

Apoio ao processo de avaliação do serviço de abastecimento de água no Rio Grande do Norte: uma abordagem multicritério

Support to the assessment process of the water supply service in Rio Grande do Norte State: a multicriteria approach

Felipe Luiz Neves Bezerra de Melo^{1*}, Marcos Paulo da Silva¹,
Rafael Rodrigues da Silva¹, Renan Felinto de Farias Aires²

RESUMO

O abastecimento de água e o saneamento são dois serviços essenciais para a sociedade, ainda mais no Brasil, onde há, historicamente, um déficit desses serviços básicos. Além disso, também se sabe que tais serviços envolvem muitos atores, que muitas vezes possuem perspectivas conflitantes, características de problemas multicriteriais. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar o serviço de abastecimento de água de oito municípios do Estado do Rio Grande do Norte (RN). Para tanto, foram selecionados 11 critérios, levando-se em consideração aspectos operacionais, financeiros e de qualidade da água, e foi adotado o método de apoio multicritério à decisão TOPSIS. Também foi utilizado o procedimento da entropia para a obtenção dos pesos de cada critério. Os resultados apontaram o município de Lagoa Nova como a alternativa com melhor serviço de abastecimento de água entre as opções estudadas. Em contrapartida, Santana do Matos foi o município com a pior avaliação do conjunto de alternativas estudadas.

Palavras-chave: abastecimento de água; apoio à decisão multicritério; TOPSIS.

ABSTRACT

Water supply and sewage are two essential services to society, especially in Brazil, where historically there has been a deficit of these crucial services. Moreover, it is also known that such services involve many actors who often have conflicting perspectives, characteristics of multicriteria problems. Thus, this paper aimed to evaluate the water supply service in eight cities of Rio Grande do Norte State, Brazil. Eleven criteria were selected, considering operational, financial and water quality aspects. We adopted the TOPSIS method to support the multicriteria decision. In addition, the entropy method was used to obtain the weights for each criterion. The results showed the city of Lagoa Nova as the alternative with the best water supply service of the alternatives studied. In contrast, Santana do Matos was the city with the worst water supply assessment of all the studied alternatives.

Keywords: water supply; multicriteria decision support; TOPSIS.

INTRODUÇÃO

Abastecimento de água e saneamento são dois serviços essenciais para o desenvolvimento sustentável da sociedade (SARGAONKAR; KAMBLE; RAO, 2013); atualmente, em todo o mundo, o aumento da demanda por água em áreas urbanas, com possíveis cenários adversos de clima e a falta de água, coloca novos desafios para os gestores de recursos hídricos (KODIKARA; PERERA; KULARATHNA, 2010).

No Brasil, que historicamente apresenta déficit em serviços básicos de abastecimento de água e saneamento básico, aproximadamente

9,8 milhões de famílias não têm acesso à rede de abastecimento de água e 25,5 milhões não têm acesso à rede de esgoto (IBGE, 2008). Esse problema tem impacto negativo direto na qualidade de vida dos brasileiros, com efeitos sobre a saúde, o meio ambiente e a economia (CARVALHO & SAMPAIO, 2015).

No Estado do Rio Grande do Norte (RN), os serviços de abastecimento de água e saneamento básico são de responsabilidade da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN). O órgão, criado em 1969, visa ao atendimento de toda a população

¹Professor de Administração do Instituto Federal do Rio Grande do Norte - Nova Cruz (RN), Brasil.

²Professor do Departamento de Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - Mossoró (RN), Brasil.

*Autor correspondente: felipeluzneves@hotmail.com

Recebido: 21/01/2016 - Aceito: 17/04/2017 - Reg. ABES: 158835

do Estado com água potável, coleta e tratamento de esgotos e possui 165 sistemas de abastecimento de água distribuídos em 153 sedes de municípios e 13 localidades. Em todo o RN são 40 sistemas de esgoto (CAERN, 2013).

Dada a importância do abastecimento de água e do saneamento, os estudos voltados para a avaliação de tais serviços vêm crescendo nos últimos anos, conforme Abbot e Cohen (2009). Sobre isso, uma série de pesquisas foi realizada nos últimos anos, tanto no âmbito internacional, a exemplo de Kodikara, Perera e Kularathna (2010), Okeola e Sule (2012), Maurer *et al.* (2012), Marques, Cunha e Savić (2015) e Kumar *et al.* (2016), como no cenário brasileiro, entre outros, por Miranda e Teixeira (2004), Ogera e Philip Junior (2005), Libânio, Chernicharo e Nascimento (2005), Heller, Coutinho e Mingoti (2006), Heller, Von Sperling e Heller (2009) e Von Sperling e Von Sperling (2013).

Nesse sentido, a avaliação de serviços de saneamento básico e abastecimento de água por meio de ferramentas que auxiliem os processos de planejamento, regulação, fiscalização e da própria prestação pode ser um caminho a ser utilizado por gestores da área. Sobre isso, sabe-se que tais serviços envolvem muitos atores, incluindo empresas de água, governos, ambientalistas, consumidores e instituições financeiras, de forma que eles tendem a ter perspectivas conflitantes (MARQUES; CUNHA; SAVIĆ, 2015). Partindo do princípio de que a problemática em questão envolve múltiplos critérios e diversas alternativas, além de diferentes perspectivas, a utilização do apoio multicritério à decisão (AMD) é indicada.

No contexto dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, o AMD — que consiste em um conjunto de métodos e técnicas para auxiliar ou apoiar pessoas e organizações a tomarem decisões, sob a influência de uma multiplicidade de critérios (ALMEIDA, 2013; DOUMPOS; ZOPOUNIDIS; GALARIOTIS, 2014) —, apesar de geralmente ser utilizado com o objetivo de apoiar a avaliação de alternativas (HELLER; VON SPERLING; HELLER, 2009; OKEOLA; SULE, 2012) ou de propor de modelos relacionados à temática (KODIKARA; PERERA; KULARATHNA, 2010; MARQUES; CUNHA; SAVIĆ, 2015), percebe-se que ainda há um campo fértil para exploração dessas formas de análises, principalmente para regiões com certas especificidades, como é o caso da Região Nordeste do Brasil, área notavelmente importante quando se trata de abastecimento de água.

