



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII – ARARUNA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RIVAILDO DA SILVA RAMOS FILHO

AVALIAÇÃO DA CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA
EM SERRARIA – PB: UMA ABORDAGEM SIG - MCDA

ARARUNA

2019

RIVAILDO DA SILVA RAMOS FILHO

**AVALIAÇÃO DA CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA
EM SERRARIA – PB: UMA ABORDAGEM SIG - MCDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Saneamento.

Orientador: Prof. Me. Igor Souza Ogata.

Coorientador: Prof. Me. Maria José de S. Cordão.

ARARUNA

2019

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

R175a Ramos Filho, Rivaldo da Silva.
Avaliação da concepção do sistema de abastecimento de água em Serraria – PB [manuscrito] : uma abordagem SIG – MCDA / Rivaldo da Silva Ramos Filho. - 2019.
70 p. : il. colorido.
Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde , 2019.
"Orientação : Prof. Me. Igor Souza Ogata , Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."
"Coorientação: Profa. Ma. Maria José de Sousa Cordão , Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."
1. Método ELECTRE. 2. Sistemas de Informação Geográfica. 3. Sistemas de abastecimento de água de pequeno porte. I. Título

21. ed. CDD 627.5

RIVAILDO DA SILVA RAMOS FILHO

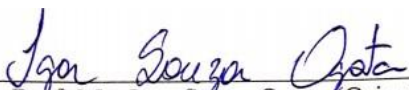
AVALIAÇÃO DA CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM
SERRARIA – PB: UMA ABORDAGEM SIG - MCDA

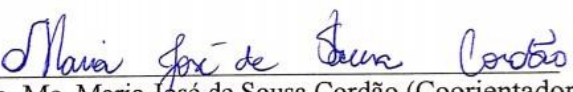
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

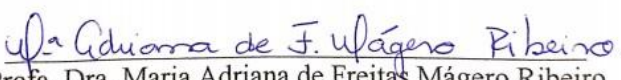
Área de concentração: Saneamento.

Aprovado em: 11 / 12 / 2019.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Me. Igor Souza Ogata (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Profa. Me. Maria José de Sousa Cordão (Coorientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Profa. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Dedico este trabalho primeiramente a Deus,
que grandes coisas fez na minha vida e a
minha família, meu alicerce.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, antes de qualquer coisa externo toda a minha gratidão. Sem Ele não teria chegado até aqui. Toda honra e glória seja dada ao Deus de Israel. Sou grato pelo seu imenso amor que me constrangeu e me fez ser participante da tão maravilhosa dádiva da salvação, me possibilitando através da graça, ser chamado de filho. Foi Ele que em todos os momentos me concedeu forças e ânimo para vencer as batalhas do dia a dia. Sendo meu guia, meu amigo e meu baluarte. Obrigado por tudo Jesus! A ti rendo louvor e adoração, pois mesmo não sendo merecedor me amaste.

Aos meus pais, Fernando de Almeida Albuquerque Damacena e Márcia Damacena Ramos, por sempre estarem ao meu lado, me concedendo amor, carinho, zelo e dedicação. Pelos ensinamentos, a saber: secular e cristão que possibilitaram a formação do meu caráter como homem honesto e temente a Deus. Pelos cuidados desde a minha infância, não deixando que nada faltasse nos aspectos afetivo, material e espiritual. O que sou devo a vocês. Obrigado! Amo vocês.

Aos meus avós, Roberto Nunes Damacena e Maria Ribeiro Damacena, por sempre torcerem por mim. Por todo o carinho, cuidado e suporte necessário. Vocês têm um peso grande nessa conquista. Amo vocês! Obrigado por tudo.

Aos meus irmãos, Roberta Renaly Damacena Ramos, Rivaldo Damacena Ramos e Maria Fernanda Damacena Albuquerque, pela companhia ímpar e pelo amor fraterno indiscutivelmente necessário para a caminhada. Amos todos vocês.

Aos meus tios e tias pela confiança a mim depositado e pelas palavras de conforto e entusiasmo.

Aos meus primos e primas, por todas as alegrias proporcionadas.

Aos amigos, Rodolfo Araújo, Maskswillian Marques, Josival Leandro, Brenda Gomes, André Martins e Tiago Weber, pelas noites em claro estudando, pelos momentos de descontração e palavras de confiança. A companhia de vocês foi muito importante ao longo deste percurso. Que nossa amizade perdure.

A meu orientador, Prof. Me. Igor Souza Ogata, pela paciência e diligência ao me guiar no caminho do êxito, dando-me exemplo de profissionalismo e ética.

A minha coorientadora, Me. Maria José de Sousa Cordão, por ter sido a primeira a me orientar e me possibilitar trabalhar com a área de recursos hídricos, ao qual tão bem me identifiquei. Meu agradecimento.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação como pessoa, deixando um pouco do vosso ensinamento, desde o início desse percurso, no primário, até a vida acadêmica.

Aos colegas de curso e futuros colegas de profissão, meu muito obrigado pelo auxílio.

Aos funcionários da CAGEPA pelo fornecimento de dados e informações essenciais na realização deste trabalho, em especial, ao engenheiro Adário Nóbrega pela disponibilidade e gentileza no atendimento e ao gestor Edcarlos Pereira que de forma muito prestativa auxiliou na coleta dos dados.

A todos que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento e realização deste grande feito, meu eterno agradecimento.

“...porque aquilo que está determinado será feito.”

Daniel 11.36

RESUMO

A avaliação da concepção das unidades que compõem o sistema de abastecimento de água (SAA) é abordada neste trabalho sob a perspectiva de apoio ao processo de tomada de decisão. Essa visão sistêmica do leque de alternativas que existe para cada etapa, bem como suas características, possibilita uma nova percepção sobre um SAA planejado, minimizando erros de funcionamento e gastos desnecessários. Estudos na área de saneamento são realizados a partir do confronto de informações multiobjetivas com um alvo comum, a busca pela melhor alternativa. Nesse sentido, são explorados recursos de análise espacial e não espacial que possibilitam definir com base em critérios um modelo capaz de servir como indicador em ações de planejamento e gestão. Esse modelo foi aplicado ao SAA de Serraria, cidade do estado da Paraíba, com a finalidade de verificar a adequação desse sistema e propor melhorias. Ao aplicar o modelo supracitado foi verificado que o sistema apresenta características adequadas de acordo com a análise realizada para o aspecto locacional das unidades, com exceção para a escolha do manancial, já que a barragem Nova Camará, localizada na cidade de Alagoa Nova, foi a que apresentou o nível mais alto de avaliação. Em contrapartida aos acertos, este trabalho também evidenciou as escolhas não adequadas para os tipos de tratamento e captação, já que para o manancial atual, com características de alta variabilidade do nível da água e baixa vazão, o tipo de tomada atual – captação direta – não se encaixa aos requisitos. Da mesma forma para a etapa de tratamento atual, a tipologia – ciclo convencional – não é a melhor solução para a região devido ao alto controle operacional e maior custo de implantação. O desenvolvimento dessa metodologia, com aspecto inovador, propiciou a elaboração de um modelo capaz de atuar na busca de alternativas eficientes e satisfatórias, permitindo aos decisores uma visão mais ampla sobre o leque de possibilidades, na busca pela solução mais apropriada à realidade social da região.

Palavras-Chave: Método ELECTRE. Sistemas de Informação Geográfica. Sistemas de abastecimento de água de pequeno porte.

ABSTRACT

The evaluation of the design of the units that compose the water supply system (WSS) is approached in this work from the perspective of supporting the decision making process. This systemic view of the range of alternatives that exist for each stage, as well as its characteristics, enables a new perception of a planned WSS, minimizing malfunctions and unnecessary expenses. Studies in the sanitation area are performed from the confrontation of multiobjective information with a common target, the search for the best alternative. In this sense, resources of spatial and non-spatial analysis are explored that make it possible to define based on criteria a model capable of serving as an indicator in planning and management actions. This model was applied to the WSS of the city of Serraria, Paraíba, in order to verify the adequacy of this system and propose improvements. By applying the model it was verified that the system presents adequate characteristics according to the analysis performed for the locational aspect of the units, except for the choice of the source, since the Nova Camará dam, located in the city of Alagoa Nova, presented the highest level of evaluation. In contrast to the right answers, this work also highlighted the inadequate choices for the treatment and abstraction types, since for the current source, with high water level variability and low flow characteristics, the current outlet type - direct abstraction - does not fit the requirements. Similarly to the current treatment stage, the typology - conventional cycle - is not the best solution for the region due to the high operational control and higher implementation cost. The development of this innovative methodology led to the elaboration of a model capable of acting in the search for efficient and satisfactory alternatives, allowing decision makers to have a broader view of the range of possibilities, seeking the most appropriate solution to the social reality of the region.

Keywords: Method ELECTRE. Geographic Information Systems. Small water supply systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Etapas de um sistema de abastecimento de água.....	19
Figura 2 –	Mapa de localização do município de Serraria – PB.....	31
Figura 3 –	Atuação do método natural breaks (Jenks).....	34
Figura 4 –	Mapa de altimetria da área de análise.....	35
Figura 5 –	Mapa de volume dos mananciais.....	36
Figura 6 –	Mapa de distância da zona urbana.....	37
Figura 7 –	Mapa de altimetria da zona urbana e lote do traçado da adutora.....	39
Figura 8 –	Mapa de distância dos corpos hídricos e estradas.....	39
Figura 9 –	Mapa de declividade da zona urbana e lote do traçado da adutora.....	40
Figura 10 –	Mapa de altimetria da zona urbana.....	42
Figura 11 –	Mapa de densidade populacional da zona urbana.....	42
Figura 12 –	Mapa de distância da rede geral.....	43
Figura 13 –	Verificação de atendimento dos critérios altimetria a), volume b) e distância da zona urbana c) para o manancial.....	48
Figura 14 –	Mapa de adequação final da etapa de manancial.....	49
Figura 15 –	Verificação de atendimento dos critérios altimetria a), declividade b) e distância de corpos hídricos e estradas c) para a adução.....	51
Figura 16 –	Mapa de adequação final da unidade de adução.....	52
Figura 17 –	Verificação de atendimento dos critérios altimetria a), densidade populacional b) e distância da rede geral c) para a reservação.....	53
Figura 18 –	Mapa de adequação final da etapa de reservação.....	54
Figura 19 –	Verificação de atendimento dos critérios altimetria a) e densidade populacional b) para a distribuição.....	55
Figura 20 –	Mapa de adequação final da etapa de distribuição.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Matriz de decisão da captação.....	38
Tabela 2 –	Matriz de decisão da ETA.....	41
Tabela 3 –	Modelo geral de análise de SAA.....	45
Tabela 4 –	Faixas qualitativas associadas às notas para critérios espaciais.....	46
Tabela 5 –	Faixas qualitativas associadas às notas para critérios tipológicos.....	47
Tabela 6 –	Faixas quantitativas associadas às notas para critérios tipológicos.....	47
Tabela 7 –	Situação do manancial.....	48
Tabela 8 –	Situação da captação.....	50
Tabela 9 –	Sobreclassificação operacional da unidade de captação.....	50
Tabela 10 –	Situação da adução.....	51
Tabela 11 –	Situação do tratamento.....	52
Tabela 12 –	Sobreclassificação operacional da ETA.....	53
Tabela 13 –	Situação da reservação.....	54
Tabela 14 –	Situação da distribuição.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SIG	Sistema de Informação Geográfica
ETA	Estação de Tratamento de Água
SUDA	Sistemas Urbanos de Distribuição de Água
EEA	Estação Elevatória de Água
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ELECTRE	Elimination et Choix Traduisant la Réalité
VNA	Variabilidade do Nível de Água
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
AAB	Adutora de Água Bruta
AAT	Adutora de Água Tratada
MNT	Modelo Numérico do Terreno
MCDA	Multicriteria Decision Analysis
USGS	United States Geological Survey

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo geral	17
2.2 Objetivos específicos	17
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1 Sistema de abastecimento de água	18
3.2 Aspectos de concepção do SAA	20
3.2.1 Manancial	21
3.2.2 Captação	22
3.2.3 Adução	23
3.2.4 Estação elevatória	24
3.2.5 Tratamento	24
3.2.6 Unidades de reservação	25
3.2.7 Distribuição	25
3.3 Modelagem e otimização em sistemas de informações geográficas	27
3.4 Avaliação multicriterial e tomada de decisão	28
4 METODOLOGIA	31
4.1 Área de estudo	31
4.2 Aquisição de dados	32
4.3 Funcionamento dos métodos	32
4.4 Desenvolvimento do modelo	33
4.5 Avaliação dos critérios de modelagem	34
4.5.1 Manancial	34
4.5.1.1 Altimetria	34
4.5.1.2 Volume	35
4.5.1.3 Distância da zona urbana	36

4.5.2	<i>Captação</i>	37
4.5.3	<i>Adução</i>	38
4.5.3.1	<i>Altimetria</i>	38
4.5.3.2	<i>Distância de estradas e corpos de água</i>	38
4.5.3.3	<i>Declividade</i>	39
4.5.4	<i>Estação elevatória de água (EEA)</i>	40
4.5.5	<i>Estação de tratamento de água (ETA)</i>	40
4.5.6	<i>Reservação</i>	41
4.5.6.1	<i>Altimetria</i>	41
4.5.6.2	<i>Densidade populacional</i>	41
4.5.6.3	<i>Distância da rede geral</i>	42
4.5.7	<i>Distribuição – Rede geral</i>	43
4.5.7.1	<i>Altimetria</i>	43
4.5.7.2	<i>Densidade populacional</i>	43
4.6	<i>Normalização dos critérios</i>	43
4.7	<i>Ponderação dos critérios</i>	44
4.8	<i>Atribuição de nota</i>	45
5	RESULTADOS	48
5.1	<i>Manancial</i>	48
5.1.1	<i>Avaliação da condição atual</i>	48
5.1.2	<i>Proposta de solução</i>	49
5.2	<i>Captação</i>	50
5.2.1	<i>Avaliação da condição atual</i>	50
5.2.2	<i>Proposta de solução</i>	50
5.3	<i>Adução</i>	50
5.3.1	<i>Avaliação da condição atual</i>	50
5.3.2	<i>Proposta de solução</i>	51

5.4 Tratamento	52
5.4.1 Avaliação da condição atual	52
5.4.2 Proposta de solução	52
5.5 Reservação	53
5.5.1 Avaliação da condição atual	53
5.5.2 Proposta de solução	54
5.6 Distribuição – Rede geral	55
5.6.1 Avaliação da condição atual	55
5.6.2 Proposta de solução	55
6 DISCUSSÃO	57
6.1 Manancial	57
6.2 Captação	57
6.3 Adução	57
6.4 Tratamento	58
6.5 Reservação	59
6.6 Distribuição	59
7 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	62
APÊNDICE A – Cálculos do método ELECTRE I	66

1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional nas cidades ao longo das últimas décadas e consequente expansão das suas áreas de domínio tem surgido como um desafio para as infraestruturas de fornecimento de recursos. Sabendo disso e ciente de que o crescimento populacional tem fator preponderante na ocupação urbana desordenada, pode-se chegar à conclusão de que enquanto as necessidades humanas são ilimitadas e crescem vertiginosamente, existe em contrapartida escassez de recursos (PEREIRA; MARIN, 2017), que dificulta a gestão eficiente dessas estruturas. Devido a isso, o mesmo cenário que exige essa demanda de recursos (necessidades), requer infraestruturas robustas e eficientes.

Yuan et al. (2019) afirmam que além da pressão exercida pelo crescimento populacional, os SAA enfrentam desafios decorrentes das mudanças climáticas, o que incluem as mudanças de temperatura e variações nos padrões de precipitação. Nesse sentido, o SAA, como detentor de aspectos estruturais, isto é, como estrutura de fornecimento de água, necessita de uma análise precisa na instalação de suas unidades, a fim de que riscos futuros inerentes à gestão do fornecimento de água em áreas urbanas sejam reduzidos.

O viés de que a eficiência de um processo produtivo está na excelência da elaboração e execução de suas etapas, fomenta a ideia de que a fluidez operacional de um SAA parte da mais adequada concepção para o ambiente. Características como topografia da região, estudo de traçado de tubulações e escolha dos possíveis mananciais que tem impacto direto na operacionalização do sistema e, por conseguinte na prestação dos serviços. Comumente não há apenas uma única solução para um projeto de SAA, várias opções podem ser elencadas, e no contexto de escolha da melhor alternativa, a opção a ser selecionada deve se adaptar aos parâmetros ambientais, sociais, econômicos e operacionais. Daí que surge realmente a ideia de concepção, isto é, avaliar ainda na fase de planejamento uma solução apropriada à realidade social da região e não a busca pela alternativa mais econômica, mais segura ou mais “moderna” (HELLER E PÁDUA, 2010).

