



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

GABRIEL DE OLIVEIRA CASTRO

**MODELO DE CLASSIFICAÇÃO BASEADO NA ADAPTAÇÃO DO MÉTODO  
PROMETHEE-ROC**

Recife

2023

GABRIEL DE OLIVEIRA CASTRO

**MODELO DE CLASSIFICAÇÃO BASEADO NA ADAPTAÇÃO DO MÉTODO  
PROMETHEE-ROC**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Orientadora: Profa. Dra. Danielle Costa Moraes.

Recife

2023

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                 |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| C355m | <p>Castro, Gabriel de Oliveira.<br/>Modelo de classificação baseado na adaptação do método PROMETHEE-ROC / Gabriel de Oliveira Castro. – 2023.<br/>68 f.: il., fig., quad., tabs., abrev. e siglas.</p> <p>Orientadora: Profa. Dra. Danielle Costa Moraes.<br/>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção. Recife, 2023.<br/>Inclui referências e apêndices.</p> <p>1. Engenharia de produção. 2. Decisão multicritério. 3. Problemática de classificação. 4. Informação parcial. 5. Pesos substitutos. 6. PROMETHEE-ROC. I. Moraes, Danielle Costa (Orientadora). II. Título.</p> <p>658.5 CDD (22. ed.)</p> | <p>UFPE</p> <p>BCTG/2023-83</p> |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|

GABRIEL DE OLIVEIRA CASTRO

**MODELO DE CLASSIFICAÇÃO BASEADO NA ADAPTAÇÃO DO MÉTODO  
PROMETHEE-ROC**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Aprovada em: 14/02/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Danielle Costa Moraes (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Dra. Ana Paula Cabral Seixas Costa (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Breno Barros Telles do Carmo (Examinador Externo)  
Universidade Federal do Ceará

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Iris Maria e Almir de Castro, pela criação, conselhos, auxílios, preocupações e cuidados. Ambos foram imprescindíveis para a existência do ser humano que sou hoje.

Agradeço a minha irmã, Iana Castro, que foi sempre uma fonte de inspiração e orgulho. Superação e persistência são palavras-chaves que definem a importância dela para mim.

Agradeço também a minha segunda família do sangue e coração: Eliane, Pedro, Glória e Ilbernom (in memoriam). A presença, quase que diária, me ensinou a ser mais empático, zeloso, carinhoso e altruísta. Sou muito orgulhoso e grato de ter um suporte e carinho de cada um de vocês.

Agradeço aos demais membros da minha família, tanto paterna quanto materna, estruturas fundamentais da criação e afeto que recebo diariamente. Em especial, minhas avós, Maria da Conceição e Raimunda Barroso (in memoriam). Estas conseguem representar o apreço e carinho que tenho por cada membro da minha enorme família.

Agradeço aos meus amigos(as) e companheiros(as) de curso que direta ou indiretamente contribuíram com meu crescimento até o momento. Em especial, agradeço a minha namorada que foi fonte de incentivo, suporte e companheirismo durante essa jornada. Meu respeito, carinho e gratidão serão eternizados nesta pesquisa. Todos(as), sem exceções, me ajudaram. Obrigado!

Agradeço a minha orientadora, Danielle Moraes, por todos os ensinamentos, orientações e conselhos ao longo desta pesquisa. Além disso, agradeço a banca examinadora, Ana Paula Costa e Breno Barros, e os docentes do curso. Inspiração, capacitação e o conhecimento compartilhado foi de extrema valia.

Agradeço a CAPES pelo incentivo e suporte financeiro proporcionados para esta pesquisa.

## RESUMO

Os métodos multicritério de classificação foram desenvolvidos para auxiliar um ou mais decisores na atribuição de ações/alternativas em categorias pré-definidas e/ou pré-ordenadas. Contudo, esses métodos ainda apresentam importantes desafios metodológicos a serem superados, principalmente no que diz respeito à avaliação de pesos para critérios de decisão, pois a maioria dos métodos de classificação requerem uma elicitação direta de pesos, para os quais o decisor deve fornecer valores claros e determinísticos. Como solução a isso, esta pesquisa propõe o desenvolvimento de um modelo multicritério de classificação com a utilização de informação parcial a respeito das preferências do decisor para o estabelecimento dos pesos dos critérios. Para isso, o estudo baseia-se no método multicritério PROMETHEE-ROC, que utiliza o procedimento de pesos substitutos *Rank-Order Centroid* (ROC), para a atribuição do valor do peso dos critérios. A classificação das alternativas pelo modelo proposto ocorrerá através de uma sistemática atribuição de alternativas em categorias pré-definidas, baseadas em regras de decisão/atribuição. A ilustração do modelo proposto é apresentada através da classificação de municípios da região do semiárido do Rio Grande do Norte para proporcionar o desenvolvimento de estratégias de combate à seca. Os resultados da aplicação foram considerados satisfatórios para tratamento de problemas complexos e com múltiplos critérios, desde que o decisor envolvido apresente a racionalidade não compensatória sobre a avaliação das alternativas. Ademais, a utilização de informações parciais para a definição da importância dos critérios, bem como a sistematização da atribuição de alternativas em categorias pré-definidas, pode ser considerada uma importante contribuição para a literatura em problemas de classificação.

Palavras-chave: decisão multicritério; problemática de classificação; informação parcial; pesos substitutos; PROMETHEE-ROC.

## **ABSTRACT**

The multicriteria sorting methods were developed to help one or more decision-makers in assigning actions/alternatives in pre-defined and/or pre-ordered categories. However, these methods still present important methodological challenges to be overcome, especially about the evaluation of weights for decision criteria, because most sorting methods require an exact weights elicitation, where the decision-maker must provide clear and deterministic values. As a solution to this, this research proposes the development of a multicriteria sorting model with the use of partial information about the decision maker's preferences for the establishment of criteria weights. The study is based on the PROMETHEE-ROC method, which uses the Rank-Order Centroid (ROC) surrogate weights procedure to assign the criteria weight value. The sorting of alternatives by the proposed model will occur through a systematic assignment of alternatives into pre-defined categories based on decision/attribution rules. The illustration of the proposed model is presented through the municipalities sorting in the semi-arid region of Rio Grande do Norte to provide the strategies developed to combat drought. The application results were considered satisfactory for treating complex problems with multiple criteria, provided that the decision-maker involved presents non-compensatory rationality when evaluating alternatives. Moreover, the use of partial information to define the importance degree of the criteria and the systematization of the attribution of alternatives in pre-defined categories can be considered an important contribution to the literature on multicriteria sorting problems.

**Keywords:** multi-criteria decision; sorting problems; partial information; surrogate weights; PROMETHEE-ROC.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|            |                                                                            |    |
|------------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – | Exemplificação das principais problemáticas multicritério.                 | 19 |
| Figura 2 – | Definição de categorias usando perfis limitantes entre categorias.         | 22 |
| Figura 3 – | Exemplo de atribuição das alternativas em categorias pelo modelo proposto. | 35 |
| Figura 4 – | Etapas do modelo multicritério de classificação proposto.                  | 36 |
| Quadro 1 – | Objetivos e Critérios de avaliação.                                        | 43 |
| Quadro 2 – | Descrição das categorias/classes.                                          | 46 |
| Quadro 3 – | Questionamentos para definição dos perfis limitantes entre categorias.     | 47 |
| Figura 5 – | Classificação das alternativas.                                            | 51 |
| Figura 6 – | Análise gráfica da sensibilidade das classificações das alternativas.      | 53 |

## **LISTA DE TABELAS**

|            |                                                          |    |
|------------|----------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – | Sistemática de atribuição de alternativas em categorias. | 33 |
| Tabela 2 – | Matriz de desempenho.                                    | 45 |
| Tabela 3 – | Perfis limitantes entre categorias/classes.              | 47 |
| Tabela 4 – | Ordenação e peso dos critérios.                          | 49 |
| Tabela 5 – | Matriz de desempenho.                                    | 50 |
| Tabela 6 – | Análise de sensibilidade.                                | 53 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|               |                                                                                     |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| AHP           | Analytic Hierarchy Process                                                          |
| AHPsort       | Analytic Hierarchy Process sorting                                                  |
| ANA           | Agência Nacional de Águas                                                           |
| DRSA          | Dominance-based Rough Set Approach                                                  |
| ELECTRE       | ELimination Et Choix Traduisant la RÉalité                                          |
| EW            | Equal Weights                                                                       |
| FITradeoff    | Flexible and Interactive Tradeoff                                                   |
| IBGE          | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                                     |
| MAUT          | Multi-Attribute Utility Theory                                                      |
| MCDM/A        | Multicriteria Decision-Making/-Aiding                                               |
| PAIRS         | Preference Assessment by Imprecise Ratio Statements                                 |
| PROMETHEE     | Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation                    |
| PROMETHEE-ROC | Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation with ROC procedure |
| RICH          | Rank Inclusion in Criteria Hierarchies                                              |
| ROC           | Rank-Order Centroid                                                                 |
| RR            | Rank Reciprocal                                                                     |
| RS            | Rank Sum                                                                            |
| SEMARH        | Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos                       |
| SNIS          | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento                                    |
| UFPE          | Universidade Federal de Pernambuco                                                  |
| UTADIS        | UTilites Additives DIScriminantes                                                   |
| VIP           | Variable Independent Parameters                                                     |

## SUMÁRIO

|          |                                                                                              |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                      | <b>12</b> |
| 1.1      | JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA .....                                                             | 14        |
| 1.2      | OBJETIVOS DO TRABALHO .....                                                                  | 15        |
| 1.2.1    | <b>Objetivo geral .....</b>                                                                  | <b>15</b> |
| 1.2.2    | <b>Objetivos específicos .....</b>                                                           | <b>15</b> |
| 1.3      | ESTRUTURA DO TRABALHO .....                                                                  | 16        |
| <b>2</b> | <b>REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA .....</b>                                     | <b>17</b> |
| 2.1      | REFERENCIAL TEÓRICO .....                                                                    | 17        |
| 2.1.1    | <b>Decisão multicritério .....</b>                                                           | <b>17</b> |
| 2.1.1.1  | Problemáticas multicritério .....                                                            | 18        |
| 2.1.2    | <b>Métodos de apoio multicritério à decisão .....</b>                                        | <b>20</b> |
| 2.1.2.1  | Métodos multicritério de classificação .....                                                 | 21        |
| 2.1.3    | <b>Informação parcial em problemas de decisão .....</b>                                      | <b>23</b> |
| 2.1.3.1  | Procedimentos para pesos substitutos .....                                                   | 24        |
| 2.2      | REVISÃO DA LITERATURA .....                                                                  | 26        |
| 2.2.1    | <b>Métodos multicritério com informação parcial .....</b>                                    | <b>26</b> |
| 2.2.1.1  | Métodos multicritério de classificação com informação parcial .....                          | 28        |
| 2.3      | CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....                                                       | 29        |
| <b>3</b> | <b>MODELO DE CLASSIFICAÇÃO BASEADO NO MÉTODO PROMETHEE-ROC .....</b>                         | <b>31</b> |
| 3.1      | APRESENTAÇÃO DO MÉTODO PROMETHEE-ROC .....                                                   | 31        |
| 3.2      | ADAPTAÇÃO DO MÉTODO PROMETHEE-ROC PARA A PROBLEMÁTICA DE CLASSIFICAÇÃO .....                 | 32        |
| 3.3      | PROPOSIÇÃO DO MODELO MULTICRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO...                                       | 35        |
| <b>4</b> | <b>APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO: CLASSIFICAÇÃO DE MUNICÍPIOS PARA O COMBATE À SECA .....</b> | <b>39</b> |
| 4.1      | APLICAÇÃO ADAPTADA DO ESTUDO DE GONÇALO E MORAIS (2018) .....                                | 39        |
| 4.1.1    | <b>Descrição do problema .....</b>                                                           | <b>39</b> |
| 4.1.2    | <b>Identificação do decisor .....</b>                                                        | <b>41</b> |
| 4.1.3    | <b>Estruturação dos objetivos e critérios .....</b>                                          | <b>41</b> |

|       |                                                                                               |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.4 | Definição de alternativas .....                                                               | 44 |
| 4.1.5 | Definição de categorias (classes) e perfis limitantes .....                                   | 46 |
| 4.1.6 | Ordenação dos critérios e cálculo do peso pelo ROC .....                                      | 48 |
| 4.1.7 | Avaliação das alternativas e primeira recomendação pela sistemática de<br>classificação ..... | 49 |
| 4.1.8 | Análise de sensibilidade e recomendação final .....                                           | 51 |
| 4.2   | DISCUSSÃO DO MODELO E SUAS CONTRIBUIÇÕES .....                                                | 54 |
| 5     | CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....                                           | 57 |
| 5.1   | CONCLUSÕES .....                                                                              | 57 |
| 5.2   | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....                                                        | 58 |
|       | REFERÊNCIAS .....                                                                             | 60 |

## 1 INTRODUÇÃO

A tomada de decisão é considerada uma das atividades mais relevantes para os executivos (decisores) de uma organização, dado que suas consequências influenciam diretamente na competitividade do negócio (DE ALMEIDA, 2013). A presença de múltiplos objetivos, muitas vezes conflitantes entre si, em um processo decisório é um aspecto intrínseco em grande parte dos problemas de decisão que são enfrentados pelas organizações. No entanto, o processo de solução desses problemas, por muitas vezes, pode ocorrer de forma intuitiva e não estruturada (JULMI, 2019), sem qualquer padrão de procedimento operacional, possibilitando a formulação de soluções tendenciosas e pouco eficientes. Dessa forma, a abordagem multicritério de apoio à decisão se apresenta como uma metodologia capaz solucionar problemas em que diferentes objetivos estão presentes.

A abordagem multicritério de apoio à decisão é uma ferramenta capaz de solucionar o dilema de múltiplos objetivos conflitantes, baseando-se no julgamento de valor de um ou mais decisores, tendo por objetivo apoiar uma decisão (ZELENY, 1982; DE ALMEIDA, 2013). Dessa forma, os métodos multicritério de apoio à decisão possibilitam que as preferências do(s) decisor(es) sejam elicitadas e inseridas em um modelo capaz de analisar e propor soluções adequadas a partir avaliação das alternativas disponíveis.

Dentro do universo dos métodos multicritério, existem os modelos clássicos de tomada de decisão multicritério com informação completa ou exata, os quais requerem valores precisos e bem definidos para o desempenho das alternativas e para parâmetros do método, como os limiares de indiferença e preferência, perfis de referência de categorias e, principalmente, os pesos dos critérios (WEBER, 1987). No entanto, é cognitivamente oneroso para o decisor especificar suas preferências de forma tão detalhada quanto requerido. Nesse contexto, foram desenvolvidos os métodos e abordagens que utilizam de informação parcial, incompleta ou imprecisa a respeito das preferências do decisor (MUNDA *et al.*, 1995).

Weber (1987) afirma que as situações de decisão que exigem informação incompleta (parcial ou imprecisa) são definidas por um decisor que não apresenta uma estrutura de preferências bem estabelecida, não sendo capaz de fornecer uma avaliação exata das consequências. Para solucionar esse tipo de problema, foram desenvolvidos os métodos de informação parcial, que buscam facilitar o estabelecimento das preferências, tornando o processo de tomada de decisão menos complexo e menos exigente cognitivamente para o decisor (DE ALMEIDA *et al.*, 2016). A literatura apresenta uma série de métodos que incorporam informação parcial na elicitação das preferências do decisor (SILVA *et al.*, 2022)

e que estão sendo aplicados em diversas problemáticas multicritério, dentre as quais a escolha, a classificação e a ordenação (ROY, 1996). Esse estudo busca focar nos métodos multicritério da problemática de classificação, tendo em vista a escassez de metodologias quando comparadas com outras problemáticas (SILVA *et al.*, 2022).

Roy (1996) afirma que os métodos multicritério de classificação foram desenvolvidos para auxiliar um ou mais decisores no processo de atribuição de ações/alternativas independentes em categorias pré-definidas e, quando necessário, pré-ordenadas. Esses métodos são considerados importantes para o universo de métodos multicritério de apoio à decisão no que diz respeito a resolução de problemas complexos (ALVAREZ *et al.*, 2021). Por isso, a literatura científica tem apresentado diversas técnicas multicritério de classificação interessantes e pertinentes para a solução de problemas reais (ARAZ; OZKARAHAN, 2007; YU, 1992; ISHIZAKA *et al.*, 2012; ALMEIDA-DIAS *et al.*, 2010; BRITO *et al.*, 2010; GREGO *et al.*, 2010).

Contudo, os métodos multicritério de classificação ainda apresentam importantes desafios metodológicos a serem superados, principalmente no que diz respeito à avaliação de pesos para critérios de decisão, pois a maioria dos métodos de classificação requerem uma elicitación direta de pesos, para os quais o decisor deve fornecer valores claros e determinísticos (PELLISSARI *et al.*, 2021; VETSCHERA, 2017). Dada a complexidade dessa tarefa, observa-se uma tendência à elicitación indireta de valores com as informações parciais (ANGILELLA *et al.*, 2016), seja ela com a formulação de novos métodos multicritérios ou através adequação de métodos existentes.

O método PROMETHEE-ROC, proposto por Moraes *et al.* (2015), por exemplo, é um método multicritério em que as preferências do decisor relacionadas à indicação dos pesos dos critérios são conduzidas pela metodologia de pesos substitutos, um procedimento de informação parcial capaz de superar as desvantagens dos procedimentos de elicitación de preferências baseados em informação exata (completa). Apesar de ter sido desenvolvido originalmente para a problemática de ordenação (*ranking*), definida por Roy (1996), as características favoráveis dessa abordagem indicam que sua adequação à problemática de classificação poderia ser benéfica para o preenchimento dessa lacuna metodológica importante nos métodos multicritério de classificação.

Desse modo e com o intuito de tratar problemas práticos de classificação, bem como facilitar o processo de elicitación de preferências, esta pesquisa propõe um modelo de classificação com utilização de pesos substitutos, baseado na adaptação do método multicritério PROMETHEE-ROC, por meio de uma sistemática de atribuição de alternativas em categorias

pré-definidas. A fim de auxiliar o decisor no processo de elicitación de preferências em um contexto multicritério, esta abordagem utiliza de informação parcial do decisor para a definição do grau de importância dos critérios a serem considerados no problema, de modo a minimizar inconsistências e reduzir o esforço cognitivo durante o processo de elicitación de preferências, esperando, como resultado, que classificações satisfatórias para os problemas de decisão multicritério sejam geradas.

## 1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Construir modelos de decisão e definir métodos que fundamentam a tomada de decisão é considerado como uma preocupação natural dos pesquisadores que buscam auxiliar os decisores na estruturação e resolução de problemas com múltiplos objetivos (DE ALMEIDA, 2013). Modelos que realizam a tomada de decisão considerando os aspectos analíticos do problema e aspectos cognitivos do decisor trazem mais benefícios para uma organização.

Para a proposição de soluções adequadas ao contexto de decisão, os modelos de decisão necessitam que os decisores especifiquem informações e valores para os parâmetros que representam o problema. Contudo, essa atividade exige uma estrutura de preferências clara e bem definida, em que, por vezes, isso não acontece, levando o decisor a trabalhar com informações parciais para avaliar as alternativas do contexto de decisão (CLEMENTE, 2015). Diante disso, a utilização de informações imprecisas ou parciais podem contribuir para uma análise mais flexível sobre o contexto, produzindo recomendações igualmente satisfatórias.

Um recurso amplamente utilizado para o tratamento de informações parciais em relação à representação dos critérios é o conjunto de abordagens para pesos substitutos (MORAIS *et al.*, 2015; DAWES; CORRIGAN, 1974; STILLWELL *et al.*, 1981; EDWARDS; BARRON, 1994; WANG; ZIONTS, 2006), em modelagem de problemas multicritério. Para abordagens multicritério de classificação, no entanto, ainda existe uma escassez de metodologias capazes de incorporar essas informações em seus métodos/modelos (PELISSARI *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2022). A maioria das abordagens propostas na literatura assumem que a avaliação de alternativas e dos parâmetros do modelo são definidos com precisão, o que, na vida real, pode não ocorrer (LIU *et al.*, 2015).

Considerando essa perspectiva, o presente estudo tem relevância e apresenta como principal contribuição a adaptação do método multicritério PROMETHEE-ROC à problemática de classificação, através da sistematização de atribuição de alternativas em categorias pré-definidas por regras de decisão/atribuição. Desta forma, o estudo permitirá a elicitación de

valores para os pesos dos critérios utilizando informação parcial (incompleta ou imprecisa) a respeito das preferências do decisor em problemas multicritério de classificação, dado que o processo de elicitação de peso é um dos aspectos mais complexos e uma das questões mais relevantes na área de multicritério (VETSCHERA, 2017), além da escassez de metodologias capazes de abordar a temática de forma similar, como trabalhado por alguns pesquisadores (DE ALMEIDA FILHO *et al.*, 2018; BARRETO *et al.*, 2020).

Com a apresentação da relevância e contribuições do estudo, é considerada a apresentação do objetivo geral e objetivos específicos do presente trabalho.

## 1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Este item apresenta o objetivo geral da pesquisa, bem como os objetivos específicos deste trabalho.

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é propor um modelo de classificação com utilização de pesos substitutos, baseado na adaptação do método multicritério PROMETHEE-ROC, por meio de uma sistemática de atribuição de alternativas em categorias pré-definidas.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Para o alcance do objetivo geral, este trabalho possui objetivos específicos que estão descritos a seguir:

- a) Analisar as vantagens da utilização de informações parciais na problemática multicritério de classificação;
- b) Desenvolver um modelo multicritério que suporte a utilização do método PROMETHEE-ROC para a problemática de classificação;
- c) Formular uma sistemática de atribuição de alternativas em categorias pré-definidas;
- d) Verificar as dificuldades e os principais aspectos relacionados à definição dos perfis limitantes entre categorias em problemas de classificação;
- e) Analisar aspectos práticos relacionados à utilização do modelo proposto por meio da sua aplicação na classificação de municípios da região semiárida do Rio Grande do Norte, a fim de definir estratégias de combate à seca;

- f) Indicar melhorias que podem ser incorporadas no problema de classificação apresentado.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em 5 capítulos, conforme exposto a seguir.

O Capítulo I é referente a introdução, apresentando as motivações e justificativas para o desenvolvimento do trabalho e seu objetivo.

O Capítulo II apresenta a fundamentação teórica e a revisão da literatura sobre os conceitos relativos à decisão multicritério, os principais métodos multicritério, com ênfase nos métodos multicritério de classificação, além de explanações e exemplificações de abordagens que aplicam a informação parcial nos problemas de decisão e o estado da arte dos métodos de classificação multicritério que utilizam informação parcial.

O Capítulo III apresenta o método multicritério PROMETHEE-ROC, as especificações necessárias para a adequação do método à problemática multicritério de classificação e a estrutura geral do modelo multicritério de classificação proposto pelo estudo.

O Capítulo IV apresenta a análise do modelo proposto para problemática de classificação em uma aplicação numérica e suas discussões.

O Capítulo V apresenta as principais conclusões desta pesquisa e sugestões para possíveis trabalhos futuros.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA**

Neste capítulo será apresentado a base teórica e os principais argumentos que norteiam esta pesquisa. Para isso, este capítulo é dividido na seção 2.1 com o referencial teórico e a seção 2.2 com a revisão da literatura.

### **2.1 REFERENCIAL TEÓRICO**

Esta seção é constituída pelos conceitos relativos à decisão multicritério e suas problemáticas, os métodos multicritério de apoio a decisão com ênfase nos métodos de classificação multicritério e como a informação parcial pode ser aplicada nos problemas de decisão, especialmente através dos procedimentos de pesos substitutos.

#### **2.1.1 Decisão multicritério**

Na maioria dos processos que envolvem tomada de decisão, seja no âmbito político, pessoal ou empresarial, os indivíduos se deparam com a presença de vários objetivos que deverão ser contemplados. Estes objetivos representam as diversas perspectivas para a tomada de decisão, podendo ser conflitantes entre si (DE ALMEIDA, 2013). A consideração desses diferentes objetivos que se desejam alcançar no processo de decisório, permitem que soluções mais adequadas sejam identificadas. Essa é uma das atribuições da modelagem de decisão multicritério.

Em geral, a decisão multicritério busca lidar com situações de decisão em que, ao menos, duas alternativas de ação devem ser avaliadas e múltiplos objetivos, que muitas vezes são conflitantes, estão envolvidos (DE ALMEIDA, 2013). Para cada contexto de decisão multicritério, critérios devem de definidos, os quais representarão aspectos relevantes sobre as alternativas e apresentam escalas de desempenho. Para essa definição, um problema multicritério dispõe de um decisor, do qual o julgamento de valor é a base para a obtenção da alternativa que melhor responda às suas preferências e expectativas (KEENEY; RAIFFA, 1976; ROY, 1996).

Os métodos multicritério de apoio à decisão apresentam-se como ferramentas de suporte à problemas de decisão práticos e/ou complexos. Através de recomendações de ações para o problema de decisão, os métodos multicritério buscam traduzir as preferências dos decisores

para a implementação de decisões consistentes, mesmo que não resulte em uma solução ótima (KÖKSALAN *et al.*, 2016).

Ao longo dos anos, esse tipo de modelagem para problemas de decisão foi aplicado nos mais diversos contextos. Por exemplo, na política e gestão hídrica (GONÇALO; MORAIS, 2018; MORAIS *et al.*, 2012; MONTE; MORAIS, 2019), planejamento e priorização de sistemas de informação (DE ALMEIDA-FILHO; COSTA, 2010; DE ALMEIDA; COSTA, 2002), gestão de risco (BRITO; DE ALMEIDA, 2009; SILVA *et al.*, 2014), seleção de fornecedores (FREJ *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2020), energias renováveis (FOSSILE *et al.*, 2020; SAHIN, 2020), avaliação de impactos sociais (DO CARMO *et al.* 2021) e muitas outras aplicações.

Dessa forma, um problema de decisão multicritério é formulado por um conjunto de alternativas que serão avaliadas por um conjunto de critérios através de avaliações estabelecidas pelo decisor, segundo suas preferências (BELTON; STEWART, 2002). Além disso, deverá ser definido o método de agregação capaz de utilizar as informações e parâmetros definidos para indicar o resultado mais adequado para o contexto de decisão (WINTERFELDT; EDWARDS, 1986). Para que isso ocorra da melhor forma possível, deve ser definida, primeiramente, a problemática que será analisada no processo de decisão.

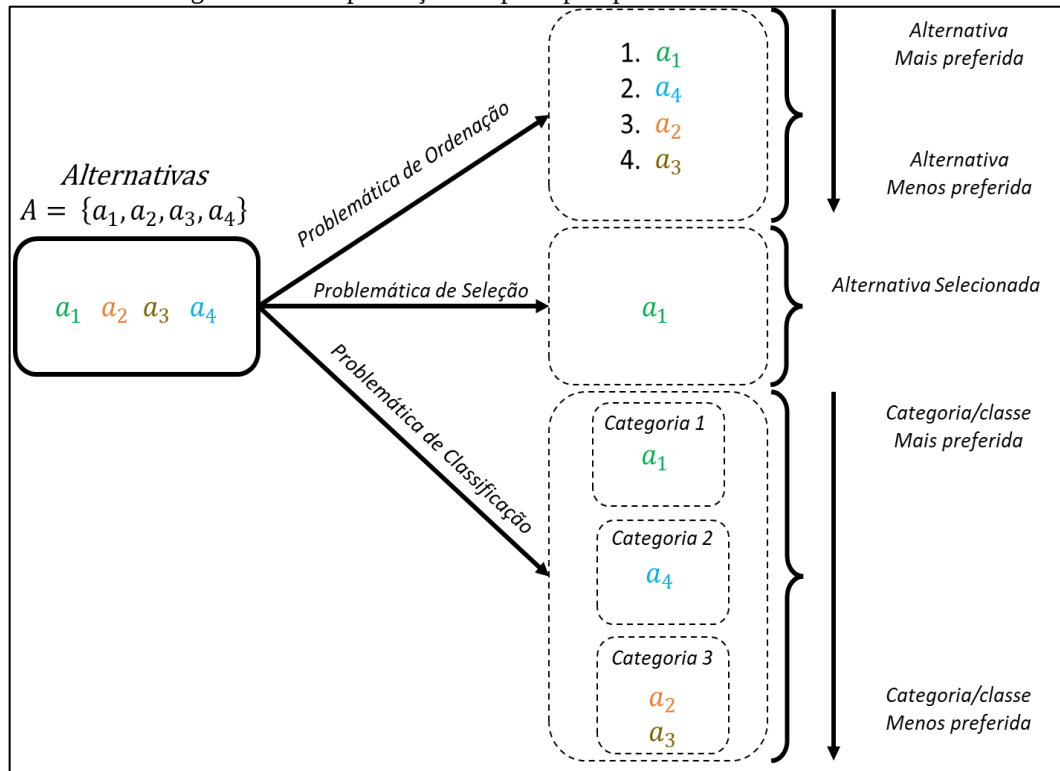
#### 2.1.1.1 Problemáticas multicritério

De forma geral, Roy (1996) define três (3) problemáticas básicas que podem ser abordadas nos problemas de decisão multicritério. Estas problemáticas são as mais usuais na literatura e estão descritas a seguir e exemplificadas na Figura 1.

- a) Problemática de Escolha/Seleção: busca selecionar um subconjunto, mais restrito possível, de alternativas  $a$ , avaliadas como as melhores de um conjunto inicial  $A$ ;
- b) Problemática de Classificação: tem por objetivo atribuir cada alternativa  $a$  de um conjunto inicial  $A$  em categorias/classes pré-definidas e, caso necessário, pré-ordenadas. Nessa problemática, as classificações podem ser ordinais (alternativas agrupadas em categorias/classes que possuem uma ordem de melhor para pior) ou podem ser classificações nominais (as alternativas são agrupadas, mas não ordenadas, sendo baseadas apenas em medições nominais ou atributos);
- c) Problemática de Ordenação: tem como objetivo ordenar as alternativas do conjunto  $A$  em ordem crescente de preferência. Nessa problemática, as alternativas são

ordenadas da melhor para a pior por meio de pontuações, comparações pareadas, ou outras medidas.

Figura 1 – Exemplificação das principais problemáticas multicritério.



Fonte: O Autor (2023)

De forma complementar, outras problemáticas menos frequentes na literatura também foram desenvolvidas, sendo as duas últimas sugeridas por Belton e Stewart (2002):

- d) **Problemática de Descrição:** busca descrever as ações e suas consequências de forma formalizada e sistemática, para que os tomadores de decisão possam avaliar essas ações.
- e) **Problemática de Portfólio:** busca selecionar um subconjunto de alternativas (projetos), tão restrito quanto possível, considerando as interações das alternativas do conjunto inicial  $A$ .
- f) **Problemática de Design:** busca elaborar novos desenhos e/ou estruturas do problema de decisão através da identificação, ou criação de novas alternativas;

Roy (1996) destaca ainda que um problema de decisão pode ter uma ou mais tipos de problemáticas combinados. As problemáticas não são independentes entre si. Por isso, os problemas multicritério necessitam de um ou mais decisores com uma estrutura de preferências, em que seus julgamentos de valor serão utilizados para solucionar o contexto de decisão da

melhor forma possível. Essa é considerada a principal diferença dos problemas de otimização convencionais da pesquisa operacional (DE ALMEIDA, 2013).

Dessa forma, a definição das alternativas e a problemática multicritério é de fundamental importância para a escolha do método multicritério de apoio à decisão que auxiliará o decisor na resolução do problema. Ao longo dos anos, a literatura apresentou diversos tipos de métodos multicritério. As abordagens frequentemente utilizadas pela literatura são apresentadas, de forma geral, na seção a seguir.

### **2.1.2 Métodos de apoio multicritério à decisão**

Os métodos de decisão multicritério buscam solucionar problemas ou situações de decisão em que duas ou mais alternativas de ação devem ser trabalhadas de acordo com sua problemática, os quais serão avaliadas através de um conjunto de critérios estabelecidos com base nos múltiplos objetivos do(s) decisor(es) para o problema de decisão. (ROY, 1996; ZELNY, 1982; DE ALMEIDA, 2013). Ou seja, estes métodos conseguem estruturar os problemas de decisão e auxiliar o decisor na avaliação as alternativas disponíveis, objetivado a identificação de uma solução satisfatória, considerando diversos critérios de avaliação.

Ao longo dos anos, vários métodos de apoio à decisão foram desenvolvidos para lidar com problemas multicritério, sempre auxiliando o decisor na resolução de problemas de decisão (DE ALMEIDA, 2013). A literatura classifica os métodos multicritério de apoio a decisão em duas (2) linhas principais: os métodos de agregação a critério único de síntese e os métodos de sobreclassificação (DE ALMEIDA *et al.*, 2015). Os métodos de agregação a critério único de síntese buscam agregar os critérios em um único, por uma função de síntese que atribui um valor a cada alternativa. Esses métodos admitem a racionalidade compensatória, ou seja, permite que um desempenho ruim de uma alternativa em um determinado critério seja compensado por um bom desempenho em outro critério (KEENEY; RAIFFA, 1976). Dentre os principais métodos dessa linha, destaca-se o AHP (*Analytic Hierarchy Process*), proposto por Saaty (1985) e o MAUT (*Multi-Attribute Utility Theory*), desenvolvido por Keeney e Raiffa (1993).

Por outro lado, existe uma classe específica de métodos multicritério que utilizam a racionalidade não compensatória e que serão trabalhados nesse estudo: os métodos de sobreclassificação. Esta abordagem é utilizada quando a racionalidade do decisor não permite que um desempenho ruim em um critério seja compensado por um bom desempenho em outro critério (DE ALMEIDA, 2013). Além disso, esses métodos assumem a possibilidade de

incomparabilidade entre alternativas quando o decisor realiza a elicitación da sua estrutura de preferências, usando uma relação de sobreclassificação entre as alternativas, que não é transitiva.

Outra característica destes métodos é a definição do peso para os critérios. Neste método, o valor atribuído ao peso dos critérios representa o grau de importância. Ou seja, os métodos de sobreclassificação não se preocupam com a transformação de escalas na avaliação intracritério. Dessa forma, os métodos de sobreclassificação não realizam uma agregação analítica para o estabelecimento de valores em cada alternativa, mas conseguem produzir recomendações satisfatórias para alternativas. (DE ALMEIDA, 2013).

Dentre os métodos de sobreclassificação, destacam-se os métodos da família PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) (BRANS; VINCKE, 1985) e os métodos da família ELECTRE (*ELimination Et Choix Traduisant la Réalité*) (ROY, 1996; BELTON; STEWART, 2002). Esta primeira família de métodos, em especial, é estruturada em duas (2) etapas gerais de operação: (i) construção das relações de sobreclassificação e (ii) exploração dessas relações para o apoio a decisão (BRANS; MARESCHAL, 2002). Por outro lado, os métodos da família ELECTRE buscaram, originalmente, auxiliar a escolha da(s) melhor(es) ação(ões) de um determinado conjunto de ações, mas logo foi aplicado também a problemas de ordenação e classificação.

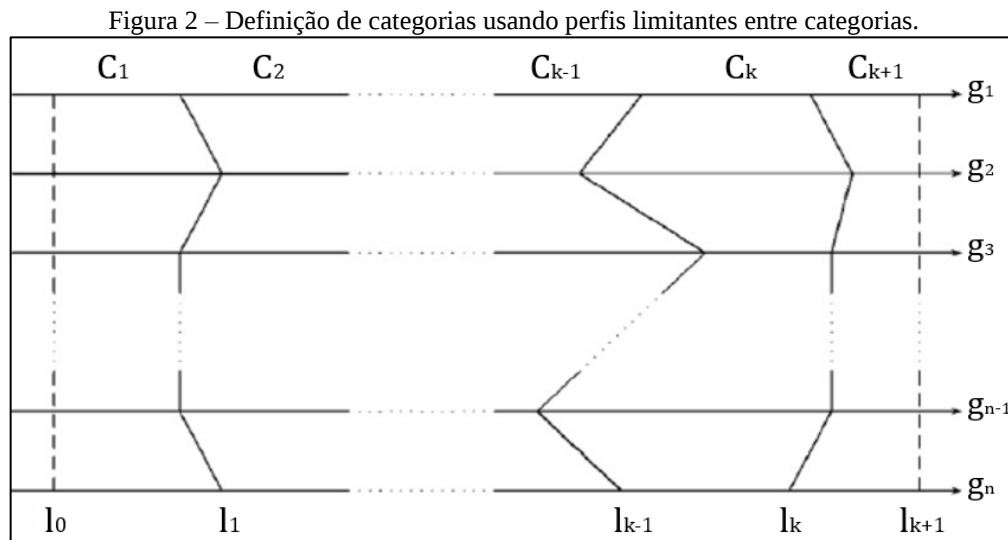
Com isso, a literatura apresenta uma vasta gama de métodos que solucionam problemas de decisão multicritério. Esta pesquisa, no entanto, busca focar em um conjunto específico de métodos capazes de solucionar problemas práticos de tomada de decisão enfrentados pelas organizações que envolvem a classificação de ações a serem realizadas, os denominados métodos multicritério de classificação (ALVAREZ *et al.*, 2021).

#### 2.1.2.1 Métodos multicritério de classificação

Texto Os métodos multicritério de classificação buscam avaliar um conjunto de alternativas  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$  em relação a um conjunto de critérios  $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$  e atribuir essas alternativas em categorias (classes) ou um intervalo de categorias pré-definidas (MOUSSEAU; SLOWINSKI, 1998; YU, 1992). As categorias são denotadas por  $C_1, C_2, \dots, C_k$ , em que a classe  $C_1$  é mais preferida que a classe  $C_2$  ( $C_1 \succ C_2$ ) e, assim, por diante (ROY, 1996; ALVAREZ *et al.*, 2021).

Cada categoria é definida por um perfil de referência que definirá a classificação das alternativas e aquele pode ser de dois tipos: (i) perfil central ou centroide e (ii) perfil limitante.

No primeiro caso, o perfil limitante  $c_p$  é denotado por  $(c_{p1}, \dots, c_{pg}, \dots, c_{pk})$ , onde  $c_{pk}$  é o centroide da categoria  $C_k$ . Já no segundo caso, cada classe  $C_k$  é delimitada por seu perfil de limite inferior ( $l_k$ ) e seu perfil de limite superior ( $l_{k+1}$ ), que, também, é o perfil de limite inferior da classe  $C_k + 1$ . Desta forma, cada alternativa será comparada com os perfis de referência existentes para o problema e será, conseqüentemente, classificada em uma única categoria (ALVAREZ *et al.*, 2021). A representação das categorias usando dos perfis limitantes pode ser observada na Figura 2, a seguir.



Fonte: Adaptada de Mousseau, Slowinski e Zielniewicz (2000).

Nessa perspectiva, diversos métodos MCDM/A têm sido desenvolvidos para auxiliar os decisores nesse contexto. Dentre estes, os métodos baseados em funções utilidade/valor ou relações de sobreclassificação têm sido utilizados com mais frequência na literatura (DOUMPOS; ZOPOUNIDIS, 2004). Por exemplo, Rough-set (GREGO *et al.*, 2002), PROMSORT (ARAZ; OZKARAHAN, 2007), ELECTRE-TRI C (ALMEIDA-DIAS *et al.*, 2010), AHPsort (ISHIZAKA *et al.*, 2012), UTADIS (DEVAUD *et al.*, 1980; GREGO *et al.*, 2010) e muitos outros métodos multicritério de classificação foram desenvolvidos e estão frequentemente presentes na literatura.

Além disso, a revisão da literatura desenvolvida por Alvarez *et al.* (2021) relata que os métodos multicritério de classificação foram aplicados nos mais diversos contextos decisórios. Por exemplo, avaliação ambiental, análises de políticas, educação, democracia, localização de instalações, gestão financeira, saúde, recursos humanos, gestão de estoque, manutenção e de materiais, avaliação de produtos, projetos e riscos, gestão de recursos, seleção de fornecedores e muitos outros.

Apesar das diversas técnicas para lidar com esse tipo de problema (DOUMPOS *et al.* 2009), a maioria dos métodos são *ad hoc* (BOUYSSOU; MARCHANT, 2007) ou requerem valores nítidos, exatos e/ou determinísticos para o desempenho das alternativas e para parâmetros do método. Contudo, o decisor pode encontrar dificuldades em estimar a grande quantidade de parâmetros requeridos (DOUMPOS *et al.*, 2009). Como alternativa, uma maneira de reduzir as dificuldades encontradas com a estimação desses parâmetros é recorrer a informação parcial fornecida pelo decisor, conforme esclarecido na seção a seguir.

### 2.1.3 Informação parcial em problemas de decisão

Em situações de decisão, definir informações, valores e parâmetros que serão utilizados para solucionar o problema pode tornar-se um desafio para o decisor, pois as dificuldades associadas à interpretação de objetivos intangíveis podem levar a definição de informações que não representem as suas preferências reais e, assim, gerar resultados pouco condizentes com os objetivos do decisor (SILVA *et al.*, 2022).

Alguns autores argumentam as adversidades ocorridas quando as informações precisas ou exatas são solicitadas aos decisores em problemas de decisão. Por exemplo, Weber (1987) destaca que os tomadores de decisão podem não conseguir estabelecer suas preferências de forma satisfatória quando a quantidade de informação requeria é muito grande. Além disso, alguns estudos relataram que esses procedimentos podem ser cansativos e consumir bastante tempo do decisor no processo de solução do problema de decisão, além de apresentarem um elevado índice de inconsistências nos resultados, dado o demasiado esforço cognitivo atribuído ao decisor (KIRKWOOD; SARIN, 1985; SALO; HÄMÄLÄINEN, 1992; BORCHERDING *et al.*, 1991).

Em complemento, Danielson e Ekenberg (2019) argumentam que os decisores continuam apresentando dificuldades em compreender as suas próprias preferências e como estas correspondem aos métodos de elicitación utilizados para este fim. Além disso, a maioria das informações de decisão é incerta, tornando muitas ferramentas de apoio à decisão, predominantes na literatura, inadequadas no sentido de que elas não podem representar imprecisões. Apesar disso, alguns métodos e modelos de decisão permitem estas incertezas sejam trabalhadas, objetivando evitar declarações irreais e exigindo, apenas, informações que o decisor é capaz expressar com confiança. Por exemplo, os *rankings* de preferências ordinais e abordagens intervalares (tanto para pesos de critérios quanto para valores) que parecem constituir um dos meios mais usados nesse sentido.

Além disso, existem diversas formas de obter informações parciais (imprecisas/incertas) a respeito das preferências dos decisores. Pode ser através problemas de programação linear (LPP) para estabelecer relações de dominância (KIRKWOOD; SARIN, 1985), julgamentos holísticos e intervalares (MUSTAJOKI *et al.*, 2005; SALO; HÄMÄLÄINEN, 2001), simulação como a de Monte Carlo (MONTIEL; BICKEL, 2014), métodos iterativos (DE ALMEIDA *et al.*, 2016) e diversas outras formas. Algumas das abordagens da literatura utilizam de informações parciais para determinar os pesos de critérios e, por vezes, valores de alternativas. Outras abordagens, em vez disso, recorrem a pesos substitutos para representar as preferências expressas por um decisor ou um grupo de decisores (DANIELSON; EKENBERG, 2017; MORAIS *et al.*, 2015). Esta pesquisa irá tratar desta última abordagem, conforme relatado na seção a seguir.

#### 2.1.3.1 Procedimentos para pesos substitutos

Em modelos de decisão multicritério, um aspecto fundamental e que influencia diretamente seus resultados é a definição dos valores para o peso de cada critério. Essa definição pode ser efetuada de forma direta, junto ao decisor, ou por metodologias de elicitación de preferências (CLEMENTE, 2015). Contudo, a definição exata dos valores para os pesos pode se tornar uma tarefa difícil para o decisor à medida que o número de critérios aumenta (EDWARDS, 1977). Dessa forma, o decisor pode se sentir desconfortável ou incapaz de definir esses valores precisamente.

Em contrapartida, o decisor pode estar habilitado para fornecer informações parciais sobre suas preferências. Essas informações são consideradas menos onerosas cognitivamente e podem ser expressas de diversas formas (MUNDA *et al.*, 1995). Uma atribuição frequentemente utilizada é a informação ordinal sobre os critérios, exigindo, apenas, a ordem de prioridade de um conjunto de elementos. Com isso, é possível aplicar metodologias que ofereçam suporte na substituição de pesos, transformando a informação ordinal em valores numéricos que serão inseridos nos modelos de decisão (CLEMENTE *et al.*, 2015).

Geralmente, os modelos de decisão que exigem informação ordinal dos critérios de avaliação admitem que o vetor de pesos é representado por uma escala em que todos os elementos são maiores ou iguais a zero e a soma de todos os valores é igual a um. Com isso, assumindo-se que  $W = \{w_i, w_{i+1}, \dots, w_n\}$  é o conjunto de todos os pesos e  $w_i \geq 0$  com  $i = 1, 2, \dots, n$  sendo o número de critérios, tem-se que  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ . Além disso, a informação ordinal dos critérios de avaliação pode ser expressa como  $w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_n \geq 0$ , em que  $w_1$  é o

critério de maior relevância e os elementos  $w_i$  podem ser definidos numa escala normalizada entre  $[0,1]$  (DANIELSON; EKENBERG, 2017; CLEMENTE *et al.*, 2015)

Em complemento, existem diversas abordagens na literatura que representam valor dos pesos em problemas de decisão. Por exemplo, Dawes e Corrigan (1974) que desenvolveram um procedimento denominado *Equal Weights* (EW), o qual busca atribuir pesos iguais para todos os critérios de um problema de decisão. Ou seja, todos os elementos possuem a mesma relevância. Apesar da praticidade na atribuição de pesos igualitários para todos os critérios, a perda de informações geradas por esse procedimento é muito grande (DANIELSON; EKENBERG, 2017). Dessa forma, esse procedimento pode ser expresso pela Equação (1).

$$w_i(EW) = \frac{1}{n} \quad (1)$$

Como tentativa de superar essa limitação, Stillwell *et al.* (1981) discutem as técnicas de aproximação de pesos denominado *Rank Sum* (RS) e o *Rank Reciprocal* (RR). Para o primeiro procedimento, *Rank Sum* (RS), os autores buscaram disponibilizar valores normalizados para os pesos dos critérios com base na posição ordinal do critério e a soma das suas respectivas posições. Já o segundo procedimento, *Rank Reciprocal* (RR), busca obter possíveis valores para os pesos dos critérios a partir da posição do critério na sua ordenação, dividindo cada valor pela soma dos critérios e gerando como resultado valores menores que 1. Contudo, Danielson e Ekenberg (2014), argumentam que o RS e o RR apresentam desempenhos satisfatórios, apenas, para suposições específicas sobre o comportamento do tomador de decisão, o que, por vezes, pode não ocorrer. Esses procedimentos podem ser observados nas Equações (2) e (3), respectivamente.

$$w_i(RS) = \frac{2(n + 1 - i)}{n(n + 1)} \quad (2)$$

$$w_i(RR) = \frac{\frac{1}{i}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{j}} \quad (3)$$

Por outro lado, Edwards e Barron (1994) desenvolveram o *Rank-Order Centroid* (ROC), que é um dos focos desse estudo. Esse procedimento é fundamentado em vértices do simplex do espaço de peso viável. Esses pesos são os componentes do vetor centroide do simplex  $S_w$ , ou seja, é baseado na média dos vértices no politopo. De acordo com Deming (1981), o *simplex*

é uma figura geométrica limitada por vértices, em que é útil para solucionar problemas de programação linear. Diante disso, o procedimento do *Rank-Order Centroid* (ROC), proposto por Edwards e Barron (1994), é capaz de estabelecer valores de peso para cada critério através da ordenação dos elementos (critérios) em nível de importância, do maior para o menor, segundo o grau de preferência do decisor. Através dessa informação ordinal, valores cardinais para o peso dos critérios podem ser obtidos com o seu procedimento. A Equação (4), a seguir, expõe como calcula-se o valor do peso dos critérios.

$$w_i(ROC) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{j} \quad (4)$$

Além disso, uma série de outros procedimentos que utilizam de pesos substitutos foram desenvolvidos (BARRON; BARRET, 1996; DANIELSON *et al.*, 2014). Desta forma, torna-se interessante a discussão sobre o modo como os métodos multicritério de apoio a decisão podem aplicar as informações parciais e, principalmente, os pesos substitutos, em suas metodologias. Como na abordagem proposta por Morais *et al.* (2015), PROMETHEE-ROC, em que as preferências do decisor relacionadas à indicação dos pesos dos critérios é conduzida pelo procedimento do ROC, permitindo a minimização do esforço cognitivo do decisor. Essa abordagem é o foco deste estudo e será detalhado mais adiante.

## 2.2 REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção é apresentada o estado da arte dos principais métodos multicritério que utilizam informação parcial e como os métodos multicritério de classificação com informação parcial estão presentes na literatura.

### 2.2.1 Métodos multicritério com informação parcial

Conforme mencionado anteriormente, diversos foram os fatores que incentivaram a utilização de informação parcial nas abordagens presentes na literatura. Destaca-se, no entanto, as situações em que o decisor nem sempre consegue especificar suas preferências da forma detalhada que foi requerida e as informações exatas podem ser tediosas e demoradas para serem fornecidas (WEBER, 1987; SALO; HÄMÄLÄINEN, 1992). Dessa forma, métodos de decisão multicritério com a utilização de informação parcial foram propostos para minimizar as

dificuldades encontradas pelos decisores e propor soluções satisfatórias para problemas práticos (SILVA *et al.*, 2022).

Diversas abordagens têm aplicado informações parciais, imprecisas ou incompletas e nos mais variados problemas. Por exemplo, Salo e Hamalainen (1992) propuseram o método PAIRS (*Preference Assessment by Imprecise Ratio Statements*), uma abordagem capaz estabelecer valores para as constantes de escala, no modelo aditivo, em problemas de programação linear. Já Salo e Punkka (2005) desenvolveram o método RICH (*Rank Inclusion in Criteria Hierarchies*) que utiliza de relações de dominância aliado a regras de decisão para modelar as preferências do decisor.

Similarmente, Aguayo *et al.* (2014) abordaram os métodos de intensidade de dominância, em que consideram informações incompletas a respeito das constantes de escala dos critérios de avaliação para encontrar relações pareadas de dominância, derivando medidas de intensidade de dominância, objetivando a formulação de um *ranking* de alternativas do problema de decisão. Além disso, outras abordagens com essas relações de dominância também foram utilizadas para estabelecer a ordenação de alternativas (JIMENEZ *et al.*, 2013; AHN; PARK, 2008).

Por outro lado, Dias e Clímaco (2000) desenvolveram o software VIP (*Variable Independent Parameters*) Analysis que utiliza de programação linear para reduzir progressivamente o número de alternativas em problemas de decisão multicritério através de informações imprecisas. Os parâmetros da sua abordagem podem ser considerados como variáveis interdependentes que assumem diversos valores sujeitos a restrições.

Já Mustajoki *et al.* (2005) propôs uma variação do método SMART/SWING que incorporava julgamentos imprecisos de intervalo de preferência do decisor. Em sua abordagem, o decisor poderia escolher qualquer atributo como atributo de referência (independentemente do seu grau de importância) e informar intervalos de preferências às questões de razão de peso para levar em conta sua imprecisão de julgamento.

Montiel e Bickel (2014) desenvolveram um modelo capaz de testar a sensibilidade de funções multilíneas de utilidade através das mudanças dos valores das constantes de escala por meio da simulação de Monte Carlo. Em sua proposta, informações preferenciais parciais também poderiam ser expressadas pelo decisor e incorporada no modelo através de restrições lineares. Sua proposta foi testada e validada na localização de usina a carvão, enfatizando a flexibilidade do método.

Destaca-se também a proposta De Almeida *et al.* (2016), que desenvolveram o método FITradeoff (*Flexible and Interactive Tradeoff*). Essa abordagem utiliza de informação parcial

sobre as preferências do decisor para a definição de valores para as constantes de escala do problema de decisão, mas com um processo de elicitação estruturado, mantendo toda a estrutura axiomática do *tradeoff* clássico, baseando-se em declarações de preferência estritas. Além disso, essa proposta também foi estendida para a problemática de ordenação (FREJ *et al.*, 2019). Os autores dedicaram ambas as abordagens para decisores que possuem a racionalidade compensatória em seus problemas de decisão.

A revisão da literatura realizada por Silva *et al.* (2022) sobre métodos multicritério que utilizam de informação parcial relata, no entanto, que a maioria dessas abordagens foram desenvolvidas para a problemática de escolha (SALO; HÄMÄLÄINEN, 1992; MUSTAJOKI *et al.*, 2005; SARABANDO; DIAS, 2009; DE ALMEIDA *et al.*, 2016) e para a problemática de ordenação (MORAIS *et al.*, 2015; AHN; PARK, 2008; FREJ *et al.*, 2019; AGUAYO *et al.*, 2014). Contudo, poucas abordagens destinadas à problemática de classificação que consideram esse tipo de informação são encontradas na literatura (SILVA *et al.*, 2022). Desta forma, é oportuna a discussão sobre a utilização de informação parcial nos métodos multicritério de classificação, conforme realizado na seção a seguir.

#### 2.2.1.1 Métodos multicritério de classificação com informação parcial

Conforme já discutido, os métodos multicritério de classificação buscam atribuir as ações/alternativas em categorias pré-definidas e, quando necessário, pré-ordenadas (ROY, 1996). Apesar desses métodos serem bastante aplicados para solucionar problemas práticos de classificação, essas abordagens ainda apresentam importantes desafios metodológicos a serem superados, como o fato de que a maioria das abordagens necessitam da elicitação direta para os valores do peso dos critérios (PELISSARI *et al.*, 2021), sendo considerado um dos problemas mais difíceis na área de multicritério (VETSCHERA, 2017). Uma forma de tentar superar esta limitação, é fazer o uso de informação parcial fornecida pelo decisor (KANG *et al.*, 2020). Contudo, um número reduzido de abordagens com informação parcial (incompleta ou incerta) relacionadas a problemática de classificação podem ser encontradas (LIU *et al.*, 2015), podendo ser considerada uma carência da literatura. Apesar disso, reunimos as principais abordagens existentes.

Por exemplo, podemos citar a abordagem desenvolvida por Dembczynski *et al.* (2009) que propôs intervalos de classificação em vez de valores exatos em conjuntos de dados imprecisos. Em seu estudo, foi desenvolvido uma extensão do DRSA (*Dominance-based Rough*

*Set Approach*) em que o decisor poderia realizar avaliações imprecisas na forma de intervalo de valores possíveis e na atribuição de ações em classes de decisão.

Dias e Clímaco (2005) desenvolveram uma abordagem baseada no método *ELECTRE-TRI* para decisão em grupo com a utilização de informação imprecisa para os parâmetros do método. Presumindo que o consenso em um grupo de decisores seria alcançado, a proposta incorporava informações preferenciais individuais em forma de restrições imprecisas nos parâmetros de um modelo de *outranking* e, então, explora um conjunto de parâmetros compatíveis usando uma regra de atribuição robusta, agregando perspectivas individuais de forma disjuntiva ou conjuntiva.

Por outro lado, Cai *et al.* (2011) propuseram uma variação do método UTADIS para a problemática de classificação, o chamado PUTADIS. Seu estudo é considerado como uma abordagem progressiva para atribuir alternativas a categorias ordenadas, considerando dois tipos de informações imprecisas e permitindo que o decisor estabeleça suas preferências de forma interativa, em que três modelos de programação linear inteira mista fornecem a categoria mais adequada e uma gama de categorias possíveis.

Janssen e Nemery (2013) desenvolveram a extensão do método *FlowSort* para lidar com casos em que dados ou parâmetros são imprecisos. Em sua proposta, a definição do desempenho das alternativas do problema de decisão e os perfis de referência entre categorias podem ser realizados por meio de intervalos, o qual também pode ser usado para a definição de pesos ou limiares do modelo através de intervalos. Por outro lado, método *FlowSort* também foi integrado a teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, em que os dados de entrada podem ser definidos por dados intervalares ou variáveis linguísticas (CAMPOS *et al.*, 2015) e, posteriormente, adaptado a dados de entrada estocásticos (PELISSARI *et al.*, 2019).

Mais recentemente, Kang *et al.* (2020) desenvolveram uma abordagem que preservava a forte base axiomática do procedimento padrão de elicitação de *tradeoff* proposta por Keeney e Raiffa (1976), enquanto o processo de elicitação de preferências para o decisor foi facilitado e otimizado. Apesar de sua forte estrutura axiomática para a atribuição de alternativas classes em pré-definidas, a racionalidade do decisor deve ser, obrigatoriamente, compensatória, impossibilitando a aplicação em problemas de decisão não-compensatórios.

## 2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Por meio da revisão da literatura, percebe-se a presença de estudos na literatura que buscam incorporar as informações preferenciais parciais na decisão multicritério. Alguns

trabalhos referem-se, ainda, na definição de parâmetros de um modelo de decisão por meio de informações incertas/imprecisas.

No que tange a problemas de classificação, foram encontrados alguns estudos que realizam a adesão de informação parcial em seus modelos. Em sua maioria, estas informações são consideradas através de problemas de programação linear, dados intervalares ou variáveis linguísticas nos parâmetros do método. Apesar disso, ainda existe uma lacuna no fornecimento de informações parciais para os pesos dos critérios em problemas de classificação, uma vez a maioria dos estudos se concentram em ordenar ou selecionar uma alternativa (SILVA *et al.*, 2022), sendo incentivado, portanto, a proposição ou adequação de abordagens para essa finalidade.

Neste sentido, esta pesquisa propõe o desenvolvimento de um modelo multicritério de classificação baseado no método PROMETHEE-ROC, o qual utilizará do procedimento de pesos substitutos em problemas de classificação não-compensatórios, buscando evidenciar como esse método pode auxiliar o processo de tomada de decisão para atribuição de alternativas em categorias/classes pré-definidas e pré-ordenadas, utilizando de informação parcial para a definição dos pesos dos critérios.

### 3 MODELO DE CLASSIFICAÇÃO BASEADO NO MÉTODO PROMETHEE-ROC

Nesta seção será apresentado o método PROMETHEE-ROC, bem como suas especificações. Além disso, será proposto as adaptações necessárias ao método PROMETHEE-ROC para a problemática de classificação. Nesta perspectiva, serão descritos e especificados os requisitos básicos e a estrutura lógica do modelo de classificação com a utilização de pesos substitutos que será proposto.

#### 3.1 APRESENTAÇÃO DO MÉTODO PROMETHEE-ROC

De acordo com Moraes *et al.* (2015), o método PROMETHEE-ROC é fundamentado na família de métodos PROMETHEE e desenvolvido para abordar, originalmente, a problemática de ordenação, em que é estruturado seguindo duas fases gerais: (i) construção de uma relação de sobreclassificação, agregando informações entre as alternativas e os critérios e (ii) a exploração dessas relações que foram geradas para subsidiar a tomada de decisão.

Nesse método, faz-se necessário a definição de pesos (graus de importância) para os critérios que ocorrerá por meio do procedimento desenvolvido por Edwards e Barron (1994), o *Rank-Order Centroid* (ROC). Conforme mencionado anteriormente, esse procedimento busca obter valores para pesos dos critérios através da informação parcial de ordenação dos critérios disponibilizada pelo decisor, que, conseqüentemente, definirá informações sobre os limiares de preferência ou indiferença. A partir disso, é obtido o grau de sobreclassificação de uma alternativa em relação a outra em cada critério, descrevendo a mudança de preferência do decisor de acordo com essa diferença, conforme observado na Equação (5).

$$\pi(a, b) = \sum_{i=1}^n W_i F_i(a, b) \quad (5)$$

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). Em seguida, é obtida a relação de superação, indiferença ou incomparabilidade para cada par de alternativas. Por fim, são calculados três índices para cada alternativa: fluxo positivo, fluxo negativo e fluxo líquido, conforme mostrado as Equações (6), (7) e (8), respectivamente.

$$\Phi^+ = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad (6)$$

$$\Phi^- = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(b, a) \quad (7)$$

$$\Phi(a) = \Phi^+ - \Phi^- \quad (8)$$

Morais *et al.* (2015) afirmam que o PROMETHEE-ROC é baseado no método PROMETHE II, proposto por Belton e Stewart (2002), e busca utilizar do fluxo líquido de cada alternativa para estabelecer uma pré-ordem completa para as alternativas do problema de decisão, em que as relações de preferência e indiferença são expressas nas Equações (9) e (10), respectivamente.

$$a \text{ é preferível a } b \text{ (} aPb \text{) se: } \Phi(a) > \Phi(b) \quad (9)$$

$$a \text{ é indiferente a } b \text{ (} aIb \text{) se: } \Phi(a) = \Phi(b) \quad (10)$$

Se os fluxos são normalizados, tem-se o fluxo de sobreclassificação líquido com valores entre [-1 e 1] (BRANS; VINCKE, 1985). Diante disso, o método PROMETHEE-ROC é um método de fácil entendimento e de menor esforço cognitivo para o decisor, pois não necessita que o decisor especifique valores exatos para os pesos, sendo considerado um dos seus principais benefícios. Além disso, os conceitos e parâmetros envolvidos em sua aplicação têm algum significado físico ou econômico de rápida assimilação pelo decisor. Dessa forma, essa abordagem será a base dessa pesquisa, em que será proposta uma adequação dessa metodologia para a problemática multicritério de classificação, conforme detalhado na seção a seguir.

### 3.2 ADAPTAÇÃO DO MÉTODO PROMETHEE-ROC PARA A PROBLEMÁTICA DE CLASSIFICAÇÃO

Para a adaptação do método PROMETHEE-ROC à problemática de classificação, deverão ser definidas as categorias (classes) e os seus respectivos perfis limitantes entre categorias que serão utilizados para classificar as alternativas do problema de decisão. Essas categorias serão denotadas por  $C_1, C_2, \dots, C_k$ , e serão pré-ordenadas, ou seja, a alternativa classificada na categoria  $C_1$  será mais preferida que a alternativa classificada na categoria  $C_2$  e, assim, por diante até a última categoria definida para o problema de decisão, a categoria  $C_k$ .

Conforme mencionado, os métodos desenvolvidos para a problemática de classificação necessitam definir, para cada classe/categoria  $C_k$ , um perfil central ou perfil limitante entre categorias. Nessa proposta, será utilizada a lógica dos perfis limitantes. Dessa forma, cada categoria/classe  $C_k$  será delimitada por seu perfil limitante superior ( $l_{k-1}$ ) e seu perfil limitante inferior ( $l_k$ ) que também é o perfil limitante superior da classe  $C_k + 1$ . A definição dos perfis limitantes entre categorias pode ser realizada em comum acordo com o decisor ou, quando não for possível, pelos pesquisadores do estudo (DO CARMO *et al.*, 2021).

A classificação de uma alternativa  $a$  em uma categoria  $C_k$  será realizada através de uma sistemática atribuição de alternativas em categorias pré-definidas e pré-ordenadas, baseada em regras de decisão/atribuição. Alvarez *et al.* (2021) argumenta que as regras de decisão incorporam declarações lógicas do tipo “se..., então...”. Um conjunto de regras de decisão representam a estrutura de preferências do decisor e será utilizado para classificar um conjunto de dados. Com isso, as alternativas podem ser comparadas com as regras de decisão e, conseqüentemente, classificadas em categorias adequadas. Dessa forma, a sistemática de atribuição de alternativas em categorias para esse modelo de classificação, será fundamentada em regras de decisão/atribuição, que estão propostas na Tabela 1.

Tabela 1 – Sistemática de atribuição de alternativas em categorias.

| Categoria/classe | Regra de decisão/atribuição                                                    |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| $C_1$            | $a \in C_1$ se $\{\Phi(a) < \Phi(l_0) \text{ e } \Phi(a) \geq \Phi(l_1)\}$     |
| $C_2$            | $a \in C_2$ se $\{\Phi(a) < \Phi(l_1) \text{ e } \Phi(a) \geq \Phi(l_2)\}$     |
| $C_3$            | $a \in C_3$ se $\{\Phi(a) < \Phi(l_2) \text{ e } \Phi(a) \geq \Phi(l_3)\}$     |
| ...              | ...                                                                            |
| $C_k$            | $a \in C_k$ se $\{\Phi(a) < \Phi(l_{k-1}) \text{ e } \Phi(a) \geq \Phi(l_k)\}$ |

Fonte: O Autor (2023).

Conforme observado na Tabela 1, cada categoria  $C_k$  apresenta uma declaração lógica de atribuição de alternativas em categorias, em que considera o perfil limitante entre categorias. Todas as alternativas e os perfis limitantes entre categorias, que serão definidos diretamente pelo decisor para o problema de decisão, irão obter um fluxo líquido pelo método multicritério PROMETHEE-ROC. A classificação ocorrerá por meio da comparação do índice de fluxo líquido das alternativas com o índice de fluxo líquido dos perfis limitantes entre categorias, em que será analisado o grau de pertencimento da alternativa  $a$  na categoria  $C_k$ .

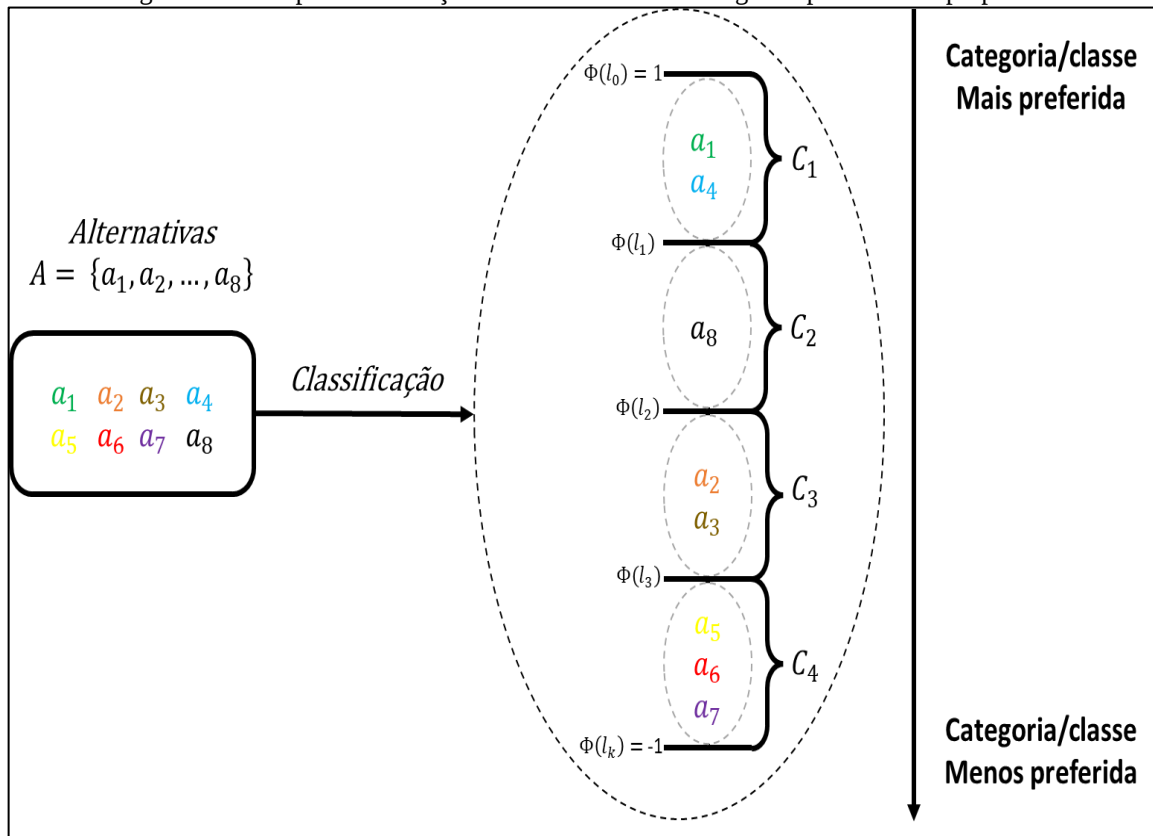
Para que uma alternativa  $a$  seja classificada na categoria  $C_1$ , o fluxo líquido da alternativa  $a$  ( $\Phi(a)$ ) deve ser menor ou igual ao fluxo líquido do perfil limitante superior da

categoria  $C_1$  ( $\Phi(l_0)$ ) e, ao mesmo tempo, o fluxo líquido da alternativa  $a$  ( $\Phi(a)$ ) deve ser maior ou igual ao fluxo líquido do perfil limitante inferior da categoria  $C_1$  ( $\Phi(l_1)$ ). Caso esta condição seja respeitada, a alternativa  $a$  será classificada na categoria  $C_1$ . Caso contrário, o fluxo líquido da alternativa  $a$  ( $\Phi(a)$ ) será comparado com a regra de decisão/atribuição da categoria imediatamente posterior a ela, ou seja, a regra de decisão/atribuição da categoria  $C_2$ . Dessa forma, a alternativa  $a$  será classificada na categoria  $C_2$ , se o fluxo líquido da alternativa  $a$  ( $\Phi(a)$ ) for menor que o fluxo líquido do perfil limitante superior da categoria  $C_2$  ( $\Phi(l_1)$ ) e, ao mesmo tempo, o fluxo líquido da alternativa  $a$  ( $\Phi(a)$ ) seja maior ou igual ao fluxo líquido do perfil limitante inferior da categoria  $C_2$  ( $\Phi(l_2)$ ). Caso esta condição seja respeitada, a alternativa  $a$  será classificada na categoria  $C_2$ .

Por outro lado, ainda existe a possibilidade de que a alternativa  $a$  não seja classificada nas categorias iniciais. Diante disso, o fluxo líquido da alternativa  $a$  ( $\Phi(a)$ ) será comparada com a regra de decisão/atribuição da categoria imediatamente posterior a atual, de forma sucessiva, até que todas as alternativas sejam classificadas em, apenas, uma única categoria. Dessa forma, a alternativa  $a$  será classificada na categoria  $C_k$ , se o fluxo líquido da alternativa  $a$  ( $\Phi(a)$ ) seja menor que o fluxo líquido do perfil limitante superior da categoria  $C_k$  ( $\Phi(l_{k-1})$ ) e, ao mesmo tempo, o fluxo líquido da alternativa  $a$  ( $\Phi(a)$ ) seja maior ou igual ao fluxo líquido do perfil limitante inferior da categoria  $C_k$  ( $\Phi(l_k)$ ). Assim, a atribuição de todas as alternativas nas categorias definidas para o problema de decisão pode ser realizada.

Por definição da família de métodos PROMETHEE, em que o fluxo líquido varia de  $[-1, 1]$ , temos que a categoria  $C_1$  possui como fluxo líquido do perfil limitante superior ( $\Phi(l_0)$ ) o valor de 1, ou seja,  $\Phi(l_0) = 1$ . Além disso, temos que a categoria  $C_k$  possui como fluxo líquido do perfil limitante inferior ( $\Phi(l_k)$ ) o valor de  $-1$ , ou seja,  $\Phi(l_k) = -1$ . A Figura 3 exemplifica esse processo para um conjunto de oito (8) alternativas e quatro (4) categorias.

Figura 3 – Exemplo de atribuição das alternativas em categorias pelo modelo proposto.



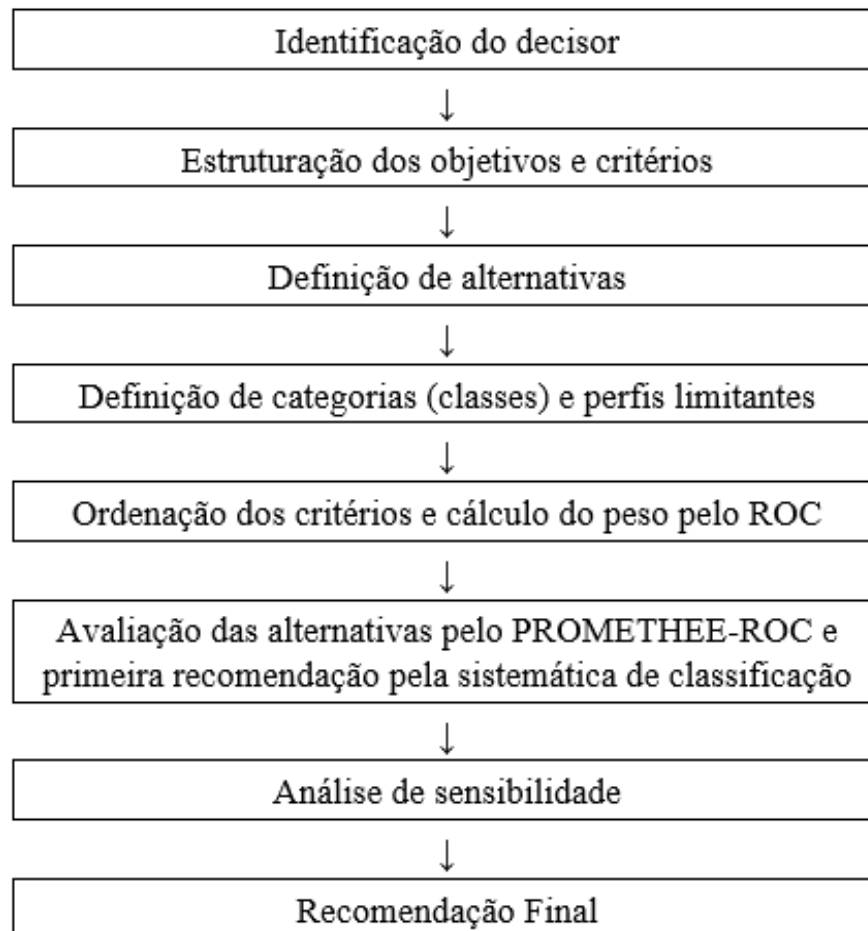
Fonte: O Autor (2023).

Dessa forma, a adaptação do método PROMETHEE-ROC à problemática de classificação através da sistemática atribuição de alternativas em categorias pré-definidas e pré-ordenadas, baseada em regras de decisão/atribuição pode ser realizada, permitindo a formulação do modelo de classificação. As etapas gerais do modelo de decisão proposto serão detalhadas na seção a seguir.

### 3.3 PROPOSIÇÃO DO MODELO MULTICRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO

Para o desenvolvimento desse modelo multicritério de classificação, esta pesquisa fundamentou-se no procedimento de construção de modelos de decisão apresentado por De Almeida (2013). De forma geral, o modelo proposto pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Etapas do modelo multicritério de classificação proposto.



Fonte: O Autor (2023).

Para a tomada decisão em problemas de classificação, esse modelo está organizado em oito (8) etapas consecutivas. De maneira geral, o decisor identificado deverá estabelecer suas preferências por meio da definição de objetivos, critérios e alternativas para o problema de decisão, bem como de informações e parâmetros necessários para a classificação das alternativas. Na sequência, o decisor deverá estabelecer a ordem de prioridade que melhor define a importância de cada um dos critérios. Essa informação preferencial será utilizada para a definição de valores para os pesos dos critérios através do procedimento do ROC. Por fim, as alternativas serão avaliadas com base nas preferências do decisor e, conseqüentemente, será gerado uma classificação final após a análise de sensibilidade dos resultados.

Para a primeira etapa do modelo, será identificado o decisor que será consultado para o desenvolvimento do estudo. A identificação do tomador de decisão é fator essencial para a qualidade do processo decisório, pois os múltiplos objetivos, critérios, informações e valores relativos ao problema de decisão serão melhor definidos, permitindo a correta estruturação do

problema de decisão e, conseqüentemente, possibilitando que soluções mais eficientes sejam trabalhadas (DE ALMEIDA *et al.*, 2019).

Na segunda etapa do modelo multicritério de classificação proposto, os requisitos do contexto do problema serão reconhecidos e identificados, estruturando de forma adequada o problema de decisão. Nesta etapa, o decisor anteriormente identificado, deverá estabelecer um conjunto de objetivos e critérios para o problema de decisão analisado, de forma que represente todos os requisitos do problema de forma não redundante e concisa. A correta estruturação do problema de decisão facilita o seu entendimento e a permite que a perspectiva pessoal do decisor seja incorporada ao contexto de decisão, possibilitando, assim, a melhor assimilação de seus objetivos e, conseqüentemente, formulando critérios mais adequados para o problema de decisão (CUNHA; MORAIS, 2019).

Na terceira etapa, será definido um conjunto viável de alternativas necessárias para elaboração da matriz de desempenho das alternativas, nas etapas seguintes. Para isso, o decisor deverá estabelecer o desempenho de cada alternativa para cada critério no problema de decisão. Essa etapa é importante e pode exigir que algumas das etapas anteriores sejam revisadas para o melhor resultado do modelo (MORAIS *et al.*, 2015).

Para a quarta etapa metodológica, o decisor deverá estabelecer as categorias (classes), bem como limiares de preferência e indiferença e os perfis limitantes entre categorias do problema de decisão. Para essa definição, recomenda-se realizar a avaliação interna de cada critério, a denominada a avaliação intra-critério. A avaliação intra-critério busca avaliar o desempenho de cada alternativa para cada critério, resultando numa função valor que indica o desempenho desta relação (DE ALMEIDA, 2013). As informações geradas por essa avaliação serão processadas pelo modelo e utilizadas junto as regras de atribuição/decisão para classificar as alternativas nas categorias definidas, conforme explicado anteriormente.

Na quinta etapa, será incorporado, processado e fornecido informações sobre valor dos pesos dos critérios, representando o grau de importância dos critérios. Essa etapa também é denominada de avaliação inter-critério (DE ALMEIDA, 2013). Nesse modelo, a definição dos pesos ocorrerá através do procedimento de pesos substitutos, em que consegue representar a interpretação provável das preferências expressas por um tomador de decisão, sem ele estabelecer informações exatas (DANIELSON; EKENBERG, 2017).

Para a representação do valor dos pesos, o decisor deverá estabelecer a ordem de prioridade que melhor define a importância de cada um dos critérios. Através da ordenação dos critérios, será possível a representação numérica dessas informações por meio da aplicação do procedimento do *Rank-Ordered Centroid* – ROC, conforme anteriormente expresso pela

Equação (4). Clemente *et al.* (2015) argumentam que o procedimento do ROC apresenta melhor desempenho na representação de pesos de critérios para a família de métodos PROMETHEE do que outros procedimentos de pesos substitutos.

Consequentemente, na sexta etapa, será introduzido o processo de avaliação das alternativas. Essa tarefa será realizada pelo método multicritério PROMETHEE-ROC, permitindo a obtenção dos valores para os fluxos positivos, negativos e líquidos das alternativas e dos perfis limitantes do problema de decisão. Após isso, será gerado a recomendação inicial do modelo, em que classificará cada alternativa em uma única categoria através da sistemática atribuição de alternativas em categorias pré-definidas e pré-ordenadas, baseada em regras de decisão/atribuição, que comparam as alternativas com os perfis limitantes definidos para o problema, conforme anteriormente apresentado pela Tabela 1. Dessa forma, essa etapa contém a principal contribuição dessa pesquisa.

Por fim, na etapa final, a recomendação final do modelo de decisão ocorrerá após a análise de sensibilidade que será realizada nas classificações obtidas do resultado inicial. A análise de sensibilidade busca avaliar e minimizar os efeitos adversos do procedimento ROC, como a atribuição de maiores valores de pesos nos critérios ordenados com maior grau de importância, percebidos como muito nítidos ou discriminativos (MORAIS *et al.*, 2015). Essa situação pode não representar fidedignamente as preferências do decisor, embora isso não seja frequente. Para verificar o impacto dessa situação e analisar as incertezas inerentes aos resultados iniciais obtidos, o processo de análise de sensibilidade avalia a estabilidade das alternativas classificadas nas categorias através da variação da importância atribuída a cada critério, avaliando as possíveis inconsistências de informações sobre o desempenho.

Para a ilustração e validação dessa proposta em um caso prático e real, o modelo desenvolvido foi aplicado no processo decisório de classificação de municípios prioritários ao processo de alocação de recursos para o combate à seca. Dessa forma, a eficiência do modelo proposto poderá ser verificada em um problema prático de classificação com múltiplos critérios e seus respectivos resultados poderão ser observados na seção a seguir.

## **4 APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO: CLASSIFICAÇÃO DE MUNICÍPIOS PARA O COMBATE À SECA**

Nesta seção, o modelo proposto será aplicado com base no estudo desenvolvido por Gonçalo e Moraes (2018), o qual buscou avaliar os municípios da região semiárida do Rio Grande do Norte, para o processo de alocação de recursos no combate à seca. Através de uma revisão sistemática da literatura, a aplicação recebeu as adaptações e particularidades necessárias para a adequação a problemática de classificação. Uma análise preliminar deste problema foi relatada, com base nos diversos critérios de avaliação, gerando o resultado numérico para fins ilustrativos. A aplicação segue os passos apresentados na Figura 4.

### **4.1 APLICAÇÃO ADAPTADA DO ESTUDO DE GONÇALO E MORAIS (2018)**

Neste item, o problema inicialmente abordado pelos referidos autores será adaptado, estruturado e resolvido seguindo as etapas do modelo proposto nesse estudo.

#### **4.1.1 Descrição do problema**

As secas são fenômenos naturais, com grandes desvios negativos da precipitação do clima em longo prazo e que prejudicam, principalmente, os recursos hídricos da região afetada (NEVES *et al.* 2015). Como reflexo das condições climáticas, a hidrografia das regiões afetadas pela seca é frágil, em seus amplos aspectos, e insuficiente para sustentar rios caudalosos que se mantenham perenes nos longos períodos de ausência de precipitações (IBGE, 2017). Por isso, torna-se cada vez mais frequente a busca por um gerenciamento eficiente dos recursos hídricos, haja visto que aspectos importantes e interesses diversos devem ser considerados durante o processo de tomada de decisão para o combate à seca (CASTRO *et al.*, 2022a).

Dependendo de sua intensidade, frequência e duração, os eventos de seca podem ser classificados em quatro (4) tipos: (i) seca meteorológica, em que ocorre em situações de escassez de chuvas e podem levar a outros tipos de secas; (ii) seca hidrológica, que é falta de água no sistema hidrológico e podem ser determinados pela redução dos níveis médios hídricos da região afetada; (iii) seca agrícola é resultado da escassez de precipitação e déficits hídricos do solo na agricultura; e (iv) seca socioeconômica que é combinação das três secas mencionadas anteriormente, relacionando-se com a oferta e demanda por algum bem (KARAMOUZ *et al.*, 2015; BAE *et al.* 2019; CASTRO *et al.*, 2022b). Por isso, as regiões que apresentam esse

desastre natural que comprometem a segurança hídrica, energética e a agricultura de subsistência, e necessitam de projetos concretos para a alocação de recursos no combate à seca (MARENGO *et al.*, 2018).

Corroborando com esse pensamento, Pischke e Stefanski (2016) afirmam que as secas, geralmente, são gerenciadas de maneira reativa, respondendo, apenas, após a ocorrência dos seus impactos. Contudo, essa abordagem é inadequada, mal coordenada e, por vezes, ineficiente. Apesar da notória transição da gestão de crises para a gestão de riscos quanto a solução de problemas no combate à seca, ainda pode ser considerado como um esforço inicial para a formulação de medidas efetivas contra esse problema. Por isso é muito importante que se pesquise como esses processos de decisão pode ser modelados e implementados.

Como tentativa de solucionar esse problema, os autores desse estudo original, Gonçalo e Moraes (2018), apresentaram um modelo multicritério capaz de hierarquizar os municípios devastados pela seca e, assim, orientar os esforços da gestão pública para enfrentar e mitigar os efeitos da seca no nordeste brasileiro. Essa proposta implementou uma abordagem participativa que subsidiava a tomada de decisão de forma consciente, estruturada e qualificada. Contudo, sua abordagem trata de uma problemática multicritério de ordenação de alternativas (*ranking*) e não de classificação de possíveis zonas prioritárias para a alocação de recursos. Dessa forma, entende-se que adequações da proposta original para a problemática de classificação poderão resultar em contribuições interessantes para a literatura.

Além disso, a revisão de literatura realizada por Hajkowicz e Collins (2006) e posteriormente complementada por Gebre *et al.* (2021) sobre estudos que aplicaram a abordagem multicritério em planejamento, gestão, política e alocação de recursos hídricos concluiu que, apesar da existência e a contínua formulação de diversos modelos multicritérios que tratem da gestão de recursos hídricos, não existe nenhuma evidência que um método seja melhor do que o outro. Por isso, torna-se interessante o desenvolvimento de novas propostas.

Assim, as pesquisas relativas às políticas e gestões de recursos hídricos apresentam uma lacuna importante associada as alocações de recursos no combate à seca e que poderia ser preenchida com a aplicação do modelo multicritério proposto. Nessa perspectiva, essa aplicação busca, portanto, classificar os potenciais municípios em estado prioritário para o processo de alocação de recursos no combate à seca, considerando suas características intrínsecas e valores das pessoas que são impactados diretamente com a escassez de recursos hídricos. Dessa forma, a classificação dos municípios em categorias pré-definidas e pré-ordenadas possibilitará focar a atenção nas cidades mais afetadas pela seca e na alocação de recursos de acordo com as suas necessidades reais.

Nas seções a seguir, serão aplicadas as etapas do modelo de classificação proposto, de modo a propor uma solução para o problema de classificação de municípios prioritários ao processo de alocação de recursos no combate à seca e verificar a sua eficiência.

#### **4.1.2 Identificação do decisor**

A primeira etapa consiste na identificação e caracterização do decisor que será consultado e responsabilizado pelo desenvolvimento e resultados da tomada de decisão (DE ALMEIDA, 2013). Neste caso, o decisor deverá ser um representante oficial de um órgão público responsável pelo planejamento e execução das políticas públicas relacionadas à gestão da água, incluindo o direcionamento das ações para o combate à seca, preocupando-se com o impacto de uma decisão desse porte a curto-médio prazo.

De forma similar ao estudo original de Gonçalves e Moraes (2018), o órgão público selecionado como foco do estudo foi a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) para o Estado do Rio Grande do Norte. Dentre as suas atribuições, tem-se a implantação e coordenação das políticas de Meio Ambiente e de Recursos Hídricos, além de executar ações de gestão dos Recursos Hídricos, exercendo sua fiscalização, articulando e integrando estas políticas locais com as políticas de âmbito regional e nacional.

Desta forma, o decisor selecionado para este problema foi o Coordenador de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) para o Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. Suas atribuições específicas estão relacionadas com a avaliação política e estratégica para a gestão hídrica, incluindo o desenvolvimento de ações na minimização/mitigação de eventos de seca. Com isso, essa decisão caracteriza-se como individual. Apesar disso, outros atores podem influenciar este processo decisório, como os representantes oficiais de comitês de bacias hidrográficas da região, os quais podem ser considerados como especialistas no contexto do processo decisório, pois têm informações factuais sobre o problema em análise.

#### **4.1.3 Estruturação dos objetivos e critérios**

A etapa de estruturação dos objetivos e critérios do problema de decisão é uma das principais fases do modelo de decisão, pois formaliza os aspectos que serão considerados para avaliar o conjunto de alternativas (CUNHA; MORAIS, 2019). Para facilitar o processo desempenhado nesta etapa, foi realizada uma reunião junto ao decisor com o objetivo de coletar

informações e dados necessários para o desenvolvimento do modelo, além de conhecer e compreender a perspectiva do decisor a respeito do problema de decisão.

Inicialmente, foram identificados, descritos e esclarecidos os objetivos do Coordenador de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos da SEMARH para o problema de decisão. De forma geral, o objetivo fundamental do decisor é implementar um modelo capaz de classificar os municípios que, prioritariamente, necessitam do processo de alocação de recursos no combate à seca. De acordo com o decisor, a aplicação do modelo proposto ao referido contexto de decisão permitirá o desenvolvimento de políticas públicas e planos de ação para o combate à seca mais eficientes. Para este objetivo fundamental, o decisor descreveu três (3) grandes objetivos que deveriam ser considerados meios de priorizar os municípios, conforme observado a seguir:

- a) Objetivo 1 - Maximizar os impactos hídricos da região afetada pela seca: esse objetivo indica que quanto maior forem os impactos hídricos oriundos pela seca em um município, maior será a prioridade do município no processo de alocação de recursos;
- b) Objetivo 2 - Maximizar os impactos sanitários da região afetada pela seca: esse objetivo indica que quanto maior forem os impactos sanitários originados pela seca em um município, maior será a prioridade do município no processo de alocação de recursos;
- c) Objetivo 3 - Maximizar a população da região afetada pela seca: esse objetivo indica que quanto maior for a população de um município afetado pela seca, maior será a prioridade do município no processo de alocação de recursos.

Com isso, foi possível mapear três (3) principais objetivos de interesse na avaliação dos municípios para a alocação de recursos no combate à seca. De forma a auxiliar o decisor na formulação dos critérios de avaliação que irão representar estes objetivos para o contexto de decisão, foram levantados e sugeridos critérios com base em um conjunto de artigos que abordaram a temática de forma similar (HAJKOWICZ; COLLINS, 2006; GONÇALO; MORAIS, 2018; ALAMANOS *et al.*, 2018). Vale salientar que cada um dos critérios estabelecidos para a aplicação deste modelo foi estabelecido segundo as preferências do decisor. Desta forma, quatro (4) critérios foram considerados relevantes para o problema de decisão e estão associados aos objetivos citados anteriormente. As listas de objetivos e dos critérios de avaliação que irão mensurar numericamente estes objetivos, estão expostos no Quadro 1, que também apresenta um código, descrição, o tipo de avaliação (maximização ou minimização do objetivo), e a unidade de medida (escala) para cada um dos critérios.

Quadro 1 – Objetivos e Critérios de avaliação.

| <b>Objetivo</b> | <b>Código</b> | <b>Critério</b>                       | <b>Descrição</b>                                                                      | <b>Tipo</b> | <b>Escala</b>                                                                             |
|-----------------|---------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivo 1      | Cr1           | Situação do reservatório              | Busca determinar o nível atual dos reservatórios de água que abastecem cada Município | Minimização | Porcentagem (%) do nível dos reservatórios                                                |
|                 | Cr2           | Índice de atendimento total de água   | Busca determinar o nível atual do atendimento hídrico do Município                    | Minimização | Porcentagem (%) da população total do município que é atendida com abastecimento de água. |
| Objetivo 2      | Cr3           | Índice de atendimento total de esgoto | Busca determinar o nível atual do atendimento de esgotamento sanitário do Município   | Minimização | Porcentagem (%) da população total do município que é atendida com esgotamento sanitário. |
| Objetivo 3      | Cr4           | População                             | Número de habitantes que residem no Município                                         | Maximização | Nº de Habitantes                                                                          |

Fonte: O Autor (2023)

Conforme observado no Quadro 1, o critério 1 é referente a “Situação do reservatório”, indicando o nível atual do principal reservatório que abastece o município (Açudes, Barragens e Lagoas) em termos percentuais da sua capacidade total. Para o segundo critério, tem-se o “Índice de atendimento total de água” em que determina o percentual da população total do município atendida com abastecimento hídrico. Ambos os critérios pertencem ao primeiro objetivo. Para o segundo objetivo, temos o terceiro critério com o “Índice de atendimento total de esgoto”, indicando o percentual da população total do município atendida com esgotamento sanitário. Por fim, o critério 4 atende o último objetivo e refere-se a “População”, indicando o número de habitantes que residem no Município. Nesse critério, quanto maior for a população do município, maior será o número de habitantes afetados pela seca. Logo, a sua prioridade no processo de alocação de recursos para o combate à seca será maior.

Com a definição dos objetivos e critérios de avaliação a serem utilizados na pesquisa, a etapa seguinte consiste em estabelecer o conjunto de municípios que atualmente e historicamente estão sendo afetados pela seca para que a matriz de avaliação, considerando o desempenho dos municípios em relação aos critérios de avaliação, possa ser formalizada.

#### 4.1.4 Definição de alternativas

Como o objetivo do estudo é desenvolver uma abordagem capaz de classificar os municípios que, prioritariamente, necessitam da alocação de recursos no combate à seca, o resultado natural das alternativas as serem consideradas serão os municípios afetados pela seca. Ou seja, o espaço de ações é finito e composto por alternativas estáveis, agrupadas de acordo com sua localização geográfica e a presença de bacia hidrográfica. Dessa forma, obtém-se um conjunto discreto de soluções possíveis para a determinação dos métodos possíveis a serem utilizados.

Diversas alternativas (municípios) podem ser consideradas para o problema em questão. No entanto, o estudo deve ser direcionado aos municípios que historicamente e atualmente são afetados por crises hídricas ocasionadas pela seca, em especial, os municípios do semiárido brasileiro.

Alvalá *et al.* (2019) afirma que o semiárido brasileiro é a região de seca mais populosa do mundo, com aproximadamente 24 milhões de habitantes, equivalente a 12% da população brasileira (IBGE, 2017). Historicamente, o semiárido brasileiro é caracterizado como uma região que apresenta irregularidade na distribuição das chuvas, solos rasos e rochosos, o que lhe confere baixa capacidade de armazenamento de água, pequeno sistema de drenagem e alta taxa de evapotranspiração, dificultando a gestão dos recursos hídricos.

Em complemento, Marengo (2008) afirma os municípios pertencentes ao semiárido brasileiro são afetados pela seca de tal forma que a principal atividade econômica da população da zona rural é geralmente caracterizada pela pecuária extensiva e agricultura de subsistência com baixo investimento tecnológico e baixa produtividade. Além disso, o semiárido brasileiro possui um contexto social historicamente fragilizado pela seca, apresentando uma mínima qualidade de vida. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), a região Nordeste, onde predomina o semiárido, apresenta a situação mais crítica do país no que se refere à segurança alimentar e 38% da população apresenta sinais de restrição alimentar na alimentação diária.

De acordo com dados da ANA (2021), para o mês de setembro de 2021, diversos estados pertencentes ao semiárido brasileiro, apresentam-se em situação de seca. No entanto, para o Estado do Rio Grande do Norte, 100% do seu território encontra-se em estado de seca, onde 65% de sua parte territorial é caracterizado como uma seca grave, especialmente na região oeste do Estado, devido às anomalias negativas de precipitação. Além disso, os impactos que a seca

está gerando na região já pode ser considerada de curto e longo prazo em todo o Estado. Dessa forma, faz-se necessário classificar os municípios dessa região de modo a priorizar localidades para alocação de recursos no combate à seca.

Para simplificar a avaliação deste estudo, foram analisados os quatorze (14) municípios pertencentes a Bacia do Rio Apodi-Mossoró, no Estado do Rio Grande do Norte, que possuem reservatórios (Açudes, Barragens e Lagoas) com capacidade total superior a 5.000.000m<sup>3</sup> (cinco milhões de metros cúbicos). Dessa forma e com auxílio da base de dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021) e da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH, 2022) para o Estado do Rio Grande do Norte, a matriz de desempenho de cada município em relação a cada critério foi exposta na Tabela 2, a seguir:

Tabela 2 – Matriz de desempenho.

| <b>Código</b> | <b>Municípios</b>        | <b>Situação do reservatório (Cr1)</b> | <b>Índice de atendimento total de água (Cr2)</b> | <b>Índice de atendimento total de esgoto (Cr3)</b> | <b>População (Cr4)</b> |
|---------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------|
| <b>A1</b>     | <b>Tenente Ananias</b>   | 13,27%                                | 62,29%                                           | 28,80%                                             | 10923                  |
| <b>A2</b>     | <b>Pilões</b>            | 25,29%                                | 94,08%                                           | 23,70%                                             | 3869                   |
| <b>A3</b>     | <b>Pau dos Ferros</b>    | 30,00%                                | 100,00%                                          | 22,73%                                             | 30600                  |
| <b>A4</b>     | <b>Campo Grande</b>      | 30,92%                                | 67,36%                                           | 16,60%                                             | 9670                   |
| <b>A5</b>     | <b>Umarizal</b>          | 65,33%                                | 97,89%                                           | 4,70%                                              | 10485                  |
| <b>A6</b>     | <b>Caraúbas</b>          | 70,92%                                | 83,22%                                           | 12,70%                                             | 20541                  |
| <b>A7</b>     | <b>Lucrécia</b>          | 35,93%                                | 65,61%                                           | 62,76%                                             | 4025                   |
| <b>A8</b>     | <b>Severiano Melo</b>    | 14,79%                                | 100,00%                                          | 10,10%                                             | 1743                   |
| <b>A9</b>     | <b>Encanto</b>           | 72,24%                                | 92,17%                                           | 16,30%                                             | 5697                   |
| <b>A10</b>    | <b>José da Penha</b>     | 79,67%                                | 78,00%                                           | 7,05%                                              | 5941                   |
| <b>A11</b>    | <b>Marcelino Vieira</b>  | 74,67%                                | 80,40%                                           | 30,20%                                             | 8325                   |
| <b>A12</b>    | <b>Rafael Fernandes</b>  | 75,55%                                | 26,64%                                           | 19,50%                                             | 5128                   |
| <b>A13</b>    | <b>Riacho da Cruz</b>    | 70,82%                                | 55,70%                                           | 57,90%                                             | 3614                   |
| <b>A14</b>    | <b>Rodolfo Fernandes</b> | 68,74%                                | 100,00%                                          | 22,30%                                             | 4467                   |

Fonte: O Autor (2023).

Definida as alternativas, a próxima etapa será definir as categorias/classes para o problema de decisão, bem como dos respectivos perfis limitantes entre categorias.

#### 4.1.5 Definição de categorias (classes) e perfis limitantes

Para identificar o estágio de prioridade dos municípios nesse processo de decisão, faz-se necessário definir as categorias/classes que serão consideradas no estudo. Essas categorias serão ordenadas, indicando um conjunto de municípios que necessitam urgentemente da alocação de recursos para minimizar e/ou mitigar os efeitos adversos da seca. Dessa forma, foi estabelecido junto ao decisor três (3) categorias para o problema de decisão:  $C_1$  - Prioridade Alta;  $C_2$  - Prioridade Média; e  $C_3$  - Prioridade Baixa. As descrições das categorias estão no Quadro 2.

Quadro 2 – Descrição das categorias/classes.

| <b>Categoria/Classe</b> | <b>Descrição</b>                                                                                          |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C1 - Prioridade Alta    | São os municípios com maior urgência/prioridade no processo de alocação de recursos no combate à seca     |
| C2 – Prioridade Média   | São os municípios com urgência/prioridade moderada no processo de alocação de recursos no combate à seca. |
| C3 – Prioridade Baixa   | São os municípios com menor urgência/prioridade no processo de alocação de recursos no combate à seca.    |

Fonte: O Autor (2023)

Para a delimitação do escopo de classificação das categorias do problema de decisão, foi solicitado ao decisor valores a respeito dos perfis limitantes entre as categorias, bem como o tipo de avaliação para cada critério. Dessa forma, o decisor determinou 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 (BRANS; VINCKE, 1985).

Em complemento, o decisor estabeleceu, de forma direta, os valores referentes aos perfis limitantes entre categorias para cada critério, delimitando, assim, as classificações de prioridade. Essas informações são relevantes para o modelo, haja visto que a incorreta definição destes valores, poderá acarretar resultados pouco eficientes. Vale salientar, no entanto, que o decisor demonstrou desconforto elicitando diretamente esses valores, tendo em vista a dificuldade em estabelecer valores precisos para um problema de classificação de elevada complexidade. Como tentativa de solucionar isso, foram realizados alguns questionamentos para auxiliar o decisor na definição desses valores dos perfis limitantes para cada um dos

critérios. Ao total, dois (2) questionamentos foram realizados para cada critério e podem ser observados no Quadro 3.

Quadro 3 – Questionamentos para definição dos perfis limitantes entre categorias.

| <b>Critério</b>                             | <b>Questionamento</b>                                                                                                                |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Situação do reservatório (Cr1)              | Abaixo de qual número percentual o nível do reservatório daquele município precisa ter para ser considerado como prioridade alta?    |
|                                             | A partir de qual número percentual o nível do reservatório de um município pode ser considerado como prioridade baixa?               |
| Índice de atendimento total de água (Cr2)   | Abaixo de qual número percentual índice de atendimento total de água de um município pode ser considerado como prioridade alta?      |
|                                             | A partir de qual número percentual índice de atendimento total de água de um município pode ser considerado como prioridade baixa?   |
| Índice de atendimento total de esgoto (Cr3) | Abaixo de qual número percentual índice de atendimento total de esgoto de um município pode ser considerado como prioridade alta?    |
|                                             | A partir de qual número percentual índice de atendimento total de esgoto de um município pode ser considerado como prioridade baixa? |
| População (Cr4)                             | A partir de quantos habitantes um município pode ter para ser considerado como prioridade alta?                                      |
|                                             | Até quantos habitantes um município pode ter para ser considerado como prioridade baixa?                                             |

Fonte: O Autor (2023)

Desta forma, os valores para os perfis limitantes entre categorias/classes da aplicação numérica, em cada critério, puderam ser definidos e estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Perfis limitantes entre categorias/classes.

| <b>Perfil Limitante</b> | <b>Situação do reservatório (Cr1)</b> | <b>Índice de atendimento total de água (Cr2)</b> | <b>Índice de atendimento total de esgoto (Cr3)</b> | <b>População (Cr4)</b> |
|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------|
| Perfil Limitante 1      | 30%                                   | 40%                                              | 25%                                                | 10000                  |
| Perfil Limitante 2      | 60%                                   | 80%                                              | 50%                                                | 6000                   |

Fonte: O Autor (2023).

Conforme observado na Tabela 3, foram definidos dois (2) perfis entre categorias com quatro (4) informações numéricas para cada critério. Essas informações são utilizadas especificamente na problemática de classificação, pois delimitam o escopo de cada categoria para de cada critério. Dessa forma, cada alternativa será avaliada e classificada dentro de cada

critério, sempre respeitando o seu tipo de avaliação (maximização ou minimização). Essa avaliação é denominada de avaliação intra-critério (DE ALMEIDA, 2013).

Como exemplo didático e ilustrativo desse tipo de avaliação, o critério de “Situação do Reservatório” apresenta o tipo de avaliação de minimização, ou seja, quanto menor o nível do reservatório do município avaliado, mais prioritária será considerada no processo de alocação de recursos para o combate à seca. Dessa forma, uma alternativa será considerada como “Prioridade Alta”, somente, para o critério de “Situação do Reservatório”, se apresentar um valor menor que 30%. Por outro lado, uma alternativa será considerada como “Prioridade Baixa”, somente, para o critério de “Situação do Reservatório”, se apresentar um valor maior que 60%. Caso apresente valor intermediário entre esses dois perfis limitantes, será considerada como “Prioridade Média”, somente, para o critério de “Situação do Reservatório”. Essa avaliação intracritério é explorada nos demais critérios, de forma isolada, desde que seja respeitado o tipo de avaliação de cada um. Ao final, essas informações serão posteriormente incorporadas pelo modelo proposto, gerando um resultado para os múltiplos critérios.

O próximo passo consiste em estabelecer a ordem de prioridade dos objetivos e critérios para que o modelo proposto compute os pesos representativos para cada um.

#### **4.1.6 Ordenação dos critérios e cálculo do peso pelo ROC**

A principal contribuição do método multicritério PROMETHEE-ROC é a representação de pesos assumindo a informação ordinal sobre o conjunto de critérios em um problema de decisão (MORAIS *et al.*, 2015). Esse tipo de avaliação que ocorre nesta etapa é denominado de avaliação inter-critério (DE ALMEIDA, 2013) e essa contribuição metodológica foi incorporada e adequada ao modelo multicritério de classificação aqui proposto.

Conforme mencionado anteriormente, para a definição dos pesos pelo procedimento do ROC, o decisor deverá estabelecer a ordem de prioridade dos critérios, representando o grau de importância de cada um dos critérios. Dessa forma, quanto maior o grau de prioridade dado a um critério, maior será o valor representado pelo peso ROC. Diante disso, os pesos serão definidos em consoante com a posição dos critérios no ordenamento estabelecido pelo decisor através da Equação (4). A ordem dos critérios e seus pesos ROC são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Ordenação e peso dos critérios.

| Ranking | Critério                              | Peso   |
|---------|---------------------------------------|--------|
| 1º      | População                             | 0,5208 |
| 2º      | Situação do reservatório              | 0,2708 |
| 3º      | Índice de atendimento total de água   | 0,1458 |
| 4º      | Índice de atendimento total de esgoto | 0,0625 |

Fonte: O Autor (2023).

Com isso, foi definida a seguinte ordem de prioridade para os critérios na avaliação dos municípios: primeiro colocado - População; segundo colocado - Situação dos Reservatórios; terceiro colocado - Índice de atendimento total de água; quarto colocado - Índice de atendimento total de esgoto. Ou seja, o critério “População” foi considerado como o critério mais importante e recebeu o peso de 0,5208. Após esse critério, o critério de “Situação dos Reservatórios” foi considerado como o segundo mais importante, recebendo o peso de 0,2708. Consequentemente, o critério “Índice de atendimento total de água” obteve a terceira maior importância com peso de 0,1458. Por fim, o critério “Índice de atendimento total de esgoto” foi definido como o critério de menor grau de importância, com peso de 0,0625.

Com base nisso e em todas as informações e parâmetros definidos anteriormente, torna-se possível avaliar todos os municípios e realizar a primeira recomendação para o problema de decisão.

#### 4.1.7 Avaliação das alternativas e primeira recomendação pela sistemática de classificação

Nesta etapa, será realizada a avaliação global das alternativas através do modelo multicritério proposto. Para isso, todas as informações e valores definidos para os parâmetros serão utilizados no modelo de apoio a decisão proposto.

Inicialmente, foram comparados os municípios (alternativas) entre si através de comparações pareadas, de modo a identificar as relações de superações entre alternativas. Com este resultado, a Equação (5) é aplicada junto com os pesos definidos na etapa anterior, obtendo o grau de sobreclassificação. Por fim, a aplicação de todos os parâmetros mensurados anteriormente no método PROMETHEE-ROC proposto gerou os Fluxos Positivos ( $\phi^+$ ), Negativos ( $\phi^-$ ) e Líquidos ( $\phi$ ) através das Equações (6), (7) e (8), respectivamente. Estes resultados podem ser observados na Tabela 5, a seguir.

Tabela 5 – Matriz de desempenho.

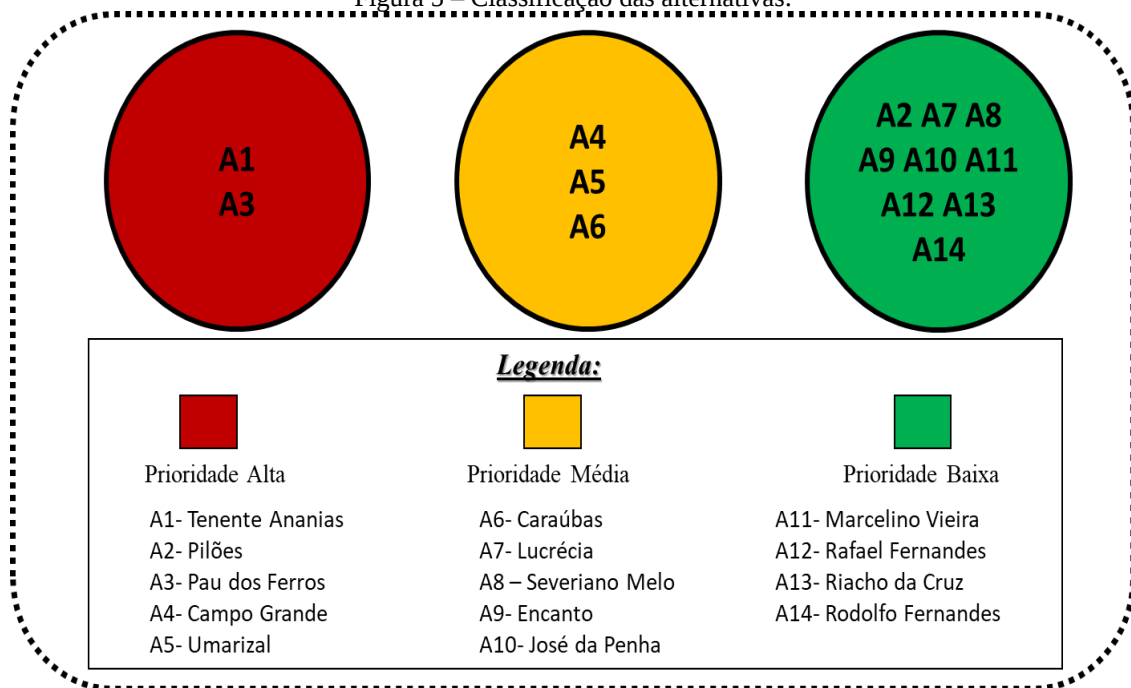
| <b>Código</b>             | <b>Municípios</b>        | <b>Fluxos Positivos (<math>\phi^+</math>)</b> | <b>Fluxos Negativos (<math>\phi^-</math>)</b> | <b>Fluxos Líquidos (<math>\phi</math>)</b> |
|---------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>A1</b>                 | <b>Tenente Ananias</b>   | 0,8567                                        | 0,1434                                        | 0,7133                                     |
| <b>A2</b>                 | <b>Pilões</b>            | 0,3673                                        | 0,6326                                        | -0,2653                                    |
| <b>A3</b>                 | <b>Pau dos Ferros</b>    | 0,7460                                        | 0,2160                                        | 0,5300                                     |
| <b>A4</b>                 | <b>Campo Grande</b>      | 0,6667                                        | 0,3334                                        | 0,3333                                     |
| <b>A5</b>                 | <b>Umarizal</b>          | 0,6320                                        | 0,368                                         | 0,2640                                     |
| <b>A6</b>                 | <b>Caraúbas</b>          | 0,6653                                        | 0,3346                                        | 0,3307                                     |
| <b>A7</b>                 | <b>Lucrécia</b>          | 0,3760                                        | 0,624                                         | -0,2480                                    |
| <b>A8</b>                 | <b>Severiano Melo</b>    | 0,3040                                        | 0,6760                                        | -0,3720                                    |
| <b>A9</b>                 | <b>Encanto</b>           | 0,3560                                        | 0,6440                                        | -0,2880                                    |
| <b>A10</b>                | <b>José da Penha</b>     | 0,3887                                        | 0,6114                                        | -0,2227                                    |
| <b>A11</b>                | <b>Marcelino Vieira</b>  | 0,4300                                        | 0,5700                                        | -0,1400                                    |
| <b>A12</b>                | <b>Rafael Fernandes</b>  | 0,3773                                        | 0,6226                                        | -0,2453                                    |
| <b>A13</b>                | <b>Riacho da Cruz</b>    | 0,2587                                        | 0,7414                                        | -0,4827                                    |
| <b>A14</b>                | <b>Rodolfo Fernandes</b> | 0,2787                                        | 0,7014                                        | -0,4227                                    |
| <b>Perfil Limitante 1</b> |                          | 0,7375                                        | 0,2408                                        | 0,4967                                     |
| <b>Perfil Limitante 2</b> |                          | 0,5083                                        | 0,4896                                        | 0,0187                                     |

Fonte: O Autor (2023).

Estes resultados foram utilizados para o estabelecimento da classificação dos municípios considerados seguindo a sistemática com as regras de decisão/atribuição estabelecidas anteriormente pela Tabela 1. As classificações dos municípios prioritários a processo de alocação de recursos no combate à seca podem ser observadas na Figura 5.

Assim, considerando as informações e preferências coletadas junto ao decisor, os municípios considerados com “Prioridade Alta” foram: A1 - Tenente Ananias e A3 - Pau dos Ferros. Já os municípios considerados com “Prioridade Média” foram: A4 - Campo Grande, A5 - Umarizal e A6 – Caraúbas. Por fim, os municípios considerados com “Prioridade Baixa” no processo de alocação de recursos para o combate à seca, foram: A2 - Pilões, A7 - Lucrécia, A8 - Severiano Melo, A9 - Encanto, A10 - José da Penha, A11 - Marcelino Vieira, A12 - Rafael Fernandes, A13 - Riacho da Cruz e A14 - Rodolfo Fernandes.

Figura 5 – Classificação das alternativas.



Fonte: O Autor (2023).

Dessa forma, os resultados da primeira recomendação pela sistemática do modelo proposto foram satisfatórios, considerando as avaliações feitas pelo decisor. Apesar dos benefícios já citados da utilização do ROC na representação da importância dos critérios em problemas práticos de decisão, existem, no entanto, algumas críticas realizadas ao procedimento quanto a valoração demasiada nos pesos dos critérios atribuídos com maior importância. Ou seja, valor muito alto de pesos para os critérios mais importantes. Com isso, a classificação de alternativas com melhor desempenho nos critérios mais importantes pode ser influenciada.

Como tentativa de verificar, analisar e superar essa limitação, será realizada a análise de sensibilidade sobre os parâmetros do problema. Esse processo permite avaliar o quão sensível é a recomendação sugerida pelo modelo multicritério de classificação proposto e indicando a recomendação final do processo de decisão.

#### 4.1.8 Análise de sensibilidade e recomendação final

Para verificar sensibilidade dos resultados obtidos à variação dos parâmetros estabelecidos e a incertezas inerentes ao modelo proposto, foi realizada uma análise de sensibilidade, em que irá verificar a estabilidade da classificação das alternativas do problema de decisão, avaliando as possíveis inconsistências de informações referentes ao seu

desempenho. Ou seja, a análise de sensibilidade irá avaliar a robustez da recomendação inicial proposta pelo modelo de classificação.

Para tanto, foi realizada a avaliação isolada de parâmetros, em que distribuiu uniformemente as variações no peso do constructo escolhido nos demais pesos dos critérios, objetivando a soma igual a 1 (DE ALMEIDA, 2013). Ou seja, quando houver a redução do peso em algum constructo, a diferença será distribuída uniformemente aos demais. Desta forma, foi definido que a importância atribuída a cada critério seria aumentada e reduzida em 20%. Isto é, um quinto ( $1/5$ ) do valor original de peso indicado pelo ROC, para cada critério, será acrescido/retirado e distribuído uniformemente nos demais critérios. Dessa forma, torna-se possível a avaliação estatística das alterações nas classificações das alternativas.

Ao total, foram geradas nove (9) classificações para cada alternativa. Destas, tornou-se nítido que poucas alterações nos índices de classificação de cada alternativa poderiam ser consideradas, tornando, assim, os dados relevantes e aptos para validação. A Tabela 6 apresenta os resultados da análise de sensibilidade, em que é possível identificar estatisticamente o número de vezes que a alternativa foi classificada na categoria inicialmente estabelecida e os índices de classificação das alternativas que foram alterados para uma categoria divergente da original.

Diante dos dados da Tabela 6, a análise de sensibilidade com a simulação de valores para os pesos dos critérios demonstrou que, somente, o município de A3 - Pau dos Ferros alterou a sua classificação inicial. Para esse município, foi evidenciado que 78% dos casos simulados mantiveram a estabilidade da classificação original. Isto é, dos nove (9) casos simulados, sete (7) casos foram considerados como “Prioridade Alta”, referindo-se à classificação obtida inicialmente. Por outro lado, apenas dois (2) casos ou 22% dos casos simulados, consideraram uma classificação menos prioritária para o processo de alocação de recursos hídricos, ou seja, em apenas dois casos foi considerado como “Prioridade Média”, divergindo da classificação inicial. Por fim, os resultados das classificações inicialmente estabelecidas pelo modelo mantiveram-se estáveis para os demais municípios. Ou seja, em 100% dos casos simulados pela análise de sensibilidade, as alternativas reproduziram classificações idênticas as indicadas pela primeira recomendação, evidenciando, assim, a qualidade e confiabilidade das avaliações.

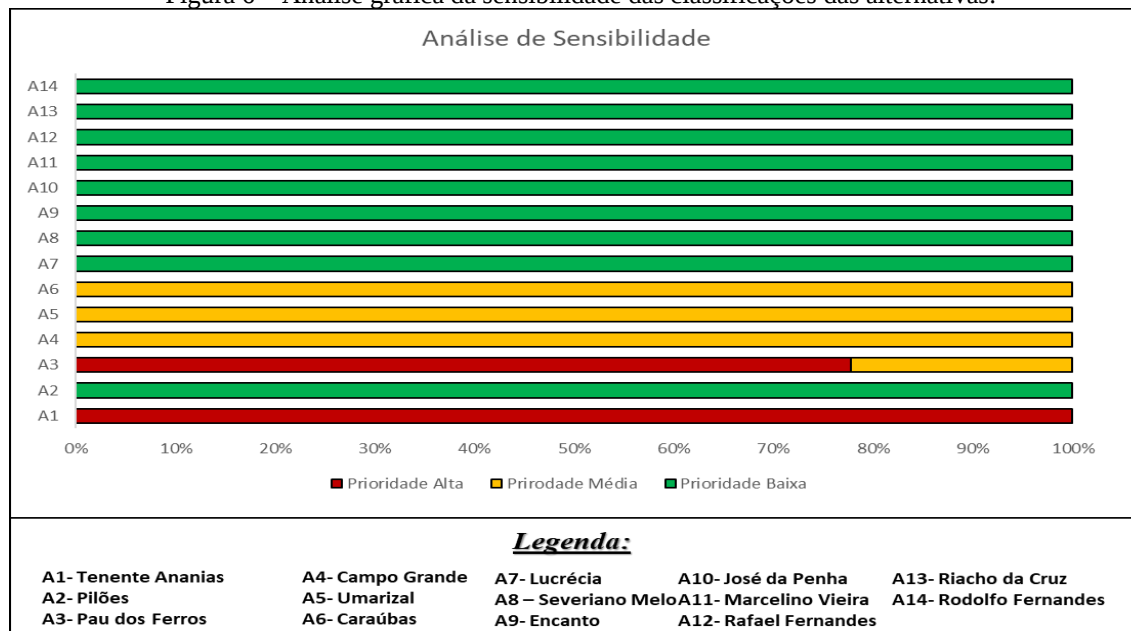
Tabela 6 – Análise de sensibilidade.

| Código | Municípios        | C1 - Prioridade Alta | C2 – Prioridade Média | C3 – Prioridade Baixa |
|--------|-------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| A1     | Tenente Ananias   | 100%                 | 0%                    | 0%                    |
| A2     | Pilões            | 0%                   | 0%                    | 100%                  |
| A3     | Pau dos Ferros    | 78%                  | 22%                   | 0%                    |
| A4     | Campo Grande      | 0%                   | 100%                  | 0%                    |
| A5     | Umarizal          | 0%                   | 100%                  | 0%                    |
| A6     | Caraúbas          | 0%                   | 100%                  | 0%                    |
| A7     | Lucrécia          | 0%                   | 0%                    | 100%                  |
| A8     | Severiano Melo    | 0%                   | 0%                    | 100%                  |
| A9     | Encanto           | 0%                   | 0%                    | 100%                  |
| A10    | José da Penha     | 0%                   | 0%                    | 100%                  |
| A11    | Marcelino Vieira  | 0%                   | 0%                    | 100%                  |
| A12    | Rafael Fernandes  | 0%                   | 0%                    | 100%                  |
| A13    | Riacho da Cruz    | 0%                   | 0%                    | 100%                  |
| A14    | Rodolfo Fernandes | 0%                   | 0%                    | 100%                  |

Fonte: O Autor (2023).

Por outra perspectiva, os resultados da análise de sensibilidade para a referida aplicação também podem ser observados de forma gráfica, através da Figura 6.

Figura 6 – Análise gráfica da sensibilidade das classificações das alternativas.



Fonte: O Autor (2023).

Dessa forma, recomenda-se ao decisor direcionar recursos e ações para o combate à seca, inicialmente, nos municípios de A1 - Tenente Ananias e A3 - Pau dos Ferros, pois são

considerados os municípios que apresentam uma maior urgência nesse problema de decisão, sobretudo, quando verificado o seu grau de pertencimento a classificação inicial através da análise de sensibilidade. Após atuação nesses municípios, recomenda-se destinar recursos aos municípios com prioridade moderada, pois apresentam prioridade secundária nesse processo, devido suas necessidades crescentes à medida que seca persiste na região. Por fim, após a priorização desses municípios citados, recomenda-se atuar sob os municípios com prioridade baixa em última instância, haja visto que apresentam condições estáveis mesmo afetadas pela seca.

#### 4.2 DISCUSSÃO DO MODELO E SUAS CONTRIBUIÇÕES

Após a estruturação e aplicação do modelo de classificação baseado no método PROMETHEE-ROC, é possível formular alguns comentários acerca do modelo proposto.

A adaptação do método PROMETHEE-ROC à problemática de classificação, por meio de um sistemático processo de atribuição de alternativas em categorias pré-definidas e pré-ordenadas por regras de decisão/atribuição que consideram o desempenho do fluxo líquido das alternativas e dos perfis limitantes entre categorias, pode ser considerada como a principal contribuição para a literatura.

A objetividade das regras de decisão/atribuição na alocação de alternativas em categorias, permite ao decisor classificar de forma prática, porém não menos aprofundada, as alternativas de um problema de decisão em classes definidas e ordenadas previamente. Desta forma, o modelo proposto apresenta-se como uma interessante ferramenta ao decisor que busca uma tomada de decisão clara e concisa em problemas de classificação.

Além disso, a aplicação da abordagem de pesos substitutos em problemas de classificação sob as orientações do método PROMETHEE-ROC, oferece vantagens para o desenvolvimento e proposição do modelo multicritério de classificação que solucione problemas práticos de decisão, sem que seja necessário especificar valores para os pesos dos critérios de avaliação. A metodologia apresentada oferece características para o tratamento de problemas complexos e com múltiplos critérios, desde que o decisor envolvido apresente a racionalidade não compensatória sobre a avaliação das alternativas. Deste modo, a exigência de informações preferenciais mínimas durante a definição da importância dos critérios em problemas de classificação pode ser considerada como outra relevante contribuição para a literatura.

Em situações de decisão, o estabelecimento de valor exato e preciso para a importância dos critérios pode tornar o processo decisório difícil e cognitivamente oneroso ao decisor. Como consequência disso, resultados pouco eficientes podem ser trabalhos no contexto de decisão. Isso é ainda mais relevante em problemas de classificação, haja visto que a quantidade de informações requeridas ao decisor é maior, quando comparado com outras problemáticas multicritério. Como solução a isso, o modelo de classificação com a utilização de pesos substitutos aqui proposto pode oferecer suporte para o decisor, através da utilização de informações parciais a respeito de sua estrutura de preferências sobre pesos os critérios, permitindo uma fácil compreensão dos parâmetros que descrevem o problema de decisão.

A utilização desse instrumento de apoio a decisão baseada na metodologia proposta por Morais *et al.* (2015) foi testada e validada através da sua aplicação em um contexto específico de classificação dos municípios do semiárido do Rio Grande do Norte para o processo de alocação de recursos para o combate à seca. Para o caso estudado, foram selecionados quatorze (14) municípios avaliados em quatro (4) critérios distribuídos em objetivos hídricos, sanitários e populacionais. Como resultado da aplicação do modelo, um conjunto de municípios seccionados pelo seu nível de prioridade ao processo de alocação de recursos no combate à seca foi obtido, sem que o decisor especificasse informações exatas a respeito da importância dos pesos dos critérios. Isto mostra que o decisor também pode ter seu problema de classificação resolvido eficientemente disponibilizando informações ordinais sobre os critérios para a obtenção do peso dos critérios, dependendo um esforço mínimo durante esse processo.

Em complemento, o estudo também buscou analisar a influência do procedimento do ROC no modelo proposto, haja visto as fortes críticas ao procedimento quanto a valoração demasiada nos pesos dos critérios atribuídos com maior importância. Para verificação disso, a análise da sensibilidade das classificações foi realizada e demonstrou que os resultados inicialmente realizados foram relativamente estáveis, garantindo uma solução pouco variável. Com isso, os pesos atribuídos pelo procedimento do ROC podem ser considerados como adequados, garantindo a confiabilidade nos resultados.

Por outro lado, os resultados desta aplicação também evidenciaram a forte influência dos perfis limitantes entre categorias nos resultados. A correta definição dessas informações é de fundamental importância ao modelo, haja visto que delimitam o escopo das classificações e, consequentemente, influenciam em seus resultados. Apesar disso, a elicitação direta dessas informações pelo decisor foi considerada satisfatória, haja visto que a análise de sensibilidade não evidenciou alterações significativas nos índices de classificação.

Levando em consideração todos os motivos apresentados anteriormente, o modelo de classificação proposto que incorpora o procedimento de pesos substitutos pode ser considerado pertinente e adequado quando tratamos esse tipo de problema. Além disso, a flexibilidade do modelo quanto a elicitación de pesos para os critérios de avaliação possibilita que a proposta seja replicada nos mais diversos e complexos contextos decisórios de classificação.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este capítulo tem por objetivo abordar sobre as principais conclusões deste trabalho, e também apresentar sugestões para possíveis trabalhos futuros em paralelo ao que foi desenvolvido e apresentado nesta dissertação, podendo dar continuidade às pesquisas nesta área, no final deste capítulo.

### 5.1 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo apresentar um modelo multicritério de classificação com a utilização de pesos substitutos, por meio da adaptação do método multicritério PROMETHEE-ROC, dado que, em geral, um tomador de decisão pode apresentar dificuldades em estabelecer valores precisos para os pesos dos critérios de avaliação em situações que necessita de categorizar um conjunto de ações de decisão. Assim, ao usar pesos substitutos, o esforço que o decisor precisa fazer para expressar o grau de importância dos critérios diminui, permitindo que classificações sejam geradas para problemas de decisão que consideram múltiplos critérios. A proposta foi aplicada na classificação de municípios afetados pela seca.

Por meio da aplicação do modelo proposto, quatorze (14) municípios do Estado do Rio Grande do Norte, afetados pela seca, foram classificados em categorias pré-definidas, tornando possível a elaboração e estruturação de políticas públicas estratégicas, bem como o direcionamento de esforços e recursos nas cidades mais afetadas pela seca em consonância com suas necessidades reais. Desta forma, as ações e recursos destinados eficientemente aos municípios afetados pela seca podem minimizar e/ou mitigar os efeitos adversos desse desastre natural.

Conforme visto, a principal contribuição do estudo está relacionada com a adaptação do método multicritério PROMETHEE-ROC à problemática de classificação. Esta é uma contribuição importante, tendo em vista que atribuição de alternativas em categorias pré-definidas e pré-ordenadas, por meio de regras de decisão/atribuição, pode solucionar diversos contextos e complexidades de classificação. Em complemento, outra relevante contribuição está relacionada com a elicitação de valores para os pesos dos critérios utilizando informação parcial a respeito das preferências do decisor em problemas de classificação multicritério, tendo em vista que o processo de elicitação de peso é um dos problemas mais difíceis e uma das questões mais relevantes na área de multicritério, além da escassez de metodologias capazes de abordar a temática de forma similar.

Além do exposto acima, o estudo apresenta potencial para interessantes contribuições em diferentes aspectos, como as contribuições de caráter social com o auxílio de organizações, governos e órgãos privados e/ou públicos e até mesmo pessoas, no momento que tiverem problemas de classificação complexos a serem solucionados. Além disso, contribuições econômicas também podem ser observadas no estudo através da proposição de soluções eficientes com o dispêndio mínimo de informações, como a exemplo das políticas públicas para o processo de alocação de recursos no combate à seca, sejam estes recursos hídricos e/ou financeiros, que podem ocorrer mais facilmente através da aplicação do modelo proposto.

Assim, percebe-se que o modelo multicritério de classificação proposto pode ser aplicado em diferentes contextos de decisão, possibilitando o alinhamento e a incorporação dos principais requisitos da avaliação e minimizando os esforços que o decisor possa ter nesse processo. Por fim, a presente dissertação pode contribuir com a inclusão futura de novos trabalhos na literatura, haja visto que a utilização de informação parcial em problemas de classificação multicritério ainda apresenta uma carência na literatura, conforme sugerido na seção a seguir.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Objetivando o aperfeiçoamento do presente estudo, algumas melhorias podem ser incorporadas em trabalhos futuros. Primeiramente, pode ser desenvolvido um Sistema de Apoio a Decisão (SAD) capaz de oferecer ferramentas e suporte computacional para a realização dos cálculos matemáticos do método. Através de um sistema computacional codificado com o modelo proposto, o decisor poderia obter os resultados e classificações mais facilmente, dispendendo um mínimo esforço para isso.

Outra sugestão para trabalhos futuros seria a utilização de informação parcial para a definição de outros parâmetros do modelo proposto, os quais atualmente necessitam da elicitacão direta do decisor, através da especificacão de valores exatos e bem definidos, como na definicão dos perfis limitantes entre categorias. Conforme mencionado ao longo do estudo, esse parâmetro é extremamente importante e influente ao modelo, necessitando da correta definicão de valores para que classificações resultados eficientes sejam trabalhados. Desta forma, a incorporacão da lógica *Fuzzy* ou a formulacão de um procedimento que defina os perfis limitantes entre categorias com base na matriz de consequências pode ser recomendado.

Ademais, o modelo de classificacão proposto pode ser adequado na tomada de decisão em grupo, tendo em vista que em situacões de decisão mais complexas, em geral, envolvem a

participação de vários atores no processo decisório. Dessa forma, o desenvolvimento de um modelo de classificação com o estabelecimento de pesos substitutos em grupo pode ser outra melhoria para o modelo proposto inicialmente.

## REFERÊNCIAS

- AGUAYO, E.A.; MATEOS, A.; JIMÉNEZ, A. A new dominance intensity method to deal with ordinal information about a DM's preferences within MAVT. **Knowl-Based Syst.** v. 69, p. 159–169, 2014.
- AHN, B.S.; PARK, K.S. Comparing methods for multiattribute decision making with ordinal weights. **Comput. Oper. Res.**, v. 35, p. 1660–1670, 2008.
- ALAMANOS, A.; MYLOPOULOS, N.; LOUKAS, A.; GAITANAROS, D. An Integrated Multicriteria Analysis Tool for Evaluating Water Resource Management Strategies. **Water**, v. 10, p. 1795-1814, 2018.
- ALMEIDA-DIAS, J.; FIGUEIRA, J.R.; ROY, B. ELECTRE TRI-C: A multiple criteria sorting method based on characteristic reference actions. **European Journal of Operational Research**, v. 204, n. 3, p. 565–580, 2010.
- 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.
- ALVAREZ, P.A.; ISHIZAKA, A.; MARTÍNEZ, L. Multiple-criteria decision-making sorting methods: a survey. **Expert Systems with Applications**, v. 183, p. 115-368, 2021.
- ANA. **Monitor de secas do Brasil**. Brasília, 2021. Disponível em <  
<https://monitordesecas.ana.gov.br/mapa> > Acesso: 01/02/2022
- ANGILELLA, S.; CORRENTE, S.; GRECO, S.; SLOWINSKI, R. Robust Ordinal Regression and Stochastic Multiobjective Acceptability Analysis in multiple criteria hierarchy process for the Choquet integral preference model. **Omega**, v. 63, p. 154–169, 2016.
- ARAZ, C.; OZKARAHAN, I. Supplier evaluation and management system for strategic sourcing based on a new multicriteria sorting procedure. **International Journal of Production Economics**, v. 106, p. 585-606, 2007.
- BAE, H.; JI, H.; LIM, Y.J.; RYU, Y.; KIM, M.H.; KIM, B.J. Characteristics of drought propagation in South Korea: relationship between meteorological, agricultural, and hydrological droughts. **Natural Hazards**, v. 99, n. 1, p. 1-16, 2019.
- BARRETO, L. R.; QUEIROZ, J. E. S.; GOMES, R. R. P.; SILVA, G. R. D.; LEMOS, G. C.; DO CARMO, B. B. T. Quadro de referência para priorização de riscos: uma abordagem multicritério participativa. **Acta Sapientia**, v. 07, p. 19-35, 2020.
- BARRON, F.H.; BARRETT, B.E. Decision Quality Using Ranked Attribute Weights. **Management Science**, v. 42, p. 1515-1523, 1996.
- BELTON, V.; STEWART T.J. **Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach**. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer, 2002.

BORCHERDING, K.; EPPEL, T.; VON WINTERFELDT, D. Comparison of weighting judgements in multiattribute utility measurement. **Manage. Sci.**, v. 37, p. 1603–1619, 1991.

BOUYSSOU, D.; MARCHANT, T. An axiomatic approach to noncompensatory sorting methods in MCDM, I: The case of two categories. **European Journal of Operational Research**, v. 178, n. 1, p. 217–245, 2007.

BRANS, J.P.; MARESCHAL, B. **PROMÉTHÉE – GAIA: une méthodologie d’aide à la décision en présence de critères multiples**. Bruxelles: Éditions de L’Université de Bruxelles, 2002.

BRANS, J.P.; VINCKE, P. A preference ranking organization method. **Management Science**, v. 31, p. 647–656, 1985.

BRITO, A. J.; DE ALMEIDA, A. T.; MOTA, C. M. M. A multicriteria model for risk sorting of natural gas pipelines based on ELECTRE TRI integrating Utility Theory. **European Journal of Operational Research**, v. 200, n. 3, p. 812–821, 2010.

BRITO, A.J.; DE ALMEIDA, A.T. Multi-attribute risk assessment for risk ranking of natural gas pipelines. **Reliability Engineering & System Safety**, [S.L.], v. 94, n. 2, p. 187–198, 2009.

CAI, F.; LIAO, X.; WANG, K. A progressive multiple criteria sorting approach based on additive utility functions considering imprecise information. **International Journal of Innovative Computing, Information and Control**, v. 7, n. 5, p. 2727–2738, 2011.

CAMPOS, A. C. S. M.; MARESCHAL, B.; DE ALMEIDA, A. T. Fuzzy FlowSort: An integration of the FlowSort method and Fuzzy Set Theory for decision making on the basis of inaccurate quantitative data. **Information Sciences**, v. 293, p. 115–124, 2015.

CASTRO, G. O.; MORAIS, D. C.; GONÇALO, T. E. E. Classificação de municípios afetados pela seca para priorizar a alocação de recursos. In: ENEGEP – ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2022, Foz do Iguaçu. **Anais do XLII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2022a.

CASTRO, G. O.; MORAIS, D. C.; GONÇALO, T. E. E. Modelo de classificação de municípios para alocação de recursos para combate à seca. In: SBPO - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2022, Juiz de Fora. **Anais do LIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, 2022b.

CLEMENTE, T.R.N. **Estudo de pesos substitutos para o método PROMETHEE II e aplicação em modelo para avaliação de tecnologias críticas**. 2015. 132 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

CLEMENTE, T.R.N.; DE ALMEIDA, A.T.; DE ALMEIDA FILHO, A.T. Comparação de metodologias de pesos substitutos para o método Promethee II. In: SBPO - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2015, Porto de Galinhas. **Anais do XLVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, 2015.

CUNHA, A.; MORAIS, D.C. Problem structuring methods in group decision making: a comparative study of their application. **Operational Research**, v. 19, p. 1081-1100, 2019.

DANIELSON, M.; EKENBERG, L. A Robustness Study of State-of-the-Art Surrogate Weights for MCDM. **Group Decis Negot**, v. 26, p. 677–691, 2017.

DANIELSON, M.; EKENBERG, L. An improvement to swing techniques for elicitation in MCDM methods. **Knowledge Based Systems**, v. 168, p. 70–79, 2019.

DANIELSON, M.; EKENBERG, L.; HE, Y. Augmenting Ordinal Methods of Attribute Weight Approximation. **Decision Analysis**, v. 11, n. 1, p. 21-26, 2014.

DANIELSON, M; EKENBERG, L. Rank ordering methods for multi-criteria decisions. In: Proceedings of the 14th group decision and negotiation-GDN 2014. Springer, 2014.

DAWES, R.M.; CORRIGAN, B. Linear Models in Decision Making. **Psychological Bulletin**, v. 81, p. 91-106, 1974.

DE ALMEIDA FILHO, A. T.; CLEMENTE, T. R. N.; MORAIS, D. C.; DE ALMEIDA, A. T. Preference modeling experiments with surrogate weighting procedures for the PROMETHEE method. **European Journal of Operational Research**, v. 264, n. 2, p. 453–461, 2018.

DE ALMEIDA FILHO, A.T.; COSTA, A.P.C.S. Um modelo de otimização para priorização em planejamento de Sistemas de Informação. **Production**, v. 20, n. 2, p. 265-273, 2010.

DE ALMEIDA, A. T. de. **Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério**. 1a Edição. São Paulo: Editora Atlas, 2013.

DE ALMEIDA, A. T.; ALMEIDA, J. A.; COSTA, A. P. C. S.; ALMEIDA-FILHO, A. T. A New Method for Elicitation of Criteria Weights in Additive Models: Flexible and Interactive Tradeoff. **European Journal of Operational Research**, v. 250, n. 1, p. 179-191, 2016.

DE ALMEIDA, A. T.; CAVALCANTE, C. A. V.; ALENCAR, M. H.; FERREIRA, R. J. P.; DE ALMEIDA-FILHO, A. T.; GARCEZ, T. V. Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis. **International Series in Operations Research & Management Science**. v. 231. New York: Springer, 2015.

DE ALMEIDA, A. T.; MORAIS, D. C.; COSTA, A. P. C. S.; ALENCAR, L. H.; DAHER, S. F. D. **Decisão Em Grupo e Negociação - Métodos e Aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: . Editora Interciência, v. 1. p. 292, 2019.

DE ALMEIDA, A.T.; COSTA, A.P.C.S. Modelo de decisão multicritério para priorização de sistemas de informação com base no método PROMETHEE. **Gestão & Produção**, v. 9, n. 2, p. 201-214, 2002.

DEMBCZYNSKI, K.; GRECO, S.; SLOWINSKI, R. Rough set approach to multiple criteria classification with imprecise evaluations and assignments. **European Journal of Operational Research**, v. 198, n. 2, p. 626–636, 2009.

DEMING, S.N. The Role of Optimization Strategies in the Development of Analytical Chemical Methods. **American Laboratory**, v. 13, n. 6, p. 42, 1981.

DEVAUD, J.; GROUSSAUD, G.; JACQUET-LAGRÈZE, E. UTADIS: Une méthode de construction de fonctions d'utilité additives rendant compte de jugements globaux. **European Working Group on Multicriteria Decision Aid**, Bochum, Germany, 1980.

DIAS, L.; CLÍMACO, J. ELECTRE TRI for Groups with Imprecise Information on Parameter Values. **Group Decision and Negotiation**, v. 9, n. 5, p. 355–377, 2005.

DIAS, L.C.; CLÍMACO, J.N. Additive aggregation with variable interdependent parameters: the VIP analysis software. **J Oper Res Soc**, v. 51, n. 9, p.1070–1082, 2000.

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. **Int J Life Cycle Assess**, v. 26, p. 950–962, 2021.

DOUMPOS, M.; MARINAKIS, Y.; MARINAKI, M.; ZOPOUNIDIS, C. An evolutionary approach to construction of outranking models for multicriteria classification: The case of the ELECTRE TRI method. **European Journal of Operational Research**, v. 199, n. 2, p. 496–505, 2009.

DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C. A multicriteria classification approach based on pairwise comparisons. **European Journal of Operational Research**, v. 158, n. 2, p. 378–389, 2004.

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.

EDWARDS, W. How to use multivariate utility measurement for social decision making. **IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics**, v. 7, p. 326–340, 1977.

FOSSILE, D.K.; FREJ, E.A.; COSTA, S.E.G.; LIMA, E.P.; DE ALMEIDA, A.T. Selecting the most viable renewable energy source for Brazilian ports using the FITradeoff method. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 260, p. 121107, 2020.

FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T.; COSTA, A.P.C.S. Using data visualization for ranking alternatives with partial information and interactive tradeoff elicitation. **Operational Research**, v. 19, p. 909–931, 2019.

FREJ, E.A.; ROSELLI, L.R.P.; DE ALMEIDA, J.A.; DE ALMEIDA, A.T. A Multicriteria Decision Model for Supplier Selection in a Food Industry Based on FITradeoff Method. **Mathematical Problems In Engineering**, [S.L.], p. 1–9, 2017.

GEBRE, S. L.; CATTRYSSE, D.; VAN ORSHOVEN, J. Multi-Criteria Decision-Making Methods to Address Water Allocation Problems: A Systematic Review. **Water**, v. 13, n. 2, p. 125, 2021.

GONÇALO, T. E. E.; MORAIS, D. C. Group multicriteria model for allocating resources to combat drought in the Brazilian semi-arid region. **Water Policy**, v. 20, p. 1145–1160, 2018.

GRECO, S.; MATARAZZO, B.; SLOWINSKI, R. Rough sets methodology for sorting problems in presence of multiple attributes and criteria. **European Journal of Operational Research**, 138(2), 247–259, 2002.

GRECO, S.; MOUSSEAU, V.; SLOWINSKI, R. Multiple criteria sorting with a set of additive value functions. **European Journal of Operational Research**, v. 207, n. 3, p. 1455–1470, 2010.

HAJKOWICZ, S.; COLLINS, K. A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management. **Water Resources Management**, v. 21, n. 9, p. 1553–1566, 2006.

IBGE. **Censo demográfico**. 2021. Disponível em < <https://www.ibge.gov.br> > Acesso: 05/05/2022.

IBGE. **Nordeste**. Rio de Janeiro, 2017.

ISHIZAKA, A.; PEARMAN, C.; NEMERY, P. AHPSort: an AHP-based method for sorting problems. **International Journal of Production Research**, v. 50, p. 4767-4784, 2012.

JANSSEN, P.; NEMERY, P. An extension of the FlowSort sorting method to deal with imprecision. **4OR - A Quarterly Journal of. Operations Research**, v. 11, n. 2, p. 171–193, 2013.

JIMENEZ, A.; MATEOS, A.; SABIO, P. Dominance intensity measure within fuzzy weight oriented MAUT: an application. **OMEGA-Int. J. Manag. Sci.**, v. 41, p. 397–405, 2013.

JULMI, C. When rational decision-making becomes irrational: a critical assessment and re-conceptualization of intuition effectiveness. **Business Research**. v. 12, p. 291–314, 2019.

KANG, T.H.A.; FREJ, E.A.; DE ALMEIDA, A.T. Flexible and Interactive Tradeoff Elicitation for Multicriteria Sorting Problems. **Asia-Pacific Journal of Operational Research**, v. 37, n. 5, 205-220, 2020.

KARAMOUZ, M.; ZEYNOLABEDIN, A.; OLYAEI, M. Mapping Regional Drought Vulnerability: A Case Study. **Int. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Info. Sciences**. v.XL-1/W5, 2015

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decisions with multiple objectives**: preferences and value tradeoffs. Cambridge University Press, 1993.

KEENEY, R.L.; RAIFFA, H. **Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs**. New York: Wiley, 1976.

KIRKWOOD, C.W.; SARIN, R.K. Ranking with partial information: A method and an application. **Operations Research**, v. 33, n. 1, p. 38-48, 1985.

KÖKSALAN, M.; WALLENIS, J.; ZIONTS, S. An Early History of Multiple Criteria Decision Making. **International Series in Operations Research & Management Science**, 3–17, 2016.

LIU, J.; LIAO, X.; YANG, J. A group decision-making approach based on evidential reasoning for multiple criteria sorting problem with uncertainty. **European Journal of Operational Research**, v. 246, n. 3, p. 858–873, 2015.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias Estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 149–176, 2008.

MARENGO, J.A.; ALVES, L.M.; ALVALA, R.C.S.; CUNHA, A.P.; BRITO, S.; MORAES, O.L.L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **An. Acad. Bras. Ciênc.**, v. 90, p. 1973-1985. 2018.

MONTE, M.B.D.S.; MORAIS, D.C. A decision model for identifying and solving problems in an urban water supply system. **Water Resour. Manag.**, v. 33, p. 4835–4848, 2019.

MONTIEL, L. V.; BICKEL, J. E. A generalized sampling approach for multilinear utility functions given partial preference information. **Decis. Anal.**, v. 11, p. 147–170, 2014.

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. **Math. Probl. Eng.**, 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**, [S.L.], v. 23, n. 5, p. 937-960, 2012.

MOUSSEAU, V.; SLOWINSKI, R. Inferring an ELECTRE TRI Model from Assignment Examples. **Journal Of Global Optimization**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 157-174, 1998.

MOUSSEAU, V.; SLOWINSKI, R.; ZIELNIEWICZ, P. A user-oriented implementation of the ELECTRE TRI method integrating preference elicitation support. **Computers & Operations Research**, v. 27, n. 7, p. 757-777, 2000.

MUNDA, G.; NIJKAMP, P.; RIETVELD, P. Qualitative multicriteria methods for fuzzy evaluation problems: An illustration of economic-ecological evaluation. **European Journal of Operational Research**, v. 82, n. 1, p. 79–97, 1995.

MUSTAJOKI, J.; HÄMÄLÄINEN, R. P.; SALO, A. Decision support by interval SMART/SWING-incorporating imprecision in the SMART and SWING methods. **Decis. Sci.**, v. 36, p. 317–339, 2005.

NEVES, J. A.; MELO, S. B.; SAMPAIO, E. V. S. B. An Index of Susceptibility to Drought (ISD) for the Semiarid Brazilian Northeast. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 31, n. 2, p. 177-195, 2015.

PELISSARI, R.; ABACKERLI, A. J.; BEN AMOR, S.; OLIVEIRA, M.C.; INFANTE, K. M. Multiple criteria hierarchy process for sorting problems under uncertainty applied to the evaluation of the operational maturity of research institutions. **Omega**, v. 103, p. 102381, 2021.

PELISSARI, R.; OLIVEIRA, M. C.; ABACKERLI, A. J.; BEN'AMOR, S.; ASSUMPÇÃO, M. R. P. Techniques to model uncertain input data of multi-criteria decision-making problems: a literature review. **International Transactions in Operational Research**, v. 28, p. 523-559, 2021.

PELISSARI, R.; OLIVEIRA, M. C.; BEN AMOR, S.; ABACKERLI, A. J. (2019). A new FlowSort-based method to deal with information imperfections in sorting decision-making problems. **European Journal of Operational Research**, v. 276, p. 235-246, 2019.

PISCHKE, F.; STEFANSKI, R. Drought management policies - From global collaboration to national action. **Water Policy**, v. 18, p. 228-244, 2016.

ROY, B. **Multicriteria Methodology of Decision Aiding**. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1996.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process**. New York, NY: Pergamon Press. 1988

ŞAHİN, M. A comprehensive analysis of weighting and multicriteria methods in the context of sustainable energy. **International Journal of Environmental Science and Technology**, [S.L.], v. 18, n. 6, p. 1591-1616, 2020.

SALO, A. A.; HÄMÄLÄINEN, R. P. Preference ratios in multiattribute evaluation (PRIME)-elicitation and decision procedures under incomplete information. **IEEE trans. Syst. Man. Cybern. Part A Systems Humans**, v. 31, p. 533–545, 2001.

SALO, A.; PUNKKA, A. Rank inclusion in criteria hierarchies. **Eur. J. Oper. Res.**, v. 163, p. 338–356, 2005.

SALO, A.A.; HÄMÄLÄINEN, R.P. Preference assessment by imprecise ratio statements. **Operations Research**, v. 40, n. 6, p. 1053-1061, 1992.

SANTOS, I.M.; ROSELLI, L. R.P.; SILVA, A.L.G.; ALENCAR, L.H. A Supplier Selection Model for a Wholesaler and Retailer Company Based on FITradeoff Multicriteria Method. **Mathematical Problems In Engineering**, [S.L.], v. 2020, p. 1-14, 2020.

SARABANDO, P.; DIAS, L.C. Multiattribute Choice with Ordinal Information: A Comparison of Different Decision Rules. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 39, n. 3, p. 545-554, 2009.

SEMARH. Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte. **Rio Grande do Norte**, 2022. Disponível em < <http://www.semarh.rn.gov.br> > Acesso: 10/05/2022.

SEMARH. Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. **Diagnóstico anual de água e esgoto 2021**. 2021. Disponível em < <http://sistemas.semarh.rn.gov.br/monitoramentovolumetrico> > Acesso: 12/04/2022.

SILVA, L.B.L.; FREJ, E.A.; DE ALMEIDA, A.T.; FERREIRA, R.J.P.; MORAIS, D. C. A review of partial information in additive multicriteria methods. **Ima Journal of Management Mathematics**, [S.L.], p. 1-37, 2022.

SILVA, L.C.E.; COSTA, A.P.C.S. IT Project Investments: an analysis based on a sort and rank problem. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, [S.L.], v. 13, n. 04, p. 699-719, 2014.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Saneamento**. 2022. Disponível em < <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/painel/es> > Acesso: 05/05/2022.

STILLWELL, W.G.; SEAVER, D.A.; EDWARDS, W.A. Comparison of Weight Approximation Techniques in Multiattribute Utility Decision Making. **Organizational Behavior and Human Performance**, v. 28, p. 62-77, 1981.

VETSCHERA, R. Deriving rankings from incomplete preference information: A comparison of different approaches. **European Journal of Operational Research**, v. 258, p. 244 – 253, 2017.

WANG, J.; ZIONTS, S. Random-Weight Generation in Multiple Criteria Decision Models. In: **MCDM**, 2006, Chania, Greece, 2006.

WEBER, M. Decision making with incomplete information. **European Journal of Operational Research**, v. 28, n. 1, p. 44-57, 1987.

WINTERFELDT, D.; EDWARDS, W. **Decision Analysis and Behavioural Research**. New York: Cambridge University Press, 1986.

YU, W. **ELECTRE TRI – Aspects Méthodologiques et Guide d’Utilisation**. Document du LAMSADE, 74, Université de Paris – Dauphine, Avril, 1992.

ZELENY, M. **Multiple criteria decision making**, McGraw Hill, Nova York, 1982.