



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E
GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS - PPGEGRN**

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO DA VULNERABILIDADE DO SERVIÇO DE
ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA EM MUNICÍPIO DE
PEQUENO PORTE**

BÁRBARA FRASSINETTI BRITO SOUSA

CAMPINA GRANDE – PB

2023

BÁRBARA FRASSINETTI BRITO SOUSA

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO DA VULNERABILIDADE DO SERVIÇO DE
ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA EM MUNICÍPIO DE
PEQUENO PORTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito à obtenção do título de mestre em Engenharia de Recursos Naturais.

Área de concentração: Saneamento ambiental.

Linha de pesquisa: Abastecimento de água.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Andréa Carla Lima Rodrigues.

CAMPINA GRANDE-PB

2023

S725a

Sousa, Bárbara Frassinetti Brito.

Análise multicritério da vulnerabilidade do serviço de abastecimento urbano de água em município de pequeno porte / Bárbara Frassinetti Brito Sousa. – Campina Grande, 2023.

111 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2023.

"Orientação: Profa. Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues".

Referências.

1. Gestão de Água. 2. Risco de Desabastecimento. 3. Saneamento Ambiental. 4. Abastecimento de Água. 5. Análise Hierárquica de Processos (AHP). 6. Software QGIS. I. Rodrigues, Andréa Carla Lima. II. Título.

CDU 628.1(043)

BÁRBARA FRASSINETTI BRITO SOUSA

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO DA VULNERABILIDADE DO SERVIÇO
DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA EM MUNICÍPIO DE PEQUENO
PORTE**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

BANCA EXAMINADORA

Dr^a. Andréa Carla Lima Rodrigues

Orientadora - UFCG

Dr^a Dayse Luna Barbosa

Examinadora Interna – UFCG

Bárbara Barbosa Tsuyuguchi

Examinadora Externa - UFERSA

CAMPINA GRANDE

2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA E GESTAO DE RECURSOS NATURAIS
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata da Décima Sétima sessão pública de Defesa de **Dissertação** do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPGEGRN do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN da Universidade Federal de Campina Grande – UFGG. Ao **Vigésimo Sexto dia do mês de Julho de 2023, às 14:00 horas, presencialmente** reuniu-se na forma e Termos do Art. 62 do Regulamento Geral dos Cursos e Programas de Pós-Graduação “Stricto Sensu” da UFGG e do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Resolução 02/2019 do Colegiado Pleno do Conselho Superior de Ensino, Pesquisa e Extensão – CONSEPE/UFGG, a Banca Examinadora composta pelos professores/pesquisadores **Prof.(a.) Dr.(a) Andréa Carla Lima Rodrigues/UFGG** como orientador(a) principal; **Prof.(a.) Dr.(a.) Dayse Luna Barbosa/UFGG** como membro interno; **Prof.(a.) Dr.(a) Bárbara Barbosa Tsuyuguchi/UFERSA** como membro externo, a qual foi constituída pela Portaria **PPGEGRN 47/2023** da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, juntamente com **Sr(a) Bárbara Frassinetti Brito Sousa**, candidato(a) ao Grau de **Mestre** em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais. Abertos os trabalhos, o(a) Senhor (a) Presidente da Banca Examinadora, **Prof.(a.) Dr.(a) Andréa Carla Lima Rodrigues/UFGG**, anunciou que a sessão tinha a finalidade de julgamento da apresentação e de defesa da Dissertação sob o título: **“ANÁLISE MULTICRITÉRIO DA VULNERABILIDADE DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA EM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE.”** Área de Concentração: **Engenharia de Recursos Naturais**, orientada pelo(a) Professor(a) Dra. **Andréa Carla Lima Rodrigues/UFGG**. O(A) presidente concedeu à palavra o(a) candidato(a) para, no prazo de tempo estipulado, efetuar a apresentação de seu trabalho. Concluída a exposição do(a) candidato(a), o(a) Presidente iniciou a segunda etapa do processo de defesa passando a palavra a cada membro da Banca Examinadora para as devidas considerações, correções e arguição do(a) candidato(a). Em seguida, a Banca Examinadora solicitou a saída dos presentes para, em sessão secreta, avaliar a apresentação e defesa. Após chegar a uma decisão final, a Banca Examinadora solicitou o retorno da Assembléia e anunciou, de conformidade com o que estabelece o Art. 57 do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, o Conceito **APROVADO**, o qual será atribuído após O(a) candidato(a), no prazo máximo de 30 (Trinta) dias, efetuar as correções e modificações sugeridas e aprovadas pela Banca Examinadora. Nada mais havendo a tratar pelo Coordenador, pelo candidato e pelos membros da Banca Examinadora.

Campina Grande, 26 de Julho de 2023.

Assinaturas:

Coordenadora do PPGEGRN _____

Candidato(a) _____

Presidente _____

Examinador _____

Examinador _____

Examinador _____

Examinador _____



Documento assinado eletronicamente por **ANDREA CARLA LIMA RODRIGUES, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 26/07/2023, às 17:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **DAYSE LUNA BARBOSA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 26/07/2023, às 17:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARIA DE FATIMA MARTINS, COORDENADORA DE PÓS GRADUAÇÃO**, em 27/07/2023, às 06:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bárbara Barbosa Tsuyuguchi, Usuário Externo**, em 27/07/2023, às 10:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bárbara Frassinetti Brito Sousa, Usuário Externo**, em 28/07/2023, às 23:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **3586840** e o código CRC **3AFA7BDC**.

Dedico este trabalho aos meus pais, Olavo e Paula, que sempre priorizaram minha educação, são meus maiores apoiadores e incentivadores. A minha filha, Maria Ísis, meu amor e motivação diária. E a minha avó Dorinha (*in memoriam*), meu exemplo de sabedoria.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e a Nossa Senhora das Graças que me trouxeram e acompanham até aqui. “Deus jamais te levaria onde a graça dEle não pudesse te acompanhar”.

Aos meus pais por sempre priorizar minha educação, abraçar e viver meus sonhos comigo. Ambos vieram de infância humilde e com poucos recursos, mas os estudos sempre foram prioridade. Essa conquista é nossa, família. Amo vocês incondicionalmente!

À benção a qual fui agraciada no meio do caminho, minha filha Maria Ísis. Tem sido e será tudo por você, estaremos sempre unidas. Meu amor imensurável!

As minhas primas, em especial Aline, Fernanda, Letícia e Muriene, e meu primo Ademilson. Mesmo distantes sempre estivemos e permaneceremos conectados, nos apoiando e incentivando cada conquista. Um elo de sangue e amor.

Minhas amigas Alícia, Yasmim, Rafaelle e Daniele, meu amigo Jonathas Eduardo por estarem sempre comigo, serem grandes e verdadeiros amigos. Vocês são incríveis.

Aos presentes que a pós-graduação me deu, Lívia e Roberta. Grandes parceiras ao longo da caminhada, foi um prazer compartilhar esse ciclo com vocês. Juntas somos mais fortes!

Ao meu mestre Juka e sua esposa Renata por todo apoio e acolhimento ao longo dos altos e baixos durante esse processo.

Agradeço a minha orientadora, Andréa Carla, por todas as contribuições, apoio e paciência ao longo dessa jornada. Dividimos dias de aflições e de alívio, uma experiência memorável e de muito aprendizado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais e a todos os professores e alunos que contribuíram direta e indiretamente com essa pesquisa.

RESUMO

O serviço de abastecimento de água ainda é vulnerável nas cidades em todo Brasil, todavia esse cenário se agrava nos pequenos municípios onde a equipe técnica e aporte financeiro são frágeis ou reduzidos, contribuindo para o atraso na universalização ao acesso proposto na legislação. As dificuldades ainda são mais extensas na região semiárida do Nordeste, detentora de baixo índice de precipitação e baixa disponibilidade de água para atender a demanda em quantidade e qualidade de água suficientes. Associado a esses fatores naturais, há também condições locais que podem influenciar mais ou menos o nível do risco de desabastecimento local. Nesse contexto, esse trabalho busca estudar a vulnerabilidade do serviço de abastecimento de água da zona urbana do município de Alagoa Grande localizado no semiárido paraibano e classificado como de pequeno porte. A metodologia utilizada nesta pesquisa faz uso de análise multicriterial juntamente com o software QGIS para identificar as condições estruturais, operacionais e socioeconômicas que exercem mais influência sobre o risco de desabastecimento de água nos setores censitários no município. Os resultados desse trabalho indicaram a zona central onde estão localizados centros residenciais e grande número de pessoas e algumas áreas periféricas onde estão principalmente populações de baixa renda e com menor possibilidade de utilização de soluções alternativas são consideradas as mais críticas. Também se observou que a altimetria e a distância aos reservatórios de distribuição de água foram os critérios que mais interferiram na avaliação do risco de desabastecimento. Diante desse cenário, a adoção de soluções alternativas, como captação de água de chuva, dessalinização e reuso podem ser atenuantes aos danos causados pelo desabastecimento. Além disso, fomentar programas de apoio a comunidades de baixa renda, elaborar o Plano de Saneamento, atualizar as diretrizes municipais existentes e incluir a população no planejamento das ações são medidas de grande contribuição para melhorar a gestão dos recursos hídricos e possibilitar a disponibilidade de água para toda população por mais tempo e sem interrupções.

Palavras-chave: gestão de água, risco de desabastecimento, AHP, QGIS.

ABSTRACT

The water supply service is still vulnerable in cities throughout Brazil. However, this scenario worsens in small municipalities where the technical team and financial support are weak or reduced, contributing to the delay in the universalization of access proposed by legislation. The difficulties are even more extensive in the semi-arid region of the Northeast, which has a low precipitation rate and low water availability to meet the demand in sufficient quantities. In addition to these natural factors, there are also local conditions that can influence the level of risk of local water shortage to a greater or lesser extent. In this context, this work seeks to study the vulnerability of the water supply service in the urban area of the municipality of Alagoa Grande, located in the semi-arid region of Paraíba and classified as small-scale. The methodology used in this research employs multi-criteria analysis together with the QGIS software to identify the structural, operational, and socioeconomic conditions that exert the greatest influence on the risk of water shortage in the census sectors of the municipality. The results of this work indicated that the central areas where residential centers and a large number of people are located and some peripheral areas where mainly low-income populations with fewer possibilities of using alternative solutions are considered the most critical. It was also observed that elevation and distance to water distribution reservoirs were the criteria that most interfered with the assessment of the risk of water shortage. Given this scenario, the adoption of alternative solutions, such as rainwater harvesting, desalination, and reuse, can be mitigating factors for the damage caused by water shortage. In addition, promoting support programs for low-income communities, developing the Sanitation Plan, updating existing municipal guidelines, and including the population in the planning of actions are measures that greatly contribute to improving water resources management and enabling water availability for the entire population for longer periods.

Keywords: water management, risk of water shortage, AHP, QGIS.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Fluxograma das etapas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa | 34 |
| Figura 2 - Mapa de localização do município de Alagoa Grande-PB | 35 |
| Figura 3 - Setores censitário urbanos – Alagoa Grande. | 36 |
| Figura 4 - Comportamento populacional de Alagoa Grande (1991, 2000, 2010).. | 39 |
| Figura 5 - Bacias hidrográficas da Paraíba e localização do município na bacia | 40 |
| Figura 6 - Precipitação anual acumulada..... | 41 |
| Figura 7 - Sistema de Abastecimento de Água de Alagoa Grande..... | 45 |
| Figura 8 – Estrutura hierárquica do modelo AHP para avaliação do sistema de abastecimento de Alagoa Grande - PB | 49 |
| Figura 9 - Espacialização dos domicílios atendidos por rede de abastecimento | 55 |
| Figura 10 - Espacialização da altimetria na área urbana de Alagoa Grande-PB | 57 |
| Figura 11 - Espacialização da distância dos pontos de atendimento aos reservatórios de distribuição | 58 |
| Figura 12 - Espacialização das distâncias das estações elevatórias de água aos setores censitários | 59 |
| Figura 13 - População residente na área de estudo..... | 61 |
| Figura 14 - Distribuição de renda da população residente na área de estudo..... | 62 |
| Figura 15 - Critérios operacionais normalizados a partir da função linear..... | 65 |
| Figura 16 - Critérios Socioeconômicos e Estrutural normalizados a partir da função linear | 66 |
| Figura 17 - Mapa de risco de desabastecimento | 73 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Código “ID” dos setores urbanos, nomenclatura atribuída e ruas referentes..... | 36 |
| Quadro 2 – Categorias e critérios escolhidos para a determinação do mapa de desabastecimento do município de Alagoa Grande - PB..... | 47 |
| Quadro 3 - Grau de importância dos critérios | 51 |
| Quadro 4 – Sugestões de estratégias para a redução da vulnerabilidade hídrica na zona urbana do município de Alagoa Grande..... | 78 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Ligações da rede de distribuição no município | 46 |
| Tabela 2 - Limites inferiores e superiores para normalização dos critérios | 50 |
| Tabela 3 - Índice de consistência randômico médio de acordo com a ordem da matriz | 52 |
| Tabela 4 – Valores normalizados por setores censitários | 63 |
| Tabela 5 – Verificação da Razão de Consistência das matrizes preenchidas pelos especialistas | 68 |
| Tabela 6 – Matriz de importância relativa e razão de consistência média | 68 |
| Tabela 7 – Valores dos pesos finais atribuídos aos critérios | 69 |
| Tabela 8 - Estatística descritiva dos pesos | 69 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| RESUMO..... | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 1.1 OBJETIVOS..... | 12 |
| 1.1.1 Objetivo Geral | 12 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos | 12 |
| 2. REFERÊNCIAL TEÓRICO | 13 |
| 2.1. INSTRUMENTOS LEGAIS PARA USO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS..... | 13 |
| 2.2 ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES URBANAS..... | 16 |
| 2.3 MEDIDAS SUSTENTÁVEIS DE USO DE ÁGUA NÃO POTÁVEL PARA RACIONALIZAÇÃO DA ÁGUA POTÁVEL..... | 20 |
| 2.3.1 Sistemas de captação de água de chuva..... | 20 |
| 2.3.2 Reúso de águas cinzas | 22 |
| 2.3.3 Dessalinização de águas salobras e salinas | 24 |
| 2.4 PROGRAMAS E AÇÕES ADOTADOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO PARA CONVIVER COM A SECA | 26 |
| 2.4.1 Exemplos de ações realizadas para enfrentamento da seca no Nordeste | 28 |
| 2.5 ANÁLISE MULTIRITÉRIO E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA | 31 |
| 3. METODOLOGIA..... | 33 |
| 3.1 ETAPA I – DIAGNÓSTICO DA ÁREA DE ESTUDO..... | 34 |
| 3.1.1 Caracterização do Município | 34 |
| 3.1.2 Caracterização do Sistema Urbano de Abastecimento de Água..... | 44 |
| 3.2 ETAPA II – ANÁLISE ESPACIAL DE RISCO A PARTIR DE CRITÉRIOS INDIVIDUAIS..... | 46 |
| 3.2.1 Seleção de critérios para avaliação de risco desabastecimento | 47 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3 ETAPA III – ESTUDO DAS ÁREAS DE VUNERABILIDADE DO SISTEMA.. | 48 |
| 3.3.1 Análise Hierárquica de Processos (AHP)..... | 48 |
| 3.3.2 Criação do mapa de desabastecimento | 53 |
| 3.4 ETAPA IV - DELINEAMENTO DE DIRETRIZES DE SUPORTE A GESTÃO . | 53 |
| 3.4.1 Estratégias Centralizadas | 54 |
| 3.4.2 Estratégias Descentralizadas..... | 54 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 54 |
| 4.1 ANÁLISE INDIVIDUAL DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO ATENDIMENTO DE ÁGUA NA ZONA URBANA | 54 |
| 4.2 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSOS | 63 |
| 4.2.1 Normalização dos critérios | 63 |
| 4.2.2 Etapa de agregação dos critérios..... | 71 |
| 4.3 RESULTADOS DA ESPACIALIZAÇÃO DO RISCO DE DESABASTECIMENTO DE ÁGUA | 72 |
| 4.3.1 RESULTADO DO DELINEAMENTO DE DIRETRIZES DE SUPORTE A GESTÃO..... | 76 |
| 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 83 |
| 5.1 CONCLUSÕES | 83 |
| 5.2 RECOMENDAÇÕES..... | 84 |
| REFERÊNCIAS | 86 |

1. INTRODUÇÃO

A lei nº 11.445/2007 que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, complementada recentemente pela lei nº 14.026/2020, preconiza a universalização do acesso aos serviços de saneamento básico, em especial, o abastecimento de água, devendo atender as necessidades da população em articulação com as demais políticas públicas de desenvolvimento.

Em 2021, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) em seu Diagnóstico Temático de Serviços de Água e Esgoto, o índice de atendimento total com rede de abastecimento de água no Brasil era de 84,2% e o índice de atendimento urbano era de 93,5% (Brasil, 2022).

Apesar de, aparentemente, o índice total de abastecimento com rede apresentar um valor elevado, os 15,8% que não tem acesso a esse serviço e, conseqüentemente, a água potável, se referem a mais de 30 milhões de brasileiros. Essa realidade é ainda mais preocupante nos municípios de pequeno porte, que vivenciam as deficiências e tem dificuldades em lidar com a complexidade do setor devido a questões técnicas e financeiras (Assis, 2018; Lisboa, Heller e Silveira, 2013).

A partir dos dados informados e dos conceitos expressos na legislação, pode-se perceber que o país ainda não atingiu a universalização ao acesso ao serviço de abastecimento de água potável. Outrossim, apesar do elevado percentual de atendimento registrado nas áreas urbanas, muitos problemas quali-quantitativos ainda são observados.

As diferentes soluções utilizadas para abastecimento de água não estão condicionadas apenas a fatores espaciais, por exemplo, a localização. A escassez hídrica é também um fator determinante e pode se dá por aspectos climatológicos, ocasionando a redução ou ausência de precipitação ou pelo uso indiscriminado desse recurso. Em períodos de crise hídrica, nas cidades que fazem racionamento de água, as interrupções do serviço de abastecimento por rede acontecem com maior frequência ou sem agendamentos em bairros menos nobres, periferias, favelas e assentamentos, locais onde já existem moradores em situações vulneráveis (Brasil, 2020a).

Côrtes *et al.* (2015), afirmam que a redução da disponibilidade de água e escassez hídrica associada a alterações climáticas e demanda acima do potencial dos mananciais, podem ser amortizadas através de um planejamento estratégico, e que a ausência dele afeta o sistema de abastecimento. Constataram que as informações ambientais podem representar uma estratégia relevante para a gestão do abastecimento urbano.

Sendo assim soluções sustentáveis como, monitoramento de perdas em redes de abastecimento, captação de água de chuva, reuso de águas cinzas, uso de equipamento poupadores de água e medidas institucionais podem contribuir para a redução da demanda por água potável poupando o recurso para usos mais nobres e minimizar as ocorrências de interrupção do serviço.

Apesar das diferentes propostas de soluções para um melhor aproveitamento da água, cada local possui suas especificidades e estas precisam ser respeitadas, de maneira que a tecnologia adotada seja viável e sustentável. Devem ser considerados os aspectos hidrológicos da região, a operacionalidade do sistema com monitoramento técnico, a viabilidade econômica para o funcionamento sem interrupções e o aspecto social, havendo participação e interação da comunidade e o melhor aproveitamento dos recursos hídricos diante da singularidade de cada cenário. A comunidade local pode apontar suas maiores potencialidades e fragilidades.

No estado da Paraíba, dos 223 municípios 213 se caracterizam como de Pequeno Porte, classificados em Pequeno Porte I até 20.000 habitantes e Pequeno Porte II com população de 20.001 a 50.000 habitantes, correspondem a mais de 95% do total no estado (Brasil, 2020b). Os problemas associados ao acesso à água potável são ainda frequentes fazendo com que o uso de sistemas alternativos seja uma realidade, mas que, nem sempre atende aos asseios e necessidades da população e o sistema de abastecimento por rede muitas vezes é ineficiente. Os gestores alegam dificuldades na implantação das ações previstas na legislação e as limitações estão associadas aos recursos financeiros escassos e a baixa capacidade técnica municipal (Lisboa, Heller e Silveira, 2013).

O município de Alagoa Grande, localizado na região do Brejo paraibano e classificado como de Pequeno Porte II é um exemplo dessa realidade. De acordo o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2010), o município possuía 28.479 habitantes e segundo o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), em 2019, toda população urbana, 17.541 habitantes, era atendida com abastecimento de água através da rede de distribuição. Todavia, é comum a descontinuidade de atendimento do serviço devido à redução de oferta de água dos mananciais que abastecem a localidade, impondo a população medidas severas de racionamento.

Pesquisas quali-quantitativas voltadas para os pequenos municípios ainda são escassas e comumente adotadas apenas ações genéricas e medidas paliativas pouco

sustentáveis para atenuar os problemas existentes nessas localidades sem, no entanto, proporcionar uma segurança hídrica para a população local.

Outra questão também observada é a dificuldade de identificar as áreas críticas que devem ser priorizadas pelo gestor, devido a diversidade e multidisciplinaridade dos aspectos que contribuem para a ineficiência do serviço de abastecimento prestado. Neste sentido, pesquisas envolvendo análise multicriterial (Fukasava e Mierzwa, 2010; Lima *et. al*, 2020; Raid *et. al*, 2022) tem colaborado para minimizar essa lacuna, permitindo a conexão entre aspectos com múltiplas escalas.

Diante do exposto, justifica-se a importância de se desenvolver esse estudo, para que, seja avaliado o risco de desabastecimento na zona urbana de Alagoa Grande-PB a partir de uma análise multicriterial e sugeridas soluções centralizadas e descentralizadas, a fim de proporcionar um serviço contínuo ou com um menor número de interrupções possível, atendendo as demandas da população. As soluções identificadas como viáveis para o estudo de caso desse trabalho poderão ser aplicadas em outros municípios com problemas semelhantes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Estudar a vulnerabilidade do serviço de abastecimento de água da zona urbana do município de Alagoa Grande considerando uma análise multicriterial.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estudar a influência individual dos critérios operacionais, estruturais e socioeconômicos no risco de desabastecimento da cidade.
- Propor um índice de risco de desabastecimento de água a partir dos multicritérios estabelecidos utilizando Análise Hierárquica de Processos (AHP) e aplicá-lo na área de estudo.
- Identificar áreas da zona urbana com deficiências no sistema de abastecimento e possíveis causas.
- Propor ações centralizadas e descentralizadas para melhorar o serviço prestado e auxiliar o gestor na tomada de decisão e no direcionamento de investimentos no setor.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1. INSTRUMENTOS LEGAIS PARA USO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS

No Brasil, apesar de haver poucas legislações acerca do uso sustentável dos recursos hídricos, é possível citar algumas leis que tratam da gestão e economia de água, tanto bruta como potável.

Inicialmente, as legislações ambientais aplicadas no Brasil não tinham um cunho conservacionista, defendiam os interesses econômicos do governo da época. Apenas em 1916 o antigo Código Civil, legislação genuinamente brasileira, expressou preocupação ambiental com relação aos recursos hídricos expressas nos artigos 566, 584 e 585, prevendo o aproveitamento de águas pluviais, a proibição de construções que poluíssem ou inutilizassem água de poço e a não permissão de escavações que comprometessem poços ou fontes de água alheias (Brasil, 1916; Chiuvite, 2010).

Segundo Chiuvite (2010), nas décadas de 1930 e 1960 surgiram legislações ambientais mais pontuais, dentre elas pode-se citar o Decreto 24.643/1934 (Código das Águas), que de acordo com Tamarindo e Forti (2015), é o marco legal da administração dos recursos hídricos no país. Apesar do nome, o código era voltado para regulamentar o uso de água como fonte energética, a gestão era limitada a quantidade, a qualidade estava basicamente condicionada às concessões para aproveitamento hidroelétrico, comenta Milaré (2014) *apud* Tamarindo e Forti (2015).

A Constituição Federal (CF) de 1988 rege todo ordenamento jurídico brasileiro e todas as leis devem estar alinhadas com suas determinações. O artigo 26 da CF, inclui as águas superficiais e subterrâneas como bens dos Estados, embora o artigo 22 afirme ser competência privativa da União legislar sobre as águas. Entretanto, não implica dizer que estados, municípios e Distrito Federal não possam legislar sobre seus recursos hídricos. Dentre as legislações estaduais citamos São Paulo (Lei nº 7.663/1992), Minas Gerais, (Lei nº 11.504/1994), Rio Grande do Sul (Lei nº 10.350/1994), Paraíba (Lei nº 6.308/1996) e Bahia (Lei nº 6.855/1995), entre outros.

A CF prevê à União instituir o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso. Em 1997, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) foi instituída pela Lei nº 9.433, regulamentando

o inciso XIX do art. 21, XIX da Carta Magna atual. Anterior a este fato, na Paraíba, em 1996 a Lei nº 6.308 instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos visando garantir o uso integrado e racional a fim de promover desenvolvimento e bem estar da população paraibana. A referida legislação tem como instrumentos de execução o Sistema Integrado de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos, o Plano Estadual de Recursos Hídricos e os Planos e Programas Intergovernamentais (Paraíba, 1996). Sendo assim, as políticas nacional e estadual contam com instrumentos para promover uma gestão adequada dos recursos hídricos.

Conforme Chiuvite (2010), essa legislação destaca sobre o uso e forma de proteção da água, seu valor econômico, normas sobre cobrança, outorga, órgãos integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e as penalidades e infrações em caso de uso indevido ou atividade irregular. Tem como objetivo garantir acesso à água em quantidade e qualidade adequadas às presentes e futuras gerações, estabelecer regras a fim de promover o uso racional e nortear estudos para prevenção e defesa de eventos hidrológicos críticos.

A PNRH prevê que a gestão dos recursos hídricos seja direcionada à sua sustentabilidade, sendo determinada a partir de três aspectos: 1) Disponibilidade com qualidade e acesso equitativo; 2) Uso racional, regulamentando as outorgas; e 3) Uso integrado, proporcionando o uso múltiplo das águas.

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) foi criada a partir da Lei nº 9.984/2000, alterada pela Lei nº 14.026/2020, que a define como entidade federal de implementação da PNRH, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) e responsável pela instituição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico (Brasil, 2000). A ANA é encarregada por estabelecer normas para reduzir progressivamente e controlar as perdas de água; reutilizar efluentes tratados de acordo com as normas ambientais e de saúde pública, e; promover a utilização racional dos recursos hídricos, princípios citados no marco legal.

O Marco Legal do Saneamento cita entre os seus princípios fundamentais a redução e controle das perdas de água, inclusive na distribuição de água tratada, estímulo à racionalização de seu consumo pelos usuários e fomento à eficiência energética, ao reuso de efluentes sanitários e ao aproveitamento de águas de chuva.

Tamarindo e Forti (2015), citam que no Código Florestal, atualmente regulamentado pela lei nº 12.651/2012, institui normas gerais sobre exploração dos

recursos naturais, o que e como deve ser preservado. Trata da preservação e uso sustentável das florestas, alinhando o uso produtivo da terra e a preservação da água, vegetação e do solo (Brasil, 2012). O termo “água” é citado várias vezes na redação, indicando a relevância dada a esse recurso, pelos legisladores. Ainda que não seja uma legislação direcionada especificamente para recursos hídricos, em seu conteúdo está inserida essa temática para que possa contribuir com outras já existentes.

A lei nº 12.862/2013, estabelece diretrizes nacionais, alterando artigos da lei 11.445/2007, que rege o saneamento no Brasil. Entre os objetivos dessa lei estão o incentivo a economia no consumo de água através do desenvolvimento e ao aperfeiçoamento de equipamentos e métodos economizadores de água; redução progressiva e controle das perdas de água, inclusive na distribuição da água tratada; estímulo à racionalização de seu consumo pelos usuários e fomento à eficiência energética, ao reuso de efluentes sanitários e ao aproveitamento de águas de chuva, em conformidade com as demais normas ambientais e de saúde pública; e promover educação ambiental destinada à economia de água pelos usuários (Brasil, 2013). Estas contribuições também estão inseridas no Marco Legal do Saneamento.

No ano de 2019, a Câmara dos Deputados aprovou o Projeto de Lei nº 4.109/2012, que prevê medidas contra o desperdício de água e que a iniciativa de estimular o uso de águas pluviais e o reuso das águas servidas em edificações novas e atividades paisagísticas, agrícolas e industriais, seja da União. Quanto as prestadoras públicas do serviço, devem corrigir as falhas hidráulicas a fim de evitar a perda de água na distribuição e evitar ligações clandestinas (Bittar, 2019).

O estado de São Paulo enfrentou uma crise hídrica entre os anos de 2014 e 2016, mediante esse cenário foi promulgado em 2015 um projeto de lei que propõe uso de fontes alternativas de água para lavagem de calçadas e medidas punitivas em caso de descumprimento. A lei nº 16.172/2015, regulamentada pelo Decreto nº 58.341/2018, proíbe a lavagem de calçadas com água tratada ou potável fornecida pela Companhia de Saneamento Básico de São Paulo (SABESP). Determina que para esse fim a prioridade é utilizar água de reuso, poço ou aproveitamento de água de chuva (São Paulo, 2015).

Em 2019, a Câmara Municipal de Fortaleza sancionou a lei nº 10.892/2019, que dispõe sobre o controle do desperdício de água potável no município. Constatado o desperdício, o infrator poderá ser multado em caso de reincidência. A legislação considera desperdício as seguintes práticas: lavar calçadas com o uso contínuo de água, lavar veículos com esguicho de mangueira contínuo, com exceção aos lava-jatos que podem

ter sistemas redutores de consumo ou de reuso, molhar a rua continuamente, negligenciar vazamentos nas tubulações (Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2019).

É possível também citar alguns decretos municipais estabelecidos em períodos de Estado de Alerta de Desabastecimento, como Santo Antônio de Posse-SP (Decretos nº 3.441/2019 e nº 3.534/2020), Santa Cruz do Sul e Venâncio Aires (Decreto nº 6.952/2020), ambos do Rio Grande do Sul, que estabelecem multa em caso do uso da água para fins não essenciais. Os decretos têm prazo de validade, todavia, a efetividade de suas determinações poderá ser válida além dos períodos determinados, a fim de não precisar adotar medidas extremamente restritivas quando houver redução da disponibilidade de água, pois a população estaria adepta as práticas de economia e redução de consumo.

Tão importante quanto a existência de legislação é sua implementação, sendo assim, a adesão e participação popular também é de grande relevância. Apesar de toda população de uma cidade ou comunidade sofrer as consequências do desabastecimento, elas alcançam as pessoas em proporções diferentes. Assim, além das exigências legais é necessário adotar medidas de redução de consumo ou economia independente do cenário hídrico, priorizar o uso racional e investir em soluções alternativas para fins menos essenciais, mecanismos de economia, não apenas por parte dos cidadãos, mas também os aspectos técnicos e operacionais das companhias de abastecimento.

2.2 ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES URBANAS

De acordo com a Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde a água destinada a consumo humano pode ser proveniente e distribuída por meio de sistema de abastecimento de água, solução alternativa, coletiva e individual, e carro-pipa. (Brasil, 2021).

O sistema de abastecimento de água (SAA) para consumo humano, se refere as instalações composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição (Brasil, 2021). Silva (2016a), define o SAA como um conjunto de equipamentos, obras e serviços voltados para o suprimento de água potável a comunidades para fins de consumo doméstico, industrial e público. Essas obras e serviços se referem as etapas que compõe o sistema e conduzem a água até chegar as ligações prediais. Tem início com a captação, podendo ter estações elevatórias

e adutoras ao longo dos trechos; em seguida é tratada, direcionada aos reservatórios para, por fim, ser distribuída para população.

A qualidade da água superficial e subterrânea utilizada para abastecimento é condicionada por variáveis naturais ligadas, por exemplo, ao regime de chuvas, escoamento superficial, geologia e cobertura vegetal, e por impactos antrópicos, como o lançamento de efluentes, provenientes de fontes pontuais e fontes difusas, o manejo dos solos, entre outros (ANA, 2019).