Devido aos problemas de decisão espacial quase sempre envolverem um conjunto de alternativas viáveis e múltiplos critérios de avaliação, inclusive no âmbito dos juízos de valor (tomada de decisão de gestores), é que se deu origem à análise de decisão multicritério baseada em SIG (MALCZEWSKI, 2006).

Malczewski (2006) comenta que é pela possibilidade de combinação de dados espaciais com a preferência de especialistas que esse sistema tem proporcionado apoio ao processo de tomada de decisão. Indo além, todo o diagnóstico de fragilidades que envolvem a

operação do SAA podem ser discretizadas com o auxílio do SIG, pois essa discretização espacial organizada que se oferece possui suporte com poder crítico na tomada de decisão (BATISTA et al., 2018). Além do mais, é através do processamento de dados georreferenciados que se torna possível a modelagem do sistema estudado. São essas ferramentas, a análise espacial e o geoprocessamento, constituintes do SIG, que tornam possível a transformação dos dados catalogados em dados que irão auxiliar na caracterização do problema.

Da mesma forma, o uso da análise multicritério com dados não espaciais se mostra de grande relevância, pelo fato do SAA envolver critérios múltiplos de avaliação e etapas que necessitam de corretas escolhas tipológicas para as suas unidades.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma avaliação da atual concepção do sistema de abastecimento de água de uma cidade de pequeno porte situada no estado da Paraíba através de um estudo multicritério, capaz de indicar aspectos positivos e limitações, a fim de propor possíveis melhorias no SAA.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a adequação da concepção do SAA localizado na cidade de Serraria – PB, analisando alternativas para as unidades componentes através de uma abordagem SIG - MCDA.

2.2 Objetivos específicos

- Selecionar critérios para avaliação de adequação das unidades componentes do SAA;
- Confrontar a atual concepção do SAA de Serraria – PB com possíveis alternativas;
- Avaliar o sistema existente, atribuindo notas quantitativas correspondentes ao seu desempenho;
- Propor uma solução para os casos em que o quadro atual possua níveis baixos de avaliação.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Sistema de abastecimento de água

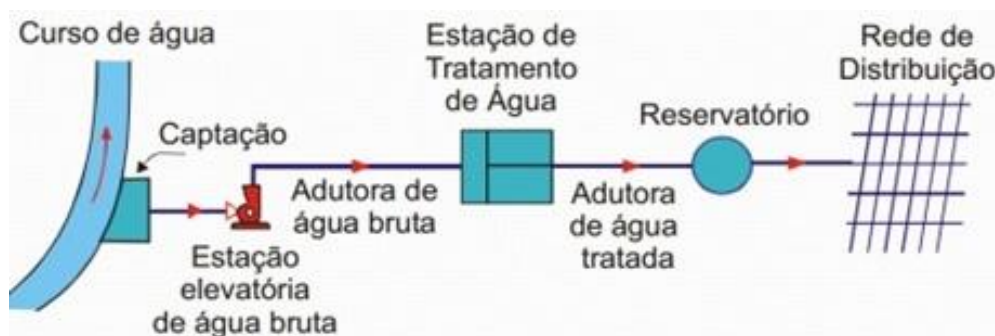
A Portaria de consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde, define sistema de abastecimento de água como o conjunto de atividades e instalações necessárias ao fornecimento público de água potável, desde o processo de captação até as ligações prediais. Todavia, para que esse conjunto de instalações exerça a função plena de abastecimento de água é necessário assegurar, segundo Heller e Pádua (2010), os requisitos de fornecimento ininterrupto de água canalizada até o domicílio, provimento além do mínimo necessário para satisfação das necessidades básicas e qualidade da água conforme o padrão de potabilidade. Dessa maneira, o SAA funcionará conforme o planejado, possibilitando que a cada ponto de consumo, o fornecimento esteja em condições de quantidade, qualidade e pressão satisfatória (BEZERRA E CHEUNG, 2013).

Não obstante essa ideia de que o SAA tenha início a partir da captação, pode-se também inferir através de outra perspectiva a inclusão do manancial como ponto de partida. Ora, sem a possibilidade de exploração do recurso natural, não haveria a existência de captação, nem muito menos a continuidade do sistema. Logo o manancial tem papel fundamental no desempenho do SAA, como fonte de fornecimento, sendo a parte constitutiva que dita à quantidade e a qualidade da água oferecida para o sistema e propicia a seleção de outras unidades, especialmente da captação e da estação de tratamento. É a partir dessa ideia que Tsutyia (2006) segrega em sete unidades componentes o SAA, assim como apresentado na Figura 1.

- **Manancial:** É o local (fonte) de onde é retirada a água para abastecimento, podendo ser de caráter superficial ou subterrâneo;
- **Captação:** Conjunto de equipamentos e dispositivos necessários para retirada da água do manancial;
- **Estação elevatória:** Estrutura dotada de equipamentos e dispositivos com a função de recalcar água entre duas unidades. Também é frequente o uso de estação elevatória, “tipo booster”, que possibilitam o aumento da vazão e/ou pressão;

- **Adução:** Conduitos que tem a finalidade transportar a água do manancial para a estação de tratamento (adutora de água bruta) e da estação para os reservatórios (adutora de água tratada). São caracterizadas por não distribuir água aos consumidores;
- **Estação de tratamento de água (ETA):** Lugar destinado a tratar a água e a enquadrá-la de acordo com o padrão de potabilidade;
- **Reservatório:** Elemento responsável por adequar a vazão provinda da adutora aos moldes da vazão de distribuição, e ainda manter a pressão estabelecida na rede de distribuição;
- **Rede de distribuição:** Conjunto de conduitos e órgãos acessórios com a finalidade de transportar a água dos reservatórios para os consumidores de forma contínua.

Figura 1 - Etapas de um sistema de abastecimento de água



Fonte: TSUTIYA (2006).

Um sistema complexo como o apresentado na figura 1 e que atinge com significância grande parte da população urbana, quando afetado por algum tipo de falha pode ocasionar transtornos gigantescos, devido à dependência das atividades humanas com a água e a dificuldade de alcançar outras fontes para suprir a demanda emergencialmente (DE SOUSA MORETTI; VARALLO; COMARU, 2013). Portanto, um SAA deve ser concebido para garantir água em quantidade e qualidade adequadas, pelo menos, até seu horizonte de projeto.

Sistemas que atuam de forma precária com tubulações antigas ou ausência de algumas etapas do processo de tratamento podem desencadear em complicações à saúde pública. Inclusive, no âmbito de investimento em saneamento básico, a condicionante que retorna maior impacto na diminuição da incidência de doenças infecciosas é o abastecimento de água. Em decorrência desse fato, o benefício maior dos SAA à saúde da população está

em proporcionar as mesmas condições de higiene, conforto e bem-estar a todos os estratos sociais (TSUTYIA, 2006).

A questão econômica também é afetada pelo mau desempenho do SAA, um exemplo claro é a busca da população por outras formas de obtenção de água, na ocorrência do desabastecimento. Assim, as pessoas acabam gastando inesperadamente quantias que podiam ser utilizadas em outras ocasiões. E não só isso, os frutos do adequado funcionamento do SAA são vistos na diminuição de gastos com atendimentos médicos, na melhoria da educação, aumento no investimento nos setores industriais, comerciais e turísticos, entre outros segmentos.

Diante da certeza que todas as unidades componentes do SAA devem funcionar adequadamente e em harmonia, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), desenvolveu no ano de 1992 oito normas para definir termos de adequação dessas unidades.

- **NBR 12.211/1992:** Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água;
- **NBR 12.212/1992:** Projeto de poço para captação de água subterrânea;
- **NBR 12.213/1992:** Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público;
- **NBR 12.214/1992:** Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público;
- **NBR 12.215/1992:** Projeto de adutora de água para abastecimento público;
- **NBR 12.216/1992:** Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público;
- **NBR 12.217/1992:** Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público;
- **NBR 12.218/1992:** Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público.

3.2 Aspectos de concepção do SAA

Diante dos efeitos danosos que o mau funcionamento de um SAA pode proporcionar, uma maneira de diminuir esses riscos, está associado à realização de uma adequada concepção. Assim, a necessidade de uma minuciosa avaliação dos aspectos condicionantes em

instalações de abastecimento de água é indispensável para o correto planejamento e consequentemente, tomada de decisão.

Desta maneira, Heller e Pádua (2010) indicam que deve ser levado em consideração no processo de concepção de um SAA características como porte da localidade, densidade demográfica, condições do manancial, características topográficas, características geológicas e geotécnicas, instalações existentes, disponibilidade de energia elétrica, disponibilidade de recursos humanos e materiais, condições econômico-financeiras e alcance do projeto. A falta de estudos desta magnitude podem gerar problemas futuros, como gastos excessivos de energia, grandes perdas de água e até a necessidade de racionamentos. Nesse aspecto, nas subseções 3.2.1 a 3.2.7 serão apresentados os principais aspectos de concepção das unidades componentes do SAA.

3.2.1 Manancial

A seleção de um manancial depende, principalmente, da demanda exigida pelos usuários e da qualidade da água bruta, por exemplo, cidades de grande porte exigem maiores demandas e na maioria das vezes apenas mananciais superficiais podem suprir essa exigência em termos de potencial de vazão (HELLER E PÁDUA, 2010). Quanto aos critérios já citados, Medeiros Filho (2009) comenta que não são apenas qualidade e quantidade que definem a escolha do manancial, o aspecto econômico do empreendimento também tem participação. Sendo assim, a análise final deve-se basear numa relação custo-benefício, até para que não se depare com custos elevados de operação e manutenção ao longo da vida útil do sistema que inviabilizem o SAA.

É frequente haver mais de uma alternativa disponível e, sendo assim, deve-se haver a avaliação de qual a melhor opção, por exemplo, entre um manancial com características quali-quantitativas satisfatórias, mas com elevados custos para captação e transporte de água, ou um manancial com qualidade e quantidade insuficiente, mas que demande menos custo inicial de exploração de suas águas. Não descartando também a possibilidade de combinação entre dois ou mais mananciais.

Quando se trata do fator seleção, diversos estudos podem ser elencados como necessários para uma correta tomada de decisão. Desde o levantamento hidrológico da bacia, a caracterização topográfica e geotécnica da área de captação, a realização de análises físico-químicas e microbiológicas da água, a distância do manancial até a comunidade, bem como sua capacidade de armazenamento são os principais critérios levados em consideração para

que não haja a falha de escolha do manancial. A barragem de Jandaia, como exemplo prático, localizada no município paraibano de Bananeiras e com capacidade máxima de 10.032.266 m³ era responsável até outubro de 2018 por abastecer várias cidades do Curimataú paraibano, no entanto, devido à falta de chuvas entrou em colapso (AESAs, 2019). Conforme comunicado no ano de sua entrega (2012), a previsão era de que essa barragem daria condições de aumento da disponibilidade de água principalmente para as cidades de Bananeiras e Solânea e permitiria inclusive a criação de peixes e a implementação de sistemas de irrigação. Como visto, a capacidade da barragem não suportou a demanda, mesmo em pouco tempo de uso e acabou prejudicando cidades como Dona Inês, Damião, Tacima, Araruna e Riachão que ficaram a mercê de fontes alternativas de água. A falta de um estudo mais profundo da capacidade de exploração de tal barragem pode ter sido um dos fatores que culminaram em seu colapso prematuro. Provavelmente se não houvesse sido escolhido outro manancial ou feita a combinação entre vários, hoje, essas cidades não estariam em um estado de calamidade.

3.2.2 Captação

Passada a etapa do manancial, o próximo passo é avaliar a eficiência no processo de captação, pois de nada adianta a existência de uma fonte de água sem a possibilidade de retirada do recurso. Segundo Tsutyia (2006) o tipo de instalação da captação de mananciais superficiais varia em relação ao curso, nível d'água e topografia, constituindo-se assim das instalações de barragem, tomada de água, grade, desarenador, dispositivo de controle, canais e tubulações.

Um dos principais cuidados que se deve ter em uma captação é a interrupção da exploração da água, que pode ocorrer pela obstrução das unidades de captação, por sólidos grosseiros ou sedimentáveis, ou pela inadequação da cota de instalação com os níveis mínimos e máximos de água do manancial (MEDEIROS FILHO, 2009). Dessa forma, a maneira mais correta de sanar esses problemas é através de maiores cuidados na elaboração do projeto e não através de manutenções corretivas ao longo da vida útil, que despenderia custos altíssimos.

Esse cuidado na realização do projeto deve ser planejado também segundo o aspecto qualidade. Inclusive Medeiros Filho (2009) afirma que para a captação deve ser escolhido um local que leve em consideração medidas preventivas da condição sanitária, como a captação a montante das descargas poluidoras. Até aspectos de busca de captação no ponto mais retilíneo

do manancial pode trazer diferença no âmbito de não possibilitar o acúmulo de sedimentos nem o aumento da velocidade, o que dificultaria o processo de retirada da água.

3.2.3 Adução

Ao se estender o conceito de concepção para o sistema de adução é importante analisar várias possibilidades de traçado, dimensionamento e escolha de material. Cada um destes critérios quando levados em consideração, através do ideal pela busca entre o equilíbrio econômico e técnico podem resultar em um sistema de operação eficiente para o SAA. Sobre otimização de traçado de adutora, sua rota pode trazer mudanças em vários aspectos do projeto, como a altura manométrica, acessibilidade operacional e manutenção, comprimento da linha e quantidade de elementos de proteção ao longo da adutora.

Tsutyia (2006) vai além e traz aspectos que corroboram para a minimização do custo final da construção desse sistema, a procura por um traçado mais direto, evitando acidentes geográficos; aproximação de estradas para que facilite a questão de implantação e manutenção; desvio de solos rochosos e de baixa resistência; desvio de terrenos particulares, livrando-se assim de futuras desapropriações; e por fim, fugir de situações em que linhas de transmissão de energia cortem a linha do terreno.

Um tópico importante ainda sobre a questão de traçado das adutoras é que dependendo da escolha do tipo de esquema, por exemplo, selecionando em locais de alta declividade, haveria a necessidade da instalação de recalque, o que encareceria ainda mais o SAA. Outro ponto negativo dessa utilização é que o abastecimento de água pra determinada região fica dependente da existência de energia elétrica e devido a essa dependência várias cidades podem ficar a mercê da intermitência do fornecimento.

Esse é o quadro real, na maioria das vezes os gastos necessários para custear as exigências de traçados complexos, com grandes desníveis, não trazem o retorno desejado e ainda inviabilizam o SAA que passa a trabalhar sob frequentes prejuízos. Daí a importância de analisar com antecedência todas as alternativas de traçado e buscar garantir ao máximo o transporte via gravidade, evitando gastos exorbitantes com energia elétrica e na pior das hipóteses incapacitando o transporte da água.

Outros critérios que podem ser levados em consideração são as distâncias dos principais rios e estradas, conforme pontua Semar (2011). No caso de rios, o traçado deve distar pelo menos 100 m, já que áreas alagadas dificultam a locação de uma adutora. Por outro lado, é preferível que as áreas de locação das adutoras distam no máximo 30 m (faixa de

domínio de uma rodovia) de uma rodovia ou estrada vicinal, por questões de facilidade na implantação, operação e manutenção (AMARAL, 2017 apud CORDÃO; LACERDA e RIBEIRO NETO, 2012).

3.2.4 Estação elevatória

É sempre preferível que o escoamento se realize inteiramente por gravidade, até por questões de gastos com energia elétrica e maiores dificuldades para operação, manutenção e segurança. No entanto, devido algumas vezes os locais a serem atendidos estarem em pontos altos ou afastados das fontes de água, se torna necessário o uso de estações elevatórias. Essas unidades são as infraestruturas responsáveis pela proteção e conservação das bombas. Seja na captação, adução, estação de tratamento ou na rede de distribuição, elas possuem grande importância na efetividade do abastecimento (HELLER, 2010).

Existem vários tipos de bombas, porém, dentro do SAA, as bombas mais utilizadas são as centrífugas, devido principalmente à larga faixa de serviço, alta eficiência e baixo custo (TWORT et al., 2000).