Assim, diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o serviço de abastecimento de água em oito municípios de cada uma das mesorregiões do RN. Para tanto, foram selecionados 11 critérios, levando-se em consideração aspectos operacionais, financeiros e de qualidade da água, e foi adotado o método de AMD TOPSIS (do inglês *technique for order preference by similarity to ideal solution*). Também foi utilizado o método da entropia para a obtenção dos pesos de cada critério.

O artigo está estruturado da seguinte forma: em primeiro lugar, apresenta uma breve revisão de literatura sobre estudos voltados ao

contexto dos serviços de abastecimento e esgotamento sanitário; em seguida apresentam-se os materiais e métodos do estudo; depois, é apresentada a análise e discussão dos resultados; e, finalmente, tece a conclusão do estudo, sintetizando as principais inferências.

REVISÃO DA LITERATURA

A avaliação de eficiência e eficácia dos serviços regulados é feita após uma combinação coerente de indicadores confiáveis, que abranja diferentes momentos e objetos desse processo. Eles são aplicados como instrumentos de avaliação ao longo do processo de execução das atividades e podem instruir a correção de rumos na gestão (SILVA, 2006).

Alguns estudos encontrados na literatura fizeram uso desses indicadores para realização de análises comparativas e avaliação dos serviços de água e esgotamento sanitário, como Miranda e Teixeira (2004), Ogera e Philip Junior (2005), Libânio, Chernicharo e Nascimento (2005).

Miranda e Teixeira (2004) desenvolveram indicadores de sustentabilidade aplicados aos sistemas urbanos de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Os instrumentos foram selecionados a partir da literatura, baseados nos seguintes princípios: equidade; respeito às condições locais; desempenho econômico; geração de trabalho e renda; gestão solidária e participativa; informatização e sensibilização; uso responsável dos recursos naturais; prevenção e compensação de impactos. O estudo também adotou 11 critérios para avaliação dos indicadores, que foram hierarquizados por meio de pontuação (0, 1 e 2). Por fim, foi definido um conjunto de 22 indicadores para o monitoramento de políticas públicas.

Também utilizando indicadores, Ogera e Philip Junior (2005) analisaram a gestão dos serviços de água e esgoto nos municípios de Campinas, Santo André, São José dos Campos e Santos, Estado de São Paulo, no período de 1996 a 2000. O trabalho foi desenvolvido por meio de pesquisa bibliográfica, documental, descritiva e investigação explicativa. O estudo comparou indicadores operacionais e financeiros de água e esgoto dos municípios e verificou o comportamento dos índices durante o período. As análises permitiram o mapeamento da gestão do abastecimento e esgotamento dessas cidades, considerando índices como: volumes de água e esgoto (tratados e não tratados); receitas e despesas operacionais de serviços de água; e investimentos em sistemas de água e esgoto. A pesquisa revelou a influência de ideais políticos na gestão das políticas públicas entre o órgão gestor dos serviços de água e esgoto e o gestor das prefeituras.

Em outra perspectiva, Libânio, Chernicharo e Nascimento (2005) associaram índices de abastecimento e saneamento com indicadores sociais e de saúde pública, enfatizando a dimensão da qualidade da água. A pesquisa utilizou dados secundários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). O estudo foi baseado em três pilares:

saneamento ambiental, saúde pública e gestão de recursos hídricos. Além disso, foram mapeadas as interfaces entre esses aspectos, a saber: preservação/recuperação de ambientes aquáticos, educação ambiental, abastecimento de água para consumo humano, tratamento de efluentes e esgotamento sanitário, drenagem urbana, controle da emissão de gases e coleta e disposição de resíduos sólidos.

Heller, Coutinho e Mingoti (2006) compararam 600 municípios de Minas Gerais, segundo as diferentes categorias de gestores dos serviços de saneamento, com a utilização de indicadores operacionais, epidemiológicos e sociais. Os municípios foram agrupados de acordo com a instituição responsável pela gerência administrativa e operacional dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento. O procedimento metodológico foi organizado em três etapas:

- realização de análise de variância (ANOVA) univariada a um fator de cada indicador de grupos de municípios;
- agrupamento de indicadores em um número menor de variáveis, por meio da técnica de análise de componentes principais;
- análise de variância multivariada a um fator (MANOVA), para comparar globalmente os conjuntos de cidades. As análises indicaram que as companhias estaduais possuem destacada cobertura por rede de abastecimento de água e de esgotamento sanitário e eficiência com a hidrometração das ligações, bem como racionalização de número de trabalhadores nas atividades-fim e bons indicadores operacionais. Além disso, o estudo identificou o bom desempenho do modelo das autarquias, mostrando-se, se não superior em alguns aspectos, equivalente ao da companhia estadual.

Por meio de uma abordagem quali-quantitativa, Heller, Von Sperling e Heller (2009) avaliaram comparativamente o desempenho tecnológico dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário dos municípios de Itabirito, Nova Lima, Ouro Preto e Vespasiano, Estado de Minas Gerais. A avaliação comparativa entre os serviços de saneamento foi feita por intermédio do método TOPSIS. A aplicação do método teve como finalidade a agregação dos indicadores construídos a partir dos estudos de caso e, conseqüentemente, a hierarquização da qualidade tecnológica dos serviços de saneamento, resultando em uma nota final para cada serviço avaliado. Os resultados mostraram diferenças entre os serviços verificados. Destacaram-se positivamente os serviços administrados pelas companhias estaduais das cidades de Vespasiano e Nova Lima em termos de cadastro de redes, controle de perdas e alta tecnologia utilizada na operação dos sistemas; e pelo serviço autárquico de Itabirito pelos baixos valores de tarifas praticados e pela alta cobertura por rede de esgotos. Por outro lado, os serviços diretamente administrados pelas prefeituras municipais de Nova Lima e Ouro Preto apresentaram mais baixo desempenho, apesar da alta cobertura pela rede de água e de esgotos.

Kodikara, Perera e Kularathna (2010), semelhante a Heller, Von Sperling e Heller (2009), também utilizaram um método multicritério em seu estudo, o PROMETHEE (do inglês *Preference Ranking Organization Method of Enrichment Evaluations*). Os autores, que objetivaram desenvolver um sistema de apoio à decisão para avaliar regras alternativas de funcionamento para abastecimento urbano de água, avaliaram 16 alternativas de operação para o sistema de abastecimento de água de Melbourne, na Austrália, levando em consideração aspectos sociais, econômicos, ambientais e técnicos de longo prazo. A partir desses aspectos, foi identificado um total de oito medidas de performance. Participaram do desenvolvimento do modelo do estudo três grandes grupos hipotéticos de partes interessadas: gestores de recursos, usuários de água e grupos de interesse ambientais. Como resultado, foi apresentado um modelo para avaliar alternativas de funcionamento para abastecimento urbano de água.

