

**PRIORIZAÇÃO DE MUNICÍPIOS DO SEMIÁRIDO PARA ALOCAÇÃO DE RECURSOS  
NA MITIGAÇÃO DA SECA: ABORDAGEM MULTICRITÉRIO  
PRIORITIZATION OF SEMI-ARID MUNICIPALITIES FOR RESOURCE ALLOCATION  
IN DROUGHT MITIGATION: A MULTICRITERIA APPROACH**

**Gabriel de Oliveira Castro**

Faculdade do Complexo Educacional Santo André (FACESA)  
gabrielcastro@faculdadecesa.edu.br

**Caeverton de Oliveira Camelo**

Faculdade do Complexo Educacional Santo André (FACESA)  
caeverton@faculdadecesa.edu.br

**Rosa Adeyse Silva**

Faculdade do Complexo Educacional Santo André (FACESA)  
rosa@faculdadecesa.edu.br

Grupo de Trabalho (GT): GT02. Políticas públicas para o desenvolvimento regional

**Resumo**

A seca constitui um dos principais desafios ambientais e socioeconômicos do semiárido brasileiro, demandando políticas públicas estruturadas e instrumentos técnicos que orientem a alocação eficiente de recursos. Este estudo propõe um modelo de priorização de municípios afetados pela estiagem, fundamentado em uma abordagem multicritério de apoio à decisão. A proposta é baseada no método PROMETHEE-ROC para auxiliar o governo na avaliação de quatorze (14) municípios do território Açu-Mossoró no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. A análise gerou a ordenação dos municípios conforme seu grau de vulnerabilidade, indicando Alto do Rodrigues, Itajá e Serra do Mel como prioritários para o recebimento de recursos emergenciais. A validação por meio de Simulação de Monte Carlo confirmou a robustez e estabilidade dos resultados, com variações inferiores a 15% nas mudanças de ordenação. Os achados demonstram a aplicabilidade do método na formulação de políticas públicas de enfrentamento à seca, ao proporcionar uma ferramenta transparente, objetiva e replicável para o processo decisório. Conclui-se que o modelo contribui tanto para o avanço teórico das metodologias multicritério em gestão pública quanto para o aprimoramento prático da governança hídrica em regiões vulneráveis do semiárido.

**Palavras-chave:** PROMETHEE-ROC; Políticas Públicas; Desenvolvimento.

**Abstract**

*Drought is one of the main environmental and socioeconomic challenges in Brazil's semi-arid region, demanding structured public policies and technical tools to guide the efficient allocation of resources. This study proposes a prioritization model for municipalities affected by drought, based on a multicriteria decision-support approach. The model employs the PROMETHEE-ROC method to assist the government in evaluating fourteen (14) municipalities within the Açu–Mossoró territory, in the state of Rio Grande do Norte, Brazil. The analysis generated a ranking of municipalities according to their degree of vulnerability, identifying Alto do Rodrigues, Itajá, and Serra do Mel as priorities for receiving emergency resources. Validation through Monte Carlo Simulation confirmed the robust-*

*ness and stability of the results, with variations below 15% in ranking changes. The findings demonstrate the applicability of the method in shaping drought mitigation public policies by providing a transparent, objective, and replicable decision-making tool. It is concluded that the proposed model contributes both to the theoretical advancement of multicriteria methodologies in public management and to the practical improvement of water governance in vulnerable semi-arid regions.*

**Key words:** PROMETHEE-ROC; Public Policies; Development.

## 1. Introdução

As mudanças climáticas, o crescimento populacional, a expansão das zonas agrícolas e as transformações nas condições econômicas globais intensificam a demanda por recursos hídricos (Drisya e Kumar, 2023; Ihinegbu e Ogunwumi, 2022). O aumento do consumo de água, combinado com a gestão ineficiente dos recursos hídricos pelo poder público, esgota os reservatórios e compromete a capacidade de atendimento às necessidades essenciais. Consequentemente, a escassez hídrica impacta negativamente a economia, a sociedade, o meio ambiente e, acima de tudo, a agricultura de subsistência

Os eventos de seca classificam-se em quatro tipos, considerando sua intensidade, frequência e duração (Baral e Saha, 2023). A seca meteorológica caracteriza-se pela precipitação irregular, permitindo a formação dos demais tipos de seca. A seca hidrológica ocorre quando os níveis de água superficial e subterrânea estão abaixo do ideal, comprometendo a disponibilidade hídrica nos sistemas hidrológicos. Já a seca agrícola reflete a insuficiência de água no solo para o atendimento das necessidades agrícolas. Por fim, a seca socioeconômica representa a convergência dos três tipos anteriores, impactando a sociedade. Entretanto, os danos provocados por esses eventos climáticos extremos, independentemente do tipo, associados ao uso ineficiente da água, amplificam o estresse hídrico, demandando políticas públicas estruturadas e gestão estratégica dos recursos hídricos para mitigação de impactos socioeconômicos.

A gestão de secas tradicionalmente adota caráter reativo, com intervenções posteriores à instalação da crise, ao contrário do observado em outras calamidades (Omari-Motsumi et al., 2023; Roshni et al., 2022). Esse paradigma necessita revisão e melhor articulação. Estratégias colaborativas são fundamentais para o manejo efetivo e a antecipação desses eventos (Mera, 2018). Portanto, desenvolver e implementar modelos decisórios estruturados para a gestão de secas é essencial, sendo as abordagens multicritério ferramentas estratégicas para tal.