No processo de escolha desses acessórios, fatores como, ruído, eficiência, custo, durabilidade e principalmente o atendimento aos critérios de vazão (Q) e altura manométrica (H) são muito importantes para o funcionamento ótimo dessas unidades. É interessante destacar que pra um mesmo tipo de bomba, existem várias faixas de operação que podem satisfazer as exigências de projeto (Q e H), estando em função do diâmetro do rotor que por sua vez está associado ao custo. Por isso, que depois de atendidas as exigências de projeto, devem ser ponderados outros fatores que possam influir diretamente ou indiretamente nos aspectos de operação, manutenção e ergonomia nessas instalações.

3.2.5 Tratamento

O sistema de tratamento, representado pela infraestrutura da ETA, é responsável por garantir que a água chegue ao consumidor de acordo com o padrão de potabilidade imposto pela portaria nº 5/2017 que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano.

No processo de concepção de um SAA a definição do tipo de tecnologia de tratamento empregada influencia diretamente na prestação do serviço. Fatores como, características da água bruta, custos de implantação, operação e manutenção, flexibilidade

operacional e localização geográfica se caracterizam como umas das principais premissas que devem estar em pauta na hora de escolha (LIBÂNIO, 2010).

Como comenta Heller (2010) o primeiro fator limitante sempre deve ser a característica da água bruta, até porque de nada adianta optar pelo processo de tratamento mais barato, se o mesmo não garante a eficiência do tratamento em termos de remoção de turbidez, por exemplo. Nesse caso, é só após a verificação desse atendimento, que se torna possível partir para a ponderação dos demais critérios. Essa ideia pode ser exemplificada numa região onde o índice de turbidez é baixo, ou seja, passível de remoção por vários tipos de tratamento, e assim pelo grande leque de alternativas ser cabível a análise dos outros fatores intervenientes.

3.2.6 Unidades de reservação

Segundo Fernandes (2008) *apud* Cordão (2009), para que os reservatórios cumpram seu papel de acumular água e propiciar a regulação de vazão e pressão da distribuição, devem atender aos critérios de condição de pressão, garantia de quantidade de água (para abastecimento e situações de emergência), garantia de vazão e altura manométrica estável e o menor diâmetro possível na rede de distribuição.

Desse modo, recomenda-se que a disposição desses elementos busque ao máximo locais de alta altimetria para a garantia do transporte via gravidade, possibilitando a garantia de pressões necessárias principalmente em horários de pico do consumo (CORDÃO, 2009). A localização dos reservatórios, quando dispostos de forma adequada, aumenta a confiabilidade operacional e propicia a otimização do sistema, diminuindo inclusive os gastos com energia elétrica. Esse é um critério importantíssimo no processo de decisão para a escolha de implantação dessas unidades.

3.2.7 Distribuição

A etapa de distribuição é a que demanda maiores investimentos na área de abastecimento de água, cerca de 80% das despesas totais (KLEINER; RAJANI, 2001) e isso é devido à complexidade com que se configura o sistema dentro de uma da cidade. Isso por serem longas linhas de tubulações que possuem diversas conexões, acessórios e reservatórios que se conectam em várias ramificações.

Dentro da área de estudo dos Sistemas Urbanos de Distribuição de água (SUDA) existem diversos problemas que podem ser elencados devido à falta de uma correta concepção. Cordão et al. (2013) em seu estudo sobre os riscos de desabastecimento de água na cidade de Campina Grande considerou fatores como altimetria, distância dos usuários à rede, aos reservatórios e as estações elevatórias e propiciou uma análise global da sobreposição desses riscos, possibilitando assim a identificação dos locais mais ameaçados.

Outro problema que afeta os SUDA são as perdas físicas de água. Segundo Alegre et al. (2005) as perdas constituem uma das principais fontes de ineficiência do SAA, correspondendo a um volume de água que é captado, tratado, distribuído e, no entanto, não é utilizado ou faturado. Isso se deve ao fato de que as ações de melhoria na área de saneamento nos últimos anos têm se baseado apenas no aumento da oferta e não melhora da eficiência operacional e na redução das perdas (BEZERRA E CHEUNG, 2013).

Na distribuição, os principais motivos estão associados realmente a vazamentos, no entanto é necessário ressaltar que essas perdas são as reais. Já que as perdas podem ser divididas em perdas aparentes, quando estão relacionadas ao que foi consumido, mas não computado e perdas reais quando estão relacionadas ao que foi distribuído, porém não chegou ao usuário (SNIS, 2014).

São várias as possibilidades de causas para vazamento na rede de distribuição, seja devido a um golpe de aríete ou alguma intervenção externa, como um acidente que afete a tubulação, ou a deterioração do material selecionado. Essa última causa retrata o porquê de se analisar bem a questão de escolha do material, o qual um dos critérios mais importantes para seleção é a durabilidade. Esse conceito está vinculado a capacidade do material em resistir ao longo de sua vida útil sem sofrer deterioração (TSUTYIA, 2006).

São várias as possibilidades de causas para vazamento na rede de distribuição, seja devido a um golpe de aríete ou alguma intervenção externa, como um acidente que afete a tubulação, ou a deterioração do material selecionado. Essa última causa retrata o porquê de se analisar bem a questão de escolha do material, o qual um dos critérios mais importantes para seleção é a durabilidade. Esse conceito está vinculado a capacidade do material em resistir ao longo de sua vida útil sem sofrer deterioração (TSUTYIA, 2006).

Nos SUDA os principais tipos de tubos utilizados, segundo Tsutyia (2006), são os de ferro fundido cinzento e dúctil, de policloreto de vinila (PVC), de polietileno (PE) e os de fibrocimento. Destes, os referentes a ferro fundido cinzento representam cerca de 40% a 60%, ferro fundido dúctil representa de 25% a 30% e variando de país em país as tubulações de amianto e plástico giram em torno de 10% a 30% (SARZEDAS, 2009).

Os tubos de PVC devido ao baixo custo e flexibilidade, mas também ao fato de sua resistência ao escoamento não aumentar relativamente a outros materiais com o tempo, tem sido atualmente aplicado em grande escala nas redes de distribuição. No entanto, devido a grande parte das tubulações ainda serem de materiais antigos e não tão eficazes é que se tem visto grandes deficiências relacionadas a deterioração das tubulações (TSUTYIA, 2006).

Além do tipo de material empregado, Baptista e Alegre (2000) trazem os requisitos técnicos necessários para a seleção dos materiais de tubagens caracterizados como estanqueidade, material inerte, construtividade, reparabilidade, manutenibilidade, economicidade, funcionalidade e disponibilidade.

- **Estanqueidade:** propicia a redução das perdas de água e ainda assegura a qualidade da água distribuída;
- **Material inerte:** garante que não haja reação química interna entre o fluido e o material do tubo;
- **Construtividade:** engloba todos os fatores de compatibilização entre a tecnologia empregada e as exigências construtivas, os materiais disponíveis no mercado, facilidade de execução, a segurança dos trabalhadores e o controle sobre os riscos;
- **Reparabilidade:** facilita a questão da manutenção corretiva, reduzindo os custos e o tempo de intervenção;
- **Manutenibilidade:** reduz a necessidade manutenções preventivas;
- **Economicidade:** Satisfaz aspectos de menor custo de implantação, operação e manutenção através de condições técnicas seguras;
- **Funcionalidade:** Atende as condições técnicas e funcionais de projeto, tais como vazões e pressões necessárias;
- **Disponibilidade:** Atende ao requisito de ser viável para entidade gestora de abastecimento por não dispender várias soluções que tragam prejuízos.

3.3 Modelagem e otimização em sistemas de informações geográficas

Diversos estudos elaborados na área de saneamento necessitam de modelos baseados em dados físicos que geralmente são obtidos através da interface de mapas ou pesquisas de campo. Ultimamente esses dados têm sido aplicados diretamente em SIG devido ao avanço proporcionado por esses sistemas, bem como a contínua melhoria nos modelos digitais de

elevação do terreno (CORDÃO, 2009). Sendo assim, com os avanços tecnológicos na área de geoprocessamento, é possível o uso de geotecnologias aplicadas ao planejamento dos SAA.

Tibúrcio (2006) explica que o desenvolvimento de interfaces em SIG têm se mostrado como ferramenta de suporte importante para projetistas na área de abastecimento de água, constatando inclusive diversos trabalhos com modelos hidráulicos aliados ao SIG. Além do seu uso em áreas de grandes instalações (como em SAA) o SIG vem sendo muito utilizado também como base de dados para inventários, cartografia, cadastro de propriedades rurais, gestão urbana, entre outras áreas.

Caracterizada pela capacidade de analisar grandes volumes de informações espaciais e proporcionar além da interface de interação com usuário, um sistema de base de dados e de (manipulação de dados), esses sistemas ainda permitem a captura, armazenamento, manipulação e exibição de dados georreferenciados (BARCELLOS et al., 1998), constituindo dessa forma instrumento útil para resolução de problemas envolvendo informações geográficas.

Esses sistemas podem ser divididos, na sua maioria, em quatro subsistemas, segundo Sendra (1997).

- **Componentes de entrada:** permitem a conversão de informação geográfica no formato analógico para o digital;
- **Componentes de saída:** mostram os dados incorporados e os resultados das operações analíticas;
- **Componentes da gestão de informação espacial:** filtram da base de dados apenas as informações que interessam, sendo possível reorganizar todos os elementos;
- **Componentes analíticos:** simplificam o processamento dos dados disponibilizando mais informações e maior conhecimento do que se tinha anteriormente. É essa função que define o SIG como ferramenta de modelagem.

No âmbito da concepção de um SAA, a utilização do SIG como ferramenta de otimização para escolhas de traçados, definição de mananciais, escolha de materiais, disposição de reservatórios, entre outras análises, se configura como instrumento ótimo para a melhor gestão desse sistema.

3.4 Avaliação multicriterial e tomada de decisão

No cenário de saneamento, em que estão compreendidas questões multiobjetivas, é importante trabalhar com um método que permita a análise de distintos objetivos de forma combinada e organizada para que o resultado expresse a melhor solução para o problema. Ainda nesse âmbito, pelo fato dos objetivos que envolvem essa área serem munidos de incertezas, dificuldades na identificação do decisor e envolver critérios conflitantes é que surge a necessidade de se trabalhar com análise multicritério. Definida, segundo Cano & Sendra (1999), como o conjunto de técnicas baseadas na decisão multidimensional atuante no processo de tomada de decisão e que pode desencadear uma série de melhorias e benefícios para o planejamento dos SAA, possibilitando não apenas a visualização do leque de alternativas, mas também facilitando o processo de escolha.

Dentre os principais benefícios desse método está a capacidade de refletir o juízo de valor dos decisores, pois a condição subjetiva da abordagem funciona como base para a discussão (CÔRTEZ, 2009).

Atualmente existem diferentes técnicas de análise multicritério utilizadas, cada uma com sua particularidade, e como exemplo tem-se a abordagem SIG - MCDA e o método ELECTRE I (Elimination et Choix Traduisant la Réalité), utilizadas neste estudo.

A abordagem SIG – MCDA faz parte de um modelo baseado no conhecimento de especialistas e dados observados, em que através de informações de entrada se torna possível descobrir zonas que atendam a um conjunto de critérios. Quando o critério é delineado segundo princípios determinísticos, o modelo consiste na aplicação de operadores da lógica booleana em um mapa de entrada e como resultado tem-se um mapa binário com pontos que satisfaçam ou não o conjunto de critérios. Sob outra perspectiva, as localizações podem ser analisadas também através de critérios ponderados que originam em uma escala de potencialidade (BONHAM-CARTER, 1994). É interessante destacar que os pesos são atribuídos conforme o nível de importância de uma situação conhecida ou do juízo subjetivo de especialistas (CÂMARA et al., 2002).

Para que possa ser efetuada a álgebra de mapas, isto é, proceder com a abordagem MCDA no ambiente SIG, dois processos devem ser realizados, são eles a combinação linear ponderada e a normalização. A combinação linear pode ser entendida como um mecanismo capaz de avaliar de forma qualitativa várias soluções obtidas através de diversos critérios e sob determinada hipótese (SENDRA et al., 2001). Nesse processo, os mapas de entrada são munidos de pesos de diferentes graus de importância e proporcionam como saída uma análise espacial detentora da variabilidade dos dados contínuos. Eastman (1999) comenta que, além

disso, essa combinação oferece a possibilidade de que os critérios compensem uns aos outros, já que cada critério possui seu grau de influência no resultado final.

Devido muitas das vezes os critérios utilizados estarem em escalas e/ou unidades distintas, é necessário converter para uma mesma escala ou unidade comum. Daí que surge a ideia de normalizar, tornar padrão. Nessa determinada etapa pode-se usar o conceito de lógica fuzzy ou conjuntos difusos para tornar viável a álgebra de mapas definindo um limite entre o apto e o inapto para os fatores utilizados. Esse conceito utilizando lógica fuzzy foi proposto por Zadeh (1965).

O método multicriterial ELECTRE I é caracterizado como método discreto de sobreclassificação e é aplicado para uma problemática de escolha. A família ELECTRE tem como objetivo obter um subconjunto de alternativas, na qual esse subconjunto é formado por alternativas que sobreclassificam as que não fazem. Por trabalhar com a redução do conjunto de alternativas, essa família explora o conceito de dominância e atua com base em dois índices, o de concordância, que expressa a vantagem relativa de uma alternativa em relação as demais e o de discordância que expressa a desvantagem relativa (SIQUEIRA; ALMEIDA FILHO, 2011). Ultimamente muito tem se utilizado desse método em trabalhos científicos, devido a sua vasta aplicação. Inclusive, houve um crescimento de 80% do seu uso em revistas, periódicos e jornais da plataforma *Science Direct* (ISHIZAKA E NEMERY, 2013).

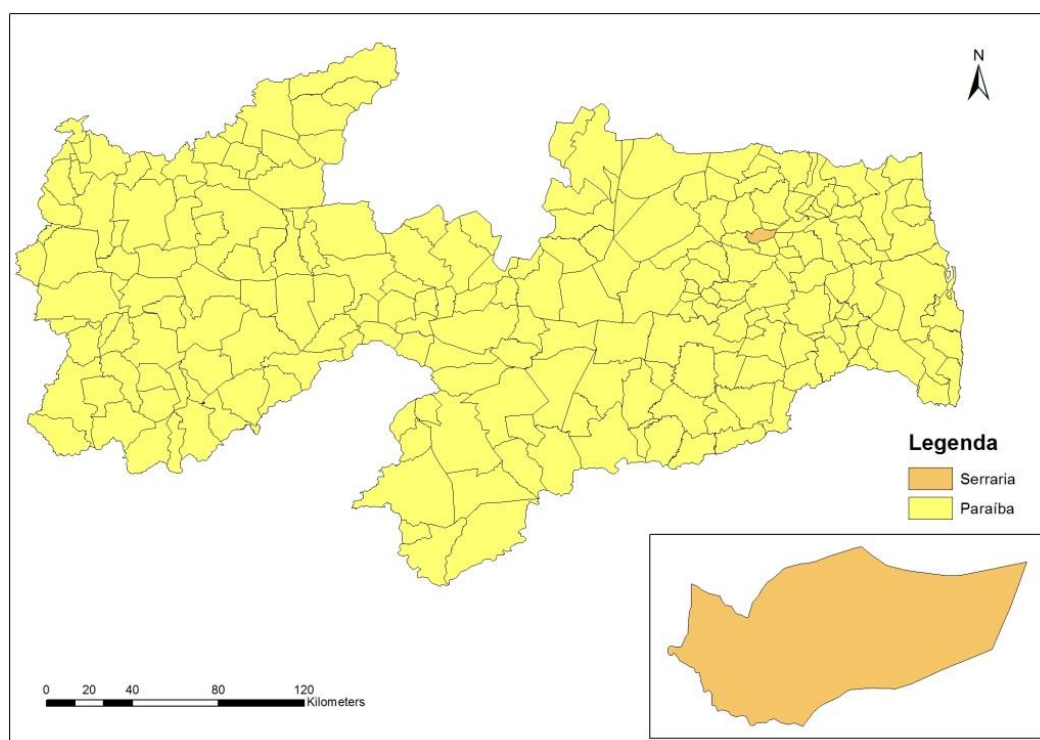
4 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado o processo metodológico realizado na execução da pesquisa, apresentando o fator de escolha que culminou na seleção do local de estudo, o desenvolvimento do modelo multicriterial para cada etapa do SAA e a avaliação dos critérios de modelagem.

4.1 Área de estudo

A área de interesse deste estudo compreende o município de Serraria, localizado na Microrregião do Brejo e na Mesorregião do Agreste Paraibano a $6^{\circ}49'2''$ de latitude sul e a $35^{\circ}37'55''$ de longitude oeste. O município detém uma área de aproximadamente 65,299 km² e possui uma população de 6.238 habitantes (IBGE, 2010). A Princesa do Brejo, como é popularmente conhecida, muito ligada ao turismo e cultura, foi alvo de escolha para esta avaliação devido à fatores como, os problemas que vem enfrentando com a falta de água, a facilidade na coleta dos dados e a simplicidade do SAA local.

Figura 2 – Mapa de localização do município de Serraria – PB



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.2 Aquisição de dados

Diversos dados e informações foram utilizados para promover a análise do SAA da cidade de Serraria – PB. Esse conteúdo foi fornecido pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

4.3 Funcionamento dos métodos

Na abordagem SIG – MCDA, após a normalização com o uso da lógica fuzzy, o funcionamento se sucedeu através da álgebra de mapas. Inicialmente esses mapas foram confeccionados e em seguida realizado o processo de normalização, transformando todos os planos de informação para uma mesma escala de medida. Após esse processo, os arquivos raster gerados em cada mapa passaram por uma soma ponderada através dos respectivos pesos atribuídos aos critérios. Como resultado, obteve-se um mapa global que expressa a sobreposição dos mapas pontuais influenciados pelos pesos de contribuição.

Já no método ELECTRE I, o funcionamento ocorre a partir da construção da relação de sobreclassificação. Essa relação leva em conta os conceitos de concordância, calculado através da Equação 1, e discordância, calculado através da Equação 2. Inicialmente realizou-se a normalização da matriz de decisão e em seguida foram geradas as matrizes de concordância e discordância, que subsidiam a construção da matriz de veto, que permite identificar os resultados de sobreclassificação e subclassificação, utilizando um limiar de concordância “c” e um limiar de discordância “d” como mostra a Equação 3.

$$C(a, b) = \sum_{i: g_i(a) \geq g_i(b)} p_i, \text{ sendo } \sum_i p_i = 1 \quad (1)$$

$$D(a, b) = \max \left(\frac{g_i(b) - g_i(a)}{\text{Escala}_i} \right), \forall_i |g_i(b) > g_i(a), \text{ onde } \text{Escala}_i \\ = \max [g_i(c) - g_i(d)], \forall_i, c, d. \quad (2)$$

$$\begin{cases} C(a, b) \geq c \\ D(a, b) \leq d \end{cases} \quad (3)$$

A definição dos limiares com base no estudo de Cunha (2003) para a situação de indiferença, onde c e d são respectivamente 0,6 e 0,2. Quando as duas condições da Equação 3 foram atendidas foi atribuído o valor de 1, quando não, retornou o valor 0. Durante toda a

análise, as equações apresentadas variaram em relação às exigências de maior ou igual e menor ou igual, devido ao quesito preferência que permite maximizar ou minimizar a atuação dos critérios, isto é, aumentar ou diminuir, respectivamente, o nível para determinado critério.

4.4 Desenvolvimento do modelo

A ideia geral desta pesquisa parte da análise da adequação, através de métodos multicritérios, de todas as etapas do SAA quanto a aspectos de planejamento. E nesse caso, a ótica do planejamento foi analisada sob duas perspectivas, o aspecto locacional e tipológico das unidades, ou seja, enquanto que para algumas etapas foram averiguados o quesito localização ótima, em outras foram analisadas alternativas quanto à técnica selecionada. É importante deixar claro que essa distinção de análise foi abordada devido ao fator relevância, pois se acredita que para algumas etapas, o fator tipológico de suas unidades possui um maior peso de contribuição no cenário operacional do que o aspecto locacional.

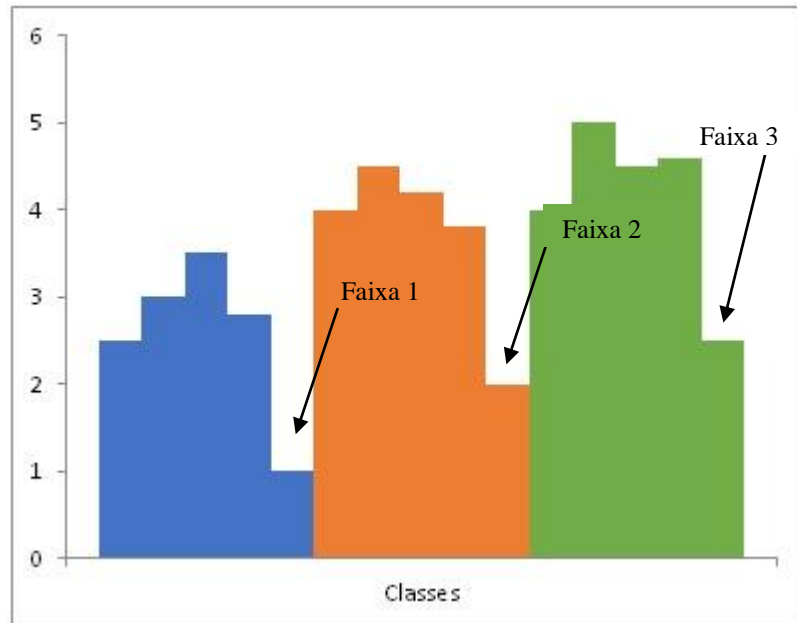
Paralelo às duas vertentes do planejamento - localização e tipologia - o desenvolvimento do modelo multicritério também se baseou em duas formas distintas de análise. Enquanto que para o quesito localização foram trabalhados critérios de ordem espacial através da lógica fuzzy e auxílio de software de SIG, no cenário tipológico foram trabalhados critérios não espaciais com o método ELECTRE I através do software Microsoft Excel.

Em princípio, foi verificado para cada uma das unidades do SAA o atendimento ou não de critérios considerados importantes para o seu correto funcionamento. Nesse caso, o processo de adequação se limitou a avaliar no máximo três critérios para cada unidade, devido à contribuição de informações da bibliografia especializada. Em complemento, cada critério foi ponderado e foram propostas soluções, quando necessário, para o quadro atual do SAA.

Especificamente, em referência aos critérios espaciais, para cada mapa que não possuía valores restritivos, foi utilizado o método de otimização de Jenks para classificá-los em cinco faixas. Essa quantidade de faixas adotadas permitiu definir um equilíbrio entre níveis de avaliação com maiores detalhes e poucas faixas de classificação. Esse método é baseado em um histograma de frequência e permite determinar a melhor organização de valores para diferentes classes. A ideia de quebra natural tende a colocar um grande número de valores semelhantes na mesma classe, pois os limites são identificados como vales nos dados e possibilitam uma classificação mais uniforme para os valores pertencentes à mesma

faixa (CHEN et al., 2013). A Figura 3 apresenta essa ideia de forma mais clara na forma gráfica.

Figura 3 – Atuação do método natural breaks (Jenks)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.5 Avaliação dos critérios de modelagem

A modelagem de todo o SAA foi segregada de acordo com suas unidades sendo possível ao final do processo e de posse dos resultados pontuais compor a avaliação total do sistema através dos pesos atribuídos para cada critério. É importante enfatizar que a seleção dos critérios, bem como suas avaliações, foram obtidas através de bibliografia especializada e opinião de especialistas.

No caso dos mapas, as faixas de classificação foram categorizadas nos níveis Muito baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito alto conforme o aumento do nível do critério em análise. No caso das tabelas do Excel, as mesmas faixas de classificação estão associadas aos níveis que indicam a avaliação para determinada alternativa em relação ao critério analisado.

4.5.1 Manancial

4.5.1.1 Altimetria

Quando se inicia a busca por mananciais para fornecimento de água, um dos aspectos avaliados é a possibilidade de que o abastecimento por gravidade, ou seja, sem a necessidade de bombas para recalque, pois a existência de uma adutora que trabalhe utilizando energia potencial elimina os riscos de um provável desabastecimento por falta de energia e não encarece tanto a operação do SAA. Claro que essa comparação entre uma adutora, cujo escoamento se dá por gravidade ou não, depende de outros fatores como a distância do local de consumo e se o manancial irá atender ou não o horizonte de projeto. No entanto, ainda é correto afirmar que o critério altimetria configura-se como fator de extrema importância mesmo não possuindo caráter essencial.

Dessa forma, para análise e escolha do manancial que atenda às necessidades do município de Serraria – PB foi adotado o critério altimetria, representado na Figura 4, como um dos fatores limitantes para uma boa escolha. Esse shape trabalhado é composto pelos municípios de Areia, Alagoa Nova, Bananeiras, Borborema, Pilões, Arara e Serraria, todos pertencentes ao estado da Paraíba, como área de inclusão dos mananciais de análise.

Figura 4 – Mapa de altimetria da área de análise



Fonte: USGS (2019)

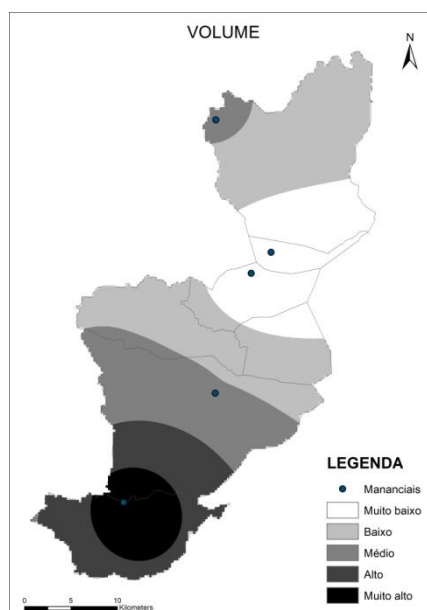
4.5.1.2 Volume

Outro fator de grande relevância na escolha do manancial e considerado por muitos como o principal, é o volume, que caracteriza não só a capacidade de armazenamento de água, mas também a perenidade dos corpos hídricos que alimentam o manancial. Esse critério

advém do conhecimento da vazão de projeto e é indispensável para que a população atendida seja suprida pelo tempo necessário, sem riscos de desabastecimento. Não é à toa que de posse do volume do manancial e conhecimento do balanço hídrico local pode ser realizado um esquema de regularização de vazão e ser verificado se aquela fonte de água pode atender a demanda exigida.

Na Figura 5 estão representados os mananciais adotados para análise, a barragem de Serraria (fornecedor atual), Nova Camará – Alagoa Nova, Saulo Maia – Areia, Canafistula II – Borborema e Jandaia – Bananeiras com seus respectivos volumes espacializados. Essa espacialização é possível através da interpolação dos pontos de volume, trabalhados como dados de elevação.

Figura 5 – Mapa de volume dos mananciais



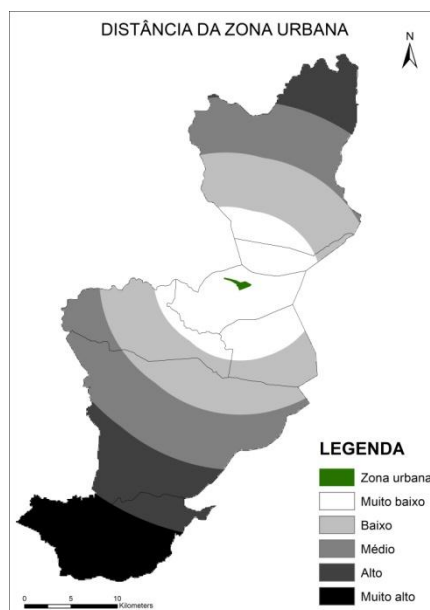
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.5.1.3 Distância da zona urbana

Ao se pretender construir um SAA três aspectos devem nortear toda a logística do processo, são eles eficiência, segurança e economia. O interessante é que todos esses três pilares podem ser satisfeitos se o critério distância da zona urbana for atendido. Esse critério trabalha de forma inversa aos benefícios gerados, pois quanto menor a distância do manancial ao local de consumo, maiores serão os benefícios sobre os aspectos já citados. Por outro ponto de vista, quanto mais distante o corpo hídrico ou barragem do local a ser abastecido, maiores serão os gastos com linha de adutora, mais difícil será a questão de manutenção, operação,

entre outros fatores. Na Figura 6 é apresentado o mapa com a localização dos mananciais e as faixas de distância da zona urbana de Serraria.

Figura 6 – Mapa de distância da zona urbana



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.5.2 Captação

Na etapa de captação, diferente dos critérios abordados na unidade de manancial, foram utilizados critérios tipológicos com o intuito de descobrir a alternativa que melhor se encaixa nas características da cidade em estudo. Nessa pesquisa não foi abordado realmente o tipo de captação, mas sim o tipo de tomada de água, até porque a captação está em função da vazão e altura do nível d'água e dessa forma não há porque o levantamento de questionamentos sobre a captação ideal. Um exemplo claro dessa afirmação se faz visível em corpos de água que não apresentem às exigências de projeto. Nesses casos a única alternativa é a realização do barramento.

Na elaboração das planilhas através do método ELECTRE I, o tipo de tomada atual – captação direta – foi confrontado com alternativas com base nos critérios mencionados na Tabela 1. A definição dos tipos de tomada para análise foi baseada na maior variação de características entre elas, seja em questão de vazão, variabilidade do nível da água (VNA) ou custo, essas alternativas permitem analisar várias exigências distintas de projeto. A ideia foi utilizar os tipos de tomada de água mais usuais e que abrangem uma maior heterogeneidade

de características. Os critérios VNA, custo e vazão foram escolhidos pelo poder de influência na decisão da melhor alternativa.

No processo de avaliação dos critérios, a preferência de maximizar está associada ao aumento do critério em análise, já a de minimizar está relacionada à sua diminuição.

Tabela 1 – Matriz de decisão da captação

Tomada/Critério	VNA	Vazão	Custo
Peso	3	3	3
Preferência	Max.	Min.	Min.
Captação direta	Baixo	Médio	Baixo
Torre de tomada	Alto	Alto	Muito alto
Captação flutuante	Alto	Baixo	Baixo

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.5.3 Adução

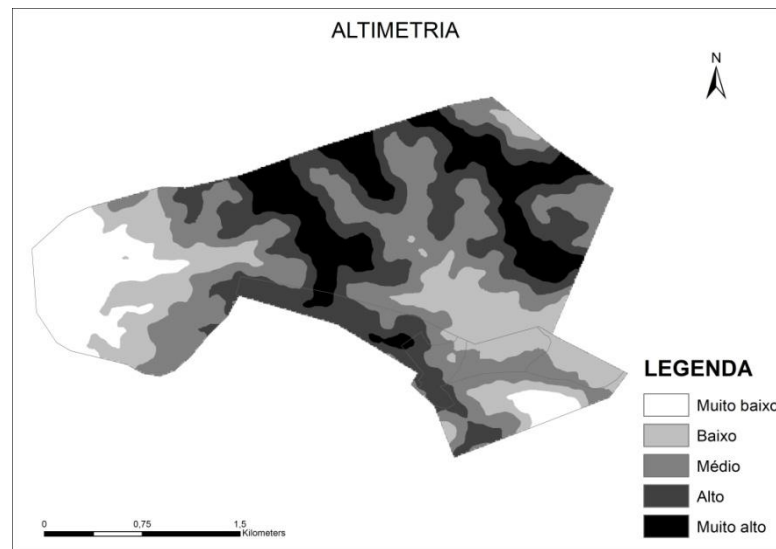
4.5.3.1 Altimetria

Na análise desse critério foi preferível que a definição de zonas ótimas estivesse associada a locais com baixas altitudes para que o traçado da adutora não sofresse com elevadas cotas topográficas e mesmo assim atendesse ao conceito de escoamento pela gravidade. Neste critério foi analisado a área associada a zona urbana de Serraria e os lotes que abrangem o traçado da adutora. Essa diferenciação foi adotada para que pudesse ser trabalhado com uma escala maior, facilitando a visualização do trajeto da adutora. A Figura 7 apresenta o Modelo Numérico do Terreno (MNT) para a área de estudo.

4.5.3.2 Distância de estradas e corpos de água

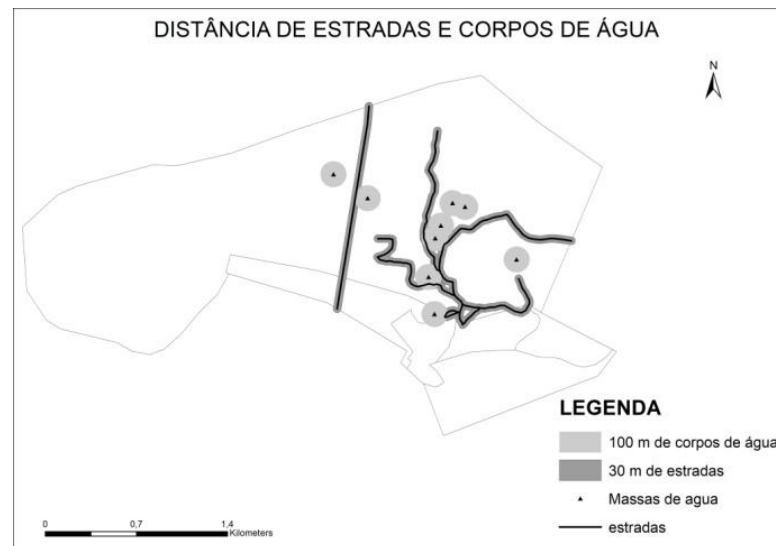
Conforme Semar (2011) é recomendado que o traçado das adutoras esteja distante de corpos de água e próximos a rodovias e estradas vicinais. No caso de rios ou áreas alagadas, o traçado deve distar pelo menos 100 m, já que áreas alagadas dificultam a locação de uma adutora. Por outro lado, é preferível que as áreas de locação das adutoras distem no máximo 30 m (faixa de domínio de uma rodovia) de uma rodovia ou estrada vicinal, por questões de facilidade na implantação, operação e manutenção (AMARAL, 2017 apud CORDÃO; LACERDA e RIBEIRO NETO, 2012). Essa condição para a adutora estudada é apresentada na Figura 8.

Figura 7 – Mapa de altimetria da zona urbana e lote do traçado da adutora



Fonte: EARTHDATA (2019).

Figura 8 – Mapa de distância dos corpos hídricos e estradas



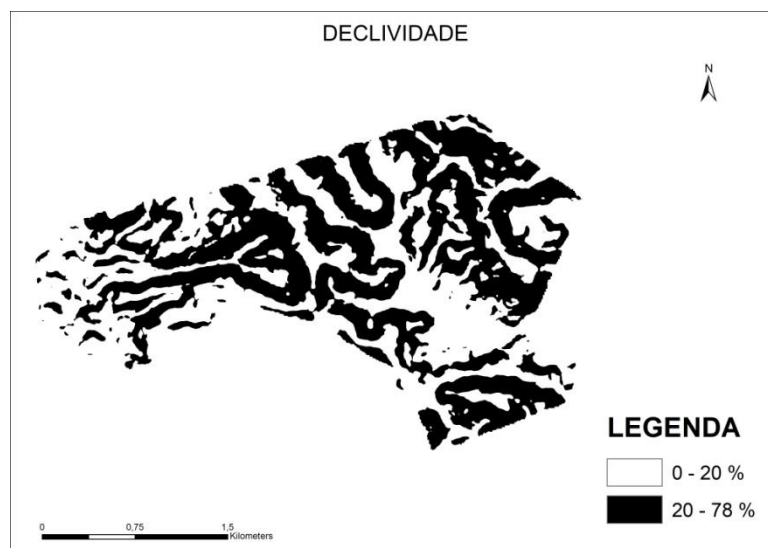
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.5.3.3 Declividade

Quando se trata de linhas adutoras, altas declividades podem se configurar como um problema para a rota dessas instalações. Obstáculos topográficos muito acentuados não são adequados para o caminhamento das adutoras porque prejudicam as fases de execução, operação e manutenção e ainda requerem cuidados contra os efeitos transitórios (subpressão e sobrepressão). Sabendo disso, foi determinado que declividades inferiores a 20% são

adequadas para locação das adutoras (AMARAL, 2017 apud CORDÃO; LACERDA e RIBEIRO NETO, 2012). O mapa de declividade gerado a partir do MNT é mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Mapa de declividade da zona urbana e lote do traçado da adutora



Fonte: EARTHDATA (2019).

4.5.4 Estação elevatória de água (EEA)

A etapa da estação elevatória não pôde ser trabalhada nessa pesquisa pela falta de dados. É importante destacar que foram levantados critérios e montada a matriz de decisão para a realização do método ELECTRE I, no entanto, após uma minuciosa busca, não foi possível agrupar todas as informações necessárias para os critérios adotados pela dificuldade de obtenção de avaliações para alguns destes. Desta forma, em outra oportunidade será discutido uma nova forma de trabalhar com essa etapa, com a possibilidade de construir um esquema de análise multicritério com base em ideias coerentes e que retornem em êxito. É válido dizer que o estudo envolvendo essa etapa ficará a cargo de novas pesquisas nessa área emergente sobre o conceito de concepção do SAA, já visando uma análise completa desse sistema.

4.5.5 Estação de tratamento de água (ETA)

Em relação ao tratamento de água é válido destacar que a técnica de tratamento deve ser selecionada em função da qualidade do manancial e do nível de qualidade que se deseja

para água tratada. Além desses dois aspectos, a escolha do tipo de tratamento ainda está associada ao custo, pois como já foi comentando anteriormente é necessário trabalhar com aquilo que se pode manter em termos financeiros. No esquema da Tabela 2 estão apresentadas as opções de tratamento levantadas para confrontar com o atual – ciclo convencional – bem como os critérios de análise. As outras opções de tratamento foram elencadas devido ao uso constante nas cidades de pequeno porte como Serraria. Importante destacar que as avaliações do critério turbidez estão associadas ao poder de remoção para cada tipo de tratamento.

Tabela 2 – Matriz de decisão da ETA

Tratamento/Critério	Turbidez (uT)	Controle operacional	Custo
Peso	3	3	3
Preferência	Max.	Min.	Min.
Filtração lenta	10	Baixo	Médio
Ciclo convencional	250	Alto	Alto
Filtração direta ascendente	100	Médio	Baixo

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.5.6 Reservação

4.5.6.1 Altimetria

Os reservatórios devem estar localizados nos locais de maior altitude para que a rede de distribuição possa trabalhar sob um escoamento por gravidade. Nesse caso, é interessante a divisão da cidade em zonas de pressão, para que cada zona seja abastecida por um reservatório que além do principal objetivo de armazenar água também tem a importante função de regularização de pressões dentro da rede de distribuição.

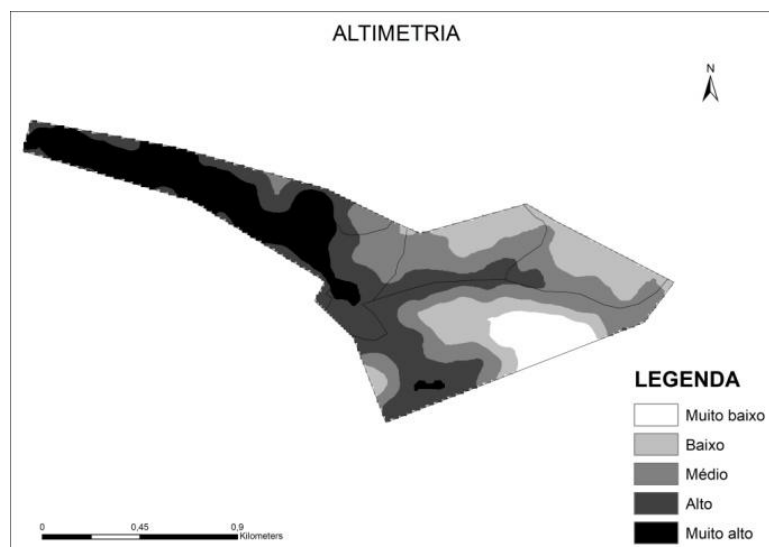
O MNT gerado para a melhor locação das unidades de reservação é o mesmo apresentado na Figura 10.

4.5.6.2 Densidade populacional

Locais com grande concentração de pessoas exigem maiores demandas e por isso se faz necessário à presença de reservatórios nas proximidades. Na cidade de Serraria, existe apenas o reservatório de montante que é aquele que sempre fornece água à rede e sempre deve estar próximo ao centro de consumo. Essa necessidade é verificada no seu favorecimento a uma variação acentuada nas cargas piezométricas nas pontas da rede de distribuição devido à

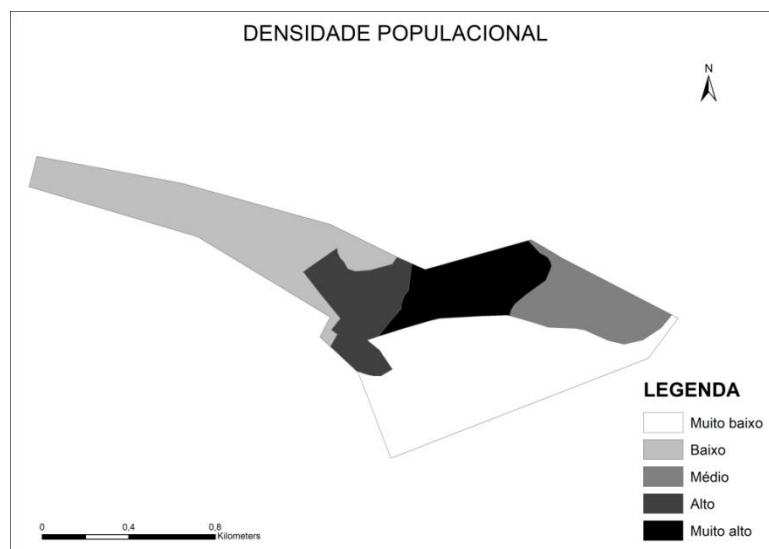
diminuição da demanda (HELLER E PÁDUA, 2010). O mapa correspondente é apresentado na Figura 11.

Figura 10 – Mapa de altimetria da zona urbana



Fonte: EARTHDATA (2019).

Figura 11 – Mapa de densidade populacional da zona urbana



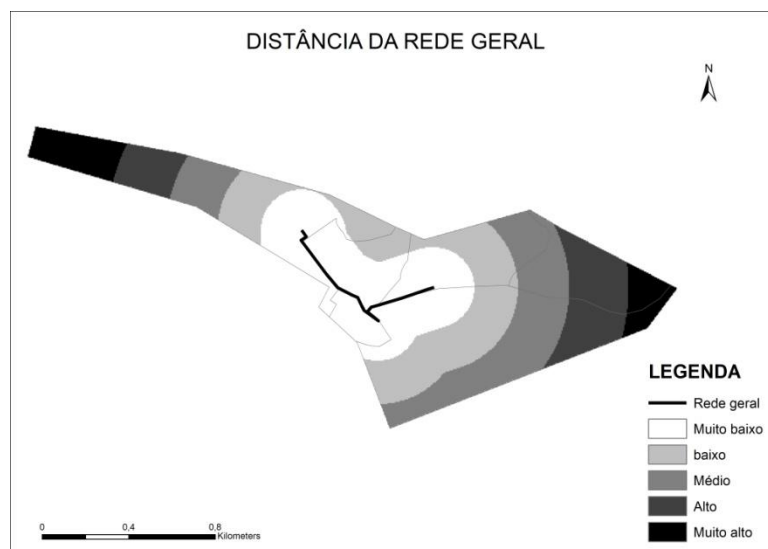
Fonte: IBGE (2019).

4.5.6.3 Distância da rede geral

Esse critério traz à tona a ideia de que quanto mais distante a unidade de reservação está da rede principal, mais propensa é a falta de pressão na rede e como consequência o desabastecimento. Partindo desse princípio, é recomendado que os reservatórios estejam

próximos a rede principal. No mapa da Figura 12 é apresentada a propagação das distâncias a partir da rede principal.

Figura 12 – Mapa de distância da rede geral



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.5.7 Distribuição – Rede geral

4.5.7.1 Altimetria

Na etapa de distribuição de água, recomenda-se que a rede geral, que constitui a tubulação principal de toda malha, ocupe um traçado favorável ao escoamento pela gravidade. Por isso a escolha do critério altimetria como fator relevante na distribuição da rede nas ruas e avenidas do município. O mapa correspondente é o da Figura 10.

4.5.7.2 Densidade populacional

Segundo Tsutyia (2006) o traçado das tubulações principais deve ser direcionado às zonas de maior demanda, onde se encontram as vazões singulares, concentradas e o abastecimento para combate a incêndio. A distribuição da população está representada na Figura 11.

4.6 Normalização dos critérios

Devido aos diferentes critérios utilizados na pesquisa estarem em escalas e/ou unidades diferentes, é necessário realizar uma padronização das diferentes unidades e/ou escalas. Essa operação, conhecida como normalização ou adequação, transforma os planos de informação para uma medida que seja universal e possibilite a operação de comparação entre os critérios.

Quando utilizado para os critérios espaciais, através da lógica fuzzy, possibilita que cada célula pertença a uma função de pertinência estabelecida, função essa que decorre de uma situação de não pertinência para uma de total pertinência variando de 0 a 1. Para a abordagem com SIG a função de normalização utilizada foi a linear, que permite uma análise de proporcionalidade entre o critério e objetivo desejado. Essa relação entre o critério e a situação de benefício pode ocorrer de forma direta ou inversa.

Quando utilizado para critérios tipológicos, através do método ELECTRE I, permite que os critérios sejam trabalhados numa mesma escala de medida. O processo consiste na divisão do valor atribuído ao critério, pela soma de todos os critérios da unidade do SAA avaliado.

4.7 Ponderação dos critérios

O processo de atribuição de pesos que leva em consideração o juízo de valor dos decisores foi baseado em métodos heurísticos através do diálogo com especialistas. Cada critério possui seu nível de importância que é expresso na porcentagem que compõe a totalidade da análise. Os pesos se restringem as notas 1, 2 e 3. Onde 1 equivale ao critério de menor importância, 2 equivale ao critério de média importância e 3 ao critério de maior importância. O nível de importância diz respeito a quanto o critério influencia na concepção de cada etapa. Foram adotados apenas três níveis de pesos para que a percepção do mais importante se tornasse mais simples e objetiva.

Os pesos atribuídos possuem influência de duas classes, a acadêmica e a de profissionais da prestadora de serviço, permitindo assim a construção de um modelo detentor de aspectos teóricos e práticos sobre a concepção do SAA. Por um lado têm-se especialistas que atuam no campo da pesquisa desses sistemas e por outro, especialistas que lidam diariamente com os problemas relacionados ao SAA.

Os pesos finais foram obtidos através da aplicação da moda aos resultados dos especialistas, e quando houve empate, o critério de maior importância levou vantagem. A

proposta geral de análise com todos os critérios e pesos envolvidos, bem como o respectivo método multicritério utilizado é apresentado na tabela 3.

Tabela 3 – Modelo geral de análise de SAA

ETAPAS	CRITÉRIOS	PESOS	MÉTODO
Manancial	Altimetria	3	Lógica Fuzzy
	Volume	3	
Captação	Distância da zona urbana	2	ELECTRE I
	Variabilidade do nível d'água	3	
	Custo	3	
Adução	Vazão	3	Lógica Fuzzy
	Altimetria	3	
	Distância de estradas e rios	1	
Estação de tratamento	Declividade	3	ELECTRE I
	Turbidez	3	
	Custo	3	
Reservação	Controle operacional	3	Lógica Fuzzy
	Altimetria	2	
	Densidade populacional	3	
Distribuição	Distância da rede geral	3	Lógica Fuzzy
	Altimetria	2	
	Densidade populacional	3	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.8 Atribuição de nota

A atribuição de nota foi baseada nos pesos para cada critério. Dentro do âmbito dos critérios espaciais a nota foi atribuída ainda antes da álgebra de mapas, verificando o atendimento ou não dos respectivos critérios. Se a determinada unidade atendeu aos requisitos, recebeu a nota máxima. Caso contrário, a nota foi proporcional ao que foi atendido. A soma do conjunto de pesos forma a totalidade da análise e sendo assim, apenas quem alcançou a melhor opção para cada critério recebeu a nota correspondente ao seu peso. A atribuição de nota seguiu o seguinte esquema:

- **Para critérios espaciais:** Inicialmente foi verificado em qual nível se encontra a unidade em análise e em seguida foi atribuído a nota conforme a Tabela 4. Depois, de posse das notas individuais para cada critério que compõem a análise do SAA, foi possível determinar a nota final através do uso dos pesos atribuídos pelos especialistas, como uma soma ponderada. A soma dos pesos totaliza 100% e desta forma é possível multiplicar cada

peso (Equação 4) pelas respectivas notas individuais, encontrado a nota global para determinada unidade do SAA como mostra a Equação 5.

$$Pn = Pi \times \frac{100\%}{SPi} \quad (4)$$

$$Nf = \sum_{n=1}^n Pn \times Nn \quad (5)$$

Onde,

Pn – Peso proporcional;

Pi – Peso individual dos especialistas;

SPi – Soma dos pesos individuais;

Nf – Nota final;

Nn – Nota individual.

Tabela 4 – Faixas qualitativas associadas às notas para critérios espaciais

Nível	Nota 1	Nota 2
Muito baixo	1,0	9,0
Baixo	3,0	7,0
Médio	5,0	5,0
Alto	7,0	3,0
Muito alto	9,0	1,0

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A nota 1 é atribuída quando o aumento do critério é diretamente proporcional ao benefício, já a nota 2, quando o aumento do critério é inversamente proporcional ao benefício. Essa atribuição de notas é diferente quando a análise impõe valores restritivos, isto é, quando o critério em questão impõe uma faixa de valor que não deve ser ultrapassada. Nessa situação, quando atendida a exigência, recebeu a nota máxima, caso contrário recebeu a nota mais baixa. A ideia baseou-se apenas na pontuação dos extremos.

- **Para critérios tipológicos:** No âmbito dos critérios tipológicos a nota foi atribuída a partir da matriz de decisão, verificando quais alternativas obtiveram maiores pontuações para cada critério. A análise foi realizada a partir da Tabela 5 que apresenta as notas para cada avaliação. Quando a preferência para determinado critério foi de maximizar

utilizou-se nota 1, já quando a preferência foi de minimizar utilizou-se a nota 2. Essa ideia de maximizar está relacionada ao aumento do nível do critério, já minimizar à sua diminuição.

Tabela 5 – Faixas qualitativas associadas às notas para critérios tipológicos

Nível	Nota 1	Nota 2
Muito baixo	1,0	9,0
Baixo	3,0	7,0
Médio	5,0	5,0
Alto	7,0	3,0
Muito alto	9,0	1,0

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

No caso de critérios avaliados através de valores quantitativos, a atribuição de nota foi baseada na associação com a porcentagem acumulada desses valores, como mostra a Tabela 6. Depois de calculada a porcentagem acumulada foi verificada em qual faixa determinada alternativa se encaixa permitindo a associação com a nota. Da mesma forma de quando os valores de avaliação dos critérios eram qualitativos, as notas 1 e 2 correspondem respectivamente as situações de maximização e minimização da preferência.

Tabela 6 – Faixas quantitativas associadas às notas para critérios tipológicos

Porcentagem acumulada (%)	Nota 1	Nota 2
$0 \leq x \leq 10$	1,0	9,0
$10 < x \leq 30$	3,0	7,0
$30 < x \leq 50$	5,0	5,0
$50 < x \leq 70$	7,0	3,0
$x > 70$	9,0	1,0

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

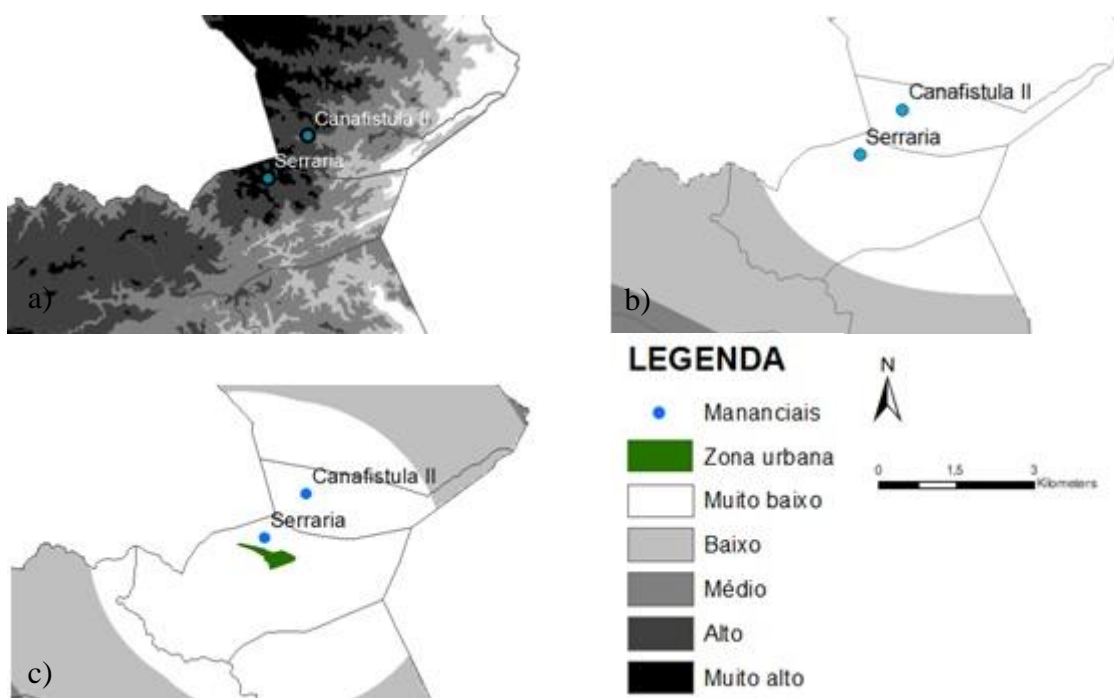
5 RESULTADOS

5.1 Manancial

5.1.1 Avaliação da condição atual

Inicialmente foi analisado o cumprimento ou não dos critérios estabelecidos para o manancial, como mostra a Figura 13, e através da verificação de qual faixa de classificação o manancial atende, foi atribuída a nota conforme os pesos da Tabela 3.

Figura 13 – Verificação de atendimento dos critérios altimetria a), volume b) e distância da zona urbana c) para o manancial



Fonte: USGS (2019), Elaborado pelo autor, 2019.

Como resultado dessa observação, a Tabela 7 sintetiza o resultado para cada critério, bem como a nota final e a respectiva avaliação da unidade do SAA avaliado.

Tabela 7 – Situação do manancial

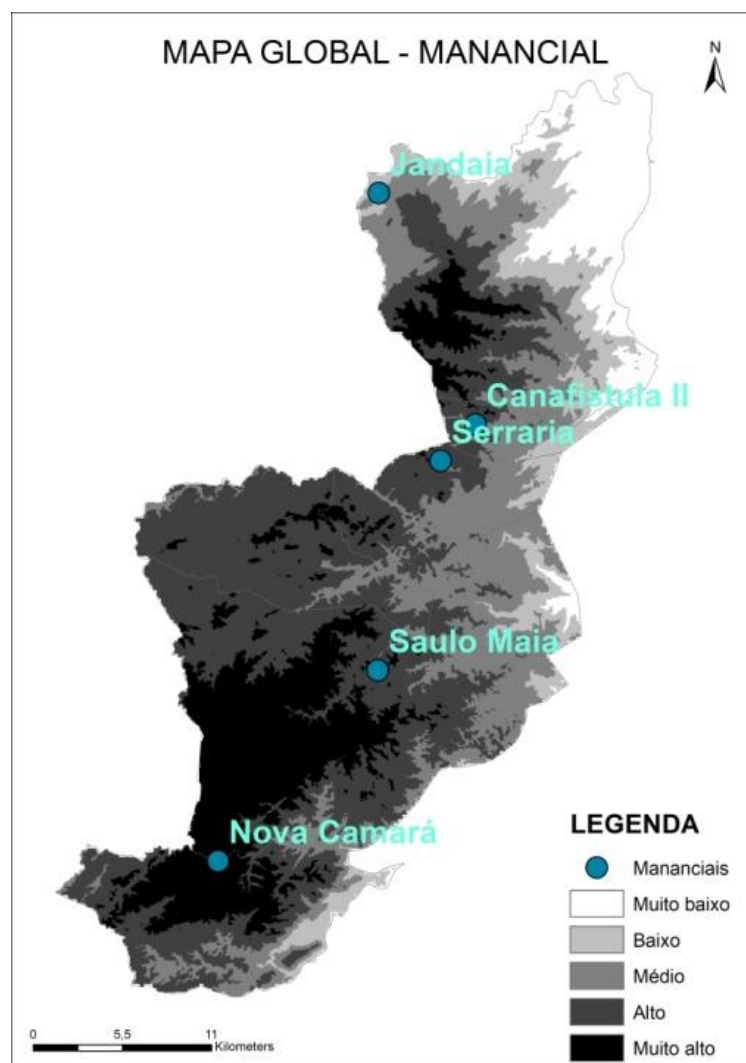
Critério	Nota individual	Nota final	Avaliação
Altimetria	7,0	5,25	Entre Médio e Alto
Volume	1,0		
Distância da zona urbana	9,0		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.1.2 Proposta de solução

De posse do resultado da condição atual foi elaborado o mapa global de análise, através da álgebra de mapas, e nele foi possível visualizar a localização ótima para o manancial. A proposta de solução é visível ao passo que o manancial atual apresenta uma baixíssima nota em relação a capacidade de armazenamento. Dessa forma, através da Figura 14, foi possível verificar que o manancial que apresenta melhores condições de abastecimento para a cidade de Serraria é Nova Camará, localizado na cidade de Alagoa Nova, com níveis muito altos de avaliação.

Figura 14 – Mapa de adequação final da unidade de manancial



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.2 Captação

5.2.1 Avaliação da condição atual

De acordo com o que foi exposto na Tabela 1, o tipo de tomada de água atual foi avaliado e o resultado é apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Situação da captação

Tomada de água	Nota	Avaliação
Captação direta	4,33	Entre Baixo e Médio

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.2.2 Proposta de solução

Devido à baixa avaliação da tomada de água atual foi necessário determinar a melhor alternativa de captação a ser utilizada. O resultado é apresentado na Tabela 9. As planilhas utilizadas de calculo estão apresentadas no Apêndice A.

Tabela 9 – Sobreclassificação operacional da unidade de captação

Tomada de água	Sobreclassificação	Subclassificação	Melhor alternativa
Captação direta	0	1	Captação flutuante
Torre de tomada	0	0	
Captação flutuante	1	0	

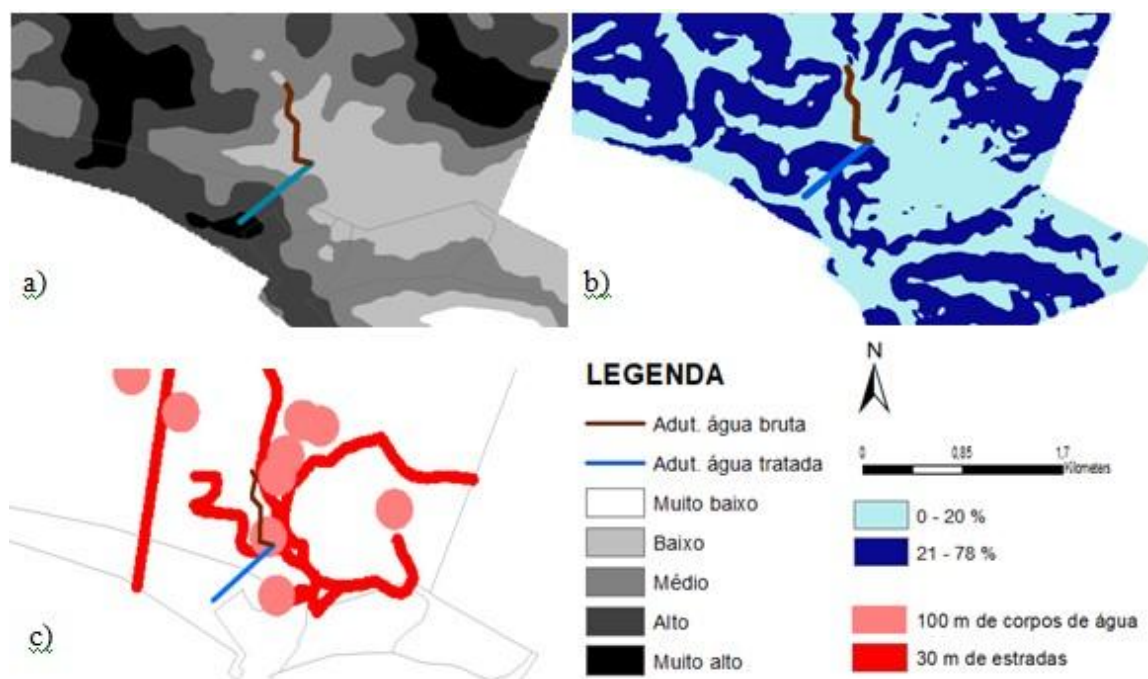
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.3 Adução

5.3.1 Avaliação da condição atual

Na Figura 15 é apresentado o traçado atual da adutora sob a ótica dos três critérios trabalhados. Através dos mapas e a legenda que define as faixas de classificação, é perceptível verificar quando o traçado da adutora atende determinada zona. É interessante destacar que para os critérios declividade e distância de corpos hídricos e estradas, a faixas de classificação são restritivas, isto é, caso o traçado atenda, recebe a nota máxima, caso não, recebe a nota mínima.

Figura 15 – Verificação de atendimento dos critérios altimetria a), declividade b) e distância de corpos hídricos e estradas c) para a adução



Fonte: EARTHDATA (2019), Elaborado pelo autor, 2019.

Como resultado dessa observação, a Tabela 10 sintetiza o resultado para cada critério, bem como a nota final e a respectiva avaliação da etapa.

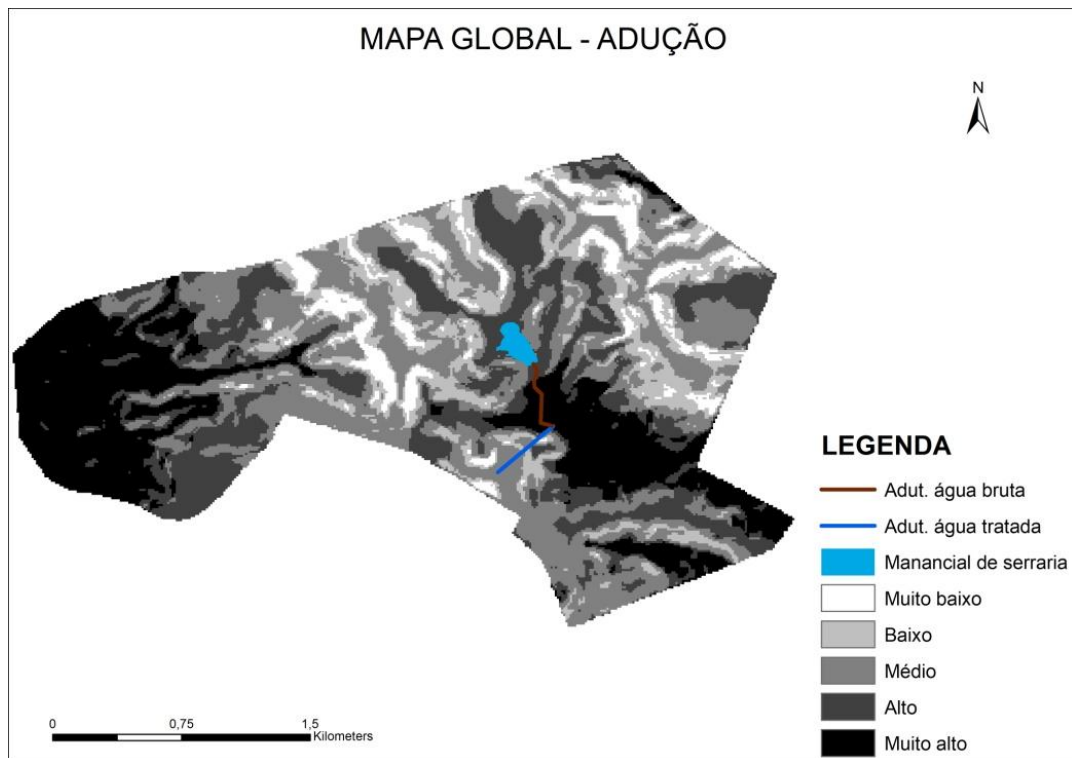
Tabela 10 – Situação da adução

Critério	Nota individual	Nota final	Avaliação
Altimetria	5,0		
Declividade	5,0		
Distância de corpos de água e estradas	5,0	5,0	Médio

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.3.2 Proposta de solução

Depois do processo de atribuição de nota foi gerado o mapa global da etapa de adução e nele foram constatadas as áreas que apresentam melhores condições para o traçado da adutora, conforme mostra a Figura 16. Mesmo com uma avaliação média, a situação atual do traçado da adutora de Serraria apresenta uma localização adequada, de acordo com o método aqui utilizado, para as condições locais.

