximos a 2.850 L/s em 2015. Estes resultados podem indicar a necessidade urgente de sistemas alternativos para minimizar os problemas de desabastecimento de água nas cidades do Agreste, particularmente em Caruaru.

A partir de novembro de 2020, para a população de Caruaru, entrou em vigor a diminuição do rodízio na cidade, o ciclo de abastecimento passou a ser de cinco dias com água e cinco dias sem. Segundo a Compesa (2020), a redução foi possível devido a melhoria do nível de Jucazinho, que estava em pré-colapso desde 2015 em decorrência da escassez de chuvas, dessa forma foram realizados ajustes operacionais no sistema de abastecimento que permitiram ampliar a oferta de água para o município.

Além dos mananciais já existentes, há uma busca por novas fontes de água. Para Coelho *et al.* (2018), medidas consideradas efetivas para minimizar o problema de abastecimento de água da região nas próximas décadas são os projetos de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional e da Adutora do Agreste, este com um orçamento de aproximadamente 1,2 bilhão de reais, iniciada em 2013 e com previsão de conclusão para 2021. É de significativa importância novos sistemas produtores, porém, considerando a perspectiva de cidades mais inteligentes, a discussão vai além e procura novas proposições no que tange a oferta de água para consumo humano.

#### 5.1.1.2 *Expansão do sistema de abastecimento*

Para Mara e Alabaster (2008), o novo paradigma de abastecimento de água e esgotamento sanitário em áreas urbanas deve ser para grupos de famílias, não para famílias individuais. A justificativa é a vantajosa redução de custos que foi alcançada pela provisão para grupos de residências, como o sistema de abastecimento de água condominial na cidade de Parauapebas, no estado do Pará, no norte do Brasil. Conforme Melo (2005), a rede condominial em Parauapebas cobriu 287 quilômetros de ruas com um comprimento total de apenas 43 quilômetros. Considerando que uma rede convencional teria sido estabelecida ao longo de toda extensão do sistema viário urbano, tem-se uma redução de 85% no comprimento total das adutoras necessárias para completar a rede de abastecimento de água, resultando em grande economia em escavação, quebra e recapeamento de calçadas, menos materiais, bem como uma menor e mais breve perturbação da população urbana na execução das obras.

Outro projeto, destaque em Hubbard *et al.* (2011), levou à extensão de 1,3 km de rede de distribuição de água para a zona sul da cidade de Iquitos, Peru. Ao todo, 1.030 domicílios foram ligados ao sistema de abastecimento de água após a instalação de um sistema condominial de água e esgoto no bairro Manuel Cardozo Dávila. Como resultado, as doenças diarreicas diminuíram 37% para crianças com menos de 5 anos de idade de 2003 a 2004.

Para a ANA (2015), a situação de Caruaru em relação ao sistema de abastecimento de água era “requer ampliação do sistema”, devido à escassez hídrica, a alta demanda por água, proveniente do crescimento populacional e melhoria da qualidade de vida, e o rodízio de abastecimento de água imposto na cidade é muito provável que essa situação ainda permaneça. Tendo em vista os exemplos de Parauapebas e Iquitos, é interessante que os bairros que necessitam da expansão da rede de abastecimento de água como Nossa Senhora das Graças, Nina Liberato, Andorinha, Nova Caruaru, Serras do Vale e Verde recebam um sistema condominial de abastecimento, tais bairros possuem rápido crescimento em número de domicílios, porém em uma parte considerável deles o arranjo habitacional é passível de implantação do sistema condominial de abastecimento de água.

Além desses bairros, outros que necessitam de reabilitação na rede abastecimento são José Carlos de Oliveira, Nossa Senhora das Graças, Rendeiras, Agamenon Magalhães e Cidade Alta. Nesses dois últimos, por conta de cotas mais elevadas, é possível a existência de trechos onde a pressão é insuficiente para que a rede de distribuição funcione de maneira satisfatória, para tanto podem ser instaladas bombas, chamadas *boosters*, que transportam a água para locais mais altos. Nos demais bairros com risco Muito alto e Alto, percebe-se a falta de reservatórios que atendam a população de maneira mais próxima e efetiva, além de grandes distâncias da rede principal quando comparados com bairros mais centrais.

#### 5.1.1.3 *Uso de águas pluviais e águas cinzas*

Examinar a possibilidade da captação de águas pluviais em um ambiente semiárido e em crescimento urbano acelerado é um desafio que exige políticas, projetos e programas que contemplem tais sistemas no ciclo da água em ambientes urbanos. Através da análise de alguns projetos e estudos referentes ao tema, principalmente com foco em ambientes públicos e uso não potável da água, buscou-se vinculá-los a situação de abastecimento de água de Caruaru.

Lima, Nunes e Silva (2017) mostraram que o consumo médio mensal de uma escola pública na cidade do Recife-PE corresponde a 111,00 m<sup>3</sup>, onde a demanda de água não potável, proveniente do abastecimento das caixas de descarga, equivale a 66,14 m<sup>3</sup> por mês, sendo assim, o potencial de economia de água potável com a instalação de um sistema de AAP é de 59,6%. Analogamente, Oliveira *et al.* (2020) apontaram que dos 19.260 L/dia de água consumidos em um bloco de uma instituição de ensino também em Recife-PE, 50% desse total é utilizado com descargas sanitárias, assim, a água da chuva que poderia ser utilizada correspondente a esse valor seria 9.630 L/dia, ocasionando uma redução na conta de água.

Outro estudo, Lopes (2012), no Bloco 5OA, constituído de 3 pavimentos e 1 subsolo, e uma área construída de 3.451m<sup>2</sup>. A edificação conta com um total de 32 bacias sanitárias e 12 mictórios, onde o volume de água consumido nesses elementos durante o período analisado foi em média 91,15 m<sup>3</sup> por mês. Os resultados indicaram que a implantação do sistema de AAP para fins não potáveis nos blocos da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) com tipologia semelhante ao Bloco 5O, provavelmente seria viável do ponto de vista quantitativo, pois durante a simulação, a quantidade de chuva coletada supriu satisfatoriamente a demanda por água não potável neste bloco. Em Caruaru, para implantação de um projeto semelhante, deve-se levar em consideração os meses mais chuvosos, a saber, maio, junho e julho. Além disso, os resultados também indicaram que a implantação desse sistema provavelmente seria viável do ponto de vista qualitativo, visto que todos os parâmetros analisados durante a pesquisa atenderam às normas de qualidade da água para fins não potáveis.

Vasconcelos (2016), em um trabalho semelhante no bloco F (constituído por três edifícios) do Instituto Federal de Pernambuco, *Campus Recife*, encontrou que o volume de água utilizado em descargas sanitárias foi de 74,00 m<sup>3</sup> por mês. Com o resultado da determinação do potencial de captação de águas pluviais, viu-se que o volume do reservatório para armazenamento de água pluvial se faz satisfatório para o volume de demanda mensal do bloco inteiro, obtendo-se 100% de autonomia no sistema, visto que em nenhum mês será necessário suprimento de água externo. Complementando o trabalho de Vasconcelos (2016), Silva, Carvalho e Barbosa (2018), elaboraram o projeto de captação de águas pluviais para o mesmo bloco F. Evidenciando que a água captada poderá ser utilizada nas descargas dos vasos sanitários, na lavagem de pisos e nos jardins do bloco.

Fasola *et al.* (2011), em duas escolas em Florianópolis, concluíram que, no que se refere ao potencial de economia de água, o resultado mais expressivo na economia de água foi de 27,8% para a escola municipal e de 72,7% para a escola estadual, combinando equipamentos economizadores e AAP. Além dos trabalhos em instituições de ensino em Uberlândia, Florianópolis e Recife, tem-se também o estudo de viabilidade da captação de águas pluviais no IFPE, *campus Caruaru*, de Santos *et al.* (2019). Os autores concluíram que a uso de águas pluviais deve ser considerada para um desenvolvimento sustentável e garantia de abastecimento de água, pois traz benefícios financeiros em médio prazo, uma vez que o volume de água utilizado não será pago a companhia de abastecimento de água. Em 2019 a COMPESA cobrava para o consumo de até 10 metros cúbicos de água o valor de R\$ 52,95 e o excedente R\$ 8,04 por m<sup>3</sup>, dessa maneira, a economia financeira estimada que o *campus* pode ter com o reaproveitamento deste volume é de aproximadamente R\$ 7.360.

Sabe-se que o uso de água para a descarga no banheiro varia com alguns aspectos populacionais e com o tipo de instalação. Apesar disso, Reichel, Sharvelle e Roesner (2011), DeOreo *et al.* (2016), concluíram que uma aplicação benéfica que reduz o consumo do abastecimento de água convencional é o uso de águas pluviais ou cinzas para descarga do banheiro. Uma vez que a descarga do vaso sanitário representa aproximadamente 24% do uso doméstico de água, assim, o potencial de economia de água potável é significativo. Tal afirmação alinha-se com os estudos de Lima, Nunes e Silva (2017), Vasconcelos (2016) e Lopes (2012) e pode ser uma realidade nos prédios de instituições públicas de Caruaru e em casas residenciais de novos empreendimentos em construção.

Em relação ao aproveitamento apropriado de águas pluviais em residências, segundo Athayde Jr., Dias e Gadelha (2008), para o cenário de tarifas do ano de 2008, o AAP no âmbito predial era uma alternativa economicamente inviável para os padrões popular e médio de residências. Para o padrão alto, em virtude do valor mais elevado da tarifa e da quantidade maior de águas pluviais utilizada, a alternativa é economicamente viável, com um período de retorno (tempo necessário para o retorno do investimento inicial) variando entre 8,2 e 10,2 anos, período menor que o tempo de vida útil do projeto, no caso de 20 anos. Se o tempo de retorno do capital é inferior ao tempo de vida útil do projeto, o investimento correspondente é considerado atrativo. Sant'ana, Boeger e Monteiro (2013), também mostraram que a adaptação predial voltada ao AAP demonstrou ser uma solução inviável devido aos altos custos de reforma. Por outro lado, sistemas de reúso de águas cinzas promovem benefícios financeiros significativos, o que acaba compensando os custos de reforma.

Tendo em vista que o AAP e o RAC não tem viabilidade econômica de implantação na maioria das residências unifamiliares já construídas e, em contrapartida, tais técnicas são defendidas por diversos autores quando se trata de edificações públicas, é válido indicar que o AAP e o RAC sejam utilizados nos prédios públicos localizados em Caruaru, sobretudo, nas instituições de ensino. De acordo com a Secretaria de Educação e Esportes de Pernambuco (2020), Caruaru possui 23 escolas públicas estaduais, segundo a Secretaria de Educação de Caruaru (2020), 96 escolas públicas municipais e ainda conta com 6 grandes instituições de ensino superior, sendo três federais e três particulares. Levando em consideração a adoção de AAP e/ou RAC nessas 125 edificações de ensino, tem-se uma significativa redução da demanda do sistema convencional de abastecimento de água.

Vale salientar que os sistemas e as soluções alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano devem contar com responsável técnico habilitado. Além disso, toda água para consumo humano, deverá passar, pelo menos, por processo de desinfecção ou

cloração (BRASIL, 2011). As águas cinzas ainda podem ser utilizadas para fins industriais (lavagem de máquinas, galpões e esfriamento de caldeiras, dentre outros usos) e para a limpeza de ruas ou irrigação de parques e jardins, resultando em grande economia da água que poderia ser destinada ao consumo humano e era destinada a tais finalidades (SABESP, 2019). Dessa maneira, vale lembrar que Caruaru conta com um distrito industrial e o RAC pode ser indicado como reforço no abastecimento das indústrias ali instaladas.

#### 5.1.1.4 Controle de perdas

Para a Sabesp (2019) outro pilar fundamental para promoção da segurança hídrica e de abastecimento é a redução das perdas, um desafio permanente na operação dos SUAA. O Programa Corporativo de Redução de Perdas, criado em 2009, demandou investimentos de R\$ 5,3 bilhões, e contribuiu para a redução de cerca de 5,1% no índice médio de perdas totais na área operada – de 34,1% (ou 430 litros/ligação/dia) em 2008 para 29% (ou 285 litros/ligação/dia) ao final de 2019. Esta redução, de 5,1%, corresponde a uma economia de 138 milhões de m<sup>3</sup>, volume suficiente para abastecer, durante um ano uma população de mais de 1,5 milhão de habitantes. Em 2019, iniciou-se na RMSP a instalação de cem mil hidrômetros inteligentes nos maiores clientes, que passaram a ter o consumo medido de maneira remota por meio da tecnologia IoT (Internet das Coisas).