Apesar de facilidade ao acesso às águas superficiais, estes estão mais suscetíveis a contaminação e, conseqüentemente, maior custo para tratamento. Já os subterrâneos, geralmente, possuem água de melhor qualidade devido ao processo natural de filtração no solo. Todavia, em regiões onde o domínio hidrogeológico predominante é o embasamento cristalino, a água normalmente é salinizada, devido à falta de circulação e aos efeitos do clima semiárido (Mesquita *et al.*, 2017) o que torna imprópria para consumo.

As soluções convencionais de abastecimento atendem populações urbanas e rurais com maior densidade populacional, e possuem custos divididos por todos os usuários (Raid, 2017). O sistema deve encaminhar a água aos seus usuários finais em regime contínuo, com pressão adequada e atendendo todos os padrões de consumo necessários.

As localidades não contempladas pela rede de distribuição, são obrigadas a adotar as fontes alternativas de abastecimento de água para suprir suas necessidades (Brasil, 2020a). Essas soluções alternativas podem ser coletivas ou individuais e devem ser compatíveis com a singularidade de cada local.

Dentre as soluções alternativas, a coletiva (SAC) é a modalidade de abastecimento destinada a fornecer água potável, sem rede de distribuição (Brasil, 2021). As formas de distribuição podem ser através de caminhões-pipas, os chafarizes coletivos, cisternas coletivas, dentre outros (Ferreira, 2008), possibilitando atendimento a um número maior de pessoas. Todavia, vale destacar que a referida portaria do Ministério da Saúde adota carro-pipa como uma solução alternativa de distribuição de água potável a parte das soluções coletivas e a define como veículo equipado com reservatório utilizado exclusivamente para distribuição e transporte de água para consumo humano.

A escassez de recursos hídricos suscitou a construção de reservatórios de armazenamento. Lima e Magalhães (2018), identificaram registros datados do século XVI, sobre a seca no período colonial, onde as autoridades começaram a estudar a construção de barragens. Somente após as secas de 1877 e 1888 teve início a construção

do primeiro grande açude público, o Cedro, no Ceará. Todavia, a obra só foi concluída no governo republicano. A construção desse açude marcou a implementação de grandes barragens no Brasil para lidar com a escassez hídrica (Lima e Magalhães, 2018).

Algumas soluções alternativas coletivas conhecidas atualmente, começaram a ser cogitadas e surgiram a partir do cenário de escassez hídrica severa no qual a região se encontrar. No nordeste do Brasil, a adoção de chafarizes emergiu a partir do déficit hídrico (Estrela, 2017). Maia Neto (2014), comenta sobre a inauguração do primeiro chafariz na capital cearense, por volta de 1813, e que apesar da disponibilidade hídrica oferecida, não era a principal fonte de água utilizada pela população na época. Anos depois, em 1836, foi construído um chafariz dentro da cidade, o qual foi amplamente utilizado pela população.

Bezerra *et al.* (2017), constataram que alguns bairros da capital cearense, a exemplo de Lagoa Redonda e Curió, ainda utilizam água proveniente de chafarizes. Os moradores optam por utilizar essa fonte de água por não apresentar sabor, diferente da água da rede de distribuição que possui gosto de cloro. Sendo assim, a partir dos registros e dados históricos pode-se compreender que o uso de chafarizes na região ainda é uma alternativa utilizada e há anuência da população.

O uso de chafarizes é também uma realidade em outros estados da região nordeste a exemplo da Paraíba que apresenta essas estruturas hidráulicas em muitos municípios de pequeno porte. Segundo o diagnóstico para a elaboração de planos municipais de saneamento realizado em 49 municípios do estado (PMSB, 2021), em localidades como Esperança, Nova Palmeira, Picuí e Casserengue há a presença de chafarizes como forma alternativa de acesso água potável.

A solução alternativa individual (SAI) é a modalidade para consumo humano que atende a domicílios residenciais com uma única família, incluindo seus agregados familiares (Brasil, 2021). Geralmente, são adotadas em comunidades rurais devido à dificuldade logística e econômica de implementação, mas também é utilizada em zonas urbanas não atendidas por rede ou aquelas de regiões semiáridas ou com baixa precipitação, sendo comum o armazenamento de água em cisternas para suprir a demanda em períodos de escassez e racionamento.

Algumas modalidades consideradas como soluções coletivas também podem ser utilizadas como individuais atendendo a um único domicílio como por exemplo, a captação de água de rio ou nascente canalizada até a unidade familiar e água de poço (Brasil, 2007).

O uso de cisternas pode ser uma alternativa viável tanto no meio rural quanto no meio urbano de acordo com a realidade local, principalmente onde há um período do ano marcado pela precipitação elevada (FUNASA, 2020). Através desse reservatório é possível fazer a captação e armazenamento da água da chuva, sendo uma opção segura, eficaz e sustentável para o aproveitamento da água.

Pádua (2010), ressalta que as soluções alternativas individuais podem ser adotadas em situações de emergência ou transitórias, mas não devem ser entendidas como soluções improvisadas, pois devem fornecer água potável e em quantidade suficiente.

De acordo com Santos *et al.* (2018), essa forma de abastecimento pode estar associada a problemas relacionados a qualidade da água, tendo em vista que a manutenção dos reservatórios e o tratamento da água são realizados pelos próprios usuários.

A Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde preconiza que toda água destinada ao consumo humano proveniente de sistemas de distribuição e de soluções alternativas coletivas ou individuais estão sujeitas à vigilância da qualidade da água independentemente da forma de acesso da população (Brasil, 2021).

Independente das alternativas de abastecimento propostas para atender a população as soluções devem ser viáveis e exequíveis, adaptando-se às necessidades e peculiares de cada localidade. Os sistemas precisam ser sustentáveis para manter sua funcionalidade e atingir os objetivos a que se propõem.

Van Engelenburg *et al.* (2021), apontam que a sustentabilidade de um sistema deve ser avaliada considerando os aspectos:

- Hidrológico: monitoramento e avaliação de qualidade da água; o balanço hídrico dos reservatórios;
- Técnico: a confiabilidade operacional do sistema para solucionar falhas técnicas sem danos a população e usuário de forma individual;
- Socioeconômico: a importância das políticas e legislação sobre abastecimento e gestão da água como grande colaborador da sustentabilidade econômica.

Ainda que sejam adotadas soluções para amenizar ou conviver com a escassez hídrica, as comunidades podem apresentar outros problemas que necessitam de planejamento e gestão integrada para sanar as demandas da população, que não se limita apenas a questão hídrica, mas a fatores estruturais, operacionais, sociais e econômicos.

2.3 MEDIDAS SUSTENTÁVEIS DE USO DE ÁGUA NÃO POTÁVEL PARA RACIONALIZAÇÃO DA ÁGUA POTÁVEL

2.3.1 Sistemas de captação de água de chuva

Dentre as formas de captação de águas pluviais, Andrade *et al.* (2017), citam as cisternas convencionais, cisterna calçadão, cisterna-enxurrada, barragem subterrânea, tanque de pedra ou caldeirão, barreiro trincheira e barraginha. A água da chuva coletada através de calhas, condutores verticais e horizontais é armazenada em reservatório, para ser utilizada em fins não potáveis, como descargas em bacias sanitárias, torneiras de jardim, lavagem de veículos e de roupas, limpeza de chão, limpeza de pavimentos escolares, dentre outros.

A experiência internacional tem demonstrado a viabilidade do uso de águas de chuva para fins potáveis e não potáveis. Países com terras desérticas e baixas precipitações anuais, como a Jordânia, adotam a coleta de água de chuva como recurso adicional a demanda de água. Apesar do potencial de captação depender da quantidade de precipitação e da quantidade de abastecimento, Al-Qawasmi (2021) verificou que na Jordânia a adaptação da captação de água de telhados residenciais tem efeitos positivos nas comunidades. Além de servir como uma fonte de reserva para uso diário, reduz a pressão sobre os recursos hídricos naturais e eleva as porcentagens de economia de água, refletindo positivamente na situação financeira da empresa fornecedora.

Hofman-Caris (2019), afirma que na Holanda a água de chuva para fins potáveis deve passar por tratamento robusto, em especial, a desinfecção. Para ser economicamente viável a captação deve ser em escala de bairro, não apenas por unidade residencial, além disso recomenda que seja captada também água de pavimentos para que o sistema seja totalmente autossuficiente. No caso da cidade de Amsterdã, área densamente povoada, a quantidade de água captada não é suficiente para atender a demanda dos habitantes, dessa forma torna-se uma medida complementar ao sistema centralizado de água potável e rede.

Gomes *et al.* (2014), destacam as experiências de captação de água de chuva em países como China, Nova Zelândia e Tailândia. Nesses países, a construção de estruturas de captação de água de chuva para promoção ao acesso à água tem sido objeto de programas de dimensões consideráveis, especialmente em áreas rurais, nas quais grande parte da população depende da captação de água de chuva por meio de sistemas de calhas acoplados aos telhados, com características semelhantes aos que são utilizados no Brasil.

Além desses três países, a literatura aponta discussões voltadas a viabilidade e confiabilidade do uso de água da chuva como fonte alternativa de abastecimento para suprir as demandas, como na Austrália (Alim *et al.*, 2021), Bangladesh (Islam *et al.*, 2021), Etiópia, (Demeke, Andualem, Kassa, 2021), Colômbia (Márquez *et al.*, 2021) e Irã (Sheikh, 2020). Un-Habitat (2005) apud Cordão (2021) ainda descreve as experiências de Singapura, Honduras, Estados Unidos, Tanzânia e Quênia.

No Brasil, o aproveitamento de águas pluviais tem sido praticado em maior escala principalmente no Nordeste, devido à escassez hídrica, característica de parte da região (Catulé *et al.*, 2018). Entretanto, também se faz presente em localidades que apresentam altos índices pluviométricos, mas pouco acesso da população ao sistema público de distribuição de água.

Na Amazônia o aproveitamento da água da chuva para abastecimento humano é uma realidade. Essa forma alternativa é viável devido as peculiaridades geográficas, pois a maior parte da região não possui um sistema de abastecimento de água para os moradores. Estima-se que cerca de 50% da população é usuária desse sistema. Outros fatores são o índice de precipitação elevado e a participação social. Os estados do Amazonas e Pará apresentam experiências mais avançadas do aproveitamento da água pluvial, principalmente para populações com características rurais ribeirinhas (Velooso *et al.*, 2012).

Catulé *et al.* (2018) verificaram a viabilidade técnica de captar água de chuva na região de Teófilo Otoni, em Minas Gerais. A precipitação local se assemelha ao da região do Polígono das Secas e o aumento da escassez de água impõe a necessidade de adotar soluções alternativas. Os autores avaliaram as vantagens do aproveitamento de água de chuva com relação a diminuição do volume de água potável consumida, preservação e otimização dos recursos hídricos e amortecimento do escoamento superficial contribuindo para a redução de enchentes.

Um estudo realizado em 71 municípios do Agreste Pernambucano indicou que a captação de águas pluviais contribui com a economia de até 25% de água fornecida pela rede pública. O percentual é bem inferior quando comparado a municípios da região Sul do país, principalmente devido as características das condições climáticas. De toda forma, é possível esperar uma redução no número de dias com o racionamento de água potável. Os autores também concluíram que o uso de cisternas para armazenar água de chuva é comum na área rural dessa região, mas que também deve ser estendida para o meio urbano (Santos e Farias, 2017).

Estudando o potencial de aproveitamento da água da chuva em unidades familiares de áreas rurais do município de Breves-Pará, Freires *et al.* (2019) constataram que esta é uma alternativa viável e eficiente para uso doméstico. Os autores verificaram que para precipitação mensal variando entre 26,5 e 467,4 mm, telhados com 55 a 58 m² podem coletar entre 84,9 a 1.580,90 m³ de água em um mês, volumes que podem atenuar as dificuldades do acesso à água pois a população rural não é atendida pela companhia de abastecimento de água local.

Além da captação para uso doméstico as águas de chuvas podem ser utilizadas em prédios públicos. Cardoso, Blanco e Duarte (2020) verificaram a viabilidade do sistema em um prédio da Universidade Federal do Pará. Concluíram que é possível reduzir em 80% a demanda média mensal por água potável e que a instalação é viável com retorno financeiro de 10 anos. Concluíram que edifícios públicos com pequenas áreas de cobertura podem ter um bom potencial de economia de água, desde que a demanda seja baixa e as condições climáticas sejam favoráveis ao uso de água de chuva (Cardoso, Blanco e Duarte, 2020).

Os sistemas de captação de água também podem ser viáveis para atender a demanda agrícola em regiões semiáridas, estabilizando a produção e reduzindo os riscos devido às condições climatológicas (Sacolo e Mkhandi, 2020). O uso combinado de água de chuva com métodos tradicionais de irrigação contribui com o aumento da produção, pois a irrigação intermitente (alternando seca e úmida) não é favorável ao crescimento das culturas. Aproveitar a água de chuva para essa finalidade, a irrigação, é de grande importância para garantir o desenvolvimento sustentável da produção agrícola em regiões áridas e semiáridas (Sun *et al.*, 2021).

2.3.2 Reúso de águas cinzas

As águas cinzas são aquelas proveniente do esgoto de uso doméstico advindo de banho, lavanderia e lavagem de pratos. Apesar de seu uso apresentar possibilidade de riscos à saúde, alto custo de implementação em comunidades, devido a necessidade de reforma nas residências, as vantagens da reutilização de águas cinzas estão associadas, entre outras possibilidades, ao potencial de redução da demanda de água potável (Allen e Palaniappan, 2010; Arnold *et al.*, 2012).

Como benefício do uso dessas águas tem-se a redução da quantidade de esgotos lançados diretamente nos corpos d'água sem o devido tratamento e a redução da pressão

sobre mananciais de água devido à substituição da água potável por uma água de qualidade inferior (Demartelaere, 2020).

O reúso de águas cinzas atuando sozinho sobre um sistema, pode não ser suficiente para promover uma redução importante do consumo de água potável, sendo necessário adotar um sistema misto, associado ao aproveitamento de água pluvial, por exemplo. Santos e Sant'ana (2019) verificaram que em edificações com grande fluxo de pessoas, como rodoviárias, cujos principais usos finais são não potáveis, esses sistemas tem a capacidade de gerar reduções expressivas no consumo, podendo se tornar exemplo para as demais edificações.

A água de reuso, apesar de pouca legislação regulamentadora, é uma alternativa bastante utilizada no Brasil e em outros países para fins menos nobres. Segundo Oh *et al.* (2018), a prática é amplamente utilizada no mundo todo, em especial nos países desenvolvidos, como EUA, Reino Unido, Austrália, Japão e Alemanha. Em países em desenvolvimento é comum o uso dessas águas sem tratamento, para irrigação. Hespanhol (2002) apud Moura *et al.* (2020), afirma que a República da Namíbia foi o primeiro país a utilizar efluentes tratados para fins potáveis de forma indireta, servindo para recarga de aquífero. Na Tunísia a água de reuso é utilizada na irrigação de culturas arbustivas, árvores e algumas raízes, e proibida na irrigação de vegetais. A utilização da água de reuso segura possibilita que a oferta de água potável seja destinada para fins essenciais, e a água de reuso, para outros fins, tais como atividades agrícolas, irrigação paisagística e limpeza urbana (Pinto *et al.*, 2014).

No Brasil, a água de reuso é aplicada em diversas atividades não potáveis, como na agricultura, na irrigação paisagística, na limpeza urbana, na lavagem de veículos e em sanitários nos *shopping centers* (Moura *et al.*, 2020). Conforme Pires (2018), São Caetano do Sul, município de São Paulo, região sudeste do Brasil, é pioneiro na utilização de água de reuso desde 2001, utilizando este recurso para lavagem de ruas após feiras livres, pelo corpo de bombeiros e para a rega de canteiros, praças e jardins da cidade.

Um sistema piloto instalado em um prédio da Universidade de São Paulo, avaliou a viabilidade do reuso de águas provenientes de lavatórios, chuveiros e máquinas de lavar para o aproveitamento não potável após tratamento. O estudo de Chrispim e Nolasco (2017) indicou que a qualidade da água produzida é viável para aplicação ao ar livre - irrigação paisagística e de jardins em prédios residenciais, comerciais e institucionais e os resultados foram satisfatórios de acordo com o padrão brasileiro.

2.3.3 Dessalinização de águas salobras e salinas

Outra alternativa sustentável que tem sido adotada em muitas partes do mundo é a dessalinização de águas salobras ou salinas. A exploração das águas subterrâneas é uma solução para o abastecimento humano e animal, no entanto, dependendo da localidade, as águas encontradas possuem índices de sais dissolvidos que, ultrapassam os limites máximos permitidos pela legislação, sendo necessário reduzir o teor de sais através de sistemas de dessalinização.

Os sistemas que utilizam filtração em membrana são mais vantajosos por demandarem menor área de instalação e custo competitivo de água tratada com processos térmicos tradicionais (Almeida *et al.*, 2020; Kucera, 2014; Pinheiro *et al.*, 2018). Todavia, o elevado custo energético ainda é um entrave para o uso da dessalinização para abastecimento de água. Os processos de dessalinização requerem uma certa quantidade de energia elétrica e/ou térmica para conduzir a separação de água salgada em água pura e salmoura concentrada (Freitas, 2019).

A Arábia Saudita é um país que sofre com escassez hídrica e a demanda excede a produção sustentável do recurso natural. O acesso a água potável se dá através da dessalinização da água do mar, que é um processo dispendioso e as águas residuais tratadas são utilizadas para irrigação agrícola e paisagística (Ouda *et al.*, 2013), (Mu'azu, Abubakas e Blaisi, 2020).

Freitas (2019), afirma que Israel é considerado um pioneiro na dessalinização da água, pois o país dependia exclusivamente da água de chuva para suprir suas demandas, e essa oferta pode variar de ano para ano. Atualmente as fontes de abastecimento do país são água da chuva, mar da Galileia e aquíferos e quase metade da irrigação é feita com água de dessalinização.

No Brasil, sistemas de dessalinização são mais utilizados na região semiárida, especialmente Nordeste e norte de Minas Gerais. De acordo com o Ministério do Desenvolvimento Regional (2020) existem, no semiárido, 891 sistemas de dessalinização em operação que atendem 3.963 comunidades, distribuídos da seguinte forma: 252 sistemas no Ceará, 93 na Paraíba, 29 em Sergipe, 26 no Piauí, 87 no Rio Grande do Norte, 73 em Alagoas e 251 na Bahia.

Dentre as técnicas de dessalinização, a osmose inversa apresenta baixo custo e alta produção, o que viabiliza o uso dessa técnica, inclusive em cidades litorâneas. Todavia, o custo da operação pode variar com a região do país (Elizaldo Junior, 2020).

O governo federal busca fortalecer e expandir a adoção dessa tecnologia através de alianças com outros países, pois o mercado brasileiro possui projetos e companhias do segmento de tratamento de águas com a “expertise” necessária para projetar, instalar e até operar sistemas de dessalinização (Taranto, 2019).

O uso do dessalinizador tornou-se a principal alternativa para o abastecimento de água na localidade de Cachoeirinha, na zona rural de Ipirá, na Bahia, já que as medidas como construção de cisternas e açudes não eram suficientes para suprir o consumo. No interior da Paraíba também existem várias comunidades beneficiadas através dos dessalinizadores, como Caluête, Poço de Pedra e Bravo, localizadas no município de Boa Vista (Elizaldo Júnior, 2020).

De acordo com Taranto (2019), no arquipélago de Fernando de Noronha, em 2014, cerca de 60% da água utilizada em casas e comércios era produzida através de dessalinizadores. Os 40% restantes são fontes como poços e açudes, no entanto, constantemente era necessário fazer racionamento.

Analisando a qualidade da água dessalinizada em oito comunidades no município de Pentecostes-CE, Neves *et al.* (2017) verificaram que a técnica apresenta grande eficiência reduzindo consideravelmente a salinidade da água de tal forma que possa ser considerada água doce, de acordo com percentual estabelecido na legislação CONAMA nº 357 (salinidade < 0,5%). Dentro desse valor, as águas podem ser utilizadas para consumo humano.

Pinheiro *et al.* (2018) avaliaram a sustentabilidade do sistema de dessalinização na comunidade Caatinga Grande, em São José do Seridó, Rio Grande do Norte. Os autores constataram que o sistema é sustentável, principalmente na esfera social, pois confere abastecimento de água regular para região. É uma estratégia eficiente de enfrentamento a seca e garante à população condições de sobreviver nesse cenário.

Apesar de produzirem água potável os dessalinizadores também geram resíduos de alto teor salino e poluente. A destinação ambientalmente correta dos rejeitos do processo de dessalinização é um dos desafios enfrentados e deve ser ponderada (Senado Federal, 2014). Esses resíduos podem ser utilizados para alimentação animal e como meio de cultura vegetal alternativa, sem comprometer as células das microalgas. Os efluentes também podem ser aproveitados na piscicultura e irrigação de erva sal (Matos *et al.*, 2006).

2.4 PROGRAMAS E AÇÕES ADOTADOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO PARA CONVIVER COM A SECA

A porção setentrional da região nordeste formada pelos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Piauí e Pernambuco têm mais de 80% do seu território inserido no clima semiárido (Nunes e Silva, 2020; ASA, 2019), caracterizado por ser seco, com temperaturas elevadas e chuvas amenas concentrada em um curto espaço de tempo (ANA, 2019). Faustino *et al.* (2016) complementam esse dado informando que os municípios inseridos na região semiárida são caracterizados pela distribuição irregular das chuvas, solos rasos, relevo cristalino e alta taxa de evapotranspiração, favorecendo o quadro de escassez hídrica.

Ao longo dos anos a seca provocou uma série de limitações na região que são associadas às configurações do processo histórico envolvendo a realidade social (Nunes e Silva, 2020). Os impactos da escassez hídrica afetam diretamente a sobrevivência da população, especialmente as rurais, com problemas relacionados ao baixo índice pluviométrico e a distribuição das chuvas no espaço e no tempo (Nóbrega *et al.*, 2016).

De acordo com Camurça *et al.* (2016), os impactos da seca incidem nas perdas na agricultura e na pecuária, expondo as comunidades a um elevado nível de estresse, redução de saúde e a um cotidiano de incertezas e indefinições.

Para Faustino *et al.* (2016), as possibilidades de combate à seca são limitadas, sendo necessário conviver com ela e adotar medidas inovadoras e tradicionais, com propostas de soluções sustentáveis para que a população se adapte a essas condições.

A partir do final da década de 1990, organizações como a Articulação no Semiárido Brasileiro (ASA) elaboraram propostas de intervenção no semiárido cujo foco era possibilitar o acesso à água para consumo humano durante períodos de estiagem ou seca. O modelo desenhado para a proposta previa a utilização de uma tecnologia social de baixo custo e alto potencial de replicação para o armazenamento de água das chuvas.

Mas, foi a partir de 2003 que o governo federal, através do Ministério do Desenvolvimento Social (MDS), passou a financiar programas de apoio à captação de água de chuva e tecnologias sociais. Nesse contexto, a ASA elaborou o Programa *Um Milhão de Cisternas Rurais* (P1MC), que tinha como objetivo a construção de um milhão de cisternas para famílias do meio rural do semiárido brasileiro para melhorar a qualidade de vida das famílias que vivem na região garantindo acesso à água de qualidade.

Conforme Soares Junior e Leitão (2017), o programa se propõe a fomentar ações de articulação e de convivência sustentável com o ecossistema do semiárido, através do fortalecimento, participação ativa da sociedade civil e a comunidade sendo parte integrante de todas as etapas do processo. O público alvo são as famílias de baixa renda que sofrem com a seca ou a irregularidade no abastecimento.

As cisternas de placa são reservatórios com capacidade para armazenar 16 mil litros de água, conectados ao telhado da casa por meio de um sistema de calhas. Quando chove, a água captada do telhado se acumula na cisterna. Quando está cheia, a cisterna garante o abastecimento de água própria para o consumo humano para uma família de até cinco pessoas, por um período de até oito meses (Machado *et al.*, 2021).

As cisternas além de usadas para consumo de água familiar, também são destinadas a garantir o funcionamento das escolas durante a seca e estiagem e para produção agrícola de uso coletivo ou individual (Soares Junior e Leitão, 2017).

Entre os anos de 2011 e 2018, foram investidos mais de 10 bilhões de reais, para instalação de aproximadamente 1 milhão de cisternas e mais de 160 mil tecnologias de acesso à água, atendendo a cerca de 1.300 municípios. Diante do alcance atingido e dos recursos investidos, entende-se que o programa contribuiu significativamente para melhoria das condições de vida das famílias atendidas e para mitigação da insegurança alimentar e da fome no Brasil, ao longo dos últimos anos (Ruediger, 2018).

Um outro importante programa social criado para promover a melhoria da qualidade de vida das comunidades do semiárido é o *Água para Todos*. Amparado pelo Decreto nº 7.535/2011, o *Programa Água para Todos* (PAT), tem a finalidade de promover soluções técnicas para universalização do acesso à água em áreas rurais para consumo humano e produção agrícola e alimentar. Visa o pleno desenvolvimento humano, segurança alimentar e nutricional de famílias em situação de vulnerabilidade social no semiárido (Januzzi, Pinheiro e Oliveira, 2019).

Além desses, existe o *Programa Água Doce* (PAD) que objetiva o aproveitamento sustentável de águas subterrâneas, por meio da dessalinização, pois cerca de 70% da região semiárida tem águas salobras ou salinas e muitas vezes é a única fonte disponível para as comunidades. Visa oferecer maior sustentabilidade nos quesitos técnico, ambiental e social, que foram aspectos deficientes desde a década de 1990, acarretando a não operação dos sistemas implantados. Em 2011 passou a integrar o *Programa Água para Todos* e foi institucionalizado por meio de decretos do governo (Ministério do Desenvolvimento Regional, 2020).

Outra alternativa utilizada para abastecer as comunidades é o transporte de água por meio de carros pipas. Ao final da década de 1990 seu uso é consolidado como política pública de enfrentamento aos efeitos da seca e da estiagem, através da Lei Complementar nº 97/1999. Só em 2012 a Portaria Interministerial nº 1/MI/MD designou a prática como *Operação Pipa*, incumbindo ao Exército Brasileiro e suas organizações a responsabilidade de coordenar, fiscalizar e planejar as ações (Silva e França, 2018).

A *Operação Pipa* consiste na distribuição de água potável para populações urbanas e rurais que sofrem com a estiagem, a prioridade é atender municípios em situação de emergência ou estado de calamidade pública. É um programa emergencial de distribuição de água criado pelo Governo Federal, que visa complementar as ações estaduais e municipais de distribuição de água, a fim de minimizar os danos causados pela seca e estiagem, principalmente no semiárido nordestino e no norte de Minas Gerais e Espírito Santo (Lima, 2018).

2.4.1 Exemplos de ações realizadas para enfrentamento da seca no Nordeste

Além dos programas mencionados até o momento, algumas ações conjuntas também são estabelecidas pelos estados e municípios para reduzir os impactos da seca na região semiárida.

O estado do Ceará enfrentou um período de seca severa, diante desse cenário Nunes e Medeiros (2020) analisaram o evento e verificaram que a açudagem foi a principal solução hídrica adotada ao longo dos anos, porém observaram também limitações quanto a sua eficácia para convívio com a seca. Durante a última estiagem (2012-2017) o município de Fortaleza e o Complexo Industrial e Portuário não sofreram desabastecimento. Em contrapartida, a zona rural e aproximadamente 78% dos municípios cearenses precisaram ser atendidos por carros-pipas. Segundo os autores o grande desafio está em equalizar um sistema de abastecimento em que o atendimento às regiões metropolitanas é reforçado por transposição de bacias hidrográficas, enquanto que o sertão é atendido predominantemente por carros pipa. Outro desafio a ser vencido é dividir no meio urbano as águas com grandes consumidores do setor industrial, e no meio rural atender os sertanejos que são amparados por pequenos açudes e cisternas.

No estado da Bahia, para amenizar os danos da seca, o governo investiu na construção de barragens e adutoras, ampliou e melhorou o sistema de abastecimento, reduzindo as perdas. Nas pequenas comunidades, implantou sistemas simplificados de abastecimento de água, construiu cisternas, além dos sistemas de dessalinização do

Programa Água para Todos do governo federal já comentado anteriormente. Considerando a necessidade de uma gestão de qualidade dos recursos hídricos, o estado criou uma secretaria de Infraestrutura Hídrica e Saneamento, para tratar diretamente das questões sobre a água.

Nesse cenário, o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA) pontuou medidas de enfrentamento a seca em curto, médio e longo prazos e algumas medidas adicionais como: monitoramento permanente da quantidade e qualidade dos mananciais de abastecimento; atualização das curvas de vazão dos rios utilizados para atender a região; ampliação dos serviços do INEMA, com sistema de plantões para melhor atender as necessidades da população (Topázio, 2017). Essas medidas contribuem para melhor gestão dos recursos hídricos e serviço de abastecimento de água.

Em Sergipe, segundo Rocha (2017), o governo estadual, em 2017, propôs medidas de abastecimento de água para consumo humano para atenuar os transtornos causados pela seca, tanto para atender sedes municipais e grandes povoados, como para comunidades rurais. Para os municípios, sugeriu a recuperação ambiental de pequenos mananciais que sofreram danos devido a antropização, além de recuperar unidades do sistema já existentes, complementar do Sistema Operacional de Automação e programa de educação ambiental. Também inclui o apoio a implementação da gestão municipal de saneamento básico conforme os Planos Municipais.

Em Olho d'Água do Casado e Delmiro Gouveia, no estado de Alagoas algumas comunidades têm como principal fonte de abastecimento as águas do rio São Francisco, porém as recebem sem tratamento. A população armazena água em cisterna, mas durante a estiagem é necessário complementar o abastecimento domiciliar com uso de carros pipas, o que gera um custo oneroso aos moradores. Muitos ainda não foram contemplados com a doação de cisterna pelo Governo Federal. Os autores sugerem o aproveitamento de uma área inutilizada como um local para captação e armazenamento de água pluvial, de uso comunitário (Santos *et al.*, 2018).

O uso de poços artesianos foi uma das soluções adotadas para suprir a deficiência no abastecimento de água, no município de Ipojuca, Pernambuco. O crescimento populacional e fluxo intenso de turistas, elevaram significativamente a demanda, fazendo com que hotéis e pousadas utilizem essa solução alternativa. Quando analisados os parâmetros de potabilidade, foi possível verificar que a maioria atendia aos padrões estabelecidos na legislação assegurando uma oferta de água de qualidade as populações fixa e flutuante do local (Figueiredo e Pereira, 2020).

Em São Luís, capital do Maranhão, a comunidade Cinturão Verde utiliza, de forma satisfatória, poços tubulares como fonte de abastecimento de água. Coelho *et al.* (2017) chamam atenção para importância da presença de saneamento básico em comunidades que utilizam águas subterrâneas para consumo e a necessidade de monitorar a qualidade dessas águas a fim de proteger a população de doenças de veiculação hídrica.

Entre os anos 2012 e 2013, o município de Triunfo no sertão da Paraíba, enfrentou problemas no abastecimento devido à escassez hídrica ocasionada pela baixa precipitação na região. Diante desse cenário, a Prefeitura Municipal junto ao exército captava água de um poço tubular e utilizava carros pipas para atender a população. Com aumento da demanda e a redução da vazão do poço foi necessário recorrer a outras fontes, como um reservatório do estado vizinho para garantir a distribuição da água quatro vezes por semana a população (Batista, 2014).

De acordo com Tomaz Filho (2019), após oito anos de estiagem no município de Junco do Seridó, sertão da Paraíba, os recursos hídricos são gerenciados pela Operação Carro Pipa, do exército brasileiro, a fim de garantir o abastecimento três vezes por semana a população. O município também dispõe de 25 poços tubulares, conforme registro do Serviço Geológico do Brasil, que complementam o atendimento a essa demanda.

Segundo Pereira (2018), Cajazeiras, interior da Paraíba, durante os anos de estiagem (2012-2017), buscou garantir o abastecimento à população através de carros pipas. No município, a Operação Pipa continua sendo realizada pela Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (COMPEDEC), com apoio do Exército que fiscaliza e distribui água para as comunidades. A população faz o uso da água tanto para consumo humano, como para os animais. Um fato preocupante é que a quantidade de água para consumo é dividida para várias famílias, que armazenam um volume insuficiente para atender as demandas básicas (Pereira, 2018).