Okeola e Sule (2012) compararam três possíveis opções para a gestão do sistema de abastecimento urbano de água a ser implantado em Offa, no Estado de Kwara, na Nigéria. A pesquisa utilizou dados obtidos por meio de *surveys* junto a um hipotético grupo de decisão em relação a critérios ambientais, econômicos, técnicos, institucionais e socioculturais. Para isso, foi utilizado o método multicritério AHP (do inglês *Analytic Hierarchy Process*) e, como resultado, as partes interessadas escolheram a opção em que tanto a propriedade como a operação do sistema de abastecimento urbano de água deveriam ser de responsabilidade do sistema público.

O estudo de Maurer *et al.* (2012) diferenciou-se dos demais na medida em que os autores tinham foco no problema de geração de alternativas, ponto que ainda não tinha recebido a atenção devida. Assim, os autores apresentaram um procedimento de avaliação da compatibilidade para determinar um conjunto de potenciais alternativas de sistemas de saneamento. O processo envolveu dois passos principais: a geração de todas as possíveis combinações de opções de sistemas de saneamento; e a identificação das potenciais alternativas com elementos compatíveis entre todas as opções possíveis. Dessa forma, os autores apresentaram um conjunto de alternativas de tamanho razoável e controlável, a partir do qual a solução final pode ser selecionada.

Em outra abordagem, Von Sperling e Von Sperling (2013) propuseram um sistema único de 46 indicadores de desempenho específicos para o serviço de esgotamento sanitário, baseado em uma metodologia fundamentada principalmente na avaliação comparativa dos indicadores de desempenho utilizados e na consulta aos especialistas do setor com uso da metodologia Delphi. Esse trabalho gerou 46 indicadores de desempenho propostos que compõem um sistema único de informações relativo ao serviço de esgotamento sanitário, que pode ser utilizado pelos diversos atores ligados ao saneamento básico.

Marques, Cunha e Savić (2015) propuseram um modelo para o projeto de planejamento de redes de distribuição de água. Para isso,

os autores levaram em consideração quatro critérios (custos de investimento, emissão de carbono, déficit máximo de pressão e máximo de água não fornecida) e utilizaram o método multicritério PROMETHEE. Para a validação do modelo, foi realizado um estudo de caso com nove alternativas.

O Quadro 1 apresenta uma síntese dos estudos supracitados.

Em síntese, pode-se colocar que a utilização de indicadores de forma qualitativa e descritiva (MIRANDA & TEIXEIRA, 2004; OGERA; PHILIP JUNIOR, 2005; LIBÂNIO; CHERNICHARO; NASCIMENTO, 2005) tem a vantagem de conduzir uma análise exploratória de determinada

realidade que ainda carece de maior compreensão. Apesar disso, a não utilização de métodos matemáticos/quantitativos impossibilita possíveis inferências advindas da utilização de métodos desse gênero.

Logo, a utilização de métodos quantitativos pode propiciar a realização de inferências comparativas, como no caso dos estudos de Heller, Coutinho e Mingoti (2006) e de Von Sperling e Von Sperling (2013), que utilizaram os métodos MANOVA e Delphi, respectivamente. Em um contexto mais específico, a grande vantagem da utilização de métodos AMD é propiciar insumos para decisões precisas e fundamentadas. Para a escolha de um método em detrimento de outro, vários

Quadro 1 - Quadro de revisão.

Autores	Objetivo	Amostra	Método	Resultados
Miranda e Teixeira (2004)	Propor indicadores de sustentabilidade para sistemas urbanos de abastecimento de água e esgotamento sanitário	Indicadores encontrados na literatura (não descritos no trabalho)	Revisão da literatura, validação com especialistas e hierarquização	Conjunto de 22 indicadores para monitoramento de políticas públicas
Ogera e Philip Junior (2005)	Analisar a gestão dos serviços de água e esgoto em Campinas, Santo André, São José dos Campos e Santos	4 municípios do interior de São Paulo	Pesquisa bibliográfica e documental	Mapeamento da gestão do abastecimento e esgotamento dessas cidades
Libânio, Chernicharo e Nascimento (2005)	Demonstrar que a disponibilidade hídrica é condição importante, mas não suficiente para garantir o bem-estar social	Indicadores de disponibilidade hídrica, saneamento, sociais e de saúde	Análise de indicadores sociais e de saúde	O bem-estar das populações é melhor retratado pela abrangência dos serviços de água e de esgotamento
Heller, Coutinho e Mingoti (2006)	Avaliar comparativamente os diferentes modelos de gestão nos municípios do estado de Minas Gerais	600 municípios de Minas Gerais	Análises de variância (ANOVA e MANOVA)	Verificou-se bom desempenho das autarquias, mostrando-se equivalente ao da companhia estadual
Heller, Von Sperling e Heller (2009)	Avaliar comparativamente o desempenho dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário de 4 municípios de Minas Gerais	4 municípios do interior de Minas Gerais	Abordagem quali-quantitativa com uso do TOPSIS	Identificou-se os municípios que possuem melhor desempenho
Kodikara, Perera e Kularathna (2010)	Desenvolver um sistema de apoio à decisão para avaliar regras alternativas de funcionamento para abastecimento urbano de água	16 alternativas de operação para o sistema de abastecimento de Melbourne	PROMETHEE	Desenvolveu-se um modelo para avaliar alternativas de funcionamento para abastecimento urbano de água
Okeola e Sule (2012)	Avaliar alternativas de gestão para o sistema de abastecimento urbano de água a ser implantado em uma cidade da Nigéria	3 opções de gestão	AHP	Identificou-se a melhor opção com base em critérios ambientais, econômicos, técnicos, institucionais e socioculturais
Maurer <i>et al.</i> (2012)	Gerar potenciais alternativas no domínio do planejamento da tomada de decisão em sistemas de saneamento	Alternativas encontradas na literatura	Procedimento de avaliação da compatibilidade entre alternativas	Apresentou-se um procedimento para a determinação de um conjunto de alternativas para sistemas de saneamento
Von Sperling e Von Sperling (2013)	Propor indicadores de desempenho para avaliações da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário no Brasil	699 indicadores de desempenho	Análise de indicadores, método Delphi e aplicação de matriz de importância	Elaboração de 46 indicadores de desempenho relativos ao serviço de esgotamento sanitário
Marques, Cunha e Savić (2015)	Propor um modelo para o projeto de planejamento de redes de distribuição de água	9 alternativas de <i>design</i>	PROMETHEE	Elaborou-se o modelo e identificou-se a melhor alternativa dentre as 9 avaliadas de acordo com 4 critérios

TOPSIS: *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*; PROMETHEE: *Preference Ranking Organization Method of Enrichment Evaluations*; AHP: *Analytic Hierarchy Process*.

fatores diferentes devem ser levados em consideração, como o caráter de compensação, o problema analisado, as informações disponíveis e seu grau de precisão, entre outros (ALMEIDA, 2013).

