

## **ANÁLISE DO SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO RIO GRANDE DO NORTE: UMA ABORDAGEM MULTICRITÉRIO**

### **Felipe Luiz Neves Bezerra de Melo**

Professor do IFRN/Doutorando em Administração PPGA/UFRN  
UFRN/CCSA – Lagoa Nova, Natal/RN, Brasil, Caixa Postal 1620, CEP: 59072-970  
felipe.neves@ifrn.edu.br

### **Marcos Paulo da Silva**

Professor do IFRN/Doutorando em Administração PPGA/UFRN  
UFRN/CCSA – Lagoa Nova, Natal/RN, Brasil, Caixa Postal 1620, CEP: 59072-970  
marcoasilva.paulo@gmail.com

### **Rafael Rodrigues da Silva**

Professor do IFRN/Doutorando em Administração PPGA/UFRN  
Av. José Rodrigues de Aquino Filho, 640, RN 120, Nova Cruz-RN, CEP: 59215-000  
rafael.rodrigues@ifrn.edu.br

### **Vanessa Stephanie de Azevedo Arruda**

PEP/UFRN – Lagoa Nova, Natal/RN, Caixa Postal 1551, CEP: 59078-970  
Mestranda do Programa de Engenharia de Produção - PEP/UFRN  
van.azevedoarruda@gmail.com

## **RESUMO**

O Brasil historicamente apresenta um 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, 2010). Desse modo, o presente estudo tem como objetivo avaliar os serviços de abastecimento de água de 8 municípios de quatro mesorregiões do Rio Grande do Norte, sendo eles Lagoa Nova, Ipangaçu, Tangará, Santana do Matos, Poço Branco, Pedro Velho, Jardim de Piranhas e Upanema. Para avaliação do serviço de abastecimento de água dos municípios, adotou-se o método de apoio à decisão Multicritério TOPSIS (*Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution*). Foram selecionados 11 critérios, levando-se em consideração aspectos operacionais, financeiros e de qualidade da água. Para a obtenção dos pesos de cada critério, foi utilizado o método da entropia, posteriormente validado com um decisor. Os resultados apontaram o município de Lagoa Nova como a alternativa com melhor serviço de abastecimento de água das alternativas 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**

The historically Brazil has a deficit in basic services of water supply and sanitation. Approximately 9.8 million families have no access to water supply network and 25.5 million do not have access to the sewage system (IBGE, 2010). Thus, this study aims to evaluate the eight municipalities of four mesoregions of water supply services in Rio Grande do Norte, they Lagoa Nova, Ipangaçu, Tangará, Santana do Matos, Poço Branco, Pedro Velho, Jardim de Piranhas and Upanema. To evaluate the water supply of the municipalities service, we adopted the method of decision support Multicriteria TOPSIS (*Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution*). We selected 11 criteria, taking into account operational, financial and water quality. To obtain the weights of each criterion, it used the entropy method, subsequently

validated with a decision maker. The results showed the city of Lagoa Nova as the alternative with improved water supply service of the alternatives studied. In contrast, Santana do Matos was the city with the worst assessment of all the alternatives studied.

**KEYWORDS: Water Supply, Multicriteria Decision Support, TOPSIS.**

## 1. Introdução

O Brasil historicamente apresenta um 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, 2010). Esse déficit tem um impacto negativo direto na qualidade de vida dos brasileiros, o que tem efeitos sobre a saúde, o meio ambiente e a economia (COSTA & 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). A Companhia foi criada em 1969 e visa o atendimento de toda população do estado com água potável, coleta e tratamento de esgotos. A CAERN possui 165 sistemas de abastecimento de água distribuídos em 153 sedes de municípios e 13 localidades. Em todo estado são 40 sistemas de esgoto (CAERN, 2013).

A importância da avaliação de serviços de saneamento básico e abastecimento de água vem crescendo nos últimos anos (ABBOT & COHEN, 2009). Uma série de estudos foram realizados nos últimos anos para a avaliação de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil, como Miranda e Teixeira (2004), Ogera e Philip Jr. (2005), Libânio, Chernicharo e Nascimento (2005), Heller, Coutinho e Mingoti (2006), Heller, Von Sperling e Heller (2009) e Von Sperling e Von Sperling (2013).