Após o esvaziamento dos reservatórios que atendiam a cidade de Piancó, mesorregião da Borborema no estado da Paraíba ocasionado pela falta de chuvas desde 2013, foram adotadas novas estratégias para atender a demanda da população. Segundo Melo (2019), utilizaram-se como soluções alternativa a exploração de poços artesianos e a captação de águas de reservatórios vizinhos com carros pipas. Também foi adotada a alternativa de caixas d'água na cidade, que dispõe do recurso duas vezes por semana.

O autor observa que a gestão do abastecimento encontra dificuldade devido à insuficiência de recursos financeiros para planejamento e execução de ações que fortaleçam a logística atual de abastecimento do município. Em períodos de abundância

não há uso consciente e não são adotadas medidas que possam contribuir para a gestão eficiente das águas dos mananciais.

Os baixos índices pluviométricos e o regime de chuva irregular concentrado em poucos meses do ano são uma realidade no semiárido nordestino. Essas características podem ser atenuadas por meio de uma gestão eficiente que estabeleça políticas públicas de incentivo ao uso de fontes alternativas e sustentáveis para fins potáveis e não potáveis, bem como o estímulo a população ao uso consciente.

2.5 ANÁLISE MULTIRITÉRIO E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A tomada de decisões sobre a gestão dos recursos hídricos pode se tornar um processo de grande complexidade quando é necessário considerar diversas variáveis em um contexto espacial e sua respectiva influência sobre a atividade estudada. No entanto, essas decisões podem ser auxiliadas por métodos que simplifiquem a relação entre elas e os resultados norteiem a gestão para planejamentos coerentes e exequíveis.

A Análise Multicritério consiste em uma ferramenta de análise de decisão usada na seleção da melhor entre diversas alternativas, uma vez considerados determinados critérios.

A Análise Hierárquica de Processes (AHP) é um dos métodos de análise multicriterial mais conhecidos e tem sido muito utilizado para solução de problemas espaciais. Os critérios têm diferentes pesos e são selecionados de acordo com a realidade de cada situação abordada (Chandio *et al.*, 2013 apud Pimenta *et al.*, 2019).

Shao *et al.* (2020) afirmam que a Análise Multicritério com o método da hierarquia analítica é eficiente para a gestão de recursos hídricos. Além de Cordão (2021), que identificou os níveis de risco de desabastecimento de água em uma área urbana, é possível citar alguns autores que corroboram com Shao em seus estudos. Shekar e Mathew (2023) delinearão zonas potenciais de possíveis recargas subterrânea em uma bacia hidrográfica. Becker *et al.* (2023) avaliaram e monitoraram pesticidas em águas subterrâneas. Alves *et al.* (2022) indicaram alimentos mais sustentáveis levando em consideração o consumo de água para sua produção. Oliveira *et al.* (2023) avaliaram ações direcionadas à gestão eficiente de sistemas de distribuição de água. Pereira e Fragoço (2022), caracterizaram os indicadores que mais influenciam a eficiência da prestação dos serviços de água.

De acordo com Doke *et al.* (2021) a Análise Multicritério é adotada em todo mundo de forma satisfatória. Sendo assim, além da gestão de recursos hídricos a literatura científica também registra sua aplicabilidade na caracterização de municípios quanto ao tipo (Dias e Amaral, 2021); avaliação do desempenho do transporte hidroviário (Barbosa *et al.*, 2023); na estruturação de um sistema de gestão para o gerenciamento dos riscos de segurança do trabalho (Pantaleão e Wietholter, 2022), classificação do risco de recorrência de febre aftosa em rebanho (Bosso *et al.*, 2023), priorização de rotas para frota de ônibus eletrificados (Siqueira e Arantes, 2023), entre outros estudos, disponíveis em plataformas de pesquisas *online*.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são ferramentas muito utilizadas em estudos que envolvem análise espacial em diversas áreas trazendo resultados satisfatórios (AlRashid, Abdelgadir e Shobrak, 2021; Criollo *et al.*, 2016; Ferreira, Diniz e Assis, 2021; Kuznetsov, Sadovskaya, 2021; Rossetto *et al.*, 2018). Além de possibilitar a criação de mapas temáticos são ferramentas que auxiliam significativamente análises com variações espaço-temporal. Para Toosi *et al.* (2020), as tecnologias geoespaciais, a exemplo do QGIS, têm a capacidade de lidar e adequar diferentes dados desempenhando um papel relevante na gestão e planejamento dos recursos hídricos.

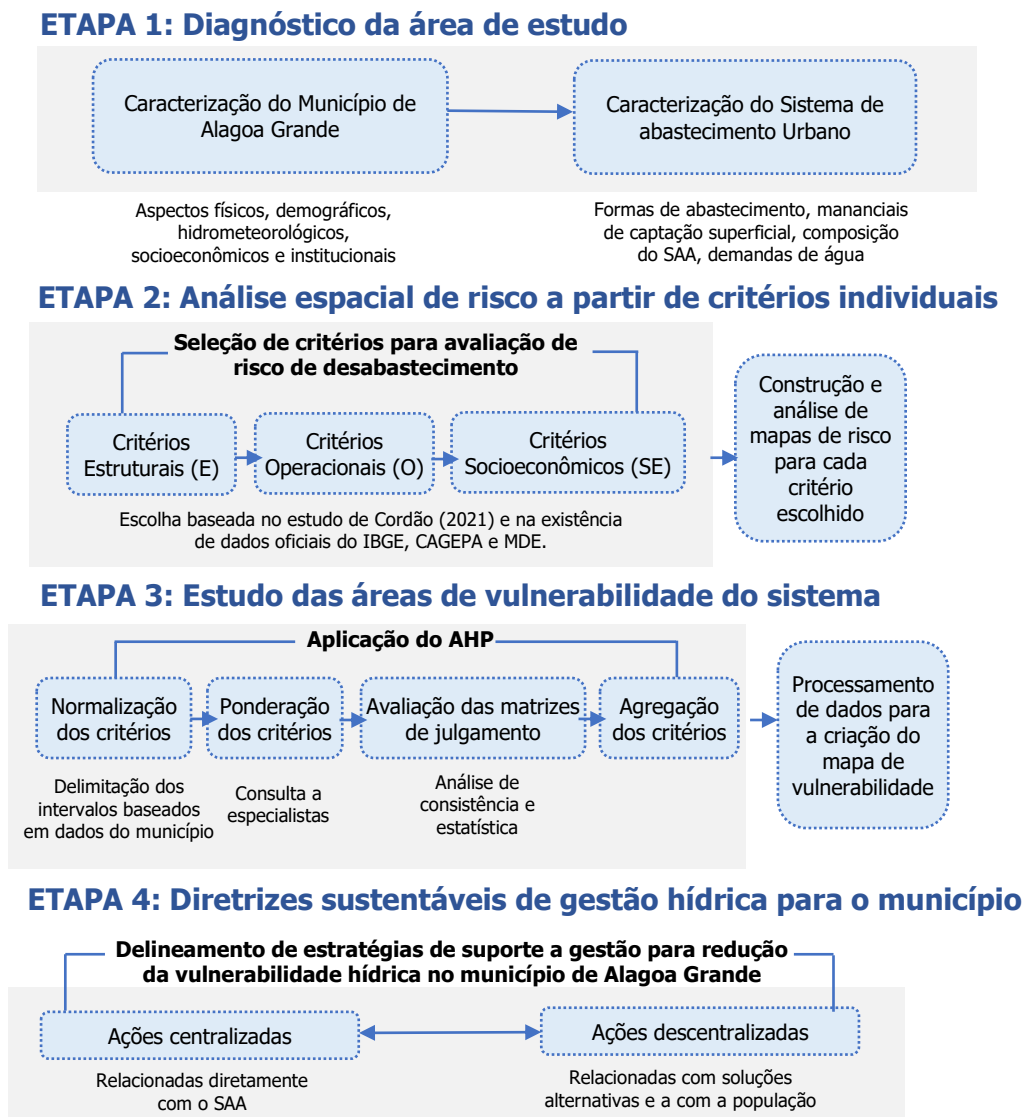
O software QGIS e o AHP podem ser utilizados para analisar e identificar os critérios que mais influenciam no abastecimento de água urbano. De acordo com Ogrodnik e Kolendo (2021), a integração de tecnologias SIG e método multicritério é uma combinação conhecida e pode ser utilizada em estudos para assuntos distintos, como determinar ecorregiões e corredores de paisagem adequados para reflorestamento e restauração (Dindaroglu, 2020); definir os locais adequados para instalar parques solares fotovoltaicos considerando critérios (Günen, 2021); avaliar áreas para determinada cultura sob as condições de um ecossistema específico (Ramamurthy, Reddy e Kumar, 2020); avaliar o risco de falha em tubulações de esgoto urbano (Ghavami, Barzooei e Maleki, 2020); avaliar o risco de múltiplos perigos que podem afetar um ecossistema (Bera e Maiti, 2021), entre outros.

No que se refere a gestão de recursos hídricos pode-se citar a associação dessas metodologias adotadas em pesquisa para delinear ou avaliar o potencial de água superficial e subterrânea em regiões semiáridas, considerando diferentes critérios (Achu, Thomas, Reghunath, 2020; Arunbose *et al.*, 2021; Aykut, 2021; Nithya *et al.*, 2019; Shao *et al.*, 2020).

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa propõe alternativas sustentáveis de abastecimento de água para a zona urbana do município de Alagoa Grande-PB, baseadas na vulnerabilidade do serviço ofertado, a partir de uma análise multicriterial. Para alcançar esse objetivo, o estudo foi dividido em quatro etapas: (1) Diagnóstico da área de estudo; (2) Análise espacial de risco de desabastecimento a partir de critérios individuais; (3) Estudo das áreas de vulnerabilidade do sistema e (4) Diretrizes sustentáveis de gestão hídrica para o município. A Figura 1 apresenta a sequência das etapas com as atividades a serem desenvolvidas e o detalhamento de cada etapa será feito nos itens que seguem.

Figura 1 - Fluxograma das etapas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

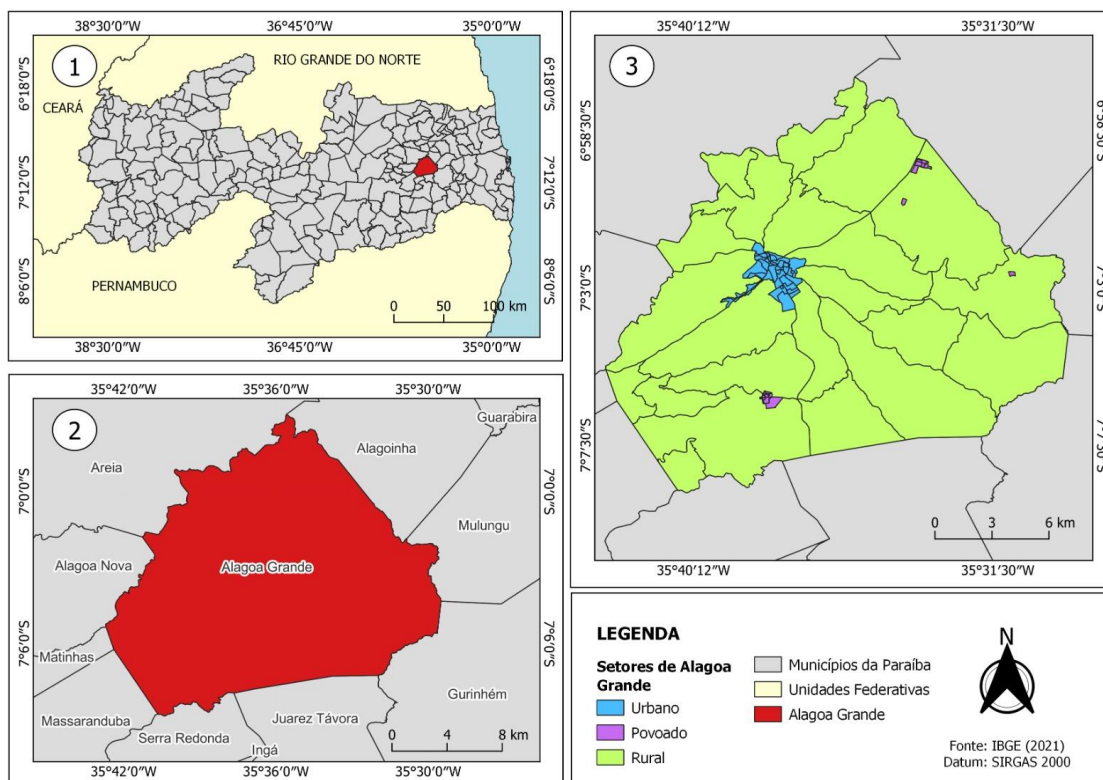
3.1 ETAPA I – DIAGNÓSTICO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Caracterização do Município

a) Aspectos físicos

A área adotada como estudo de caso é o município de Alagoa Grande que está localizado na microrregião do Brejo da Paraíba, com 7° 05' 20" de latitude e 35° 08' 06" de longitude. Faz fronteira com os municípios de Areia, Alagoa Nova, Juarez Távora, Serra Redonda, Massaranduba, Matinhas e Gurinhém, Alagoinha e Mulungu (Figura 2).

Figura 2 - Mapa de localização do município de Alagoa Grande-PB

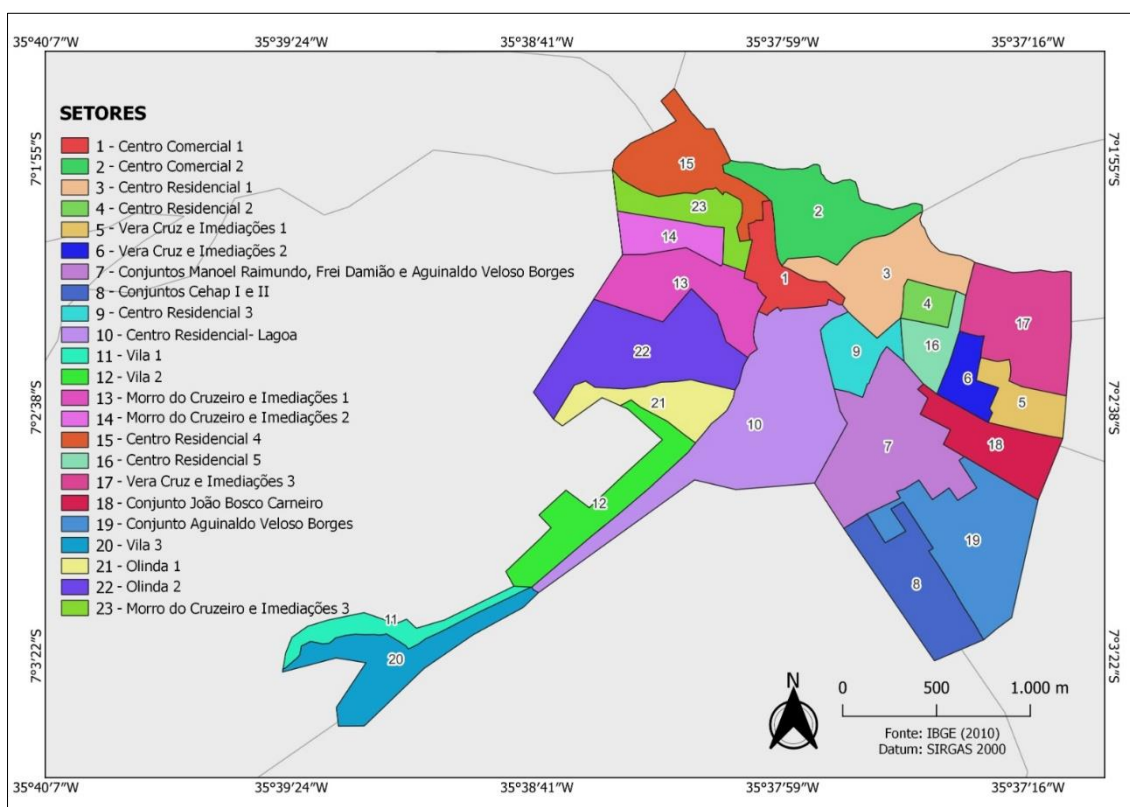


Fonte: Elaboração da autora, 2022.

O município não é oficialmente dividido por bairros, apenas por setores censitários. Os arquivos em *shapefile* do IBGE (2010) trazem consigo os códigos IDs referentes aos setores censitários urbanos (Figura 3). Entretanto, tendo em vista que os códigos dos setores possuem cinco algarismos, para este estudo foram atribuídos nomes (não oficiais) aos setores urbanos, afim de facilitar a leitura dos dados e melhorar a discussão dos resultados. Vale ressaltar que essa nomeação foi definida para fins de interpretação dos resultados obtidos. Outra questão é que essas nomeações e limites dos setores não correspondem exatamente ao limite do logradouro ou conjuntos, pois um logradouro ou conjunto podem estar inseridos em dois setores devido a delimitação oficialmente estabelecida.

O Quadro 1 apresenta o código ID, a nomenclatura estabelecida e os logradouros referente a cada setor. A partir da delimitação desse código foi estabelecida uma nomenclatura a fim de identificar os logradouros localizados dentro dos limites do setor.

Figura 3 - Setores censitário urbanos – Alagoa Grande.



Fonte: Elaboração da autora, (2022).

Quadro 1 - Código “ID” dos setores urbanos, nomenclatura atribuída e ruas referentes

| Nº DOS SETORES/ CÓDIGO ID IBGE | NOMENCLATURA ATRIBUÍDA | LOGRADOUROS |
|--------------------------------|------------------------|--|
| Setor 1 (32896) | Centro Comercial 1 | Apolônio Zenayde, Getúlio Vargas, Profª Ana Bastos, Santos Dumont, Francisco Montenegro, Pedro II, Conego Firmino Cavalcante, Siqueira Campos, Vidal de Negreiros, Horácio de Albuquerque, Boa Vista, Francisco Lino C de Miranda, São Sebastião, Cruzeiro, Padre Luiz, Augusto dos Anjos, 4 de outubro. |
| Setor 2 (32897) | Centro Comercial 2 | 4 de outubro, Antônio Bem Vindo, João Antônio da Luz, Otília Pereira da Cunha, Pedro II, Maria Cavalcante Pereira, Joana Alves da Cunha, Ernesto Cavalcante, Mariano Rodrigues. |
| Setor 3 (32898) | Centro Residencial 1 | Ana Emília de Medeiros, Isidoro Pereira, Mariano Rodrigues, Gedeão Amorim, São José, Pres. João Pessoa, Ernesto Cavalcante, Vidal de Negreiros, Pedro II, José Cavalcante, Otília Pereira da Cunha, José Mariano da Silva. |
| Setor 4 (32899) | Centro Residencial 2 | Gedeão Amorim, José Hipólito, Antônio Hipólito, Expedicionário. |

| | | |
|---------------------|--|--|
| Setor 5 (32900) | Vera Cruz e Imediações 1 | Severino Paes, Vicente Pereira da Silva, Francisco Inácio, Manoel Neto, Antônio Inácio de Araújo, Vera Cruz. |
| Setor 6 (32901) | Vera Cruz e Imediações 2 | Oliveira Uchoa, Severino Paes, Manoel Neto, Rui Barbosa, Manoel Lino do Nascimento. |
| Setor 7 (32902) | Conjuntos Manoel Raimundo, Frei Damião e Aguinaldo Veloso Borges | João Nepomuceno, Edgar Nóbrega, Joaquina Moreira, Renato Sobral, Jorge Marques Bezerra, Edgar Vieira Rocha, Orlando Falcone, José Lino do Nascimento, Ivan de M Junior, Pedro Lins de Albuquerque, Pres. João Pessoa, João Mariano da Silva, Quinze de novembro, José Correia de Lira, Sebastião Clementino, Severino Trigueiro Avelar, Des. Moacir Nóbrega Montenegro, Martiniano Nascimento, Hélio Peregrino Montenegro, Padre Belísio, Conego Firmino Belo, José Luiz Marques Albuquerque, Prof. ^a Eliane Nóbrega de A Pereira, Teófilo Rocha de Oliveira. |
| Setor 8 (32903) | Conjuntos Cehap I e II | João Nepomuceno, Inácio Pereira, Iremar Francisco da Silva, Ernandes Cavalcante Chaves, Wamberto Nóbrega Zenaide, Severino de Queiroz Antônio Vicente Pereira, Ana Alves Cavalcante, Francisco Carlos da Silva, Sebastião de Melo Borba, Josué Elias Patrício, Abílio Otilio Bezerra, José Ferreira Cabral, Elias Nóbrega de Araújo, Josefa Carlos da Silva, Leonice Lucindo da Silva, Sátiro Coelho. |
| Setor 9 (32904) | Centro Residencial 3 | Padre Belísio, Sete de Setembro, Treze de maio, Osório Paes, Quinze de novembro, João Pessoa, Tiradentes, Gedeão Amorim, Infância, São Vicente, João Mariano da Silva. |
| Setor 10 (32905) | Centro Residencial – Lagoa | Horácio de Albuquerque, Boa Vista, Frei Alberto, Pau d'arco, Olinda, Enéas Cavalcante, Vila Nova, Padre Belísio, Padre Luiz. |
| Setor 11 (32906) | Vila 1 | Vila São João, Severino Ramalho, Vila Nova. |
| Setor 12 (32907) | Vila 2 | Vila Nova, Antônio Faustino de Sales, Bernardo Alves de Aguiar, Antônio Augusto da Silva, Enéas Cavalcante. |
| Setor 13 (32908) | Morro do Cruzeiro e Imediações 1 | Padre Luiz, Engenho Baixinha, Cruzeiro. |
| Setor 14 (32909) | Morro do Cruzeiro e Imediações 2 | Cruzeiro, Jardim, São Pedro, 5 de setembro |
| Setor 15 (32910) | Centro Residencial 4 | Manoel Nóbrega, Entre Rios, Augusto dos Anjos, Alexandre Cabral, Francisco Montenegro, Quatro de Outubro, Macário de Castro, Joaquim José do Vale. |
| Setor 16 (32932) | Centro Residencial 5 | João Pessoa, Gedeão Amorim, Oliveira Uchoa, Expedicionário. |
| Setor 17 (32933) | Vera Cruz e Imediações 3 | Pedro Fausto, Vera Cruz, Margarida Maria Alves, Geraldo Costa, Severino Paes, Oliveira Uchoa, Nova, Antônio Inácio de Araújo. |
| Setor 18 (32934) | Conjunto João Bosco Carneiro | Rui Barbosa, José Pedro Soares, Palmira Rocha da Silva, Arlindo Lima dos Anjos, José Nunes, José Alves Filho, Euclides Lucindo da Silva, Vereador Aguinaldo Mendonça Marques. |

| | | |
|---------------------|-------------------------------------|---|
| Setor 19 (32935) | Conjunto Aguinaldo Veloso Borges | João Nepomuceno, Renato Sobral, Joaquina Moreira, José Lino do Nascimento, Edgar Vieira Rocha, Prof. ^a Eliane Nóbrega de A Pereira, Ernesto Ferreira Alves, Alfredo Martins de Albuquerque, Bento Francisco de Medeiros, Jorge Marques Bezerra, Enedino Alves de Macedo, Teresinha Bernardino da Silva, Luis Alves Cavalcante, Severino Sobral, José Barbosa de Lima, Severino Sobral. |
| Setor 20 (32936) | Vila 3 | Vila Nova, Vila São João. |
| Setor 21 (32937) | Olinda 1 | José Araújo, Olinda. |
| Setor 22 (32938) | Olinda 2 | Olinda, José Araújo, Engenho Baixinha. |
| Setor 23 (32939) | Morro do Cruzeiro e Imediações 3 | 5 de setembro, Paulo Freire, Soledade, Manoel Nóbrega, São Pedro. |

Fonte: Elaboração da autora, (2023).

O município está localizado a uma altitude média de 143 m, com relevo movimentado, moderadamente dissecado, com altitudes entre 300 e 700 m. Os solos são rasos e pobres. A vegetação presente é composta por floresta caducifólia, cerrado e está inserida no bioma da caatinga (CPRM, 2005; IBGE, 2010). Paiva Junior (2006) afirma que após atividades antrópicas, há presença de espécies arbóreas como o jatobá, pau d'arco, aroeira e baraúna.

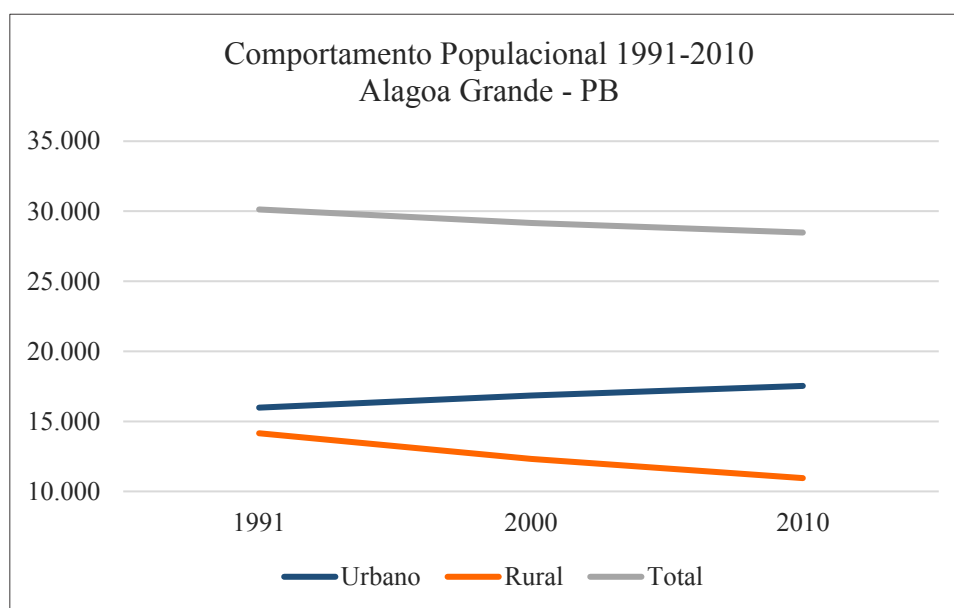
A taxa de urbanização corresponde a 20,7% do território e toda população urbana é atendida através da rede de distribuição (IBGE, 2010; SNIS, 2019).

b) Aspectos demográficos

A população total registrada em 2010 era de 28.479 habitantes, com 322,071 Km² de área territorial e densidade demográfica de 88,84 hab/Km² (IBGE, 2010).

Os dados dos censos de 1991, 2000 e 2010 mostram que houve uma redução na população total ao longo dos anos. A população urbana cresceu e a rural diminuiu, porém em proporções distintas conforme apresentado na Figura 4. No ano de 2010, 61,55% da população era residente na zona urbana, enquanto 38,44% residia no campo e a taxa de urbanização correspondia a 61,56%. Dos 8.014 domicílios, 5.137 estão localizados na área urbana, enquanto 2.877 na zona rural (IBGE, 2010).

Figura 4 - Comportamento populacional de Alagoa Grande (1991, 2000, 2010)



Fonte: IBGE, 2010.

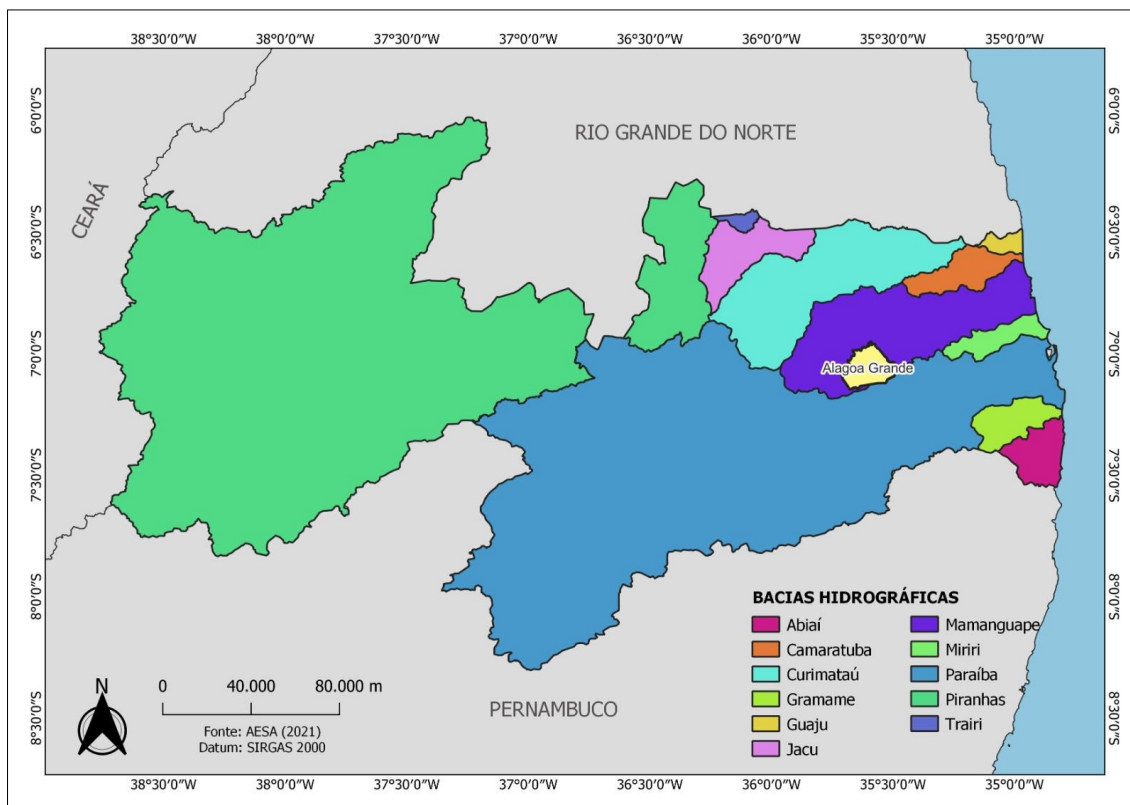
A queda do número da população total pode ser associada aos fatores de movimento pendular para região de influência. A medida que as pessoas vão se capacitando e adquirindo as mais diversas formações, o município de origem não absorve o tipo de trabalho que o indivíduo pode ofertar, obrigando a buscar oportunidade em outro local (Cassanelli, Alves e Colla, 2018).

O IBGE define que cada cidade se vincula diretamente à região de influência de pelo menos uma outra cidade, tanto para acessar bens e serviços quanto por relações de gestão de empresas e órgãos públicos. Nesse sentido, Alagoa Grande está vinculada a região de influência de Campina Grande (segundo maior cidade do Estado), não apenas para atividades comerciais e empregatícias, mas também atividades acadêmicas. Diariamente, dezenas de estudantes deslocam-se para Campina Grande através de transporte público cedido pela Prefeitura Municipal de Alagoa Grande, buscando efetivar sua formação superior em universidades públicas ou privadas. Tavares e Tavares (2016) afirmam que essa dinâmica de movimento pendular se intensificou em todo Brasil com a implementação de programas do governo, como o Programa Universidade para todos (PROUNI), Programa de apoio à planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI) e o Programa de Financiamento Estudantil (FIES).

c) Aspectos hidrometeorológicos

O município está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape que possui área de 3.523Km² (Figura 5).

Figura 5 - Bacias hidrográficas da Paraíba e localização do município na bacia



Fonte: Elaboração da autora, 2022.