Os estudos de Kodikara, Perera e Kularathna (2010) e Marques, Cunha e Savić (2015) propuseram modelos baseados no PROMETHEE, um dos métodos não compensatórios mais conhecidos na literatura. A grande vantagem desse método é dada pela sua própria característica de compensação, em que há requisição por uma informação intercritério correspondente à importância relativa entre os critérios, evitando o favorecimento de ações que têm excelente desempenho em um critério, mas que são fracas nos demais.

Por outro lado, Okeola e Sule (2012) e Heller, Von Sperling e Heller (2009) optaram pela utilização de métodos compensatórios em suas análises. As características de métodos compensatórios são justamente aquelas opostas aos não compensatórios, ou seja, tem-se a ideia de compensar um menor desempenho de uma alternativa em um dado critério por meio do melhor desempenho em outro critério.

Dentre os métodos compensatórios, Okeola e Sule (2012) utilizaram o AHP, enquanto Heller, Von Sperling e Heller (2009) se utilizaram do TOPSIS. A diferença entre ambos é que o primeiro se baseia na análise de problemas a partir de comparações em pares, em prioridades explicitamente declaradas pelos decisores em todos os critérios (KULAKOWSKI, 2015). Já o TOPSIS baseia-se na ideia de que a alternativa escolhida deverá ter a distância mais curta entre a solução ideal positiva e a maior distância da solução ideal negativa (HWANG & YOON, 1981).

Portanto, com base em todo o exposto, utilizou-se como método para o presente estudo o TOPSIS, devido à característica de compensação dos critérios, bem como pelas características das informações disponíveis. Além disso, não havia disponibilidade de gestores para construção de comparações pareadas, como requerido pelo AHP.

MATERIAIS E MÉTODO

Amostra

Para a realização deste estudo, foram selecionados oito municípios do RN, envolvendo as quatro mesorregiões do Estado. Para tornar a amostra homogênea, permitindo a comparação entre os municípios, foram consideradas algumas características, tais como a população e o produto interno bruto (PIB), conforme a Tabela 1. Desse modo, há similaridade entre os municípios, tornando a amostra homogênea.

A Tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas para selecionar os municípios pertencentes à amostra.

Os resultados apontam relativa homogeneidade das alternativas selecionadas na amostra, com a população apresentando média de 13.786 habitantes e desvio padrão de 380,07. Em relação às demais

variáveis, a média da densidade demográfica foi de 44,4 habitantes por km²; a área territorial média foi de 494,31 km²; e o PIB *per capita* médio foi de 6.709,60.

Critérios

Foram utilizados 11 critérios disponibilizados pela CAERN para análise do abastecimento de água nos municípios. Os critérios encontram-se divididos em três categorias: operacional, financeiro e qualidade. O Quadro 2 apresenta a descrição dos critérios e suas respectivas categorias.

A Tabela 3 apresenta as estatísticas descritivas dos critérios utilizados.

Observando os dados da Tabela 3, verifica-se que, de maneira geral, os critérios têm magnitudes distintas. Entretanto, o desvio padrão encontrado indica que C2, C6 e C7 demonstram baixa dispersão dos dados, ao contrário de C4, C8 e C10, que apresentaram as maiores dispersões.

Tabela 1 - Características dos municípios.

Mesorregião do município	Município	População	Área territorial (km ²)	Densidade demográfica (habitantes/km ²)	PIB <i>per capita</i>
Agreste	Tangará	14.175	356,83	39,7	6.575,51
	Poço Branco	13.949	230,40	60,5	4.896,45
Leste	Pedro Velho	14.114	192,71	73,2	5.823,70
Central	Lagoa Nova	13.893	176,30	79,3	6.060,16
	Jardim de Piranhas	13.506	330,53	40,9	6.959,42
	Santana do Matos	13.809	1.419,54	9,7	6.625,26
Oeste	Ipanguaçu	13.856	374,25	37,0	6.639,57
	Upanema	12.992	873,93	14,9	10.096,77

PIB: produto interno bruto.

Fonte: IBGE (2010).

Tabela 2 - Estatísticas descritivas dos municípios.

	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
População	13.786,75	380,0721	12.992	14.175
Área territorial (km ²)	494,3113	434,5839	176,3	1.419,54
Densidade demográfica (habitantes/km ²)	44,4	25,27025	9,7	79,3
Produto interno bruto <i>per capita</i>	6.709,605	1.514,663	4.896,45	10.096,77

Método utilizado

Para a determinação do método a ser utilizado na pesquisa, deve-se levar em consideração o problema analisado, as informações disponíveis e seu grau de precisão, o tipo de problemática, entre outros aspectos, conforme recomenda Almeida (2013). Logo, para o caso deste estudo, utilizou-se o TOPSIS porque trata-se de um método compensatório, fator requerido pela característica dos critérios analisados (ALMEIDA, 2013). Além disso, optou-se pela utilização do TOPSIS dentre os métodos compensatórios devido às informações disponíveis (reais e precisas) e por se tratar de um modelo de fácil utilização e com robustez de resultados, o que promoveu sua vasta utilização, seja de forma individual ou conjunta com outros métodos, como aponta o estudo de Behzadian *et al.* (2012).

O método TOPSIS, inicialmente proposto por Hwang e Yoon (1981), parte do princípio de que uma dada alternativa esteja o mais próximo possível de uma solução hipotética ideal (solução ideal positiva) e o

mais distante possível de um ponto anti-ideal (solução ideal negativa) (ALMEIDA, 2013). Como justificativa para a adoção desse tipo de metodologia, pode-se citar o axioma da racionalidade da escolha, no qual é mais racional a opção por uma alternativa mais próxima de uma solução ideal (ZELENY, 1982).