Considerando o exemplo do Programa Corporativo de Redução de Perdas (PCRP), a COMPESA poderia lançar um programa semelhante em Caruaru, o que se justifica pela alta demanda por água da cidade, instalando hidrômetros inteligentes – dispositivos conectados à internet que medem o consumo de água de forma remota em intervalos de tempo pré-definidos e fornecem informações em tempo real sobre vazamentos – nos seus maiores clientes, a princípio. Conforme São Paulo (2019), por maiores que sejam os investimentos necessários para um programa de perdas, serão quase sempre rentáveis, quando comparados aos investimentos necessários em novos sistemas produtores.

Em relação às perdas reais (físicas), as medidas fundamentais que devem ser implementadas são: o controle de pressões, a pesquisa de vazamentos, a redução no tempo de reparo dos mesmos, programas preventivos de reparo de redes e ramais, e soluções estruturais. Santana *et al.* (2019) mostraram que os programas de combate às perdas reais foram avaliados de forma mais positiva no que tange a efetividade de redução das perdas e o consequente fortalecimento do abastecimento de água. Bairros mais centrais como Nossa Senhora das Dores, Santa Rosa e Vassoural merecem maior atenção quanto as perdas físicas na rede de distribuição.

### 5.1.1.5 Equipamentos de economia de água

Sabe-se que na grande maioria dos domicílios as instalações sanitárias não foram concebidas com sistemas de economia de água. Para a área de estudo desta pesquisa, Silva *et al.* (2017) destacam o uso de equipamentos poupadores de água como apoio ao gerenciamento urbano deste recurso, mostrando que a implantação desses equipamentos pode oferecer uma redução do consumo em torno de 40% em relação ao volume consumido. Apresenta-se na Tabela 12 a previsão de economia de água por mês para alguns bairros de Caruaru.

Tabela 12 - Economia de água, por mês, com dispositivos poupadores em 2015.

| Vizinhança         | (CAPI*) 1<br>válvula de<br>descarga<br>dupla | (CAPI) 2<br>torneiras de<br>banheiro<br>com<br>detector de<br>movimento | (CAPI) 3<br>torneiras<br>para<br>banheiros<br>com<br>fechamento<br>automático | (CAPI) 4<br>Chuveiro<br>com válvula<br>de<br>fechamento<br>automático | (CAPI) 5<br>Torneira de<br>cozinha com<br>arejador | Cenário<br>com CAP | Economia<br>de água<br>(m <sup>3</sup> / mês) |
|--------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------|
| Alto do Moura      | 9.757                                        | 1.636                                                                   | 2.182                                                                         | 17.313                                                                | 12.366                                             | 43.257             | 29.489                                        |
| Boa Vista          | 6.508                                        | 1.091                                                                   | 1.455                                                                         | 11.549                                                                | 8.249                                              | 28.855             | 19.671                                        |
| Cidade Alta        | 3.032                                        | 509                                                                     | 678                                                                           | 5.380                                                                 | 3.844                                              | 13.443             | 9.165                                         |
| Indianópolis       | 1.028                                        | 173                                                                     | 230                                                                           | 1.825                                                                 | 1.304                                              | 4.560              | 3,109                                         |
| Kennedy            | 6.291                                        | 488                                                                     | 651                                                                           | 5.163                                                                 | 3.688                                              | 16.280             | 5.412                                         |
| Maurício de Nassau | 7.560                                        | 1.268                                                                   | 1.691                                                                         | 13.415                                                                | 9.583                                              | 33.518             | 22.850                                        |
| Petrópolis         | 6.219                                        | 1.043                                                                   | 1.391                                                                         | 11.035                                                                | 7.883                                              | 27.571             | 18.796                                        |
| Salgado            | 13.924                                       | 2.335                                                                   | 3.114                                                                         | 24.708                                                                | 17.648                                             | 61.732             | 42.084                                        |
| <b>Total</b>       |                                              |                                                                         |                                                                               |                                                                       |                                                    |                    | <b>150.581</b>                                |

Fonte: Silva *et al.*, 2017.

\*CAPI = consumo mensal com a implantação de equipamentos de economia de água (m<sup>3</sup>/mês).

Barros, Rufino e Miranda (2016), mostraram que a demanda futura de água, no bairro do Catolé, em Campina Grande, passou de 14,31% para 2,39%, considerando um período de cinco anos, resultando numa economia de 10,42%. Indicando que a implantação de mecanismos poupadores em edifícios residenciais, mesmo sendo uma aplicação pontual, pode trazer resultados significativos de economia. Sousa *et al.* (2020) mostraram que o emprego desses

equipamentos em conjunto (bacia sanitária com acionamento duplo, chuveiro com redutor de vazão, torneiras com arejadores) tem potencial de poupar um total de 29,11% do volume fornecido pela concessionária, o que representa uma economia de 136,23 litros por dia sobre um consumo diário de 468 litros por dia para cada residência.

Devido ao custo mais elevado em comparação com equipamentos convencionais, seria interessante iniciar a aplicação de equipamentos poupadores de água, em Caruaru, no bairro Maurício de Nassau (bairro com características semelhantes ao bairro do Catolé), que entre os bairros estudados por Silva *et al.* (2017) possui a maior renda média mensal, fator que pode contribuir para adoção dos equipamentos economizadores, além de uma economia de mais de 20 mil m<sup>3</sup> de água por mês, em seguida a aplicação pode ser expandida para outros bairros. De toda forma, para São Paulo (2019), o governo, nesse caso a Prefeitura de Caruaru e a COMPESA, deveria incentivar o consumidor na troca de equipamentos obsoletos, de alto índice de desperdício de água, por outros mais modernos –como as caixas de descarga.

Além disso, o código de obras ou plano diretor do município, Lei Complementar nº 72, de 30 de dezembro de 2019 (CARAURU, 2019), deveriam estabelecer normas para instalação de equipamentos economizadores, no mínimo caixas de descarga com acionamento duplo, nos novos empreendimentos imobiliários do município, que consta com diversos condomínios em construção no ano de 2021. Considerando os tópicos 5.1.1.3 a 5.1.1.5, Santana (2018) e Sousa (2017) ratificam que o controle de perdas de água nos sistemas de abastecimento, o aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis, a instalação de aparelhos poupadores de água, bem como a medição individualizada de água em condomínios são consideradas ações viáveis de serem implementadas no município.

#### 5.1.1.6 *Práticas de uso racional*

Em Cabo Verde, um país que sofre com escassez hídrica, existe naturalmente uma tendência para a racionalização do consumo de água pela população, sobretudo a população mais pobre, com acesso mais limitado a este recurso. Todavia, pesquisas de campo mostraram que com água canalizada em casa, as pessoas passam a consumir mais, ou seja, tendo mais água disponível, existe uma maior tendência para o desperdício e o controle do consumo passa a ser menor do que quando abasteciam através de outras fontes (ANAS, 2015). Dessa maneira, compreende-se que expandir os sistemas de abastecimento de água e não prover informações, em palestras e minicursos, por exemplo, à população a respeito do uso racional da água é incoerente no que diz respeito à segurança hídrica dos usuários.

Dessa maneira, medidas para a racionalização do uso e metas de redução dos gastos de água têm que se unir às usuais medidas de expansão da oferta, no planejamento de investimentos do setor. Uma dessas medidas é a implementação e o acompanhamento de medições individualizadas por unidade consumidora, pois provocam reduções no consumo. Em Salvador-BA, Gonçalves (2009) destaca que a medição individualizada foi implantada em prédios populares, principalmente para eliminar conflitos entre os condôminos em decorrência do pagamento das taxas condominiais, nas quais a conta de água e esgoto representa cerca de 90%. Os resultados mostraram que houve uma redução de até 44% nos gastos de água. Assim, é válido incentivar a medição individualizada nos condomínios existentes e que estão em construção em Caruaru, principalmente nos bairros com maior risco de desabastecimento de água e maior quantidade de condomínios como Nova Caruaru, Nina Liberato, Maurício de Nassau e Andorinha.

Coelho (2002) ainda salienta que a medição individualizada de água em apartamentos é uma metodologia relevante para a redução do desperdício água, uma vez que induz a mudança de hábitos de consumo dos usuários, favorecendo então a redução do desperdício e possibilita que cada um conheça o seu consumo e pague proporcionalmente por ele. Outro aspecto pertinente é que o usuário se sente mais justificado, pois pagará por seu consumo real. Por isso a medição individual de água em apartamentos constitui-se numa metodologia destinada a induzir o usuário a comportamentos de uso racional da água.

Segundo a ANAS (2015), as famílias com maior poder econômico apresentam com maior frequência comportamentos de desperdício como tomar banhos prolongados de chuveiro, lavar a louça com água corrente, escovar os dentes e lavar o carro, principalmente porque tem maior capacidade de pagar pela água. Sabe-se que a efetividade das ações de preservação da água passa, obrigatoriamente, pela conscientização de cada indivíduo de que este recurso depende do comportamento coletivo, sendo responsabilidade de todos e não somente da companhia de saneamento, dos governos ou das empresas privadas dos serviços de saneamento. Assim, bairros como Indianópolis, Maurício de Nassau e Universitário são bairros sugestivos para o início de um plano de ações de conscientização a respeito da conservação da água. Desse modo, campanhas e ações publicitárias sobre economia de água devem ser postas em prática, como palestras em escolas, cartazes educativos e campanhas através das redes sociais, que possuem um grande e rápido alcance da população com acesso à internet. Para a ANA (2011), a educação ambiental e as campanhas de conscientização são cruciais para geração de conhecimento entre as comunidades e para o apoio à proteção da qualidade da água.

### 5.1.2 Esgotamento sanitário

Dos 43 bairros existentes em Caruaru, nove apresentaram grau Muito alto ou Alto de insuficiência de esgotamento sanitário, apontando, assim, um norte para expansão do sistema no sentido qualitativo e quantitativo. Nesses bairros se destacam as distâncias relativamente altas até os dispositivos que compõem o sistema de esgotamento, bem como a baixa quantidade de domicílios atendidos pela rede. Desse modo, espera-se que o sistema seja implementado nessas áreas e os esgotos sejam coletados e tratados nas ETEs do município. Vale salientar que os esgotos devem ser tratados de forma a atender aos padrões de qualidade do corpo receptor e os lodos gerados devem ser dispostos corretamente em aterro licenciado. O município conta com dois aterros, o Aterro Sanitário de Caruaru e a Central de Tratamento de Resíduos de Caruaru. Além disso, garantir canais de comunicação com a sociedade e promover ações continuadas em educação ambiental se mostram como intervenções essenciais para maior efetividade do serviço e para a continuidade das diretrizes previstas no PMSB.

Além disso, para revisar periodicamente o plano é preciso uma agenda permanente de discussão sobre as questões que envolvem o saneamento do município, são necessárias mudanças de comportamento individual e coletivo em relação ao destino correto dos esgotos produzidos no município, pois, ainda em 2021, ocorre lançamento *in natura* de efluentes nos cursos d'água situados em Caruaru. Na cidade, sobretudo na periferia, é possível observar ruas com esgoto a céu aberto e galerias pluviais que recebem ligações de esgoto, onde o rio Ipojuca é receptor e é conseqüentemente poluído. O objetivo da implementação do plano é que uma gestão eficiente possibilite a verificação constante do SES e envolva o estabelecimento de ações em situações de rotina e emergenciais na organização e avaliação do sistema.

#### 5.1.2.1 Soluções coletivas para esgotamento sanitário

Para a Funasa (2019), à medida que as cidades e a densidade demográfica tornam-se maiores, as soluções individuais para coleta e destino do esgoto doméstico devem dar lugar às soluções de caráter que prezem cada vez mais pela coletividade. Além disso, os sistemas de esgotamento sanitário devem ser eficientes e adaptáveis às condições econômicas e estruturais das cidades. No caso de Caruaru, que vive um crescimento acelerado da sua população e de sua zona urbana em relação a outros municípios de Pernambuco, cresce também a necessidade de soluções que supram e amenizem a demanda de esgotamento sanitário da cidade. Para tanto, é oportuno avaliar exemplos encontrados na literatura.

Na cidade de Natal, Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil, o Sistema Condominial de Esgoto foi considerado mais econômico do que o sistema convencional, ainda considerando densidades populacionais em um nível relativamente baixo, cerca de 160 pessoas por ha (SINNATAMBY; McGARRY; MARA, 1985). Vale salientar que quando uma localidade já possui o sistema convencional em alguma de suas partes, será mais difícil convencer a população a aceitar o sistema condominial. Assim, o órgão governamental responsável pelo esgoto tem que ter um sistema eficiente de ações para promover o projeto, para explicar o sistema, para convencer as pessoas e para garantir a participação local na construção, manutenção e operação do sistema condominial.