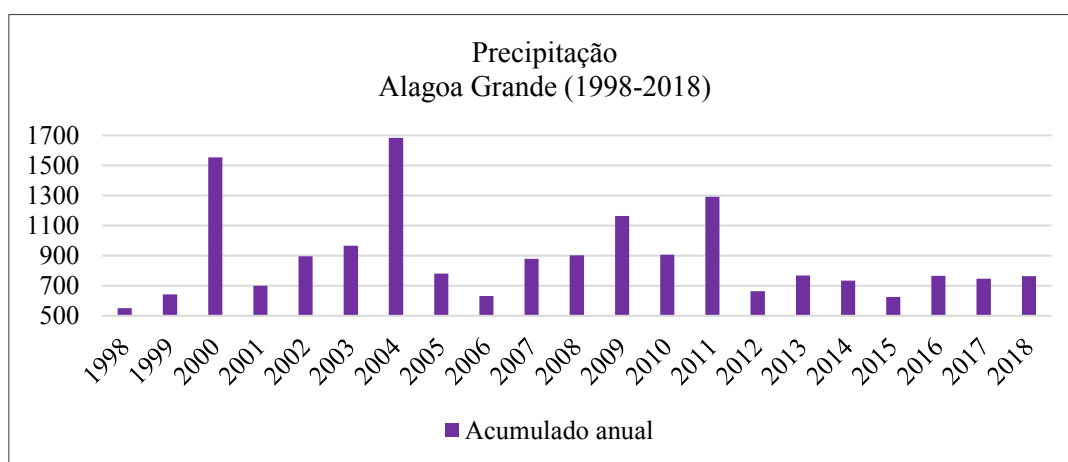
De acordo com Santos, Araújo e Marcelino (2015) essa bacia é uma das principais do estado, contribuindo de forma significativa com desenvolvimento socioeconômico da região canavieira, agregando diversas atividades que compõem a heterogeneidade da região, dinâmica e ao mesmo tempo frágil, sendo necessário adotar estratégias que possam associar desenvolvimento e sustentabilidade.

Os corpos hídricos da bacia do Mamanguape são enquadrados nas classes 1, 2 ou 3 conforme diretrizes previstas pelo Sistema Estadual de Licenciamento de Atividades Poluidoras (SELAP) da Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA), seguindo critérios, aprovados em 1988, quanto a localização das nascentes, atividades realizadas ao longo dos cursos, formas de ocupação da bacia, disponibilidade de água e usos prioritários. O rio Mamanguape e seus principais afluentes (Mundáu, Urucu, Gregório e Zumbi) que cortam o município, são enquadrados na classe 2 (Paiva

Junior, 2006; SUDEMA, 1988). O CPRM (2005), ainda inclui os rios Agreste Gurinhenzinho e os riachos Buraco, Carro, Riachão, Lagoa Nova e Tanques.

O município registou nos anos de 1998 a 2018 um acumulado de precipitação anual variando entre 500mm e 1700 mm de chuva (Figura 6), aproximadamente, sendo os meses chuvosos de abril a julho, com acumulado de chuva mais elevado entre junho e julho. O período de menores precipitações está entre setembro e dezembro, com outubro e novembro apresentando os valores mais baixos, conforme os dados disponíveis na Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs, 2021).

Figura 6 - Precipitação anual acumulada



Fonte: AESA (2021).

A espacialização das chuvas na bacia indicou que há precipitação elevada na porção noroeste e centro-oeste, todavia, na porção leste a intensidade é ainda maior. Tal fato pode ser justificado pelo contraste térmico entre continente e oceano (Santos, Araújo e Marcelino, 2015)

O clima é quente e úmido com temperatura média variando de 24°C a 30°C, com meados de junho, julho e agosto sendo meses mais frios e dezembro e janeiro os mais quentes (Paiva Junior, 2006).

d) Aspectos socioeconômicos

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) mede a qualidade de vida das pessoas de um município e é composto por três variáveis: educação, renda e longevidade. Sua escala varia de 0 a 1, quanto mais próximo de 1, maior o desenvolvimento humano. No ano de 2010 o IDHM de Alagoa Grande era 0,582, valor

classificado como baixo. Entre 1991 e 2010 houve um crescimento no IDMH de 80,75%, valor acima da média do crescimento nacional (47,46%) e estadual (72,25%) (IDEME, 2013).

Dados censitários (IBGE, 2010) apontam que 23.555 pessoas correspondem a população de 10 anos ou mais, desse total 17.791 pessoas não possuíam grau de instrução ou tinha fundamental incompleto. A taxa de escolaridade era de 97,4% na faixa etária de 6 a 14 anos. O IDEME (2013) verificou que a componente educação apresentou o melhor desenvolvimento entre 1991, 2000 e 2010, com valores correspondendo respectivamente a 0,110 e 0,206 de uma década para outra.

O índice de Gini é um instrumento utilizado para medir a concentração de renda de um local, varia de 0 a 1. Quanto mais próximo de 0, menor o nível de desigualdade identificado. Entre os anos de 1991, 2000 e 2010, houve um leve decaimento nesse índice, 0,60, 0,55 e 0,53, respectivamente.

Atualmente, a principal atividade é o comércio varejista de alimentos e outros (Silva, 2016b). O Produto Interno Bruto per capita foi de 9.024,25, em 2018. A agropecuária e os serviços tiveram maior contribuição com o PIB municipal.

e) Aspectos Institucionais

Dentre as legislações que envolvem o meio ambiente, a partir do ano de 2006, registradas no município, podem-se citar:

- Lei nº 884/2006: *Institui o Plano Diretor de Alagoa Grande e dá outras providências.*

A seção I, do Título V, trata dos recursos hídricos do município. Tem como objetivo “*assegurar a existência e condições básicas de produção e conservação dos recursos hídricos necessários aos atendimentos da população e das atividades econômicas do Município e garantir a participação no conjunto de Áreas de Proteção e Recuperação de Mananciais, garantindo a maximização econômica, social e ambiental da produção de água nos mananciais e rios e outros aquíferos que abastecem o município e a região.*”

Define ações como: Programas integrados de saneamento; Participação ativa nos órgãos colegiados de recursos hídricos; Criação de instrumentos legais que exijam regularização de loteamentos localizados em mananciais, sujeito a punição em caso de

descumprimento; Construção de cisternas nas escolas rurais e demais localidades que haja necessidade; e construir e/ou recuperar barragens, açudes, barreiros e poços e lagoas.

- Lei nº 939/2008: *Cria o Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente de Alagoa Grande e dá outras providências.*

Destinado a ser órgão consultivo, orientador e normativo do município. Tem atribuições de: Definir a política municipal no que concerne à expansão e desenvolvimento do Município e a preservação e defesa do meio ambiente; Coordenar, integrar e executar as atividades públicas contra poluição ambiental; Receber analisar e encaminhar reclamações, sugestões e propostas de entidades representativas ou de qualquer munícipe; Proceder estudos para a elaboração e aperfeiçoamento de recursos legais de proteção contra poluição de cursos d'água, do ar, sonora e visual; Informar conscientizar e motivar os munícipes, por todos os meios de divulgação: escrita, falada e impressa, cursos conferências e outras promoções como os mesmos objetivos; e desenvolver outras atividades compatíveis com as finalidades do Conselho.

- Decreto nº 104/2017: *Dispõe sobre a criação do Conselho Municipal de Controle Social de Saneamento Básico no âmbito do município de Alagoa Grande e dá outras providências.*

O Conselho consiste num órgão colegiado de caráter consultivo na formulação, planejamento e avaliação da Política e do Plano Municipal de Saneamento Básico. Cabe ao conselho debater e fiscalizar a Política Municipal de Saneamento Básico e a execução do Plano Municipal de Saneamento Básico, diagnosticar a situação e prestar informações necessárias para a execução do Plano Municipal de Saneamento Básico e encaminhar reclamações e denunciar irregularidades na prestação de serviços. Em sua composição deve haver representantes do governo municipal e da sociedade civil.

- Lei nº 1380/2019: *Ratifica o protocolo de intenções e autoriza o ingresso do município de Alagoa Grande no Consórcio Intermunicipal para o Desenvolvimento Urbano (CIMDURB) e dá outras providências.*

3.1.2 Caracterização do Sistema Urbano de Abastecimento de Água

As formas de abastecimento no município de Alagoa Grande, variam entre o Sistema de Abastecimento de Água (SAA), com rede geral fornecida pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA); Solução Alternativa Coletiva (SAC) ou Solução Alternativa Individual (SAI), supridos através poços, cisternas, açudes, carros pipa, entre outras formas conhecidas (SNIS, 2019; ANA, 2015).

Alagoa Grande foi o terceiro município do estado da Paraíba a receber água encanada no final da década de 1940. Por anos, a população sofreu as dificuldades causadas pelo desabastecimento que era resultado ou da escassez hídrica ou da falta de estrutura suficiente do SAA para atender a demanda.

Ainda no início dos anos 1980 verificou-se a necessidade de tornar a cachoeira de Serra Grande barragem, a fim de atender as necessidades da população. Nos anos de 1997 e 1998 a disponibilidade deste manancial passou a ser insuficiente devido a pouca ocorrência de chuvas e sendo reflexo da intensificação de atividades nas usinas Santa Maria e Tanques ocorrida nos anos de 1960.

Em 2000 a barragem do Quinze foi concluída, mas não entrou em operação de imediato devido a falhas técnicas que foram posteriormente resolvidas. Todavia, segundo Paiva Junior (2006), o município ainda contava com outras fontes de água, como Quitéria, Pitombeira, Grutão, Gregório e Vertente. Ainda no ano 2000 foi iniciada a construção da Barragem de Camará para atender Alagoa Grande e mais 21 localidades. Quatro anos depois, já finalizada e em operação, a mesma rompeu, assim as fontes de abastecimento retornaram apenas as Barragens do Quinze e Serra Grande, causando recorrentes interrupções no serviço nos anos seguintes.

Atualmente, a captação para o sistema de abastecimento de água que atende ao município provém dos mananciais das Barragens do Quinze e de Serra Grande. Segundo o SNIS (2019) e o Atlas de Abastecimento Urbano de Água ANA (2015) esses mananciais abastecem toda população urbana.

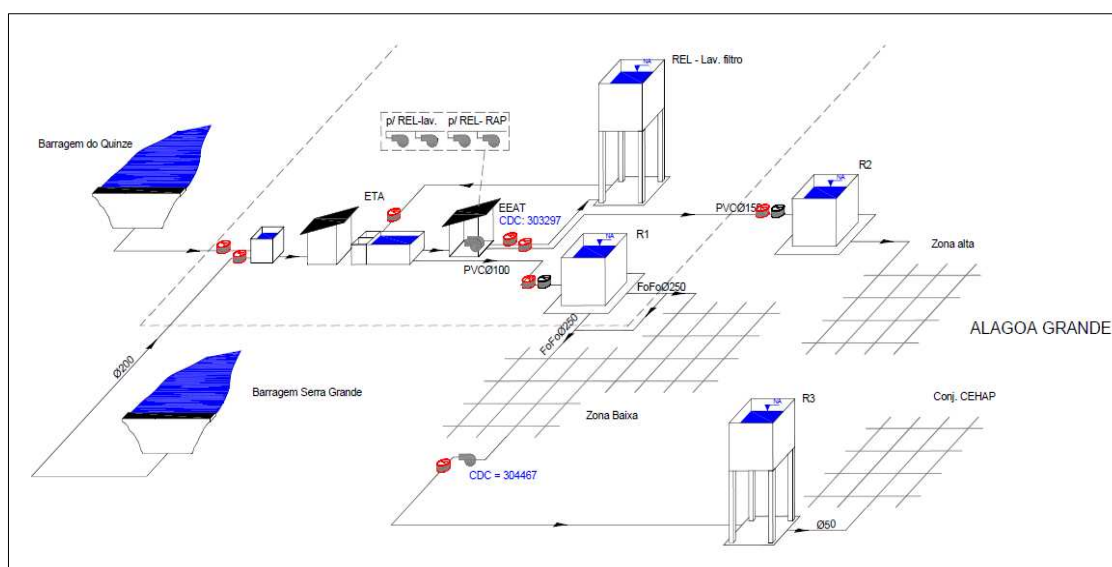
A demanda urbana de água, em 2015, era de 54 L/s e a situação do abastecimento requeria um novo manancial. A solução proposta foi um novo sistema adutor integrado, com captação em dois novos mananciais, implantação de novas adutoras, elevatórias e ampliação de tratamento (ANA, 2015).

Em 2016, foi inaugurada a Barragem de Pitombeira com a promessa de sanar os problemas relacionado a interrupções no fornecimento de água no município. No entanto,

apesar de concluída, a ausência da adutora implica na continuidade da falta d'água em pontos da cidade afastados do centro. Além dessa interrupção no serviço relatada por moradores, também é possível verificar no *site* da CAGEPA registros de suspensão, ocasionados por necessidade de manutenção no sistema. Sendo assim, os registros de falta de água no município eram devido a incapacidade de os sistemas existentes atenderem a demanda de forma satisfatória. Posteriormente, após a associação de um novo sistema, a suspensão se dava por questões operacionais, com ausência de equipamento para a condução da água e, por fim, o fator manutenção também é um aditivo que justifica a interrupção do serviço para população.

Além dos mananciais de captação, o sistema atualmente é composto por uma estação de tratamento de água (ETA), uma estação elevatória de água tratada, três reservatórios de distribuição e 64,82 quilômetros de rede, de acordo com o SNIS (2019) e conforme ilustrado no croqui da Figura 7. Segundo o SNIS (2019), dos 28.469 habitantes do município, 21.885 são atendidos com rede de abastecimento de água, sendo 17.541 moradores urbanos.

Figura 7 - Sistema de Abastecimento de Água de Alagoa Grande



Fonte: CAGEPA (2020)

Um dos reservatórios de distribuição está localizado no Conjunto Cehap. Na vila São João e na rua Prof. Bem-Vindo existem caixas d'água que normalmente são utilizadas em períodos de escassez.

De acordo com o SNIS (2019), dos anos 2000 até 2019 a média de economias ativas de água micromedidas foi de 4.971, havendo um aumento de 53,97% ao longo desse período. Vale ressaltar que nem todas as economias ativas são micromedidas. A Tabela 1 apresenta o quantitativo de ligações e economias ativas e micromedidas existentes no município.

Tabela 1 - Ligações da rede de distribuição no município

| LIGAÇÕES | QUANTIDADE |
|----------------------------------|-------------------|
| Total | 8.288 |
| Ativas | 6.609 |
| Micromedidas | 6.186 |
| ECONOMIAS | QUANTIDADE |
| Ativas | 6.659 |
| Micromedidas | 6.236 |
| Residenciais ativas | 6.418 |
| Residenciais ativas micromedidas | 6.002 |

Fonte: SNIS, 2019.

Além do abastecimento através da rede, alguns estabelecimentos urbanos, como escolas, creches e unidades de saúde, também adotam o uso de fontes alternativas. Os dados de 2019 do SNIS, que indicam as formas de abastecimento de água identificadas no município, trazem como forma de abastecimento para esses locais o uso de poços, cisternas, caixas d'água e canalização.

As formas de abastecimento registradas em 2020 foram carros pipas, poços, cisternas, chafarizes e canalização. Esses sistemas são adotados tanto na zona urbana, como na zona rural. Em setembro de 2021 foi reativado um poço na rua BemVindo devido as interrupções recentes no abastecimento, a fim de atender as demandas da comunidade urbana e rural. As ruas Cruzeiro e Dr. Francisco Montenegro têm chafarizes que também atendem a população em períodos de falta d'água.

3.2 ETAPA II – ANÁLISE ESPACIAL DE RISCO A PARTIR DE CRITÉRIOS INDIVIDUAIS.

Após realizar a caracterização de Alagoa Grande-PB, dos aspectos sociais e econômicos da população e do sistema de abastecimento de água considerando sua estrutura e operação, foram estabelecidos critérios previamente selecionados para análise da sua influência individual sobre o risco de desabastecimento urbano a partir da espacialização dos dados.

3.2.1 Seleção de critérios para avaliação de risco desabastecimento

Os critérios estabelecidos neste estudo para construção do mapa de risco de desabastecimento de Alagoa Grande-PB foram baseados no estudo proposto por Cordão (2021) e na existência de dados oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA) e TOPODATA, para a área de estudo.

Os critérios foram agrupados em três categorias: estrutural (E), operacional (O) e socioeconômica (SE) e para cada um deles foi definida uma sigla representativa. A escolha das categorias foi feita para garantir que aspectos diversificados pudessem ser contemplados, permitindo uma avaliação mais próxima da realidade vivenciada na zona urbana do município. O Quadro 2 apresenta as categorias, os critérios correspondentes, as descrições e as fontes de dados.

Quadro 2 – Categorias e critérios escolhidos para a determinação do mapa de desabastecimento do município de Alagoa Grande - PB

| Categoria | Critério | Descrição | Fonte de dados |
|------------------|---|---|--|
| Estrutural (E) | Domicílios atendidos pela rede (E1) | Quantificar esse critério possibilita identificar áreas não atendidas pelo SAA através da rede de distribuição. A maioria das vezes os domicílios não atendidos estão localizados em áreas periféricas, logo, o serviço de água não consegue acompanhar a expansão urbana, causando a falta de atendimento do serviço (CORDÃO, 2021). | Dados censitários, IBGE (2010). |
| Operacional (O) | Altimetria (O1) | Critério que influencia na operação do sistema. Em áreas de maior cota topográfica o desempenho hidráulico da rede pode ser comprometido e sofrer flutuações, causando desigualdade no atendimento ao serviço de abastecimento de água (CORDÃO, 2021). | Modelo Digital de Elevação (MDE), TOPODATA |
| | Distâncias aos reservatórios de distribuição (O2) | Quanto mais distante da zona de oferta, maior será o esforço para atender a demanda. Distâncias muito grandes dos locais de oferta podem gerar pressões na rede incompatíveis com para o atender a demanda, devido as perdas de carga ao longo das tubulações (CORDÃO, 2021). | Cálculo das distâncias euclidianas, CAGEPA (2021). |
| | Distância às estações | Esse critério influencia nas perdas físicas por vazamento na rede. Geralmente, o rompimento das | Cálculo das distâncias |

| | | | |
|----------------------|---------------------------|---|---------------------------------|
| | elevatórias – ETAs (O3) | tubulações ocorre próximos as estações elevatórias. Altos índices de perdas contribuem para a ineficiência da gestão do SAA (CORDÃO, 2021). | euclidianas, CAGEPA (2021). |
| Sócio-econômica (SE) | População residente (SE1) | A partir do estudo da população residente é possível estimar, considerando o consumo médio per capita, a demanda de água e dimensionar adequadamente os elementos que constituem o SAA. Quanto maior a população, maior será a demanda para o setor. | Dados censitários, IBGE (2010). |
| | Renda (SE2) | A população com menor poder aquisitivo é mais vulnerável ao desabastecimento, tendo em vista que nem sempre possuem reservatórios para armazenar água em sua residência. Além disso, o fator renda é um limitante quanto a aquisição, instalação e manutenção de reservatórios domiciliares (CORDÃO, 2021). | Dados censitários, IBGE (2010). |

3.3 ETAPA III – ESTUDO DAS ÁREAS DE VUNERABILIDADE DO SISTEMA.

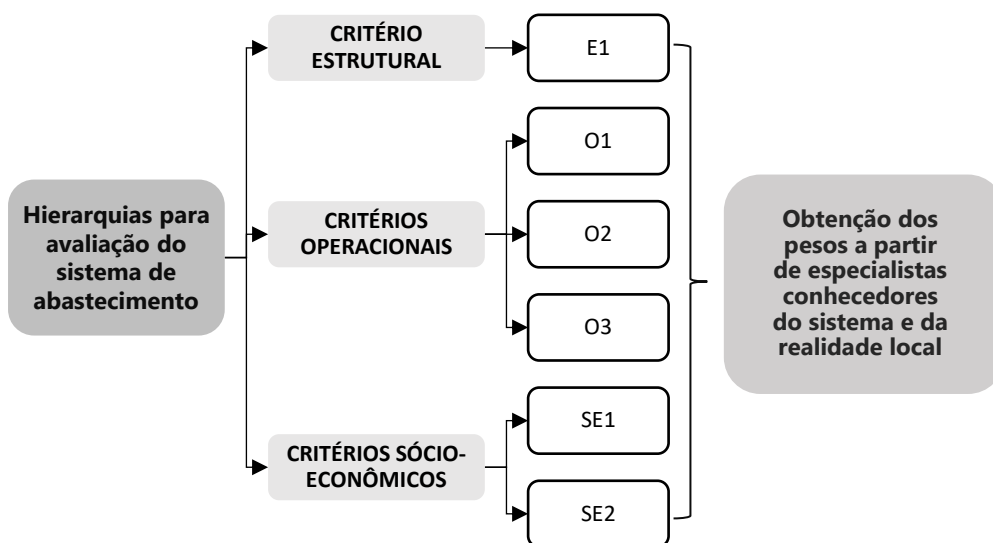
Definidos e analisados os critérios que influenciam o abastecimento de água, foi adotado o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) detalhado a seguir, para viabilizar a construção do mapa de risco de desabastecimento onde serão indicadas as áreas com falhas de atendimento de água e, conseqüentemente, as comunidades em situação de maior vulnerabilidade hídrica de Alagoa Grande-PB.

3.3.1 Análise Hierárquica de Processos (AHP)

O método de decisão multicritério AHP, introduzido por Saaty, foi desenvolvido para auxiliar na tomada de decisões a partir de uma série de parâmetros quantitativos ou qualitativos (ANAC, 2019). Esse método consiste na decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização desses, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (Saaty, 1980). Segundo Rivas (2016) o método propõe a simplificação de uma hierarquia complexa a uma seqüência de comparações par a par dos critérios decisivos.

De acordo com Costa e Moll (1999), um dos princípios que norteiam a análise multicritério do AHP é a estruturação hierárquica do problema, pois facilita a compreensão e avaliação do modelo e da influência de cada critério no objetivo geral. Dessa forma, os elementos do sistema seguem uma hierarquia, onde o objetivo geral encontra-se no topo da árvore, seguido pelos critérios e seus agrupamentos (Lacerda, 2021). A Figura 8 apresenta a estrutura hierárquica do modelo elaborado para a presente pesquisa.

Figura 8 – Estrutura hierárquica do modelo AHP para avaliação do sistema de abastecimento de Alagoa Grande - PB



Fonte: Adaptado de Lacerda (2021)

Após a escolha e hierarquização dos critérios que influenciam o abastecimento de água, esses foram normalizados, ponderados e agregados.

a) Normalização dos critérios

Por estarem expressos em diferentes unidades ou escalas a normalização dos critérios é necessária afim de possibilitar a combinação entre eles. Segundo Lacerda (2021), a normalização é requerida para transformar todas as variáveis em números adimensionais e de mesma ordem de grandeza, de forma que possa haver comparação entre as variáveis e que os dados variem no intervalo delimitado de 0 a 1.

Nessa pesquisa a normalização foi realizada a partir do método do redirecionamento contínuo (Equação 1). Segundo Ogata (2014), no redimensionamento contínuo as variáveis são classificadas através de limites superior e inferior, que podem ser definidos por metas a serem alcançadas ou os valores extremos do conjunto de dados.

$$X_i = \frac{V_n - V_{\min}}{V_{\min} - V_{\max}}$$

Equação 1

Onde: X_i é o valor normalizado do critério; v_n é o valor a ser normalizado; v_{\min} é o valor mínimo para o critério; v_{\max} é o valor máximo para o critério.

Os limites superiores e inferiores foram determinados a partir de dados existentes em bancos oficiais conforme descrito na Tabela 2. É importante ressaltar que o limite superior é representado pelo valor que mais contribui positivamente para que o objetivo seja atingido, enquanto o inferior contribui negativamente. Todavia, no que se refere aos critérios adotados, essa premissa não é fixa, pois a altimetria, as distâncias às estações aos reservatórios de distribuição e a população ocorrem o inverso. Os limites superiores estão condicionados a contribuições negativas por motivos que são justificados da descrição do critério, apresentado no Quadro 2.

Tabela 2 - Limites inferiores e superiores para normalização dos critérios

| Sigla | Critério | Limite inferior | Limite superior | Fonte |
|--------------|---|------------------------|------------------------|----------------|
| E1 | Domicílios atendidos pela rede (un) | 47 | 351 | IBGE (2010). |
| O1 | Altimetria (m) | 124,47 | 147,01 | TOPODATA |
| O2 | Distâncias aos reservatórios de distribuição (m) | 47,07 | 3.123,64 | CAGEPA (2021). |
| O3 | Distância às estações elevatórias de água tratada (m) | 31,97 | 3.259,80 | CAGEPA (2021). |
| SE1 | População residente (hab) | 276 | 1158 | IBGE (2010). |
| SE2 | Renda (R\$) | 308,00 | 1.066,71 | IBGE (2010). |

Fonte: Autor (2022)

b) Ponderação dos critérios

Para a etapa de ponderação o método AHP se baseia em uma estrutura matricial $n \times n$. As linhas e colunas correspondem aos n critérios considerados para o problema em questão. O valor a_{ij} representa a importância relativa do critério da linha i face ao critério da coluna j . Como esta matriz é recíproca, apenas a metade triangular inferior necessita ser avaliada, já que a outra metade deriva desta e a diagonal principal assume valores iguais a 1.

O Quadro 3 indica a escala de comparação dos critérios segundo o grau de importância. A ponderação desses critérios irá indicar aqueles que mais influenciam no risco de desabastecimento.

Quadro 3 - Grau de importância dos critérios

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

Fonte: Adaptado de Saaty (1980) e Cordão (2021).

A atribuição das intensidades de importância foi realizada por meio da aplicação de questionários a especialistas com experiência na temática do estudo. Ao todo foram consultados 14 especialistas no período de setembro a outubro de 2022, os quais definiram os graus de importância de cada critério baseado em seus conhecimentos acerca de sistemas de abastecimento de água.

Um importante passo para que o processo de ponderação ocorra de forma coerente e isento de tendenciosidades é a análise de consistência lógica dos valores da matriz. Essa análise avalia também o quanto seu autovalor máximo se distancia da ordem da matriz. Diante do exposto, Saaty (1980) propôs um índice de consistência dado pela Equação 2 e uma Razão de Consistência (RC), dada pela Equação 3.

$$IC = \frac{|\lambda_{m\acute{a}x} - N|}{N - 1} \quad \text{Equação 2}$$

onde $\lambda_{m\acute{a}x}$ é o autovalor máximo e N é a ordem da matriz.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{Equação 3}$$

onde IC é o índice de consistência da matriz e IR é o índice de consistência randômico dado pela ordem da matriz (Tabela 1).

Tabela 3 - Índice de consistência randômico médio de acordo com a ordem da matriz

| Ordem da matriz (N) | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|---------------------|---|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| IR | 0 | 0,58 | 0,9 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 | 1,51 | 1,48 | 1,56 | 1,57 |

Fonte: Saaty (1990)

De acordo com Saaty (1980), a razão de consistência (RC) deve ser menor que 0,1. $RC > 0,1$ indica uma alta probabilidade de que o julgamento dos critérios tenha sido gerado aleatoriamente. Portanto, o processo é iterativo e devem convergir para um conjunto consistente de pesos. Não sendo alcançada a consistência ideal, o especialista poderá ser novamente consultado para avaliar os seus julgamentos e corrigir as inconsistências observadas.

Considerando a heterogeneidade dos pesos atribuídos a um mesmo critério e a fim de reduzir a interferência de valores atípicos nas séries de dados obtidos, foi necessário realizar o tratamento estatístico da amostra. Portanto, o grau de espalhamento de dados em torno da média de centralidade foi avaliado a partir do intervalo interquartil, conforme mostrado na Equação 4. Logo, os pesos utilizados para compor a equação de risco de desabastecimento originam-se da média normalizada dos pesos de todos os especialistas, excluídos os valores atípicos identificados.

$$\bar{x} - 1,5 \cdot (Q_3 - Q_1) \leq x \leq \bar{x} + 1,5 \cdot (Q_3 - Q_1) \quad \text{Equação 4}$$

Onde: \bar{x} é a média dos pesos do indicador; Q_1 é o primeiro quartil; Q_3 é o terceiro quartil e x é o peso analisado para o indicador.

c) Agregação dos critérios

Depois de normalizar os critérios para uma escala de 0 a 1 e ponderar a partir a atribuição de pesos, foi possível agregá-los de acordo com a regra de decisão. A combinação dos critérios foi feita através do método de Combinação Linear Ponderada (*Weighted Linear Combination* - WLC), onde o resultado final foi o somatório dos produtos entre os critérios e seus respectivos pesos. A partir da Equação Geral (5) foi criada a Equação (6) para o risco de desabastecimento urbano da área de estudo.

$$R = \sum ni = (WiCi) \quad \text{Equação 5}$$

Onde: R: Risco de desabastecimento de água; Wi: peso do critério i; Ci: critério i associado ao risco e n: número de critérios

$$R_u = [(W_1.E_1) + (W_2.O_1) + (W_3.O_2) + (W_4.O_3) + (W_5.SE_1) + (W_6.SE_2)] \quad \text{Equação 6}$$

Onde: R_u : Risco urbano de desabastecimento de água; E_1 : critério associado a categoria Estrutural; $O_{1,2,3}$: critérios associados a categoria Operacional; e $SE_{1,2}$: critérios associados a categoria Socioeconômica.

3.3.2 Criação do mapa de desabastecimento

A etapa posterior à análise multicritério foi o processamento de dados para a criação do mapa de desabastecimento da área estudada. Os arquivos em *shapefile* e *raster* utilizados, obtidos nas bases de dados oficiais, foram processados no *software* QGIS versão 3.10. O QGIS é definido como um Sistema de Informação Geográfica (GIS) de código aberto amigável, licenciado sob a GNU *General Public License*. É um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) e suporta vários formatos e funcionalidades de bancos de dados.

Os resultados apresentados pelos mapas embasaram o estudo de diretrizes centralizadas e descentralizadas para gestão sustentável do abastecimento de água na zona urbana do município de Alagoa Grande-PB.

3.4 ETAPA IV - DELINEAMENTO DE DIRETRIZES DE SUPORTE A GESTÃO

De posse do mapa de desabastecimento foi possível identificar as maiores fragilidades existentes e propor soluções adequadas que atendam a necessidade hídrica da população de Alagoa Grande-PB. As estratégias indicadas para mitigar os problemas observados foram divididas em centralizadas e descentralizadas e fundamentadas na literatura científica, em estudos de casos semelhantes já existentes, apresentados na revisão bibliográfica dessa pesquisa e em legislações locais, estaduais e federais.

Nesse sentido foi considerada toda estrutura necessária para que as soluções propostas se mantenham em funcionamento e atendam a demanda da população, podendo atuar como forma de abastecimento suplementar ao SAA da zona urbana.

Essas propostas têm como objetivo direcionar a gestão a promover um modelo de Sistema Urbano Sustentável de Abastecimento de Água (SUAA).

3.4.1 Estratégias Centralizadas

Segundo Cordão (2021), as estratégias centralizadas consistem em mitigar as fragilidades do sistema e proporcionar capacidade adaptativa através a identificação dos problemas críticos, selecionando as melhores alternativas com base nos problemas levantados a partir de dados disponíveis da rede de distribuição e pesquisas censitárias. Assim, foram propostas ações a serem realizadas no sistema já existente e na sua operação visando reduzir os déficits hídricos existentes.