Em síntese, todo o procedimento adotado, incluindo o TOPSIS, pode ser expresso em uma série de etapas esquematizadas na Figura 1 e apresentadas nas Equações de 1 a 11:

1. Calcula-se a matriz de decisão normalizada n_{ij} (Equação 1);

$$n_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij}^2, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n \quad (1)$$

2. Calcula-se a matriz de decisão ponderada r_{ij} (Equação 2);

$$r_{ij} = w_j n_{ij}, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n \quad (2)$$

Quadro 2 - Descrição dos critérios.

Critério	Categoria	Descrição
C1	Operacional	Índice de micromedição relativo ao volume disponibilizado
C2		Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água
C3		Índice bruto de perdas lineares
C4	Financeiro	Margem da despesa de exploração
C5		Participação da despesa com energia elétrica nas despesas de exploração
C6		Participação da despesa com produtos químicos nas despesas de exploração
C7		Participação da receita operacional indireta na receita operacional total
C8		Dias de faturamento comprometidos com contas a receber
C9	Qualidade	Índice de conformidade da quantidade de amostra – cloro residual
C10		Índice de conformidade da quantidade de amostra – turbidez
C11		Índice de conformidade da quantidade de amostra – coliformes totais

Tabela 3 - Estatísticas descritivas dos critérios utilizados para os oito municípios avaliados.

Critério	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
C1	30,04	19,03	6,5	56,5
C2	1,51	2,09	0,26	6,55
C3	48,66	48,47	10,8	164,6
C4	159,74	147,37	74,8	521,1
C5	26,08	16,35	10,4	63,1
C6	2,05	1,81	0	5,0
C7	8,46	6,84	4,6	25,1
C8	176,75	152,56	60	521,0
C9	101,54	46,64	50	185,3
C10	253,71	161,15	60,3	533,3
C11	101,2	46,63	50,0	185,3

Em que:

w_j = o peso do atributo ou critério (Equação 3);

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (3)$$

3. Determina-se a solução ideal positiva A^+ (Equação 4) e negativa A^- (Equação 5);

$$A^+ = \{r_1^+, \dots, r_n^+\} = \{(maxr_{ij} \mid i \in I), (minr_{ij} \mid i \in J)\} \quad (4)$$

$$A^- = \{r_1^-, \dots, r_n^-\} = \{(minr_{ij} \mid i \in I), (maxr_{ij} \mid i \in J)\} \quad (5)$$

Em que:

I está associado aos critérios de benefício e

J está associado aos critérios de custo.

4. Calculam-se as distâncias de cada uma das alternativas em relação às soluções ideais, sendo a distância da alternativa j para a solução positiva obtida pela Equação 6 e para a solução negativa pela Equação 7;

$$d_j^+ = \left[\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^+)^2 \right]^{1/2}, \quad i=1, \dots, m \quad (6)$$

$$d_j^- = \left[\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^-)^2 \right]^{1/2}, \quad i=1, \dots, m \quad (7)$$

5. Calcula-se a proximidade relativa de cada alternativa (Equação 8):

$$R_j = \frac{(d_j^-)}{(d_j^+) + (d_j^-)}, \quad i=1, \dots, m \quad (8)$$

6. Ordenam-se as alternativas em ordem decrescente de acordo com o R_j .

Ademais, em conjunto com o TOPSIS, foi utilizado o método da entropia, apresentado em Pomeroy e Romero (2000) e descrito nas Equações 9, 10 e 11, com o objetivo de determinar os pesos dos critérios do modelo. Nessa técnica, elimina-se a necessidade de atribuição direta dos níveis de importância pelos decisores e assume-se que quanto maior a variabilidade de valores de dado critério, maior deverá ser sua importância. Dessa forma, considerou-se o uso do método da entropia devido ao problema conter muitos critérios específicos e de difícil valoração direta por parte dos decisores, atrelado ao poder de discriminação das alternativas do método, facilitando sua análise. O cálculo dos pesos é efetuado por meio dos dados contidos na matriz de decisão normalizada $R=[r_{ai}]_{M \times N}$, utilizando-se de uma série de etapas:

1. Calcula-se a entropia (E_i) do critério i (Equação 9);

$$E_i = - \frac{1}{\ln(M) \sum_{a=1}^M a_{ai} \ln(a_{ai})}, \quad \forall i=1, 2, \dots, N \quad (9)$$

2. Calcula-se a dispersão D_i para cada critério i (Equação 10):

$$D_i = 1 - E_i, \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

3. Calcula-se o peso w_i para cada critério i (Equação 11).

$$w_i = \frac{D_i}{\sum_{k=1}^N D_k}, \quad \forall i=1, 2, \dots, N \quad (11)$$

Assim, com a utilização desses métodos, acredita-se que o modelo proposto apresentará resultados satisfatórios e robustos diante da problemática em estudo.

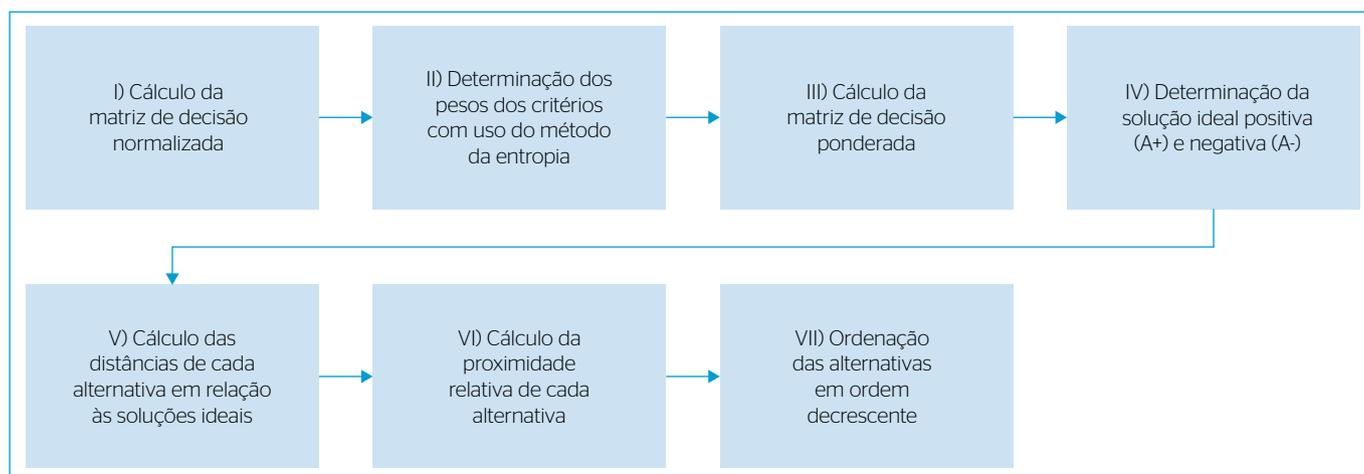


Figura 1 - Fluxograma do método.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Tabela 4 apresenta os dados para cada um dos critérios dos oito municípios utilizados neste estudo.