De acordo com a COMPESA (2016), o Programa de Saneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca (PSA Ipojuca) visa implantar e/ou ampliar SES em cidades como Tacaimbó, Gravatá, Sanharó, Bezerros, Belo Jardim e Caruaru, e o sistema escolhido para implantação é o Condominial. Como esse sistema trata a quadra como um condomínio, é possível reduzir significativamente os custos e ainda permite ampliar o percentual da população atendida, fazendo uso do mesmo volume de recursos financeiros. Em sua avaliação da aplicação de SCE em cidades de diferentes portes, onde as cidades selecionadas para o estudo foram Salvador, Santo Amaro, Madre de Deus, Gameleira e Itabuna, os resultados de Oliveira *et al.* (2013) indicaram possibilidades concretas para o uso do SCE como alternativa para promover a universalização dos serviços de esgotamento sanitário não só nessas cidades, como também em praticamente todo país. Assim, é possível inferir que o SCE se apresenta como uma solução viável para bairros de Caruaru mais periféricos em expansão e que se encontram com grau Muito alto ou Alto de insuficiência de esgotamento sanitário como Agamenon Magalhães, Nova Caruaru, Andorinha e Rendeiras.

A compilação de exemplos de melhores práticas usando os SCE ilustra o imenso potencial desta abordagem. No entanto, para áreas mais centrais de Caruaru, onde o sistema convencional já está consolidado, como nos bairros Kennedy, Salgado e São João da Escócia, cabe mencionar que um procedimento a ser feito é a substituição de tubulações cerâmicas antigas, que com o crescimento populacional se tornaram obsoletas em relação a capacidade de transporte do esgoto gerado. Para tanto, a Sabesp (2019), destaca que o método não destrutivo (MND) é uma tecnologia cada vez mais utilizada na substituição de tubulações, a nova tubulação é implantada no subsolo sem qualquer demolição. Um pode ser visto em São Bernardo do Campo, onde em 2019 foi iniciada a troca de 172 quilômetros de redes em diversos bairros, 90% dessa extensão está sendo feita via MND.

### 5.1.2.2 *Apoio financeiro aos projetos de esgotamento sanitário*

Uma discussão essencial para projetos de infraestrutura urbana é a que envolve a parte financeira. Apesar de não fazer parte do escopo deste trabalho, vale a pena levar em consideração que a Funasa fomenta a implantação, ampliação ou melhorias em sistemas de esgotamento sanitário para o controle de doenças e outros agravos de veiculação hídrica, contribuindo para a redução da morbimortalidade, aumentando a expectativa de vida e a produtividade da população (FUNASA, 2017). As unidades de projeto de sistemas de esgotamento sanitário passíveis de apoio financeiro para execução de obras e serviços de engenharia são: ligação predial; rede coletora; estação elevatória de esgoto; emissário por recalque ou por gravidade; interceptor; estação de tratamento de esgoto; e disposição final.

A proposta deverá ser apresentada à Funasa durante chamada pública, em atendimento à emenda parlamentar ao Orçamento Geral da União ou a outro instrumento de seleção específico. Deverá também abranger os investimentos necessários para que o sistema de esgotamento sanitário funcione como um todo, de forma técnica e ambientalmente adequada, para atender a todos os requisitos exigidos para a celebração do repasse previsto em normativo específico. O projeto de engenharia deverá ser apresentado, com sua Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), de acordo com o prazo estabelecido em norma que dispõe sobre as transferências de recursos da União e, em caso de processo seletivo, é preciso ser atendido o prazo definido em portaria específica da Funasa. Dessa maneira, cabe ao corpo técnico e a gestão pública de Caruaru elaborar e apresentar projetos que visem o fortalecimento do sistema de esgotamento sanitário do município, pois um governo inteligente utiliza tecnologias e recursos disponíveis para estar ciente e coordenar suas atividades.

Outro aspecto importante são as áreas com moradores com rendas médias mais baixas, como, por exemplo, os bairros Andorinha e José Carlos de Oliveira, para atendê-los pode ser fundamental a adoção de programas sociais, como o Programa Pró-Conexão, desenvolvido em 2011 para atender clientes sem condições econômicas para ligar suas instalações sanitárias às redes da Sabesp. Realizada em parceria com o Governo do Estado de São Paulo, a iniciativa voltou-se para famílias que recebem até três salários-mínimos mensais e buscou evitar o descarte irregular de esgoto. Como parte do programa, os custos de instalação das interligações são inteiramente pagos pelo governo, que paga 80% da obra, e pela Sabesp, que arca com 20%. Nos bairros a serem atendidos, moradores da própria localidade vão até as casas para explicar as vantagens da conexão à rede de coleta (SABESP, 2019), característica das cidades inteligentes, onde é necessário cidadãos capazes de participar das iniciativas do município.

Ainda, de acordo com o IBGE (2020), no Brasil, como instrumento econômico de política social que visa a universalização do acesso ao saneamento básico, os subsídios (descontos) aos usuários constavam em 72,6% (3.783) dos municípios com abastecimento de água e em 67,8% (1.387) daqueles com esgotamento sanitário, onde existia cobrança de tarifa ou taxa pelos respectivos serviços. Os critérios comumente utilizados para concessão de subsídios foram inscrição em programas sociais (69,6% dos municípios com subsídio para o abastecimento de água e 52,8% para o esgotamento sanitário), características do imóvel (63,2% para água e 68,5% para esgoto) e rendimento do usuário ou de sua família (56,8% para água e 63% para esgoto). No país, cerca de 2,8 milhões de economias residenciais (unidades domiciliares atendidas pelos serviços) contavam com subsídios na cobrança da taxa ou tarifa de abastecimento de água e 1,5 milhão na cobrança da coleta de esgoto. Em um país em desenvolvimento, como o Brasil, essa política social se mostra como uma saída para que mais usuários sejam beneficiados pelo fornecimento de água e sistemas de esgotamento sanitário.

#### *5.1.2.3 Educação para o meio ambiente e o saneamento*

Para São Paulo (2019), a educação da infância e da juventude, bem como as campanhas de conscientização da população devem ressaltar a necessidade de economia de água e energia, o direito a uma cidade bonita, limpa e despoluída e o dever da população de conservar o seu município e valorizar o espaço urbano, como bem público. Assim, campanhas institucionais em Caruaru pela economia devem ser contínuas, e não somente por ocasião de crises no abastecimento de água ou períodos de seca dos recursos hídricos. Percebe-se, então, que o trabalho de conscientizar a população deve ser planejado e executado ao longo do ano inteiro e deve envolver múltiplos profissionais, como professores, gestores, técnicos, para alcançar o maior número de pessoas possível.

É possível alcançar maior eficiência dos sistemas urbanos quando a população que os utiliza possui informações pertinentes e as coloca em prática. De acordo com a Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal (SEMA) (2017), a educação ambiental colabora com processos pelos quais o indivíduo e a coletividade constroem conhecimentos, atitudes, habilidades, interesse ativo e competências voltadas para a conservação do meio ambiente. Assim, deve ser um componente essencial e permanente da educação em Caruaru e deve constar de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo. Mesmo que uma mudança de comportamento seja um complexo desafio, não é impossível. No entanto é um processo lento e prolongado (ANGOLA, 2013).

### 5.1.3 Inclusão dos stakeholders no desenvolvimento de políticas públicas

Quando se trata de SES e SUAA sabe-se que tais sistemas influenciam na vida da população de maneira coletiva, portanto, a participação de todas as partes interessadas, o apoio dos poderes locais e do governo federal são essenciais. Os projetos realizados na África Subsaariana de requalificação e expansão da infraestrutura existente, por exemplo, reafirmam a importância da participação das partes interessadas para o sucesso das iniciativas de Gestão Integrada de Águas Urbanas (IUWM, da sigla em Inglês) (JACOBSEN; WEBSTER; VAIRAVAMOORTHY, 2012). Também é importante que as instituições municipais, estaduais e federais desenvolvam projetos de IUWM de uma forma estratégica e integrada. O trabalho realizado na África Subsaariana mostra alguns dos benefícios de integrar a participação das partes interessadas desde o início do projeto. Em Nairóbi, capital do Quênia, por exemplo, as atividades do *Water Partnership Program* do Banco Mundial resultaram em um aumento do interesse na exploração de recursos hídricos alternativos para a cidade, na revisão do código de construção para permitir a coleta de água da chuva e na consideração de reutilização de águas cinzas. Em outro país africano, Cabo Verde, por exemplo, líderes comunitários e a população identificaram a necessidade dos hotéis e estabelecimentos similares terem sistemas de RAC, considerando, principalmente, a reutilização de água dos banhos e lavatórios. Para tanto foi necessário realizarem palestras de conscientização e educação ambiental junto aos seus clientes e funcionários (ANAS, 2015).

Em relação a estrutura organizacional, segundo o IBGE (2020), em 54,8% (3.039) dos municípios com serviço de abastecimento de água existia estrutura para a gestão dos serviços, sendo que em 2.509 a estrutura estava concentrada na administração direta e, em 530, na administração indireta. Em 2.504 municípios não havia órgão municipal de gestão desse serviço. As secretarias exclusivas existiam em apenas 2,9% (89) dos municípios, enquanto em 71,8% (2.182) eram estruturas conjuntas (obras, meio ambiente, etc.), em 7,8% (238) o setor era subordinado diretamente à chefia do poder executivo e em 17,5% (530) era órgão da administração indireta. Em 64,2% (2.118) dos municípios com rede de esgotamento sanitário havia estrutura organizacional para a gestão dos serviços, sendo que em 1.757 a estrutura estava por conta da administração direta e, em 361, da administração indireta. Com isso, para Caruaru é válido integrar gestores públicos, técnicos e população torna o gerenciamento inteligente das instalações, espaços e serviços públicos através das TIC, proporcionando mais acessibilidade e informações aos usuários dos SUAA e SES.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão da literatura e os resultados deste trabalho revelam que o gerenciamento dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário de Caruaru deve se fundamentar em um formato espacial que integre aspectos não-estruturais e estruturais. Estas medidas formam uma série de soluções que buscam promover melhorias no gerenciamento das águas no meio urbano, tornando-o mais sensível à água e resiliente.

Em relação ao diagnóstico básico do SUAA e SES de Caruaru, através do volume distribuído e macromedido para a população da zona urbana do município no ano de 2018 de 18.465.240 m<sup>3</sup>, pode-se calcular a média de 140,09 litros de água por habitante dia, valor acima da média proposta de 50 litros por habitante dia para se viver com conforto e saúde. Com relação ao volume anual de esgoto, foi encontrado que são produzidos 14.772.132 m<sup>3</sup> de esgoto por ano em Caruaru, sendo que o percentual de coleta é de aproximadamente 45% do total de ligações de água. Assim, vê-se a necessidade de ampliação da população atendida pelo SES.

Através do mapeamento RDA e GIES, observou-se que as áreas que apresentaram riscos Muito alto e Alto de desabastecimento de água e de insuficiência de esgotamento sanitário no mapas gerados foram aquelas situadas em zonas mais periféricas da cidade, sobretudo ao Norte e Oeste, essas áreas podem atuar como indicadores para tomadas de decisão e ações mais efetivas no gerenciamento e planejamento dos sistemas de água e esgoto. Dessa maneira, esta é a colaboração substancial deste trabalho, atuar como um conjunto de informações para apoiar o planejamento, implementação e expansão do SUAA e SES de Caruaru e outras cidades.

Percebeu-se também que o uso dos GIS foi essencial, por conta, principalmente, das diversas ferramentas de análise e produção de mapas, além de possibilitar a manipulação de uma série de dados geoespaciais. Os resultados gerados podem evidenciar as áreas mais carentes de serviços de água e esgoto e assim planos e metas de minimização dos riscos podem ser idealizados para estas áreas. Além disso, gerentes públicos, engenheiros e profissionais afins podem utilizar estes resultados e determinar os investimentos e/ou políticas públicas para as áreas com maiores riscos de desabastecimento de água e insuficiência de esgotamento sanitário.

Mesmo com projetos e construções em andamento que implementam maior oferta de água na região, como, por exemplo, a Adutora do Agreste, é preciso considerar que, segundo as tendências de estudos populacionais, a população continuará crescendo. Sendo assim, para evitar a busca por água em fontes cada vez mais distantes do ponto a ser abastecido, as ações de captação, conservação e reúso devem ser consideradas como tecnologias de suporte ao ciclo urbano da água em Caruaru. Integração é essencial para obtenção de resultados sustentáveis.

Conseguiu-se alcançar os objetivos propostos e, portanto, potencializar a infraestrutura dos sistemas convencionais, utilizar os mapas das áreas de risco para apoio no planejamento, verificar a capacidade de abastecimento urbano por meio das águas pluviais e cinzas, visualizar a redução de perdas de água e a oferta de coleta, transporte e tratamento adequados de esgoto sanitário no gerenciamento do ciclo integrado da água no meio urbano são os principais resultados práticos que se espera que este trabalho possa contribuir de alguma forma.