Diante da relevância da avaliação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, o presente estudo tem como objetivo avaliar o abastecimento de água em oito municípios de cada uma das mesorregiões do estado do Rio Grande do Norte. Para isso, utiliza-se o método TOPSIS, assim como em Heller, Von Sperling e Heller (2009).

Para este estudo, foram selecionados oito municípios do RN de quatro mesorregiões diferentes, em que cada mesorregião possui no mínimo um município representante. Para a avaliação de municípios semelhantes, foi considerada a população de cada um (13.000-14.200 habitantes). Os municípios analisados foram: Tangará, Lagoa Nova, Poço Branco, Pedro Velho, Ipanguaçu, Jardim de Piranhas, Santana do Matos e Upanema.

Os critérios analisados encontram-se divididos em três categorias: operacional, financeira e qualidade. Os indicadores operacionais são: índice de micromedição relativo ao volume disponibilizado; índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água; e índice bruto de perdas lineares. Os financeiros abrangeram: 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; participação da receita operacional indireta na receita operacional total; dias de faturamento comprometidos com contas a receber. Também foram considerados três índices de qualidade de conformidade da quantidade de amostra referente a cloro residual, turbidez e coliformes totais. Os indicadores utilizados estão em consonância com os propostos por Von Sperling e Von Sperling (2013) e Miranda e Teixeira (2004). Heller, Von Sperling e Heller (2009), também utilizaram indicadores similares a esses para realização de uma análise comparativa multicriterial no estado de Minas Gerais.

Os pesos dos critérios foram selecionados a partir da análise de entropia (POMEROL & ROMERO, 2000), na qual um critério recebe um peso maior quanto maior for a sua dispersão. Posteriormente, a seleção de critérios e os respectivos pesos foi validada a partir de uma entrevista com um decisor (diretor de abastecimentos) da CAERN.

Além desta seção introdutória, o presente artigo está organizado em mais quatro seções; A segunda seção apresenta uma revisão da literatura sobre a aplicação de modelos multicritério nos serviços de abastecimento e esgotamento sanitário; A terceira seção apresenta os materiais e

métodos aplicados ao estudo; Na quarta seção, são discutidos os resultados encontrados, e, por fim, a quinta seção apresenta as conclusões da pesquisa.

## **2. Revisão da Literatura**

A avaliação de eficiência e eficácia dos serviços regulados se faz sobre uma combinação coerente de indicadores confiáveis, que abranja diferentes momentos e objetos desse processo. Eles se aplicam 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 Jr. (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 indicadores 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 onze critérios para avaliação dos indicadores, que foram hierarquizados por meio de uma pontuação (0, 1 e 2). Por fim, foram definidos um conjunto de 22 indicadores para monitoramento de políticas públicas.

Também utilizando indicadores, Ogera e Philip Jr. (2005) analisaram a 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. 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; investimentos em sistemas de água e esgoto. O estudo 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 IBGE e do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (UNDP). O estudo foi baseado em três pilares: Saneamento Ambiental, Saúde Pública e Gestão de recursos hídricos. Além disso, foram mapeados as interfaces entre esses aspectos, a saber: preservação/recuperação de ambientes aquáticos, educação ambiental, abastecimento de água para o 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 grupos de 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: (i) análise de variância univariada a um fator (ANOVA) indicador por indicador de grupos de municípios; (ii) agrupamento de indicadores em um número menor de variáveis, por meio da técnica de análise de componentes principais; (iii) 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, do estado de Minas Gerais. A avaliação comparativa entre os serviços de saneamento foi feita através 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 avaliados. Destacaram-se positivamente os serviços administrados por Companhia Estadual 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 por rede de água e de esgotos.

Em uma outra abordagem Von Sperling e Von Sperling (2013) propuseram um sistema único de 46 indicadores de desempenho específicos para o serviço de esgotamento sanitário. O sistema proposto foi 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.

O Quadro 1 apresenta um resumo das principais referências sobre saneamento e abastecimento de água realizados no Brasil.

Quadro 1 - Quadro de Revisão

<b>Autores</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Amostra</b>	<b>Método</b>	<b>Resultados</b>
Miranda e Teixeira (2004)	Propor princípios e indicadores de sustentabilidade para sistemas urbanos de abastecimento de água e esgotamento sanitário.	Conjunto de indicadores encontrados na literatura (não descritos no trabalho)	Revisão da literatura, validação com especialistas e hierarquização de critérios.	Conjunto de 22 indicadores para monitoramento de políticas públicas.
Ogera e Philip Jr. (2005)	Analisar a gestão dos serviços de água e esgoto nos Municípios de 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 e hídrica e de saneamento e indicadores 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 sanitário.
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	4 municípios do interior de Minas Gerais	Abordagem quali-quantitativa com uso do	Identificou-se os municípios que possuem melhor

	tecnológico dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário de 4 municípios de Minas Gerais.		TOPSIS.	desempenho.
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 relativo ao serviço de esgotamento sanitário.

Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3. Materiais e Método

#### 3.1 TOPSIS

O método TOPSIS (*Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution*) é uma ferramenta de decisão multicritério utilizada em problemas de natureza compensatória, com o intuito de apoiar a tomada de decisão com base na hierarquização de alternativas. Em relação à família de métodos compensatórios, é possível a compensação de desempenho menor de uma dada alternativa em determinado critério. O método foi inicialmente proposto por Hwang e Yoon (1981). O princípio do método é que uma dada alternativa esteja o mais próxima 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, onde é mais racional a opção por uma alternativa mais próxima de uma solução ideal (ZELENY, 1982).

#### 3.2 Procedimentos do TOPSIS

O primeiro passo para a aplicação do TOPSIS é normalizar a matriz de decisão de entrada  $x_{ij}$ . Para a normalização da matriz de decisão, foi adotado o seguinte método:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}$$

Onde o elemento normalizado ( $r_{ij}$ ) é obtido através da divisão de cada elemento da matriz de decisão pela raiz quadrada do somatório dos elementos, elevados à segunda potência, de cada coluna de critérios.

O segundo passo é construção da matriz de decisão ponderada. Para esta etapa, assumimos que cada critério possua um determinado peso ( $w$ ).

$$v_{ij} = r_{ij} * w_j$$

Nesta pesquisa, adotou-se o método da entropia, apresentado por Pomerol e Romero (2000), para a obtenção dos pesos de cada critério. O método é composto pelas seguintes etapas:

Etapa 1: calcular a entropia ( $E_i$ ) do critério  $i$  como:

$$E_i = - \frac{1}{\sum_{j=1}^n (v_{ij} \ln(v_{ij}))}, \forall i = 1, 2, \dots, n$$

Etapa 2: calcular a dispersão  $D_i$  para cada critério  $i$  como:

$$D_{i2} = 1 - D_{i1}, \forall i = 1, 2, \dots, m$$

Etapa 3: calcular o peso  $W_i$  para cada critério  $i$  como:

$$W_i = \frac{D_{i2}}{\sum_{i=1}^m D_{i2}}, \forall i = 1, 2, \dots, m$$

O terceiro passo é a obtenção das soluções ideal positiva e ideal negativa. Tal estimação é realizada através da distância euclidiana.

Para a estimação da Distância da Solução Ideal Positiva, temos:

$$D_{i2}^+ = [\sum_{j=1}^n |Z_{ij}(a_j) - Z_{ij}^+|^2]^{1/2}$$

Para a obtenção da Solução Ideal Negativa, temos:

$$D_{i2}^- = [\sum_{j=1}^n |Z_{ij}(a_j) - Z_{ij}^-|^2]^{1/2}$$

O último passo consiste na estimação do grau de proximidade relativa  $RC_i$  da alternativa  $a_i$ , dada por:

$$RC_i = \frac{D_{i2}^-}{D_{i2}^+ + D_{i2}^-}$$

A alternativa que apresentar o grau de proximidade relativa ( $RC_i$ ) é considerada a mais preferível.

### 3.3 Amostra

Para realização deste estudo foram selecionados 8 municípios do estado do Rio Grande do Norte, envolvendo as quatro mesorregiões do estado. Para tornar a amostra homogênea permitindo a comparação entre os municípios, foram consideradas algumas características, tais como população e o PIB, conforme Tabela 1. Desse modo, há similaridade entre os municípios, tornando a amostra homogênea.

**Tabela 1 – Características dos municípios**

Mesorregião do município	Município	População	Área Territorial (km <sup>2</sup> )	Densidade Demográfica (hab/km <sup>2</sup> )	PIB per capita
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
	Lagoa Nova	13.893	176,30	79,3	6.060,16
Central	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

Fonte: IBGE (2013).