A partir dos dados foi realizada a normalização (Anexo 1), sendo esse o primeiro passo do método TOPSIS. Em seguida, foi realizada a aferição dos pesos de cada um dos critérios com o método da entropia. A Tabela 5 apresenta os pesos obtidos por meio da técnica de entropia. Ressalta-se que os critérios índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água (operacional) e participação da despesa com produtos químicos nas despesas de exploração (financeiro) tiveram os maiores pesos na análise.

Destaca-se ainda que os pesos e critérios foram validados por meio de consulta com o diretor de abastecimento da CAERN. Após a obtenção dos pesos de cada critério, foi realizado o terceiro passo do TOPSIS, que é a geração da matriz ponderada dos dados (Anexo 2), resultante da multiplicação da matriz normalizada pelos pesos dos respectivos critérios.

Em seguida, foram estabelecidas as soluções ideais positivas e negativas para cada um dos critérios (Anexo 3). No que diz respeito à operacionalidade, o critério 1 apresentou como solução ideal positiva o município de Santana do Matos, já a solução ideal negativa foi Ipanguaçu.

Em relação ao critério 2, a solução ideal positiva foi Lagoa Nova, e a solução negativa, Jardim de Piranhas. Sobre o critério 3, a solução ideal positiva foi Jardim de Piranhas, e a solução ideal negativa, Poço Branco.

No que diz respeito ao aspecto financeiro, o critério 4 teve como solução ideal positiva Lagoa Nova, e como solução ideal negativa, Santana do Matos. Já o critério 5 apresentou como solução ideal positiva Lagoa Nova, e como negativa, Santana do Matos. Em relação ao critério 6, a solução ideal positiva foi Pedro Velho, e a solução ideal negativa, Tangará. Sobre o critério 7, a solução positiva foi Tangará, e a solução negativa, Upanema. Sobre o critério 8, a solução positiva foi Lagoa Nova, e a solução negativa, Santana do Matos.

Em relação à qualidade, o critério 9 apresentou como solução ideal positiva Lagoa Nova, e como negativa, Ipanguaçu. Já o critério 10 apresentou como solução ideal positiva a cidade de Pedro Velho, e como negativa, Santana do Matos. Por fim, o critério 11 apresentou como solução ideal positiva Lagoa Nova, e como negativa, Ipanguaçu.

A Tabela 6 apresenta as distâncias de cada alternativa para as soluções ideais positiva ($Di+$) e negativa ($Di-$), o coeficiente de proximidade e a posição no *ranking* de cada alternativa.

Tabela 4 - Critérios e alternativas.

Município	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
Tangará	28,3	1,56	37,0	120,6	28,4	0,0	25,1	128	78,3	276,5	78,3
Lagoa Nova	42,6	6,55	50,7	521,1	63,1	0,5	8,8	521	185,3	272,9	185,3
Poço Branco	19,9	1,07	10,8	105,7	18,4	0,6	5,4	254	75,0	375,0	75,0
Pedro Velho	20,6	0,71	34,1	143,2	13,4	5,0	5,9	156	106,7	533,3	106,7
Ipanguaçu	6,5	0,34	39,1	92,3	20,8	3,9	6,8	145	50,0	100,0	50,0
Jardim de Piranhas	11,6	0,26	164,6	113,8	26,8	2,9	5,7	87	152,3	100,0	152,3
Santana do Matos	56,5	0,39	35,0	74,8	10,4	1,0	5,4	60	60,3	60,3	60,3
Upanema	54,3	1,16	18,0	106,4	27,3	2,5	4,6	63	104,4	311,7	101,7

Fonte: CAERN (2013).

Tabela 5 - Pesos dos critérios.

Critérios	Pesos
Índice de micromedição relativo ao volume disponibilizado	0,063761673
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água	0,242829759
Índice bruto de perdas lineares	0,096047318
Margem da despesa de exploração	0,093634426
Participação da despesa com energia elétrica nas despesas de exploração	0,056941000
Participação da despesa com produtos químicos nas despesas de exploração	0,130418265
Participação da receita operacional indireta na receita operacional total	0,070562363
Dias de faturamento comprometidos com contas a receber	0,095356655
Índice de conformidade da quantidade de amostra – cloro residual	0,038486130
Índice de conformidade da quantidade de amostra – turbidez	0,073485594
Índice de conformidade da quantidade de amostra – coliformes totais	0,038476818

Por meio da análise de critérios operacionais (C1 a C3), financeiros (C4 a C8) e em qualidade do serviço de abastecimento no índice de conformidade da quantidade de amostra (cloro residual; C9) e no índice de conformidade da quantidade da amostra (coliformes totais; C11), verificou-se Lagoa Nova apresentou a melhor avaliação nos serviços de abastecimento de água da amostra. Pedro Velho ocupou a segunda posição. Em terceiro no *ranking* figura Ipanguaçu. O quarto lugar no *ranking* foi Upanema. A quinta posição é de Tangará. Em sexto lugar está Jardim de Piranhas. Já o sétimo colocado foi Poço Branco. Por fim, o oitavo colocado foi Santana do Matos.

Lagoa Nova apresentou-se como solução ideal positiva nos critérios C2, C4, C5, C6, C8, C9 e C11; no conjunto de alternativas, não se apresentou como solução ideal negativa em nenhum dos 11 critérios. Tal cidade apresentou-se como a alternativa com melhor desempenho nos critérios financeiros (quatro de cinco critérios) e em qualidade do serviço de abastecimento (dois de três critérios: C9 e C11).