3.4.2 Estratégias Descentralizadas

As estratégias descentralizadas estão relacionadas ao aproveitamento dos potenciais hídricos alternativos gerados dentro da própria cidade para suplementar o sistema centralizado. Desse modo, ações relacionadas a formas alternativas de abastecimento, ou aquelas associadas a políticas públicas, tecnologias sociais e educativas estão incluídas neste conjunto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

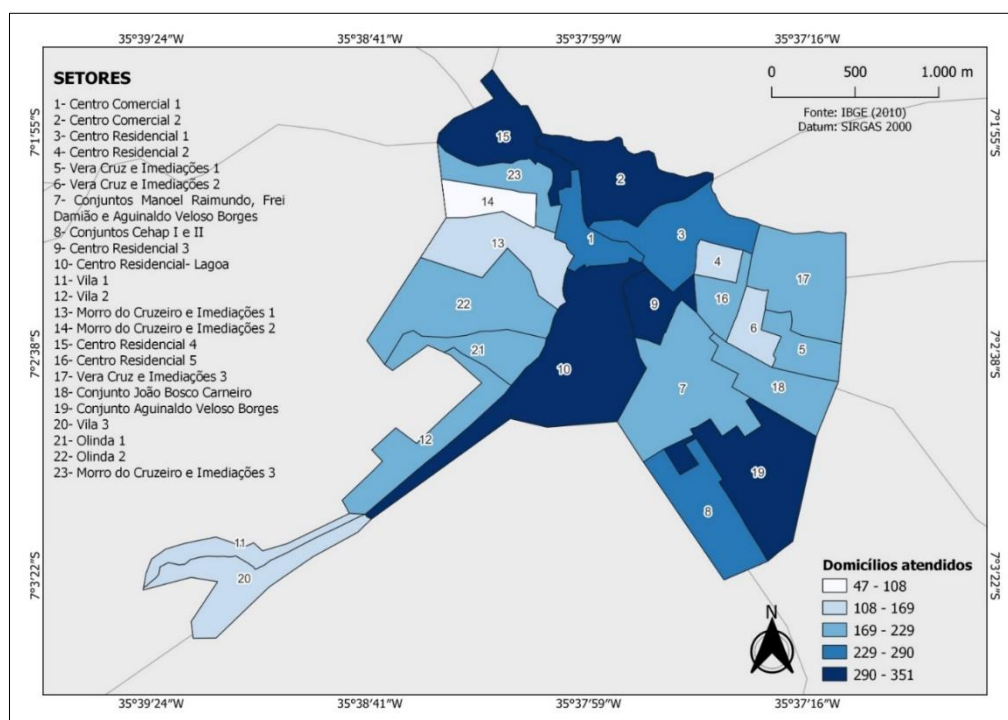
4.1 ANÁLISE INDIVIDUAL DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO ATENDIMENTO DE ÁGUA NA ZONA URBANA

4.1.1 Categoria Estrutural (E)

a) Domicílios atendidos por rede de abastecimento (E1)

O critério escolhido para avaliar a categoria estrutural foi a quantidade de domicílios atendidos por rede (E1) e tem como principal objetivo identificar as áreas da cidade que não estão sendo atendidas por meio de rede de distribuição. A Figura 9 apresenta a espacialização desse critério na área estudada.

Figura 9 - Espacialização dos domicílios atendidos por rede de abastecimento



Fonte: Autora, 2022.

A quantidade de domicílios atendidos por rede de distribuição informa os setores onde há mais domicílios desprovidos de rede. A falta de rede indica que outra forma de abastecimento está sendo utilizada, todavia, o ideal é que todos sejam atendidos pela rede pois a água transportada pelo conduto geralmente tem sua qualidade preservada, garantindo ao usuário utilizá-la dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 888/2021 do MS.

Os setores que apresentam menos domicílios atendidos pela rede são: Morro do Cruzeiro e imediações 2 (setor 14), variando de 47 a 108 domicílios; Vila 1 (setor 11), Morro do Cruzeiro e imediações 1 (setor 13), Vila 3 (setor 20), Centro residencial 2 (setor 4) e Conjunto Vera Cruz e imediações 2 (setor 6), inseridos no intervalo de 108 a 169 domicílios atendidos.

Com atendimento intermediário partindo de 169 até 229 domicílios atendidos estão os setores: Vila 2 (setor 12), Olinda 1 (setor 21), Olinda 2 (setor 22), Morro do Cruzeiro e imediações 3 (setor 23), Vera Cruz e imediações 1 (setor 5), Conjuntos Manoel Raimundo, Frei Damião e Aguinaldo Veloso Borges (setor 7), Centro residencial 5 (setor 16), (setor 17) e (setor 18)

Os setores que apresentam baixo atendimento pela rede coincidem com os setores com menor concentração populacional, portanto, o baixo número de atendimento não

implica, necessariamente, que estão descobertos quanto a forma de abastecimento, pois além da baixa densidade populacional e provável baixa quantidade de domicílios, existem outras formas de abastecimento que podem ser utilizadas, como através de poços e não foram avaliadas por não serem escopo desta pesquisa.

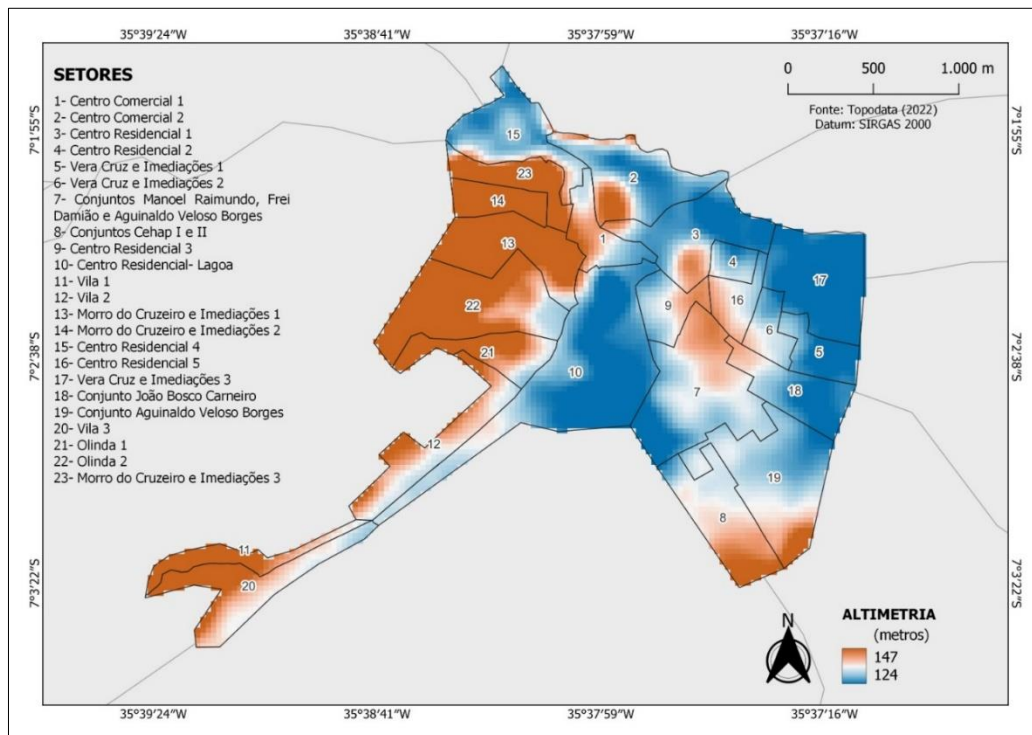
Vale ressaltar que essa quantidade se refere aos domicílios atendidos no setor, independentemente da quantidade total de domicílios existentes. Portanto um setor que foi identificado com baixa cobertura pode ser apenas um setor com poucos domicílios, não necessariamente baixa cobertura por falta de atendimento.

4.1.2 Categoria Operacional (O)

a) Altimetria (O1)

As características topográficas de um local podem influenciar no projeto de SAA, pois deve se verificar a necessidade de estações elevatórias e outras funcionalidades operacionais do sistema. A irregularidade topográfica exige que o sistema atenda a diferentes condições de pressão para o que o desempenho hidráulico da rede não seja comprometido. Segundo Heller e Pádua (2010), a geometria da rede deve ser adaptada as pressões de acordo com a necessidade de cada local. A Figura 10 ilustra a espacialização da altimetria na área urbana de Alagoa Grande-PB.

Figura 10 - Espacialização da altimetria na área urbana de Alagoa Grande-PB



Fonte: Autora, 2022.

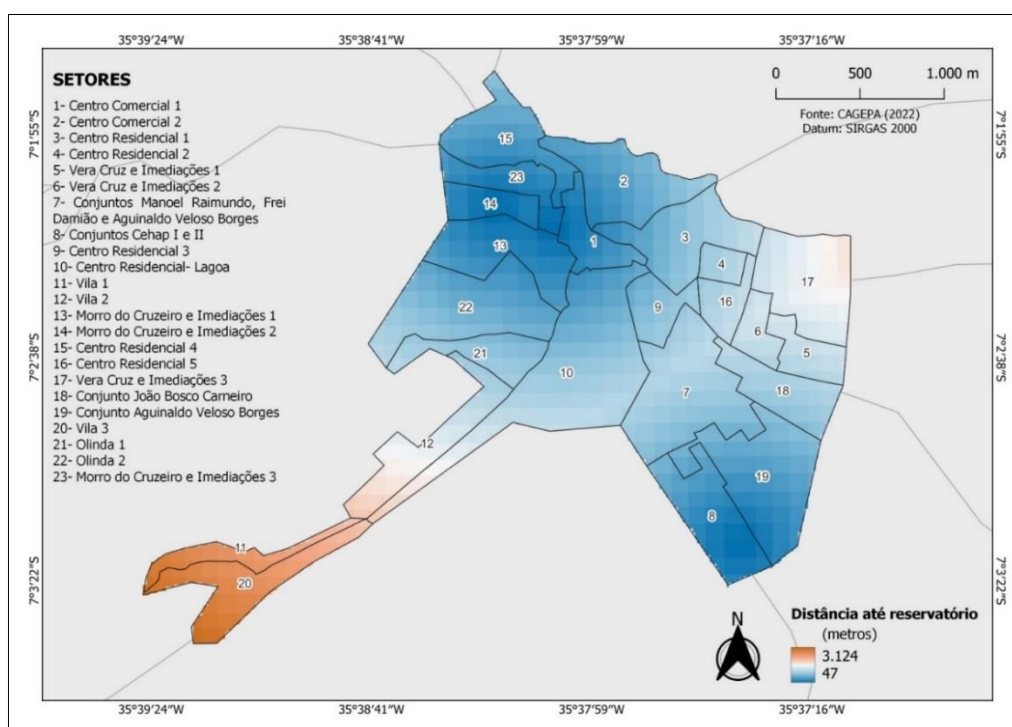
Em cotas topográficas mais elevadas estão os Morro do Cruzeiro e Imediações 1 (setor 13), 2 (setor 14) e 3 (setor 23); Olinda 1 (setor 21) e 2 (setor 22), dentre esses, Cruzeiro e imediações 3 e Olinda 1 têm também maiores concentrações de população. Portanto, além de vencer as questões operacionais citadas anteriormente, há a necessidade de atender toda demanda da população que será maior que em outros setores, como Centro Residencial 2 (setor 4) e 5 (setor 16), e Conjunto Vera Cruz e imediações 2 (setor 6), que têm baixas elevações e menor concentração populacional. Portanto, o dimensionamento do sistema deve considerar a relevância desses critérios sobre o funcionamento do mesmo.

Os demais setores possuem predominantemente cotas menores ou apresentam elevações de forma pontual como é possível observar de forma mais sutil nos setores Centro residencial 1 (setor 3), Centro residencial 3 (setor 9), Centro residencial 5 (setor 16) e Conjuntos Manoel Raimundo, Frei Damião e Aguinaldo Veloso Borges (setor 7). Em contrapartida os Conjuntos Cehap 1 e 2 (setor 8), Conjunto Aguinaldo Veloso Borges (setor 19), Vila 2 (setor 12), Vila 1 (setor 11) e Vila 3 (setor 20) há pontos de altitude de elevação da altitude mais marcantes.

b) *Distância aos reservatórios de distribuição (O2)*

Um outro critério escolhido para estudar a categoria operacional foi a distância dos pontos de atendimento aos reservatórios de distribuição (O2). Esse critério busca identificar os extremos de redes, ou seja, aqueles pontos em que a água necessita percorrer uma maior distância até chegar aos usuários e vencer maiores perdas de energia ocasionadas pelo atrito com a canalização e pelas mudanças de direção impostas pelas conexões existentes na rede. Em uma iminente situação de desabastecimento esses seriam os locais de maior risco. A Figura 11 mostra a espacialização da distância dos pontos de atendimento aos reservatórios de distribuição na área estudada.

Figura 11 - Espacialização da distância dos pontos de atendimento aos reservatórios de distribuição



Fonte: Autora, 2022.

Os setores 11 e 20, correspondentes as Vila 1 e 3, respectivamente, são aqueles cujas distâncias aos reservatórios de distribuição superam três mil metros, seguidos de parte do Centro residencial – lagoa (setor 10), Vila 2 (setor 12) e Conjunto Vera Cruz e imediações 3 (setor 17) que alcançam distâncias entre 1500 e 2300 metros.

O reservatório localizado nos Conjuntos Cehap I e II (setor 8) é do tipo elevado. A Funasa (2016), sugere que reservatórios elevados sejam adotados quando houver

necessidade de manter uma pressão mínima na rede e as condições do terreno não são favoráveis.

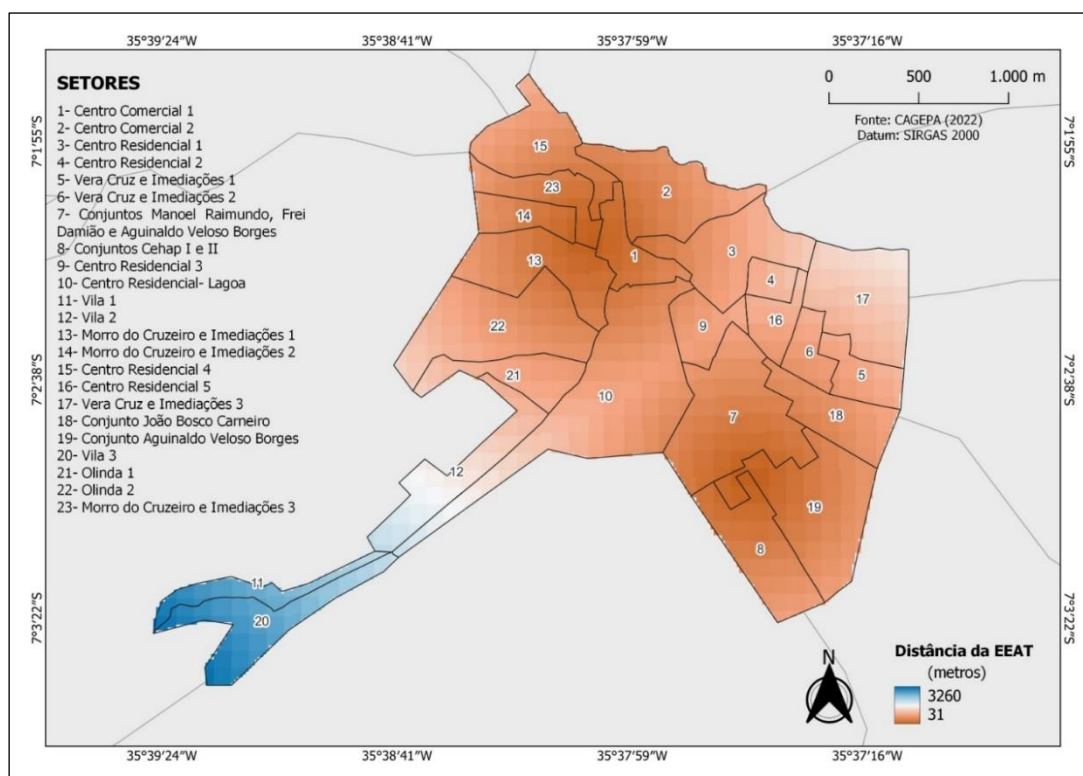
Silva (2021) alerta que as populações dos setores com localização mais distantes dos reservatórios estão mais vulneráveis ao risco de desabastecimento, pois quanto mais distante do reservatório mais energia será demandada e maior será a perda de carga.

c) Distâncias das estações elevatórias de água aos setores censitários (O3)

A Distância das estações elevatórias de água aos setores censitários (Figura 12) foi o terceiro critério escolhido para compor a categoria Operacional. Quando as condições do terreno não são favoráveis ou quando as localidades que necessitam de atendimento estão distantes dos reservatórios de distribuição são necessárias as estações elevatórias para realizarem o transporte da água.

Entretanto, nas proximidades das estações elevatórias ocorrem elevadas pressões que aumentam a probabilidade de rompimentos de tubulações e, conseqüentemente, presença de pontos de vazamento. Então, esses são considerados pontos críticos, uma vez que podem reduzir a quantidade de água que efetivamente será disponibilizada a população.

Figura 12 - Espacialização das distâncias das estações elevatórias de água aos setores censitários



Fonte: Autora, 2022.

O SAA da área de estudo possui duas EEAT, uma localizada no Morro Cruzeiro e imediações 3 (setor 23) e outra na área dos Conjuntos Cehap I e II (setor 8). Existe um reservatório de distribuição localizado no Morro do Cruzeiro e imediações 2 (setor 14), sendo assim, a água tratada chega até ele através da EEAT localizada no Cruzeiro e imediação 3 para, em seguida, ser distribuída.

Os locais que recebem água por meio de elevatórias são o Conjunto Aguinaldo Veloso Borges que está predominantemente inserido no setor (19) de mesmo nome e parcialmente no setor (7) dos Conjuntos Manoel Raimundo, Frei Damião e Aguinaldo Veloso Borges e os Conjuntos Cehap I e II (setor 8). Nos demais setores a água é transportada por gravidade.

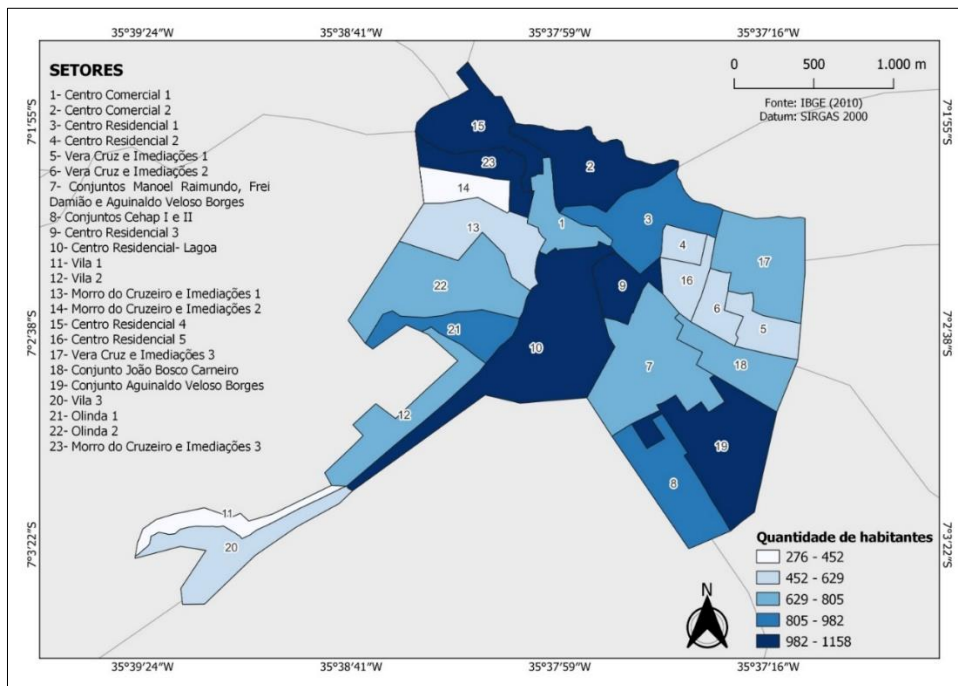
É importante destacar que atualmente a área considerada em expansão, no município, está localizada entre nordeste e sudeste, setores mais afastados do centro urbano, mas apesar disso apresentam as menores distâncias das elevatórias, este fato torna a rede dessa área mais vulnerável a vazamentos devido às altas pressões próximas aos dispositivos hidráulicos.

4.1.3 Categoria Socioeconômica

a) População residente (SE1)

População residente é um fator que influencia significativamente no dimensionamento de um SAA, pois através desse quantitativo é possível estimar a demanda necessária para atender determinada localidade de forma satisfatória. Além disso o tamanho da população determina o porte e a complexidade tecnológica e operacional dos sistemas, como o tipo de material, funcionamento hidráulico, variações de pressão, entre outros. A Figura 13 traz a distribuição espacial da população de Alagoa Grande-PB no ambiente urbano.

Figura 13 - População residente na área de estudo



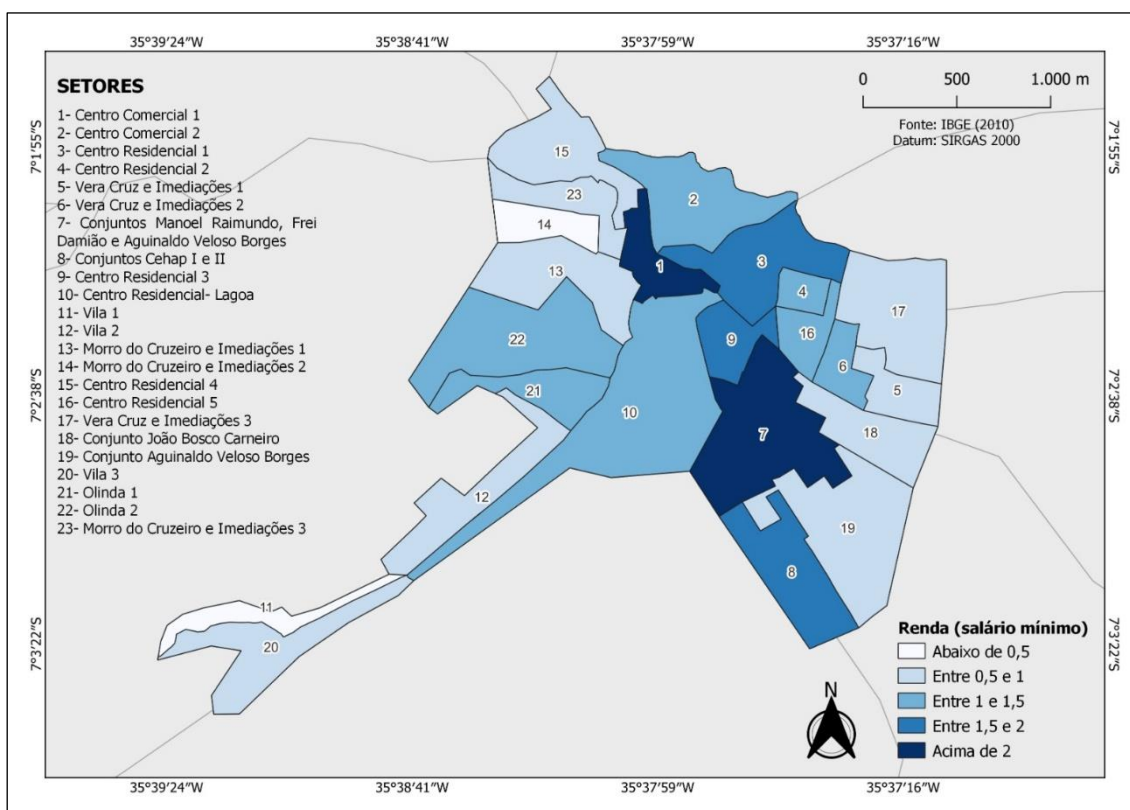
Fonte: Autora, 2022.

De acordo com os dados os IBGE, referentes ao ano de 2010, os Centros residenciais 1 (setor 3), 3 (setor 9), 4 (setor 15) e Lagoa (setor 10); Centro comercial 2 (setor 2); Conjuntos Aguinaldo Veloso Borges (setor 19), Cehap I e II (setor 8); Olinda 1 (setor 21) e Cruzeiro e imediações 3 (setor 23) merecem atenção quando comparados aos demais, pois devido a concentração populacional exigem maior demanda de água.

b) Renda (SE2)

O Critério renda foi enquadrado dentro da categoria socioeconômica. A avaliação do comportamento espacial quanto a distribuição de renda da população de Alagoa Grande é apresentada na Figura 14 e mostra em quais setores de cidade estão concentradas as populações mais pobres e com menos recursos para acumulação de água em situações de intermitência ou interrupção do atendimento público.

Figura 14 - Distribuição de renda da população residente na área de estudo



Fonte: Autora, 2022.

Os locais mais críticos são Vila 1 (setor 11) e Morro do Cruzeiro e imediações 2 (setor 14), onde os rendimentos médios estão abaixo de meio salário mínimo. Em contrapartida, os setores 1 (Centro Comercial 1), 7 (Conjunto Manuel Raimundo Frei Damião e Agnaldo Veloso Borges) são as localidades que apresentam a população com maior poder aquisitivo. Uma avaliação mais ampla da figura indica que em 11 setores (47,8%) dos 23 avaliados a renda é de até 1 salário mínimo. Também pode-se observar que a concentração de renda diminui do centro para as extremidades do mapa. Nas zonas periféricas, a exemplo dos setores 5 (Conjunto Vera Cruz e imediações 1), 15 (Centro residencial 4), 17 (Conjunto Vera Cruz e imediações 2) e 18 (Conjunto João Bosco Carneiro) apresentam renda entre 0,5 e 1 salário mínimo. Esse resultado, apesar de ter sido indicado a partir de dados do último censo, ainda reflete a realidade atual da cidade.

O critério renda é um condicionante acerca da possibilidade da população de determinada área se manter abastecida em caso de escassez ou interrupção do serviço de SAA. Possivelmente a população mais vulnerável é a de menor poder aquisitivo, pois subentende que suas condições de manter ou adquirir um reservatório são limitadas.

Sendo assim, em caso de interrupção ou má funcionamento do sistema sofrerão os impactos em proporções desiguais àqueles que de maior renda.

Uma pesquisa realizada em pelo Instituto Trata Brasil, verificou que mais da metade da população brasileira (51,7%) que se encontram abaixo da linha da pobreza, não recebem água com regularidade, diariamente e em quantidade suficiente. Associado a isso ainda tem o fator capacidade de reservação, como mencionado no parágrafo anterior, sendo assim além das políticas de universalização de acesso ao serviço, também deve se associar políticas tarifárias sociais pertinentes a essa parcela da sociedade e priorizar suas demandas durante a elaboração de projetos e a estratégia de gestão dos sistemas a fim de minimizar os possíveis danos que esse grupo da população possa sofrer (Instituto Trata Brasil, 2021).

4.2 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA ANÁLISE HIERÁRQUICA DE PROCESSOS

4.2.1 Normalização dos critérios

A etapa de normalização dos critérios avaliados foi feita com base nos limites superior e inferior descritos na Tabela 2 (Capítulo 3) e tendo como objetivo ajustar os valores dos critérios dentro de uma escala comum. A Equação 1 norteou essa construção dos valores normalizados. Os resultados obtidos nesta etapa estão apresentados na Tabela 4.

Após a normalização, os valores calculados devem estar entre o intervalo 0 e 1. Quanto mais próximos de 1 maior a vulnerabilidade ao desabastecimento em relação ao critério analisado e quanto mais próximo de 0 menor será a vulnerabilidade. O valor 0 foi dado aos critérios cujo limite inferior não foi alcançado, de modo análogo, o valor 1 foi atribuído àqueles critérios que ultrapassaram o limite superior.

Tabela 4 – Valores normalizados por setores censitários

| SETORES | VALOR NORMALIZADO | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|-------------|------|------|----------------|------|
| | Estrut. | Operacional | | | Socioeconômico | |
| | E1 | O1 | O2 | O3 | SE1 | SE2 |
| Centro Comercial 1 (setor 1) | 0,62 | 0,50 | 0,00 | 1,00 | 0,51 | 0,95 |
| Centro Comercial 2 (setor 2) | 0,95 | 1,00 | 0,25 | 1,00 | 0,10 | 0,40 |
| Centro Residencial 1(setor 3) | 0,79 | 1,00 | 0,50 | 0,75 | 0,26 | 0,94 |
| Centro Residencial 2 (setor 4) | 0,29 | 1,00 | 0,50 | 0,50 | 0,79 | 0,53 |
| Vera Cruz e Imediações 1(setor 5) | 0,43 | 1,00 | 0,25 | 0,25 | 0,65 | 0,11 |

| | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|
| Vera Cruz e Imediações 2 (setor 6) | 0,36 | 0,50 | 0,25 | 0,25 | 0,73 | 0,36 |
| Conjuntos Manoel Raimundo, Frei Damião e Aguinaldo Veloso Borges (setor 7) | 0,51 | 0,75 | 0,00 | 0,75 | 0,54 | 1,00 |
| Conjuntos Cehap I e II (setor 8) | 0,64 | 0,25 | 0,00 | 1,00 | 0,34 | 0,75 |
| Centro Residencial 3 (setor 9) | 0,89 | 0,25 | 0,50 | 0,50 | 0,08 | 0,76 |
| Centro Residencial – Lagoa (setor 10) | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 0,50 | 0,00 | 0,38 |
| Vila 1 (setor 11) | 0,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,82 | 0,98 |
| Vila 2 (setor 12) | 0,27 | 0,25 | 1,00 | 0,25 | 0,59 | 0,02 |
| Morro do Cruzeiro e Imediações 1 (setor 13) | 0,43 | 0,64 | 0,75 | 1,00 | 0,65 | 0,23 |
| Morro do Cruzeiro e Imediações 2 (setor 14) | 0,37 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,22 |
| Centro Residencial 4 (setor 15) | 0,00 | 0,75 | 0,00 | 1,00 | 0,01 | 0,00 |
| Centro Residencial 5 (setor 16) | 0,90 | 0,50 | 0,25 | 0,25 | 0,68 | 0,28 |
| Vera Cruz e Imediações 3 (setor 17) | 0,44 | 1,00 | 0,50 | 0,25 | 0,47 | 0,61 |
| Conjunto João Bosco Carneiro (setor 18) | 0,52 | 1,00 | 0,75 | 0,50 | 0,48 | 0,19 |
| Conjunto Aguinaldo Veloso Borges (setor 19) | 0,53 | 0,25 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,31 |
| Vila 3 (setor 20) | 0,61 | 0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,61 | 0,83 |
| Olinda 1 (setor 21) | 0,97 | 0,00 | 0,00 | 0,75 | 0,38 | 0,33 |
| Olinda 2 (setor 22) | 0,39 | 0,00 | 1,00 | 0,75 | 0,49 | 0,17 |
| Morro do Cruzeiro e Imediações 3 (setor 24) | 0,55 | 0,00 | 0,25 | 1,00 | 0,17 | 0,43 |

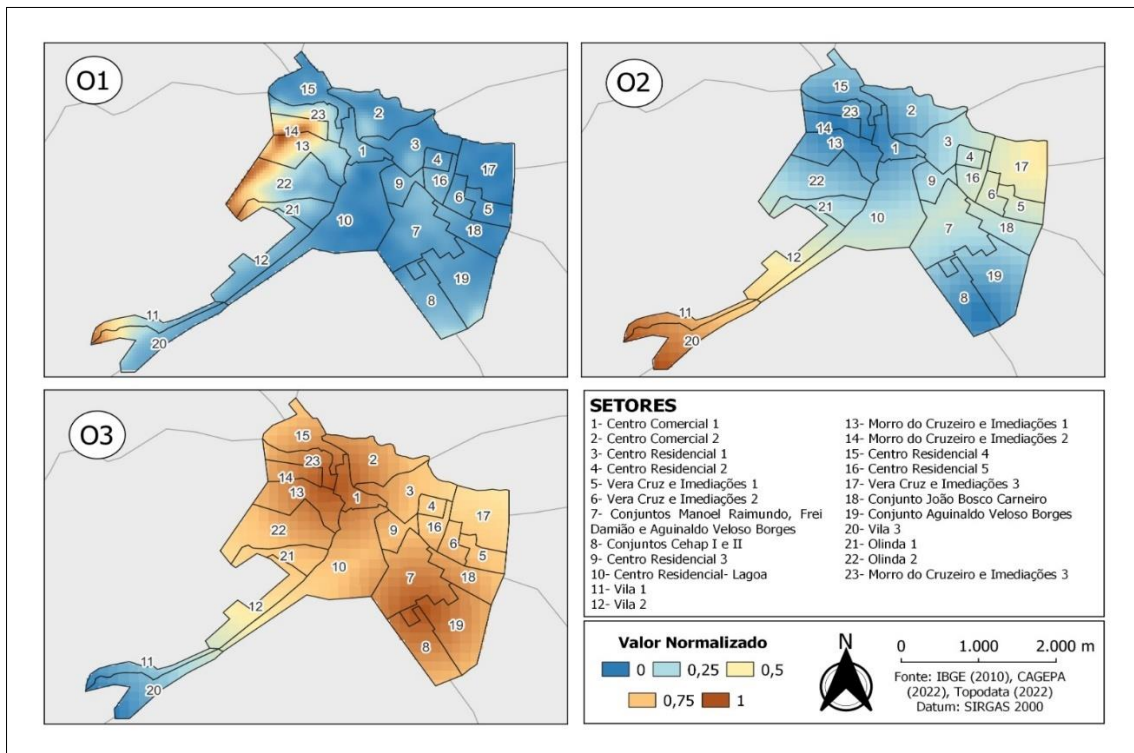
Os valores normalizados por critério foram especializados, conforme ilustrado nas Figuras 16 e 17, para garantir uma melhor percepção dos resultados obtidos em toda extensão da área urbana do município. Desse modo, com o auxílio do software Quantum GIS 3.16.1, para cada critério avaliado foi gerado um mapa graduado que facilita a visualização e comparação dos resultados obtidos por cada setor censitário. A escala utilizada para representação dos mapas foi dividida em quatro intervalos (0-0,24; 0,25-0,49; 0,50-0,74 e 0,75 a 1). Quanto mais os valores obtidos se aproximam de 1, pior o desempenho do setor para o critério em questão.