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

**Tabela 2 - Estatísticas descritivas dos municípios**

Aspecto	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
População	13786,75	380,07	12992	14175
Área Territorial (km <sup>2</sup> )	494,31	434,58	176,3	1419,54
Densidade Demográfica (hab/km <sup>2</sup> )	44,4	25,27	9,7	79,3
PIB per capita	6709,6	1514,67	4896,45	10096,77

Fonte: Dados da pesquisa.

Os resultados apontam relativa homogeneidade das alternativas selecionadas na amostra, com a população apresentando média de 13786 habitantes e desvio-padrão de 380,07. Em relação às demais variáveis, a média da densidade demográfica foi de 44,4 habitantes por km<sup>2</sup>; a área territorial média foi de 494,31 km<sup>2</sup> e PIB per capita médio foi de 6709,60.

### 3.4 Critérios Utilizados

Foram utilizados onze 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 sua respectiva categoria.

Quadro 2 – Descrição dos critérios

Critério	Categoria	Descrição
C1	Operacional	Índice de micromedicação 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

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 3 apresenta as estatísticas descritivas dos critérios utilizados.

**Tabela 3 - Estatísticas descritivas dos critérios utilizados para os 8 municípios avaliados.**

Critério	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
C1	30,04	19,03	6,5	56,5
C2	1,51	2,09	0,26	6,5
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	0,0	5,0

C7	8,46	6,84	4,6	25,1
C8	176,75	152,56	60,0	521,0
C9	101,54	46,64	50,0	185,3
C10	253,71	161,15	60,3	533,3
C11	101,2	46,63	50,0	185,3

Fonte: Elaboração própria.

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

#### 4. Análise e Discussão dos Resultados

A Tabela 4 apresenta os dados para cada um dos critérios dos 8 municípios utilizados neste estudo.

**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	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
Ipangaçu	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).

A partir dos dados foi realizada a normalização dos dados, sendo este o primeiro passo do método TOPSIS. Em seguida, foi realizada a obtenção dos pesos de cada um dos critérios. Para esta etapa, foi adotado o método da entropia, proposto por Romero e Pomerol (2000). O método da Entropia é uma técnica objetiva para determinação dos pesos dos critérios de avaliação. Neste método, quanto maior a variabilidade de um critério, maior o seu peso, estando a importância do critério atrelado à sua variabilidade. A partir do método de entropia, elimina-se a necessidade de uma atribuição de pesos por parte do decisor.

A Tabela 5 apresenta os pesos obtidos através 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) obtiveram os maiores pesos na análise.

**Tabela 5 – Pesos dos critérios**

Critérios	Pesos
Índice de micromedição relativo ao volume disponibilizado	0,063761
Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água	0,242829
Índice bruto de perdas lineares	0,096047
Margem da despesa de exploração	0,093634
Participação da despesa com energia elétrica nas despesas de exploração	0,056941
Participação da despesa com produtos químicos nas despesas de exploração	0,130418
Participação da receita operacional indireta na receita operacional total	0,070562



Dias de faturamento comprometidos com contas a receber	0,095356
Índice de conformidade da quantidade de amostra - Cloro Residual	0,038486
Índice de conformidade da quantidade de amostra - Turbidez	0,073485
Índice de conformidade da quantidade de amostra - Coliformes Totais	0,038476

Fonte: Resultados da pesquisa.

Destaca-se ainda que os pesos e critérios foram validados através de consulta com o diretor de abastecimentos 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, resultante da multiplicação da matriz normalizada pelos pesos dos respectivos critérios.

Em seguida, foram estabelecidas as soluções ideais positivas e soluções ideais negativas para cada um dos critérios. No que diz respeito aos critérios operacionais, o critério 1 apresentou como solução ideal positiva o município de Santana do Matos, já a solução ideal negativa foi o município de Ipangaçu. Em relação ao critério 2, a solução ideal positiva foi o município de 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 aos critérios financeiros, o critério 4 teve como solução ideal positiva o município de Lagoa Nova, e como solução ideal negativa, Santana do Matos. Já o critério 5 apresentou como solução ideal positiva o município de Lagoa Nova, e como negativa, Santana do Matos. Em relação ao critério 6, a solução ideal positiva foi o município de Pedro Velho, e a solução ideal negativa, Tangará. Sobre o critério 7, a solução positiva foi o município de Tangará, e a solução negativa, Upanema. Sobre o critério 8, a solução positiva foi o município de Lagoa Nova, e a solução negativa, Santana do Matos.