Diante desse cenário, a abordagem multicritério de apoio à decisão apresenta-se como ferramenta estratégica para a gestão pública de recursos hídricos, haja vista sua capacidade de estruturar problemas complexos caracterizados por múltiplos objetivos conflitantes (Castro, Morais e Gonçalves, 2024). Essas metodologias permitem incorporar diversas perspectivas dos atores envolvidos e considerar simultaneamente critérios técnicos, socioeconômicos e ambientais (Wu et al., 2016). Nesse contexto, métodos multicritério tem sido aplicados com sucesso na formulação de políticas públicas para a gestão de recursos hídricos, especialmente em regiões vulneráveis à seca.

As aplicações de métodos multicritério na gestão de recursos hídricos destacam-se pelo caráter participativo das abordagens, sendo utilizadas em políticas e no planejamento do abastecimento de água (Rivero et al., 2020), no mapeamento da vulnerabilidade à seca (Paegelow et al., 2021) e na gestão e redução de perdas hídricas (Morais et al., 2014). Apesar dos avanços, ainda há uma lacuna significativa na literatura quanto à alocação estratégica de recursos para mitigação de secas. Definir quais municípios devem receber recursos prioritariamente constitui desafio complexo, exigindo integração de julgamentos de valor e objetivos distintos dos gestores públicos. Neste contexto, o presente estudo propõe metodologia estruturada para priorizar municípios em situação crítica quanto à necessidade de recursos para enfrentamento à seca.

A abordagem considera características territoriais específicas e indicadores socioeconômicos

diretamente relacionados à vulnerabilidade hídrica. Mediante priorização prévia dos municípios, busca-se otimizar a alocação de recursos em áreas severamente afetadas pela seca, direcionando investimentos conforme necessidades reais. Para isso, o estudo busca desenvolver modelo decisório capaz de gerenciar eficientemente esse processo.

Para validação empírica, empregou-se o método PROMETHEE-ROC, desenvolvido por Moraes et al. (2015), permitindo avaliar e validar diferentes cenários de priorização municipal para alocação de recursos em mitigação de secas. Dessa forma, o presente estudo diferencia-se por propor um modelo estruturado de priorização de municípios para mitigação da seca, integrando indicadores hidrossanitários, ambientais e socioeconômicos sob a ótica multicritério. Enquanto pesquisas anteriores abordaram isoladamente aspectos técnicos ou sociais da vulnerabilidade hídrica, esta investigação avança ao oferecer um instrumento de apoio à decisão aplicável diretamente à gestão pública.

A contribuição teórica reside na adaptação do método PROMETHEE-ROC ao contexto da alocação de recursos hídricos, ampliando sua utilização em políticas públicas ambientais. No campo prático, a pesquisa fornece um modelo transparente e replicável que pode subsidiar governos estaduais e municipais na formulação de estratégias mais eficientes de enfrentamento à seca no semiárido brasileiro. O artigo estrutura-se em cinco seções: (i) introdução, (ii) método PROMETHEE-ROC, (iii) metodologia, (iv) aplicação do estudo, e (v) considerações finais.

## 2. Método PROMETHEE-ROC

Segundo Moraes et al. (2015), o método PROMETHEE-ROC, pertencente à família de métodos PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*), foi criado para resolver problemas de ordenação multicritério. O método funciona em duas etapas principais: (i) criação de uma relação de sobreclassificação, que combina informações entre as alternativas e os critérios, e (ii) análise dessas relações para apoiar a decisão.

Nesse método, precisamos definir pesos (graus de importância) para os critérios usando o procedimento *Rank-Order Centroid* (ROC), criado por Edwards e Barron (1994). Para isso, o decisor estabelece a ordem de prioridade dos critérios, do critério mais importante para o menos importante, convertendo essa informação ordinal em valores cardinais para o problema de decisão. Esse procedimento reduz o esforço cognitivo no processo de ponderação dos critérios. A Equação (1) apresenta o procedimento ROC, onde  $w_j$  representa o peso do critério  $j$ , e  $m$  indica a posição do critério na ordenação estabelecida pelo decisor.

$$w_j = \frac{1}{j} \sum_{m=1}^j \frac{1}{m} \quad (1)$$

Em complemento, Brans e Vincke (1985) afirmam que nos métodos PROMETHEE, há seis formas básicas (tipos) para a função  $F_i(a, b)$ : (i) *Usual*, (ii) *U-shape*, (iii) *V-shape*, (iv) *Level*, (v) *V-shape with indifference* e (vi) *Gaussian*. Essas formas estabelecem a preferência do decisor para cada par de alternativas (DO CARMO et al., 2021). A matriz de avaliação de alternativas referente aos critérios estabelecidos pelo tomador de decisão é utilizada para determinar a função de preferência entre pares de alternativas em cada critério, conforme visto na Equação 2.

$$\pi(a, b) = \sum_{i=1}^n W_i F_i(a, b) \quad (2)$$

Por fim, são calculados três índices para cada alternativa: fluxo positivo, fluxo negativo e fluxo líquido, conforme mostrado as Equações (3), (4) e (5), respectivamente.

$$\Phi^+ = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad (3)$$

$$\Phi^- = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(b, a) \quad (4)$$

$$\Phi(a) = \Phi^+ - \Phi^- \quad (5)$$

Morais et al. (2015) explicam que o PROMETHEE-ROC se baseia no método PROMETHEE II, proposto por Belton e Stewart (2002), e usa o fluxo líquido de cada alternativa para criar uma ordenação completa das alternativas do problema. As relações de preferência e indiferença aparecem nas Equações (6) e (7), respectivamente. Quando normalizamos os fluxos, obtemos o fluxo de sobre-classificação líquido com valores entre [-1 e 1] (BRANS; VINCKE, 1985).

$$a \text{ é preferível a } b \text{ (} aPb \text{) se: } \Phi(a) > \Phi(b) \quad (6)$$

$$a \text{ é indiferente a } b \text{ (} aIb \text{) se: } \Phi(a) = \Phi(b) \quad (7)$$

Assim, o método PROMETHEE-ROC é fácil de entender e exige menos esforço do decisor, pois não precisa que ele informe valores exatos para os pesos, sendo considerado uma de suas principais vantagens. Além disso, os conceitos e parâmetros do método têm significado físico ou econômico claro, facilitando o entendimento do decisor. Portanto, essa abordagem serve como base desta pesquisa, na qual propomos uma metodologia para priorizar municípios no enfrentamento à seca, como detalhamos na próxima seção.