Em contrapartida, Santana do Matos apresentou a pior colocação no *ranking*. Santana do Matos foi considerado solução ideal negativa em quatro critérios (C4, C5, C8 e C10), sendo três financeiros e um de qualidade (C10). O município é localizado na região central do Estado, com clima semiárido e vegetação de caatinga, uma das regiões mais castigadas pelo baixo índice pluviométrico e por reservas de água

insuficientes. Todos os rios são intermitentes e o abastecimento de água é realizado pela adutora Luiz Francisco de Macedo.

Vale ressaltar que, diante dos resultados adversos apresentados principalmente pelos municípios das últimas posições do *ranking*, cabe aos gestores da área de saneamento e abastecimento de água dos respectivos municípios buscar os entes públicos responsáveis por assisti-los visando à melhoria dos sistemas. Nesse caso, uma alternativa é recorrer ao Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS), área técnica de suporte às ações da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades (SNSA), que é justamente voltada para o desenvolvimento de ações no campo da estruturação dos serviços de saneamento brasileiros, contribuindo para a melhoria da gestão como um todo (planejamento, regulação, fiscalização e prestação) (PMSS, 2015).

Finalmente, como forma de validação e para fins de comparação, os dados tratados neste estudo foram testados para outros dois métodos multicritério clássicos: PROMETHEE e ELECTRE. Devido à necessidade da geração de um *ranking* para comparação e pelo ELECTRE não ter esse aspecto como resultado em seu método original, foi utilizado o método de concordância e discordância pura proposto por Chatterjee, Mondal e Chakraborty (2014). Os resultados são apresentados de forma agregada na Tabela 7.

Tabela 6 - Resultados e ranking.

	Região	Di+	Di-	Coefficiente de proximidade	Posição no ranking
Tangará	Agreste	0,003014	0,000179	0,056005126	5
Lagoa Nova	Central	0,000439	0,003947	0,899942809	1
Poço Branco	Agreste	0,003415	7,31E-05	0,020957468	7
Pedro Velho	Leste	0,003407	0,000553	0,139749416	2
Ipanguaçu	Oeste	0,003876	0,000325	0,077406737	3
Jardim de Piranhas	Central	0,004044	0,00018	0,042651632	6
Santana do Matos	Central	0,004131	2,35E-05	0,0056496	8
Upanema	Oeste	0,003038	0,000214	0,06593154	4

Di+: solução ideal positiva; Di-: solução ideal negativa.

Tabela 7 - Resultados comparativos entre três métodos multicritério.

Município	Região	Posição no ranking		
		TOPSIS	PROMETHEE	ELECTRE
Tangará	Agreste	5	3	2
Lagoa Nova	Central	1	1	1
Poço Branco	Agreste	7	6	6
Pedro Velho	Leste	2	2	2
Ipanguaçu	Oeste	3	7	5
Jardim de Piranhas	Central	6	5	2
Santana do Matos	Central	8	8	8
Upanema	Oeste	4	4	6

A partir da Tabela 7, tem-se que, para todos os métodos, os municípios de Lagoa Nova e Pedro Velho ocupam, nessa ordem, a primeira e a segunda posições. Esse resultado apenas reforça os achados deste estudo e ratifica as inferências já colocadas. Em relação aos demais municípios, percebeu-se grande variação de posições devido a dois fatores principais:

- o resultado do ELECTRE, mesmo com o auxílio do método da concordância e discordância pura, apresentou muitas alternativas com incomparabilidades, resultando em empates;
- os resultados diferentes do PROMETHEE em relação ao TOPSIS ocorreram devido às próprias diferenças de concepção dos métodos em questão. Portanto, os resultados da análise comparativa corroboram a validação do modelo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo buscou avaliar os serviços de abastecimento de água de oito municípios do RN. Ao hierarquizar os oito municípios, Lagoa Nova ocupou a melhor posição do *ranking*, dado o seu desempenho

nos conjuntos de critérios financeiros, apresentando resultados positivos quanto a margem da despesa de exploração, participação da despesa com energia elétrica nas despesas de exploração, participação da despesa com produtos químicos nas despesas de exploração e dias de faturamento comprometidos com contas a receber. Em relação aos critérios de qualidade, Lagoa Nova apresentou resultados positivos em índice de conformidade da quantidade de amostra (cloro residual) e índice de conformidade da quantidade de amostra (coliformes totais).

Ressalta-se ainda que a identificação dos principais critérios a serem utilizados, bem como o estabelecimento de pesos, é uma contribuição do modelo proposto, haja vista a similaridade dos valores de cada critério, sendo esse procedimento apoiado pela posterior validação com o decisor.

Sugere-se como ampliação desta pesquisa a realização de análise qualitativa entre esses municípios para aprofundar possíveis explicações para tais resultados, bem como a realização de análise de sensibilidade para avaliar o efeito de reversão de *ranking* a partir da inclusão ou retirada de outros critérios.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, M.; COHEN, B. (2009) Productivity and efficiency in the water industry. *Utilities Policy*, v. 17, p. 233-244. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2009.05.001>
- ALMEIDA, A.T. (2013) *Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério*. São Paulo: Atlas.
- BEHZADIAN, M.; OTAGHSARA, S.K.; YAZDANI, M.; IGNATIUS, J. (2012) A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, v. 39, n. 17, p. 13051-13069. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>
- CARVALHO, A.E.C.; SAMPAIO, L.M.B. (2015) Paths to universalize water and sewage services in Brazil: the role of regulatory bodies in promoting the efficiency of service providers. *Utilities Policy*, v. 34, p. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2015.03.001>
- CHATTERJEE, P.; MONDAL, S.; CHAKRABORTY, S. (2014) A comprehensive solution to automated inspection device selection problems using Electre methods. *International Journal of Technology*, v. 5, n. 2, p. 193-208. <https://doi.org/10.14716%2Fijtech.v5i2.410>
- COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE (CAERN). (2013). A Companhia. ACS CAERN. Disponível em: <<http://www.caern.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=496&ACT=&PAGE=O&PARM=&LBL=A+Caern>>. Acesso em: 09 mai. 2018.
- DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C.; GALARIOTIS, E. (2014) Inferring robust decision models in multicriteria classification problems: An experimental analysis. *European Journal of Operational Research*, v. 236, n. 2, p. 601-611. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.12.034>
- HELLER, L.; COUTINHO, M.L.; MINGOTI, S.A. (2006) Diferentes modelos de gestão de serviços de saneamento produzem os mesmos resultados? Um estudo comparativo em Minas Gerais com base em indicadores. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 11, n. 4, p. 325-336. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522006000400005>
- HELLER, P.G.B.; VON SPERLING, M.; HELLER, L. (2009) Desempenho tecnológico dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário em quatro municípios de Minas Gerais: uma análise comparativa. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 14, n. 1, p. 109-111. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522009000100012>
- HWANG, C.L.; YOON, K. (1981) *Multiple attribute decision making: methods and applications*. Nova York: Springer-Verlag.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2008) *Pesquisa nacional de saneamento básico 2008*. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000105.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2015.
- _____. (2010) *Sinopse do censo demográfico 2010*. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php>>. Acesso em: 10 jan. 2015.
- KODIKARA, P.N.; PERERA, B.J.C.; KULARATHNA, M.D.U.P. (2010) Stakeholder preference elicitation and modelling in multi-criteria decision analysis - A case study on urban water supply. *European Journal of Operational Research*, v. 206, n. 1, p. 209-220. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.02.016>