Em relação aos critérios de qualidade, o critério 9 apresentou como solução ideal positiva o município de Lagoa Nova, e como negativa, Ipangaçu. 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 o município de Lagoa Nova, e como negativa, Ipangaçu.

A Tabela 6 apresenta as distâncias de cada alternativa para a solução ideal positiva ( $d_{ij}^+$ ) e solução ideal negativa ( $d_{ij}^-$ ), o coeficiente de proximidade e a posição no ranking de cada alternativa.

**Tabela 6 – Resultados e Ranking**

	Região	$d_{ij}^+$	$d_{ij}^-$	Coefficiente de proximidade	Posição no Ranking
<b>Tangará</b>	Agreste	0,003014	0,00017	0,0560051	5
<b>Lagoa Nova</b>	Central	0,000439	0,00394	0,8999428	1
<b>Poço Branco</b>	Agreste	0,003415	0,00007	0,0209574	7
<b>Pedro Velho</b>	Leste	0,003407	0,00055	0,1397494	2
<b>Ipangaçu</b>	Oeste	0,003876	0,00032	0,0774067	3
<b>Jardim de Piranhas</b>	Central	0,004044	0,00018	0,0426516	6
<b>Santana do Matos</b>	Central	0,004131	0,00002	0,0056496	8
<b>Upanema</b>	Oeste	0,003038	0,00021	0,0659315	4

Fonte: Resultados da pesquisa.

Através da análise de critérios operacionais (C1 a C3), financeiros (C4 a C8) e de qualidade (C9 a C11), o município de Lagoa Nova apresentou a melhor avaliação nos serviços de abastecimento de água da amostra. Em seguida, o município de Pedro Velho apresentou a segunda posição. Em terceiro no ranking, figura o município de Ipangaçu. O quarto lugar no ranking foi o município de Upanema. O quinto lugar é o município de Tangará. O sexto lugar é o

município de Jardim de Piranhas. Já o sétimo colocado foi o município de Poço Branco, e, por fim, o oitavo colocado foi o município de Santana do Matos.

O município de Lagoa Nova apresentou-se como solução ideal positiva nos critérios C2, C4, C5, C6, C8, C9 e C11, e, no conjunto de alternativas, não apresentou-se como solução ideal negativa em nenhum dos 11 critérios. Tal município 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, o município de Santana do Matos apresentou a pior colocação no ranking. Santana do Matos foi considerado solução ideal negativa em 4 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 com o baixo índice pluviométrico e em reservas de água. Todos os rios são intermitentes e o abastecimento de água é realizado através da adutora Luiz Francisco de Macedo.

## 5. Considerações Finais

O presente estudo buscou avaliar os serviços de abastecimento de água de 8 municípios do estado do Rio Grande do Norte. Ao hierarquizar os 8 municípios, Lagoa Nova apresentou a melhor posição do ranking dado o seu desempenho nos conjuntos de critérios financeiros, apresentando 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 este procedimento apoiado pela posterior validação com o decisor.

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

## Referências

- Abbott, M. e Cohen, B.** (2009), Productivity and efficiency in the water industry. *Utilities Policy*, v. 17, p. 233-244.
- Almeida, A. T.** (2013), *Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério*. São Paulo: Atlas.
- Carvalho, A. E. C. e 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.
- Heller, L., Coutinho, M. L. e 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.
- Heller, P. G. B., Von Sperling, M. e 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.
- Hwang, C. L. e Yoon, K.** (1981), *Multiple attribute decision making: methods and applications*. Springer-Verlag: New York.
- IBGE.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa nacional de saneamento básico 2008. Available at: <  
[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf)>.

**IBGE.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sinopse do censo demográfico 2010.

Available at: < <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php>>.

**Libânio, P. A. C., Chernicharo, C. A. L. e 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.

**Miranda, A. B. e 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.

**Pomerol, J. C. e Romero, S. B.** (2000), *Multicriteria Decision in Management: Principle and Practice*. Kluwer Academic Publishers.

**Silva, R. T.** (2006), *Aspectos teóricos e conceituais*. In: GALVÃO JUNIOR, A. C.; SILVA, A. C. (coord.). *Regulação: indicadores para a prestação de serviços de água e esgoto*. Fortaleza: Expressão.

**Von Sperling, T. L. e 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.

**Zeleny, M.** (1982), *Multiple Criteria Decision Making*. New York: McGraw-Hill.