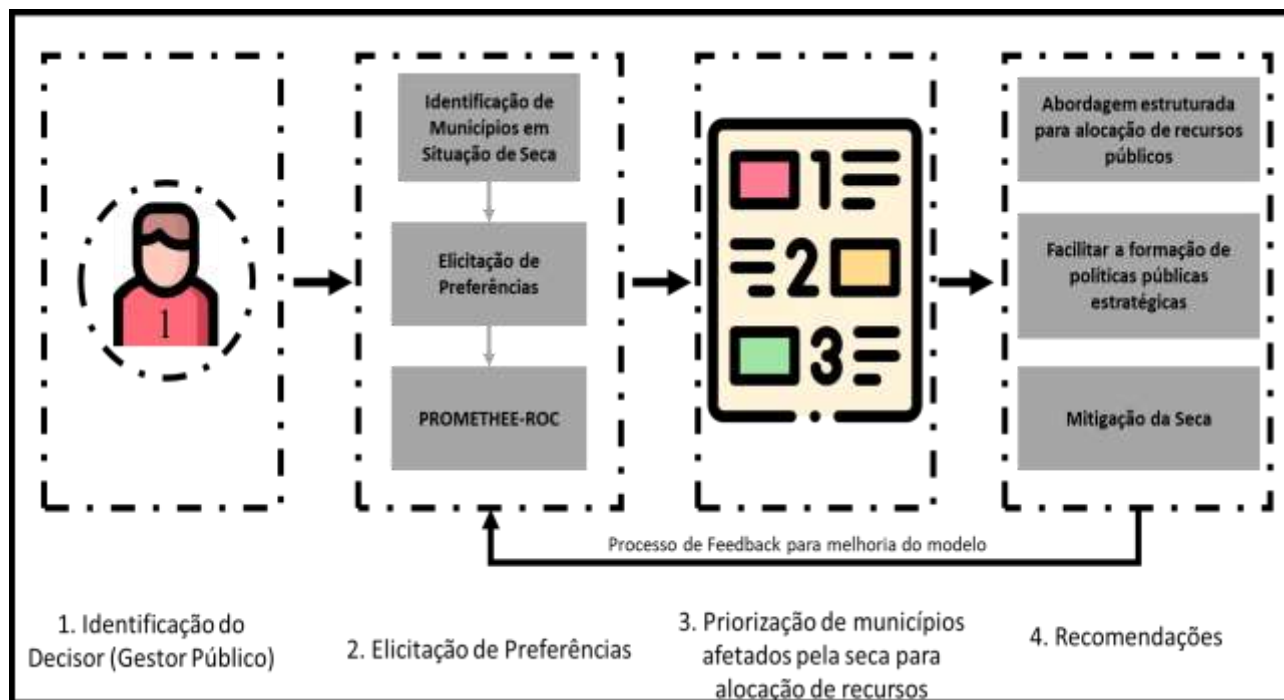
### 3. Metodologia

Esta pesquisa apresenta uma estratégia de priorização de municípios do semiárido brasileiro que necessitam de recursos para mitigar os efeitos da seca, utilizando uma metodologia de ordenação multicritério. A Figura 1 apresenta as etapas gerais do modelo proposto.

O modelo é composto por quatro etapas sequenciais. De modo geral, serão estabelecidas as preferências do tomador de decisão identificado, resultando em uma ordenação individual dos municípios conforme seu grau de prioridade. O resultado final consiste na proposição de políticas públicas de enfrentamento à seca proporcionais às necessidades de cada localidade, orientando os esforços da administração pública.

Na primeira etapa, identificamos o decisor (gestor público) que consultaremos durante o desenvolvimento do estudo. A identificação correta do decisor em projetos de alocação de recursos hídricos favorece maior engajamento e agrega valor à abordagem, resultando em melhor gestão dos recursos hídricos (Castro, Morais e Gonçalo, 2024).

Figura 1: Modelo de priorização de municípios a alocação de recursos.



Fonte: Adaptado de Castro, Morais e Gonçalo (2024)

Na segunda etapa, elicitamos as preferências do decisor. Convidamos o decisor a avaliar os municípios (alternativas) que necessitam de recursos para enfrentar a seca. Para isso, o decisor estabelece, segundo suas preferências, os critérios ( $Cr_j$ ) que avaliarão as alternativas. Além disso, o decisor define os pesos dos critérios, representando seu grau de importância. Aplicamos o procedimento *Ranking Ordered Centroid* (ROC), desenvolvido por Edwards e Barron (1994), que representa a interpretação provável das preferências expressas pelo decisor sem estabelecer valores exatos (Danielson e Ekenberg, 2017). Por fim, o decisor define, para cada critério, suas funções de preferência, conforme apresentado por Morais et al. (2015).

Na terceira etapa, aplicou-se o método PROMETHEE-ROC para gerar uma ordenação dos municípios que necessitam de recursos para mitigar os efeitos da seca, utilizando as informações e os parâmetros estabelecidos pelo decisor. Para avaliar a estabilidade dos resultados, foi realizada uma análise de sensibilidade por meio da técnica de Simulação de Monte Carlo. Nessa etapa, os pesos atribuídos a cada critério foram aleatoriamente variados em até 20%, seguindo uma distribuição uniforme, a fim de examinar o impacto dessas oscilações na priorização dos municípios, permitindo identificar possíveis inconsistências e avaliar a robustez das avaliações obtidas. Por fim, na última etapa, a administração pública direciona planos, promove ações e concentra esforços e recursos nos municípios prioritários de forma eficiente. Como resultado, espera-se enfrentar a seca e mitigar múltiplos problemas simultaneamente, beneficiando o conjunto de municípios afetados.

#### 4. Aplicação do estudo

Esta pesquisa apresenta uma estratégia de priorização de municípios do semiárido brasileiro que necessitam de recursos para mitigar os efeitos da seca, utilizando uma metodologia de ordenação multicritério. A Figura 1 apresenta as etapas gerais do modelo proposto.

##### 4.1 Caracterização do estudo de caso

O semiárido, sub-região do Nordeste brasileiro, enfrenta historicamente problemas severos relacionados à seca (ALVALÁ et al., 2019; INSA, 2022). Características como precipitação média anual inferior a 800 milímetros, solos rasos e rochosos com baixa capacidade de retenção hídrica, e

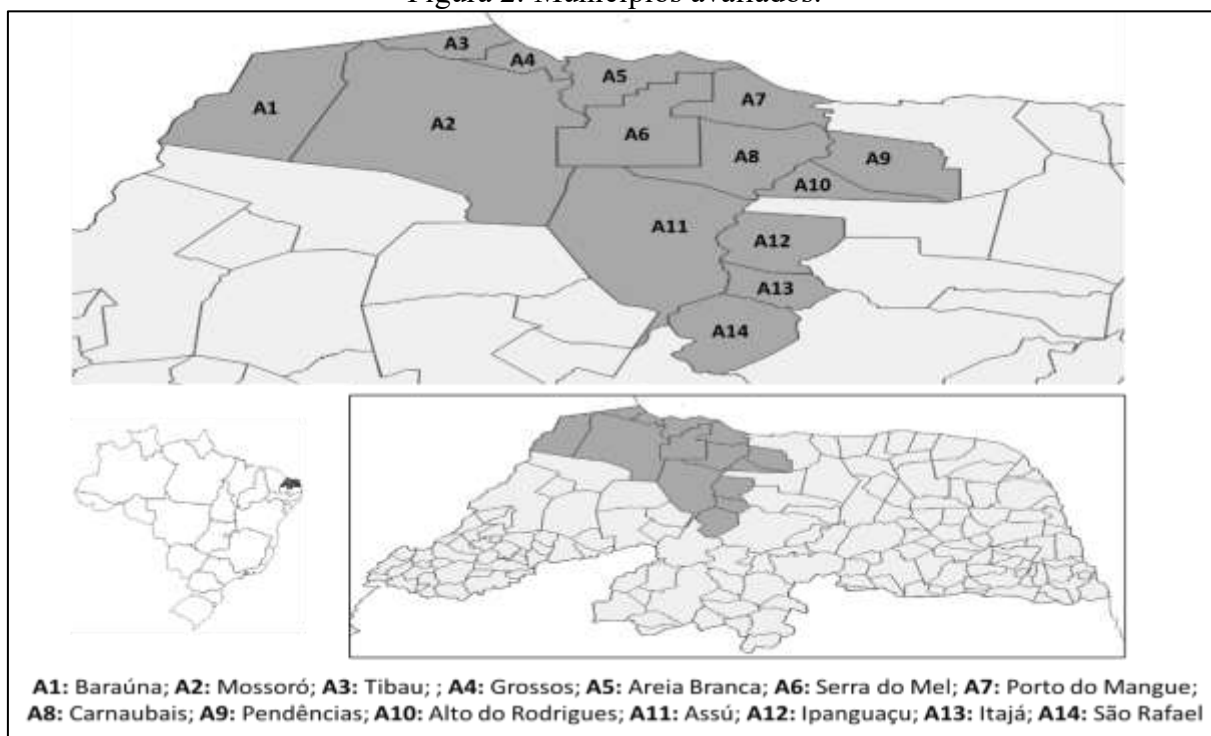
elevadas taxas de evapotranspiração tornam a gestão dos recursos hídricos particularmente desafiadora nessa região.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE 2017) indica que o semiárido brasileiro apresenta um contexto social historicamente fragilizado pela seca, o que lhe confere uma baixa qualidade de vida. Ademais, a segurança alimentar dessa região também é fragilizada, com 49,7% da sua população enfrentando restrições alimentares em sua dieta diária.

Dados recentes da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2025) evidenciam a gravidade da situação: diversos estados do semiárido brasileiro encontram-se em condição de seca. O Rio Grande do Norte apresenta 95% de seu território afetado, sendo 50% classificado como seca moderada e 20% como seca grave, concentrada principalmente na região oeste devido às anomalias negativas de precipitação tanto de curto quanto de longo prazo. Esse cenário demanda a priorização de municípios na alocação de recursos para enfrentamento da seca.

Para simplificar a avaliação do estudo, foram analisados os quatorze municípios pertencentes ao território Açu-Mossoró, são eles: Mossoró, Baraúna, Tibau, Grossos, Areia Branca, Serra do Mel, Assu, Porto do Mangue, Carnaubais, Pendências, Alto do Rodrigues, Ipanguaçu, Itajá e São Rafael. Os municípios são apresentados na Figura 2.

Figura 2: Municípios avaliados.



Fonte: Autoria Própria (2025)

## 4.2 Resultados e Discussões

### 4.2.1 Identificação do decisor

A etapa metodológica inicial requer a identificação do tomador de decisão que participará ao longo da pesquisa. Nesse sentido, um representante da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH) do Rio Grande do Norte, Brasil, foi designado como agente governamental para o processo de priorização dos municípios. A escolha desse representante considerou sua capacidade de influência política na região e seu domínio sobre as questões que afetam as áreas atingidas pela estiagem.

O tomador de decisão ocupa o cargo de coordenador de planejamento e gestão de recursos hídricos na SEMARH. Suas funções abrangem a análise política e estratégica voltada para a administração das águas, contemplando a elaboração de medidas para reduzir os impactos de períodos de seca. Entre suas responsabilidades, merece destaque o envolvimento na execução de iniciativas e programas ligados ao aproveitamento e conservação ambiental e dos recursos hídricos. Adicionalmente, cabe a ele organizar e executar as ações de administração hídrica estadual, além de conduzir estudos que estabeleçam diretrizes e normas para a liberação e utilização sustentável dos recursos hídricos.

### 4.2.2 Elicitação de Preferências

Na segunda etapa metodológica, o decisor avalia o desempenho dos municípios usando os parâmetros da análise multicritério. Primeiramente, o tomador de decisão define os objetivos e os critérios para essa avaliação. Conforme informou o representante público, o modelo proposto contribuirá para que o governo implemente políticas e ações mais eficazes no combate à estiagem. Por isso, estabeleceu-se 5 critérios para priorizar os municípios durante o processo de distribuição de recursos, conforme apresentado na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1: Critérios de avaliação

Objetivo	Código	Critério	Descrição	Tipo
Hidrossanitário	Cr1	Índice de Precipitação Acumulada Anual	Mede a quantidade total de precipitação acumulada ao longo de um ano.	Min
	Cr2	Índice de Proporção de Abastecimento (SPI)	Mede a proporção de fornecimento de recursos, como água e saneamento.	Min
Ambiental	Cr3	Cobertura Florestal	Refere-se à área coberta por florestas.	Min
	Cr4	Focos de Incêndios	Incidência de focos de incêndio em uma área específica.	Max
Socioeconômico	Cr5	Nº de Habitantes ajustado pelo IDH	Número de habitantes do município ajustado pelo Índice de Desenvolvimento Humano, refletindo o desenvolvimento humano ponderado pela população.	Min

Fonte: Autoria Própria (2025)

Cinco critérios foram selecionados e organizados em três objetivos principais: (i) hidrossanitário, (ii) ambiental e (iii) socioeconômico. O objetivo hidrossanitário abrange dois critérios: o “Índice de Precipitação Acumulada Anual”, que mede o volume total de chuvas em um ano, e o “Índice de Proporção de Abastecimento (SPI)”, que avalia a cobertura de fornecimento de água e saneamento para a população. O objetivo ambiental compreende a “Cobertura Florestal”, que representa a proporção de área coberta por florestas, e os “Focos de Incêndios”, que indicam a quantidade de incêndios registrados em cada município. O objetivo socioeconômico inclui o “Número de Habitantes ajustado pelo IDH”, que relaciona o tamanho populacional com o Índice de Desenvolvimento Humano, refletindo o desenvolvimento humano ponderado pela população de cada município.

Por fim, o decisor estabeleceu a sua matriz de avaliação com base nos municípios e critérios definidos anteriormente. A equipe de pesquisa reuniu informações de cinco instituições: a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico (SNIS), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A Tabela 2 apresenta a matriz de avaliação resultante.

Tabela 2: Matriz de avaliação

	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	Cr5
<b>Baraúna (A1)</b>	425	0,505	0,576	12	0,043
<b>Mossoró (A2)</b>	753	0,741	0,600	24	0,280
<b>Tibau (A3)</b>	475	0,548	0,456	8	0,007
<b>Grossos (A4)</b>	619	0,274	0,331	3	0,013
<b>Areia Branca (A5)</b>	550	0,332	0,573	27	0,029
<b>Serra do Mel (A6)</b>	485	0,080	0,238	81	0,019
<b>Porto do Mangue (A7)</b>	514	0,193	0,334	2	0,008
<b>Carnaubais (A8)</b>	498	0,300	0,499	4	0,015
<b>Pendências (A9)</b>	523	0,523	0,542	2	0,017
<b>Alto do Rodrigues (A10)</b>	364	0,101	0,539	3	0,015
<b>Assú (A11)</b>	492	0,590	0,566	54	0,072
<b>Ipanguaçu (A12)</b>	467	0,082	0,430	8	0,021

<b>Itajá (A13)</b>	428	0,216	0,225	6	0,010
<b>São Rafael (A14)</b>	389	0,721	0,371	4	0,011

Fonte: Autoria Própria (2025)

O próximo passo é estabelecer a ordem de prioridade dos critérios para que o modelo possa calcular os pesos representativos de cada decisor. Esta etapa será conduzida pelo procedimento ROC (Equação 1), representando o grau de importância dos critérios. A ordem de prioridade e os pesos dos critérios para cada decisor estão na Tabela 3.

Tabela 3: Pesos dos critérios de avaliação

Pesos dos Critérios					
Ranking/Ordem	1°	2°	3°	4°	5°
<b>Critério</b>	Cr1: Índice de Precipitação Acumulada Anual	Cr2: Índice de Proporção de Abastecimento (SPI)	Cr5: N° de Habitantes ajustado pelo IDH	Cr4: Focos de Incêndios	Cr3: Cobertura Florestal
<b>Pesos</b>	0,4567	0,2567	0,1567	0,09	0,04

Fonte: Autoria Própria (2025)

A sequência de prioridade estabelecida foi a seguinte: o “Índice de Precipitação Acumulada Anual” (Cr1) recebeu o maior peso, fixado em 0,4567, seguido pelo “Índice de Proporção de Abastecimento (SPI)” (Cr2) com peso de 0,2567, o “Número de Habitantes ajustado pelo IDH” (Cr5) com 0,1567, os “Focos de Incêndios” (Cr4) com 0,09, e por fim a “Cobertura Florestal” (Cr3) com o menor peso de 0,04. Essa distribuição de pesos reflete a importância relativa de cada critério na avaliação e priorização dos municípios.

Por fim, foi considerado pelo decisor o tipo de avaliação *Usual* (Tipo I) para todos os critérios. Esse tipo de avaliação indica que qualquer diferença de desempenho entre pares de alternativas irá representar uma preferência estrita. Assim, os limiares de preferência e/ou indiferença são indicados por valores nulos (Morais et al. 2015).

#### 4.2.3 Priorização de Municípios afetados pela seca para alocação de recursos

Todas as informações e parâmetros definidos anteriormente foram aplicados no modelo para gerar o Fluxo Positivo( $\phi^+$ ), Fluxo Negativo( $\phi^-$ ) e Fluxo Líquido ( $\phi$ ) para o método PROMETHEE-ROC, que está exposto na Tabela 4.

Tabela 4: Ordem de prioridade dos municípios.

Ranking/Ordem	Alternativa	Fluxo Positivo ( $\Phi^+$ )	Fluxo Negativo ( $\Phi^-$ )	Fluxo Líquido ( $\Phi$ )
<b>1</b>	Alto do Rodrigues (A10)	0.7677	0.2133	0.5544
<b>2</b>	Itajá (A13)	0.7233	0.2767	0.4467
<b>3</b>	Serra do Mel (A6)	0.67	0.33	0.34
<b>4</b>	Ipanguaçu (A12)	0.6546	0.3385	0.3162
<b>5</b>	São Rafael (A14)	0.6172	0.3759	0.2413
<b>6</b>	Baraúna (A1)	0.5746	0.4254	0.1492
<b>7</b>	Tibau (A3)	0.5669	0.4262	0.1408
<b>8</b>	Porto do Mangue (A7)	0.4936	0.4995	-0.0059
<b>9</b>	Arcia Branca (A5)	0.4454	0.5546	-0.1092
<b>10</b>	Carnaubais (A8)	0.4246	0.5564	-0.1318
<b>11</b>	Assú (A11)	0.3546	0.6454	-0.2908
<b>12</b>	Grossos (A4)	0.3295	0.6636	-0.3341
<b>13</b>	Pendências (A9)	0.269	0.7241	-0.4551
<b>14</b>	Mossoró (A2)	0.0692	0.9308	-0.8615

Fonte: Autoria Própria (2025)

A Tabela 4 apresenta os resultados da aplicação do método PROMETHEE-ROC, incluindo o fluxo positivo, negativo e líquido para cada município, que foram ordenados de forma decrescente

conforme o fluxo líquido. O município Alto do Rodrigues (A10) apresentou o melhor desempenho, com fluxo líquido de 0,5544. Em seguida, Itajá (A13) obteve fluxo líquido de 0,4467, e Serra do Mel (A6) alcançou 0,34. Os três primeiros demonstram prioridade significativa em relação aos demais.

Na sequência, Ipanguaçu (A12), São Rafael (A14), Baraúna (A1) e Tibau (A3) apresentaram fluxos líquidos positivos, embora progressivamente menores, indicando desempenho ainda favorável. Já os municípios Porto do Mangue (A7) e Areia Branca (A5) obtiveram fluxos líquidos próximos a zero e negativos, respectivamente, sinalizando deficiência em relação aos critérios avaliados. Os demais municípios (Carnaubais (A8), Assú (A11), Grossos (A4), Pendências (A9) e Mossoró (A2)) registraram fluxos líquidos cada vez mais negativos, sendo Mossoró (A2) o pior classificado com fluxo líquido de -0,8615, indicando fraco desempenho geral na avaliação multicritério.

Para validar a robustez dos resultados, foi aplicada uma análise de sensibilidade utilizando a técnica de Simulação Monte Carlo. Nessa análise, geraram-se dados aleatórios com variação de 20% nos pesos de todos os critérios, extraídos de uma distribuição uniforme. Foram executadas cem mil rodadas de simulação para avaliar o impacto dessas variações na classificação dos municípios. A Tabela 5 apresenta os resultados da simulação.

Tabela 5: Análise de sensibilidade pela simulação de Monte Carlo

Ranking/Ordem	Alternativa	Índice de Robustez	Mudança de Ordem
1º	Alto do Rodrigues (A10)	94.72%	5.28%
2º	Itajá (A13)	98.32%	1.68%
3º	Serra do Mel (A6)	86.03%	13.97%
4º	Ipanguaçu (A12)	94.75%	5.25%
5º	São Rafael (A14)	95.14%	4.86%
6º	Baraúna (A1)	94.23%	5.77%
7º	Tibau (A3)	94.23%	5.77%
8º	Porto do Mangue (A7)	89.97%	10.03%
9º	Areia Branca (A5)	89.96%	10.04%
10º	Carnaubais (A8)	89.67%	10.33%
11º	Assú (A11)	87.45%	12.55%
12º	Grossos (A4)	89.82%	10.18%
13º	Pendências (A9)	94.72%	5.28%
14º	Mossoró (A2)	94.23%	5.77%

Fonte: Autoria Própria (2025)

Os resultados demonstraram que a ordenação dos municípios permanece praticamente inalterada mesmo com as oscilações nos pesos. Essa estabilidade nos resultados indica que a priorização dos municípios para alocação de recursos é confiável e apresenta baixo nível de incerteza. Portanto, a recomendação gerada pelo modelo é robusta e pouco sensível a variações nos parâmetros de entrada.

#### 4.2.4 Recomendações

Com base nos resultados obtidos, a administração pública do Rio Grande do Norte deve priorizar a alocação de recursos para os municípios classificados com maior urgência. O município de Alto do Rodrigues (A10) foi identificado como prioritário, seguido por Itajá (A13) e Serra do Mel (A6). Esses três municípios apresentam as piores condições relativas para enfrentar a estiagem e devem receber atenção imediata para implementação de políticas e projetos de mitigação de secas. Ao direcionar esforços, a administração pública consegue utilizar seus recursos de forma mais eficiente, abordando simultaneamente múltiplos problemas e beneficiando as cidades mais afetadas pela seca.

Em uma segunda fase de priorização, os municípios de Ipanguaçu (A12), São Rafael (A14), Baraúna (A1) e Tibau (A3) devem receber atenção complementar. Embora tenham prioridade secundária, esses municípios devem ser incluídos em programas de médio prazo para reforço de infraestrutura hídrica e segurança alimentar. As ações recomendadas incluem a perfuração de poços adicio-

nais, instalação de pipelines de emergência, desenvolvimento de programas alternativos de abastecimento de água e execução de iniciativas de conservação ambiental. Essas medidas devem ser coordenadas com investimentos em ampliação de áreas de cobertura florestal, conforme indicado pelos critérios ambientais selecionados.

O Estado do Rio Grande do Norte depende significativamente de reservatórios e poços privados para seus recursos hídricos, enfrentando fragilidades sociais, econômicas e de infraestrutura. A região sofre com períodos longos e frequentes de estiagem, demandando o desenvolvimento contínuo de políticas públicas estruturadas. O modelo apresentado oferece uma abordagem que permite uma direção mais eficaz dessas políticas, considerando múltiplas perspectivas na tomada de decisão. A administração pública deve utilizar este modelo como ferramenta de suporte para identificar as necessidades dos municípios afetados e direcionar recursos como aporte financeiro emergencial, emendas parlamentares e recursos hídricos de forma estratégica e equitativa.

Por fim, recomenda-se que a administração pública estenda a aplicação deste modelo para toda a região do semiárido norte-rio-grandense, envolvendo um maior número de decisores e gestores públicos. A inclusão de múltiplas perspectivas na gestão da seca contribui para a formulação de políticas hídricas públicas mais robustas e consideradas. Essa abordagem colaborativa e multicritério garante uma resposta mais efetiva e direcionada ao desafio da estiagem, beneficiando o maior número possível de municípios afetados.

## 5. Considerações Finais

A seca é um desastre natural recorrente no semiárido brasileiro e necessita ser gerenciada efetivamente pela administração pública. Para isso, o objetivo deste estudo foi apresentar uma abordagem capaz de priorizar municípios que necessitam de alocação de recursos para enfrentamento à seca mediante metodologia de ordenação multicritério. Como resultado, esta pesquisa estabeleceu um modelo que pode auxiliar no processo decisório de políticas públicas, possibilitando a construção e estruturação de políticas públicas estratégicas e direcionando esforços e recursos para os municípios mais impactados pela seca com base em suas necessidades reais.

A identificação incorreta de municípios em situação crítica de seca pode resultar em alocação ineficaz de recursos e esforços públicos. Por meio do modelo proposto baseado no método PROMETHEE-ROC, foi possível ordenar os municípios afetados pela seca de forma sistemática e transparente. Como resultado, a aplicação adequada de esforços e recursos pode minimizar os seus efeitos adversos.

A priorização de municípios afetados pela seca frequentemente depende de decisões políticas e envolve alto grau de subjetividade. O estudo introduziu uma abordagem imparcial, estruturada e transparente, que considera fatores hidrossanitários, ambientais e socioeconômicos, direcionando os recursos disponíveis para as áreas de maior necessidade. A validação por meio da análise de sensibilidade com Simulação Monte Carlo demonstrou a robustez do modelo, com índices de estabilidade superiores a 86% para todos os municípios avaliados.

Apesar dos resultados promissores, o estudo apresenta algumas limitações que devem ser reconhecidas. A aplicação do modelo considerou apenas um tomador de decisão, o que restringe a pluralidade de perspectivas e pode introduzir vieses individuais na ponderação dos critérios. Além disso, a análise foi delimitada ao território Açu–Mossoró, o que limita a generalização dos resultados para outras regiões do semiárido com dinâmicas climáticas e socioeconômicas distintas. A disponibilidade e atualização dos dados também representam um desafio, visto que discrepâncias nas bases oficiais podem afetar a precisão das análises multicritério.

Como continuidade, recomenda-se expandir o modelo para incluir múltiplos decisores de diferentes esferas governamentais e incorporar variáveis qualitativas que expressem percepções comu-

nitárias sobre os impactos da seca. Futuras pesquisas podem ainda explorar o uso combinado de métodos multicritério e técnicas de aprendizado de máquina para aprimorar a predição de vulnerabilidade hídrica. Dessa forma, o modelo poderá evoluir de uma ferramenta de priorização para um sistema dinâmico de apoio à formulação, monitoramento e avaliação de políticas públicas de gestão da seca em todo o semiárido brasileiro.

Portanto, como proposta futura, o modelo apresentado poderia ser aplicado a todos os municípios da região semiárida do Brasil e expandido para incorporar múltiplos decisores de diferentes esferas governamentais. A metodologia proposta representa, portanto, uma contribuição significativa para o aprimoramento da gestão de recursos hídricos em regiões vulneráveis à seca, oferecendo uma ferramenta estruturada para apoiar a tomada de decisão no setor público.

## Referências

- ALVALÁ, R. C. S.; CUNHA, A. P. M. A.; BRITO, S. S. B.; SELUCHI, M. E.; MARENGO, J. A.; MORAES, O. L. L.; CARVALHO, M. A. Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 91, n. 1, p. 1-15, 2019. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170209>.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Monitor de secas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2025. Disponível em: <https://monitordesecas.ana.gov.br/mapa>.
- BARAL, U.; SAHA, U. D.; MUKHOPADHYAY, U. et al. Avaliação do risco de seca na parte oriental da península indiana — um estudo no distrito de Purulia, Bengala Ocidental. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 195, p. 1364, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11920-4>.
- BELTON, V.; STEWART, T. J. *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Dordrecht: Kluwer, 2002.
- BRANS, J. P.; VINCKE, P. A preference ranking organization method. *Management Science*, v. 31, p. 647-656, 1985.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Cidades*. Brasília, DF: IBGE, 2025. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>.
- BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). *BDQueimadas*. São José dos Campos: INPE, 2025. Disponível em: <https://terrabilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>.
- BRASIL. Ministério das Cidades. *Painel de Indicadores do SNIS*. Brasília, DF: SNIS, 2024. Disponível em: <https://app-hmg.cidades.gov.br/indicadores-sinisa/web/site/index>.
- CASTRO, G. O.; MORAIS, D. C.; GONÇALO, T. E. E. Enhancing resource allocation in drought mitigation through a group multicriteria sorting model: a case study of Rio Grande do Norte, Brazil. *Water Policy*, v. 26, n. 5, p. 441-461, 2024. <https://doi.org/10.2166/wp.2024.063>.
- DANIELSON, M.; EKENBERG, L. A Robustness Study of State-of-the-Art Surrogate Weights for MCDM. *Group Decision and Negotiation*, v. 26, p. 677-691, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10726-016-9494-6>.
- DO CARMO, B. B. T.; CASTRO, G. O.; GONÇALO, T. E. E.; UGAYA, C. M. L. Participatory approach for pertinent impact subcategory identification: Local community. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 26, p. 950-962, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01892-3>.
- DRISYA, J.; SATHISH KUMAR, D. Evaluation of the drought management measures in a semi-arid agricultural watershed. *Environment, Development and Sustainability*, v. 25, p. 811-833, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02079-4>.
- EDWARDS, W.; BARRON, F. H. SMARTS and SMARTER: Improved simple methods for multiattribute utility measurement. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, v. 60, p. 306-325, 1994. <https://doi.org/10.1006/obhd.1994.1087>.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Agro 2017*. 2017. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/>.
- IHINEGBU, C.; OGUNWUMI, T. Modelagem multicritério da seca: um estudo do Estado Federal de Brandemburgo, Alemanha. *Modeling Earth Systems and Environment*, v. 8, p. 2035-2049, 2022. <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01197-2>.

INSA - INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. Instituto Nacional do Semiárido brasileiro. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiariado-brasileiro>.

MERA, G. A. Drought and its impacts in Ethiopia. *Weather and Climate Extremes*, v. 22, p. 24-35, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2018.10.002>.

MORAIS, D. C.; DE ALMEIDA, A. T.; ALENCAR, L. H.; CLEMENTE, T. R. N.; CAVALCANTI, C. Z. B. PROMETHEE-ROC model for assessing the readiness of technology for generating energy. *Mathematical Problems in Engineering*, p. 1-11, 2015.

MORAIS, D. C.; DE ALMEIDA, A. T.; FIGUEIRA, J. R. A sorting model for group decision making: a case study of water losses in Brazil. *Group Decision and Negotiation*, v. 23, p. 937-960, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10726-012-9321-7>.

OMARI-MOTSUMI, K.; ZIERVOGEL, G.; MARK, N. Drought governance: a cross-level governance analysis in botswana. *Climate Risk Management*, v. 42, p. 100557, 2023. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crm.2023.100557>.

PAEGELOW, M.; QUENSE, J.; PELTIER, A.; RUIZ, C. H.; GOFF, L. L.; VÁSQUEZ, F. A.; ANTOINE, J. Water vulnerabilities mapping: a multi-criteria and multi-scale assessment in central Chile. *Water Policy*, v. 24, n. 1, p. 159-178, 2021. DOI: <https://doi.org/10.2166/wp.2021.116>.

RIO GRANDE DO NORTE. Empresa de Pesquisa Agropecuária (EMPARN). Painel Hidrometeorológico. Natal, [2025]. Disponível em: <https://meteorologia.emparn.rn.gov.br/inicio>.

RIVERO, N. P. P.; MORAIS, D. C.; PEREIRA, L. S. Assessment of actions to tackle the shortages of water in La Paz, Bolivia. *Water Policy*, v. 22, n. 2, p. 177-192, 2020. DOI: <https://doi.org/10.2166/wp.2020.087>.

ROSHNI, T.; CHOUDHARY, S.; JHA, M. K.; GHORBANI, A. M.; WABLE, P. S. Management of groundwater drought risk by reliability theory and copula model in Sina basin, India. *Sustainable Water Resources Management*, v. 8, n. 23, p. 1-17, 2022. <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00620-5>.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/painel/es>.

WU, L.; MAO, X.; YANG, X.; LI, Z.; FANG, S. Sustainability assessment of urban water planning using a multi-criteria analytical tool – a case study in Ningbo, China. *Water Policy*, v. 19, n. 3, p. 532-555, 2016. <https://doi.org/10.2166/wp.2016.241>.