De acordo com os resultados espacialização dos dados de normalização obtidos através dos mapas, os critérios operacionais (Figura 15) foram os que, de maneira geral, apresentaram predominantemente, as melhores condições. A altitude (O1) sofre poucas variações ao longo da cidade, apenas alguns pontos específicos que têm cotas topográficas visivelmente mais elevadas e, portanto, se enquadram em condições desfavoráveis.

As distâncias aos reservatórios (O2) e as estações elevatórias (O3) apresentam muita semelhança para todo município devido a localização dos mesmos. A extremidade dos setores localizados onde se assemelha a uma cauda no mapa, apresentam maiores

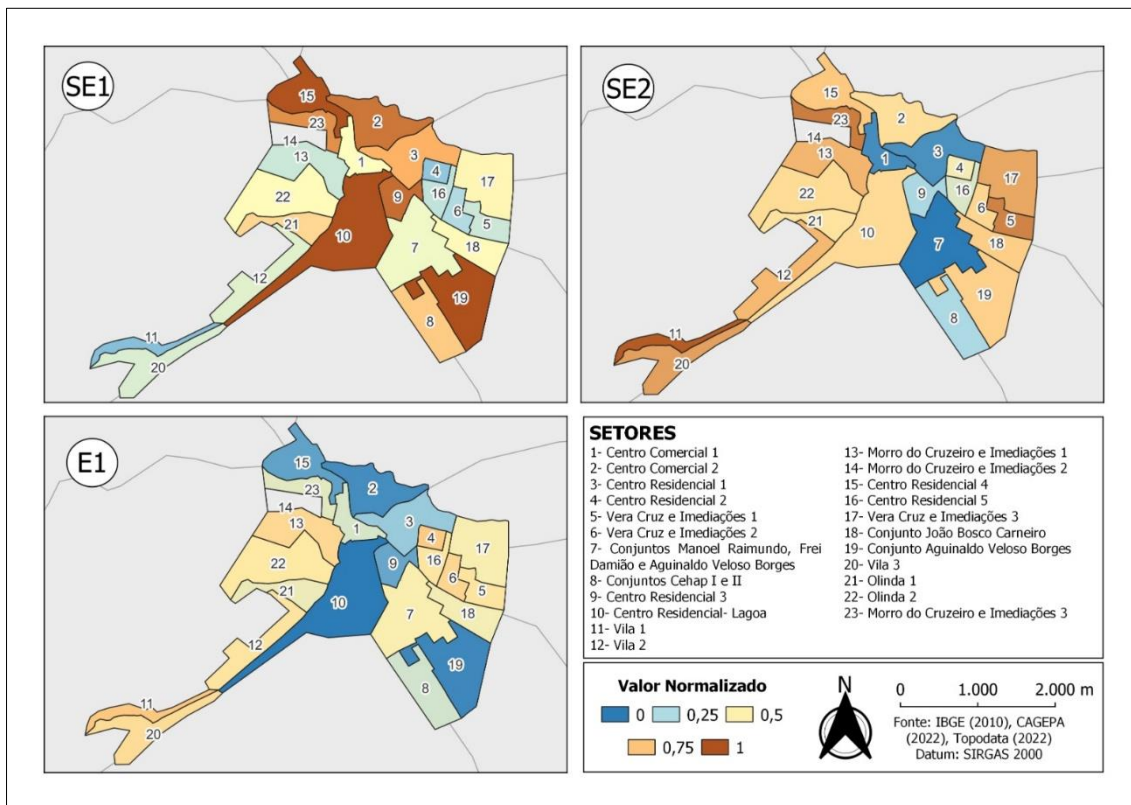
distâncias, porém a maioria dos setores estão próximos ou a distâncias razoáveis dessas estruturas. Todavia, cabe salientar que, no que se refere as distâncias dos setores com relação as EEAT, quanto mais distante estiver, melhor as condições para essas áreas. Como mencionado anteriormente, nas proximidades das estações elevatórias as pressões são maiores e, portanto, há mais chances de rompimento da tubulação. Diante dos bons resultados observados, atenção deve ser dada a gestão da operação do serviço para que situações impostas pelos fatores existentes como a topografia, variações de pressão, perdas de carga, entre outros, possam ser administrados pelos técnicos responsáveis de modo eficaz e de acordo com a dinâmica imposta pelo sistema de abastecimento.

Figura 15 - Critérios operacionais normalizados a partir da função linear



Fonte: Elaboração da autora (2022).

Figura 16 - Critérios Socioeconômicos e Estrutural normalizados a partir da função linear



Fonte: Elaboração da autora (2022).

A categoria socioeconômica (SE1 e SE2) apresenta uma dinâmica onde poucos setores encontram-se em condições críticas. Se avaliados de forma isolada, o critério População Residente (SE1) – Figura 16, apenas nove dos vinte três setores apresentam situação preocupante justamente por comportam maiores concentrações populacionais e, em caso de desabastecimento de água, atingiriam um grande número de pessoas. Com relação ao critério Renda (SE2) apenas cinco setores têm rendimento médio mensal elevado. Dentre esses setores, apenas dois apresentam população moderada e elevado rendimento, os demais coincidem com rendimento e concentração populacional elevados. Apesar de serem apenas três, essa avaliação não deixa de ter sua considerável relevância, tendo em vista o quão necessário e importante é o acesso a água potável em quantidade e qualidade suficientes para os usos diários. A medida que o rendimento médio mensal do setor apresenta valores mais elevados, espera-se que a população residente tenha melhores condições estruturais e econômicas para manter seus reservatórios em dia. Portanto, os setores com maiores rendimentos apresentam um cenário menos crítico diante da falta de água.

No aspecto estrutural (E1) – Figura 16, apenas seis setores acomodam um número mais elevado de domicílios atendidos pela rede. No entanto, a maioria deles estão ajustados aos setores que também comportam maior aporte populacional, ou seja, são setores com muitas residências e que possuem muitos moradores, conseqüentemente demandam mais água, sendo necessário alinhar as condições dos setores à estrutura do sistema e assim a distribuição ser compatível ao cenário identificado. Diante desse cenário, pode-se verificar que a medida que os setores mais adensados tendem a pressionar o sistema, os demais e maioria dos setores da cidade operam em situação mais confortável, pois quanto mais economias ativas e habitantes em uma localidade, maior será a demanda requisitada ao sistema e conseqüentemente maior número de pessoas a sofrerem as conseqüências em caso de interrupção do serviço.

Portanto, analisando de maneira particular cada grupo de critério, pode-se perceber que os setores mais críticos e detentores das maiores fragilidades são específicos e não correspondem a situação predominante do município, mas que merecem atenção quando inseridos em planejamentos e elaboração de políticas voltadas ao abastecimento de água local.

4.2.2 Ponderação dos critérios

4.2.2.1 Análise de consistência das matrizes

Após concluída a etapa de normalização, os critérios foram avaliados pelos especialistas através de um questionário, conforme modelo apresentado no Apêndice A.

Os especialistas escolhidos foram profissionais da área entre eles professores, engenheiros, pesquisadores e gestores da CAGEPA. Ao total foram consultados 14 especialistas que preencheram a matriz de julgamento (Apêndice A). Os pares foram avaliados comparando as linhas em relação a coluna. Visando reduzir a probabilidade de respostas inconsistentes devido a possíveis avaliações aleatórias, foram calculadas as razões de consistências das matrizes obtidas, considerando o valor de N (ordem da matriz) = 6 e o valor de IR (índice de consistência randômico) = 1,24 (Tabela 3). A Tabela 5 apresenta os resultados referentes a razão de consistência para cada especialista.

Tabela 5 – Verificação da Razão de Consistência das matrizes preenchidas pelos especialistas

| <i>Especialistas Consultados</i> | <i>Autovalor máximo ($\lambda_{máx}$)</i> | <i>Índice de consistência (IC)</i> | <i>Razão de consistência (CR)</i> | <i>Verificação de consistência (RC<0,1)</i> |
|----------------------------------|--|------------------------------------|-----------------------------------|--|
| 1 | 6,261 | 0,052 | 0,042 | Consistente |
| 2 | 6,702 | 0,140 | 0,113 | Inconsistente |
| 3 | 6,744 | 0,149 | 0,120 | Inconsistente |
| 4 | 6,805 | 0,173 | 0,139 | Inconsistente |
| 5 | 6,336 | 0,067 | 0,054 | Consistente |
| 6 | 6,380 | 0,076 | 0,061 | Consistente |
| 7 | 6,305 | 0,061 | 0,049 | Consistente |
| 8 | 6,338 | 0,067 | 0,054 | Consistente |
| 9 | 7,858 | 0,372 | 0,299 | Inconsistente |
| 10 | 6,297 | 0,059 | 0,048 | Consistente |
| 11 | 6,384 | 0,077 | 0,062 | Consistente |
| 12 | 6,571 | 0,114 | 0,092 | Consistente |
| 13 | 6,311 | 0,062 | 0,050 | Consistente |
| 14 | 6,058 | 0,012 | 0,009 | Consistente |

Fonte: Autoria própria (2022)

De acordo com o observado na tabela, dos 14 especialistas consultado 4 apresentaram resultados inconsistentes, ou seja, as matrizes de julgamento apresentaram uma aleatoriedade superior a 10% ($CR > 0,10$). Neste caso, recomenda-se que os questionários sejam reavaliados pelos entrevistados para redução das incoerências. Entretanto, devido ao tempo limitado para conclusão da pesquisa, uma vez que essa etapa precede várias outras, optou-se por descartar os valores obtidos nessas matrizes.

Logo, para o cálculo da razão de consistência média foram utilizados apenas os resultados consistentes referentes a 10 especialistas. Com os resultados da média dos julgamentos obteve-se a matriz de importância relativa e os respectivos pesos para cada critério (Tabela 6) e uma razão de consistência média de $CR = 0,044$.

Tabela 6 – Matriz de importância relativa e razão de consistência média

| Critérios | População residente | Altimetria | Distância ao reservatório de distribuição | Distância a EEAT | Renda | Domicílios Atendidos |
|--|----------------------------|-------------------|--|-------------------------|--------------|-----------------------------|
| População residente | 1,00 | 0,58 | 1,09 | 2,33 | 2,80 | 1,95 |
| Altimetria | 1,73 | 1,00 | 3,53 | 4,82 | 5,30 | 4,75 |
| Distância ao reservatório de distribuição | 0,92 | 0,28 | 1,00 | 2,43 | 3,98 | 2,87 |
| Distância a EEAT | 0,43 | 0,21 | 0,41 | 1,00 | 2,88 | 1,87 |
| Renda | 0,36 | 0,19 | 0,25 | 0,35 | 1,00 | 1,81 |
| Domicílios Atendidos | 0,51 | 0,21 | 0,35 | 0,53 | 0,55 | 1,00 |
| RAZÃO DE CONSISTÊNCIA | | | | | | 0,044 |

Fonte: Autoria própria (2022)

4.2.2.2 Avaliação de pesos por critério

Visando garantir uma maior confiabilidade dos pesos a serem utilizados para construção do mapa de desabastecimento, após concluída a análise de consistência das matrizes de julgamento foi feito um tratamento estatístico dos pesos médios gerados a partir das respostas dos especialistas para identificar possíveis valores atípicos (*outliers*) fora da amplitude interquartil da amostra. A Tabela 7 apresenta os valores dos pesos obtidos a partir da análise das matrizes dos especialistas e os números em destaque correspondem aos valores atípicos identificados e excluídos da amostra.

Tabela 7 – Valores dos pesos finais atribuídos aos critérios

| Critérios | ESPECIALISTAS | | | | | | | | | |
|--|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| População residente | 0,051 | 0,081 | 0,048 | 0,062 | 0,361 | 0,386 | 0,054 | 0,048 | 0,097 | 0,090 |
| Altimetria | 0,200 | 0,418 | 0,383 | 0,469 | 0,323 | 0,319 | 0,452 | 0,073 | 0,359 | 0,413 |
| Distância ao reservatório de distribuição | 0,200 | 0,251 | 0,233 | 0,101 | 0,144 | 0,151 | 0,124 | 0,142 | 0,055 | 0,254 |
| Distância a EEAT | 0,098 | 0,156 | 0,176 | 0,096 | 0,049 | 0,041 | 0,102 | 0,260 | 0,032 | 0,154 |
| Renda | 0,028 | 0,034 | 0,108 | 0,236 | 0,047 | 0,043 | 0,238 | 0,033 | 0,228 | 0,034 |
| Domicílios Atendidos | 0,423 | 0,060 | 0,053 | 0,036 | 0,076 | 0,060 | 0,030 | 0,444 | 0,228 | 0,055 |

Fonte: Autoria própria (2022)

A Tabela 8 apresenta a estatística descritiva dos pesos após a eliminação dos valores atípicos. Considerando que a soma dos pesos finais atribuídos deve ser igual a 1 (um), uma nova normalização da média dos critérios foi feita após a retirada dos *outliers*, para que essa condição fosse alcançada.

Tabela 8 - Estatística descritiva dos pesos

| CRITÉRIOS | ESTATÍSTICA DESCRITIVA | | | | PESO FINAL ATRIBUÍDO AO CRITÉRIO |
|--|------------------------|--------------|--------|---------------|----------------------------------|
| | VALOR MÍNIMO | VALOR MÁXIMO | MÉDIA | DESVIO PADRÃO | |
| População residente | 0,048 | 0,097 | 0,066 | 0,020 | 0,069 |
| Altimetria | 0,200 | 0,469 | 0,371 | 0,083 | 0,383 |
| Distância ao reservatório de distribuição | 0,055 | 0,254 | 0,166 | 0,067 | 0,171 |
| Distância a EEAT | 0,032 | 0,260 | 0,116 | 0,071 | 0,120 |
| Renda | 0,028 | 0,238 | 0,103 | 0,093 | 0,106 |
| Domicílios Atendidos | 0,030 | 0,444 | 0,146 | 0,162 | 0,151 |
| SOMA | - | - | 0,9684 | - | 1,0000 |

Fonte: Autoria própria (2022)

Os especialistas avaliaram e julgaram a altimetria (O1), a distância aos reservatórios de distribuição (O2) e os domicílios atendidos por rede (E1) como os três critérios mais influentes na equação de risco de desabastecimento de água na zona urbana do município, totalizando 70,5% do peso do índice. Os 29,5% restantes se dividem entre 12,0% para distância a EEAT (O3), 10,5% para renda (SE2) e 6,9% para população residente (SE1).

A altimetria (O1) é um critério relevante no quesito distribuição de água, pois em áreas de topografia com muitas irregularidades pode haver comprometimento do abastecimento de água ainda que haja oferta suficiente para demanda. O critério exerce influência no sistema de abastecimento no que se refere as pressões nas tubulações, pois variam de acordo com a altitude e a distância da rede aos reservatórios. A NBR 12.218 de 1994 preconiza que a pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 500 kPa (50 mca), e a pressão dinâmica mínima, de 100 kPa, (10 mca). Nas áreas com cotas topográficas mais elevadas geralmente ocorrem zonas de baixas pressões, estas por sua vez, possuem elevado potencial para ocorrências de intermitência, pois quando há redução de vazão ofertada ou aumento da demanda, esses locais são os primeiros a ficarem sem água (Carmo, 2009).

A distância ao reservatório de distribuição foi considerada pelos especialistas como o segundo critério na ordem de importância. Notadamente, os setores mais periféricos aos reservatórios podem ser mais vulneráveis a sofrerem com a intermitência do serviço de abastecimento de água, pois maiores distâncias a serem percorridas resultam em maiores perdas de carga ao longo da tubulação e, conseqüentemente, pressões mais baixas e insuficientes para atender a demanda nesses locais. As perdas de carga podem se dar devido a mudanças no diâmetro da tubulação, presença de peças como válvulas, bocais e conectores. Tais fatos justificam a importância de projetar e monitorar o serviço de abastecimento a fim de reduzir falhas na operação e prejuízos aos setores atendidos.

De acordo com a opinião dos especialistas, os domicílios atendidos por rede têm um papel importante no risco de desabastecimento, pois é possível verificar o nível de atendimento. Silva (2021) ainda destaca que em áreas com maior número de domicílios ligados à rede de distribuição também há maior demanda assim como onde há maiores concentrações populacionais, sendo assim em caso de redução da oferta esses domicílios sentirão os efeitos do desabastecimento. O autor destaca ainda a dificuldade encontrada para esses domicílios, pois em casos onde não há infraestrutura para conduzir a água,

além do consumo ao longo do caminho da rede, a oferta de água pode ser reduzida em pontos muito distantes dos reservatórios.

Os critérios que aparecem com menor percentual de influência, segundo a avaliação dos julgadores, foram distância a estação elevatória de água tratada (O3), renda (SE2) e população residente (SE1). Ainda que tenham apresentado menor importância com relação aos demais, esses critérios também têm sua contribuição no que se refere ao sistema de abastecimento de água.

Sobre o O3, o ideal é que o escoamento da água ocorra por gravidade, a fim de reduzir custos operacionais, no entanto, para atender localidades com altitudes elevadas ou distantes da ETA, é necessário a instalação de Estações Elevatórias de Água Tratada (Héller e Pádua, 2010). A distância às EEAT influencia nas perdas físicas por vazamentos na rede, pois geralmente o rompimento das tubulações ocorrem próximo as elevatórias (Cordão, 2021) onde as pressões tendem a ser mais elevadas.

Assim como no estudo de Silva (2021), o critério renda (SE2) foi julgado com baixo nível de interferência sobre o risco de desabastecimento, enquanto que no estudo de Cordão (2021) esse critério recebeu uma avaliação de influência significativa sobre o risco de desabastecimento. Esse critério está relacionado a capacidade de reserva da população que, segundo Cordão (2021), é diretamente proporcional a condição econômica e atende ao usuário no período de desabastecimento.

Apesar do critério população residente (SE2) ser um dado importante para o cálculo de dimensionamento de sistemas de abastecimento de água, pois a partir dele é possível destinar um volume de água que atenda em quantidade suficiente as demandas da população, esse critério foi entendido pelos especialistas como o menos relevante entre os critérios avaliados. Para Deng *et al.* (2021) o aumento da população e a expansão da urbanização são fatores que podem interferir na variação espaço-temporal da demanda hídrica.

4.2.2 Etapa de agregação dos critérios

Os pesos finais obtidos após a consulta aos especialistas e o tratamento estatístico dos dados foram aplicados na Equação 6, para gerar a Equação (7) de risco urbano de desabastecimento de água no município de Alagoa Grande.

$$R_u = [(0,069 \cdot E_1) + (0,383 \cdot O_1) + (0,171 \cdot O_2) + (0,120 \cdot O_3) + (0,106 \cdot SE_1) + (0,151 \cdot SE_2)] \quad \text{Equação 7}$$

4.3 RESULTADOS DA ESPACIALIZAÇÃO DO RISCO DE DESABASTECIMENTO DE ÁGUA

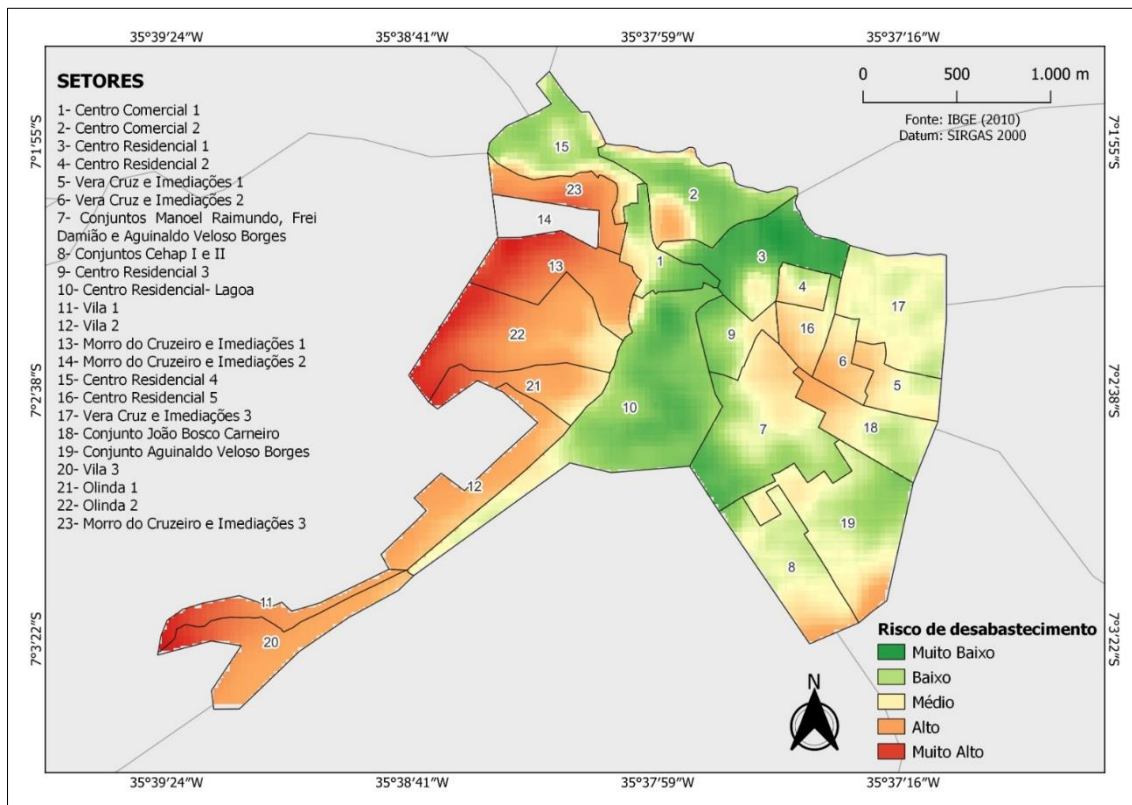
O mapa de risco de desabastecimento tem o objetivo de identificar áreas vulneráveis a falta de água tratando-se de um instrumento de suporte ao planejamento de programas, projetos e ações que auxiliem o gestor nas decisões a serem tomadas para resolução dos problemas observados.

Segundo Cordão (2021), o mapa de risco de desabastecimento de água pode se tornar uma ferramenta de suporte apropriada para o planejamento da expansão da rede de abastecimento de água e projetos de modificação; a manutenção por meio do aconselhamento em caso de necessidade de interrupções do serviço de abastecimento de curto, médio e longo prazo; e a operação subsidiando manobras operacionais para garantir condições de acesso equitativas aos usuários do sistema.

Por outro lado, a representação espacial dos dados permite uma fácil identificação dos setores com maior ou menor risco de desabastecimento sendo possível uma interpretação rápida dos pontos críticos e associação direta com os respectivos setores associados.

O resultado da espacialização do risco de desabastecimento no espaço geográfico urbano do município de Alagoa Grande encontra-se na Figura 17. As bases de dados utilizadas para gerar o mapa de risco de desabastecimento foram o IBGE, a CAGEPA e TOPODATA e os critérios analisados dividiram-se em altimetria, distância aos reservatórios de distribuição e a estação elevatória de água tratada, população residente, renda e população abastecida por rede de distribuição. Os resultados foram representados através de uma classificação nominal e de cor em ordem crescente sendo identificados com as referências muito baixo, baixo, médio, alto, muito alto.

Figura 17 - Mapa de risco de desabastecimento



Fonte: Elaboração da autora (2022).

A partir do mapa gerado observa-se que os maiores riscos de desabastecimento predominaram em áreas periféricas nas direções leste, oeste e sudoeste da zona urbana. Morro do Cruzeiro e imediações 1 (setor 13), Olinda 1 e 2 (setores 21 e 22, respectivamente), Vila 1 (setor 11) e Vila 3 (setor 20) foram classificados com risco alto variando para muito alto a medida que se aproxima das extremidades a oeste do setor. Os setores Vila 2 (setor 12) e Cruzeiro e imediações 3 (setor 23) apresentam risco alto em toda sua extensão. Os setores citados possuem cotas topográficas elevadas, sendo esse um critério de maior influência sobre o risco de desabastecimento conforme avaliação dos especialistas. Somado a esse fator, as localidades Vila 1, 2 e 3 estão mais distantes dos reservatórios de distribuição e possuem baixo rendimento médio o que pode contribuir para uma maior vulnerabilidade quanto ao abastecimento de água.

Para estes setores, de acordo com os critérios de quantitativo populacional e domicílios atendidos, o risco está entre baixo e moderado. Sobre as estações elevatórias todos os setores mencionados anteriormente estão localizados a distâncias mais curtas, exceto Vila 1, 2 e 3, fator que implica positivamente sobre o risco de desabastecimento.

Na faixa de risco variando entre médio e alto, estão Vera Cruz e imediações 2 (setor 6), e Centro residencial 5 (setor 16) com algumas elevações pontuais e distâncias médias aos reservatórios de distribuição. Apesar dos moradores possuírem rendimento mensal variando entre baixo e médio, o que contribui para uma menor capacidade de reserva, a população residente é pequena, entre 452 e 629 habitantes o que, em caso de estiagem ou interrupção do abastecimento, afetaria menos indivíduos.

Os setores Centro comercial 2 (setor 2) e Centro residencial 4 (setor 15) são setores predominantemente com baixo risco de desabastecimento, todavia foi possível observar uma faixa ao sul do setor 15 indicando risco médio e em menor proporção risco alto no setor 2. O relevo dessas áreas possui altitude com poucas variações, entretanto, a demanda de água requer um volume considerável devido a população residente e a quantidade de domicílios. Em ambos os setores, os moradores possuem baixo rendimento.

Os Conjuntos Cehap I e II (setor 8), Conjunto Aguinaldo Veloso Borges (setor 19) e Conjunto João Bosco Carneiro (setor 18) localizados no extremo sudoeste do mapa foram classificados como de risco baixo, mas que gradativamente chega ao risco alto. Apesar de possuírem alta demanda devido ao volume populacional e número de domicílios atendidos, este último é uma associação positiva, esses setores estão relativamente próximos a um dos reservatórios de distribuição, o que é fator positivo, considerando que quanto mais longe estiver, mais dificuldades precisarão ser vencidas até a água chegar aos domicílios.

O setor 7 (Conjuntos Manuel Raimundo, Frei Damião e Aguinaldo Veloso Borges), apesar de estar localizado próximo à estação elevatória e, portanto, mais vulnerável aos riscos de vazamentos, apresenta um equilíbrio entre os riscos, sendo possível visualizar claramente uma transição do risco baixo para médio. De fato, durante visitas *in loco* ao Conjunto Aguinaldo Veloso Borges, os moradores relataram que eventualmente ficam sem água nas torneiras, mesmo quando a distribuição deveria estar ocorrendo normalmente. Em períodos de estiagem ou quando há interrupção do serviço de abastecimento para manutenção, o problema torna-se ainda mais crítico.

No Centro residencial-lagoa (setor 10) observa-se que há um baixo risco de desabastecimento, sendo que em alguns pontos observa-se um risco muito baixo. No sudoeste do setor, ao longo do seu comprimento há uma estreita faixa com risco médio. Também apresentando riscos baixo ou muito baixo estão o Centro comercial 1 (setor 1), o Centro residencial 1 (setor 3) e o Centro residencial 3 (setor 9), que são áreas mais centrais. Nessas áreas, apesar de haver residências, constata-se uma grande contribuição

comercial com supermercados, padarias, lojas de roupas, feira livre e outros empreendimentos. Não foi considerado, na presente pesquisa, um consumo per capita específico para estas atividades, entretanto, a literatura (Botelho e Ribeiro Junior, 2014; Creder, 2022; Macintyre, 2010) aponta que a demanda hídrica comercial é, notoriamente, inferior a residencial, podendo contribuir com a redução da escala de risco nessa localidade em relação as áreas predominantemente residenciais. Efetivamente, no cotidiano da cidade é possível verificar um baixo risco de desabastecimento no setor avaliado, pois enquanto outros locais sofrem com a falta de água, essa área raramente fica sem o serviço.

Sob outra perspectiva, a população atribui essa vantagem ao fato de que a ausência de água para realização de atividades comerciais pode gerar prejuízos econômicos e, portanto, dificilmente se observa a interrupção do serviço no setor por muitas horas.

Na zona leste do mapa predominam os riscos médio com suaves variações tanto para o risco baixo, como para o alto, dentro de um único setor. Fazem parte dessa zona com características semelhantes os setores 4, 5, e 17 (Centro residencial 2, Vera Cruz e imediações 1 e Vera Cruz e imediações 3, respectivamente). Essas localidades, apesar dos moradores possuírem baixo rendimento, o que contribui para uma menor capacidade de reservação em caso de estiagem ou interrupção do abastecimento, estão situadas em áreas com baixa cota topográfica e menor concentração populacional e domiciliar. Desse modo, por pertencerem as “áreas baixas” da cidade e com menor demanda, em períodos de racionamento ou de interrupção dos serviços, raramente ficam sem a oferta do serviço por longas horas.

Como já mencionado anteriormente, os dados utilizados para geração dos resultados aqui apresentados são de 2010, únicos disponíveis nos bancos oficiais. Sendo assim, alguns setores correspondentes as áreas de expansão da cidade encontram-se fora dos limites plotados nos mapas. Porém, a população residente nesses setores queixa-se de frequente falta de água nas torneiras, as vezes, por dias sem aviso prévio ou justificativa. Devido a realidade enfrentada ao longo dos anos nesses locais, muitos moradores instalam caixas d’água ou constroem cisternas em suas residências a fim de suprir as necessidades da família e economizar a água potável, quando encontra-se disponível para consumo.

Outra solução adotada é a compra de água de carros pipas para abastecer os reservatórios, pois, muitas vezes a vazão e o volume da água que chegam as torneiras não são suficientes para enchê-los. Essa prática tem sido mais comum entre os moradores de

áreas mais altas e periféricas da cidade, bem como entre as famílias com maior poder aquisitivo. Já as famílias com menos condições financeiras transportam a água dos locais onde há disponibilidade até suas residências. Esses locais se referem a praças públicas com torneiras de livre acesso, por exemplo, localizadas em área de baixa topografia e pouca recorrência de falta de água; poços ou outros lugares públicos onde houver disponibilidade hídrica.

4.4 RESULTADO DO DELINEAMENTO DE DIRETRIZES DE SUPORTE A GESTÃO

Os problemas associados a falta de água no município de Alagoa Grande são recorrentes. As lacunas deixadas pelo serviço prestado, potencializam a busca por soluções alternativas, por vezes inadequadas em qualidade e quantidade. A escolha de fontes inseguras de abastecimento pode ocasionar um risco a saúde da população, principalmente em decorrência da ausência de potabilidade da água utilizada. Assim, nas áreas urbanas, especialmente aquelas que apresentam maiores riscos de desabastecimento, é pertinente indicar diretrizes que possam minimizar os problemas existentes e auxiliem os gestores quanto as decisões a serem tomadas.

Neste sentido os planos municipais de saneamento básico são instrumentos importantes, pois realizam, a partir da avaliação prévia dos problemas de cada município, um planejamento estratégico para o serviço de abastecimento de água, considerando horizontes de curto, médio e longo prazos. O município de Alagoa Grande não dispõe de um plano municipal que norteie as ações a serem desenvolvidas para redução dos problemas de abastecimento de água existentes.

Diante do exposto e considerando as particularidades do município de Alagoa Grande observadas nesta pesquisa, o Quadro 4 traz uma indicação de ações que devem ser realizadas tanto pelo prestador de serviço quanto pelos gestores municipais para a melhoria do serviço de abastecimento de água atualmente existente. Tais ações visam auxiliar a construção de uma gestão mais eficiente e sustentável, de modo que o serviço seja satisfatório em quantidade e qualidade para atender as necessidades da população.