- KUŁAKOWSKI, K. (2015) Notes on order preservation and consistency in AHP. *European Journal of Operational Research*, v. 245, n. 1, p. 333-337. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2015.03.010>
- KUMAR, V.; VASTO-TERRIENTES, L.D.; VALLS, A.; SCHUHMACHER, M. (2016) Adaptation strategies for water supply management in a drought prone Mediterranean river basin: Application of outranking method. *Science of The Total Environment*, v. 540, p. 344-357. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.062>
- LIBÂNIO, P.A.C.; CHERNICHARO, C.A.L.; NASCIMENTO, N.O. (2005) A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, p. 219-228. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522005000300006>
- MARQUES, J.; CUNHA, M.; SAVIĆ, D. (2015) A Multicriteria Approach for a Phased Design of Water Distribution Networks. *Procedia Engineering*, v. 119, p. 1231-1240. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.983>
- MAURER, M.; BUFARDI, A.; TILLEY, E.; ZURBRÜGG, C.; TRUFFER, B. (2012) A compatibility-based procedure designed to generate potential sanitation system alternatives. *Journal of Environmental Management*, v. 104, p. 51-61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.03.023>
- MIRANDA, A.B.; TEIXEIRA, B.A.N. (2004) Indicadores para o monitoramento da sustentabilidade em sistemas urbanos de abastecimento de água e esgotamento sanitário. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, p. 219-228. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522004000400002>
- OGERA, R.C.; PHILIPPI JUNIOR, A. (2005) Gestão dos serviços de água e esgoto nos municípios de Campinas, Santo André, São José dos Campos e Santos, no período de 1996 a 2000. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 72-81. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522005000100009>
- OKEOLA, O.G.; SULE, B.F. (2012) Evaluation of management alternatives for urban water supply system using Multicriteria Decision Analysis. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, v. 24, n. 1, p. 19-24. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2011.07.004>
- POMEROL, J.C.; ROMERO, S.B. (2000) *Multicriteria Decision in Management: Principle and Practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR DE SANEAMENTO (PMSS). (2015) *Institucional*. Disponível em: <<http://www.pmss.gov.br/index.php/institucional-pmss>>. Acesso em: 10 jan. 2015.
- SARGAONKAR, A.; KAMBLE, S.; RAO, R. (2013) Model study for rehabilitation planning of water supply network. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 39, p. 172-181. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.08.002>
- SILVA, R.T. (2006) Aspectos teóricos e conceituais. In: GALVÃO JUNIOR, A.C.; SILVA, A.C. (Orgs.). *Regulação: indicadores para a prestação de serviços de água e esgoto*. Fortaleza: Expressão.
- VON SPERLING, T.L.; VON SPERLING, M. (2013) Proposição de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 18, n. 4, p. 313-322. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522013000400003>
- ZELENY, M. (1982) *Multiple Criteria Decision Making*. Nova York: McGraw-Hill.

Anexo 1 - Matriz normalizada.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
Tangará	0,006	0,064	0,002	0,001	0,008	0,000	0,056	0,001	0,002	0,001	0,002
Lagoa Nova	0,009	0,269	0,003	0,003	0,017	0,018	0,020	0,003	0,004	0,001	0,004
Poço Branco	0,004	0,044	0,001	0,001	0,005	0,021	0,012	0,001	0,002	0,001	0,002
Pedro Velho	0,004	0,029	0,002	0,001	0,004	0,177	0,013	0,001	0,002	0,002	0,002
Ipanguaçu	0,001	0,014	0,002	0,001	0,006	0,138	0,015	0,001	0,001	0,000	0,001
Jardim de Piranhas	0,002	0,011	0,009	0,001	0,007	0,103	0,013	0,000	0,003	0,000	0,003
Santana do Matos	0,012	0,016	0,002	0,000	0,003	0,035	0,012	0,000	0,001	0,000	0,001
Upanema	0,011	0,048	0,001	0,001	0,007	0,089	0,010	0,000	0,002	0,001	0,002

Anexo 2 - Matriz ponderada.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
Tangará	5E-04	1E-02	2E-04	6E-05	6E-04	0E+00	5E-03	6E-05	1E-04	6E-05	1E-04
Lagoa Nova	7E-04	4E-02	3E-04	3E-04	1E-03	2E-03	2E-03	2E-04	2E-04	6E-05	2E-04
Poço Branco	3E-04	7E-03	6E-05	6E-05	4E-04	2E-03	1E-03	1E-04	9E-05	9E-05	9E-05
Pedro Velho	3E-04	5E-03	2E-04	8E-05	3E-04	2E-02	1E-03	7E-05	1E-04	1E-04	1E-04
Ipanguaçu	1E-04	2E-03	2E-04	5E-05	4E-04	2E-02	1E-03	7E-05	6E-05	2E-05	6E-05
Jardim de Piranhas	2E-04	2E-03	1E-03	6E-05	5E-04	1E-02	1E-03	4E-05	2E-04	2E-05	2E-04
Santana do Matos	9E-04	2E-03	2E-04	4E-05	2E-04	4E-03	1E-03	3E-05	7E-05	1E-05	7E-05
Upanema	9E-04	7E-03	1E-04	6E-05	5E-04	1E-02	9E-04	3E-05	1E-04	7E-05	1E-04

Anexo 3 - Soluções ideais.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
Solução ideal positiva	0,0009	0,0419	0,0010	0,0003	0,0012	0,0207	0,0047	0,0002	0,0002	0,0001	0,0002
Solução ideal negativa	0,0001	0,0017	0,0001	0,0000	0,0002	0,0000	0,0009	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001