Para realização deste trabalho foram utilizados *softwares* para o processamento dos dados geoespaciais, onde um deles, o ArcGIS® Pro, é pago, isto pode ser uma limitação a depender da ocasião. Como recomendação para continuidade da pesquisa, é válido analisar a combinação dos dois mapas e testar a sensibilidade dos resultados considerando, por exemplo, o mesmo peso para todos os critérios. Também pode ser considerado o estudo de novos critérios e capacidade de adaptação da área de estudo.

## REFERÊNCIAS

ABDELKARIM, A.; AL-ALOLA, S. S.; ALOGAYELL, H. M.; MOHAMED, S. A.; ALKADI, I. I.; ISMAIL, I. Y. Integration of GIS-Based Multicriteria Decision Analysis and Analytic Hierarchy Process to Assess Flood Hazard on the Al-Shamal Train Pathway in Al-Qurayyat Region, Kingdom of Saudi Arabia. **Water**, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 1702-1737, 14 jun. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w12061702>.

ABUDEIF, A. M.; MONEIM, A. A. Abdel; FARRAG, A. F. Multicriteria decision analysis based on analytic hierarchy process in GIS environment for siting nuclear power plant in Egypt. **Annals Of Nuclear Energy**, [S.L.], v. 75, p. 682-692, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anucene.2014.09.024>.

AKOLGO, E. A.; AYENTIMI, D. T. Community-level mechanisms and strategies for managing sustainable water supply systems: lessons from bongo district of northern ghana. **Environment, Development And Sustainability**, [S.L.], v. 22, n. 4, p. 3739-3756, 12 fev. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10668-019-00324-5>.

SALES FILHO, R. **Racionamento de água prejudica combate à Covid-19**. 2020. Disponível em: <http://www.alepe.pe.gov.br/2020/04/16/racionamento-de-agua-prejudica-combate-a-covid-19-aponta-romero-sales-filho/>. Acesso em: 26 mai. 2021.

ALCÂNTARA, L. R. P. de; FRANÇA NETO, J. M. de; BARROS, V. H. de O.; VILA NOVA, A. A.; COUTINHO, A. P.; ANTONINO, A. C. D. Utilização do sistema de informação geográficas (SIG) no projeto de barragens: estudo de caso na mata sul de Pernambuco. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**. Vol. 6. João Pessoa: Congestas 2018. Disponível em: <http://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2018/trabalhos/pdf/congestas2018-et-05-005.pdf>. Acesso em: 26 mai. 2021.

ALMEIDA, L. Q. de. **Riscos ambientais e vulnerabilidades nas cidades brasileiras: conceitos, metodologias e aplicações**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. (Coleção PROPG Digital - UNESP). ISBN 9788579832895.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ALY, A.; JENSEN, S. S.; PEDERSEN, A. B. Solar power potential of Tanzania: identifying csp and pv hot spots through a gis multicriteria decision making analysis. **Renewable Energy**, [S.L.], v. 113, p. 159-175, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.077>.

AMORIM, J. M. B. dos S.; BEZERRA, S. de T. M.; SILVA, M. M.; SOUSA, L. C. O. de. Multicriteria Decision Support for Selection of Alternatives Directed to Integrated Urban Water Management. **Water Resources Management**, [S.L.], v. 34, n. 13, p. 4253-4269, 26 set. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-020-02671-9>.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água**. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/atlas/forms/analise/Geral.aspx?est=17&mapa=diag>. Acesso em: 18 out. 2020.

\_\_\_\_\_. **Atlas das Águas aponta necessidade de investimentos de R\$ 70 bi em água e esgoto no Brasil até 2025**. 2019. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/atlas-das-aguas-aponta-necessidade-de.2019-03-15.1798346601>. Acesso em: 21 mai. 2020.

\_\_\_\_\_. **Balanço das águas**. Publicação Anual da Agência Nacional de Águas - Nº 4. Brasília, 2015. Disponível em: [http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/BalancodasAguas/Balanco\\_das\\_aguas\\_2014-2015.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/BalancodasAguas/Balanco_das_aguas_2014-2015.pdf). Acesso em: 08 nov. 2019.

\_\_\_\_\_. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual**. Brasília: ANA, 2018. 72p.: il.

\_\_\_\_\_. **Cuidando das águas:** soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos. Agência Nacional de Águas, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: ANA, 2011. 154 p.: il.

ANAGNOSTOPOULOS, K. P.; VAVATSIKOS, A. P.; SPIROPOULOS, N.; KRAIAS, I. Land suitability analysis for natural wastewater treatment systems using a new GIS add-in for supporting criterion weight elicitation methods. **Operational Research**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 91-108, 19 jun. 2009. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12351-009-0055-5>.

ANANE, M.; BOUZIRI, L.; LIMAM, A.; JELLALI, S. Ranking suitable sites for irrigation with reclaimed water in the Nabeul-Hammamet region (Tunisia) using GIS and AHP-multicriteria decision analysis. **Resources, Conservation And Recycling**, [S.L.], v. 65, p. 36-46, ago. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.05.006>.

ANAS, Agência Nacional de Água e Saneamento. **Estratégia de comunicação para a mudança de comportamentos em água, saneamento e higiene**. Cidade da Praia, Cabo Verde, 2015. Disponível em: <http://www.anas.gov.cv/index.php/publicacoes/20-estrategia-social-e-de-genero-para-mudanca-de-comportamento-em-agua-saneamento-e-higiene-esgas/file#:~:text=Estrat%C3%A9gia%20de%20Comunica%C3%A7%C3%A3o%20para%20a%20Mudan%C3%A7a%20de%20Comportamentos%20em%20%C3%A1gua,os%20objectivos%20de%20comunica%C3%A7%C3%A3o%2C%20as>. Acesso em: 13 ago. 2020.

ANDRADE, L. M. S. de; BLUMENSCHHEIN, R. N. Cidades sensíveis à água: cidades verdes ou cidades compactas, eis a questão?. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, [S.L.], n. 10, p. 59-76, 31 dez. 2013. Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo - Univ. de Brasília. <http://dx.doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n10.2013.12124>.

ANDREOLI, C. V.; ANDREOLI, F. de N.; DONHA, A. G.; KOTINDA, A. C. P. A relação da qualidade e quantidade da água no ambiente urbano e rural. In: ANDREOLI, C. V. TORRES, P. L. (org.) **Complexidade: redes e conexões do ser sustentável**. Curitiba: SENAR – PR, 2014. Cap. 29. p. 493-510.

APAC, Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Boletim do monitoramento dos reservatórios**. 2020. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/uploads/Boletim-Monitoramento-Reservatorios-29-10-2020.pdf>. Acesso em: 31 out. 2020.

ARRIAL, M.; ARRIAL, L. Pensamentos sobre centros urbanos resilientes. **Revista Thema**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 318-328, 23 maio 2017. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia Sul-Rio-Grandense. <http://dx.doi.org/10.15536/thema.14.2017.318-328.382>.

ANGOLA. Ministério da Energia e Águas. Direcção Nacional de Abastecimento de Água e Saneamento. **Modelo de gestão comunitária de água**. Luanda, Angola: Development Workshop Angola, 2013. Disponível em: [http://dw.angonet.org/sites/default/files/online\\_lib\\_files/AGUA-MoGeCa\\_0.pdf](http://dw.angonet.org/sites/default/files/online_lib_files/AGUA-MoGeCa_0.pdf). Acesso em: 30 ago. 2020.

ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; DIAS, I. C. S.; GADELHA, C. L. M. Viabilidade econômica e aceitação social do aproveitamento de águas pluviais em residências na cidade de João Pessoa. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 41-54, abr./jun. 2008.

AUSTRALIA. NWI, National Water Initiative. **Intergovernmental Agreement on a National Water Initiative**: Between the Commonwealth of Australia and the Governments of New South Wales, Victoria, Queensland, South Australia, the Australian Capital Territory and the Northern Territory. 2004. Disponível em: <https://www.agriculture.gov.au/sites/default/files/sitecollectiondocuments/water/Intergovernmental-Agreement-on-a-national-water-initiative.pdf>. Acesso em: 6 nov. de 2019.

BACH, P. M.; DELETIC, A.; URICH, C.; MCCARTHY, D.T. Modelling characteristics of the urban form to support water systems planning. **Environmental Modelling & Software**, [S.L.], v. 104, p. 249-269, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.02.012>.

BARLOW, M.; LEVY-BENCHETON, C. **Smart Cities, Smart Future**: showcasing tomorrow. [S.L.]: Wiley, 2018. 336 p.

BARREDO, J. I.; BOSQUE-SENDRA, J. **Comparison of multi-criteria evaluation methods integrated in geographical information systems to allocate urban areas**. Department of

Geography, Universidad de Alcalá de Henares, Spain, 2004. Disponível em: [https://pdfs.semanticscholar.org/d024/625bc7c8aa1ad0ae6a4f25a19da979711b51.pdf?\\_ga=2.5974833.320598967.1598572596-586885419.1598572596](https://pdfs.semanticscholar.org/d024/625bc7c8aa1ad0ae6a4f25a19da979711b51.pdf?_ga=2.5974833.320598967.1598572596-586885419.1598572596). Acesso em: 21 ago. 2020.

BARROS, M. de B.; RUFINO, I. A. A.; MIRANDA, L. I. B. Mecanismos poupadores de água como suporte ao planejamento urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 251-262, 25 fev. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p251-262>.

BATTAUS, D. M. de A.; OLIVEIRA, E. A. B. de. O direito à cidade: urbanização excludente e a política urbana brasileira. **Lua Nova**, São Paulo, n. 97, p. 81-106, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-6445081-106/97>.

BATTY, M.; AXHAUSEN, K. W.; GIANNOTTI, F.; POZDNOUKHOV, A.; BAZZANI, A.; WACHOWICZ, M.; OUZOUNIS, G.; PORTUGALI, Y. Smart cities of the future. **The European Physical Journal Special Topics**, [S.L.], v. 214, n. 1, p. 481-518, nov. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1140/epjst/e2012-01703-3>.

BEDIAKO, I. A.; ZHAO, X.; ANTWI, H. A.; MENSAH, C. N. Urban water supply systems improvement through water technology adoption. **Technology In Society**, [S.L.], v. 55, p. 70-77, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techsoc.2018.06.005>.

BEZERRA, S. de T. M.; CHEUNG, P. B. **Perdas de água: tecnologias de controle**. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013. 220p. ISBN: 978-85-237-0701-9

BÍBLIA JOVEM. São Paulo – SP: Sociedade Bíblica do Brasil, 2002. 1632p.

BRAGA, B.; GOBETTI, L. Análise multiobjetivo. In: PORTO, R. L. L. (org.). **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. p. 361-420.

BRASIL. **A Questão da Água no Nordeste**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Agência Nacional de Águas. Brasília, DF: CGEE, 2012. p.; il. ISBN 978-85-60755-45-5

\_\_\_\_\_. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Lex:** Atos do Poder Legislativo. Brasília, 08 jan. 2007. Seção 1. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm). Acesso em: 16 out. 2019.

\_\_\_\_\_. Lei nº 14026, de 15 de julho de 2020. **Lex:** Atos do Poder Legislativo. 135. ed. Brasília, 16 jul. 2020. Seção 1. Disponível em: <https://in.gov.br/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>. Acesso em: 17 ago. 2020.

\_\_\_\_\_. MCTI, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Recursos hídricos em regiões semiáridas:** Estudos e aplicações. Editores: Hans Raj Gheyi, Vital Pedro da Silva Paz, Salomão de Sousa Medeiros, Carlos de Oliveira Galvão - Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2012. 258 p.: il.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento Regional. SNS, Secretaria Nacional de Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento:** 3º Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas – 2018. Brasília: MDR/SNS, 2019. 195 p.: il.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento Regional. SNS, Secretaria Nacional de Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento:** Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017. Brasília: MDR/SNS, 2019. 226 p.: il.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Política e plano municipal de saneamento básico:** convênio Funasa/Assemae. 2. ed. Brasília: Funasa, 2014. 188 p.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano.** Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p. Série B. Textos Básicos de Saúde.

BRAZIL, J. L. S. **Eventos pluviais extremos e risco de inundações na cidade de Aracaju/SE.** 2016. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGeo, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa – POSGRAP, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2016.

BRENTAN, B. M.; LIMA, G. M.; ZUFFO, A. C.; LUVIZOTTO JUNIOR, E. Dimensionamento de redes de distribuição de água por meio de análise multicriterial. **Revista Dae**, [S.L.], v. 221, n. 68, p. 118-130, 2019. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.36659/dae.2020.010>.

BROWN, R. R.; KEATH, N.; WONG, T. H. F. Urban water management in cities: historical, current and future regimes. **Water Science And Technology**, [S.L.], v. 59, n. 5, p. 847-855, 1 mar. 2009. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2009.029>.

BROWN, R.; ROGERS, B.; WERBELOFF, L. **Moving toward Water Sensitive Cities: a guidance manual for strategists and policy makers**. Melbourne, Australia: Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities, 2016.

CALADO, C. B.; MIRANDA, G. M. S. “RUMO À CIDADE VERTICAL” (Re)conhecendo transformações urbanas em Caruaru-PE de 2000 a 2017. *In: XVIII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação em Pesquisa Em Planejamento Urbano E Regional*, 2019, Natal. **Anais XVIII ENANPUR 2019**. Natal: ANPUR, 2019. p. 1-22.

CALADO, C. B.; LOIOLA, D. B.; ASSIS, B. R. de; TEIXEIRA, N. M. M. Os caminhos do crescimento urbano e territorial de Caruaru-PE. *In: Anais da Mostra de Pesquisa em Ciência e Tecnologia 2017*. **Anais...** Fortaleza (CE) DeVry Brasil - Damásio - Ibmec, 2019. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/mpct2017/45520-OS-CAMINHOS-DO-CRESCIMENTO-URBANO-E-TERRITORIAL-DE-CARUARU-PE>. Acesso em: 27 nov. 2019.

CALIJURI, M. L.; MELO, A. L. O.; LORENTZ, J. F. Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão. **Revista de Informática Pública**, v.4, n.2, p.23-250, 2002.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. (ed). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso em: 22 nov. 2019.

CAMARGO, D. M. de; SOUZA, N. M.; PACHECO, T. C. K. F.; ALCÂNTARA, G. C.; DOTA, E. M. Modelagem geoespacial para identificação de áreas vulneráveis ao contágio por doenças relacionadas a falta de saneamento: o caso da região metropolitana de campinas. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 69, p. 561-573, jan. 2017. Trimestral.

CAMPOS, V. R. **Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento**. 2011. 175 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CAPODAGLIO, A. G.; CALLEGARI, A.; CECCONET, D.; MOLOGNONI, D. Sustainability of decentralized wastewater treatment technologies. **Water Practice And Technology**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 463-477, 1 jun. 2017. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wpt.2017.055>.

CARAGLIU, A.; DEL BO, C.; NIJKAMP, P. Smart Cities in Europe. **Journal Of Urban Technology**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 65-82, abr. 2011. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10630732.2011.601117>.

CARUARU (Município). Lei Complementar nº 72, de 30 de dezembro de 2019. Institui o Plano Diretor do município de Caruaru e dá outras providências. **Lei Complementar Nº 72**. Caruaru, Disponível em: <https://caruaru.pe.gov.br/wp-content/uploads/2020/01/Plano-Diretor-de-Caruaru-Lei-Complementar-72.19-30.12.2019.pdf>. Acesso em: 27 maio 2021.

CARVALHO, G. **Cenários futuros para cidades inteligentes**. 1ª Edição. São Paulo: Trilha Treinamento e Consultoria, 2019. ISBN 978-65-80750-00-9.

CAVALCANTI, N. de B.; OLIVEIRA, C. A. V. de; BRITO, L. T. de L.; RESENDE, G. M. Avaliação do uso de técnicas de captação de água de chuva na região semiárida do Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 3, n. 3, p. 403-407, dez. 1999. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v3n3p403-407>.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 22, n. 63, p. 61-82, 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142008000200005>.

CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CAMPOS, J. N. B. A questão da água no Semiárido brasileiro. In: BICUDO, C. E. de M.; TUNDISI, J. G.; SCHEVENSTUHL, M. C. B. (org.). **Águas no Brasil: análises estratégicas**. São Paulo: Academia Brasileira de Ciências, 2010. Cap. 5. p. 79-91.

CIRILO, J. A.; ALVES, F. H. B.; SILVA, L. A. C.; CAMPOS, J. H. A. L. Suporte de informações georreferenciadas de alta resolução para implantação de infraestrutura e planejamento territorial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 07, n. 04, p.755-763, nov. 2014. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v7.4.p755-763>

CLOSAS, A.; SCHURING, M.; RODRIGUEZ, D. **Integrated Urban Water Management: lessons and recommendations from regional experiences in Latin America, Central Asia, and Africa**. Washington, DC: The World Bank, 2012. Disponível em: <https://documents.worldbank.org/pt/publication/documents-reports/documentdetail/999601468276884552/integrated-urban-water-management-lessons-and-recommendations-from-regional-experiences-in-latin-america-central-asia-and-africa>. Acesso em: 11 out. 2020.

CNM, Confederação Nacional de Municípios. **Decretações de anormalidades causadas por desastres nos Municípios Brasileiros**. 2018. Disponível em: [https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca\\_antiga/Preju%C3%ADzos%20causados%20por%20desastres%20naturais%20-%202012%20a%202015%20\(2016\).pdf](https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca_antiga/Preju%C3%ADzos%20causados%20por%20desastres%20naturais%20-%202012%20a%202015%20(2016).pdf). Acesso em: 18 out. 2020.

\_\_\_\_\_. **Saneamento Básico: Avanços Necessários**. 1ª ed. – Brasília: CNM, 2019 46 páginas. ISBN 978-85-8418-119-3

COELHO, A. C. Medição Individual de Água em Apartamentos. In: **Seminário hispanobrasileiro sobre sistemas de abastecimento de água**, 2002, João Pessoa. Anais eletrônicos. João Pessoa: UFPB, 2002. Disponível em:

[http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/trabalhos/A17\\_25.pdf](http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/trabalhos/A17_25.pdf). Acesso em: 23 out. 2020.

COELHO, I. C. L.; SANTANA, R. de A.; BEZERRA, S. de T. M.; RIBEIRO, A. A. da S.; VASCONCELOS, H. X. T. Caracterização de um sistema de abastecimento público de água diante da escassez hídrica. 2018. In: 29º Congresso Técnico AESabesp. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2019/03/9909.pdf>. Acesso em 27 mai. 2021.

COMPESA, Companhia Pernambucana de Saneamento. **Compesa reduz rodízio na cidade de Caruaru**. 2020. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/compesa-reduz-rodizio-na-cidade-de-caruaru/>. Acesso em: 21 jan. 2021.

\_\_\_\_\_. **Planos Regionais de Saneamento Básico das Bacias Hidrográficas do Rio Ipojuca e do Rio Capibaribe**. Recife: COMPESA, Consórcio ENGECORPS, TYPESA, TPF, 2018. 240p. Disponível em: [https://servicos.compesa.com.br/wp-content/uploads/2020/12/1373-COM-01-SA-RT-0004-R2-Ipojuca\\_VolumeI.pdf](https://servicos.compesa.com.br/wp-content/uploads/2020/12/1373-COM-01-SA-RT-0004-R2-Ipojuca_VolumeI.pdf). Acesso em: 12 mar. 2021.

\_\_\_\_\_. **Resposta ao PAI (Pedido de acesso à informação) nº 201997148**. Cumprindo os requisitos da Lei de Acesso à Informação nº 14.804 de 29 de outubro de 2012 e Decreto Estadual que regulamenta a LAI nº 38.787 de 30 de outubro de 2012, informamos os dados solicitados acerca do município de Caruaru. 2019.

\_\_\_\_\_. **Sistema de Esgotamento Condominial é a tecnologia adotada nas obras do PSA Ipojuca**. 2016. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/sistema-de-esgotamento-condominial-e-a-tecnologia-adotada-nas-obras-do-psa-ipojuca/>. Acesso em: 18 set. 2020.

\_\_\_\_\_. **Sistema Pirangi vai reforçar abastecimento de água em Caruaru**. 2016. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/sistema-pirangi-vai-reforcar-abastecimento-de-caruaru/>. Acesso em: 10 dez. 2019.

CORDÃO, M. J. de S. **Modelagem e otimização da disposição espacial de unidades de reservação em redes de distribuição de água utilizando geotecnologias**. 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro

de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

CORDÃO, M. J. de S.; RUFINO, I. A. A.; ALVES, P. B. R.; BARROS FILHO, M. N. M. Water shortage risk mapping: a GIS-MCDA approach for a medium-sized city in the brazilian semi-arid region. **Urban Water Journal**, [S.L.], v. 17, n. 7, p. 642-655, 8 ago. 2020. Informa UK Limited. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1804596>

CORDÃO, M. J. de S.; RUFINO, I. A. A.; ARAÚJO, E. L. de. Geotecnologias aplicadas ao planejamento de sistemas de abastecimento de água urbanos: uma proposta metodológica. **Engenharia Sanitária Ambiental**. [S.L.] v. 18 n. 3, p. 263-274, 22 jul. 2013.

COSTA, A. G. **Sistemas de abastecimento de água**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Fortaleza: MMA/ANA, 2015. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/1046>. Acesso em: 16 jun. 2020.

DeOREO, B.; MAYER, P.; DZIEGIELEWSKI, B.; KIEFER, J. **Residential End Uses of Water**, Version 2. Water Research Foundation, 2016. ISBN 978-1-60573-235-0. Disponível em: <https://www.redwoodenergy.tech/wp-content/uploads/2017/07/4309B-June-16-2016.pdf>. Acesso em: 08 out. 2020.

DIÁRIO DE PERNAMBUCO. **Moradores de Caruaru fecham rodovia federal para protestar contra falta de água**. 2020. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2020/04/moradores-de-caruaru-fecham-rodovia-federal-para-protestar-contr-falt.html>. Acesso em 26 mai. 2021.

\_\_\_\_\_. **Racionamento de água em Caruaru é reduzido em cinco dias**. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2017/06/acionamento-de-agua-em-caruaru-e-reduzido-em-cinco-dias.html>. Acesso em: 26 mai. 2021.

DIRKS, S.; KEELING, M. **A Vision of Smarter Cities**: how cities can lead the way into a prosperous and sustainable future. Somers, NY: IBM Global Business Services, 2009.

DOBBIE, M. F.; BROWN, R. R.; FARRELLY, M. A. Risk governance in the water sensitive city: practitioner perspectives on ownership, management and trust. **Environmental Science & Policy**, [S.L.], v. 55, p. 218-227, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2015.10.008>.

ELLIS, J. B.; LUNDY, L. Implementing sustainable drainage systems for urban surface water management within the regulatory framework in England and Wales. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 183, p. 630-636, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.022>.

EASTMAN, R.; JIN, W.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. Rasters procedures for Multicriteria/multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, [S.L.], v. 61, n. 5, p. 539-547, jan. 1995.

EASTMAN, J. R. Multi-criteria evaluation and GIS. *In*: LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Geographical Information Systems: principles and technical issues**. Volume 1, 2a. Ed., New York: John Wiley & Sons, Inc, 1999. Chapter 35, p. 493-502.

FASOLA, G. B.; GHISI, E.; MARINOSKI, A. K.; BORINELLI, J. B. Potencial de economia de água em duas escolas em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 65-78, dez. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212011000400006>.

FERGUSON, B. C.; FRANTZESKAKI, N.; BROWN, R. R. A strategic program for transitioning to a Water Sensitive City. **Landscape And Urban Planning**, [S.L.], v. 117, p. 32-45, set. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.04.016>.

FERNÁNDEZ, D. S.; LUTZ, M. A. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. **Engineering Geology**, [S.L.], v. 111, n. 1-4, p. 90-98, fev. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.12.006>.

FERNANDEZ-ANEZ, V.; VELAZQUEZ-ROMERA, G. **Smart Cities: Concept & Challenges**. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid, 2015. Disponível em:

[https://institute.eib.org/wp-content/uploads/2017/02/2017\\_0131-ASCIMER-DELIVERABLE-1A-CONCEPT-CHALLENGES.pdf](https://institute.eib.org/wp-content/uploads/2017/02/2017_0131-ASCIMER-DELIVERABLE-1A-CONCEPT-CHALLENGES.pdf). Acesso em: 10 nov. 2019.

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**, [S.L.], v. 12, n. 7, p. 525-542, 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/1573062x.2014.916314>.

FLOYD, J.; IAQUINTO, B. L.; ISON, R.; COLLINS, K. Managing complexity in Australian urban water governance: transitioning sydney to a water sensitive city. **Futures**, [S.L.], v. 61, p. 1-12, set. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.futures.2014.04.002>.

FRANÇA, M. V. de; MEDEIROS, R. M. de; HOLANDA, R. M. de; SILVA, V. de P.; FERRAZ, J. X. V.; SOBRAL, D. de M. Aptidão Climática para o Cultivo da Banana em Caruaru-PE, Brasil. **Journal Of Environmental Analysis And Progress**, [S.L.], v. 3, n. 3, p. 265-274, 29 jun. 2018. Journal of Environmental Analysis and Progress - JEAP. <http://dx.doi.org/10.24221/jeap.3.3.2018.1841.265-274>.

FONSECA, J. E. **Implantação de cisternas para armazenamento de água de chuva e seus impactos na saúde infantil**: um estudo de coorte em berilo e chapada do norte, minas gerais. 2012. 263 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

FONSECA, S. F. da. **QGIS na Prática**: Tutoriais e Aplicações. Edição do autor, 2020. 128 p.

FUNASA, Fundação Nacional de Saúde. **Manual de orientações técnicas para elaboração e apresentação de propostas e projetos para sistemas de esgotamento sanitário – Funasa**. Portaria Funasa nº 526, de 6 de abril de 2017. 2017. Disponível em: [http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL\\_PROPOSTAS\\_SES\\_10\\_03\\_2017.pdf/0f872826-26af-4a96-b448-72e71615f0c6](http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL_PROPOSTAS_SES_10_03_2017.pdf/0f872826-26af-4a96-b448-72e71615f0c6). Acesso em: 9 set. 2020.

\_\_\_\_\_. **Manual de saneamento**. 3ª ed. revisada. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p. il.

\_\_\_\_\_. **Manual de saneamento**. 4ª ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2015. 642 p. il. Disponível em: [http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/Mnl\\_Saneamento.pdf/ae1d4eb7-afe8-4e70-ae9a-0d2ae24b59ea](http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/Mnl_Saneamento.pdf/ae1d4eb7-afe8-4e70-ae9a-0d2ae24b59ea). Acesso em: 6 set. 2020.

\_\_\_\_\_. **Manual de saneamento**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. 5ª ed. Brasília: Funasa, 2019. 545 p.: il. ISBN 978-85-7346-060-5

GDOURA, K.; ANANE, M.; JELLALI, S. Geospatial and AHP-multicriteria analyses to locate and rank suitable sites for groundwater recharge with reclaimed water. **Resources, Conservation And Recycling**, [S.L.], v. 104, p. 19-30, nov. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.09.003>.

GHORBANZADEH, O.; FEIZIZADEH, B.; BLASCHKE, T. Multi-criteria risk evaluation by integrating an analytical network process approach into GIS-based sensitivity and uncertainty analyses. **Geomatics, Natural Hazards And Risk**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 127-151, 20 dez. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/19475705.2017.1413012>.

GIFFINGER, R.; FERTNER, C.; KRAMAR, H.; KALASEK, R.; PICHLER-MILANOVIC, N.; MEIJERS, E. **Smart Cities: Ranking of European Medium-Sized Cities**. Centre of Regional Science (SRF). Vienna, Austria: Vienna University of Technology, 2007.

GLOBO. **Compesa suspende abastecimento de água em cidades do Agreste e bairros de Caruaru**. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/2021/02/14/compesa-suspende-abastecimento-de-agua-em-cidades-do-agreste-e-bairros-de-caruaru.ghtml>. Acesso em: 26 mai. 2021.

GLOBO. **Moradores reclamam de esgoto estourado em bairro de Caruaru**. 2019. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/7298601/>. Acesso em: 26 mai. 2021.

GODOI, W. da C. Método de construção das matrizes de julgamento paritários no AHP: método do julgamento holístico. **Revista Gestão Industrial**, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 474-493, 19 dez. 2014. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). <http://dx.doi.org/10.3895/s1808-04482014000300001>.

GOMES, H. P. (org.). **Sistemas de Saneamento: Eficiência Energética**. 1ª Ed. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2010. 366p. ISBN 978-85-7745-607-9.

GOMES, K. G. A. **Um método multicritério para localização de unidades celulares de intendência da FAB**. 2009. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

GOMES, L. F. A. M. **Teoria da decisão**. São Paulo: Thomson, 2007. Coleção Debates em Administração.

GONÇALVES, R. F. (coo.). **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 2009 352p.: il.

GRIMALDI, D. **New forms of entrepreneurship and innovation for developing smart cities**. Thesis (Doctorate): program in Business Administration and Management, Universitat Politècnica de Catalunya – BarcelonaTech. Catalunya, 2016.

GUMUSAY, Mustafa Umit; KOSEOGLU, Gokalp; BAKIRMAN, Tolga. An assessment of site suitability for marina construction in Istanbul, Turkey, using GIS and AHP multicriteria decision analysis. **Environmental Monitoring And Assessment**, [S.L.], v. 188, n. 12, p. 661-677, 17 nov. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-016-5677-5>.

HELLER, L. **Saneamento e Saúde**. Brasília: OPAS/OMS - Representação do Brasil, 1997.

HOANG, L.; FENNER, R. A. System interactions of stormwater management using sustainable urban drainage systems and green infrastructure. **Urban Water Journal**, [S.L.], v. 13, n. 7, p. 739-758, 27 maio 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/1573062x.2015.1036083>.

HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, [S.L.], v. 4, p. 1–23, 1973. 10.2307/2096802

HUBBARD, B.; SARISKY, J.; GELTING, R.; BAFFIGO, V.; SEMINARIO, R.; CENTURION, C. A community demand-driven approach toward sustainable water and sanitation infrastructure development. **International Journal Of Hygiene And Environmental Health**, [S.L.], v. 214, n. 4, p. 326-334, jul. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2011.05.005>.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2010/inicial>. Acesso em: 3 fev. 2020.

\_\_\_\_\_. Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Perfil dos municípios brasileiros: gestão do saneamento básico, abastecimento de água e esgotamento sanitário - 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 51 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101735>. Acesso em: 22 jul. 2020.

\_\_\_\_\_. Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2017: abastecimento de água e esgotamento sanitário**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 124 p.: il. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101734>. Acesso em: 22 jul. 2020.

\_\_\_\_\_. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2020**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=28674&t=resultados>. Acesso em: 27 ago. 2020.

\_\_\_\_\_. **Monografias municipais: Nordeste, Pernambuco, Caruaru**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=72980>. Acesso em: 21 nov. 2019.

\_\_\_\_\_. **Projeção da população/Nota técnica.** Rio de Janeiro, IBGE: 2013. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/notatecnica.html>. Acesso em 13 mar. 2020.

\_\_\_\_\_. OLIVEIRA, L. A. P.; OLIVEIRA, A. T. R. (org.). **Reflexões sobre os deslocamentos populacionais no Brasil.** Rio de Janeiro, RJ, 2011.

IWA, The International Water Association. **Action Agenda Basin-Connected Cities:** influencing and activating urban stakeholders to be water stewards in their basins. London, 2018. Disponível em: <https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2017/10/ActionAgendaforBasinConnectedCities.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2019.

JACOBSEN, M.; WEBSTER, M.; VAIRAVAMOORTHY, K. (eds.). **The Future of Water in African Cities:** Why waste Water? Washington, DC: The World Bank, 2012.

JHA, M. K.; CHOWDARY, V.M.; KULKARNI, Y.; MAL, B. C. Rainwater harvesting planning using geospatial techniques and multicriteria decision analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, [S.L.], v. 83, p. 96-111, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.12.003>.

JORNAL DO COMÉRCIO. **Compesa interrompe abastecimento de água em bairros de Caruaru.** 2020. Disponível em: <https://interior.ne10.uol.com.br/noticias/2020/11/28/compesa-interrompe-abastecimento-de-agua-em-bairros-de-caruaru-veja-locais-199589>. Acesso em: 26 mai. 2021.

KANTER, R. M.; LITOW, S. S. **Informed and interconnected:** A manifesto for smarter cities. Harvard Business School General Management Unit. Paper No. 09-141, jun. 2009. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1420236>

KEENER, J. P. The Perron–Frobenius Theorem and the Ranking of Football Teams. **Siam Review**, [S.L.], v. 35, n. 1, p. 80-93, mar. 1993. Society for Industrial & Applied Mathematics (SIAM). <http://dx.doi.org/10.1137/1035004>.

KIM, J.; JOO, J. Evaluation of Low Impact Development using EPA SWMM-LID Modeling. **EPiC Series in Engineering**, [S.L.], v. 3, p. 1078–1080, 2018. 13<sup>th</sup> International Conference on Hydroinformatics. EasyChair. <http://dx.doi.org/10.29007/k8gk>.

KOBIYAMA, M.; MOTA, A. de A.; CORSEUIL, C. W. **Recursos hídricos e saneamento**. 1<sup>a</sup> ed. Curitiba: Organic Trading, 2008. 160p. ISBN - 978-85-87755-04-9.

KRAFT, L.; BARKDOLL, Brian D. Effect of reservoir elevation on energy consumption in water distribution systems. **Urban Water Journal**, [S.L.], v. 17, n. 3, p. 266-272, 15 mar. 2020. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/1573062x.2020.1758165>.

KUNZMANN, K. R. Smart cities: a new Paradigm of urban development. **Crios**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 9-20, 2014. <http://dx.doi.org/10.7373/77140>.

LADWP, Los Angeles Department of Water & Power. **One Water LA 2040 Plan**. Volume 1. Final draft. Los Angeles, 2018. Disponível em: [https://www.lacitysan.org/cs/groups/sg\\_owla/documents/document/y250/mdi2/~edisp/cnt026188.pdf](https://www.lacitysan.org/cs/groups/sg_owla/documents/document/y250/mdi2/~edisp/cnt026188.pdf). Acesso em: 10 nov. 2019.

LEDENT, J. Rural-urban migration, urbanization and economic development. **Economic development and cultural change**, [S.L.], v. 30, n. 3, p. 507-538, abr. 1982. University of Chicago Press. <http://dx.doi.org/10.1086/452574>.

LEE, A. H. I.; CHEN, W.; CHANG, C. A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. **Expert Systems With Applications**, [S.L.], v. 34, n. 1, p. 96-107, jan. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2006.08.022>.

LEITE, A. C. C. **Identificação e levantamento do estado de conservação de nascentes a partir de índices ambientais utilizando dados espaciais de alta resolução do projeto Pernambuco Tridimensional (PE3D)**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

LIBERDADE FM. **Esgotos estourados prejudicam moradores da Vila Teimosa, em Caruaru**. 2020. Disponível em: <https://liberdade.com.br/2020/04/28/esgotos-estourados-prejudicam-moradores-da-vila-teimosa-em-caruaru/>. Acesso em: 26 mai. 2021.

LIMA, K. L. B. de A.; NUNES, L. G. C. F.; SILVA, S. R. da. Análise da viabilidade de implantação de captação de águas pluviais em escola pública no Recife-PE. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, [S.L.], v. 5, n. 36, p. 1-17, 2017.

LOMBARDI, P.; GIORDANO, S.; FAROUH, H.; YOUSEF, W. Modelling the smart city performance. **Innovation: The European Journal of Social Science Research**, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 137-149, jun. 2012. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/13511610.2012.660325>.

LOPES, E. A.; MENDONÇA, F. Urbanização e recursos hídricos: conflitos socioambientais e desafios à gestão urbana na franja leste da região metropolitana de Curitiba (RMC) - Brasil. *In: VI Seminário Latino Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero Americano de Geografia Física*, 2010, Coimbra. **Seminários**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010. p. 1-14.

LOPES, G. B. **Estudo de viabilidade técnica do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis na Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia (MG)**. 2012. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

LOPES, N. V. Smart governance: a key factor for smart cities implementation. **2017 IEEE International Conference On Smart Grid And Smart Cities (ICSGSC)**, Guimarães, Portugal, p. 277-282, jul. 2017. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/icsgsc.2017.8038591>.

LÜTHI, C.; PANESAR, A.; SCHÜTZE, T.; NORSTRÖM, A.; MCCONVILLE, J.; PARKINSON, J.; SAYWELL, D.; INGLE, R. **Sustainable sanitation in cities: a framework for action**. 1ª ed. Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA) & International Forum on Urbanism (IFoU). The Netherlands: Papyroz Publishing House; 2011. 148p. ISBN: 978-90-814088-4-4

MAFTUHAH, D I; ANITYASARI, M; SHOLIHAN, M. Model of urban water management towards water sensitive city: a literature review. **Iop Conference Series: Materials Science and Engineering**, [S.L.], v. 337, p. 47-55, abr. 2018. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/337/1/012047>.

MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; PAULO, P. L. Abastecimento de água, esgotamento doméstico e aspectos de saúde em comunidades Quilombolas no Estado de Mato Grosso do Sul. **Interações (Campo Grande)**, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, v. 18, n. 2, p. 103-116, 30 maio 2017. Universidade Católica Dom Bosco. <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v18i2.1435>.

MAGUIRI, A. E.; KISSI, B.; IDRISSE, L.; SOUABI, S. Landfill site selection using GIS, remote sensing and multicriteria decision analysis: case of the city of mohammedia, morocco. **Bulletin Of Engineering Geology And The Environment**, [S.L.], v. 75, n. 3, p. 1301-1309, 10 maio 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10064-016-0889-z>.