As ações propostas foram divididas em dois grupos: ações centralizadas e descentralizadas e tiveram como documento-base planos municipais de saneamento básico de alguns municípios de pequeno porte localizados no estado da Paraíba e com

características semelhantes a Alagoa Grande, a exemplo de Areia, Esperança, Remígio e Água Branca. As ações centralizadas dizem respeito aquelas mais voltadas para o sistema de abastecimento propriamente dito, desde a captação até a rede de distribuição. Assim, estão incluídas nesse grupo ações que envolvam a estrutura, a manutenção e a operação do sistema. As ações descentralizadas são caracterizadas pela participação da população através da utilização de alternativas suplementares aquelas convencionais e da educação e conscientização quanto ao uso sustentável da água.

Quadro 4 – Sugestões de estratégias para a redução da vulnerabilidade hídrica na zona urbana do município de Alagoa Grande

| DESCRIÇÃO DA AÇÃO* | NATUREZA DA AÇÃO | DETALHAMENTO DAS AÇÕES PARA O MUNICÍPIO DE ALAGOA GRANDE |
|--|----------------------------|---|
| Elaborar e executar projetos de ampliação do volume de captação de água e reservação do sistema de abastecimento para atendimento às demandas da população na zona urbana. | Centralizada e Estrutural | As ações relacionadas com a elaboração e execução de projetos para construção e ampliação das infraestruturas de abastecimento de água do município têm como principal objetivo alcançar a universalização do acesso a água potável, atendendo as áreas já existentes e os setores em expansão. |
| Elaborar e executar projetos de engenharia para expansão da rede de distribuição da zona urbana. | Centralizada e Estrutural | |
| Substituir, onde for necessário, trechos da rede de distribuição por tubulações constituídas de materiais e diâmetro adequados para atender todos os domicílios. | Centralizada e Estrutural | |
| Ampliar a capacidade de tratamento e melhorar a infraestrutura da ETA. | Centralizada e Estrutural | |
| Identificar e avaliar o potencial de mananciais superficiais e subterrâneos para abastecimento temporário em caso de escassez hídrica do manancial principal. | Descentralizada | O planejamento de ações relacionadas a cobertura de atendimento de água em situações de emergência e contingência deve ser previsto dentro do município. A avaliação do potencial hídrico de novas fontes superficiais ou subterrâneas de água existentes em Alagoa Grande é uma ação que poderá minimizar os impactos à população em situações críticas de racionamento. |
| Elaborar e executar projetos de engenharia para construção de adutoras emergenciais para abastecimento temporário da área afetada pela escassez hídrica. | Centralizada e Estrutural | |
| Realizar avaliação periódica do sistema de abastecimento de água para atendimento às demandas da população na zona urbana. | Centralizada e Operacional | As ações operacionais e de manutenção são essenciais para garantir que o sistema existente funcione da melhor maneira possível. Assim essas ações previnem problemas que podem levar a situações de intermitência de curta, média e longa duração no abastecimento de água, além de permitir que o sistema funcione dentro da condição mais otimizada, eficiente e eficaz considerando as condições oferecidas. Também tem o objetivo de detectar erros de leituras de consumo e inibir procedimentos ilegais que geram prejuízos financeiros ao prestador de serviços. |
| Dispor de bombas e equipamentos reservas em todas as estações elevatórias dos SAAs e SACs. | Centralizada e Operacional | |
| Implantar equipamentos pressurizadores para possibilitar que a rede abasteça ininterruptamente todos os locais da cidade. | Centralizada e Estrutural | |
| Monitorar as pressões e vazões disponíveis nas redes de abastecimento de água para o auxílio no controle de perdas reais e prevenção de vazamentos. | Centralizada e Operacional | |

| | | |
|--|---|---|
| Realizar operações de fiscalização e identificação de vazamentos e ligações inativas e/ou clandestinas ao longo das adutoras e redes de distribuição dos SAAs. | Centralizada e Operacional | <p>As ações relacionadas a manutenção e o monitoramento da qualidade da água de consumo tanto no sistema de abastecimento convencional quanto nos sistemas alternativos devem ser estimuladas pois, a partir delas é possível garantir a que população tenha acesso ao recurso com segurança e minimizando a possibilidade de doenças.</p> <p>É de grande importância que o município organize seu banco de dados acerca da gestão hídrica, pois só através de dados é possível planejar de forma adequada à realidade.</p> |
| Realizar inspeção para verificação das estruturas dos reservatórios e se necessário fazer manutenções. | Centralizada e Operacional | |
| Instalar hidrômetros e verificar a situação daqueles já instalados em todas as ligações prediais e substituí-los caso já tenha atingido tempo de uso superior a 5 (cinco) anos, ou apresente problemas na medição. | Centralizada e Estrutural e Operacional | |
| Ampliar os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água e realizar operações de fiscalização, monitoramento e funcionamento do SAA do município, procurando mantê-lo dentro dos padrões de potabilidade preconizados pela Portaria GM/MS nº 888/2021. | Centralizada e Operacional | |
| Implantar e/ou ampliar os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água e realizar operações de fiscalização, monitoramento e funcionamento dos Sistemas Alternativos coletivos (SAC) de água, existentes na zona urbana procurando mantê-los dentro dos padrões de potabilidade preconizados pela Portaria GM/MS nº 888/2021. | Descentralizada | |
| Apoiar e instruir os usuários que possuem Sistemas de Abastecimento Individuais (SAIs), para desinfecção das águas destinadas ao consumo humano e manutenção de estruturas de reservação, dos sistemas de bombeamento e dos aparelhos sanitários e hidráulicos. | Descentralizada e social | |
| Efetuar a proteção sanitária dos poços do município. | Descentralizada | |
| Mapear e classificar as áreas do município de acordo com o índice de atendimento de abastecimento de água, enfatizando aquelas compostas por núcleos urbanos informais. | Descentralizada | |
| Criar e manter atualizado um banco de dados georreferenciado com seu respectivo mapeamento digital dos SAAs, SACs e SAIs existentes na zona urbana. | Descentralizada | |

| | | |
|---|----------------------------------|--|
| Buscar programas de financiamento de tecnologias sociais de baixo custo para implantação no município. | Descentralizada | O uso de tecnologias sociais de baixo custo é uma importante alternativa para garantir o acesso a água potável nos períodos de escassez hídrica, principalmente em locais onde o sistema convencional apresenta falhas recorrentes. |
| Fomentar a orientação a população urbana quanto ao uso adequado de soluções alternativas como sistemas de aproveitamento da água da chuva. | Descentralizada e socioeconômica | As soluções alternativas podem ser somadas ao SAA como forma de minimizar a demanda por água potável e poupar o recurso para o período de estiagem. O aproveitamento de águas pluviais é uma possibilidade que pode ser explorada. A captação pode ser destinada para aplicações que não exigem o uso de água potável. Deve se considerar a possibilidade e as condições para a instalação de reservatórios nesses pontos e se o volume e capacidade de acumulação são relevantes. Assim estudar o volume e os meses mais chuvosos na região contribui para um melhor planejamento e aproveitamento de águas pluviais. |
| Estimular o abastecimento de água e a retenção descentralizada do escoamento superficial através da construção de sistemas de captação de água de chuva em edifícios públicos. | Descentralizada e socioeconômica | |
| Fomentar a orientação a população urbana quanto ao uso adequado de soluções alternativas como reuso de água residuárias. | Descentralizada e socioeconômica | A água de reuso também é uma alternativa que pode contribuir com a redução da demanda por água potável. Para oferecer o reaproveitamento dessas águas é necessário entender a interação com o sistema hídrico urbano, além de avaliar o impacto sobre os usuários, que é um dos grandes entraves quanto a adoção dessa metodologia. A resistência do público pode ser superada através de políticas públicas apropriadas (CAGNO et al., 2022). Em ambientes públicos, Santos e Sant'ana (2019) constataram boa viabilidade dessa alternativa para redução de consumo de água potável. |
| Estimular o reuso de água em ambientes públicos como escolas, rodoviárias, centros de lazer e para a rega de jardins em praças públicas. | | |
| Reativar desalinizadores de água já existentes no município para atendimento a comunidade local e implantar outros novos para atendimento aos setores urbanos com maiores deficiências e que tenham possibilidade de acesso a água salobra ou salina. | Descentralizada e socioeconômica | Segundo Pinheiro et al. (2018) essa é uma medida sustentável, pois possibilita o abastecimento de água regular e auxilia o enfrentamento da seca pela população. Entretanto, deve-se planejar uma destinação correta para resíduos remanescentes do processo de dessalinização devido ao potencial poluente que possui. Esse planejamento e destino deve ser dado pela prefeitura municipal uma vez que os dessalinizadores devem atender de forma coletiva a comunidade. |
| Promover cursos, campanhas, oficinas e semanas de sensibilização ambiental nos espaços de educação formais e informais, relacionados ao uso racional da água, a conservação dos recursos hídricos e as funções das infraestruturas que compõem os serviços de abastecimento | Descentralizada e socioeconômica | As ações relacionadas a educação e sensibilização ambiental tanto na forma oral, quanto escrita são importantes ferramentas para a promoção de conhecimento à população que poderá ser transformado em atitudes positivas para um uso sustentável e seguro dos recursos hídricos. |

| | | |
|---|----------------------------------|---|
| Elaborar e distribuir cartilhas nas escolas, unidades básicas de saúde e sedes de associações comunitárias sobre práticas corretas no uso da água pluvial captada para abastecimento humano (Dosagem correta do cloro, descarte das primeiras águas coletadas, retenção de sólidos grosseiros e bombeamento adequado) | Descentralizada e socioeconômica | |
| Propor a elaboração do Plano municipal de Saneamento Básico e do Plano de Segurança da Água (PSA) para o município | Descentralizada e institucional | No município não há legislação específica que seja norteadora quanto as ações voltadas a universalização do abastecimento de água. Sendo assim, é necessário planejar a elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) e do Plano de Segurança da Água (PSA), pois eles são instrumentos indispensáveis para elaborar políticas públicas de saneamento e, conseqüentemente de abastecimento de água potável. |
| Estimular o uso racional da água por meio de bonificação na conta de água do usuário que reduzir o consumo mensal. | Descentralizada e socioeconômica | Os instrumentos econômicos também exercem importante papel na sustentabilidade hídrica e podem ser aplicados tanto na forma de benefícios quanto de ônus (tarifas mais altas para faixas de consumo elevadas). Ambas as formas objetivam estimular o consumo consciente da água. |
| Implementar programa de incentivo ao uso de equipamentos poupadores de água na construção de novos imóveis ou substituição em construções já consolidadas. | Descentralizada e socioeconômica | O uso de medidas mitigadoras pode reduzir a demanda de água e garantir mais sustentabilidade ao Sistema de abastecimento municipal. Na Arábia Saudita, devido as condições hídricas crítica, o governo passou a recomendar sistemas eficientes de descarga de vasos sanitários, torneiras e chuveiros no Código de Construção de Arábia Saudita, sob essas condições, dispensa a instalação de hidrômetros, desde que atenda todos os requisitos do Código (OUDA et al., 2013). |
| Substituir os aparelhos sanitários (torneiras, bacias sanitárias, chuveiros, etc.) de edificações públicas por aparelhos de baixo consume de água. | | |
| Criar um plano de comunicação eficiente para informar a comunidade sobre a interrupção de abastecimento de água e período de racionamentos. | Descentralizada e socioeconômica | A distribuição de água deve ser uniforme e sem interrupções, e caso haja necessidade de interrupção, que a população seja informada com antecedência e possa se manter abastecida durante o período de ausência de água sem prejuízos nas atividades do dia a dia. |

| | | |
|--|--|--|
| <p>Estabelecer parcerias com instituições federais e estaduais que possam colaborar com o aprimoramento do conhecimento técnicos no município.</p> | | <p>As prefeituras municipais são responsáveis pelo planejamento dos serviços básicos do saneamento, sendo assim, estas devem buscar parcerias de conhecimento técnico, como as universidades, por exemplo, para capacitar a gestão e equipe técnica. Essa associação possibilita o município finalizar os projetos, cumprir prazos e manter as diretrizes atualizadas, enquanto os discentes das universidades vivenciam a prática do mercado de trabalho (QUADROS et al., 2019).</p> |
| <p>Estimular a participação da população na formação de estratégias de gestão.</p> | | <p>Diante da necessidade de haver um alinhamento das demandas dos usuários com o planejamento e gestão das alternativas exploradas, é importante a participação dos interessados. A inserção popular na formação de estratégias aproxima o planejamento de novas ações à realidade das necessidades da população, contribuindo com a elaboração de propostas que sejam aceitas por eles.</p> |
| <p>Criar secretaria específica de infraestrutura hídrica e de saneamento para tratar mais detalhadamente das questões hídricas do município.</p> | <p>Descentralizada e institucional</p> | <p>Em municípios de pequeno porte é comum a junção de vários temas em uma única secretaria e muitas vezes algumas questões deixam de ser priorizadas por falta de representantes com conhecimento específico sobre o tema. Uma secretária específica para tratar dos assuntos hídricos seria uma ação importante para garantir que os problemas fossem mais rapidamente solucionados. Segundo Topázio (2017), o estado da Bahia tem utilizado essas secretarias em seus municípios e obtido bons resultados.</p> |

*Ações sugerida a partir da consulta a Planos de Saneamento Básico de alguns municípios paraibanos, experiências nacionais e internacionais estudadas na literatura e do conhecimento acerca dos problemas enfrentados pela população de Alagoa Grande-PB.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

A presente pesquisa analisou a vulnerabilidade do serviço de abastecimento de água da zona urbana do município de Alagoa Grande considerando uma avaliação multicritério. A partir dos estudos realizados pode-se concluir que o mapa do risco de desabastecimento gerado através da associação do método AHP com o QGIS, pode atuar como norteador na etapa de planejamento e na gestão de medidas, tendo em vista que com ele é possível delinear as áreas com maiores vulnerabilidade quando analisados critérios de ordem estrutural, operacional e socioeconômicos.

O município apresenta problemas relacionados a oferta e distribuição de água sendo interessante a adoção de soluções alternativas que atuem como complemento ao sistema de distribuição já existente, a fim de poupar água doce e potável para os meses em que as chuvas não são abundantes. A área de estudo trabalhada tem suas potencialidades hídricas que devem ser exploradas e inseridas nas propostas planejadas. Assim, as medidas a serem consideradas para aplicação no município devem, entre outras ações, oferecer um melhor aproveitamento dos recursos hídricos.

Com relação a influência individual dos critérios avaliados, concluiu-se que a universalização dos domicílios atendidos por rede ainda não é uma realidade dentro da cidade de Alagoa Grande, principalmente quando considerada a expansão urbana evidenciada nos últimos anos. Entretanto, quando analisados os critérios operacionais concluiu-se que o município apresenta condições favoráveis de operação do sistema de abastecimento, no que diz respeito a altimetria, distância de reservatórios de distribuição e estações elevatórias com exceção de algumas áreas mais críticas localizadas especialmente na parte sudoeste da cidade. Em se tratando de aspectos socioeconômicos, concluiu-se que há áreas mais periféricas e que alguns desses setores têm baixa renda associada a concentração de grandes populações. Esses setores requerem uma atenção maior dos gestores municipais a fim de avaliar a possibilidade de implantação de soluções alternativas para períodos críticos, principalmente devido a ausência de meios econômicos desse público para garantir o armazenamento de água em suas residências, ficando a mercê das oscilações do sistema público de abastecimento quanto atendidos por rede de distribuição.

Quanto aos pesos atribuídos pelos especialistas para composição do índice de risco de desabastecimento, os resultados obtidos indicaram uma maior importância dada aos critérios operacionais e estrutural, corresponderam a 82,2% do peso do índice e os critérios socioeconômicos apresentaram menor importância totalizando apenas 17,5%. As maiores contribuições ao índice foram referentes à altimetria, à distância aos reservatórios de distribuição e ao número domicílios atendidos por rede.

O mapa de risco de desabastecimento gerado a partir do índice indicou os setores correspondentes aos Centro residencial 1 e 3, além de uma parcela mais periférica dos setores Morro do Cruzeiro e Imediações 1, Olinda 1 e 2 e Vila 1 e 3 como os mais críticos. Assim, pode-se concluir que a metodologia adotada ofereceu resultados satisfatórios e respondeu a proposta inicial de identificar as áreas de riscos de desabastecimento através de espacialização.

A partir dos levantamentos desenvolvidos nessa pesquisa, foi possível propor variadas ações para minimizar os problemas relacionados ao abastecimento de água da zona urbana de Alagoa Grande. Entre elas pode-se destacar a utilização de soluções alternativas (sistemas de captação de água de chuva, reuso e dessalinização) que são fortes aliadas ao sistema de abastecimento de água principalmente quando adotadas em associação. Além disso, um Plano Municipal de Saneamento Básico e um Plano de segurança das águas devem ser feitos para garantir recursos de ampliação e manutenção do sistema de abastecimento existente e estabelecer programas, projetos e ações para horizontes de curto, médio e longo prazo que melhorem o acesso a água potável para a população e o Código de Postura deve ser atualizado e revisado. Todos esses instrumentos são norteadores para a execução das políticas públicas vigentes.

Por fim, a participação dos usuários tem relevância significativa no processo de elaboração de medidas mitigadoras e deve ser considerada na etapa de planejamento de ações.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Como recomendações para estudos futuros pode-se indicar:

1. A inclusão da zona rural na análise de risco de desabastecimento permitindo que toda a extensão do município de Alagoa Grande-PB seja avaliada;

2. A realização de um estudo comparativo entre as condições e fragilidades observadas em relação ao abastecimento de água nas zonas rural e urbana do município de Alagoa Grande-PB e também entre Alagoa Grande-PB e municípios com características semelhantes.
3. A agregação de mais critérios operacionais, estruturais, sociais, econômicos e de qualidade ao índice proposto visando aumentar a sua robustez e aumentar a proximidade com a realidade vivenciada no município;
4. A inclusão de dados primários obtidos junto à comunidade local permitindo o estudo do comportamento do risco de desabastecimento também a partir da percepção pública acerca do serviço ofertado.

REFERÊNCIAS

ACHU, A. L.; THOMAS, J. REGHUNATH, R. Análise de decisão multicritério para delineamento de zonas de potencial de água subterrânea em uma bacia hidrográfica tropical usando sensoriamento remoto, GIS e processo de hierarquia analítica (AHP). **Groundwater for Sustainable Development**, v. 10, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352801X18300237> Acesso em: 22 out. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Atlas Abastecimento de água urbano, 2015. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/analise/Geral.aspx?est=20>. Acesso em: 12 nov. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual**. Brasília, 2019. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/> Acesso em: 14 abr. 2021.

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS (AESAs). Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/documentos/enquadramento/> Acesso em: 03 mar. 2021.

ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO (ASA). Acesso à água para populações do semiárido brasileiro. ASA, 2019. Disponível em: https://www.asabrasil.org.br/images/UserFiles/File/Acesso_a_agua_para_populacoes_d_o_Semiarido_brasileiro.pdf. Acesso em: 21 abr. 2021.

ALLEN EU, S.; JC PALANIAPPAN, M. **Visão geral da reutilização de água cinza: O potencial dos sistemas de água cinza para auxiliar na gestão sustentável da água**. Relatório do Pacific Institute, Oakland, Califórnia, EUA, 2010. Disponível em: www.pacinst.org/reports/greywater_overview/greywater_overview.pdf. Acesso em: 30 mar. 2021.

ALIM, M. A.; ASHRAF, A. F. A.; RAHMAN, A.; TAO, Z.; ROY, R.; KHAN, M. M.; SHIRIN, S. Investigação experimental de uma unidade de captação de água da chuva para a produção de água potável em nível domiciliar. **Journal of Water Process Engineering**, v. 44, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714421004050#bb0135> Acesso em: 21 out. 2021.

ALMEIDA, J. P. DE.; KUMMER, A. C. B.; CARRANZA, G.; CAMPOS, L. C.; SZÉLIA, M. R.; ACEVEDO, M.; GERVASONI, R.; WIECHTETECK, G. K. Eficiência de um sistema piloto de dessalinização de água salobra. **Eng Sanit Ambiental**, v.25, n.1, p. 107-114, jan/fev 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/esa/v25n1/1809-4457-esa-25-01-107.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2021.

Al-QAWASMI, O. Viabilidade de captação de água da chuva em telhados residenciais na Jordânia. **Appl Water Sci**, v. 11, n. 30, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-021-01365-w#citeas>. Acesso em: 11 mar. 2021.

AIRASHID, M. ABDELGADIR, M. SHOBRAK, M. Seleção de habitat pelo lagarto-de-cauda-espinhosa (*Uromastyx aegyptia*): uma visão da análise especial. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v.28, ed.9, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X21003880> Acesso em 19 out. 2021.

ALVES, L. G. A.; CLEMENTINO, T. A. R.; GOMES, C. V. A. F.; SABIÁ, R. J. Desenvolvimento de um decisor de cardápios sustentáveis utilizando o método AHP integrado ao Promothee. **Revista Gestão e Conhecimento**, v. 16, n. 2, p. 903-919, 2022. Disponível em: <https://ojs.revistagc.com.br/ojs/index.php/rgc/article/view/235/238>. Acesso em 11 ago. 2023.

ANDRADE, A. R. S. DE.; PINHEIRO, G. M.; ANDRADE, E. K. P. DE.; SANTOS, M. K. S.; CAMPELO, K. B. F. Principais Sistemas de Captação de Água de Chuva: uma forma de diminuir os efeitos das secas prolongadas no município de Lagoa do Ouro, Pernambuco. **Em Extensão**, Uberlândia, v. 16, n. 2, p. 101-128, jul./dez. 2017 Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revextensao/article/view/37061/pdf> Acesso em: 29 mar. 2021.

ARNOLD, R. G.; SÁEZ, A. E.; SNYDDER, S.; MAENG, S. K.; LEE, C.; WOODS, G. J.; LI, X.; CHOI, H. Reutilização potável direta de águas residuais recuperadas: é hora de uma discussão racional. **Rev. Environ. Saúde**, v. 27, n. 4, 197–206, 2012. Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/reveh-2012-0027/html> Acesso em: 30 mar. 2021.

ARUNBOSE, S.; SRINIVAS, Y.; RAJKUMAR, S.; NAIR, N. C.; KALIRAJ, S. Pesquisas baseadas em técnicas de sensoriamento remoto, GIS e AHP de zonas de potencial de água subterrânea na bacia do rio Karumeniyas, Tamil Nadu, sul da Índia. **Água Subterrânea para o Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352801X21000424> Acesso em: 22 out. 2021.

ASSIS, A. G. **O saneamento básico na perspectiva de diferentes modelos de gestão: Uma análise comparativa em municípios de pequeno porte no estado da Paraíba.** (Dissertação) Mestrado em Gestão Pública e Cooperação Internacional. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/13544/1/Arquivototal.pdf> Acesso em 09 mar. 2023.

AYKUT, T. Determinação de zonas de potencial de água subterrânea usando Sistema de Informação Geográfica (GIS) e Processo de Hierarquia Analítica (AHP) entre Edirne-Kalkansogut (noroeste da Turquia). **Groudwater for Sustainable**, v. 12, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352801X21000011> Acesso em: 22 out. 2021.

BARBOSA, K. M.; CAMPOS, P. C.; PAZ, I. S. R.; REIS, M. M.; AMORIM, J. C. C. Análise multicritério para hierarquização de indicadores de desempenho aplicada a gestão de hidrovias brasileiras. **Transportes**, v. 31, n. 1, 2023. Disponível em: <https://revistatransportes.org.br/anpet/article/view/2687> Acesso em: 12 ago. 2023.

BATISTA, M. S. **A problemática no abastecimento de água na cidade de Triunfo-PB, no período de 2012 a 2013.** 2014. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras, 2014. Disponível em: <http://www.cfp.ufcg.edu.br/geo/monografias/MARIA%20DO%20SOCORRO%20BATISTA.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2021.

BECKER, R. W.; ARAÚJO, D. S.; JACHESTET, L. A.; RUIZ-PADILHO, A.; AMARAL, B.; SOUZA, J. E.; ATHAYDE, C. V. M.; ATHAYDE, G. B.; SIRTORI, C. Classificação de micropoluentes por risco ambiental em águas subterrâneas usando análise de triagem associada a um método multicritério híbrido combinando ferramentas Q(SAR), fuzzy AHP e ELECTRE. **Ciência do Meio Ambiente Total**, v. 892, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723032096> Acesso em 09 ago. 2023.

BERA, R. MAITI, R. Avaliação de risco de múltiplos perigos de Sundarbans indianos usando Processo de hierarquia analítica baseado em GIS (AHP). **Science**, v. 44, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352485521001584> Acesso em: 22 out. 2021.

BEZERRA, A. D. A.; NOGUEIRA, E. R.; ARAÚJO, F. G. D. M.; BRNADÃO, M. G. A.; CHAVES, B. E.; PANTOJA, L. D. M. Análise da potabilidade de água de chafarizes de dois bairros no município de Fortaleza, Ceará. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 8, n.1. 2017. Disponível em: <https://www.actabiomedica.com.br/index.php/acta/article/view/162> Acesso em: 13 abr. 2021.

BITTAR, P. Aprovado projeto que prevê medidas contra desperdício de água. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/601141-aprovado-projeto-que-preve-medidas-contradesperdicio-de-agua/>. Acesso em: 30 abr. 2021.

BOTELHO, M. H. C.; RIBEIRO JÚNIOR, G. DE A. **Instalações Hidráulicas Prediais: Usando tubos de PVC e PPR.** 3ª Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2014, 407p.

BOSSO, F. B.; JAYME, V. S.; TEIXEIRA, W. F. P.; SOUZA, G. R.L. Análise multicritério para classificação do risco de febre aftosa do estado de Goiás – Brasil. **Ciência Rural**, v. 53, n. 11. 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/kgfF7ycWggFjy9tBdgQzYzq/?lang=en#>. Acesso em: 12 ago. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº 888, de 4 de maio de 2021.** Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Ministério da Saúde, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562> Acesso em: 22 out. 2021.

BRASIL. Lei nº 3.071, de 1º de janeiro de 1916. Código Civil dos Estados Unidos do Brasil. Rio de Janeiro, 1916. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l3071.htm. Acesso em: 03 mai. 2021.

BRASIL. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) e responsável pela instituição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico. (Redação dada pela Lei nº 14.026, de 2020). Brasília, 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9984.htm. Acesso em: 03 mai. 2021.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651compilado.htm. Acesso em: 03 mai. 2021.

BRASIL. Lei nº 12.862 de 17 de setembro de 2013. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, com o objetivo de incentivar a economia no consumo de água. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/L12862.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2012.862%2C%20DE%2017 Art. Acesso em: 30 abr. 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico Temático dos Serviços de Água e Esgotos – 2022. Brasília: SNS/MDR, 2022. Disponível em: https://arquivos-snis.mdr.gov.br/REPUBLICACAO_DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2022.pdf Acesso em: 08 mar. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Manual de orientação para cadastramento das diversas formas de abastecimento de água para consumo humano. Brasília: Ministério da Saúde, 2007. Disponível em: http://www.cvs.saude.sp.gov.br/up/manual_orientacao.pdf Acesso em 09 mar. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Diagnóstico do abastecimento de água para consumo humano no Brasil em 2019**. V. 51, nº 13, março de 2020a. Disponível em: <http://sisagua.treinamento.saude.gov.br/sisagua/paginaExterna.jsf> Acesso em: 26 jul. 2021.

BRASIL. Plano Estadual de Assistência Social da Paraíba (2020-2023). Secretaria de Estado do Desenvolvimento Humano (SEDH), Diretoria do Sistema Único de Assistência Social (DSUAS). Paraíba, 2020b. Disponível em: <https://paraiba.pb.gov.br/diretas/secretaria-de-desenvolvimento-humano/arquivos/peas-2020-2023-atualizado.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2023.

CAGNO, E.; GARRONE, P.; NEGRI, M.; RIZZUNI, A. Adoção de tecnologias de reuso da água: Uma avaliação em diferentes cenários regulatórios e operacionais. **Revista Gestão Ambiental**, v. 317, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722009628> Acesso em: 16 jan. 2023.

CAMURÇA, C. E. S.; ALENCAR, A. B.; CIDADE, E. C.; XIMENES, V. M. Implicações psicossociais da seca na vida de moradores de um município da zona rural do nordeste do Brasil. **Avances en Psicología Latinoamericana**, Bogotá, v. 34, n. 1, p. 117-128, 2016.

CARDOSO, R. N. C.; BLANCO, C. J. C.; DUARTE, J. M. Viabilidade técnica e financeira de sistemas de aproveitamento de água de chuva em prédios públicos na Amazônia, Brasil. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262031101X> Acesso em: 06 out. 2021.

CARMO, F. J. J. **Vazamentos na rede de distribuição de água: Impactos no faturamento e no consumo de energia elétrica do 3º setor de abastecimento de água da região metropolitana de Belém**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Pará, Belém, 2009. Disponível em: http://repositorio.ufpa.br/bitstream/2011/7913/1/Dissertacao_VazamentosRedeDistribui cao.pdf Acesso em 07 jul. 2022.

CASSANELLI, G.; ALVES, L. R.; COLLA, C. Panorama do movimento pendular dos estudantes de ensino superior do município de Toledo, PR, entre 2000 e 2017. Anais do XXI Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 2018. Disponível em: <http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/view/2989>. Acesso em 08 mai. 2021.

CATULÉ, P. F.; SALOMÃO, P. E. A.; CANGUSSÚ, L.; CARVALHO, P. H. V. Estudo de verificação da viabilidade de captação e uso de água de chuva no município de Teófilo Otoni-MG. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 11, p. 01-25, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/330745727_Estudo_de_verificacao_da_viabilidade_de_captacao_e_uso_de_agua_da_chuva_no_municipio_de_Teofilo_Otoni_-_MG. Acesso em: 01 mai. 2021.

CHIUVITE, T. B. S. **Direito Ambiental**. Barros, Fischer & Associados, São Paulo, 2010.

CHRISPIM, M. C.; NOLASCO, M. A. Tratamento de água cinza usando um reator de biofilme de leito móvel em um campus universitário no Brasil. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 290-296, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616310587> Acesso em 06 out. 2021.

COELHO, S. C.; DUARTE, A. N.; AMARAL, L. S.; SANTOS, P. M.; SALLES, M. J.; SANTOS, J. A. A.; MARTINS, A. S. Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís, MA, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 12, n. 1, Taubaté, jan/fev, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v12n1/1980-993X-ambiagua-12-01-00156.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2021.

CORDÃO, M. J. DE S. **Gestão Multiescala para Sistemas Urbanos Sustentáveis de Abastecimento de Água**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2021.

CÔRTEZ, P. L.; TORRENTE, M.; ALVES FILHO, A. P.; RUIZ, M. S.; DIAS, A. J. G.; RODRIGUES, R. Crise de abastecimento de água em São Paulo e falta de planejamento estratégico. **Estudos Avançados**, v. 29, n. 84, 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142015000200007&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 15 abr. 2021.

COSTA, H. G.; MULL, R. N. **Emprego do método de análise hierárquica (AHP) na seleção de variedades para o plantio de cana-de-açúcar**. 1999. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X1999000300009>. Acesso em: 18 fev. de 2023

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Alagoa Grande, estado da Paraíba/Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/15789/1/Rel_Alagoa_Grande.pdf. Acesso em 09 mai. 2021.

CREDER, H. **Instalações hidráulicas e Sanitárias**. 6ª Ed. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora, 2022. 440p.

CRIOLLO, R.; VELASCO, V.; VÁZQUEZ-SUÑÉ, E.; SERRANO-JUAN, A.; ALCARAZ, M.; GARCÍA-GIL, A. Na integrated GIS-based tool for aquifer test analysis. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 5, 2016. Disponível em: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/236128/1/2016%20Criollo.%20An%20integrated%20GIS-based%20tool%20for%20aq%20copia%20para%20autor.pdf>. Acesso em: 22 out. 2021.