Figura 16 – Mapa de adequação final da unidade de adução

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.4 Tratamento

5.4.1 Avaliação da condição atual

De posse da matriz de decisão apresentada na Tabela 2 foi atribuída a nota ao tipo de tratamento utilizado, conforme apresenta a Tabela 11.

Tabela 11 – Situação do tratamento

Tratamento	Nota	Avaliação
Ciclo convencional	5	Médio

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.4.2 Proposta de solução

Depois de realizada a pontuação da alternativa atual, foi gerada através da análise multicriterial uma matriz que permitiu descobrir o melhor o tipo de tratamento que poderia ser

empregado. Na Tabela 12 é apresentado esse resultado. É importante destacar que as planilhas utilizadas de cálculo estão apresentadas no Apêndice A.

Tabela 12 – Sobreclassificação operacional da ETA

Tratamento	Sobreclassificação	Subclassificação	Melhor alternativa
Filtração lenta	0	1	Filtração
Ciclo convencional	0	0	direta
Filtração rápida ascendente	1	0	ascendente

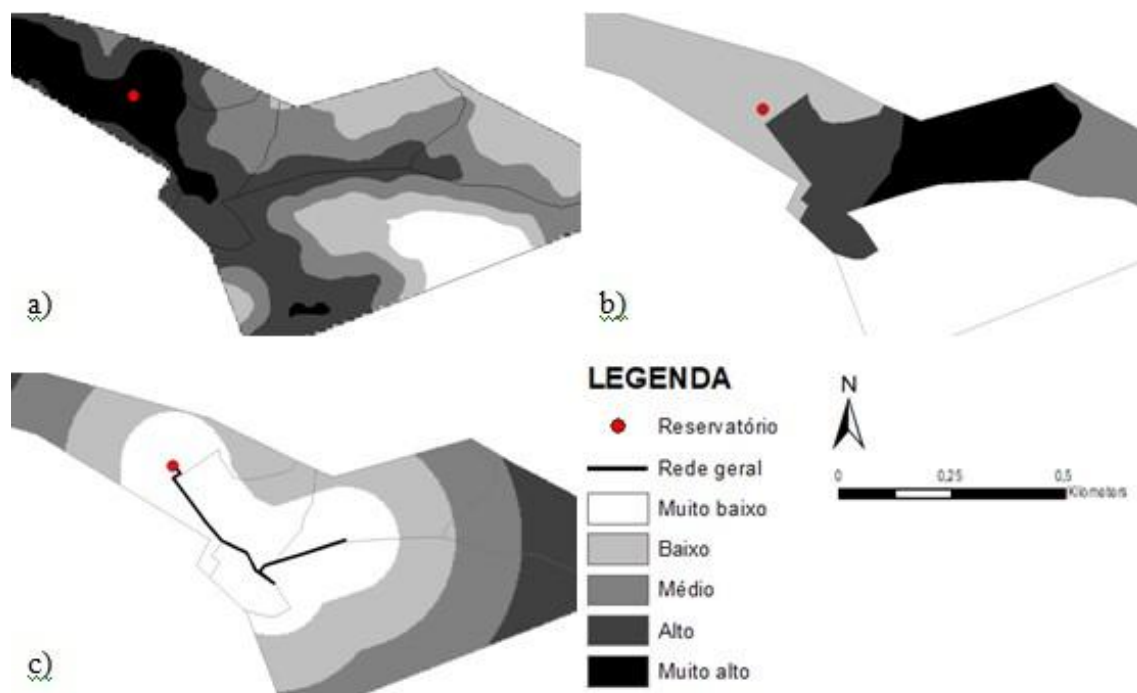
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.5 Reservação

5.5.1 Avaliação da condição atual

Na Figura 17 é mostrada a localização atual do reservatório sob a ótica dos três critérios trabalhados. É perceptível quais critérios a localização do reservatório atende.

Figura 17 – Verificação de atendimento dos critérios altimetria a), densidade populacional b) e distância da rede geral c) para a reservação



Fonte: EARTHDATA (2019), IBGE (2019), Elaborado pelo autor, 2019.

Após analisada a Figura 17, a localização do reservatório foi pontuada conforme o que foi apresentado. Como resultado dessa observação, a Tabela 13 sintetiza o resultado para cada critério, bem como a nota final e a respectiva avaliação da unidade.

Tabela 13 – Situação da reservação

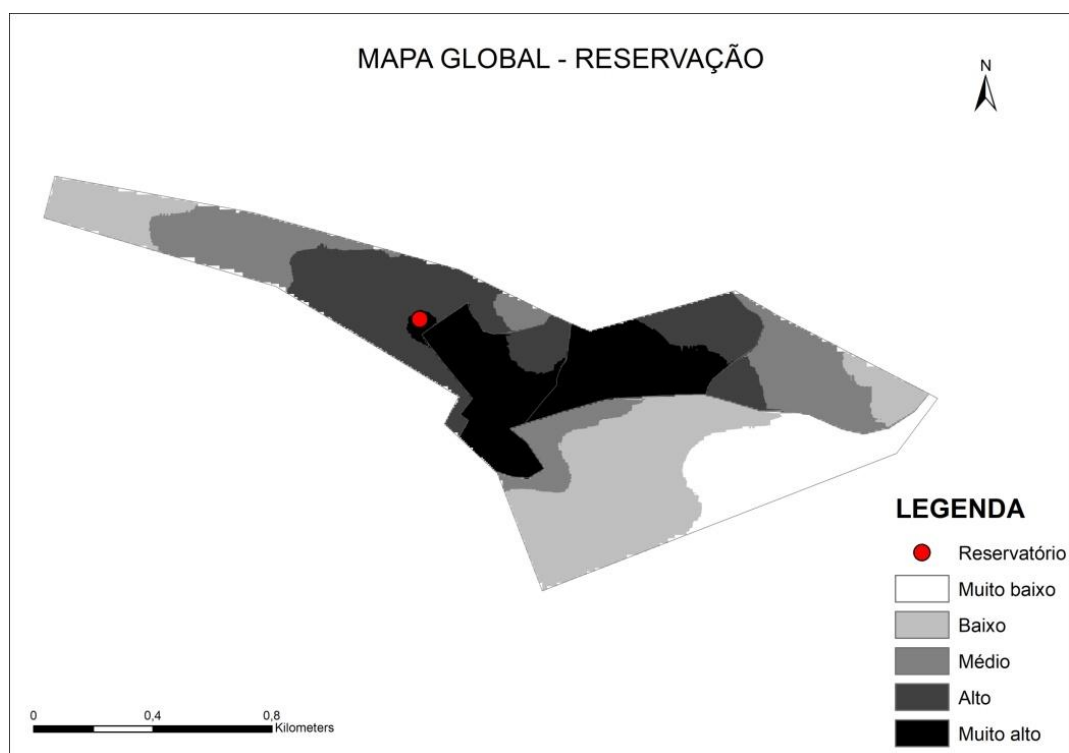
Critério	Nota individual	Nota final	Avaliação
Altimetria	9,0		Entre Médio e Alto
Densidade populacional	3,0	6,75	
Distância da rede geral	9,0		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.5.2 Proposta de solução

Depois do processo de atribuição de nota foi gerado o mapa global da etapa de reservação e nele foram constatadas as áreas que apresentam melhores condições para a localização do reservatório, conforme mostra a Figura 18. É possível observar que a localização atual atende a melhor zona de avaliação e sendo assim não foi necessária a busca por uma nova localização. É importante observar que dois critérios influenciaram muito no resultado, foram os de altimetria e distância da rede geral, devido aos maiores pesos.

Figura 18 – Mapa de adequação final da etapa de reservação



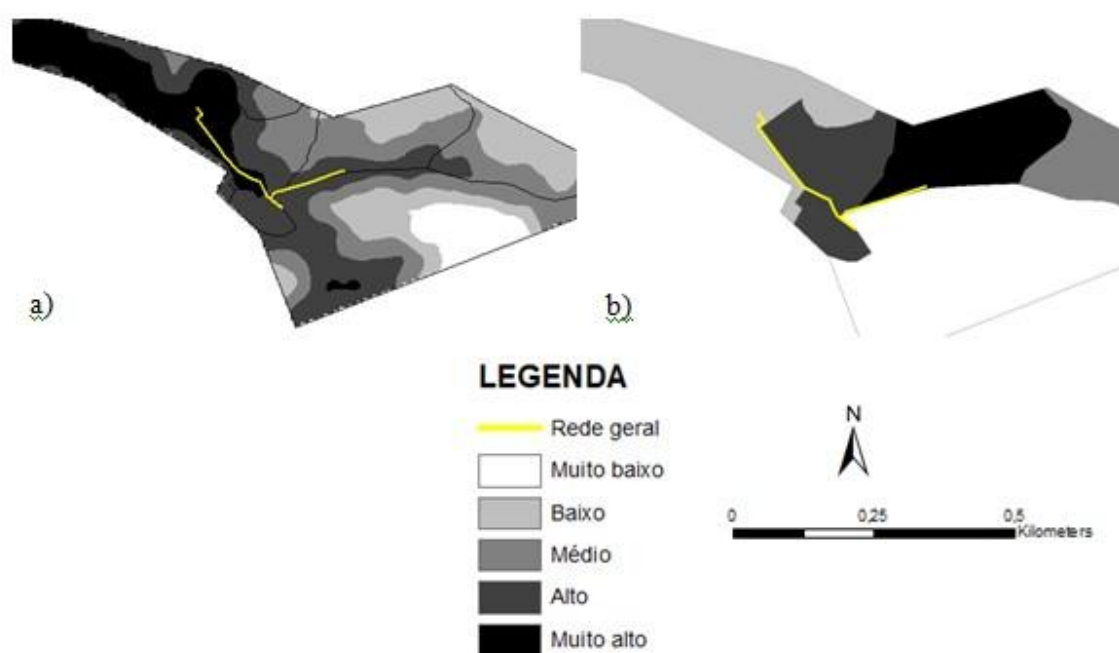
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.6 Distribuição – Rede geral

5.6.1 Avaliação da condição atual

Na Figura 19 é mostrada o traçado atual da rede geral sob a ótica dos dois critérios trabalhados, altimetria e densidade respectivamente.

Figura 19 – Verificação de atendimento dos critérios altimetria a) e densidade populacional b) para a distribuição



Fonte: EARTHDATA (2019), IBGE (2019).

Como resultado dessa observação, a Tabela 14 sintetiza o resultado pontual para cada critério, bem como a nota final e a respectiva avaliação da etapa.

Tabela 14 – Situação da distribuição

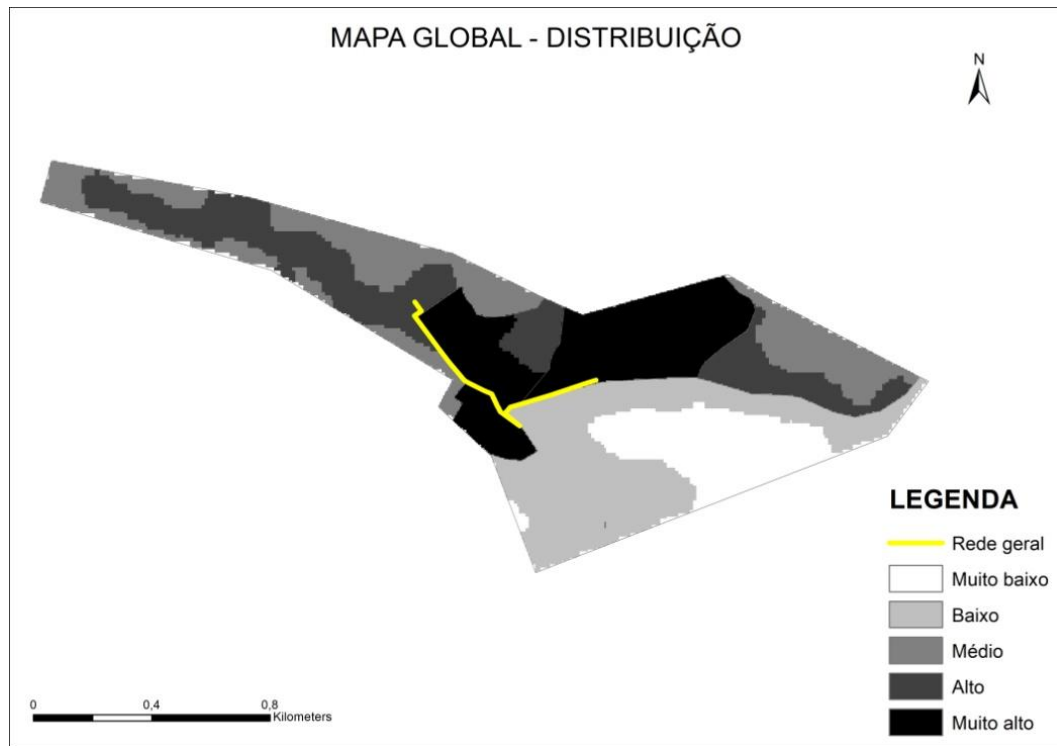
Critério	Nota individual	Nota final	Avaliação
Altimetria	9,0	9	Muito alto
Densidade populacional	9,0		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.6.2 Proposta de solução

Depois do processo de atribuição de nota foi gerado o mapa global da etapa de distribuição e nele foram constatadas as áreas que apresentam melhores condições para o traçado da rede geral, conforme mostra a Figura 20. Como visto, o traçado atual da rede geral atende as zonas consideradas ótimas, não sendo necessária uma proposta de solução.

Figura 20 – Mapa de adequação final da etapa de distribuição



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

6 DISCUSSÃO

6.1 Manancial

De acordo com a proposta de avaliação para o manancial de Serraria, a barragem apresentou boas condições de altimetria e de distância da zona urbana. No entanto, seu volume foi classificado como muito baixo e assim como verificado na Tabela 7, o valor da nota final dessa unidade do SAA ficou em 5,25 exatamente por causa desse critério.

De posse da situação atual e visto que existe a necessidade de uma proposta de mudança, a Figura 14, que apresenta o mapa com as zonas ótimas para localização, indica que o manancial ótimo deva estar nos locais mais escuros, que representam as maiores pontuações para a mananciais. Dessa forma, como solução, o manancial denominado de Nova Camará, situado na cidade de Alagoa Nova, é o único que atende a faixa avaliada em Muito alto.

É importante destacar que a definição desse manancial como o ótimo para o abastecimento da cidade foi bastante influenciada pela grande capacidade de armazenamento e pelo peso atribuído pelos especialistas a esse critério. Mais interessante ainda é, que dentre os mananciais trabalhados, o de Nova Camará é o que, atualmente, apresenta maior disponibilidade hídrica, sendo assim, a melhor alternativa de abastecimento.

6.2 Captação

Como visto na Tabela 8, o tipo de tomada atual – captação direta – não apresentou boas condições para as características do atual manancial, como, alta variabilidade do nível da água, baixa vazão e baixo custo. Recebendo a nota de 4,33 apenas e configurando-se como uma avaliação de baixo a médio, necessitando, portanto de uma proposta de solução.

Dessa forma, através da Tabela 9, foi possível identificar que o tipo de tomada denominada de captação flutuante foi a que apresentou melhores resultados na matriz de sobreclassificação operacional, por sobreclassificar e não ser sobreclassificada. É interessante destacar que esse tipo de tomada de água é realmente característico de mananciais como barragens e represas, que apresentam, na maioria das vezes, alta variação do nível de água e baixa vazão. O critério baixo custo por sua vez foi envolvido na análise pelo fato da cidade de Serraria ser pequena e não poder arcar com elevados custos.

6.3 Adução

Na etapa de adução, com base nos traçados da adutora de água bruta (na cor marrom) e da adutora de água tratada (na cor azul), é possível observar que no primeiro critério – altimetria – existe o atendimento da adutora de água bruta, pois o percurso se estende de uma zona mais alta (manancial) para uma zona mais baixa (ETA), ou seja, o escoamento é pela gravidade. No entanto, a adutora de água tratada percorre um sentido inverso, de uma zona mais baixa (ETA) para uma zona mais alta (reservatório) necessitando de uma elevatória. Diante disso e pelo fato desse critério ser restritivo, isto é, trabalhar com os extremos, parte da adutora que atendeu recebeu a nota 10 e a outra parte que não atendeu recebeu a nota 0, resultando na nota média de 5,0.

No caso do critério declividade, o atendimento para a adutora de água bruta (AAB) e não atendimento para a adutora de água tratada (AAT) se repete e por isso foi atribuída a nota média de 5,0. No último critério – distâncias de corpos hídricos e estradas – o traçado geral da adutora atendeu a especificação de uma distância menor que 30 m de estradas, sejam rodovias ou vicinais. No entanto, seu traçado é dificultado por não obedecer a distância mínima de 100 m de corpos hídricos. Devido ao fato de atender a distância de estradas e não atender a de corpos hídricos recebeu a nota 5. Consequentemente, a pontuação final para a adutora foi de 5,0 pontos.

A proposta de solução apresentada na Figura 16 indica que devido a localização estratégica do reservatório, não há outra alternativa de traçado para a AAT que consiga cumprir com o escoamento pela gravidade e declividade menor que 20%. Outra coisa a pontuar é que devido ao baixo peso atribuído ao critério distâncias, não houve grande interferências no resultado do mapa global. Uma única forma de mudança seria no traçado da AAB e essa mudança acarretaria na alteração do local da ETA, mas como benefício, distanciaria a tubulação das proximidades dos corpos hídricos, melhorando o aspecto da locação.

6.4 Tratamento

Nessa etapa, o tipo de tratamento atual recebeu uma nota de 5 ficando com uma avaliação Médio. Esse nível de avaliação é pelo fato de se tratar de uma cidade pequena e ser necessário minimizar controle operacional e custo de implantação para que a região consiga manter a unidade com eficiência. Foi devido a essas necessidades de minimização que o ciclo convencional pouco pontuou, conforme mostra a Tabela 11.

Sendo assim, pela baixa nota para a etapa de tratamento, foi realizado o processo multicritério e a alternativa que conseguiu se sobressair foi a de filtração direta ascendente, como mostra a tabela 12, que apresenta uma capacidade de remoção de turbidez compatível com a do manancial em questão. Já que o manancial de Serraria apresenta faixas que variam de 10,20 a 76,30 uT ao longo do corrente ano.

6.5 Reservação

Como mostra a Figura 17, a localização atual do reservatório de Serraria situa-se na área mais alta da zona urbana abastecendo toda cidade por gravidade e, sendo inclusive necessário equipamento de redução de pressão para proteger a população. Para esse critério, o reservatório recebeu a nota máxima de acordo com a avaliação.

No segundo critério - densidade populacional - que está associada à demanda, a unidade pouco pontuou recebendo apenas a nota 3. Essa pontuação está associada ao fato da unidade está distante da zona com maior demanda (na cor preta).

Para o fator distância da rede geral, a unidade também recebeu a nota máxima. Após a soma ponderada e uso dos pesos dos especialistas, a etapa da reservação ficou com uma nota final de 6,77 avaliada entre Médio e Alto, conforme mostra a Tabela 13.

Devido à baixa avaliação para o critério densidade populacional era necessária a realização da álgebra de mapas para que se pudessem contemplar as zonas ótimas para a localização dessa unidade. De posse do mapa da Figura 18 foi possível observar que a localização atual do reservatório está de acordo às zonas ótimas para sua disposição. Esse resultado de conformidade foi muito influenciado pelos critérios altimetria e distância da rede geral que receberam a nota máxima e pesos de grande importância por parte dos especialistas.

6.6 Distribuição

Na etapa de distribuição, nos usos dos critérios altimetria e densidade populacional, a rede geral apresentou a nota máxima em ambos, como mostra a Tabela 14. Na altimetria, o traçado da rede percorre o sentido do mais alto (zonas mais escuras) para o mais baixo (zonas mais claras), isto é, atende a imposição do escoamento pela gravidade.

No critério densidade populacional parte do traçado atende ao local com maior demanda da zona urbana (na cor preta), até porque não existe a necessidade de que toda a rede principal esteja inclusa dentro dessa área de maior densidade populacional. Isso é verificável

quando gerado o mapa global da Figura 20 e visto que todo o traçado da rede está situado na zona considerada ótima para disposição dessa unidade.

7 CONCLUSÃO

Diante da problemática relacionada à concepção do SAA, novas ideias e técnicas têm surgido para a promoção do planejamento eficiente. Os problemas que decorrem principalmente da falta de estudos mais profundos sobre a distribuição espacial das unidades e definição de melhores alternativas de processos são constantes nessa área, gerando sistemas defeituosos e/ou com custos elevados.

Sendo assim, se torna de extrema importante que a forma de gerir seja integrada e considere aspectos diversos na construção de um modelo que satisfaça critérios técnicos e de projeto. Aliada a essa ideia, é interessante que a abordagem SIG – MCDA, que permite uma visão sistêmica da situação através da busca da solução pelo confronto de vários critérios, seja utilizada como ferramenta potencial de auxílio. O uso dessa parceria traz grandes benefícios no mapeamento de áreas ótimas e propicia em ganhos para o correto planejamento das unidades do SAA.

De acordo com a avaliação que foi realizada, a maioria das etapas que foram trabalhados critérios espaciais resultaram no atendimento de locais ótimos. Essa perspectiva de acerto não foi à mesma para as unidades as quais os critérios tipológicos foram trabalhados. Das duas etapas, captação e tratamento, nenhuma atendeu a melhor alternativa. Em relação à unidade EEA, não trabalhada pela falta de dados, ficará a cargo de novas pesquisas nessa área, já que o tema proposto é novo e tem muito a se desenvolver.

A proposta de avaliação da concepção do SAA de Serraria permitiu a construção de uma modelo de auxílio à tomada de decisão. Pode-se dizer que a metodologia utilizada nesta pesquisa possui aspecto inovador e é válida, pois o intuito de analisar a situação atual, atribuindo nota, permitiu avaliar a condição em que se encontra o sistema e assim, com a geração de mapas globais, fomentar a solução quando necessário. Essa metodologia, baseada em critérios de grande relevância, fomentou a elaboração de um processo capaz de atuar na busca de alternativas eficientes e satisfatórias, propiciando aos decisores uma visão mais ampla sobre o leque de possibilidades. É inclusive interessante que tal metodologia seja aplicada em outros SAAs para verificar a validade do modelo construído analisando outras perspectivas. A ideia de uso dessa metodologia pode se tornar ainda mais eficiente se integrada ao desenvolvimento de um software como ferramenta de auxílio. Nesse caso, a proposta de concepção retornaria resultados mais rápidos e com maior grau de eficiência. Essa ideia também ficará a cargo de novas pesquisas nessa área.

REFERÊNCIAS

ALEGRE, H.; COELHO, S. T.; ALMEIDA, M. C.; VIEIRA, P. **Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição**. Guia técnico. Lisboa: Instituto Regulador de Águas e Resíduos, 2005.

AMARAL, F. E. **USO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA OTIMIZAÇÃO DO TRAÇADO E NA MELHORIA OPERACIONAL DE SISTEMAS ADUTORES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**. 2017. 142p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.211/1992**: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.212/1992**: Projeto de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.213/1992**: Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.214/1992**: Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.215/1992**: Projeto de adutora de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.216/1992**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.217/1992**: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.218/1992**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

BARCELLOS, C.; COUTINHO, K.; PINA, M. F.; MAGALHÃES, M. M. A. F.; PAOLA, J. C.M.D.; SANTOS, S. M. Inter-relacionamento de dados ambientais e de saúde: análise de risco à saúde aplicada ao abastecimento de água no Rio de Janeiro utilizando Sistemas de Informações Geográficas. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 4, 1998.

BATISTA, D. F.; CABRAL, J. B. P.; ROCHA, T.; BARBOSA, G. R. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA – PCH, MOSQUITÃO - GO. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 36, n. 3, p.124-143, 17 jul. 2018.

BEZERRA, S. T. M.; CHEUNG, P. B. **Perdas de água: tecnologias de controle**. João Pessoa: Editora da UFPB, 220p, 2013.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for geocientists: modeling with GIS**. Delta Printing, Ontario, 398p, 1994.

BRASIL, IBGE. **Censo demográfico**, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/serraria/panorama>. Acesso em: 22 nov. 2019.

CÂMARA, G., MOREIRA, F. R., BARBOSA, C., ALMEIDA FILHO, R., BÖNISCH, S. **Técnicas de Inferência Geográfica**. In: Introdução à Ciência da Geoinformação. Livro on-line, Divisão de Processamento de imagens do INPE, São José dos Campos, 2002. Disponível em: <http://www.dpi.inpc.br/giiberto/livro/introd/cap9inferencia.pdf>.

CANO, J. I. B.; SENDRA, J. B. Multicriteria evaluation methods for ordinal data in a GIS environment. **Geographical Systems**, n. 5, p. 313-327, 1999.

CHEN, J.; YANG, S.; LI, H. W.; ZHANG, B.; LV, J. R. Research on Geographical Environment Unit Division Based on the Method of Natural Breaks (Jenks). **ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Beijing, v. XL-4/W3, p. 47-50, 2013.

CORDÃO, M. J. S. **MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO DA DISPOSIÇÃO ESPACIAL DE UNIDADES DE RESERVAÇÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS**. 2009. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

CORDÃO, M. J. S.; RUFINO, I. A. A.; RAUJO, E. L. Geotecnologias aplicadas ao planejamento de sistemas de abastecimento de água urbanos: uma proposta metodológica. **Eng. Sanit. Ambient.** [online], v.18, n.3, p.263-274, 2013. ISSN 1413-4152. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522013000300009>.

CÔRTEZ, J. M. **Sistemática de auxílio à decisão para a seleção de alternativas de controle de inundações urbanas**. Brasília, DF: ABDF, 2010. Originalmente apresentada como tese de doutorado, Universidade de Brasília, 2009.

CUNHA, M. J. B. Aplicação da metodologia ELECTRE I de apoio da decisão multicritério na priorização de transporte de mercadoria. In: XXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23, 2003, Ouro Preto. **Anais [...]**. Belém: ENEGEP, 2003

EARTHDATA. **ASF Data Search Vertex**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 26 nov. 2019.

EASTMAN, J. R. Multi-criteria evaluation and GIS. In: LONGLEY, P.A et al. **Geographical Information Systems: Principles and Technical Issues**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, v. 1, p. 493-502, 1999.

HÉLLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 4. ed. v. 2. Belo Horizonte: UFMG, 2010.

ISHIZAKA, A; NEMERY, P. **Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Softwares**. 1. ed. Nova Jersey, 310p, 2013.

KLEINER, Y., RAJANI, B. Comprehensive review of structural deterioration of water mains: statistical models. **Urban Water**, Canadá: v. 3, n. 3, p. 131-150, 2001.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos da Qualidade e Tratamento de Água**. 3. ed. Campinas, São Paulo: Editora Átomo, 2010. ISBN 978-85-7670-165-1.

MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 20, n. 7, p. 703–726, 2006.

MEDEIROS FILHO, C. F. **Abastecimento de água**. Universidade Federal de Campina Grande–UFCG. Campina Grande, PB, 2009.

MELO BAPTISTA, J; ALEGRE, H. **Seleção de materiais de tubagens para sistemas de abastecimento de água**. LNEC, Comunicação ao Encontro Nacional de Saneamento Básico, Lisboa, 2000.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (BR). **Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial União, 2017.

MORETTI, R. S.; VARALLO, L. S.; COMARU, F. O DIREITO À ÁGUA POTÁVEL E OS RISCOS DE DESABASTECIMENTO. **Revista da Universidade Federal de Minas Gerais**, Minas Gerais, v. 20, n. 2, 2013.

PARAÍBA. Agência Executiva de Gestão das águas da Paraíba - Aesa. Agência Nacional de Águas (Org.). **Monitoramento: Volume do açude Jandaia**. 2019. Disponível em: <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=preparaGraficos&codAcude=11130>. Acesso em: 10 jun. 2019.

PEREIRA, A. J.; MARIN, S. Lei da escassez e comportamento econômico: uma leitura institucional. **Revista Econômica**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, 2017.

SARZEDAS, G. L. **Planejamento para substituição de tubulações em sistemas de abastecimento de água. Aplicação na rede de distribuição de água da Região Metropolitana de São Paulo**. 2009, 113p. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO PIAUÍ - SEMAR. Projeto do Sistema Adutor de Bocaína. Teresina: SEMAR, 2011.

SENDRA, J. B. **Sistemas de Información Geográfica**. 2. ed. Madrid: RIALP, 451p, 1997.

SENDRA, J. B.; DELGADO, M. G.; JIMÉNEZ, A. M.; POZZO, F. **Hacia un sistema de ayuda a la decisión espacial para la localización de equipamientos**. Geonatura: Sistemas de Información Geográfica aplicados a las Ciencias ambientales y de la Salud. Publicaciones CD, 20p. ISBN: 1-881722-59-7. San Juan de Puerto Rico, 2001.

SIQUEIRA, G. B. A.; ALMEIDA FILHO, A. T. Aplicação do Método Electre I para Seleção de Ideias de Inovação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 43., 2011, Ubatuba. **Anais do SBPO**. Ubatuba: Sobrapo, p. 3322 – 3332, 2011. ISSN 1518-1731.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO EM SANEAMENTO - SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. Brasília: Ministério das Cidades, Governo Federal, 2014.

TIBÚRCIO, E. C. **Desenvolvimento de uma interface em SIG para suporte ao dimensionamento hidráulico de sistemas de abastecimento de água**. 2006, 206p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

TWORT, A. C; RATNAYAKA, D. D.; BRANDT, M. J. **Water supply**. 5. ed. Londres: IWA, 676p, 2000.

USGS. **EarthExplorer - Home**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 20 nov. 2019.

YUAN, Z.; OLSSON, G.; CARDELL-OLIVER, R.; SCHARGEN, K. V.; MARCHI, A.; DELETIC, A.; URICH, C.; RAUCH, W.; LIU, Y.; JIANG, G. Sweating the assets - The role of instrumentation, control and automation in urban water systems. **Water Research**, Queensland, v. 155, p. 381- 402, 19 fev. 2019.

ZADEH L. A. **Fuzzy sets**. Information and Control, v. 8, p. 338-353, 1965.

APÊNDICE A – Cálculos do método ELECTRE I

i) Captação

Tabela – Matriz normalizada

Tomada de água	VNA	Vazão	Custo
Peso	0,333	0,333	0,333
Captação direta	0,176	0,333	0,294
Torre de tomada	0,412	0,467	0,529
Captação flutuante	0,412	0,200	0,176

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Tabela – Matriz de concordância

	Captação direta	Torre de tomada	Captação flutuante
Captação direta	-	0,66	0
Torre de tomada	0,33	-	0,33
Captação flutuante	1	1	-

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Tabela – Matriz de discordância

	Captação direta	Torre de tomada	Captação flutuante
Captação direta	-	0,66	0,66
Torre de tomada	0,66	-	1
Captação flutuante	0,33	0	-

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Tabela – Matriz veto

	Captação direta	Torre de tomada	Captação flutuante
Captação direta	-	0	0
Torre de tomada	0	-	0
Captação flutuante	0	1	-

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

ii) Tratamento

Tabela – Matriz normalizada

Tratamento/Critério	Turbidez (uT)	Controle operacional	Custo
Peso	0,333	0,333	0,333
Filtração lenta	0,028	0,200	0,333
Ciclo convencional	0,694	0,467	0,467
Filtração rápida ascendente	0,278	0,333	0,200

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Tabela – Matriz de concordância

	Filtração lenta	Ciclo convencional	Filtração rápida ascendente
Filtração lenta	-	0,66	0,33
Ciclo convencional	0,33	-	0,33
Filtração rápida ascendente	0,66	0,66	-

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Tabela – Matriz de discordância

	Filtração lenta	Ciclo convencional	Filtração rápida ascendente
Filtração lenta	-	1	0,38
Ciclo convencional	0,4	-	0,4
Filtração rápida ascendente	0,2	0,63	-

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Tabela – Matriz veto

	Filtração lenta	Ciclo convencional	Filtração rápida ascendente
Filtração lenta	-	0	0
Ciclo convencional	0	-	0
Filtração rápida ascendente	1	0	-

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.