MALCZEWSKI, J.; RINNER, C. Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science. **Advances In Geographic Information Science**, [S.L.], 335p, 2015. Springer Berlin Heidelberg. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-74757-4>.

MARA, D. D.; ALABASTER, G. A new paradigm for low-cost urban water supplies and sanitation in developing countries. **Water Policy**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 119-129, 1 abr. 2008. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wp.2008.034>.

MARENGO, J. A. Como as pesquisas das universidades podem ajudar na prevenção de desastres naturais? In: Cadernos Adenauer XVI, nº 2. **Cidades resilientes**. Rio de Janeiro: Fundação Konrad Adenauer, 2015. p. 39-56.

MELO, J. C. **The Experience of Condominial Water and Sewerage Systems in Brazil**: Case Studies from Brasília, Salvador and Parauapebas. Lima, Peru: Water and Sanitation Program Latin America, 2005. Disponível em: <https://www.wsp.org/sites/wsp/files/publications/BrasilFinal2.pdf>. Acesso em 22 set. 2020.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos**: Princípios, integração e aplicação. 2ª edição revisada e ampliada. Porto Alegre: ABRH, 2013. 576p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). **Processos de tratamento de esgotos**: guia do profissional em treinamento - nível 1. Brasília: Ministério das Cidades, 2008. 72 p.

MOLTZ, H. L. N.; WALLACE, CC. W.; SHARIFI, E.; BENCALA, K. Integrating sustainable water resource management and land use decision-making. **Water** **2020**, [S.L.], v. 12, 2282, 13 aug. 2020. doi:10.3390/w12082282

MSUYA, T. S.; LALIKA, M. C. S. Linking Ecohydrology and Integrated Water Resources Management: institutional challenges for water management in the pangani basin, tanzania. **Ecohydrology & Hydrobiology**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 174-191, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecohyd.2017.10.004>.

NAPOLI, M.; CECCHI, S.; ORLANDINI, S.; ZANCHI, C. A. Determining potential rainwater harvesting sites using a continuous runoff potential accounting procedure and GIS techniques in central Italy. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 141, p. 55-65, jul. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2014.04.012>.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. **Using Graywater and Stormwater to Enhance Local Water Supplies**: An Assessment of Risks, Costs, and Benefits. Washington, DC: The National Academies Press, 2016. doi: 10.17226/21866.

NEJI, Hella Ben Brahim; TURKI, Sami Yassine. GIS – based multicriteria decision analysis for the delimitation of an agricultural perimeter irrigated with treated wastewater. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 162, p. 78-86, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.08.020>.

NOBREGA, G. D. P.; ANDRADE, L. M. S. de; LEMOS, N. da S. A pedagogia do ciclo da água urbano: formas de abordagem para promover cidades sensíveis à água. **Paranoá**: cadernos de arquitetura e urbanismo, [S.L.], n. 23, p. 112-126, 8 jul. 2019. Programa de Pós-graduação

em Arquitetura e Urbanismo - Univ. de Brasília. <http://dx.doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n23.2019.10>.

NOGUEIRA, D. Segurança hídrica, adaptação e gênero: o caso das cisternas para captação de água de chuva no semiárido brasileiro. **Sustentabilidade em Debate**, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 22-36, 29 dez. 2017. Editora de Livros IABS. <http://dx.doi.org/10.18472/sustdeb.v8n3.2017.26544>.

NUNES, D. M.; SILVA, L. P. da; FONSECA, P. L. da. Avaliação do papel dos telhados verdes no desenho e desenvolvimento urbano de baixo impacto ambiental e no controle de enchentes na Cidade do Rio de Janeiro. **Labor e Engenho**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 374, 23 set. 2017. Universidade Estadual de Campinas. <http://dx.doi.org/10.20396/labore.v11i3.8648820>.

OKEOLA, O. G.; SULE, B. F. Evaluation of management alternatives for urban water supply system using Multicriteria Decision Analysis. **Journal Of King Saud University - Engineering Sciences**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 19-24, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksues.2011.07.004>.

OLIVEIRA, A. A. A. de; CORRÊA, S. da S.; MARIANO, M. O. H.; BEZERRA, S. de T. M.; COELHO, I. C. L. Métodos multicritérios para seleção de áreas destinadas a aterros sanitários. **Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 425-440, 6 abr. 2021. Universidad Nacional Autonoma de Mexico. <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.1.71086>.

OLIVEIRA, A. F. C. S. de; BORJA, P. C.; OLIVEIRA, M. T. C. de; LOUREIRO, A. L.; SILVA, R. de M. L. Tecnologia de Sistemas Condominiais de Esgotos: Uma avaliação de sua aplicação em cidades de diferentes portes. In: BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **4º Caderno de pesquisa em engenharia de saúde pública**. Brasília: Funasa, 2013. 228 p.: il.

OLIVEIRA, A. G. **Crescimento urbano versus urbanidade**: Estudos sintáticos da espacialidade de Caruaru-PE. 157 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Artes e Comunicação. Recife, 2016.

OLIVEIRA, A. G.; AMORIM, L. M. de. Para aonde vamos? Análise dos processos e consequências do modelo de expansão urbana de Caruaru, Pernambuco. In: XVII Encontro

Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, 2017, São Paulo. **Anais XVII ENANPUR 2017**. São Paulo: ANPUR, 2017.

OLIVEIRA, S. C. S. de; SILVA, C. G. A. da; CARVALHO, V. S. de; BARBOSA, I. M. B. R.; FERREIRA, A. A.; WAMBERTO JÚNIOR, R. da S.; PAZ, D. H. F. Aproveitamento de água da chuva no IFPE - *Campus* Recife. **Revista Caravana - Diálogos entre Extensão e Sociedade**, v. 5, n.1, p.76-86, 2020. Editora IFPE. Disponível em: <http://caravana.ifpe.edu.br/index.php/caravana/article/view/440/pdf>. Acesso em: 5 set. 2020.

OMITAOMU, O. A.; BLEVINS, B. R.; JOCHEM, W. C.; MAYS, G. T.; BELLES, R.; HADLEY, S. W.; HARRISON, T. J.; BHADURI, B. L.; NEISH, B. S.; ROSE, A. N. Adapting a GIS-based multicriteria decision analysis approach for evaluating new power generating sites. **Applied Energy**, [S.L.], v. 96, p. 292-301, ago. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.11.087>.

OZIRANSKY, Y.; KALMAKOVA, A. G.; MARGOLINA, I. L. (2014). **Integrated scarce water resource management for a sustainable water supply in arid regions (the experience of the state of Israel)**. *Arid Ecosystems*, 4(4), 270–276. doi:10.1134/s207909611404009x

PASTORELLI JÚNIOR, J. H. **Estudo da sustentabilidade e resiliência urbana no contexto da redução de risco de desastres**. 247 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2018.

PE3D. Governo do Estado de Pernambuco. **Pernambuco tridimensional**. 2016. Disponível em: <http://www.pe3d.pe.gov.br/>. Acesso em: 12 mar. 2020.

PEDROSA, H. T. dos S. **Otimização em estação elevatória em sistemas de abastecimento de água buscando a eficiência energética**. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

PEREIRA, L. de S. **Abordagem multicritério para estabelecimento de prioridades gerenciais/comerciais para manutenção em sistemas de abastecimento com captação de água subterrânea**. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia

de Produção, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

PERERA, C. **Sensing as a Service for Internet of Things**: a roadmap. Leanpub Publishers, 2017.

PERNAMBUCO. APAC, Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Monitoramento hidrológico**. 2019. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/monitoramento/>. Acesso em: 14 dez. 2019.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH-Síntese**. Documento Síntese. Recife, 1998.

PHILIPPI JÚNIOR, A.; GALVÃO JÚNIOR, A. de C. (coordenadores). **Gestão do Saneamento Básico**: abastecimento de água e esgotamento sanitário. Barueri, SP: Manole, 2012. Coleção Ambiental.

PINHEIRO, J. Da Serra dos Cavalos ao Vale do Ipojuca (Caruaru/PE): águas e história ambiental no semiárido brasileiro. **Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC) revista de la Solcha**, v. 9, n. 2, p. 237-262, 13 dez. 2019. <https://doi.org/10.32991/2237-2717.2019v9i2.p237-262>

PINNTTO, M. R.s; CASTRO, M. A. H. de; BARBOSA, J. M. C.; MAIA JÚNIOR, J. V. F. Dimensionamento econômico otimizado de redes de distribuição de água considerando custos de manutenção. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 145-153, 27 out. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016140349>.

PORATH, P. H. M. Uso de análise multicritério para identificação de áreas potenciais para construção de marinas. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 1-24, 14 out. 2013. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v2e220133-26>.

QASHQO, B. **GIS-Based Multi-Criteria Decision Analysis for identifying water distribution points: a case study in lapilang & suspa regions, Nepal.** 41 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Geográficas, University of Salzburg, Vienna, 2018.

RAMOS, H. M.; TEYSSIER, C.; SAMORA, I.; SCHLEISS, A. J. Energy recovery in SUDS towards smart water grids: a case study. **Energy Policy**, [S.L.], v. 62, p. 463-472, nov. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.014>.

RAMOS, N. M. R. **Modelagem na gestão de sistemas hídricos integrados do semiárido brasileiro: estudo de caso do agreste pernambucano.** 2017. 145 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

REICHEL, B. I.; SHARVELLE, S.; ROESNER, L. A. **Development of the Integrated Urban Water Model.** WERF Project INFR4SGc. IWA Publishing, 2011.

REYMOND, P.; RENGGLI, S.; LÜTHI, C. Towards Sustainable Sanitation in an Urbanising World. **Sustainable Urbanization**, [S.L.], p. 115-134, 28 set. 2016. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/63726>.

RIGHETTO, A. M. (coordenador). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas.** Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 396p.: il.

RISSOLI, C. A.; NEDER, K. D.; MARTINS, M. M. F. **Sistemas condominiais de esgotamento sanitário: uma visão geral do processo.** Brasília: Caesb, 2011. p. 72.

RUFINO, I. A. A.; DJORDJEVIĆ, S.; BRITO, H. C. de; ALVES, P. B. R. Multi-Temporal Built-Up Grids of Brazilian Cities: how trends and dynamic modelling could help on resilience challenges? **Sustainability**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 748-768, 14 jan. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su13020748>.

RUFINO, I. A. A.; SILVA, S. T. da. Análise das relações entre dinâmica populacional, clima e vetores de mudança no semiárido brasileiro: uma abordagem metodológica. **Boletim de Ciências Geodésicas**, [S. L.], v. 23, n. 1, mar. 2017. ISSN 1982-2170.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, [S.L.] v. 1, n. 1, p. 83-98, jan. 2008. doi:10.1504/ijssci.2008.017590

SABESP, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Relatório de sustentabilidade 2019**. São Paulo, 2019. Disponível em: [http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp\\_doctos/RS2019\\_PORTUGUES.pdf](http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/RS2019_PORTUGUES.pdf). Acesso em: 11 out. 2020.

SAHOO, S.; JHA, M. K.; KUMAR, N.; CHOWDARY, V. M. Evaluation of GIS-based multicriteria decision analysis and probabilistic modeling for exploring groundwater prospects. **Environmental Earth Sciences**, [S.L.], v. 74, n. 3, p. 2223-2246, 22 mar. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-015-4213-1>.

SANT'ANA, D.; BOEGER, L.; MONTEIRO, L. Aproveitamento de águas pluviais e o reúso de águas cinzas em edifícios residenciais de Brasília – parte 2: viabilidade técnica e econômica. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, [S.L.], n. 10, p. 85-94, 31 dez. 2013. Programa de Pos-Graduacao em Arquitetura e Urbanismo - Univ. de Brasilia. <http://dx.doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n10.2013.12126>.

SANTANA, R. de A. **Avaliação da viabilidade da implantação de ações de gestão da demanda e oferta de água direcionadas ao abastecimento de água de Caruaru-PE**. 2018. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2018.

SANTANA, R. de A.; BEZERRA, S. de T. M.; SANTOS, S. M. dos; COUTINHO, A. P.; COELHO, I. C. L.; PESSOA, R. V. S. Assessing alternatives for meeting water demand: a case study of water resource management in the brazilian semiarid region. **Utilities Policy**, [S.L.], v. 61, p. 1-9, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jup.2019.100974>.

SANTOS, D. C. dos. **Saneamento para gestão integrada das águas urbanas**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. ISBN 978-85-352-8427-0

SANTOS, M. A. dos; SOUZA, M. T. G. de; SILVA NETO, G. L. da; LEITE, G. J. G. Estudo de viabilidade da captação de águas pluviais no IFPE *Campus* Caruaru. In: ANDRADE, D. F. (ed.). **Engenharia no século XXI**: volume 12. 1 ed. Belo Horizonte: Poisson, 2019. Cap. 6. p. 50-53. ISBN: 978-85-7042-199-9.

SÃO PAULO (Município). Comitê gestor dos serviços de água e esgoto da capital paulista. **Plano municipal de saneamento básico de São Paulo**. São Paulo: Prefeitura de São Paulo, 2019. Disponível em: [https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/wp-content/uploads/2019/05/PMSB\\_Caderno\\_Completo\\_-final-para-impressa%CC%83o.pdf](https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/wp-content/uploads/2019/05/PMSB_Caderno_Completo_-final-para-impressa%CC%83o.pdf). Acesso em: 2 set. 2020.

SCARAMUSSA, S. M.; HENKES, J. A. A utilização do sistema condominial de esgotamento sanitário como política pública para universalização do atendimento com redes de esgotos: o exemplo clássico do Distrito Federal. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 310-339, 28 maio 2014. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v3e12014310-339>.

SCHAFFERS, H.; KOMNINOS, N.; PALLOT, M.; TROUSSE, B.; NILSSON, M.; OLIVEIRA, A. Smart Cities and the Future Internet: towards cooperation frameworks for open innovation. **The Future Internet**, [S.L.], p. 431-446, 2011. Springer Berlin Heidelberg. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-20898-0\\_31](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-20898-0_31).

SCHMOLDT, D. L.; KANGAS, J.; MENDOZA, G. A.; PESONEN, M. (eds.) **The analytic hierarchy process in natural resource and environmental decision making**. Managing Forest Ecosystems. Dordrecht, Netherlands: Springer Science+Business Media, 2001. ISBN 978-90-481-5735-8

SCHOLL, H. J.; SCHOLL, M. C. Smart Governance: a roadmap for research and practice. **Iconference 2014 Proceedings**, [S.L.], p. 163-177, 1 mar. 2014. ISchools. <http://dx.doi.org/10.9776/14060>.

SCHUETZE, T.; SANTIAGO-FANDIÑO, V. Terra Preta Sanitation: a key component for sustainability in the urban environment. **Sustainability**, [S.L.], v. 6, n. 11, p. 7725-7750, 5 nov. 2014. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su6117725>.

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO E ESPORTES DE PERNAMBUCO. **Relação das escolas com seus respectivos diretores e endereços.** Disponível em: [http://www.educacao.pe.gov.br/portal/upload/galeria/21557/RELACAO\\_DAS\\_ESCOLAS\\_ESTADUAIS\\_2020\\_AGRESTE%20CENTRO%20CARUARU.pdf](http://www.educacao.pe.gov.br/portal/upload/galeria/21557/RELACAO_DAS_ESCOLAS_ESTADUAIS_2020_AGRESTE%20CENTRO%20CARUARU.pdf). Acesso em: 28 out. 2020.

SELÇUK, L. An avalanche hazard model for Bitlis province, Turkey, using GIS based multicriteria decision analysis. **Turkish Journal Of Earth Sciences**, [S.L.], p. 523-535, 2013. The Scientific and Technological Research Council of Turkey. <http://dx.doi.org/10.3906/yer-1201-10>.

SEMA, Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Texto base conferência do meio ambiente 2017: cuidando das águas.** Conferência Distrital do Meio Ambiente. Brasília-DF, 2017. Disponível em: <http://www.sema.df.gov.br/conferencia-distrital-do-meio-ambiente/>. Acesso em: 10 set. 2020.

SHEKHAR, S.; PANDEY, A. C. Delineation of groundwater potential zone in hard rock terrain of India using remote sensing, geographical information system (GIS) and analytic hierarchy process (AHP) techniques. **Geocarto International**, [S.L.], v. 30, n. 4, p. 402-421, 31 mar. 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10106049.2014.894584>.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas.** 1ª ed. Ed. São Paulo: Editora Unicamp, 2010. 240 p. ISBN: 9788526808966.

SILVA, A. C. da; SILVA, A. F. A. da; SILVA, S. R. da; SILVA, M. T. de A. Análise de viabilidade técnica e econômica de um sistema de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis em uma instituição de ensino federal em Pernambuco. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 78-98, 4 abr. 2019. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v8e1201978-98>.

SILVA, D. K. S.; CARVALHO, V. S. de, BARBOSA, I. M. B. R. Elaboração de projeto de captação de águas pluviais no IFPE – *Campus Recife*: estudo de caso para o bloco F. **CIENTEC – Revista de Ciência, Tecnologia e Humanidades do IFPE**, Recife, v. 10, n. 1, p. 47-64, 2018.

SILVA, G. M.; DEMETRIO, J. G. A. Uso de imagens do projeto PE3D para nivelamento de poços a serem usados em confecção de mapas potenciométricos. **Águas Subterrâneas**, [S.L.], v. 34, n. 1, p. 103-111, 22 abr. 2020. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v34i1.29551>.

SILVA, J. K. da; NUNES, L. G. C. F.; SOARES, A. E. P.; SILVA, S. R. da. Assessment of water-saving equipment to support the urban management of water. **RBRH**, Porto Alegre, v. 22, p. 1-10, 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.0217170013>.

SILVA, R. M. da; CANDEIAS, A. L. B.; PURIFICAÇÃO, N. R. S. da; ALCÂNTARA, L. A. de; PADILHA, J. A. Pernambuco Tridimensional: potencialidades no uso do geoprocessamento para a exploração do conceito base zero no município de Afogados da Ingazeira - PE. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, [S.L.], v. 43, n. 2, p. 437-448, 21 ago. 2020. Instituto de Geociências - UFRJ. <http://dx.doi.org/10.11137/2020>.

SILVA, R. F. da; SANTOS, V. A.; GALDINO, S. M. G. Análise dos impactos ambientais da Urbanização sobre os recursos hídricos na sub-bacia do Córrego Vargem Grande em Montes Claros-MG. **Caderno de Geografia**, [S.L.], v. 26, n. 47, p. 966-976, 20 set. 2016. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. <http://dx.doi.org/10.5752/p.2318-2962.2016v26n47p966>.

SILVA, S. M. O.; SOUZA FILHO, F. de A.; CID, D. A. C.; AQUINO, S. H. S. de; XAVIER, L. C. P. Proposta de gestão integrada das águas urbanas como estratégia de promoção da segurança hídrica: o caso de fortaleza. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 24, n. 2, p. 239-250, abr. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522019181776>.

SINNATAMBY, G. S.; McGARRY, M. G.; MARA, D. D. Sewerage: shallow systems offer hope to slums. **World Water**, [S.L.] v. 9, n. 1, p. 39–41, 1985.

SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2018**. 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2018>. Acesso em: 25 mai. 2021.

SOUSA, L. C. O. de. **Avaliação da viabilidade da implantação de ações de gestão da demanda e oferta de água**. 2017. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2017.

SOUSA, L. C. O. de; BEZERRA, S. de T. M.; AMORIM, J. M. B. dos S.; ALVES, I. M.; DUARTE, A. D. Avaliação de alternativas direcionadas à redução do consumo de água potável em residências: estudo de caso em Caruaru, PE, Brasil. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 465-487, dez. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000400483>.

STRENGARI, L. A. B.; KACUTA, L. G.; DALESSANDRO, N. T.; BIANCHI, R. H.; MARGATO, V. **Seminários Cidades Resilientes à inundação**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – PHA, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. da S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 139-154, mar. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212014000100012>.

TEDOLDI, D.; CHEBBO, G.; PIERLOT, D.; KOVACS, Y.; GROMAIRE, M. C. Impact of runoff infiltration on contaminant accumulation and transport in the soil/filter media of Sustainable Urban Drainage Systems: a literature review. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 569-570, p. 904-926, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.215>.

TOLEDO, R.; ENGLER, A.; AHUMADA, V. Evaluation of Risk Factors in Agriculture: an application of the analytical hierarchical process (ahp) methodology. **Chilean Journal Of Agricultural Research**, [S.L.], v. 71, n. 1, p. 114-121, mar. 2011. SciELO Agencia Nacional de Investigacion y Desarrollo (ANID). <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-58392011000100014>.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. 4ª ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.

TSUTIYA, M. T.; ALÉM SOBRINHO, P. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. 2ª ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da USP, 1999.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. *In*. REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 2006.

\_\_\_\_\_. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142008000200007>.

\_\_\_\_\_. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Ministério das Cidades. Global Water Partnership, Wolrd Bank. Unesco, 2005.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (org.). **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. ISBN: 85-88686-07-4

UN, United Nations. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Population Prospects 2019: highlights**. ST/ESA/SER.A/423. 2019.

\_\_\_\_\_. Department of Economic and Social Affairs. **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision**. Disponível em: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-KeyFacts.pdf>. Acesso em: 15 set. 2019.

\_\_\_\_\_. **Sustainable Development Goals**. Transforming our world: the 2030 agenda for Sustainable development. 2015. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2019.

UNICEF, United Nations Children's Fund. **Strategy for Water, Sanitation and Hygiene 2016–2030**. New York: UNICEF, 2016. Disponível em: [https://www.unicef.org/wash/files/UNICEF\\_Strategy\\_for\\_WASH\\_2016-2030.pdf](https://www.unicef.org/wash/files/UNICEF_Strategy_for_WASH_2016-2030.pdf). Acesso em: 30 ago. 2020.

VAHIDNIA, M. H.; ALESHEIKH, A.; ALIMOHAMMADI, A.; BASSIRI, A. Fuzzy analytical hierarchy process in GIS application. *In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII, Part B2, p. 593-596. **Proceedings...** Beijing, 2008. Disponível em: [https://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/2\\_pdf/4\\_WG-II-4/15.pdf](https://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/2_pdf/4_WG-II-4/15.pdf). Acesso em: 14 nov. 2019.

VASCONCELOS, E. C. **Uso de águas pluviais e residuais em instalações prediais**: subsídios para gestão ambiental em prédios públicos. 2016. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife, 2016.

VILA NOVA, F. V. P.; TENÓRIO, N. B. Doenças de veiculação hídrica associadas à degradação dos recursos hídricos, município de Caruaru-PE. **Caminhos de Geografia** – revista online, Uberlândia-Mg, v. 71, n. 20, p. 250-264, set. 2019. <https://doi.org/10.14393/RCG207145545>.

VILELA, M. H. S. B. **Integração dos métodos: multicritério para tomada de decisão e sistema de informação geográfica para seleção de locais**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019.

VIOLA, H. **Gestão de Águas Pluviais em Áreas Urbanas**: o estudo de caso da cidade do samba (Rio de Janeiro). Dissertação (Mestrado), Curso de Planejamento Energético, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008. 398p.: il.

WANG, S.; WANG, H. Extending the Rational Method for assessing and developing sustainable urban drainage systems. **Water Research**, [S.L.], v. 144, p. 112-125, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.022>.

WHO, World Health Organization. **Water, sanitation, hygiene and health**: a primer for health professionals. Geneva, Switzerland: WHO, 2019. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/330100/WHO-CED-PHE-WSH-19.149-eng.pdf?ua=1>. Acesso em: 4 fev. 2020.

WHO, World Health Organization; UNICEF, United Nations International Children's Emergency Fund. **Global Water Supply and Sanitation Assessment: 2000 Report**. Geneva/New York, 2000. Disponível em: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/jmp2000.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2000.pdf). Acesso em: 12 nov. 2019.

WOLFF, C. S. **O método AHP: revisão conceitual e proposta de simplificação**. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

WONG, T. H. F.; BROWN, R. R. The water sensitive city: principles for practice. **Water Science and Technology**, [S.L.], v. 60, n. 3, p. 673–682, 1 jul. 2009. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2009.436>.

WRIGHT, A. M. **Toward a strategic sanitation approach: improving the sustentatibility of urban sanitation in developing countries**. UNDP, United Nations Development Programme – World Bank Water and Sanitation Program, 1997. 38p. Disponível em: [https://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/35200730728\\_TowardsStrategicSanitationApproach.pdf](https://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/35200730728_TowardsStrategicSanitationApproach.pdf). Acesso em: 28 out. 2019.

WWAP, Programa Mundial de Avaliação dos Recursos Hídricos da UNESCO. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019: Não deixar ninguém para trás**. Paris, França: UNESCO, 2019.

XIA, J.; ZHANG, Y. Y.; XIONG, L. H.; HE, S.; WANG, L. F.; YU, Z. B. Opportunities and challenges of the Sponge City construction related to urban water issues in China. **Science China Earth Sciences**, [S.L.], v. 60, n. 4, p. 652-658, 10 fev. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11430-016-0111-8>.

ZAMBON, K. L.; CARNEIRO, A. A. de F. M.; SILVA, A. N. R. da; NEGRI, J. C. Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoeletricas utilizando SIG. **Pesquisa Operacional**, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 183-199, ago. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-74382005000200002>.