DEMEKE, G. G.; ANDUALEM, T. G.; KASSA, M. Avaliação da sustentabilidade dos tanques de coleta de água da chuva existentes: Um estudo de caso do distrito de Lay Gayint, zona de Gondar do Sul, Etiópia. **Heliyon**, v. 7, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021017503> Acesso em: 19 out. 2021.

DEMARTELAERE, A. C. F.; SILVA, T. B. M.; PRESTON, H. A. F.; FERREIRA, A. S.; RODRIGUES, A. L. S.; FEITOSA, S.S. O cultivo hidropônico de alface com água de reuso. **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 6, n. 11, p. 90206-90224, nov. 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/20199/16179>. Acesso em: 12 mar. 2021.

DENG, C.; ZHU, D.; NIE, X.; LIU, C.; ZHANG, G.; LIU, Y.; LI, Z.; WANG, S.; MA, Y. A precipitação e a expansão urbana causaram conjuntamente o deslocamento espaço-temporal entre a oferta e a demanda do serviço de abastecimento de água. **Revista de Gestão Ambiental**, v. 299, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721017229> Acesso em 26 mai. 2022.

DIAS, J.; AMARAL, P. Características socioeconômicas e tipologia dos municípios de pequeno porte no Brasil. *In*: ENCONTRO DE ECONOMIA DA REGIÃO SUL – ANPEC SUL, 24., 2021, Florianópolis. Disponível em: <https://www.anpec.org.br/novosite/br/xxiv-encontro-de-economia-da-regiao-sul> Acesso em: 04 ago. 2023.

DINDAROGLU, T. Determinação de redes ecológicas para conectividade de vegetação usando técnicas GIS e AHP nos ecossistemas cársticos degradados do Mediterrâneo. **Journal of Arid Environments**, v.188, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196320302846> Acesso em 19 out. 2021.

DOKE, A. B.; ZOLEKAR, R. B.; PATEL, H.; DAS, S. Mapeamento geoespacial de zonas potenciais de água subterrânea usando abordagem AHP de tomada de decisão multicritério em um terreno basáltico de rocha dura na Índia. **Ecological Indicators**, v. 127, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X21003502> Acesso em 19 out. 2021.

ELIZALDO JÚNIOR, J. **A importância das técnicas e uso de dessalinização da água.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia), Universidade Federal do Semiárido, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/5948>. Acesso em: 31 mar. 2021.

ESTRELA, G. F. **Fontes e Chafarizes. O abastecimento de água nos espaços públicos na Baixa Idade Média portuguesa.** Dissertação (Mestrado em Arqueologia), Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 2017. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream> Acesso em: 24 abr. 2021.

FAUSTINO, J.C.S.; LIMA, P.V.S de.; CASIMIRO FILHO, F.; RODRIGUES, M.I.V.; Convivência com a escassez de água: a importância do capital social nas áreas susceptíveis à desertificação no Semiárido. **Sustentabilidade em Debate - Brasília**, v. 7, Edição Especial, p.114-135, dez/2016. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/53226> Acesso em: 26 mar. 2021.

FERREIRA, W. B. **Solução alternativa de abastecimento de água para consumo humano em comunidades difusas: monitoramento e controle de qualidade da água.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

FERREIRA, D. G.; DINIZ, C. B.; ASSIS, E. S. Métodos para calcular os parâmetros da superfície urbana e sua relação com a classificação LCZ. **Urban Climate**, v. 36, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095521000183> Acesso em: 22 out. 2021.

FIGUEIREDO, R. F. R.; PEREIRA, S. V. Avaliação da qualidade da água em poços de abastecimento de hotéis de Ipojuca/PE. **Natural Resources**, v.10, n.1, p.17-26, 2020. Disponível em: <http://sustenere.co/index.php/naturalresources/article/view/3799>. Acesso em: 24 abr. 2021.

FREIRES, E. L.; MENDES, H. M.; MENDES, R. L. R.; RAMOS, F. C. D. Potencial de captação de água de chuva em unidades familiares rurais do município de Breves-PA. **Paranoá: Caderno de Arquitetura e Urbanismo**, v. 23, p. 57-67, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/23349>. Acesso em: 01 mai. 2021.

FREITAS, D. O. DE. **A dessalinização no contexto da gestão de águas em Israel: Comparação com o caso brasileiro.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente), Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/12195> Acesso em: 31 mar. 2021.

FUKASAVA, B. N.; MIERZWA, J. C. Identificação do potencial de reúso de água em Regiões Metropolitanas utilizando o Analytic Hierarchy Process. **Environmental and Sustainability Indicators**, v.8, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665972720300465> Acesso em 09 mar. 2023.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (Funasa). **Caderno didático técnico para curso de gestão de sistemas de abastecimento de água em áreas rurais do Brasil/Fundação Nacional de Saúde.** – Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2020.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Cadernos Temáticos Saneamento Básico – Abastecimento de água potável.** Brasil: Fundação Nacional de Saúde, 2016. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/300120/Abastecimento+de+%C3%81gua+Pot%C3%A1vel.pdf/c42e2752-7de2-4a0b-a751-fa352f1bdbc3?version=1.0> Acesso em: 12 fev. 2023.

GHAVAMI, S. M.; BORZOOEI, Z.; MALEKI, J. Uma abordagem eficaz para avaliar o risco de falha em dutos de esgoto urbano usando uma combinação de GIS e AHP-DEA. **Protection**, v. 133, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582019313473> Acesso em: 22 out. 2021.

GOMES, U. A. F.; DOMÈNECH, L.; PENA, J. L.; HELLER, L.; PALMIER, L. R. A captação de água de chuva no Brasil: Novos aportes a partir de um olhar internacional. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, 2014. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/161/70d0a9f15c2cc2d40d222975ad6bde0f_57e03f5568f670400e90ec72b8d60fd2.pdf Acesso em 13 mar. 2023.

GÜNEN, M. A. Uma estrutura abrangente baseada em GIS-AHP para a instalação de parques solares fotovoltaicos em Kahramanmaraş, Turquia. **Energia Renovável**, v. 178, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148121009435> Acesso em: 23 out. 2021.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 428p.

HOFMAN-CARIS, R.; WAAL, L. DE.; BRAND, T. VAN DEN.; HOFMAN, J.; AA, R. VAN DER.; HOEK, J. P. VAN DER. Coleta de água da chuva para produção de água potável: uma solução sustentável, e econômica na Holanda? **Water**, v. 11, n. 3, mar. 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/3/511/htm>. Acesso em: 11 mar. 2021.

KUCERA, J. *Reverse Osmosis Design, Process, and Applications for Engineers*, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, and Scriver Publishing LLC, Salem, Massachusetts, 2010

KUZNETSOV, A.; SADOVSKAYA, V. Variação espacial e detecção de pontos de acesso de casos de COVID-19 no Casaquistão, 2020. **Spatial and Spatio-temporal Epidemiology**, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1877584521000290> Acesso em: 22 out. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), PANORAMA (2010) – Alagoa Grande, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/alagoa-grande/panorama>. Acesso em: 07 mai, 2021

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL E ESTADUAL (IDEME). **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. Perfil do município de Alagoa Grande, PB, 2013**. Disponível em: http://ideme.pb.gov.br/servicos/perfis-do-idhm/atlasidhm2013_perfil_alagoa-grande_pb.pdf. Acesso em: 08 mai. 2021.

INSTITUTO TRATA BRASIL (ITB). **As despesas das famílias brasileiras com água tratada e coleta de esgoto, 2021**. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Relatorio_Completo-2.pdf Acesso em: 06 mar. 2023.

LACERDA, M. C, de. **Proposta de um índice para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem de águas pluviais em cidades de pequeno porte do estado da Paraíba**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 98p., 2021.

LIMA, A. C. F. **Implantação de modelo de redução de custos para gerenciamento dos carros-pipa no Estado do Ceará**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/22948/1/2018_AmandaCristinaFerreiraDeLima_tcc.pdf. Acesso em: 22 abr. 2021.

LIMA, J. R.; MAGALHÃES, A. R. Secas no Nordeste: registros históricos das catástrofes econômicas e humanas do século 16 ao século 21. **Parcerias Estratégicas**, v. 26, n. 46. Brasília, 2018. Disponível em: http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/896/814 Acesso em: 28 fev. 2022.

LIMA, G. S.; NUNES, A. B. A.; MAGALHÃES, A. M. C.; CAMPOS, V. R. Aplicação de metodologia de análise hierárquica (AHP) para priorização de intervenção em estações de tratamento de esgotos - Estudo de caso na Bacia do Siqueira, Fortaleza/CE. **Revista DAE**, v.68, n. 225, 2020. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_225_n_1891.pdf Acesso em 09 mar. 2023.

LISBOA, S. S.; HELLER, L.; SILVEIRA, R. B. Desafios do planejamento municipal de saneamento básico em municípios de pequeno porte: a percepção dos gestores. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 4, p. 341-348, dez. 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522013000400341. Acesso em: 14 nov. 2020.

MACHADO, T. T. V.; DIAS, J. T.; AZEVEDO FILHO, A. C.; GADELHA, C. L. M.; SILVA, T. C. Avaliação da qualidade de águas de chuva armazenadas em cisternas de placas e de polietileno em um município do semiárido do estado da Paraíba. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 151-158, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/YXWG5P4hmY9B6JjD9FFQFZx/?lang=pt#> Acesso em: 28 abr. 2021.

MACINTYRE, A. J. **Instalações Hidráulicas Prediais e Industriais**. 4ª Ed. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora, 2010. 596p.

MAIA NETO, E. F. O abastecimento de água em Fortaleza-CE (1813-1867). **Revista Espacialidades**, v. 7, n. 1, 2014. Disponível em: http://www.cchla.ufrn.br/espacialidades/v7n1/Espacialidades_v7n1_05.pdf. Acesso em: 28 abr. 2021.

MÁRQUEZ, J. D.; PEÑA, L. E.; BARRIOS, M.; LEAL, J. Detecção de lagoas de coleta de água da chuva combinando atributos do terreno com resposta hidrológica. **Journal of Cleaner Production**, v. 296, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262100740X> Acesso em 19 out. 2021.

MATOS, A. N. B.; SANTOS JUNIOR, D. D.; ALBUQUERQUE, T. C. S.; PORTO, E. R.; PAULINO, R. V.; MIRANDA, A. R. Efeito do efluente da criação de tilápia na produção de atríplex numulária irrigada com rejeito da dessalinização de água salobra. *In: IV Congresso Nordestino de Produção Animal*. Petrolina, 2006. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/45486375.pdf> Acesso em: 14 mar. 2023.

MELO, A. C. B. **Gestão de Recursos Hídricos: Um estudo de caso em Picuí**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Gestão dos Recursos Ambientais do Semiárido) – Instituto Federal da Paraíba, Picuí, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/jspui/bitstream/177683/855/1/TCC%20%20CANTARELLY.pdf>. Acesso em 15 abr. 2021.

MESQUITA, B. A.; FRISCHKORN, H.; SILVA, C. M. S. V.; MENDES FILHO, J.; SANTIAGO, M. M. F. (2017). Qualidade das águas subterrâneas nas dunas e cristalino em Caucaia-ce. **Águas Subterrâneas**. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28843>. Acesso em: 15 abr. 2021.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Programa Água Doce. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/programa-agua-doce/programa-agua-doce-1>. Acesso em: 23 abr. 2021.

MOURA, P. G.; ARANHA, F. N., HANDAM, N. B.; MARTIN, L. F.; SALLES, M. J.; CARVAJAL, J.; JARDIM, R.; SOTERO-MARTINS, S. Água de reuso: uma alternativa sustentável para o Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l], v. 25, n. 6, p. 791-808, jan. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/esa/v25n6/1809-4457-esa-25-06-791.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2021.

MU'AZU, N. D.; ABUBAKAS, I. R.; BLAISI, N. I. Aceitabilidade pública da reutilização de águas residuais tratadas na Arábia Saudita: implicações para política de gestão da água. **Science of The Total Environment**, v. 721, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720311700> Acesso em: 21 out. 2021.

NEVES, A. L. R.; ALVES, M. P.; LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R. Aspectos socioambientais e qualidade da água de dessalinizadores nas comunidades de Pentecostes-CE. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 12, nº 1, Jan/Fev, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v12n1/1980-993X-ambiagua-12-01-00124.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2021.

NITHYA, C. N.; SRINIVAS, Y.; MAGESH, N. S.; KALIRAJ, S. Avaliação de zonas de potencial de água subterrânea na bacia de Chittar, sul da Índia usando técnica AHP baseada em GIS. **Remoto: Sociedade e Meio Ambiente**, v. 15, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352938519301168> Acesso em: 22 out. 2021.

NÓBREGA, J. S.; SILVA, F. A.; SILVA, M. S.; CHAVES, M. T. L.; LIRA, R. P. Estudo da viabilidade do uso de cisternas em assentamento rural no município de Várzea-PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 11, n. 1, p. 23-37, 2016. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/3968/3710>. Acesso em: 21 abr. 2021.

NUNES, L. F. C. V.; MEDEIROS, P. H. A. Análise histórica da severidade de secas no Ceará: efeitos da aquisição de capital hidráulico sobre a sociedade. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, 17, e18, 2020. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/OJS/index.php/REGA/article/view/409/48> Acesso em: 29 mar. 2021.

NUNES, M. G. P.; SILVA, C. N. M. Nordeste Brasileiro: um olhar sobre o semiárido e a convivência com a seca. **GEOTemas**, Pau dos Ferros, v. 10, n. 3, p. 148-160, 2020. Disponível em: <http://natal.uern.br/periodicos/index.php/GEOTemas/article/view/2780/2514>. Acesso em 20 abr. 2021.

OGATA, I. S. **Desenvolvimento do índice de pobreza hídrica para a bacia hidrográfica do Rio Paraíba**. 2014. 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2014.

OGRODNIK, K.; KOLENDO, L. Aplicação da tecnologia GIS e AHP para determinar as áreas com estrutura funcional e espacial compacta totalmente desenvolvida: Um estudo se caso de Bialystok, Polônia. **Política de Uso do Solo**, v. 109, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837721003392> Acesso em: 19 out. 2021.

OH, K. S.; LEONG, J. Y. C.; POH, P.E.; CHONG, M. N.; LAU, E. V. Uma revisão das questões relacionadas à reciclagem de águas cinzas: desafios e perspectivas futuras na Malásia. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 17-29, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617322710#bib72> Acesso em 06 out. 2021.

OLIVEIRA, A. A. A.; CORRÊA, S. S.; SILVA, M. M.; BEZERRA, S. T. M. Avaliação de ações direcionadas à gestão eficiente de sistemas de distribuição de água. Trabalho apresentado no XVII Congresso Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento, Saneamiento y Riego, 2023. Tema: Smart Water. Eixo Temático: Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes. Disponível em: <https://serea23.com/wp-content/uploads/2023/06/6292.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2023.

OUDA, O. K. M.; SHAWESH, A.; AL-OLABI, TAREQ.; YOUNES, F.; AL-WAKED, RAFAT. Revisão das práticas domésticas de conservação de água na Arábia Saudita. **Applied Water Science**, v. 3, p. 689-699, 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-013-0106-1>. Acesso em 29 abr. 2021.

PÁDUA V.L. **Soluções alternativas desprovidas de rede**. In: HELLER, L.; PÁDUA, V. L. (Org). Abastecimento de água para consumo humano. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 2v, cap. 6. p. 299-324.

PAIVA JUNIOR, H. B. **Efeitos do rompimento da barragem de Camará na área urbana do município de Alagoa Grande/PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5569/1/arquivototal.pdf>. Acesso em: 09 mai. 2021.

PANTALEÃO, C. H. Z.; WIETHOLTER, P. A. Aplicação da Análise Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA-C) para estruturação de um sistema de gestão de segurança do trabalho baseado na ISO 45001:2018. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, n. 28, 2022. Disponível em: <https://revistatecie.crea-pr.org.br/index.php/revista/article/view/803>. Acesso em: 12 ago. 2023.

PARAÍBA. **Lei nº 6.308, de 02 de julho de 1996**. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, suas diretrizes e dá outras providências. João Pessoa: Palácio do Governo, 1996. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/lei_E_11.pdf. Acesso em 28 fev. 2022.

PEREIRA, F. M. **A operação carro-pipa em Cajazeiras – Paraíba: aspectos jurídicos e sociais**. Dissertação (Mestrado Profissional em Sistemas Agroindustriais), Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/2316>. Acesso em: 24 abr. 2021.

PEREIRA, T. T.; FRAGOSO, R. A governança e a eficiência no modelo intermunicipal de gestão da água no Alto Alentejo. **Revista Portuguesa de Estudos Regionais (RPER)**, v. 62, p. 123-142, 2022. Disponível em: <http://www.review-rper.com/index.php/rper/article/view/563>. Acesso em: 12 ago. 2023.

PIMENTA, L. B.; BELTRÃO, N. E. S.; GEMAQUE, A. M. S. TAVARES, P. A. Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. **Interações**, v. 20, n. 2, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/czmJyn93szNcX5jfXjpPR8M/?lang=pt>. Acesso em: 19 out. 2021.

PINHEIRO, L. G.; FERREIRA, D. M.; SILVA, F. L.; MEDEIROS, J. A.; MEDEIROS, L. C.; PEIXE, P. D.; MOREIRA, S. A. Avaliação da sustentabilidade do processo de dessalinização de água no semiárido potiguar: Estudo da comunidade Caatinga Grande. **Sociedade & Natureza**, v. 30, n. 1, p. 132-157, 1 jul. 2018. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/37175>. Acesso em: 30 mar. 2021.

PINTO, H.S.; FARIA, I.D.; BAPTISTA, R.; KASSMAYER, K.; ABBUD, A.; PINTO, V.C. (2014) *A Crise Hídrica e suas Consequências*. Brasil: Núcleo de Estudo e Pesquisas, Senado Federal. 32 p.

PIRES, A. C. **Rega eficiente nos jardins de São Caetano do Sul (SP) utilizando água de reuso**. 2018. 39 f. Monografia (Especialização) - Curso de Elaboração e Gerenciamento de Projetos Para Gestão Municipal de Recursos Hídricos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2014/1/ALEXANDRE%20CEZAR%20PIRES.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FORTALEZA. Lei nº 10.892, 04 de junho de 2019. Dispõe sobre o controle do desperdício de água potável no Município de Fortaleza, na forma que indica, e dá outras providências. Fortaleza, 2019. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/CE/FORTALEZA/LEI-10892-2019-FORTALEZA-CE.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2021.

QUADRO, M. S.; DALLAGNOL, A. L. B.; LOEBENS, L.; FERREIRA, V. S.; LEANDRO, D.; CASTRO, A. S. **37º Seminário de Extensão Universitária da Região Sul**, Pelotas, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/199183>. Acesso em: 11 jan. 2023.

RAID, M. A. **Soluções técnicas de abastecimento de água e modelos de gestão: um estudo em quinze localidades rurais brasileiras**. 2017. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-AWWP8Q>. Acesso em: 26 mar. 2021.

RAID, M. A.; HÉLLER, L.; MOURA, P. M.; GOMES, U. A. F. Modelos de prestação de serviços de abastecimento de água para comunidades rurais do Brasil: uma avaliação comparativa pelo método Analytic Hierarchy Process. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, (27), 4, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/yJ44GsGFwSBCGDz37CdR4Hk/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 09 mar. 2023.

RAMAMURTHY, V.; REDDY, G. P. O.; KUMAR, N. Avaliação da aptidão da terra para o milho (*Zea mays* L) no ecossistema semi-árido do sul da Índia usando abordagem AHP e GIS integrada. **Computadores e eletrônicos na agricultura**, v. 179, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169920313296>. Acesso em: 22 out. 2021.

ROCHA, A. F. Panorama da seca no Estado de Sergipe: Impactos e ações de enfrentamento. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 22, n. 44, p. 181-200, jan-jun, 2017. Disponível em: http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/851/779. Acesso em: 22 abr. 2021.

ROSSETTO, R.; FILIPPIS, G.; BORSI, I.; FOGLIA, L.; CANNATA, M.; CRIOLLO, R.; VÁZQUEZ-SUÑÉ, E. Integração de ferramentas gratuitas e de código aberto e códigos de modelagem distribuída em ambiente GIS para gestão de águas subterrâneas com base em dados. **Modelagem Ambiental e Software**, v. 107, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815217309453>. Acesso em: 22 out. 2021.

RUEDIGER, M. A. (Coord.). **Análise da efetividade do Água Para Todos: avaliação de mérito quanto à eficácia, à eficiência e à sustentabilidade**. Rio de Janeiro: FGV DAPP 2018. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/29075>. Acesso em: 23 abr. 2021.

SAATY, T. L. Processo de Hierarquia Analítica: planejamento, definição de prioridades, alocação de recursos. McGraw-Hill, Nova Iorque, EUA, 1980.

SACOLO, S. J.; MKHANDI, S. H.; Avaliação do potencial de aproveitamento da água da chuva para produção de milho no planalto de Lubombo. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706520303818> Acesso em: 08 out. 2021.

SANTOS, S. M.; FARIAS, M. M. M. Potencial de captação de água da chuva em um clima seco: Avaliações em uma região semiárida do Nordeste do Brasil. **Journal of Cleaner Production**, v. 164, p. 1007-1015, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617314208> Acesso em: 07 out. 2021.

SANTOS, E. C. A.; ARAÚJO, L. E.; MARCELINO, A. S. Análise climática da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 1, p. 9-14, jan. 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662015000100009. Acesso em: 03 mar. 2021.

SANTOS, E. M. C.; ARAÚJO, K. D.; SOUZA, M. A.; GOMES, D. L.; SILVA, A. P. L. Alternativa de armazenamento e abastecimento de água em assentamentos rurais do semiárido alagoano. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 19, n. 68, p. 132-142, dez. 2018. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/40374/24763>. Acesso em: 11 jan. 2021.

SANTOS, S.; SANT'ANA, D. Análise do potencial de redução do consumo de água potável pelo aproveitamento de águas pluviais e reuso de águas cinzas na rodoviária do Plano Piloto de Brasília – DF. **Paranoá: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, v. 23, p. 84-92, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/20565>. Acesso em: 18 abr. 2021.

SÃO PAULO. Lei nº 16.172 de 17 de abril de 2015. Proíbe a lavagem de calçadas com água tratada ou potável fornecida pela Companhia de Saneamento Básico de São Paulo (SABESP). Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/sp/s/sao-paulo/lei-ordinaria/2015/1617/16172/lei-ordinaria-n-16172-2015-proibe-a-lavagem-de-calçadas-com-agua-tratada-ou-potavel-e-fornecida-por-meio-da-rede-da-sabesp-que-abastece-o-municipio-de-sao-paulo-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 30 abr. 2021.

SENADO FEDERAL. Dessalinizar a água é cada vez mais viável. **Revista em Discussão**, nº 23, 2014. Disponível em: https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/escassez-de-agua/@@images/arquivo_pdf/. Acesso em: 30 abr. 2021.

SHAO, Z.; HUQ, E.; CAI, B.; ATLAN, B.; LI, Y. Sensoriamento remoto integrado e abordagem GIS usando Fuzzy-AHP para delinear e identificar zonas de potencial de água subterrânea na província semi árida de Shanxi, China. **Modelagem Ambiental e Software**, v. 134, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815220309257> Acesso em 19 out. 2021.

SHEIKH, V. Percepção da captação doméstica de água da chuva por cidadãos iranianos. **Sustainable Cities and Society**, v. 60, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670720304996> Acesso em: 19 out. 2021.

SHEKAR, P. R.; MATHEW, A. Avaliando zonas potenciais de águas subterrâneas e locais de recarga artificial na bacia do rio Murredu, alimentada por monções, Índia: uma abordagem integrada usando GIS, AHP e Fuzzy-AHP. **Água Subterrânea para o Desenvolvimento Sustentável**, v.23, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352801X23000942#preview-section-abstract> Acesso em: 09 ago. 2023.

SILVA, F. B. **O sistema de abastecimento d'água da cidade de Santa Rita – PB**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016a. Disponível em: http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/copy_of_2016.1/o-sistema-de-abastecimento-d2019agua-da-cidade-de-santa-rita-pb.pdf. Acesso em: 25 mar.2021.

SILVA, L. **Turismo e economia no município de Alagoa Grande-PB**. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Geografia), Universidade Estadual da Paraíba, Guarabira, 2016b.

SILVA, V. P.; FRANÇA, G. L.S. Percepções de mudanças do clima, impactos e adaptação para sertanejos do semiárido. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 14, v.22, p. 229-248, jan/jun 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/55958/35036> Acesso em 26 mar. 2021.

SILVA, M. C. O. **Abordagem multicritério para análise de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário com auxílio de dados espaciais de alta resolução**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2021.

SIQUEIRA, E. L.; ARANTES, A. E. Priorização de rotas de ônibus para eletrificação no município de Fortaleza baseado em Análise Multicritério e SIG. **Geografia**, v. 48, n. 1, 2023. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/17240/12730>. Acesso em: 12 ago. 2023.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Série Histórica/Municípios/Informações e indicadores municipais consolidados, 2019. Disponível em: Acesso em: 13 mai. 2021.

SOARES JUNIOR, D. A.; LEITÃO, M. R. F. A. Desenvolvimento local: o Programa Um Milhão de Cisternas (PIMC) em Tupanatinga, PE. **Interações**, Campo Grande, v. 18, n. 1, p. 75-87, jan./mar. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/inter/v18n1/1518-7012-inter-18-01-0075.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2021.

SUPERINTENDÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO DO MEIO AMBIENTE (SUDEMA). Enquadramento dos corpos d'água da bacia hidrográfica do rio Mamanguape, 1988. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/DZS_04.pdf. Acesso em: 09 mai. 2021.

SUN, M.; GAO, X.; ZHANG, Y.; SONG, Z. ZHAO. Uma nova solução de modo de irrigação de água de chuva de alta eficiência para gerenciamento de água em plantações de maçã: Projeto e aplicação. **Agricultural Water Management**, v. 259, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377421005205>. Acesso em: 11 out. 2021.

TAMARINDO, U. G. F.; FORTI, J. C. Água e seus instrumentos legais de proteção. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 9, n. 1, p. 39-52, 2015. Disponível em: <https://seer.tupa.unesp.br>. Acesso em: 02 mai. 2021.

TARANTO, D. Dessalinização já é realidade no Brasil. 2019. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/dessalinizacao-realidade-brasil/>. Acesso em: 30 abr. 2021.

TAVARES, E.; TAVARES, J. M. S. Dimensões conceituais e estratégias metodológicas para análise de mobilidade espacial: migrações e movimentos pendulares para trabalho e estudo. In: XX Encontro Nacional de Estudos Populacionais e VII Congresso da Associação Latino-americana de população. Foz do Iguaçu, 2016. Disponível em: <http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/viewFile/2609/2529>. Acesso em: 08 mai. 2021.

TOMAZ FILHO, A. **A importância da água na comunidade aldeia no município de Junco do Seridó-PB**. 2019. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2019. Disponível em: <http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/20259/1/TCC%20-%20ANT%C3%94NIO%20TOMAZ%20FILHO.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2021.

TOPÁZIO, E. Impactos da seca na Bahia: medidas de enfrentamento adotadas pelo Estado. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 22, n. 44, p. 233-246, 2017.

TOOSI, A. S.; TOUSI, E. G.; GHASSEMI, S. A.; CHESHOMI, A.; ALAGHMAND, S. Uma abordagem de análise de decisão multicritério para a coleta eficiente de água da chuva. **Journal of Hydrology**, v. 582, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169419312363>. Acesso em: 19 out. 2021.

VAN ENGELENBURG, J., VAN SLOBBE, E., TEULING, AJ, UIJLENHOET, R., e HELLEGERS, P.: Características de sustentabilidade do abastecimento de água potável na Holanda, Drink. **Water Eng. Sci.**, 14, 1-43, <https://doi.org/10.5194/dwes-14-1-2021>, 2021. Disponível em: <https://dwes.copernicus.org/articles/14/1/2021/> Acesso em: 06 mar. 2021.

VELOSO, N. S. L.; MENDES, R. L. R.; OLIVEIRA, D. R. C.; COSTA, T. C. D. Água da chuva para abastecimento na Amazônia. **Revista Movendo Ideias**, v.17, n. 1, jan/jun, 2012. Disponível em: <http://revistas.unama.br/index.php/Movendo-Ideias/article/view/628/276> Acesso em: 31 mar. 2021.

APÊNDICE A

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS – PPGEGRN

Esta coleta de informações tem como objetivo contribuir para elaboração de uma dissertação sobre o tema abastecimento de água, intitulada como: ESTUDO DE SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE. A pesquisa está sendo desenvolvida pela aluna Bárbara Frassinetti Brito Sousa, sob a orientação da professora Dra. Andréa Carla Lima Rodrigues.

A coleta consiste em atribuir valores a critérios previamente definidos, indicando o seu grau de influência sobre o abastecimento de água. O método adotado é a *Análise Hierárquica de Processos (AHP)*, que basicamente consiste na adoção de pesos para os critérios estabelecidos de forma que seja possível identificar os que exercem maior influência sobre esse tipo de serviço. Para isso, o Quadro 1 orienta sobre a referência dos valores. O Quadro A.1 indica o valor, a respectiva definição e explicação para melhor caracterizar o critério.

Quadro A.1 – Explicação sobre o grau de importância dos critérios

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

Fonte: Saaty (1980).

O Quadro 2 apresenta uma breve explicação sobre cada critério para área urbana utilizado nesta pesquisa.

Quadro 2 – Influências dos critérios avaliados em relação ao risco de desabastecimento

| CRITÉRIOS PARA A ÁREA URBANA | |
|-------------------------------------|---|
| População residente | A partir dela é possível estimar a demanda que utiliza o serviço de água e dimensionar adequadamente os elementos que constituem o SAA (CORDÃO, 2021). |
| Altimetria | Critério que influencia na operação do sistema. Em áreas de maior cota topográfica o desempenho hidráulico da rede pode ser comprometido e sofrer flutuações, causando desigualdade no atendimento ao serviço de abastecimento de água (CORDÃO, 2021). |
| Distâncias aos reservatórios | Quanto mais distante da zona de oferta, maior será o esforço para atender a demanda. Distâncias muito altas dos locais de oferta podem gerar pressões na rede incompatíveis com para o atender a demanda, devido as perdas de carga ao longo das tubulações (CORDÃO, 2021). |
| Distâncias às Estações Elevatórias | Esse critério influencia nas perdas físicas por vazamento na rede. Geralmente, o rompimento das tubulações ocorre próximos as estações elevatórias. Altos índices de perdas contribuem para a ineficiência da gestão do SAA (CORDÃO, 2021). |
| Renda | Quanto maior a renda, menor o risco de desabastecimento, tendo em vista essa população de maior poder aquisitivo têm condições de possuir e manter um reservatório. E em caso desse reservatório esgotar, têm condições econômicas de comprar água para suprir a demanda. |
| Domicílios Atendidos pela Rede | Quantificar esse critério possibilita identificar áreas não atendidas pelo SAA através da rede de distribuição. A maioria das vezes os domicílios não atendidos estão localizados em áreas periféricas, logo, o serviço de água não consegue acompanhar a expansão urbana, causando a falta de atendimento do serviço (CORDÃO, 2021). |

A partir das explicações prévias, os critérios devem ser classificados de acordo com o Quadro 1, com valores referentes com o grau de influência sob a sua ótica e experiência profissional, relacionando os itens da coluna esquerda com os itens da linha acima, ou seja, a importância de um em função do outro.

O espaço “Informações adicionais” é optativo, caso queira inserir informações que considere relevantes.

| | População residente | Altimetria | Distância ao reservatório distribuição | Distância a EEAT | Renda | Domicílios Atendidos pela Rede |
|--|----------------------------|-------------------|---|-------------------------|--------------|---------------------------------------|
| População residente | 1 | | | | | |
| Altimetria | x | 1 | | | | |
| Distância ao reservatório de distribuição | x | x | 1 | | | |
| Distância a EEAT | x | x | x | 1 | | |
| Renda | x | x | x | x | 1 | |
| Domicílios Atendidos pela Rede | x | x | x | x | x | 1 |

Informações adicionais: